



Projekt:

**„Datenerhebung und Dargebotsermittlung in den
Schwerpunktgebieten landwirtschaftliche Bewäs-
serung und Erarbeitung von Regelungen für die
Begutachtungspraxis bei Bewässerungsanträgen.“**

**Hydrogeologisches Modell
Hallertau, Jurahopfen, Ingolstädter Becken**

Bericht: 11/2024

Kurzfassung

Ein „Hydrogeologisches Modell“ (HGM) bezeichnet eine Modellvorstellung, bei der die natürlichen Gegebenheiten (geologisch und hydrogeologisch) vereinfacht abstrahiert und strukturiert werden (vgl. Kapitel 4). Ein wesentlicher Baustein eines hydrogeologischen Modells ist die Beschreibung einer Wasserbilanz, welche sowohl die Grundwasserneubildung und Grundwasserentnahmen als auch Zu- und Abströme und die Wechselwirkungen zwischen Grund- und Oberflächengewässern beschreibt. Dabei sind bspw. die Grundwasserneubildung und die Zu- und Abströme nicht direkt messbar. Diese werden im Rahmen der hydrogeologischen Modellvorstellung mittels hydrogeologischer Methoden quantifiziert. Dabei gilt grundsätzlich, je mehr Messdaten zur Verfügung stehen, desto aussagekräftiger kann die Modellvorstellung ausfallen. Insgesamt bestimmt im Wesentlichen die Datengrundlage und die Verteilung der vorhandenen Daten die Aussagekraft und Genauigkeit des hydrogeologischen Modells. Die resultierenden Unsicherheiten in den Bilanzkomponenten werden in den jeweiligen Kapiteln näher erläutert und sind bei der Anwendung des hydrogeologischen Modells zu berücksichtigen. Die Beschreibung im hydrogeologischen Modell entspricht einem momentanen und damit stationären Systemzustand (Jahreswerte bzw. mittlere Jahreswerte), bei dem instationäre Prozesse wie bspw. Saisonalitäten nicht abgebildet werden.

Grundsätzlich gilt bei der Wasserressourcennutzung für Bewässerungszwecke die Nutzungshierarchie: 1. Speicherung von Niederschlags-/Oberflächenwasser, 2. Direkte Oberflächenwasserentnahme, bei ausreichend hohen Abflüssen, 3. Uferfiltrat, 4. Oberflächennahes Grundwasser. Die Ressourcenbewertung der Oberflächengewässer sowie die Speicherung derer bzw. von Niederschlagswasser sind nicht Bestandteil dieses HGMs sondern werden in der Handlungsempfehlung zur wasserwirtschaftlichen Begutachtung näher erläutert (siehe LfU-Internetseite „Bewässerung“). Mit dem vorliegenden hydrogeologischen Modell „Hallertau, Jurahopfen, Ingolstädter Becken“ wurden zur Ermittlung des verfügbaren Grundwasserdargebots und der Ermittlung der dafür notwendigen Bilanzgrößen für die Wasserbilanz geologisch und hydrogeologisch sinnvolle Teilräume abgegrenzt. Zur Beurteilung der für eine Nutzung zur Verfügung stehenden Grundwassermenge (nutzbares Grundwasserdargebot) dieser einzelnen Teilräume ist nicht nur der Anteil der Entnahmen am Grundwasserdargebot (Wasserbilanz) bzw. der Grundwasserneubildung zu betrachten, sondern es sind des Weiteren ergänzende hydrogeologische Betrachtungen (Ganglinienauswertungen, Wasserbilanzen, grundwasserabhängige Oberflächengewässer und/oder Landökosysteme) erforderlich. Ggf. ist in Bereichen mit verstärkter Grundwassernutzung oder/und sich verändernden klimatischen Einflüssen, die sich z. B. durch die Tendenz fallender Grundwasserstände zeigen, im Rahmen der Begutachtung von Grundwasserentnahmen und in Hinblick auf die Grundwasserbewirtschaftung eine Berücksichtigung und Anwendung weiterer Kriterien wie bspw. die Festlegung von Grenz-/Warngrundwasserständen erforderlich sowie ggf. ein erweitertes Monitoring mit zusätzlicher Errichtung von Grundwassermessstellen.

Die im Rahmen des vorliegenden hydrogeologischen Modells erstellten Grundwasserbilanzen sowie der ermittelte Nutzungsgrad bezogen auf die Grundwasserneubildung bzw. des gebietspezifischen Dargebots, können als Orientierungshilfe bei der Begutachtung von Grundwasserentnahmen dienen. Diese sind jedoch immer in Zusammenhang mit Grundwasserganglinienanalysen und der lokalen hydrogeologischen Verhältnisse zu bringen.

Inhaltsverzeichnis

1	Naturräumliche Verhältnisse	1
1.1	Lage des Untersuchungsgebietes	1
1.2	Morphologischer und hydrographischer Überblick	2
1.3	Meteorologische Verhältnisse	3
1.4	Geologische Verhältnisse	5
1.4.1	Jura	5
1.4.2	Tertiär	5
1.4.3	Quartär	6
1.5	Hydrogeologische Verhältnisse	8
1.5.1	Grundwasserleiter im Jura	9
1.5.2	Grundwasserleiter im Tertiär	10
1.5.3	Grundwasserleiter im Quartär	12
1.5.4	Grundwasserstandsentwicklung	15
1.5.4.1	Malm	16
1.5.4.2	Tertiär	18
1.5.4.3	Quartär	20
1.5.5	Grundwasserbeschaffenheit	20
1.6	Oberflächengewässer	21
2	Entnahmen	25
2.1	Grundwasserentnahmen	25
2.1.1	Aufteilung der Entnahmen nach Relevanz für die Grundwasserbilanz	27
2.1.2	Nicht bilanzrelevante (s. Kap. 4.2) genehmigte Grundwasserentnahmen	28
2.1.3	Bilanzrelevante genehmigte Grundwasserentnahmen	29
2.2	Entnahmen aus Quellen	35
2.3	Oberflächengewässerentnahmen	37
3	Dargebotsbewertung in der Wasserwirtschaft	39
4	Erstellung des hydrogeologischen Modells	40
4.1	Methodik	40
4.2	Vertikale Abgrenzung des Modellraums und der Teilräume	41
4.3	Horizontale Abgrenzung des Modellraums und der Teilräume	41

4.3.1	Malm	42
4.3.2	Tertiärhügelland	43
4.3.3	Nördliches Donauquartär	45
4.3.4	Südliches Donauquartär	46
4.3.5	Isarquartär	47
4.4	Flächenhafte Grundwasserneubildung aus Niederschlag	48
4.5	Austausch mit Oberflächengewässern	52
4.6	Horizontale Zuströme	55
4.7	Wechselwirkungen zwischen den einzelnen Grundwasserkörpern	57
4.7.1	Grundwasserneubildung im tertiären Hauptgrundwasserstockwerk (Leckage)	57
4.7.2	Zusickerung Malm zu Quartär	61
4.8	Bilanzierung des Grundwasserumsatzes	63
4.8.1	Kurzzusammenfassung der Bilanzierung	63
4.8.2	Langjähriges Mittel der Grundwasserneubildung (Mittelwert: 1971-2000)	64
4.8.2.1	Tertiärhügelland	64
4.8.2.2	Quartär der Nebentäler im Tertiärhügelland	64
4.8.2.3	Quartär der Nebentäler im Malm	65
4.8.2.4	Südliches Donauquartär mit tertiären Einzugsgebieten	65
4.8.2.5	Malmteilräume und nördliches Donauquartär	70
4.8.2.6	Isarquartär und Einzugsgebiet im Tertiär	75
4.8.2.7	Tertiäre Einzugsgebiete der Amper und Laber	80
4.8.3	Reduzierte Grundwasserneubildung (Mittelwert: 2012-2021)	85
4.8.3.1	Tertiärhügelland	85
4.8.3.2	Quartär der Nebentäler im Tertiärhügelland	85
4.8.3.3	Quartär der Nebentäler im Malm	86
4.8.3.4	Südliches Donauquartär mit tertiären Einzugsgebieten	87
4.8.3.5	Malmteilräume und nördliches Donauquartär	91
4.8.3.6	Isarquartär und Einzugsgebiet im Tertiär	95
4.8.3.7	Tertiäre Einzugsgebiete der Amper und Laber	99
4.8.4	Ergebnisse der Bilanzierung	103
4.8.4.1	Tertiärhügelland	103

4.8.4.2	Südliches Donauquartär mit tertiären Einzugsgebieten	104
4.8.4.3	Malmteilräume und nördliches Donauquartär	105
4.8.4.4	Isarquartär und benachbarte Tertiärteilräume	106
4.8.4.5	Tertiäre Einzugsgebiete der Amper und Laber	107
5	Zusammenfassung und Ausblick	108
6	Hinweise zu den Begutachtungsgrundlagen bei Grundwasserentnahmen für die Bewässerung	110
7	Literaturverzeichnis	113

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1:	Lage des Untersuchungsgebietes	1
Abb. 2:	Naturräumlicher Überblick des Untersuchungsgebiets	2
Abb. 3:	Mittlere jährliche Niederschlagsmenge (oben) und mittlere Jahresdurchschnittstemperaturen (unten) im Untersuchungsgebiet im Zeitraum 1951-2021 (Temperatur: DWD Stationsdaten; Niederschlag: DWD HYRAS)	4
Abb. 4:	Schichtenfolge des Tertiärs im Bereich der Planungsregion 10 Ingolstadt (LFU, 2002, HK100)	6
Abb. 5:	Schematischer Profilschnitt Nord-Süd.(10-fach überhöht) (LfU, 2002, GK100)	7
Abb. 6:	Unterteilung der hydrogeologischen Einheiten im Modellgebiet	8
Abb. 7:	Häufigkeitsverteilung der aus Pumpversuchen ermittelten Durchlässigkeitsbeiwerte des Malm-Aquifers (LFU, 2002, HK100)	10
Abb. 8:	Ausschnitt Stratigraphische Tabelle von Deutschland 2016, Kennzeichnung der drei im Tertiär berücksichtigten Grundwasserleiter	11
Abb. 9:	Häufigkeitsverteilung der aus Pumpversuchen ermittelten Durchlässigkeitsbeiwerte in der Oberen Süßwassermolasse (LFU, 2002, HK100)	12
Abb. 10:	Grundwassererfüllte Mächtigkeit im Donauquartär (LFU, 2002, HK100)	13
Abb. 11:	Häufigkeitsverteilung der aus Pumpversuchen ermittelten Durchlässigkeitsbeiwerte der Quartärschotter im Donau- und Schuttertal (LFU, 2002, HK100)	14
Abb. 12:	Häufigkeitsverteilung der aus Pumpversuchen ermittelten Durchlässigkeitsbeiwerte der quartären Talfüllung im Isartal (LFU, 2007, HK100)	15
Abb. 13:	Untersuchungsgebiet mit hydrogeologischen Teilräumen und Grundwassermessstellen des Landesgrundwasserdienstes (LGD)	16
Abb. 14:	Ausgewählte Grundwasserganglinien im Bereich des offenen Malms	17
Abb. 15:	Ausgewählte Grundwasserganglinien im Bereich des überdeckten Malms	17
Abb. 16:	Ausgewählte Grundwasserganglinien im Tertiär im Bereich Donaumoos und östlich des Donaumooses	18
Abb. 17:	Ausgewählte Grundwasserganglinien im Tertiär im Bereich südlich der Isar	19
Abb. 18:	Ausgewählte Grundwasserganglinien im Tertiär im zentralen und östlichen Bereich des Modellgebiets	19
Abb. 19:	Ausgewählte Grundwasserganglinien im Quartär	20
Abb. 20:	Lage der im Untersuchungsgebiet betrachteten gewässerkundlichen Messstellen (Pegel)	23
Abb. 21:	Übersicht der genehmigten bilanzrelevanten Grundwasserentnahmen im Untersuchungsgebiet	30
Abb. 22:	Verteilung der Entnahmen aus Quellen im Untersuchungsgebiet	35
Abb. 23:	Verteilung der Oberflächenwasserentnahmen (gelb), sowie Einleitungen kommunaler und industrieller Abwasserbehandlungen	37
Abb. 24:	Modellgebiet mit Teilräumen und Randbedingungen (Schwarz=No-Flow, Blau=Zufluss, Rot=Abfluss)	40

Abb. 25:	Schemaprofil des Donauquartärs und dessen Tertiären Einzugsgebiet im hydrogeologischen Modell Hallertau, Jurahopfen, Ingolstädter Becken	41
Abb. 26:	Gesamtabfluss im Untersuchungsgebiet Hallertau im langjährigen Mittel 1971-2000 und 2012-2021	48
Abb. 27:	Grundwasserneubildung aus Niederschlag im Untersuchungsgebiet Hallertau. Gegenüberstellung des langjährigen Mittels und des reduzierten Dargebots	49
Abb. 28:	Jährliche Grundwasserneubildung im Untersuchungsgebiet Hallertau im Zeitraum 1951-2021.	50
Abb. 29:	Lage der betrachteten relevanten Abflussmessstationen zur Quantifizierung der Abflusserhöhung	52
Abb. 30:	Abgeschätztes Einzugsgebiet der Donau zwischen den betrachteten Pegeln sowie genehmigte Grundwasserentnahmen im Untersuchungsgebiet	54
Abb. 31:	Geographische Lage der berechneten horizontalen Zuströme im Modellgebiet	56
Abb. 32:	Schemaprofil des hydrogeologischen Modells	58
Abb. 33:	Bereiche im Quartär, die Züsickerung aus dem Malm erfahren. Grafik abgeändert nach ISAR CONSULT, 1997	61
Abb. 34:	Grundwasserbilanz der südlich der Donau gelegenen Teilräume (mittlere Grundwasserneubildung 1971-2000)	68
Abb. 35:	Grundwasserbilanz der südlich der Donau gelegenen Teilräume in prozentualen Anteilen (mittlere Grundwasserneubildung 1971-2000)	69
Abb. 36:	Grundwasserbilanz der nördlich der Donau gelegenen Teilräume (mittlere Grundwasserneubildung 1971-2000)	73
Abb. 37:	Grundwasserbilanz der nördlich der Donau gelegenen Teilräume in prozentualen Anteilen (mittlere Grundwasserneubildung 1971-2000)	74
Abb. 38:	Grundwasserbilanz des Isarquartärs und der anliegenden tertiären Teilräume (mittlere Grundwasserneubildung 1971-2000)	78
Abb. 39:	Grundwasserbilanz des Isarquartärs und der anliegenden tertiären Teilräume in prozentualen Anteilen (mittlere Grundwasserneubildung 1971-2000)	79
Abb. 40:	Grundwasserbilanz der Tertiärteilräume 06_T_EZG_Amper und 07_T_EZG_gr_Laber (mittlere Grundwasserneubildung 1971-2000)	83
Abb. 41:	Grundwasserbilanz der Tertiärteilräume 06_T_EZG_Amper und 07_T_EZG_gr_Laber, in prozentualen Anteilen (mittlere Grundwasserneubildung 1971-2000)	84
Abb. 42:	Grundwasserbilanz der südlich der Donau gelegenen Teilräume (mittlere Grundwasserneubildung 2012-2021)	89
Abb. 43:	Grundwasserbilanz der südlich der Donau gelegenen Teilräume in prozentualen Anteilen (mittlere Grundwasserneubildung 2012-2021)	90
Abb. 44:	Grundwasserbilanz der nördlich der Donau gelegenen Teilräume (mittlere Grundwasserneubildung 2012-2021)	93
Abb. 45:	Grundwasserbilanz der nördlich der Donau gelegenen Teilräume in prozentualen Anteilen (mittlere Grundwasserneubildung 2012-2021)	94
Abb. 46:	Grundwasserbilanz des Isarquartärs und der umgebenden Tertiärteilräume (mittlere Grundwasserneubildung 2012-2021)	97

Abb. 47:	Grundwasserbilanz des Isarquartärs und der umgebenden Teilräume in prozentualen Anteilen (mittlere Grundwasserneubildung 2012-2021)	98
Abb. 48:	Grundwasserbilanz der Tertiärteilräume 06_T_EZG_Amper und 07_T_EZG_gr_Laber (mittlere Grundwasserneubildung 2012-2021)	101
Abb. 49:	Grundwasserbilanz der Tertiärteilräume 06_T_EZG_Amper, 07_T_EZG_gr_Laber in prozentualen Anteilen (mittlere Grundwasserneubildung 2012-2021)	102
Abb. 50:	Grundwassersystem im Tertiärhügelland	111
Abb. 51:	Bereiche der Grundwasserbilanzierung in Hinblick auf oberflächennahes Grundwasser (schnell-regenerierend) und Tiefengrundwasser (langsam-regenerierend)	112

Tabellenverzeichnis

Tab. 1:	Charakterisierung der Grundwässer nach Grundwasserleitern (aus LFU, 2002, 2007 HK100)	21
Tab. 2:	Langjährige statistische Abflusswerte der Gewässer im Modellgebiet	24
Tab. 3:	Genehmigten Grundwasserentnahmen [m ³ /a] unterteilt auf deren geografische Lage innerhalb der unter Kapitel 4.3 erläuterten Teilräume (Stand 2019)	26
Tab. 4:	Anteil der Entnahmen mit dokumentierten Messdaten, sowie Ausschöpfungsgrad der genehmigten Entnahmemengen (Stand: 2019)	26
Tab. 5:	Nicht bilanzrelevante genehmigte Grundwasserentnahmen der Bewässerung aufgeteilt auf Grundwasserleiter	28
Tab. 6:	Nicht bilanzrelevante genehmigte Grundwasserentnahmen der öffentlichen Wasserversorgung aufgeteilt auf Grundwasserleiter	28
Tab. 7:	Nicht bilanzrelevante genehmigte Grundwasserentnahmen für sonstige Zwecke aufgeteilt auf Grundwasserleiter	29
Tab. 8:	Genehmigte bilanzrelevante Grundwasserentnahmen [m ³ /a] unterteilt auf die Teilräume (Stand 2019)	31
Tab. 9:	Genehmigte bilanzrelevante Grundwasserentnahmen zur Bewässerung [m ³ /a] unterteilt auf Teilräume und genutzte Grundwasserleiter (Stand 2019)	32
Tab. 10:	Genehmigte bilanzrelevante Grundwasserentnahmen für sonstige Zwecke [m ³ /a] unterteilt auf Teilräume und genutzte Grundwasserleiter (Stand 2019)	33
Tab. 11:	Genehmigte bilanzrelevante Grundwasserentnahmen zur öffentlichen Wasserversorgung [m ³ /a] unterteilt auf Teilräume und genutzte Grundwasserleiter (Stand 2019)	34
Tab. 12:	Genehmigte Jahresentnahmemenge der Quelfassungen im Untersuchungsgebiet [m ³ /a]	36
Tab. 13:	Oberflächengewässerentnahmen im Untersuchungsgebiet in [m ³ /a]	38
Tab. 14:	Grundwasserneubildungsraten aus Niederschlag in den hydrogeologischen Teilräumen im Modellgebiet	51
Tab. 15:	Abflussdaten der Pegel an der Donau	53
Tab. 16:	Bilanzierung der Abflusserhöhung der Donau in m ³ /s	54
Tab. 17:	Berechnung des Randzustroms nach Darcy	55
Tab. 18:	Auswahl der Pegel für die Abschätzung der Leckage vom Grundwasserleiter T1 zu T2	59
Tab. 19:	Detailanalyse Pegel Geisenfeld an der Ilm. Leckageabschätzung vom Grundwasserleiter T2 zum Grundwasserleiter T3	60
Tab. 20:	Zusammenfassende Auflistung der angenommenen Leckageraten (vgl. Abb. 32)	61
Tab. 21:	Zustrommengen aus dem Malmgrundwasserleiter in den quartären Grundwasserleiter (Donauquartär)	62
Tab. 22:	Malmzustrom im Donauquartär	62

Tab. 23:	Nutzungsgrad der unterschiedlichen Grundwasserleiter in den verschiedenen Teilräumen, unter Verwendung der mittleren Grundwasserneubildung für den Zeitraum 2012 – 2021	63
Tab. 24:	Bilanzierung des Grundwasserumsatz der quartären Ablagerungen im Paartal, Bilanzgrößen in [m ³ /a]	64
Tab. 25:	Bilanzierung des Grundwasserumsatz der quartären Ablagerungen im Ilmtal, Bilanzgrößen in [m ³ /a]	64
Tab. 26:	Bilanzierung des Grundwasserumsatz der quartären Ablagerungen im Abenstal, Bilanzgrößen in [m ³ /a]	65
Tab. 27:	Bilanzierung des Grundwasserumsatz der quartären Ablagerungen der Großen Laber, Bilanzgrößen in [m ³ /a]	65
Tab. 28:	Bilanzierung des Grundwasserumsatz der quartären Ablagerungen der Amper, Bilanzgrößen in [m ³ /a]	65
Tab. 29:	Grundwasserbilanz der südlich der Donau gelegenen Teilräume (mittlere Grundwasserneubildung 1971-2000)	66
Tab. 30:	Grundwasserbilanz der südlich der Donau gelegenen Teilräume in prozentualen Anteilen (mittlere Grundwasserneubildung 1971-2000)	67
Tab. 31:	Grundwasserbilanz der nördlich der Donau gelegenen Teilräume (mittlere Grundwasserneubildung 1971-2000)	71
Tab. 32:	Grundwasserbilanz der nördlich der Donau gelegenen Teilräume in prozentualen Anteilen (mittlere Grundwasserneubildung 1971-2000)	72
Tab. 33:	Grundwasserbilanz des Isarquartärs und der umgebenden Tertiärteilräume (mittlere Grundwasserneubildung 1971-2000)	76
Tab. 34:	Grundwasserbilanz des Isarquartärs und der umgebenden Tertiärteilräume in prozentualen Anteilen (mittlere Grundwasserneubildung 1971-2000)	77
Tab. 35:	Grundwasserbilanz der Tertiärteilräume 06_T_EZG_Amper und 07_T_EZG_gr_Laber (mittlere Grundwasserneubildung 1971-2000)	81
Tab. 36:	Grundwasserbilanz der Tertiärteilräume 06_T_EZG_Amper und 07_T_EZG_gr_Laber, in prozentualen Anteilen (mittlere Grundwasserneubildung 1971-2000)	82
Tab. 37:	Bilanzierung des Grundwasserumsatz der quartären Ablagerungen im Paartal Bilanzgrößen in [m ³ /a]	85
Tab. 38:	Bilanzierung des Grundwasserumsatz der quartären Ablagerungen im Ilmtal Bilanzgrößen in [m ³ /a]	85
Tab. 39:	Bilanzierung des Grundwasserumsatz der quartären Ablagerungen im Abenstal Bilanzgrößen in [m ³ /a]	85
Tab. 40:	Bilanzierung des Grundwasserumsatz der quartären Ablagerungen der Großen Laber Bilanzgrößen in [m ³ /a]	85
Tab. 41:	Bilanzierung des Grundwasserumsatz der quartären Ablagerungen der Amper, Bilanzgrößen in [m ³ /a]	86
Tab. 42:	Grundwasserbilanz der südlich der Donau gelegenen Teilräume (mittlere Grundwasserneubildung 2012-2021)	87

Tab. 43:	Grundwasserbilanz der südlich der Donau gelegenen Teilräume in prozentualen Anteilen (mittlere Grundwasserneubildung 2012-2021)	88
Tab. 44:	Grundwasserbilanz der nördlich der Donau gelegenen Teilräume (mittlere Grundwasserneubildung 2012-2021)	91
Tab. 45:	Grundwasserbilanz der nördlich der Donau gelegenen Teilräume in prozentualen Anteilen (mittlere Grundwasserneubildung 2012-2021)	92
Tab. 46:	Grundwasserbilanz des Isarquartärs und der umgebenden Tertiärteilräume (mittlere Grundwasserneubildung 2012-2021)	95
Tab. 47:	Grundwasserbilanz des Isarquartärs und der umgebenden Teilräume in prozentualen Anteilen (mittlere Grundwasserneubildung 2012-2021)	96
Tab. 48:	Grundwasserbilanz der Tertiärteilräume 06_T_EZG_Amper und 07_T_EZG_gr_Laber (mittlere Grundwasserneubildung 2012-2021)	99
Tab. 49:	Grundwasserbilanz der Tertiärteilräume 06_T_EZG_Amper, 07_T_EZG_gr_Laber in prozentualen Anteilen (mittlere Grundwasserneubildung 2012-2021)	100

Anlagenverzeichnis

Anlage 1: Übersichtslageplan mit Entnahmen

Anlage 2: Hydrogeologischer Überblick und

Geologische Profilschnitte (aus HK100 Planungsregion 10, 13)

Anlage 3: Grundwasserhöhengleichen Malm, Tertiär und Quartär

Anlage 4/1: Grundwasserflurabstände des Quartärs

Anlage 4/2: Grundwasserflurabstände des Donauquartärs

Anlage 4/3: Grundwasserflurabstände des Isarquartärs

Anlage 5/1: Unterkante des Quartärs

Anlage 5/2: Unterkante des Donauquartärs

Anlage 5/3: Unterkante des Isarquartärs

Anlage 6/1: Mächtigkeit des Quartärs

Anlage 6/2: Mächtigkeit des Donauquartärs

Anlage 6/3: Mächtigkeit des Isarquartärs

Anlage 7/1: Grundwassererfüllte Mächtigkeit des Quartärs

Anlage 7/2: Grundwassererfüllte Mächtigkeit des Donauquartärs

Anlage 7/3: Grundwassererfüllte Mächtigkeit des Isarquartärs

Anlage 8: Fließgewässernetz mit Pegeln

Anlage 9: Modellraum mit Teilräumen und Modellrandbedingungen

Anlage 10/1: Bilanzierung der Grundwasserleiter im Tertiär (GWN: 1971 - 2000)

Anlage 10/2: Bilanzierung der Grundwasserleiter im Tertiär (GWN: 2012 - 2021)

Anlage 11: Modellraum mit Teilräumen und Grundwasserumsätzen

Anlage 12: Grundwasserganglinien

Anlage 13: Pegelganglinien

Anlage 14: Methodik Modellierung Grundwasserneubildung, Anpassung des Baseflow-Index

Anlage 15: Begutachtungsgrundlagen bei Grundwasserentnahmen für die Bewässerung im Bereich des Tertiärhügellandes

1 Naturräumliche Verhältnisse

1.1 Lage des Untersuchungsgebietes

Das Untersuchungsgebiet liegt schwerpunktmäßig in den Regierungsbezirken Ober- und Niederbayern sowie randlich im Regierungsbezirk Schwaben (Abb. 1). Es umfasst neben der zentral gelegenen kreisfreien Stadt Ingolstadt und dem Landkreis Pfaffenhofen a. d. Ilm, die Landkreise Eichstätt im Norden, Neuburg-Schrobenhausen und Aichach-Friedberg im Westen, Kelheim, Landshut und die Stadt Landshut im Nordosten und Osten sowie Freising im Süden. Das Untersuchungsgebiet erstreckt sich auf einer Fläche von ca. 4.400 km².

Das Untersuchungsgebiet wird durch die topographischen Karten im Maßstab 1:50 000 Blätter L7132 Eichstätt, L7134 Kösching, L7136 Kelheim, L7332 Neuburg a. d. Donau, L7334 Ingolstadt, L7336 Mainburg, L7338 Rottenburg, L7340 Dingolfing, L7532 Schrobenhausen, L7534 Pfaffenhofen a. d. Ilm, L7536 Freising, L7538 Landshut, L7540 Vilsbiburg, L7732 Altomünster, L7738 Dorfen abgedeckt

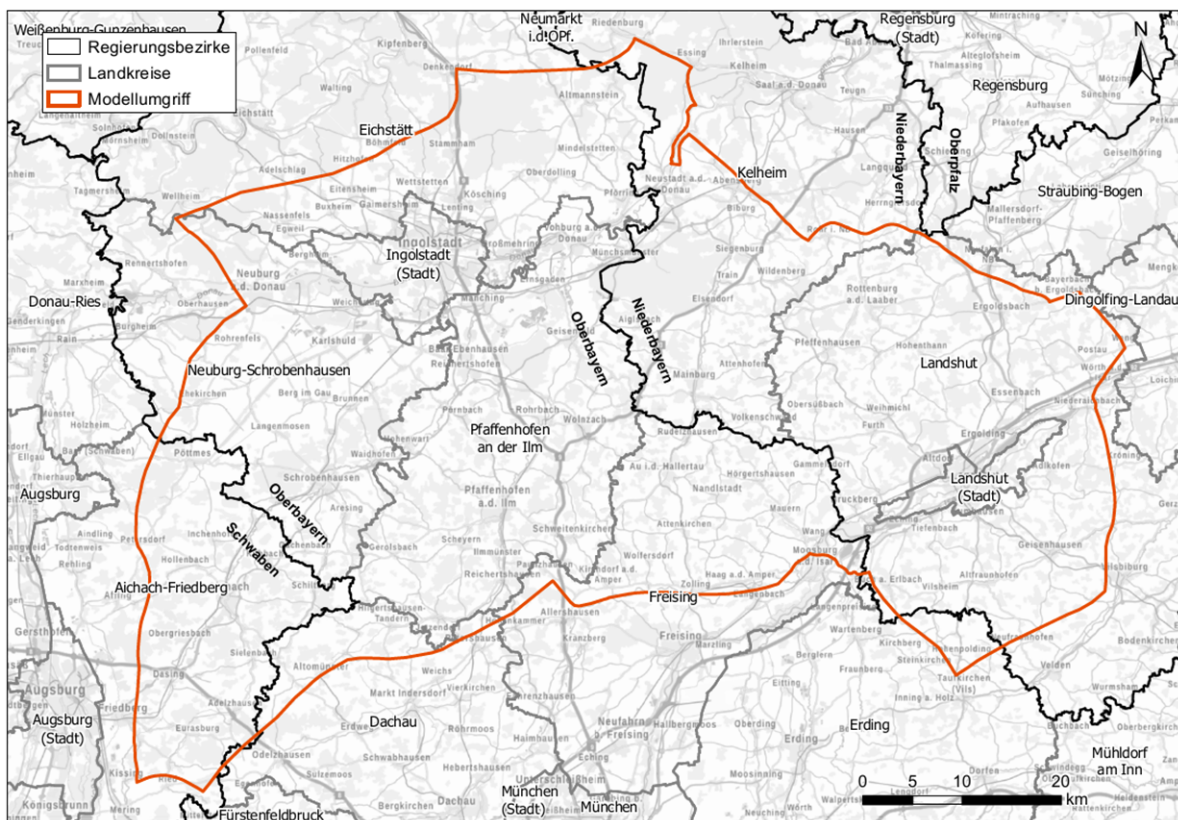


Abb. 1: Lage des Untersuchungsgebietes

1.2 Morphologischer und hydrographischer Überblick

Innerhalb des Untersuchungsgebietes können fünf größere Landschaftseinheiten unterschieden werden. Der Großteil des südlichen Untersuchungsgebietes liegt innerhalb des Donau-Isar-Hügellands, weiter im Osten folgt das Untere Isartal, sowie südlich der Isar das Isar-Inn-Hügelland. Nördlich des Donau-Isar-Hügellands schließt das Donaumoos mit dem Donautal an, welches nördlich der Donau in die Südliche Frankenalb übergeht. An der Westgrenze des Gebiets erfolgt der Übergang zu den Donau-Iller-Lech-Platten mit der Aindlinger Terrassentreppe (Abb. 2 und Anlage 1).

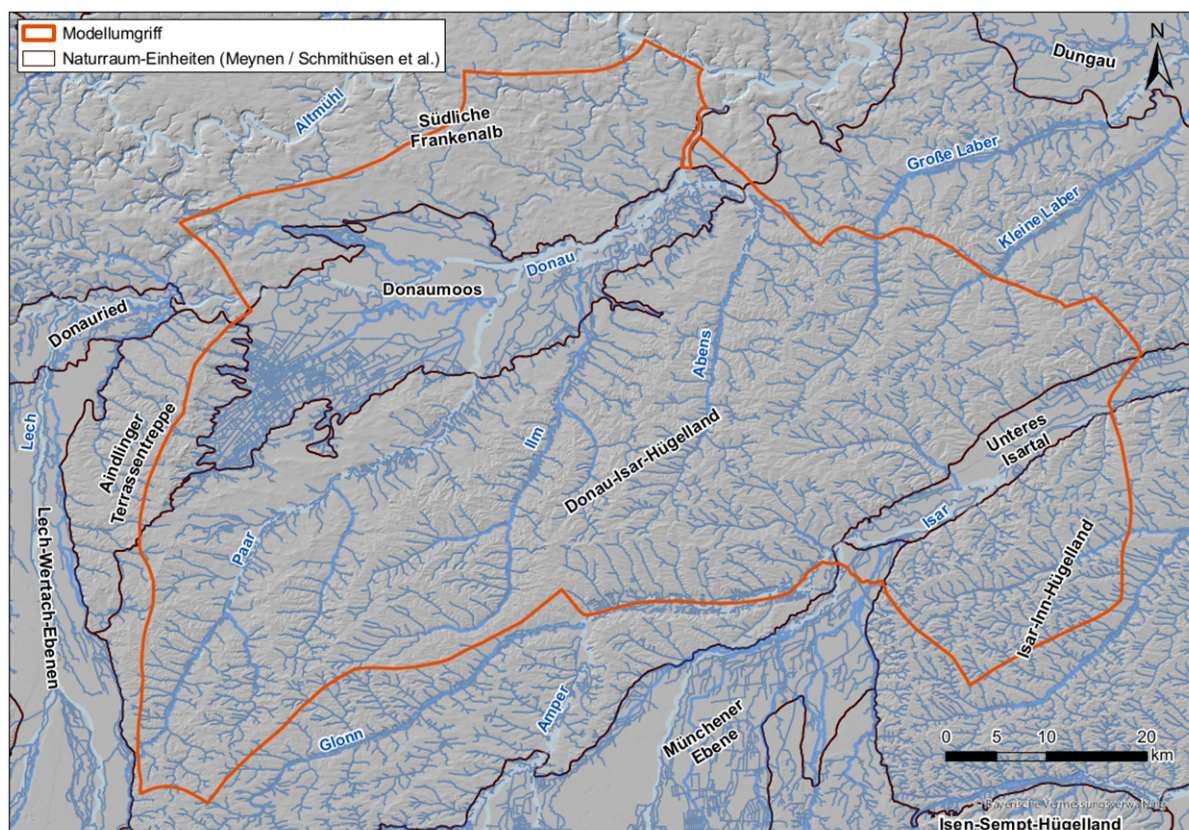


Abb. 2: Naturräumlicher Überblick des Untersuchungsgebiets

Am Westrand des Untersuchungsgebietes fließt im Bereich der Fränkischen Alb die Schutter in das Modellgebiet hinein und mündet bei Ingolstadt in die Donau. Die Donau bzw. das Donautal, zu dem auch das Ingolstädter Becken zählt, teilt das Untersuchungsgebiet in einen nördlichen Teil, der der Fränkischen Alb zuzuordnen ist und in einen südlichen Teil, der dem Unterbayerischen Hügelland und den Isar-Inn-Schotterplatten, die zum bayerischen Molassebecken gehören, zugeordnet wird. Vom ebenen Donautal und Donaumoos erfolgt im Süden der Anschluss an das Donau-Isar-Hügelland, welches, bedingt durch das Vorherrschen tertiärer Sedimente, auch Tertiärhügelland genannt wird (LFU, 2002, GK100). Innerhalb des Tertiärhügellandes durchziehen die Täler der Paar, Ilm und Abens die Landschaftseinheit. Das Gebiet weist, bedingt durch zahlreiche Seitentäler, eine kleinräumige Reliefkammerung auf, mit der eine hohe Reliefenergie mit erhöhtem Oberflächenabflussanteil verbunden ist (PRÖSL, 2011). Das Tertiärhügelland etwa östlich der Paar ist auch als Hallertau bekannt (LFU, 2002, GK100). Im südöstlichen Bereich des Untersuchungsgebietes fließt die Isar im Unteren Isartal durch das Gebiet und schießt unmittelbar an das „Hydrogeologische Modell Osterhofener Platte, Unteres Isartal und Vilstal“ (LFU, 2021) an.

1.3 Meteorologische Verhältnisse

Im langjährigen Mittel von 1951-2021 betrug die durchschnittliche jährliche Niederschlagsmenge im Untersuchungsgebiet 771 mm/a. Damit liegt der Niederschlag in dem Gebiet 15 % unter dem bayernweiten Mittel von 911 mm/a. Die Jahresniederschläge zeigen einen deutlichen Jahresgang: 61 % (470 mm) der Niederschläge fielen während des hydrologischen Sommerhalbjahres (Mai-Oktober) und 39 % (301 mm) während des hydrologischen Winterhalbjahres (November-April).

Während die Jahresniederschläge eine stabile Variabilität in den 1980er und 1990er Jahren aufwiesen, gefolgt von einem Anstieg Anfang 2000, nehmen die jährlichen Niederschläge seit dem Jahr 2002 ab und liegen seit 2011 meist unter der durchschnittlichen Jahresniederschlagsmenge (Abb. 3).

Im langjährigen Mittel von 1951-2021 liegt die Jahresdurchschnittstemperatur mit 8,4°C über dem bayernweiten Mittel von 8°C. Die höchste monatliche Durchschnittstemperatur von 17,9 °C wird im Juli erreicht. Der Januar ist mit -1,3°C am kältesten. Auffallend und im Vergleich zum Niederschlagstrend ist eine deutliche Zunahme der Jahresdurchschnittstemperatur im Zeitraum 1951 bis 2021 festzustellen (Abb. 3). So traten seit Anfang der 1990er-Jahre im Untersuchungsgebiet fast ausschließlich überdurchschnittlich warme Jahre auf.

Die reale mittlere jährliche Verdunstung (1951-2021) liegt im Untersuchungsgebiet mit 558 mm/a über dem bayernweiten Mittel von 530 mm/a. Mit Verdunstungsraten von 421 mm/a (75 %) im hydrologischen Sommerhalbjahr und 137 mm/a (25 %) im hydrologischen Winterhalbjahr zeigt die aktuelle Verdunstung einen ausgeprägten Jahresgang.

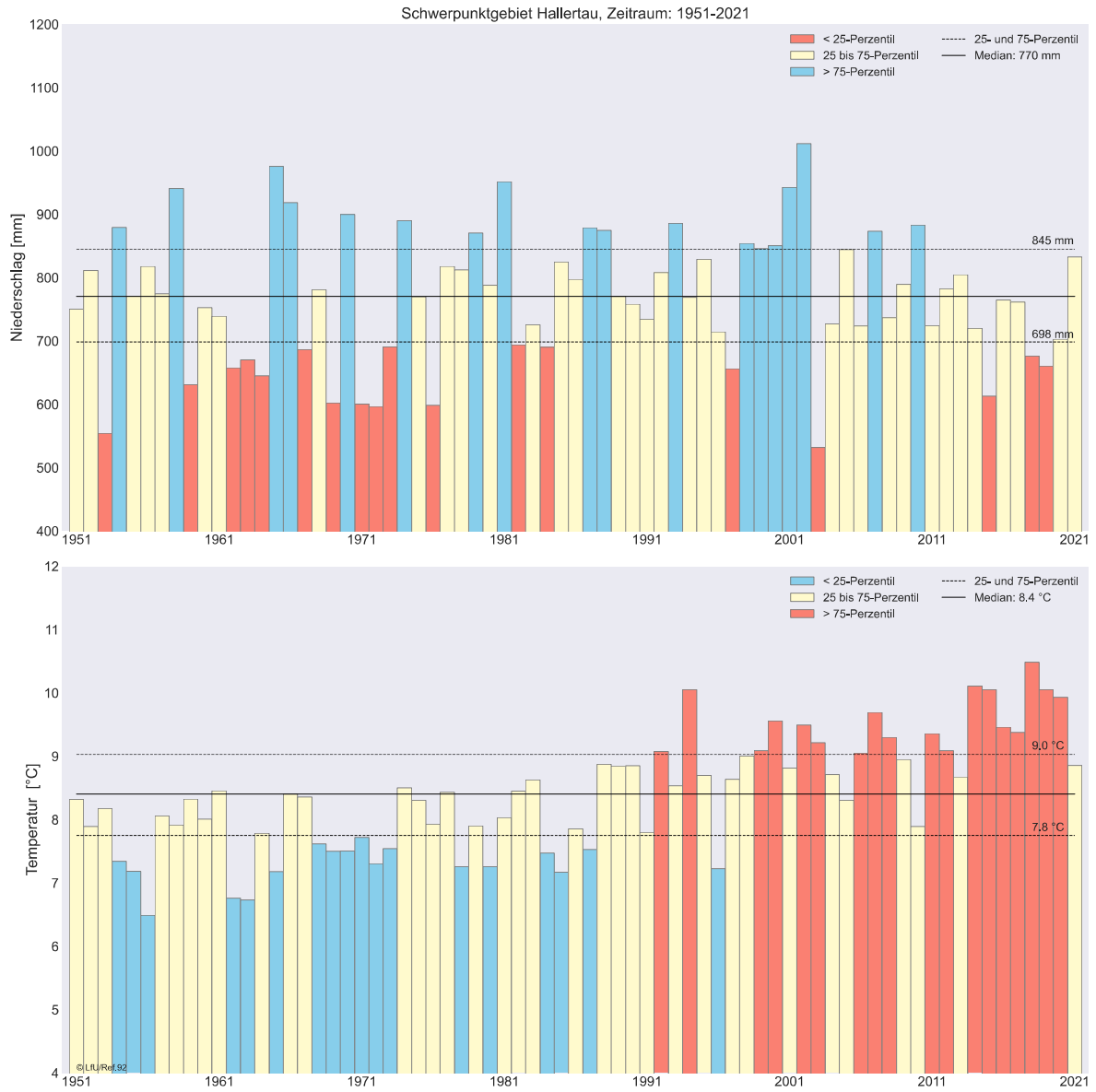


Abb. 3: Mittlere jährliche Niederschlagsmenge (oben) und mittlere Jahresdurchschnittstemperaturen (unten) im Untersuchungsgebiet im Zeitraum 1951-2021 (Temperatur: DWD Stationsdaten; Niederschlag: DWD HYRAS)

1.4 Geologische Verhältnisse

Die Einteilung der Landschaft in unterschiedliche Einheiten (siehe Kap. 1.2) ist überwiegend geologisch bedingt. Das Untersuchungsgebiet umfasst weite Teile des Tertiärhügellandes, dessen innerhalb der Modellregion aufgeschlossene Sedimente, sind fast ausschließlich der Oberen Süßwassermolasse zuzuordnen. An das Tertiärhügelland schließt nördlich das Donauquartär an, welches sich im Bereich des Ingolstädter Beckens auf einer Breite von über 10 km erstreckt. Im westlichen Teil werden die quartären Schotter durch das Donaumoos überlagert, welches zudem Teile des Tertiärs umfasst. Nördlich des Donauquartärs stehen die jurassischen Sedimente des Oberen Juras an. Die verwitterungsresistenteren Malmkalke bilden hier eine Schichtstufe.

Eine detaillierte Beschreibung der geologischen Verhältnisse im Untersuchungsgebiet ist folgenden Erläuterungen zu den geologischen Karten (1:25 000) zu entnehmen: 7033 Titting, 7034 Kipfenberg, 7035 Schamhaupten, 7037 Kelheim, 7132 Dollnstein, 7133 Eichstätt, 7134 Gaimersheim, 7135 Kösching, 7136 Neustadt a. d. Donau, 7137 Abensberg, 7232 Burgheim Nord, 7233 Neuburg a. d. Donau, 7234 Ingolstadt, 7235 Vohburg a. d. Donau, 7332 Burgheim Süd, 7333 Karlshuld, 7334 Reichertshofen, 7433 Schrobenhausen, 7434 Hohenwart, 7435 Pfaffenhofen a. d. Ilm, 7534 Petershausen, 7535 Allershausen, 7536 Freising Nord.

Einen Überblick über den geologischen Aufbau und die Schichtlagerung gibt das in Abb. 5 dargestellte schematische geologische Nord-Süd-Profil mit dem Querschnitt durch die obersten 1,5 km der Erdkruste. Die anstehenden geologischen Einheiten nach der Hydrogeologischen Karte 1:500 000 (LFU, 2009, HK500) sind Anlage 2 zu entnehmen.

Im Folgenden wird nur auf jene stratigraphische Einheiten näher eingegangen, die für das vorliegende Modell (vgl. Kapitel 4) von Relevanz sind.

1.4.1 Jura

Nördlich des Donautals prägen die Gesteine des Oberen Jura (Malm) die Südliche Frankenalb innerhalb des Untersuchungsgebietes. Von der ursprünglich über 500 m mächtigen Abfolge sind nördlich der Donau noch bis zu 300 m erhalten. Die Malmplatte taucht im Bereich der Donau unter die tertiären Molasseablagerungen und das Donauquartär nach Süden hin ab (LFU, 2002, HK100).

1.4.2 Tertiär

Südlich des Donautals treten die Sedimente der Oberen Süßwassermolasse zu Tage, lokal können diese durch geringmächtige quartäre Sedimente überlagert sein. Es bestehen zum Teil gering mächtige quartäre Ablagerungen in den Flusstälern (bis zu ca. 14 m) der Paar, Ilm und Abens.

Die tertiären Sedimente der Oberen Süßwassermolasse setzen sich aus Abfolgen von Sanden, Kiesen sowie zum Teil feinkörnigen tonigen und schluffigen Sedimenten zusammen. Oftmals bestehen Unterschiede in der faziellen Ausprägung zwischen dem westlichen und östlichen Teil des Molassebeckens (Abb. 4). Im südlichen höher gelegenen Teil des Modellgebiets existieren geringmächtige Lagen der Hangendserie (Westen) und Mischserie (Osten). Darunter folgen im Westen die Geröllsandserie mit von Südosten nach Nordwesten zunehmenden Mächtigkeiten von bis zu 90 m und im Osten die Nördliche Vollschotter-Abfolge mit Mächtigkeiten von bis zu 150 m. Im Übergang vom Tertiärhügelland zum Donauquartär streichen die Fluviatile Untere Serie im Westen bzw. im Osten die Fluviatilen Süßwasserschichten aus. Während die Fluviatilen Süßwasserschichten im Osten in einem relativ schmalen Band von überwiegend unter ca. 5 km ausstreichen, erstreckt sich die räumliche Ausbreitung der Fluviatilen Unteren Serie über den Großteil des Donaumooses und dem Flusstal der Paar ab Aichach stromabwärts. Im Bereich des Donaumooses werden die tertiären Schichten durch ein bis zu

6 m mächtiges Niedermoor überdeckt (LFU, 2002, GK100 und HK100). Einen generellen Überblick über die Schichtenfolge des Tertiärs gibt Abb. 4.

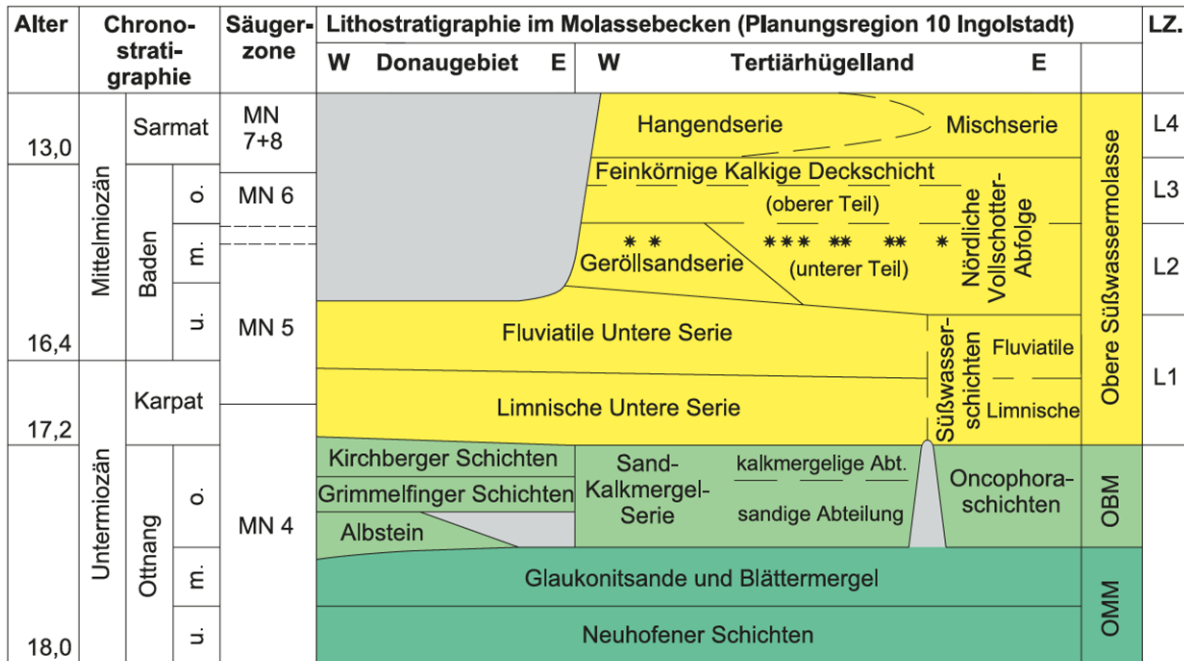


Abb. 4: Schichtenfolge des Tertiärs im Bereich der Planungsregion 10 Ingolstadt (LFU, 2002, HK100)

1.4.3 Quartär

Im Donautal überwiegen quartäre Flussablagerungen, die vorherrschend als Karbonatschotter abgelagert sind und teilweise von Auesedimenten bzw. Verschwemmungsablagerungen überdeckt sind (LFU, 2002, HK100). Während des Quartärs wurden meist über Molassesedimenten, bei Vohburg auch über Malm bzw. Kreide bis zu 12 m mächtige fluviatile Sande und Kiese abgelagert.

Die quartären Ablagerungen ab Neuburg a. d. Donau in Richtung Osten werden dem Ingolstädter Becken zugeordnet. Nach Osten wird das Donautal im Bereich Münchsmünster durch das Tertiärhügelland an seiner Südseite deutlich eingengt, bis es außerhalb des Untersuchungsgebietes in das Weltenburger Durchbruchstal übergeht (LFU, 2002, HK100).

Im Isartal überlagern die quartären Talfüllungen die tertiäre Nördliche Vollschotter-Abfolge und Schichten der Oberen Süßwassermolasse. Dabei steht das Quartär in hydraulischem Kontakt zum jeweiligen Unterlager. Die Quartärmächtigkeiten liegen im Isartal im Mittel bei ca. 6,5 m (LFU, 2007, HK100).

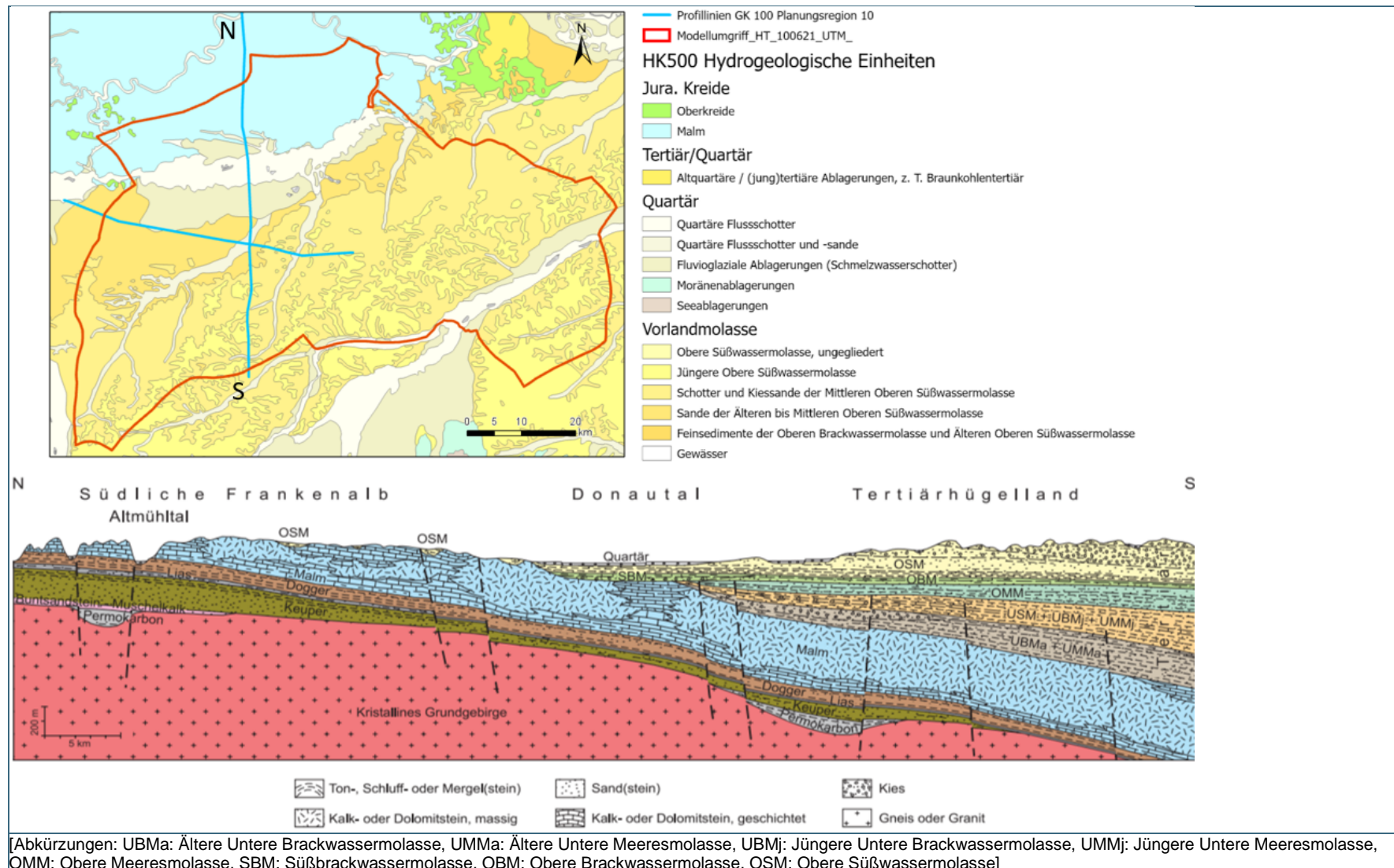


Abb. 5: Schematischer Profilschnitt Nord-Süd.(10-fach überhöht) (LfU, 2002, GK100)

1.5 Hydrogeologische Verhältnisse

Die hydrogeologischen Verhältnisse des Untersuchungsgebiets sind in folgenden hydrogeologischen Karten und Gutachten umfassend dargestellt: Hydrogeologische Karten (1:50 000) L7132 Eichstätt, L7134 Kösching, L7332 Neuburg a. d. Donau, L7334 Ingolstadt, L7336 Mainburg, L7338 Rottenburg, L7534 Pfaffenhofen, L7538 Landshut, L7540 Vilsbiburg, Hydrogeologische Karte 1:100 000 (LFU, 2002 UND 2007, HK100) der Planungsregionen 10 und 13, sowie den Gutachten „Hydrogeologisches Gesamtkonzept zur Wassergewinnung für die Hopfenbewässerung in der Hallertau“ des Sachverständigen Büro für Grundwasser (PRÖSL 2009) und „Bilanzierung der Grundwasservorkommen innerhalb der Gesteine der tertiären Oberen Süßwassermolasse im Großraum München“ (PRÖSL, 2011). Die hydrogeologischen Profilschnitte zur Hydrogeologischen Karte 1:100 000 (LFU, 2002 UND 2007, HK100) sind Anlage 2 zu entnehmen.

Abb. 6 zeigt die im Rahmen dieses hydrogeologischen Modells vorgenommene Unterteilung der hydrogeologischen Einheiten in Anlehnung an die bestehenden hydrogeologischen Karten und Gutachten. Im Folgenden werden die hydrogeologischen Einheiten und die Unterteilung näher beschrieben.

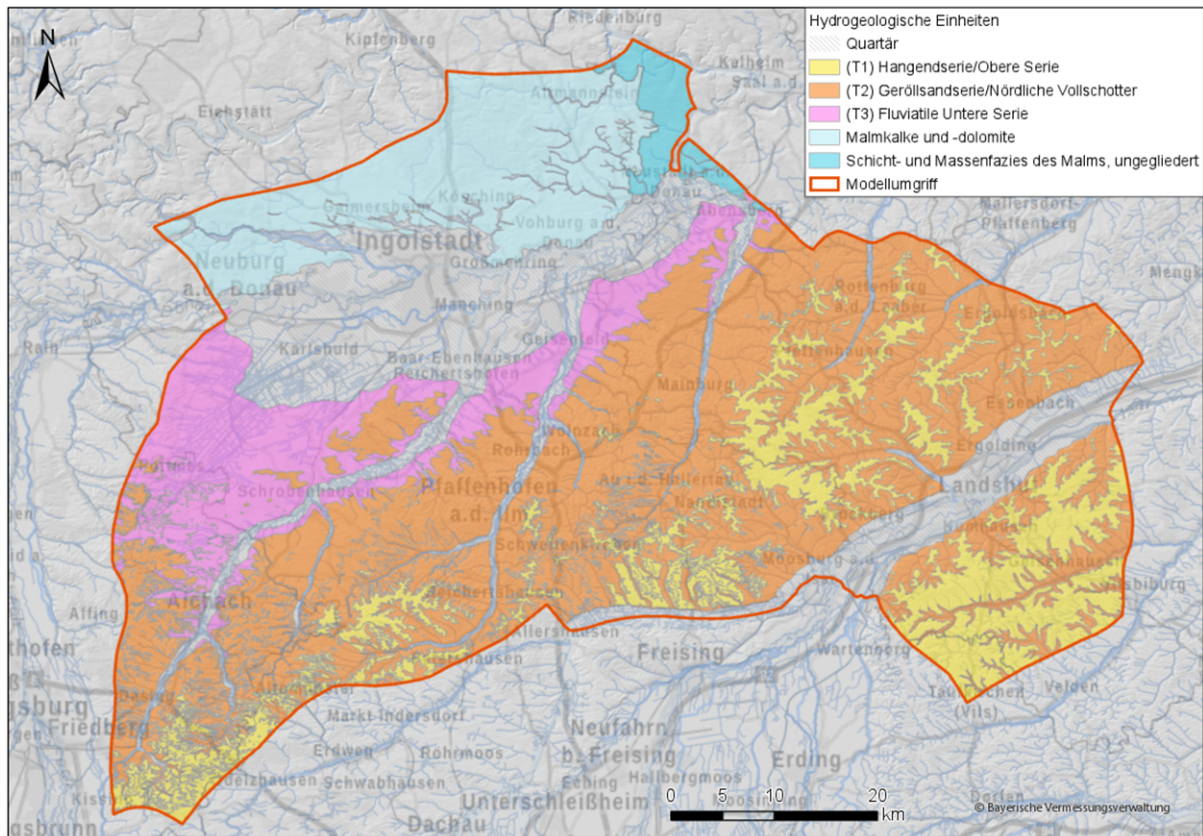


Abb. 6: Unterteilung der hydrogeologischen Einheiten im Modellgebiet

1.5.1 Grundwasserleiter im Jura

Die gut geklüfteten und bereichsweise verkarsteten Karbonatgesteine des Malms bilden innerhalb des Untersuchungsgebietes nördlich der Donau den wichtigsten, weiträumig an der Erdoberfläche anstehenden Grundwasserleiter (LFU, 2002, HK100). Die Gesteine stellen einen sehr inhomogenen Grundwasserleiter hinsichtlich hydraulischer Kennwerte dar. Das zeigen die aus ca. 80 Pumpversuchen ermittelten Durchlässigkeitsbeiwerte, die im Untersuchungsgebiet der Planungsregion 10 (LFU, 2002, HK100) mit Werten zwischen $2 \cdot 10^{-3}$ m/s und $6 \cdot 10^{-7}$ m/s schwanken (Abb. 7). Je nach Überdeckungsgrad der Malmschichten wird zwischen überdeckten und offenen Karst unterschieden.

Die Grundwasserdargebotskomponenten im Malmgrundwasserleiter setzen sich aus dem Süddeutschen Molassebecken stammenden Randzustrom, der flächenhaften vertikalen Zusickerung von altem Grundwasser durch die mächtigen Tertiärsedimente im Bereich des überdeckten Malms und der Grundwasserneubildung jüngeren Grundwassers im offenen Malm zusammen. Die Grundwasserneubildungsrate im offenen Malm ist um etwa zwei Zehnerpotenzen größer als im überdeckten Malm (ISAR CONSULT, 1997).

Isotopenhydrologische Untersuchungen weisen im Norden, im Bereich des offenen Malms darauf hin, dass eine lokale Grundwasserneubildung im offenen Malm erfolgt und die Wässer am aktuellen Grundwasserkreislauf teilnehmen. Nach Süden hin nehmen die Grundwasseralter zu und erreichen im überdeckten Malm sehr hohe Grundwasseralter von mehreren Tausend Jahren, was gleichzeitig auf einen geringen Grundwasserumsatz hindeutet (ISAR CONSULT, 1997).

Hinsichtlich Grundwasseralter ist im zentralen Bereich des Ingolstädter Beckens die zuströmende Grundwasserkomponente, die im offenen Malm gebildet wird, um ca. zwei Zehnerpotenzen jünger als die aus dem Süddeutschen Molassebecken stammende Tiefengrundwasserkomponente und um mindestens zwei Zehnerpotenzen jünger als die Grundwasserkomponente, die aus der Grundwasserneubildung des überdeckten Malms im Bereich des Tertiärhügellandes stammt (ISAR CONSULT, 1997).

Isotopenhydrologische Untersuchungen weisen zudem darauf hin, dass hohe Grundwasserentnahmen in Tiefbrunnen des Ingolstädter Beckens z.T. erhebliche Auswirkungen und Veränderungen der Grundwasserverhältnisse im Malm mit Veränderungen von Grundwassergefälle und –strömungsrichtungen bewirken bzw. auch bereits in der Vergangenheit bewirkt haben. Das gilt insbesondere für den Bereich zwischen Donau und der im Süden anschließenden beginnenden durchgehenden Tertiärüberdeckung. Diese Veränderungen bewirken nicht nur die Verlagerung der Einzugsgebiete von Brunnen, sondern auch einen erhöhten Zustrom jüngeren Grundwassers aus dem Bereich des offenen Malms (ISAR CONSULT, 1997).

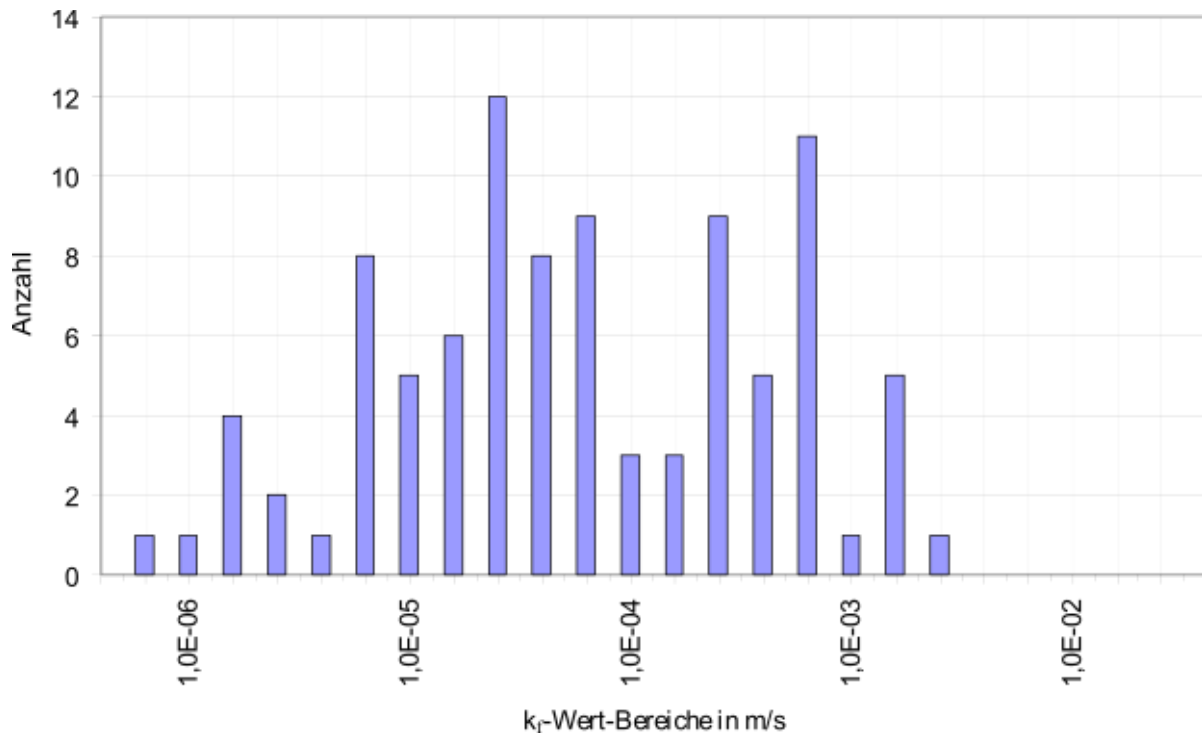


Abb. 7: Häufigkeitsverteilung der aus Pumpversuchen ermittelten Durchlässigkeitsbeiwerte des Malm-Aquifers (LFU, 2002, HK100)

1.5.2 Grundwasserleiter im Tertiär

Nördlich der Donau finden sich im Tertiär nur kleinräumige unbedeutende Grundwasserleiter, diese sind meist nur in lokalen Rinnenstrukturen mit geringer Mächtigkeit ausgebildet. Südlich des Donautals stellen die Einheiten der Oberen Süßwassermolasse den obersten Hauptgrundwasserleiter dar. Während beim Blatt 7332 Neuburg a. d. Donau der tertiäre Hauptgrundwasserleiter von der Fluvialen Unteren Serie gebildet wird, setzt sich dieser beim Blatt L7534 Pfaffenhofen überwiegend aus Nördlichen Vollschottern und der Geröllsandserie zusammen. Weiter südlich können lokal schwebende Grundwasservorkommen der Hangendserie und der Mischserie dazukommen. Der tertiäre Hauptgrundwasserleiter umfasst daher regional unterschiedliche Einheiten, mit zum Teil sehr unterschiedlichen hydraulischen Eigenschaften. Aufgrund der intensiven vertikalen und lateralen Verzahnung von grundwasserleitenden, kiesigen und sandigen Horizonten und grundwassergeringleitenden Schichten aus Tonen, Schluffen und Mergeln, ist eine durchgehende räumliche Unterteilung von grundwasserführenden und grundwasserstauenden Schichten nicht möglich. Dennoch lassen sich die hydrogeologischen Einheiten, anhand ihrer pauschalen Korngrößenzusammensetzung unterscheiden und abgrenzen (Abb. 8).

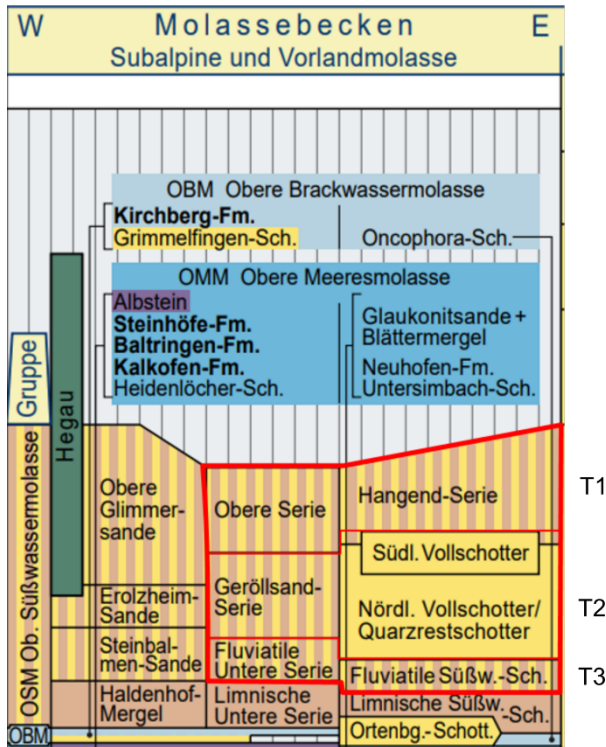


Abb. 8: Ausschnitt Stratigraphische Tabelle von Deutschland 2016, Kennzeichnung der drei im Tertiär berücksichtigten Grundwasserleiter

Für das vorliegende hydrogeologische Modell (Kapitel 4) erfolgte die Unterteilung der Grundwasserleiter in Anlehnung an zur Verfügung stehenden Gutachten (PRÖSL 2009, 2011). Die tertiären Einheiten wurden in drei potentielle Grundwasserleiter (T1, T2 und T3, siehe Abb. 8) unterteilt, welche gemäß Kapitel 1.2 dem Tertiärhügelland zugeordnet werden.

Der Grundwasserleiter T1 setzt sich im Westen des im Untersuchungsgebiet betrachteten Tertiärhügellands aus der Oberen Serie und im Osten aus der Hangendserie zusammen. Während diese Einheiten im nördlichen Bereich bereits abgetragen wurden, sind im südlichen Bereich regionale schwebende Grundwasservorkommen vorhanden. Dieser Grundwasserleiter ist aufgrund seiner kleinräumigen Verbreitung nur von lokaler Bedeutung. Er erreicht Mächtigkeiten von im Mittel ca. 20 m und im Maximum bei ca. 100 m.

Der Grundwasserleiter T2 setzt sich im Westen des im Untersuchungsgebiet betrachteten Tertiärhügellands aus der Geröllsandserie und im Osten aus der Nördlichen Vollsotter-Abfolge zusammen. Die Nördliche Vollsotter-Abfolge stellt im Tertiärhügelland einen der ergiebigsten Grundwasserleiter dar, welcher sowohl von der öffentlichen Wasserversorgung, als auch zum Zweck der Bewässerung sowie durch Industrie und Gewerbe genutzt wird. Für die Ermittlung von Durchlässigkeitsbeiwerten wurden ca. 70 Pumpversuche an Brunnen ausgewertet. Aufgrund einer geringen Datenlage für die Geröllsandserie wurden diese Daten mit der Nördlichen Vollsotter-Abfolge zusammengefasst. Die Auswertung ergab einen mittleren Durchlässigkeitsbeiwert von $5,5 \cdot 10^{-5}$ m/s (LFU, 2002, HK100). Die Mächtigkeiten nehmen tendenziell von Süden nach Norden hin ab und liegen im Mittel bei ca. 60 m, im Süden erreichen diese maximal ca. 150 m.

Der Grundwasserleiter T3 setzt sich im Westen des im Untersuchungsgebiet betrachteten Tertiärhügellands aus der Fluvialen Unteren Serie und im Osten aus den Fluvialen Süßwasserschichten zusammen. Dieser Grundwasserleiter steht im Norden des betrachteten Tertiärhügellandes an, wo er vorwiegend von der öffentlichen Wasserversorgung, aber auch zum Zweck der Bewässerung sowie

durch Industrie und Gewerbe genutzt wird. Für die Fluviale Untere Serie wurde ein mittlerer Durchlässigkeitsbeiwert von $4,3 \cdot 10^{-5}$ m/s ermittelt, welcher auf der Auswertung von ca. 60 Pumpversuchen an Brunnen und Grundwassermessstellen basiert. Im Mittel betragen die Mächtigkeiten ca. 55 m, im Maximum liegen diese bei ca. 100 m.

Abb. 11 zeigt die Häufigkeitsverteilung der Durchlässigkeitsbeiwerte für alle in der Planungsregion 10 ausgewerteten Pumpversuche an Tertiärbrunnen südlich der Donau. Die meisten Daten (27) liegen in einem Bereich von $3,9 \cdot 10^{-5}$ m/s bis $6,3 \cdot 10^{-4}$ m/s.

Im Allgemeinen fallen die Molassesedimente leicht nach Süden ein und nehmen in ihrer Mächtigkeit von wenigen 10er Metern (südlich der Donau) auf über 900 m (Südrand der Planungsregion 10) zu.

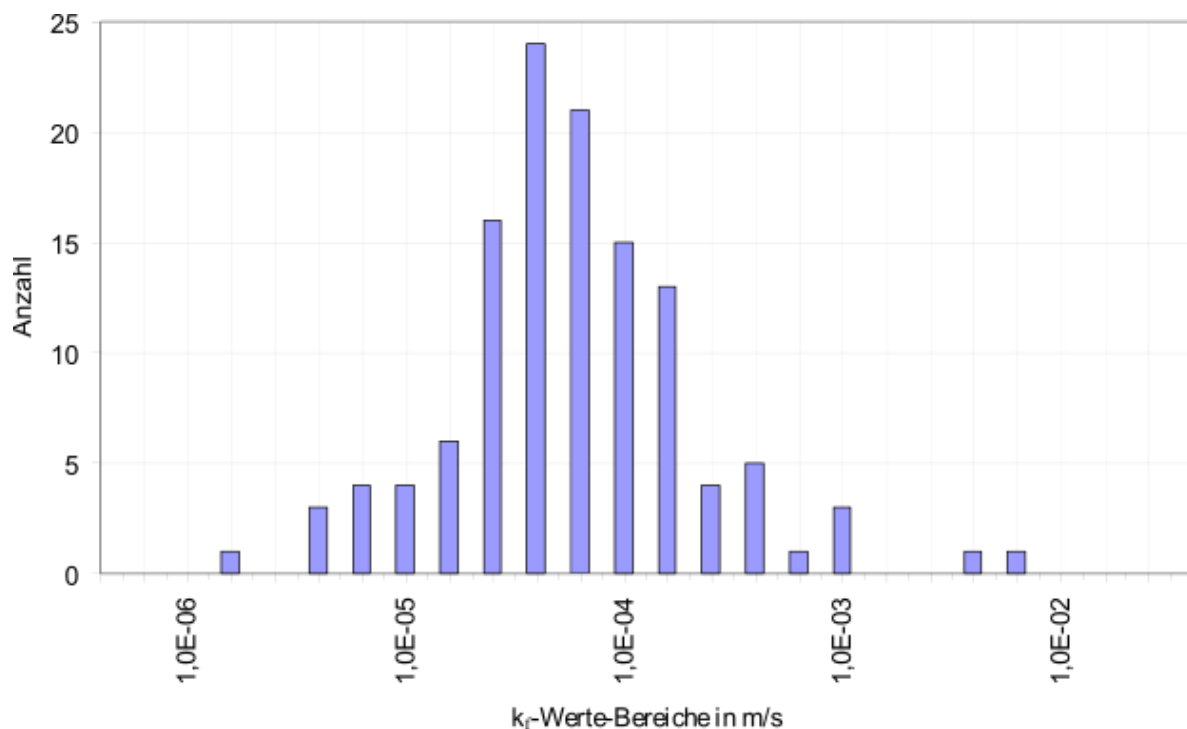


Abb. 9: Häufigkeitsverteilung der aus Pumpversuchen ermittelten Durchlässigkeitsbeiwerte in der Oberen Süßwassermolasse (LFU, 2002, HK100)

1.5.3 Grundwasserleiter im Quartär

Neben dem Tertiärhügelland prägen die ausgedehnten quartären Teilräume der Donau und Schutter sowie der Isar das Untersuchungsgebiet.

Innerhalb des Ingolstädter Beckens erreicht das Donautal mit ca. 15 km Nord-Süd-Erstreckung seine größte Breite. Es schließt im Südwesten Teile des Donaumooses mit ein (LFU, 2002, HK100), welches morphologisch keine Trennung zwischen den quartären und tertiären Ablagerungen aufgrund der Überdeckung durch das Niedermoor aufweist.

Die grundwassererfüllte Mächtigkeit auf der Ingolstädter Hochterrasse, welche nördlich an Ingolstadt und östlich an das Schutttertal anschließt, liegt meist unter 4 m. In der Mitte des Donautals variieren die Mächtigkeiten zwischen 4 m und 8 m. Mächtigkeiten über 8 m können im südlichen Abschnitt des Donautals zwischen Königsmoos und Manching angetroffen werden (vgl. Abb. 10, LFU, 2002, HK100).

Auf Basis von ca. 65 Pumpversuchen konnte für das Quartär des Donau- und Schuttertals ein mittlerer Durchlässigkeitsbeiwert von $5 \cdot 10^{-3}$ m/s ermittelt werden (LFU, 2002, HK100). Die Schwankungsbreite der Durchlässigkeitsbeiwerte ist in Abb. 11 dargestellt. Es konnte eine mittlere spezifische Ergiebigkeit der quartären Schotter im Donau- und Schuttertal von 25 l/(s·m) und Brunnenergiebigkeiten im Mittel von 40 l/s (bis 160 l/s) festgestellt werden (LFU, 2002, HK100). Die größten Durchlässigkeitsbeiwerte, zwischen $3 \cdot 10^{-2}$ m/s und $1 \cdot 10^{-3}$ m/s, sowie im Mittel bei ungefähr $5 \cdot 10^{-3}$ m/s, können an talrandfernen Standorten, sowie außerhalb von Schwemmfächern angetroffen werden (LFU, 2002, HK100).

In Bereichen von Süden nach Norden in das Donauquartär hineinreichenden Schwemmfächern, insbesondere der Paar und Ilm, ist eine zunehmende Versandung durch die Beimengung von tertiärem Material festzustellen. In diesen Bereichen nehmen die Durchlässigkeitsbeiwerte ab und bewegen sich zwischen $2 \cdot 10^{-4}$ m/s und $5 \cdot 10^{-5}$ m/s (LFU, 2002, HK100). Auf der Ingolstädter Hochterrasse lassen sich ebenfalls Beeinflussungen durch die Nähe zum Tertiär feststellen, wodurch im Vergleich zum Quartärschotter des Donautals niedrigere Durchlässigkeitsbeiwerte, welche zwischen $3 \cdot 10^{-3}$ m/s und $1 \cdot 10^{-4}$ m/s liegen, auftreten (LFU, 2002, HK100).

Geowissenschaftliche Landesaufnahme in der Planungsregion 10 Ingolstadt
Beilage 2 zu den Erläuterungen zur Hydrogeologischen Karte 1:100 000 und zur Rohstoffgeologischen Karte 1:100 000

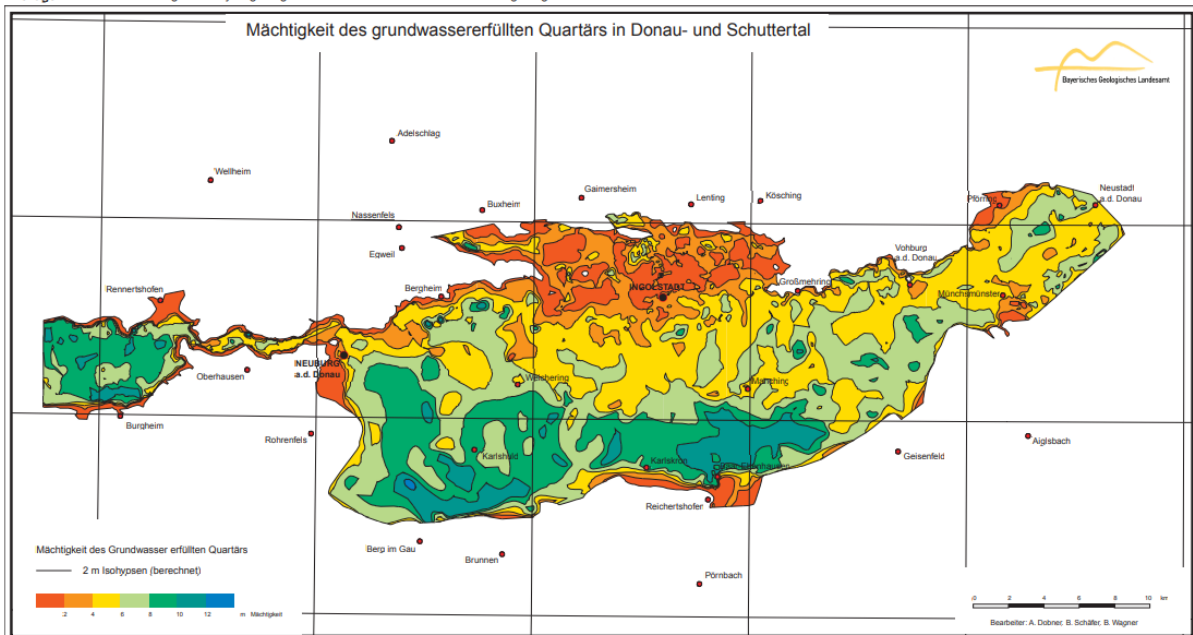


Abb. 10: Grundwassererfüllte Mächtigkeit im Donauquartär (LFU, 2002, HK100)

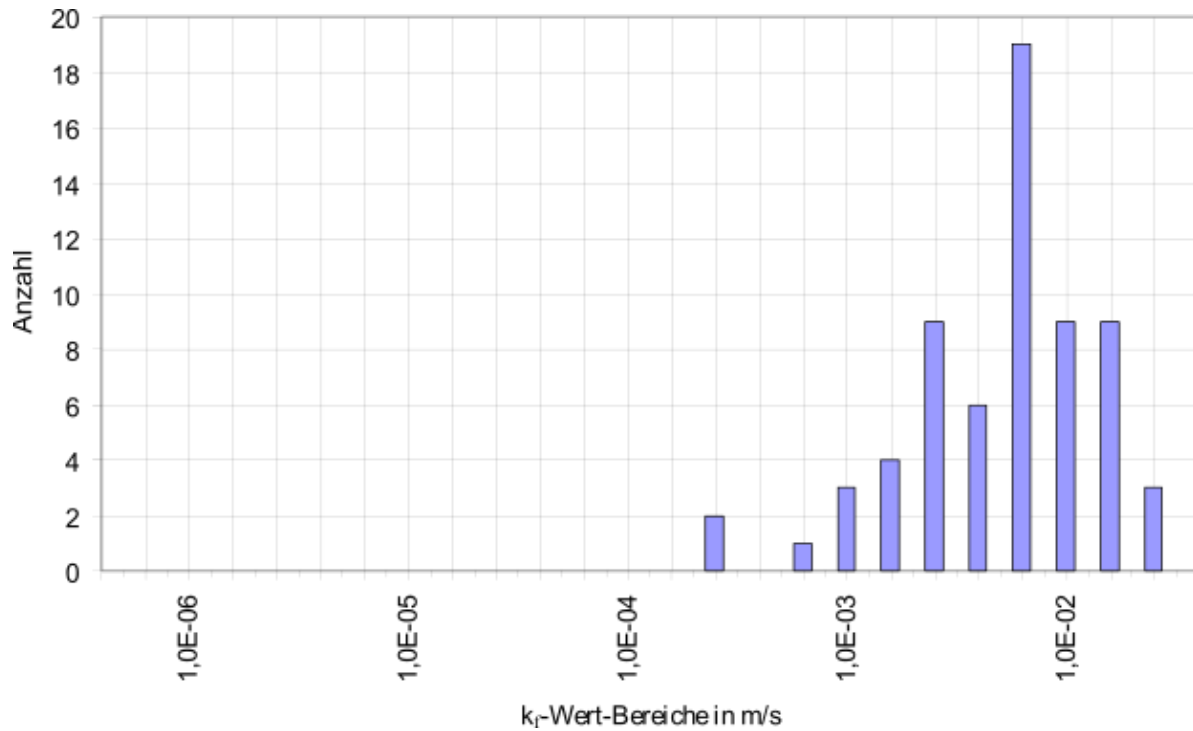


Abb. 11: Häufigkeitsverteilung der aus Pumpversuchen ermittelten Durchlässigkeitsbeiwerte der Quartärschotter im Donau- und Schuttetal (LFU, 2002, HK100)

Die Breite des Isartals und der dort abgelagerten quartären Sedimente beträgt überwiegend zwischen vier und fünf Kilometer. Auf Basis von 29 Pumpversuchen konnte für das Quartär des Isartals (Planungsregion 13, LFU, 2007, HK100), analog dem Donau- und Schuttetal, ein mittlerer Durchlässigkeitsbeiwert von $5 \cdot 10^{-3}$ m/s ermittelt werden. Die Werte liegen überwiegend in einem Bereich von $3 \cdot 10^{-2}$ m/s und $8 \cdot 10^{-4}$ m/s (vgl. Abb. Abb. 12, LFU, 2007, HK100).

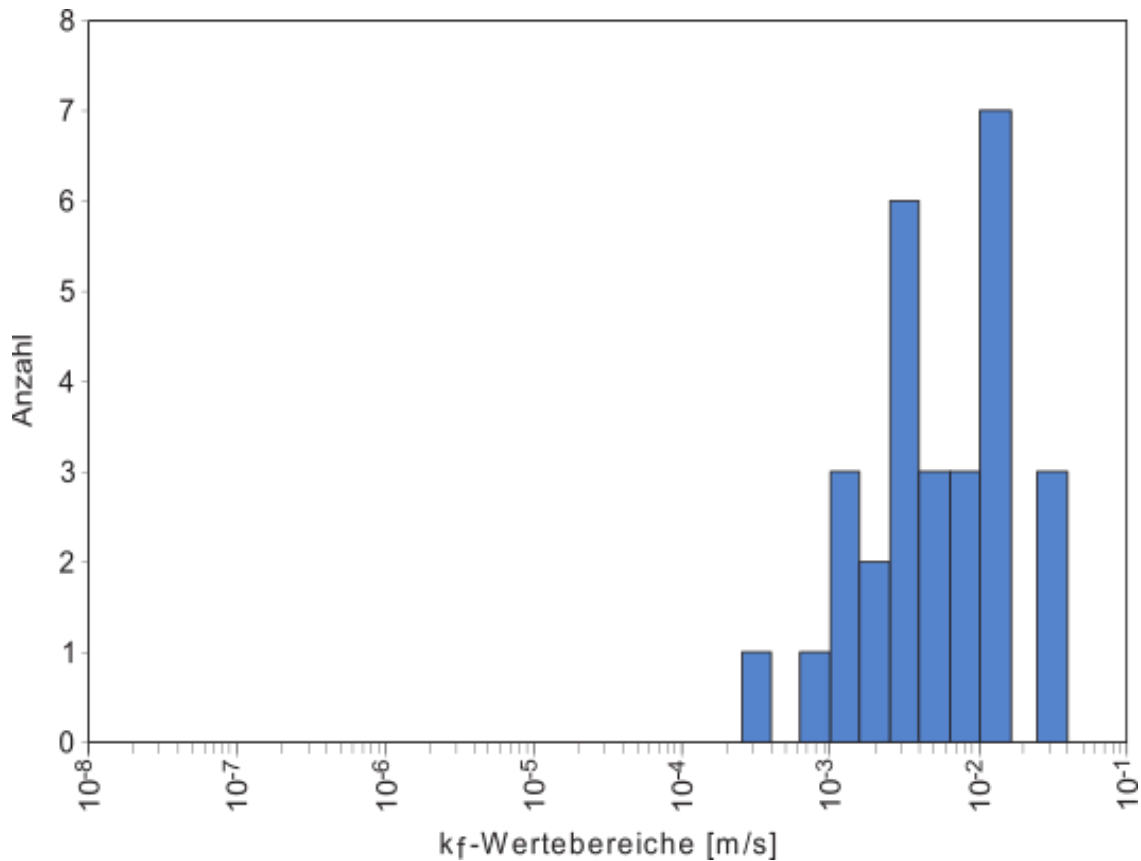


Abb. 12: Häufigkeitsverteilung der aus Pumpversuchen ermittelten Durchlässigkeitsbeiwerte der quartären Talfüllung im Isartal (LFU, 2007, HK100)

Auf der Hochterrasse nördlich Landshut sind die Durchlässigkeiten durch die Nähe der tertiären Ablagerungen und anhaltender Verwitterung beeinflusst. Pumpversuchsdaten liegen an dieser Stelle nicht vor. Es kann jedoch davon ausgegangen werden, dass die k_f -Werte aufgrund von erhöhten Sand- und Schluffanteilen niedriger sind, als im Zentralbereich des Isartals (LFU, 2007, HK100).

Die Grundwasserflurabstände, die Unterkante und Mächtigkeit sowie die grundwassererfüllte Mächtigkeit der quartären Grundwasserleiter sind den Anlagen 4 bis 7 zu entnehmen.

1.5.4 Grundwasserstandsentwicklung

Zur Beurteilung der Grundwasserstandsentwicklung in den Grundwasserleitern Quartär, Tertiär und Malm wurden Grundwasserganglinien ausgewählter Grundwassermessstellen des Landesgrundwasserdienstes (LGD) herangezogen. Abb. 13 zeigt die Lage der betrachteten Grundwassermessstellen im Untersuchungsgebiet. Dabei sind insbesondere die Grundwassermessstellen im Tertiär in verschiedenen Grundwasserstockwerken verfiltert. Die Zuordnung der Verfilterung, gemäß der in diesem hydrogeologischen Modell vorgenommenen Einteilung der hydrogeologischen Einheiten (T1, T2, T3), ist jeweils den dargestellten Grundwasserganglinien in den Abbildungen Abb. 16, Abb. 17, und Abb. 18 sowie der Anlage 12 zu entnehmen.

Alle ausgewählten Grundwasserganglinien der in Abb. 13 dargestellten Messstellen des Landesgrundwasserdienstes sind in Anlage 12 beigefügt.

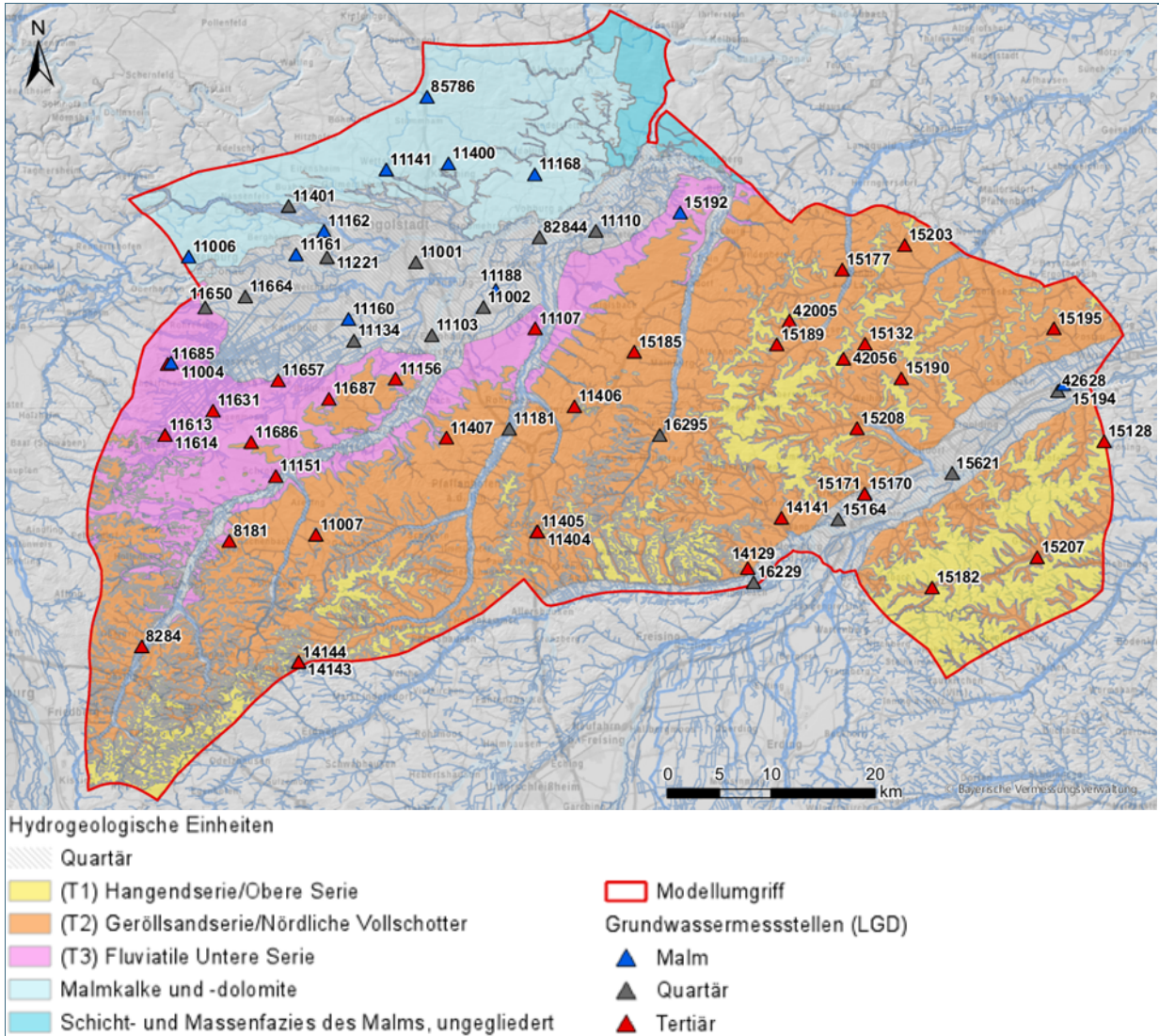


Abb. 13: Untersuchungsgebiet mit hydrogeologischen Teilräumen und Grundwassermessstellen des Landesgrundwasserdienstes (LGD)

1.5.4.1 Malm

Im Grundwasserleiter des Malms reichen die natürlichen jährlichen Schwankungen in den Grundwasserständen im Bereich des offenen und überdeckten Malms von durchschnittlich ca. 0,5 m bis 3 m. Dabei sind die Schwankungsbereiche im überdeckten Malm eher geringer. Dort sind seit Beginn der Aufzeichnungen Ende der 1990er und Anfang der 2000er Jahre kontinuierlich abfallende Trends von ca. 1 m – 1,5 m erkennbar (Abb. 15). Im Bereich des offenen Malms zeigt sich insbesondere an der Messstelle 85786 seit Aufzeichnungsbeginn im Jahr 2009 ein deutlicher Abfall der Grundwasserstände von ca. 9 m (Abb. 14).

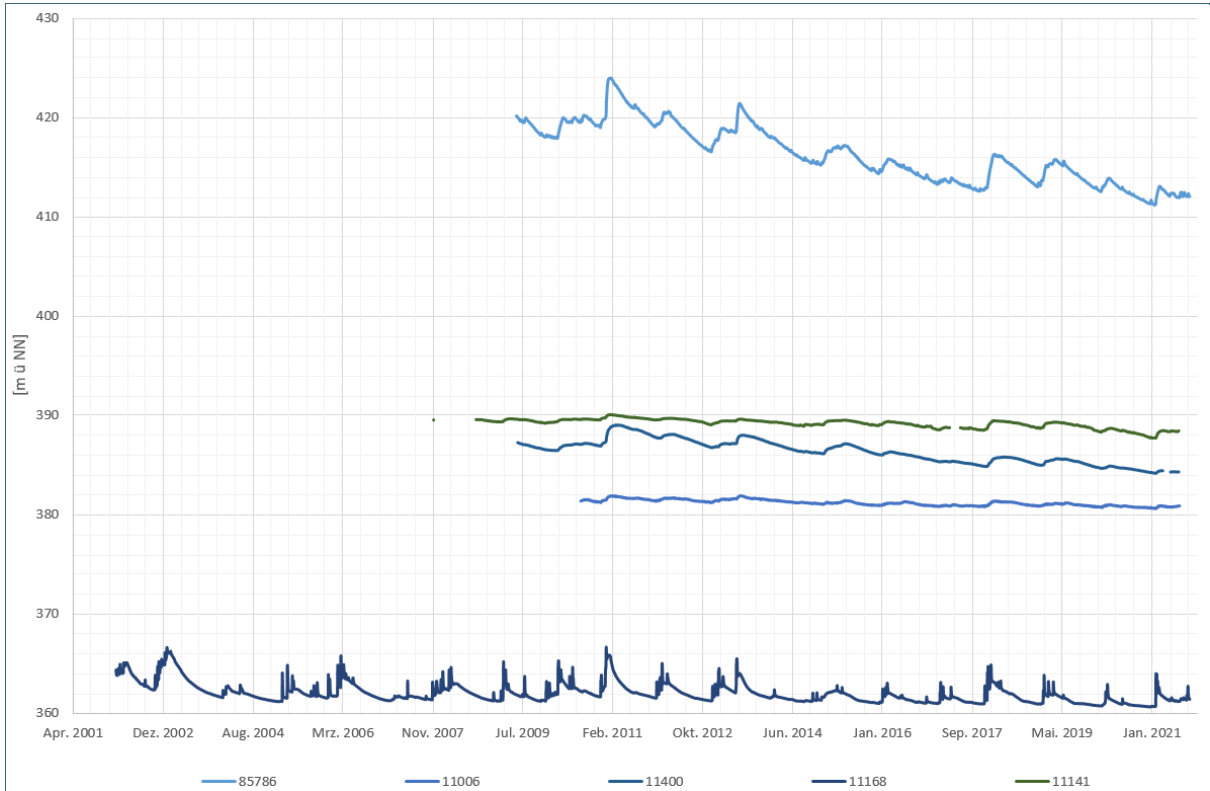


Abb. 14: Ausgewählte Grundwasserganglinien im Bereich des offenen Malm

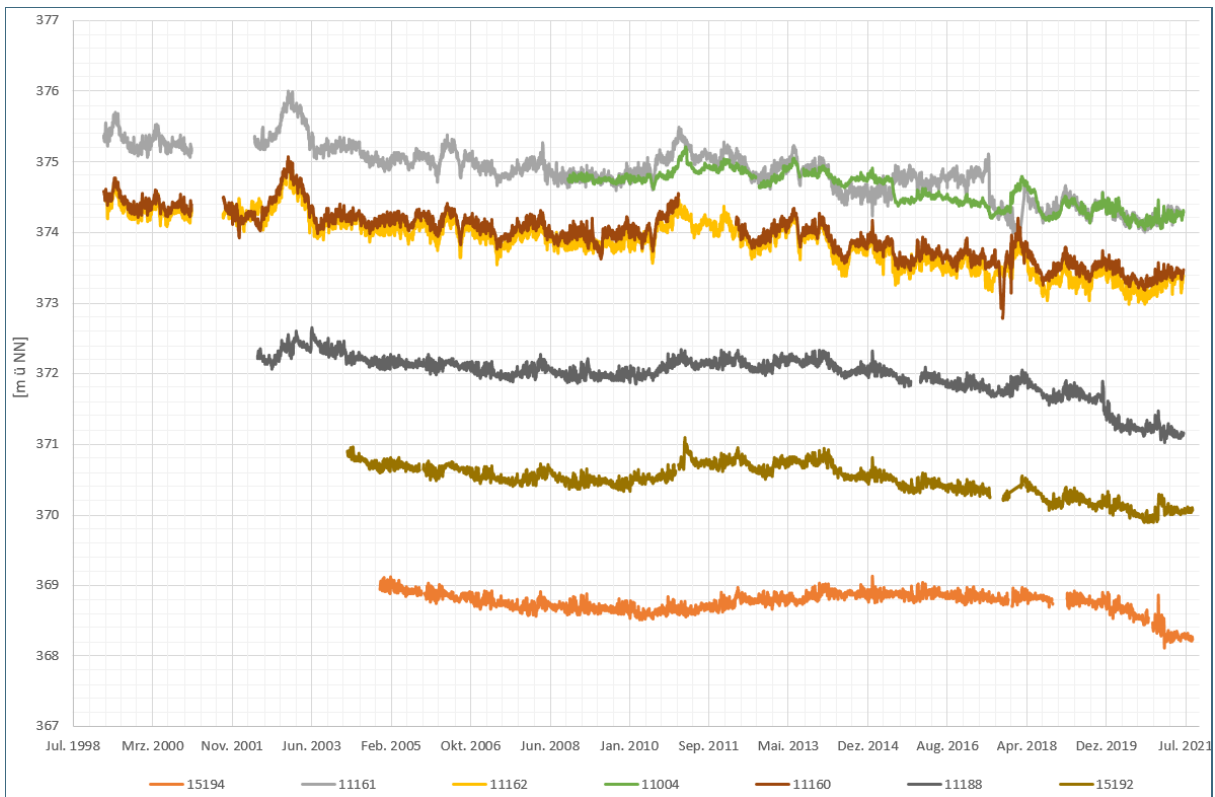


Abb. 15: Ausgewählte Grundwasserganglinien im Bereich des überdeckten Malm

1.5.4.2 Tertiär

In den Grundwasserleitern des Tertiärs zeigen sich im Untersuchungsgebiet Schwankungsbereiche im Grundwasserstand von ca. 1 m bis maximal 3 m (Abb. 16 - Abb. 18).

Östlich des Donaumooses weisen die Grundwasserganglinien der Grundwassermessstellen 11687, 11156 und 11407 seit den jüngeren 2000er Jahren fallende Grundwasserstände von ca. 2 m bis 4 m auf (Abb. 16).

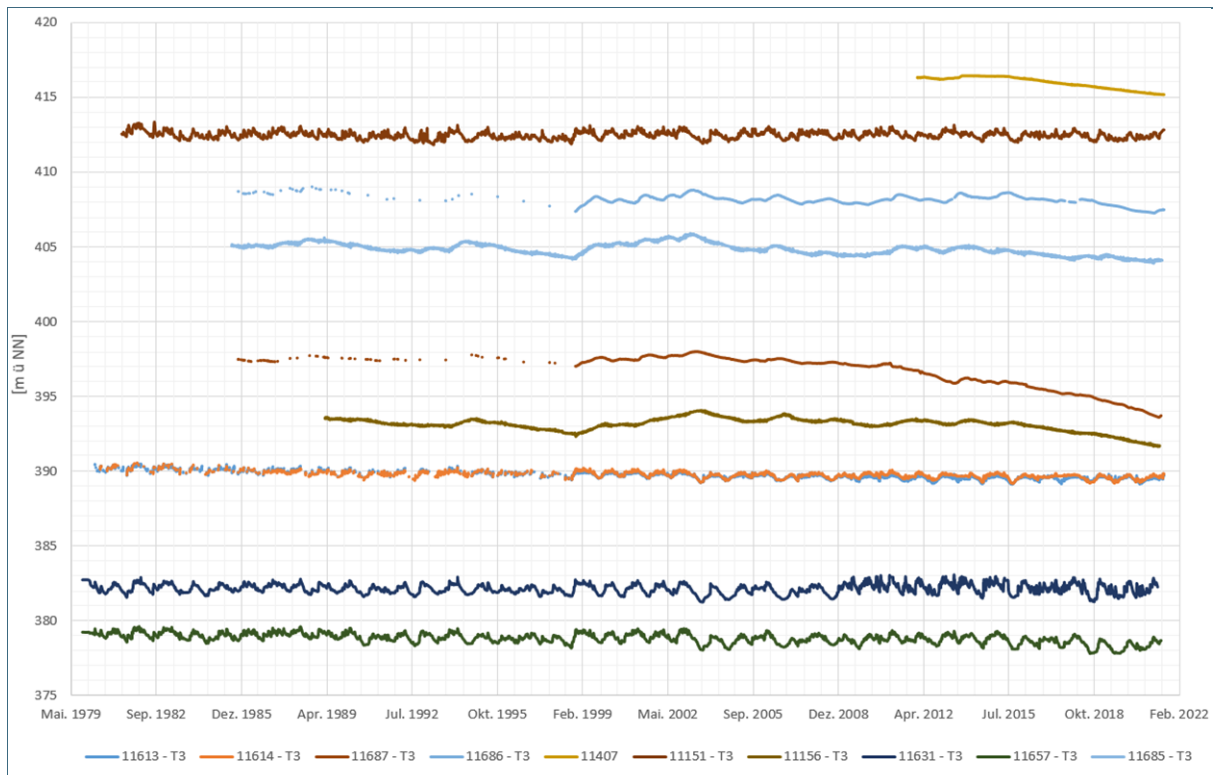


Abb. 16: Ausgewählte Grundwasserganglinien im Tertiär im Bereich Donaumoos und östlich des Donaumooses

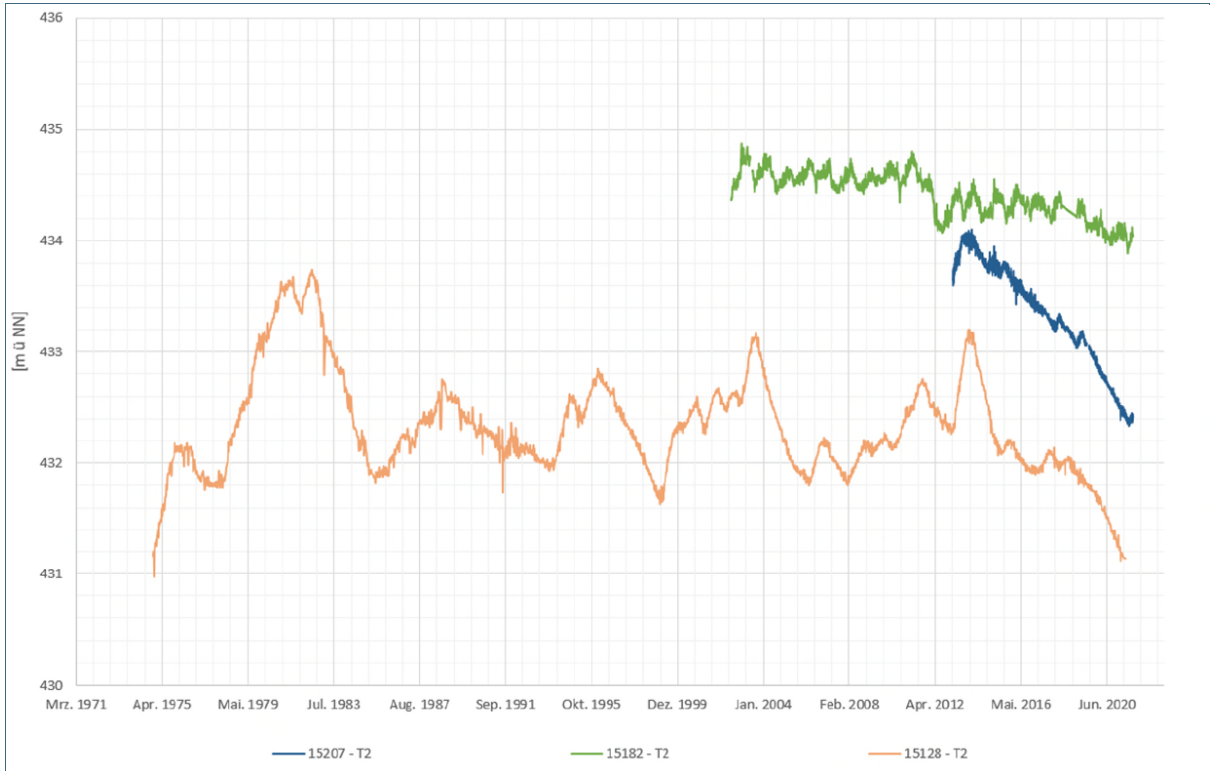


Abb. 17: Ausgewählte Grundwasserganglinien im Tertiär im Bereich südlich der Isar

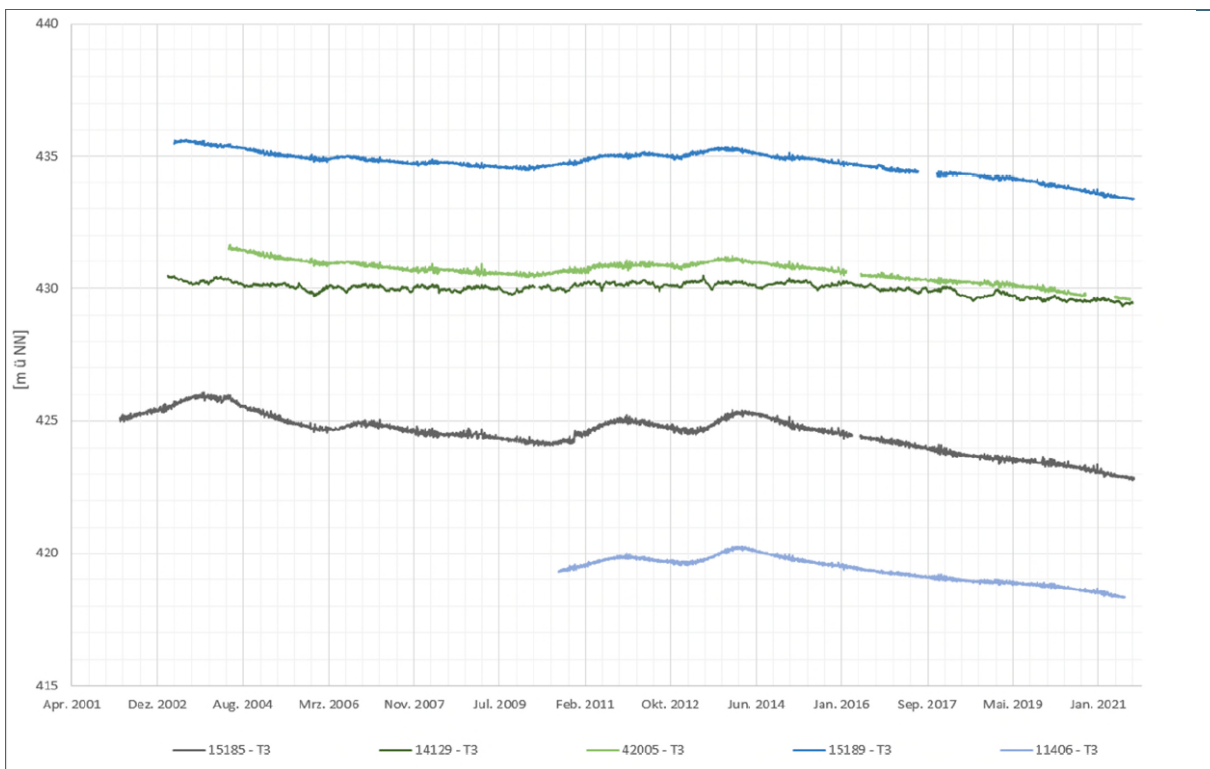


Abb. 18: Ausgewählte Grundwasserganglinien im Tertiär im zentralen und östlichen Bereich des Modellgebiets

1.5.4.3 Quartär

Die Schwankungen im Grundwasserstand liegen im Bereich der quartären Ablagerungen bei durchschnittlich ca. 1 m bis 2 m (Abb. 19). In unmittelbarer Nähe zu den Flüssen können die Schwankungen, bedingt durch den Einfluss der Oberflächengewässer und aufgrund von Hochwasserereignissen, lokal größer sein. Vereinzelt zeigen sich in den Ganglinien, wie bspw. an der Grundwassermessstelle 16295 (vgl. Anlage 12) im Bereich der quartären Ablagerungen der Abens, seit dem Trockenjahr 2018 leicht fallende Tendenzen in den Grundwasserständen, die kleiner einem Meter und unabhängig von den natürlichen Schwankungsbereichen sind. Ob diese durch klimatische Einflüsse oder/und Entnahmen bedingt sind, kann nicht abschließend geklärt werden.

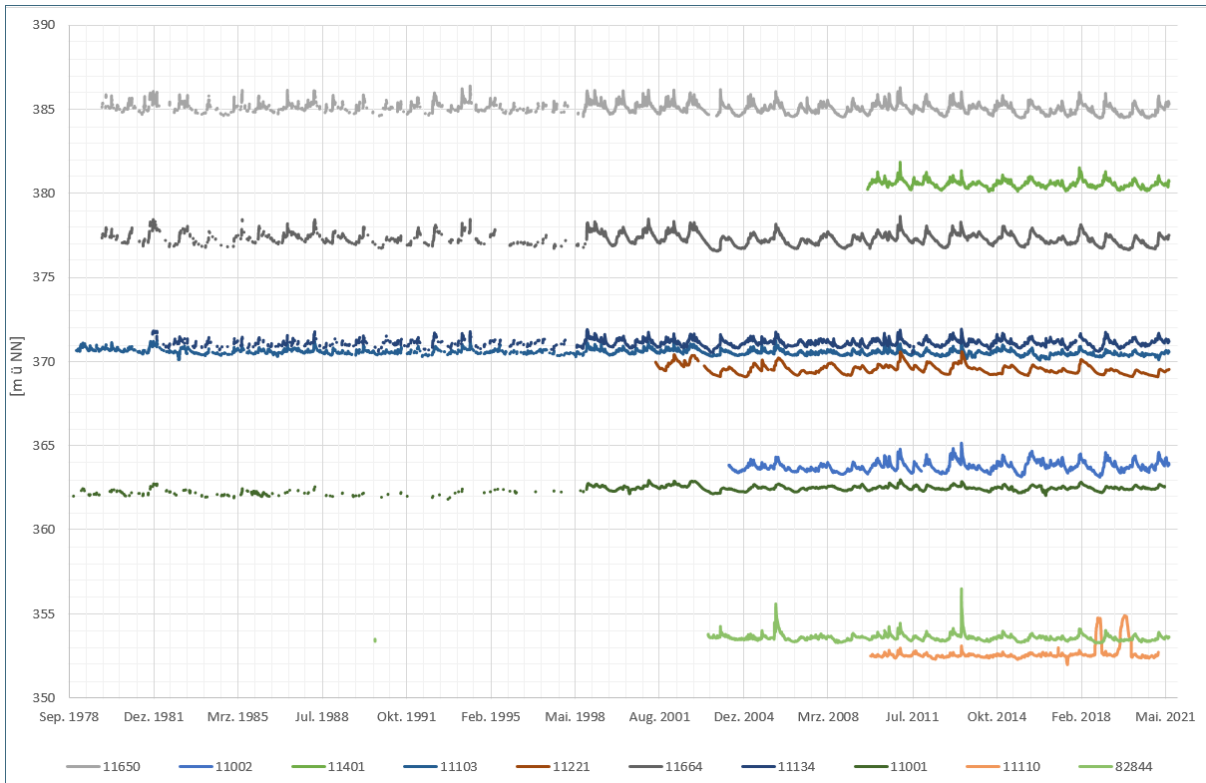


Abb. 19: Ausgewählte Grundwasserganglinien im Quartär

1.5.5 Grundwasserbeschaffenheit

Für die hydrochemische Charakterisierung der Grundwässer im Malm, Tertiär und Quartär wurden im Rahmen der hydrogeologischen Landesaufnahme flächendeckende Beprobungen durchgeführt. Die detaillierten Ergebnisse sind der geowissenschaftlichen Landesaufnahme in der Planungsregion 10 Ingolstadt (LFU, 2002, HK100) und der Planungsregion 13 Landshut (LFU, 2007, HK100) zu entnehmen. Die charakterisierenden Hauptwerte Leitfähigkeit, Gesamtmineralisation, pH-Wert und Härte sind für die einzelnen Einheiten in der Tab. 1 dargestellt.

Bei den Grundwässern im Malmkarst wird unterschieden zwischen Wässern aus dem offenen und nur teilbedeckten Karst nördlich der Donau und dem überdeckten Karst südlich der Donau. Es zeigt sich, dass im Bereich des offenen Karsts Anteile der Alkalien sowie von Chlorid und Nitrat stark streuen. Das lässt sich vor allem durch lokal verstärkten Eintrag von belasteten jungen Sickerwässern erklären.

Die Grundwässer in den tertiären Sedimenten werden unterschieden in oberflächennahes Grundwasser (schnell regenerierendes Grundwasser) und Tiefengrundwasser (langsam regenerierendes Grundwasser), wobei die tiefen Wässer im Mittel etwas geringere Werte in der Gesamtmineralisation, Leitfähigkeit und Gesamthärte aufweisen. Bedingt durch eine intensive landwirtschaftliche Nutzung weisen zahlreiche schnell regenerierende Grundwässer deutlich erhöhte Gehalte des Parameters Nitrat mit häufigen Überschreitungen des Grenzwertes der Trinkwasserverordnung von 50 mg/l auf. Als Besonderheit werden sogenannte Austauschwässer nordwestlich von Reichertshofen beobachtet. Diese unterscheiden sich im Chemismus deutlich von den Wässern der Oberen Süßwassermolasse. Die Analysen zeigen, dass es sich um Wässer relativ hohen Alters eines größeren zusammenhängenden Grundwasserkörpers handelt (LFU, 2002, HK100).

Die Grundwässer des Isarquartärs sind mit einer Gesamtmineralisation von im Mittel 626 mg/l im Untersuchungsgebiet am stärksten mineralisiert. Darauf folgen die Grundwässer des Donauquartärs, mit einer Gesamtmineralisation von im Mittel 510 mg/l. Im Bereich des vom Donaumoos überdeckten Donauquartärs treten, bedingt durch den Kontakt zum Moor, auch schwach saure Wässer mit erhöhten organischen Kohlenstoffgehalten auf.

Tab. 1: Charakterisierung der Grundwässer nach Grundwasserleitern (aus LFU, 2002, 2007 HK100)

Grundwasserleiter	Leitfähigkeit [mS/m]	Gesamtmineralisation [mg/l]	pH-Wert [-]	Gesamthärte [°dH]
Malm	49 - 75	280 - 450	7,1 – 7,5	14,3 – 21,6
Tertiär	40 – 100	220 – 625	7,3 – 7,8	11 – 20
Tertiär (Reichertshofen)	40 – 50	215 – 300	7,8 – 8,3	< 8
Donauquartär	60 – 110	320 – 660	7,0 – 7,5	15 – 29
Isarquartär	456 - 1091	373 - 879	6,9 – 7,7	12,3 – 32,1

1.6 Oberflächengewässer

Das Untersuchungsgebiet gehört hydrographisch zum Einzugsgebiet der Donau.

Die Donau fließt aus Westen kommend bei Neuburg a. d. Donau in das Untersuchungsgebiet hinein und verlässt es nördlich von Neustadt a. d. Donau wieder. Die Donau ist innerhalb des Untersuchungsgebietes durch die Staustufen Bergheim, Ingolstadt und Vohburg in den abgedichteten Rückhaltebereichen stauseeartig erweitert. Beidseitig der Dämme erfolgen Regulierungen des angrenzenden Grundwasserstands durch sogenannte Abfanggräben. Im Bereich des Donautals bestehen weitverbreitet, bedingt durch intensiven Kies- und Sandabbau, zum Teil großflächige Baggerseen, welche in der Regel an das Grundwasser angebunden sind. Bei Ingolstadt weist die Donau einen mittleren Abfluss von 311 m³/s (Pegel Ingolstadt Luitpoldstraße) auf.

Im Bereich des Donaumooses erfolgt die Hauptentwässerungsrichtung in Richtung Nordosten hin zur Donau. Zahlreiche Entwässerungsgräben durchziehen das Gebiet, wovon die Ach als Hauptvorfluter ein Gefälle zwischen Pöttmes und Karlshuld von ca. 1 ‰ aufweist. Kurz vor der Einmündung der Ach in die Sandrach weist diese einen mittleren Abfluss am Pegel Weichering von 1,2 m³/s auf. Die

Sandrach fließt weitgehend parallel zur Donau in östliche Richtung und mündet kurz nach Zusammenfluss mit der Brautlach, welche aus Südsüdwesten kommend das Donaumoos entwässert, in die Paar. Die Paar besitzt an dieser Stelle am aufgelassenen Abfluss-Pegel Manching Bahnbrücke einen mittleren Abfluss von 7,57 m³/s.

Im Osten des Modellgebietes tritt die Isar von Südwesten kommend in das Untersuchungsgebiet bei Moosburg hinein und verlässt es nach Nordosten fließend bei Niederaichbach wieder. Am Pegel Landshut Birket besitzt die Isar einen mittleren Abfluss von 162 m³/s. Am südlichen Modellrand fließt zudem die Amper innerhalb des Untersuchungsgebietes und trifft im Bereich der Modellgrenze auf die Isar. Der mittlere Abfluss der Amper beträgt am Pegel Inkofen 44,9 m³/s. Ein weiterer nennenswerter Zufluss aus dem Tertiärhügelland erfährt die Isar über die Pfettrach, welche aus Nordwesten kommend auf Höhe Landshut in die Isar mündet. Kurz vor der Einmündung beträgt der mittlere Abfluss der Pfettrach am Pegel Altdorf 0,7 m³/s.

Das Tertiärhügelland im Untersuchungsgebiet wird hauptsächlich von der Paar, Ilm und Abens zur Donau hin entwässert. Die über weite Strecken in engen Mäandern fließende, teilweise jedoch auch begradigte Paar mit ihren größeren Zuflüssen Ecknach (mittlerer Abfluss am Pegel Blumenthal 0,68 m³/s) und Weilach überbrückt im Tertiärhügelland ein Gefälle von ca. 1,8 ‰, das sich beim Eintritt in das flachere Donautal auf ca. 1,6 ‰ verringert. Größere Gefälleunterschiede wurden bei der Ilm mit ca. 2,9 ‰ im Tertiärhügelland und nur noch ca. 1,2 ‰ im Donautal bis zu ihrer Einmündung in die Abens ermittelt (LFU, 2002, HK100). Die Hauptentwässerungsrichtung der größeren Flüsse ist im Tertiärhügelland nach Nordosten ausgerichtet. Senkrecht dazu verlaufen kleinere Nebentäler, deren Gefälle zum Teil deutlich höher ist.

Die langjährigen statistischen Abflusswerte der im Untersuchungsgebiet betrachteten Pegel sind in Tab. 2, die Lage der dazugehörigen Pegel in Abb. 20 und ausgewählte Pegelganglinien (Abflüsse in m³/s) in der Anlage 13 dargestellt.

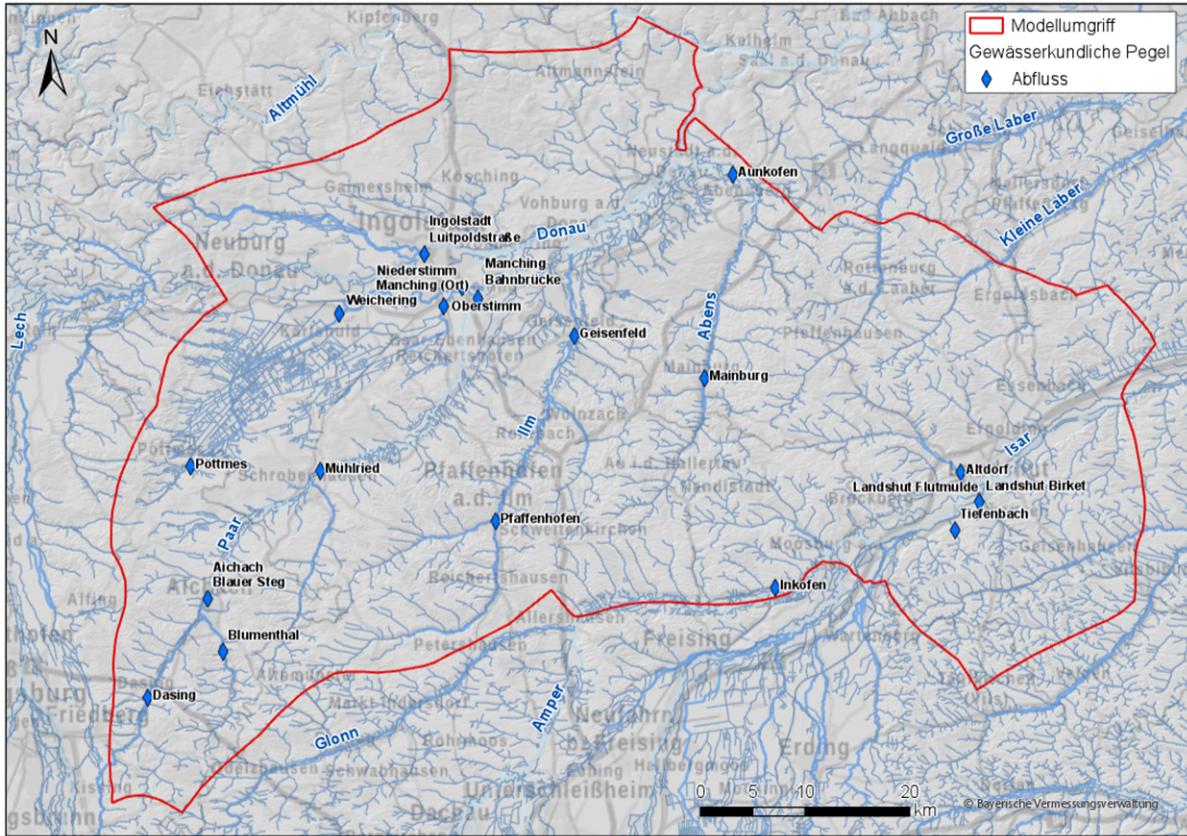


Abb. 20: Lage der im Untersuchungsgebiet betrachteten gewässerkundlichen Messstellen (Pegel)

Tab. 2: Langjährige statistische Abflusswerte der Gewässer im Modellgebiet

Gewässer / Pegel	NQ [m³/s]	MNQ [m³/s]	MQ [m³/s]	MHQ [m³/s]	HQ [m³/s]
Donau / Ingolstadt Luitpoldstraße	62	131	311	1120	2270
Paar / Dasing	0,552	1,46	2,51	15,2	32,5
Paar / Aichach Blauer Steg	2,81	2,81	4,3	13,9	13,9
Paar / Mühlried	1,8	3,83	6,18	27,5	68,4
Paar / Manching (Ort)	2,55	4,59	7,54	29,7	76,4
Paar / Manching Bahnbrücke	3,39	5,938	7,54	36,1	95,7
Ecknach / Blumenthal	0,317	0,465	0,69	7,67	21,5
Ilm / Pfaffenhofen	0,504	1,01	1,58	17,3	42,1
Ilm / Geisenfeld	1,35	2,44	3,9	30,6	89,6
Abens / Mainburg	0,237	0,478	0,912	25,5	67,5
Abens / Aunkofen	1,06	1,75	2,87	29,6	131
Sandrach / Niederstimm	0,394	0,81	2,53	12,1	20,5
Brautlach / Oberstimm	0,008	0,243	1,13	7,53	12,8
Donaumoos Ach / Pöttmes	0,046	0,181	0,435	3,49	9,08
Donaumoos Ach / Weichering	0,15	0,428	1,2	8,15	13,7
Isar / Landshut Birket	50,9	82,6	162	533	1050
Pfetrach / Altdorf	0,106	0,298	0,658	17,6	52,3
Amper / Inkofen	10,7	24,5	44,9	139	300
Tiefenbach / Tiefenbach	0,02	0,013	0,044	2,92	14,7

In den Bereichen der Stauhaltungen ist bedingt durch den Wasserstand der Donau eine potenzielle Zusickerung aus der Donau in das Grundwasser möglich. In diesen Bereichen ist jedoch oftmals mit einer teilgedichteten Sohle aufgrund der Strömungsverhältnisse zu rechnen und ein Austausch mit dem Grundwasser nur eingeschränkt möglich. In Bereichen mit vorhandenen Schmalwänden an der Donau wird der Austausch zwischen der Donau und dem angrenzenden Grundwasserbereich ebenfalls weitgehend unterbunden. Dort bilden rückgelagerte Gewässer wie bspw. der Rechte Vorlandgraben, die Paar oder die Kleine Donau die Vorflut für das Grundwasser. Gleiches gilt für Binnengewässer wie bspw. den Auwaldsee, bei denen keine direkte Wechselwirkung mit der Donau aufgrund von Stauhaltungen und Hochwasserschutzanlagen gegeben ist. Teilweise gewährleisteten Schöpfwerke die Binnenentwässerung entlang der Donau.

Innerhalb des Untersuchungsgebietes werden an der Donau derzeit die Flutpolder Großmehring und Katzau geplant. Hierzu wurden entsprechende Grundwassermodelle zur Quantifizierung des Einflusses der Flutpolder auf die Grundwasserverhältnisse erstellt.

2 Entnahmen

2.1 Grundwasserentnahmen

An den Landratsämtern wurden alle Bescheide zu Betriebswasserentnahmen sowie der privaten Trinkwasserversorgung nacherhoben und in der Fachanwendung Wasserversorgung der wasserwirtschaftlichen Datenbank „Informationssystem Wasserwirtschaft“ (INFO-Was) erfasst. Nur in den seltensten Fällen lagen für Entnahmen, die nicht unter die Eigenüberwachungsverordnung (EÜV) fallen, Daten zu tatsächlichen Entnahmen vor. Aus diesem Grund wurden für die Bilanzierung, sowohl für die öffentliche Wasserversorgung, als auch für Bewässerung oder sonstige Zwecke (Brauchwasser, Eigen Trinkwasser, Heil- und Mineralwasser) immer die genehmigten Entnahmen herangezogen. Dadurch kann eine konservative Bewertung vorgenommen werden, da das „worst-case“ Szenario unter Ausschöpfung der maximal rechtlich genehmigten Mengen zugrunde gelegt wird. Erlaubnisfreie Entnahmen werden in der Bilanzierung nicht berücksichtigt, da hierzu keine ausreichende Datengrundlage vorhanden ist.

In Tab. 3 sind die genehmigten Grundwasserentnahmen innerhalb des Untersuchungsgebietes aufgelistet. In Tab. 4 sind die genehmigten und die tatsächlichen Entnahmen gegenübergestellt.

Die Beschreibung der Unterteilung der Teilräume ist den Kapiteln 1.5 „Hydrogeologische Verhältnisse“ und 4 „Erstellung des hydrogeologischen Modells“ und Anlage 9 zu entnehmen.

Tab. 3: Genehmigten Grundwasserentnahmen [m³/a] unterteilt auf deren geografische Lage innerhalb der unter Kapitel 4.3 erläuterten Teilräume (Stand 2019)

Teilraum	Genehmigte Grundwasserentnahmen [m³/a]			
	Bewässerung	Sonstige	Öffentliche Wasserversorgung	Gesamt
01_T_EZG_S1_W	696.185	552.770	8.720.000	9.968.955
02_T_EZG_S1_E	382.250	963.408	4.937.867	6.283.524
03_T_EZG_S2	1.463.525	906.777	6.689.600	9.059.902
04_T_EZG_S3_W	172.200	22.000	1.300.000	1.494.200
05_T_EZG_S3_E	422.120	393.690	1.700.000	2.515.810
06_T_EZG_Amper	5.580	224.600	230.000	460.180
07_T_EZG_gr_Laber	202.840	278.607	4.300.000	4.781.447
08_T_Isar_N	286.994	119.250	3.040.000	3.446.244
09_T_Isar_S	118.185	119.300	4.818.000	5.055.485
Tertiärhügelland	3.749.879	3.580.402	35.735.467	43.065.747
10_M_Donau_N1	280.890	1.336.390	2.262.000	3.879.280
11_M_Donau_N2	212.030		150.000	362.030
12_M_Abensberg	30.000	30.000	1.000.000	1.060.000
Malm	522.920	1.366.390	3.412.000	5.301.310
13_QT_Donau_S1	1.463.671	3.110.774	5.710.000	10.284.445
14_QT_Donau_S2	129.755	4.324.480	2.100	4.456.335
15_QT_Donau_S3	426.790	11.945.711		12.372.501
16_QT_Donau_N	72.880	4.674.303	9.220.000	13.967.183
Donauquartär	2.093.096	24.055.268	14.932.100	41.080.464
17_QT_Isar_N	331.139	756.146	6.850.000	7.937.285
18_QT_Isar_S	177.270	1.064.300	2.200.000	3.441.570
Isarquartär	508.409	1.820.446	9.050.000	11.378.855
Gesamtsumme	6.874.304	30.822.506	63.129.567	100.826.377

Tab. 4: Anteil der Entnahmen mit dokumentierten Messdaten, sowie Ausschöpfungsgrad der genehmigten Entnahmemengen (Stand: 2019)

	Öffentliche Wasserversorgung	Bewässerung	Sonstige
Realentnahmen [m³/a]	47.707.924	2.723.888	11.781.536
genehmigte Entnahmen [m³/a]	60.884.600	6.031.883	18.009.182
Ausschöpfung der Genehmigung [%]	78,4	45,2	65,4
Gesamtzahl der Wasserfassungen	180	1000	321
Anzahl Wasserfassungen mit dokumentierten Entnahmemengen	169	673	176
Anteil der Wasserfassungen mit dokumentierten Entnahmemengen [%]	93,9	67,3	54,8

2.1.1 Aufteilung der Entnahmen nach Relevanz für die Grundwasserbilanz

Grundwasserentnahmen aus dem Tertiär

Wie bereits in Kapitel 1.5.2 ausgeführt, beschränkt sich das vorliegende hydrogeologische Modell auf die obersten drei im Untersuchungsgebiet vorhandenen tertiären Grundwasserleiter T1, T2 und T3. Zur Verdeutlichung der vertikalen Untergliederung und der konkreten Modellausdehnung, sei an dieser Stelle auf das Blockbild Abb. 25 im Kapitel 4.2 verwiesen.

Der größte Anteil der Grundwasserentnahmen in den tertiären Teilräumen nutzt einen der drei betrachteten Grundwasserleiter. Bei der öffentlichen Trinkwasserversorgung, sowie untergeordnet auch bei sonstigen Brauchwassernutzungen, werden zum Teil weitere, tiefer liegende Grundwasserleiter, bewirtschaftet. Hier kann es sich zum einen um eine ausschließliche Nutzung tieferer Grundwasserleiter, zum anderen um eine Nutzung der betrachteten Grundwasserleiter (T1, T2, T3) und zusätzlich tiefer liegender Grundwasserleiter handeln. Um den Anteil der verschiedenen Grundwasserleiter am gewonnenen Grundwasser der einzelnen Wasserfassungen zu konkretisieren, bedarf es Detailuntersuchungen, z. B. Flowmeter Messungen. Da diese Detailinformationen nicht verfügbar waren, wurden im vorliegenden Modell Vereinfachungen getroffen. Nach manueller Durchsicht der Bohrprofile und Ausbaupläne der im Tertiär gelegenen Wasserfassungen, wurde die Anzahl der verschiedenen genutzten Grundwasserleiter erfasst. Daraufhin wurde die genehmigte Menge gleichmäßig auf die Anzahl der genutzten Grundwasserleiter aufgeteilt. Alle Entnahmen und Anteile an Entnahmen, die tiefere Grundwasserleiter als T3 nutzen, wurden als nicht bilanzrelevant erachtet. Die nicht bilanzrelevanten Grundwasserentnahmen sind tabellarisch im Kapitel 2.1.2 aufgelistet.

Entnahmen, die geografisch innerhalb der quartären Teilräume liegen, aber tertiäres Grundwasser nutzen, wurden in der Grundwasserbilanz der tertiären Teilräume berücksichtigt, welche das Einzugsgebiet der Wasserfassungen darstellen.

Grundwasserentnahmen aus dem Malm

Der Malm als Grundwasserleiter wurde nur in den Teilräumen bilanziert, wo dieser offen ansteht und nicht durch andere Sedimente überlagert ist. Innerhalb des Donauquartärs befinden sich zahlreiche Wasserfassungen mit einer Teufe von über hundert Metern, welche Grundwasser aus dem Malm entnehmen. Das Einzugsgebiet dieser Wasserfassungen erstreckt sich vor allem auf den nördlich der Donau offenliegenden Malm und nur untergeordnet auf den südlich des Donautals gelegenen überdeckten Malm. Um die im Donautal vorhandenen Entnahmen aus dem Malm in der Grundwasserbilanz zu berücksichtigen, wurden diese dem nördlich der Donau gelegenen Malm-Teilraum zugeteilt. Wasserfassungen, die Grundwasser aus dem Malm nutzen, deren Einzugsgebiet aber außerhalb des Modellgebiets liegen, wurden als nicht bilanzrelevant erachtet.

2.1.2 Nicht bilanzrelevante (s. Kap. 4.2) genehmigte Grundwasserentnahmen

Bewässerung

Tab. 5: Nicht bilanzrelevante genehmigte Grundwasserentnahmen der Bewässerung aufgeteilt auf Grundwasserleiter

Teilraum	Grundwasserentnahmen für Bewässerung [m³/a]			
	(T4)	Quartär	schwebend**	Gesamt
01_T_EZG_S1_W	7.500			7.500
02_T_EZG_S1_E			400	400
03_T_EZG_S2			7.000	7.000
17_QT_Isar_N		61.296*		61.296
Gesamtsumme	7.500	61.296*	7.400	76.196

(T4): Limnische untere Serie / Limnische Süßwasserschichten

*Die Entnahmen sind zwar unter Bewässerung geführt, es handelt sich jedoch um Löschwasserbrunnen, sie wurden daher als nicht bilanzrelevant gesehen.

**Entnahmen aus schwebendem Grundwasserleiter (vgl. Kap. 2.2)

Öffentliche Trinkwasserversorgung

Tab. 6: Nicht bilanzrelevante genehmigte Grundwasserentnahmen der öffentlichen Wasserversorgung aufgeteilt auf Grundwasserleiter

Teilraum	Grundwasserentnahmen der öffentlichen Wasserversorgung [m³/a]			
	(T4)	(T4) und tiefer	Malm	Gesamt
01_T_EZG_S1_W	568.333		2.100.000	2.668.333
02_T_EZG_S1_E	842.222	912.222		1.754.444
03_T_EZG_S2	817.333	570.625		1.387.958
04_T_EZG_S3_W	541.667	108.333		650.000
05_T_EZG_S3_E	200.000			200.000
08_T_Isar_N	300.000			300.000
14_QT_Donau_S2		2.100		2.100
Gesamtsumme	3.269.556	1.593.281	2.100.000	6.962.836

(T4): Limnische untere Serie / Limnische Süßwasserschichten

Sonstige Grundwasserentnahmen

Tab. 7: Nicht bilanzrelevante genehmigte Grundwasserentnahmen für sonstige Zwecke aufgeteilt auf Grundwasserleiter

Teilraum	Grundwasserentnahmen für sonstige Zwecke [m ³ /a]			
	(T4)	(T4) und tiefer	schwebend	Gesamt
01_T_EZG_S1_W	54.600			54.600
02_T_EZG_S1_E		250.000		250.000
05_T_EZG_S3_E	37.500		315	37.815
07_T_EZG_gr_Laber			6.307	6.307
08_T_Isar_N			1.200	1.200
Gesamtergebnis	92.100	250.000	7.822	349.922

(T4): Limnische untere Serie / Limnische Süßwasserschichten

2.1.3 Bilanzrelevante genehmigte Grundwasserentnahmen

In Tab. 8 sind die bilanzrelevanten Grundwasserentnahmen auf die abgegrenzten Teilräume und hinsichtlich des Nutzungszwecks aufgeteilt. In den Tab. 9, Tab. 10 und Tab. 11 sind die Entnahmen auf die verschiedenen Nutzungszwecke, sowie den angenommenen genutzten Grundwasserleiter aufgeteilt.

In den quartären Teilräumen entfallen die größten Entnahmen mit 24,8 Mio. m³/a auf sonstige Zwecke, von denen Industrie und Gewerbe den größten Anteil einnehmen. Diese Menge entspricht ca. 82 % aller sonstigen Entnahmen im Untersuchungsgebiet (vgl. Tab. 10). Die größten Entnahmen der öffentlichen Wasserversorgung entfallen mit ca. 36,6 Mio. m³/a auf das gesamte Tertiärhügelland, dies entspricht ca. 65 % aller Entnahmen zur öffentlichen Wasserversorgung im Untersuchungsgebiet. Zahlreiche Entnahmen zur Bewässerung befinden sich im Donauquartär, diese fallen jedoch im Vergleich mit ca. 2,1 Mio. m³/a verhältnismäßig niedrig aus, was ca. 31 % der Gesamtbewässerungsentnahmen im Untersuchungsgebiet entspricht. Die größten Entnahmen zur Bewässerung entfallen auf das Tertiärhügelland mit ca. 3,7 Mio. m³/a (ca. 54 % der Gesamtbewässerungsentnahmen). Die restlichen Bewässerungsentnahmen im Untersuchungsgebiet teilen sich auf das Isarquartär und den Malm mit jeweils ca. 0,5 Mio. m³/a auf.

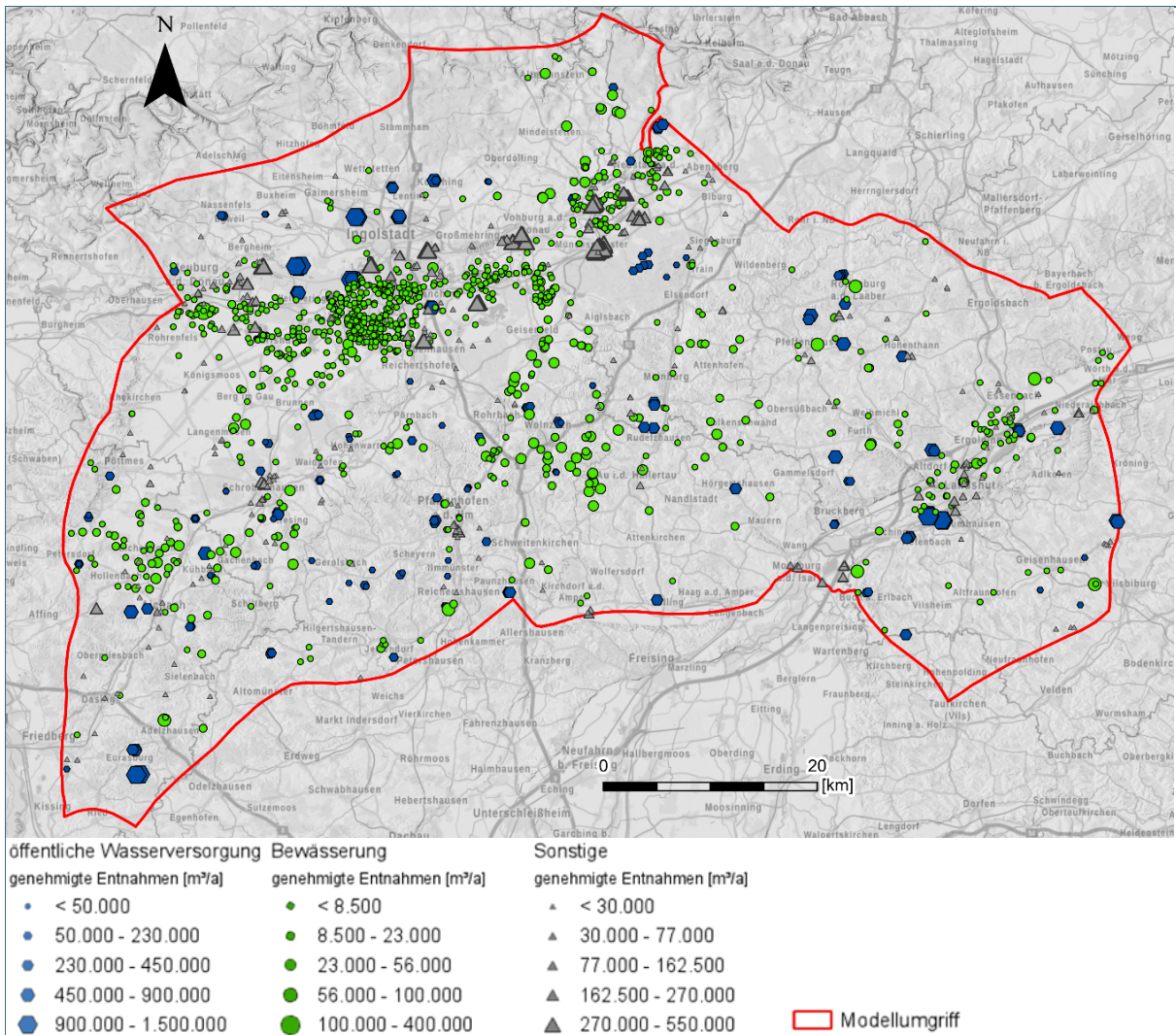


Abb. 21: Übersicht der genehmigten bilanzrelevanten Grundwasserentnahmen im Untersuchungsgebiet

Tab. 8: Genehmigte bilanzrelevante Grundwasserentnahmen [m³/a] unterteilt auf die Teilräume (Stand 2019)

Teilraum	Genehmigte bilanzrelevante Grundwasserentnahmen [m³/a]			
	Bewässerung	Sonstige	Öffentliche Wasserversorgung	Gesamt
01_T_EZG_S1_W	688.685	505.170	6.051.667	7.238.521
02_T_EZG_S1_E	381.850	713.408	3.183.422	4.278.680
03_T_EZG_S2	1.456.525	906.777	5.301.642	7.664.944
04_T_EZG_S3_W	172.200	22.000	650.000	844.200
05_T_EZG_S3_E	422.120	355.875	1.500.000	2.277.995
06_T_EZG_Amper	5.580	224.600	230.000	460.180
07_T_EZG_gr_Laber	202.840	272.300	4.300.000	4.775.140
08_T_Isar_N	286.994	118.050	8.340.000*	8.745.044
09_T_Isar_S	118.185	159.300	7.018.000**	7.295.485
Tertiärhügelland	3.734.979	3.277.480	36.574.731	43.580.189
10_M_Donau_N1	280.890	2.291.353***	15.892.000****	18.464.243
11_M_Donau_N2	212.030		150.000	362.030
12_M_Abensberg	30.000	30.000	1.000.000	1.060.000
Malm	522.920	2.321.353	17.042.000	19.886.273
13_QT_Donau_S1	1.463.671	2.432.774	1.000.000	4.903.445
14_QT_Donau_S2	129.755	4.321.460		4.451.215
15_QT_Donau_S3	426.790	11.666.768		12.093.558
16_QT_Donau_N	72.880	4.672.303	300.000	5.045.183
Donauquartär	2.093.096	23.093.306	1.300.000	26.493.402
17_QT_Isar_N	331.139	694.838	1.250.000	2.275.989
18_QT_Isar_S	177.270	1.024.300		1.201.570
Isarquartär	508.409	1.719.138	1.250.000	3.477.559
Gesamtsumme	6.859.404	30.411.276	56.166.731	93.437.423

* 1.850.000 / ** 2.200.000 [m³/a] werden aus Wasserfassungen entnommen, die geografisch innerhalb der Isarquartär-Teilräume liegen

*** 954.963 / **** 13.630.000 [m³/a] werden aus Wasserfassungen entnommen, die geografisch innerhalb der Donauquartär-Teilräume liegen

Tab. 9: Genehmigte bilanzrelevante Grundwasserentnahmen zur Bewässerung [m³/a] unterteilt auf Teilräume und genutzte Grundwasserleiter (Stand 2019)

Teilraum	Genehmigte bilanzrelevante Grundwasserentnahmen zur Bewässerung [m³/a]					
	(T1)	(T2)	(T3)	Malm	Quartär	Gesamt
01_T_EZG_S1_W		247.900	436.085		4.700	688.685
02_T_EZG_S1_E		174.500	203.550		3.800	381.850
03_T_EZG_S2		876.465	236.590		343.470	1.456.525
04_T_EZG_S3_W			154.700		17.500	172.200
05_T_EZG_S3_E	1.500	327.320			93.300	422.120
06_T_EZG_Amper	580	2.000			3.000	5.580
07_T_EZG_gr_Laber		188.340			14.500	202.840
08_T_Isar_N	15.000	271.994				286.994
09_T_Isar_S	8.180	109.365			640	118.185
Tertiärhügelland	25.260	2.197.884	1.030.925		480.910	3.734.979
10_M_Donau_N1				262.690	18.200	280.890
11_M_Donau_N2				169.030	43.000	212.030
12_M_Abensberg				19.700	10.300	30.000
Malm				451.420	71.500	522.920
13_QT_Donau_S1					1.463.671	1.463.671
14_QT_Donau_S2					129.755	129.755
15_QT_Donau_S3					426.790	426.790
16_QT_Donau_N					72.880	72.880
Donauquartär					2.093.096	2.093.096
17_QT_Isar_N					331.139	331.139
18_QT_Isar_S					177.270	177.270
Isarquartär					508.409	508.409
Gesamtsumme	25.260	2.197.884	1.030.925	451.420	3.153.915	6.859.404

(T1): Hangendserie/Obere Serie; (T2): Geröllsandserie/Nördliche Vollsotter; (T3): Fluviale Untere Serie/Fluviale Süßwasserschichten

Tab. 10: Genehmigte bilanzrelevante Grundwasserentnahmen für sonstige Zwecke [m³/a] unterteilt auf Teilräume und genutzte Grundwasserleiter (Stand 2019)

Teilraum	Genehmigte bilanzrelevante Grundwasserentnahmen für sonstige Zwecke [m³/a]					
	(T1)	(T2)	(T3)	Malm	Quartär	Gesamt
01_T_EZG_S1_W		270.320	171.750*		63.100	498.170
02_T_EZG_S1_E		24.500	631.923		56.985	713.408
03_T_EZG_S2	18.922	291.610	489.125		107.120	906.777
04_T_EZG_S3_W		15.000	7.000			22.000
05_T_EZG_S3_E		126.250	166.750		62.875	355.875
06_T_EZG_Amper		3.000			221.600	224.600
07_T_EZG_gr_Laber		52.300	220.000			272.300
08_T_Isar_N		118.050				118.050
09_T_Isar_S		159.300				159.300
Tertiärhügelland	18.922	1.060.330	1.679.548		511.680	3.270.480
10_M_Donau_N1				2.285.753**	5.600	2.291.353
11_M_Donau_N2						
12_M_Abensberg				30.000		30.000
Malm				2.315.753	5.600	2.321.353
13_QT_Donau_S1					2.432.774	2.439.774
14_QT_Donau_S2					4.321.460	4.321.460
15_QT_Donau_S3					11.666.768	11.666.768
16_QT_Donau_N					4.672.303	4.672.303
Donauquartär					23.093.306	23.100.306
17_QT_Isar_N					694.838	694.838
18_QT_Isar_S					1.024.300	1.024.300
Isarquartär					1.719.138	1.719.138
Gesamtsumme	18.922	1.060.330	1.686.548	2.315.753	25.329.724	30.411.276

(T1): Hangendserie/Obere Serie; (T2): Geröllsandserie/Nördliche Vollsotter; (T3): Fluviale Untere Serie/Fluviale Süßwasserschichten

* 7.000 [m³/a] werden aus einer Wasserfassung entnommen, die geografisch innerhalb eines Donauquartär-Teilraum liegt

** 954.963 [m³/a] werden aus Wasserfassungen entnommen, die geografisch innerhalb der Donauquartär-Teilräume liegen

Tab. 11: Genehmigte bilanzrelevante Grundwasserentnahmen zur öffentlichen Wasserversorgung [m³/a] unterteilt auf Teilräume und genutzte Grundwasserleiter (Stand 2019)

Teilraum	Genehmigte bilanzrelevante Grundwasserentnahmen durch die öffentliche Wasserversorgung [m³/a]					
	(T1)	(T2)	(T3)	Malm	Quartär	Gesamt
01_T_EZG_S1_W		3.328.333	2.723.333			6.051.667
02_T_EZG_S1_E		809.533	2.373.889			3.183.422
03_T_EZG_S2		2.798.433	2.503.208			5.301.642
04_T_EZG_S3_W			650.000			650.000
05_T_EZG_S3_E		1.300.000	200.000			1.500.000
06_T_EZG_Amper		230.000				230.000
07_T_EZG_gr_Laber		3.550.000	750.000			4.300.000
08_T_Isar_N		7.590.000	750.000			8.340.000
09_T_Isar_S		7.018.000				7.018.000
Tertiärhügelland		26.624.300	9.950.431			36.574.731
10_M_Donau_N1				15.712.000*	180.000	15.892.000
11_M_Donau_N2				150.000		150.000
12_M_Abensberg				1.000.000		1.000.000
Malm				16.862.000	180.000	17.042.000
13_QT_Donau_S1					1.000.000	1.000.000
14_QT_Donau_S2						
15_QT_Donau_S3						
16_QT_Donau_N					300.000	300.000
Donauquartär					1.300.000	1.300.000
17_QT_Isar_N					1.250.000	1.250.000
18_QT_Isar_S						
Isarquartär					1.250.000	1.250.000
Gesamtsumme		26.624.300	9.950.431	16.862.000	2.730.000	56.166.731

(T1): Hangendserie/Obere Serie; (T2): Geröllsandserie/Nördliche Vollsotter; (T3): Fluviale Untere Serie/Fluviale Süßwasserschichten

* 13.630.000 [m³/a] werden aus Wasserfassungen entnommen, die geografisch innerhalb der Donauquartär-Teilräume liegen

2.2 Entnahmen aus Quellen

Analog zu den Grundwasserentnahmen wurden an den zuständigen Landratsämtern genehmigte Entnahmen aus Quelfassungen erfasst, welche in Abb. 22 dargestellt sind. Innerhalb des Untersuchungsgebietes umfassen die genehmigten Entnahmen ca. 1,5 Mio. m³/a. In Tab. 12 ist deren Aufteilung auf die einzelnen hydrogeologischen Teilräume (vgl. Kapitel 4) dargestellt. Bewässerungsentnahmen spielen nur eine untergeordnete Rolle, der Großteil der Entnahmen findet nördlich der Donau statt und es handelt sich vorwiegend um sonstige Brauchwasserentnahmen. Die nördlich der Donau gelegenen Quellen beziehen ihr Wasser aus den jurassischen Schichten des Malms. Dieser neigt aufgrund der weitverbreiteten Karststrukturen zur Ausbildung ergiebiger Quellen. Hinsichtlich der Bilanzierung wurden die Quellen im Malm als Grundwasserentnahmen für den Teilraum „10_M_Donau_N1“ berücksichtigt, was auch für die zur öffentlichen Wasserversorgung genutzte Schillerquelle im Nordosten des Untersuchungsgebiets gilt, obwohl diese bereits im Teilraum „16_QT_Donau_N“ liegt.

Die südlich der Donau gelegenen Quellen befinden sich im Tertiärhügelland, hier handelt es sich um lokal begrenzte Schichtwasservorkommen, sogenannter „schwebender Grundwasserleiter“. Diese wurden für die Bilanzierung der Grundwasserleiter T1, T2 und T3 als nicht bilanzrelevant erachtet.

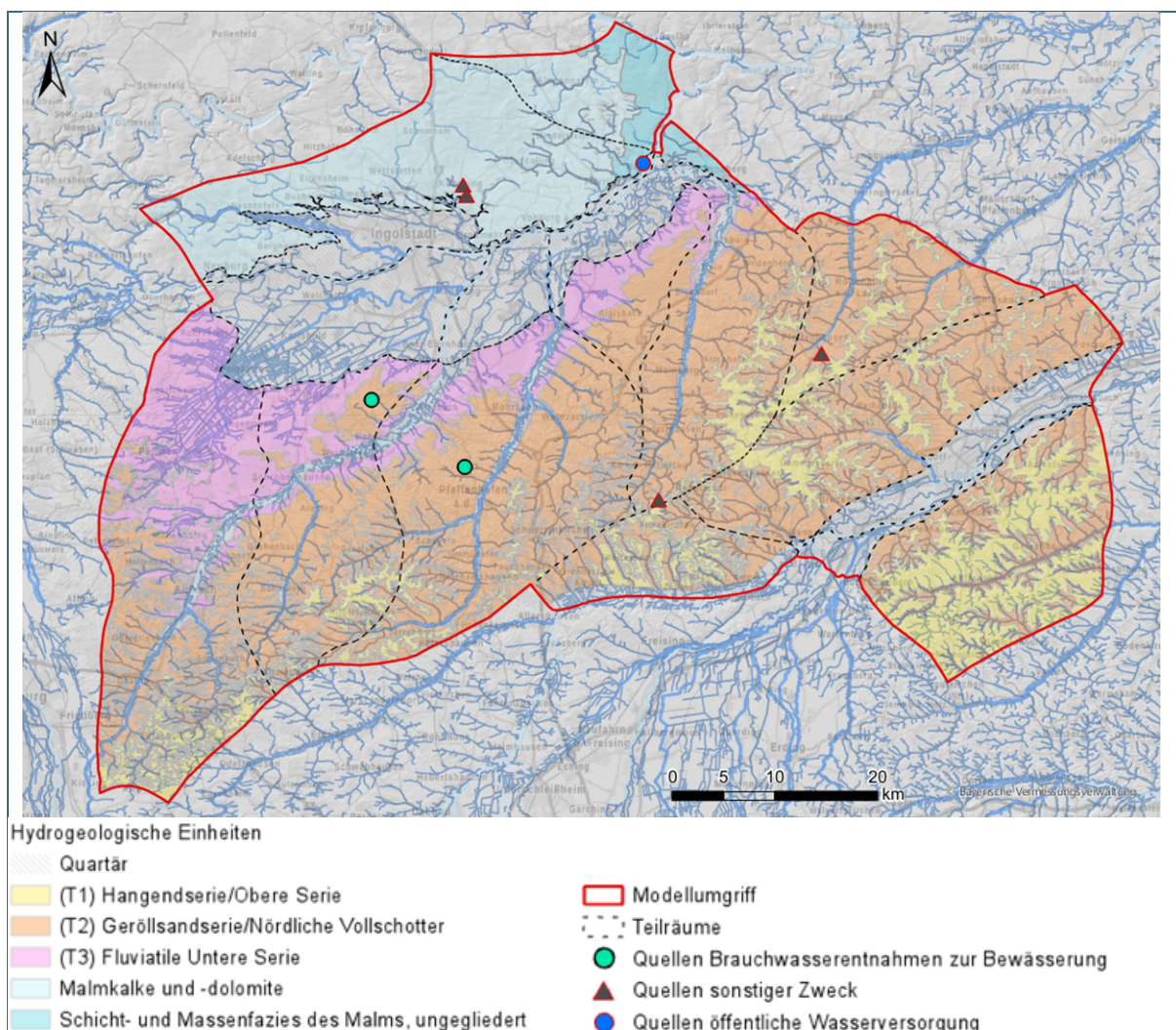


Abb. 22: Verteilung der Entnahmen aus Quellen im Untersuchungsgebiet

Tab. 12: Genehmigte Jahresentnahmemenge der Quellfassungen im Untersuchungsgebiet [m³/a]

Teilraum	Bewässerung	Sonstige	Öffentliche Wasserversorgung	Grundwasserleiter
10_M_Donau_N1		650.000		Malm
10_M_Donau_N1		650.000		Malm
16_QT_Donau_N			170.000	Malm
02_T_EZG_S1_E	400			Tertiär schwebender GWL
07_T_EZG_gr_Laber		18.922		Tertiär schwebender GWL
03_T_EZG_S2	7.000			Tertiär schwebender GWL
05_T_EZG_S3_E		315		Tertiär schwebender GWL
08_T_Isar_N		1.200		Tertiär schwebender GWL

Die in Tab. 12 aufgeführten Grundwasserentnahmen aus Quellen sind bereits in den Tab. 3 und Tab. 8 (bilanzrelevant) enthalten.

2.3 Oberflächengewässerentnahmen

Analog zu den Grundwasserentnahmen wurden an den zuständigen Landratsämtern genehmigte Oberflächengewässerentnahmen erfasst. Diese sind in Abb. 23 dargestellt. Innerhalb des Untersuchungsgebietes umfassen die genehmigten Oberflächengewässerentnahmen 23,85 Mio. m³/a. Die mit Abstand größte Entnahme stellt hier das Atomkraftwerk Isar 2 mit 23,4 Mio. m³/a dar. Dabei umfasst die eigentliche Entnahme 109,5 Mio. m³/a, von der ein Anteil von 86,1 Mio. m³/a wieder in die Isar zurückgeleitet wird. In der Aufstellung der Entnahmen wurde sich daher auf den im Kühlturm verdunstenden Anteil beschränkt. In Tab. 13 wurden die Oberflächengewässerentnahmen auf die einzelnen hydrogeologischen Teilräume (vgl. Kapitel 4) aufgeteilt. Ein Großteil der Entnahmen findet im Tertiärhügelland zur Bewässerung von Hopfen statt.

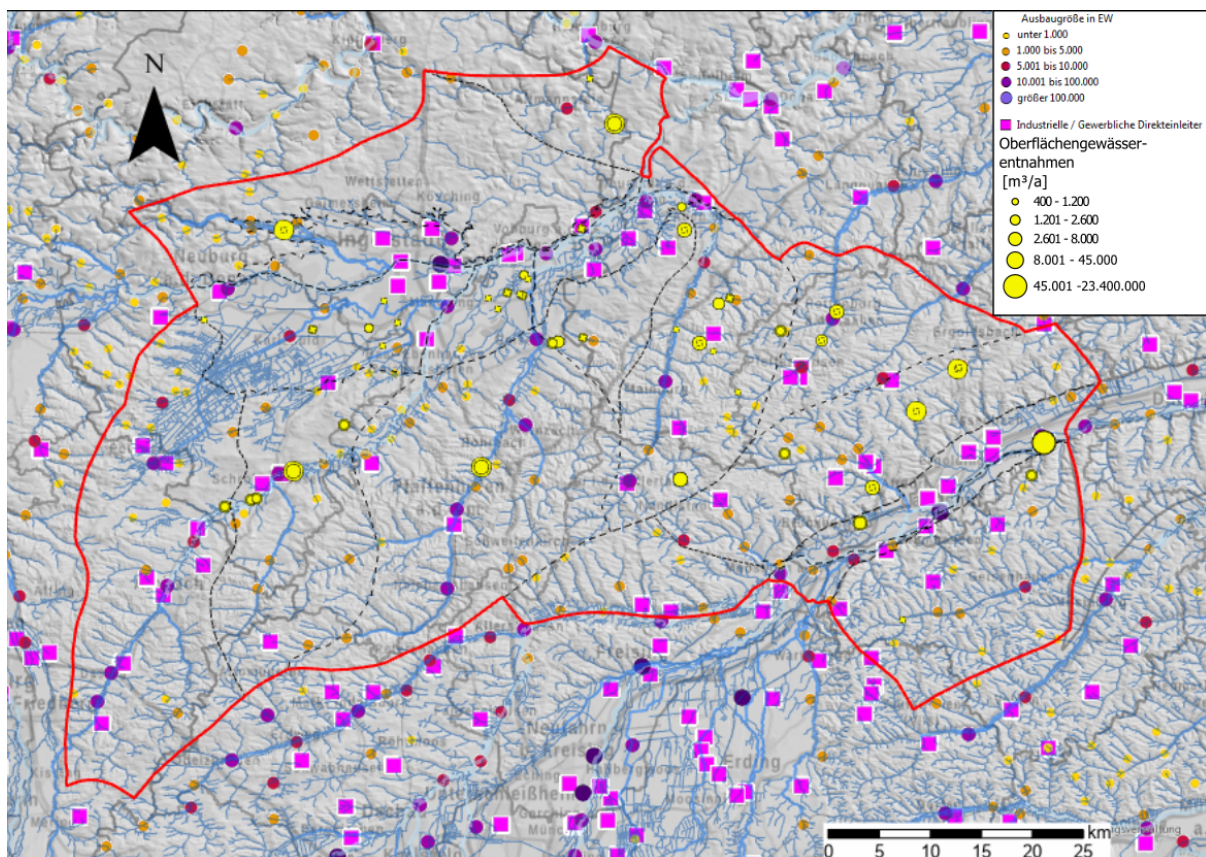


Abb. 23: Verteilung der Oberflächenwasserentnahmen (gelb), sowie Einleitungen kommunaler und industrieller Abwasserbehandlungen

Tab. 13: Oberflächengewässerentnahmen im Untersuchungsgebiet in [m³/a]

Teilraum	Bewässerung	Sonstige	Gesamt
01_T_EZG_S1_W	8.000		8.000
02_T_EZG_S1_E	66.000		66.000
03_T_EZG_S2	37.000		37.000
04_T_EZG_S3_W	27.500		27.500
	1800*		1800*
05_T_EZG_S3_E	29.000	7.950	36.950
	13.060*	2.555*	15.615*
07_T_EZG_gr_Laber	16.200*		16.200*
08_T_Isar_N	4.800		4.800
	648*	118.260*	118.908*
09_T_Isar_S	750	6.000	6.750
Tertiärhügelland	204.758	134.765	339.523
11_M_Donau_N2	33.000		33.000
	960*		960*
Malm	33.960		33.960
13_QT_Donau_S1	7.450		7.450
14_QT_Donau_S2	9.600		9.600
16_QT_Donau_N	1.719		1.719
		47.304*	47.304*
Donauquartär	18.769	47.304	66.073
17_QT_Isar_N		23.415.137**	23.415.137
Isarquartär		23.415.137	23.415.137
Entnahmen mit festgeschriebener Jahresentnahmemenge im Bescheid	224.819	23.429.087	253.906
Entnahmen mit abgeschätzter Jahresentnahmemenge	32.668*	168.119*	200.787*
Oberflächengewässerentnahmen gesamt	257.487	23.597.206	454.693

* die gekennzeichneten Entnahmen wurden aufgrund fehlender Angabe der Jahresentnahmemenge hochskaliert

** Flusswasserentnahme für AKW Isar2, hier handelt es sich um den im Kühlturm verdunstenden Anteil (Netto-Entnahme). Die eigentliche Entnahme beträgt 109.500.000 [m³/a], hiervon werden jedoch 86.100.000 [m³/a] wieder eingeleitet.

3 Dargebotsbewertung in der Wasserwirtschaft

Bei der Grundwasserdargebotsbewertung ist der mengenmäßige Zustand eines (Teil-)Bilanzgebietes zu betrachten. Hierbei ist die Kenntnis aller Einflussgrößen einer Grundwasserbilanz zur Ermittlung des verfügbaren Grundwasserdargebots und eine der Bewertung entsprechend notwendigen Abgrenzung von (Teil-)Bilanzräumen erforderlich. Im Rahmen einer Grundwasserdargebotsbetrachtung spielen neben der Grundwasserneubildung und den bereits vorhandenen Entnahmen auch Randzu- und -abströme sowie die Interaktion mit Oberflächengewässern und dadurch bedingte Uferfiltratanteile eine Rolle. Wieviel Grundwasser entnommen werden kann, hängt zudem von weiteren Parametern ab, die zur Beurteilung des mengenmäßigen Zustands eines (Teil-)Bilanzraums heranzuziehen sind, insbesondere Grundwasserganglinienanalysen, Wasserbilanzbetrachtungen, grundwasserabhängige Oberflächengewässer und/oder Landökosysteme.

In die Grundwasserdargebotsbewertung fließen die Bilanzkomponenten Grundwasserneubildung, Randzustrom, Uferfiltratanteile und Grundwasserentnahmen aus der hydrogeologischen Modellvorstellung ein. Die maximale Bewirtschaftungsmenge und damit das nutzbare Grundwasserdargebot in einem (Teil-)Bilanzgebiet entspricht der sogenannten gebietsspezifischen Wassermenge.

$$\text{gebietsspezifische Wassermenge} = \text{maximal 30 \% Grundwasserneubildung} + \text{Randzustrom} + \text{Uferfiltratanteil} - \text{bestehende Entnahmen}$$

Die Berücksichtigung des Anteils der Grundwasserneubildung ist abhängig vom vorhandenen Grundwasserdargebot und ggf. entsprechend zu reduzieren, wenn dies aus Gründen der Bewirtschaftung des Grundwasserleiters erforderlich ist. In Anlehnung an das EG-WRRRL-Kriterium zur Einschätzung des Risikos, den guten mengenmäßigen Zustand des Grundwasserkörpers zu verfehlen, dürfen maximal 30 % der Grundwasserneubildung als Orientierungswert bei der Beurteilung und nur bei ausreichendem Grundwasserdargebot angesetzt werden. Die Bilanzkomponenten Randzustrom und Uferfiltrat sind nur in den Fällen anzuwenden, in denen gesicherte Erkenntnisse vorhanden sind. Für den Randzustrom gilt ein Orientierungswert von 30 % des Gesamttrandzustroms. Abweichungen davon sind grundsätzlich möglich (z.B. höherer Anteil bei gut gestützten Grundwasserleitern, geringerer Anteil bei langfristig sinkenden Grundwasserständen, Nutzungskonflikten oder negativen Umweltauswirkungen). Für eine Zustandsbewertung sind zudem weitere Parameter, wie zum Beispiel die Entwicklung von Grundwasserganglinien, zu berücksichtigen und ggf. auf dieser Grundlage die maximalen Orientierungswerte zu reduzieren.

Die maximale gebietsspezifische Wassermenge gilt als maximale Bewirtschaftungsmenge im definierten Teileinzugsgebiet. Sofern (Teil-)Bilanzräume eine Übernutzung des nutzbaren Grundwasserdargebots anzeigen, kann im Rahmen der Bewirtschaftung die Einteilung in ein Risikogebiet notwendig werden. Für eine nachhaltige Bewirtschaftung der Grundwasserressourcen ist darin ggf. ein erweitertes Grundwassermonitoring, die Festlegung von minimalen Grenzgrundwasserständen und/oder eine Anpassung der Entnahmemengen erforderlich.

4 Erstellung des hydrogeologischen Modells

4.1 Methodik

Zur Erstellung des hydrogeologischen Modells wurde zunächst der Modellraum mit äußeren Randbedingungen unter Vorgabe von Zu-, Abflüssen und No-Flow-Randbedingungen abgegrenzt (Abb. 24, Anlage 9). Im nächsten Schritt erfolgte aufgrund der naturräumlichen Verhältnisse die Unterteilung des Modellraumes in mehrere Teilräume für die oberflächennahen Grundwasserleiter. Die Orientierung erfolgte hierbei an der Verbreitung der hydrogeologischen Einheiten der Hydrogeologischen Karte ((LFU, 2002, HK100) und den jeweiligen Grundwassergleichen. Die Wechselwirkung dieser Räume untereinander sowie der Einfluss der Modellränder wurde in Form von Randzu- und Randabströmen festgelegt. Für die Abschätzung der Randzuflüsse musste die wassererfüllte Quartärmächtigkeit ermittelt werden. Dazu wurden die Grundwassergleichen der Hydrogeologischen Karte ((LFU, 2002, HK100) mit den modellierten Quartärunterkanten verschnitten (Anlage 7).

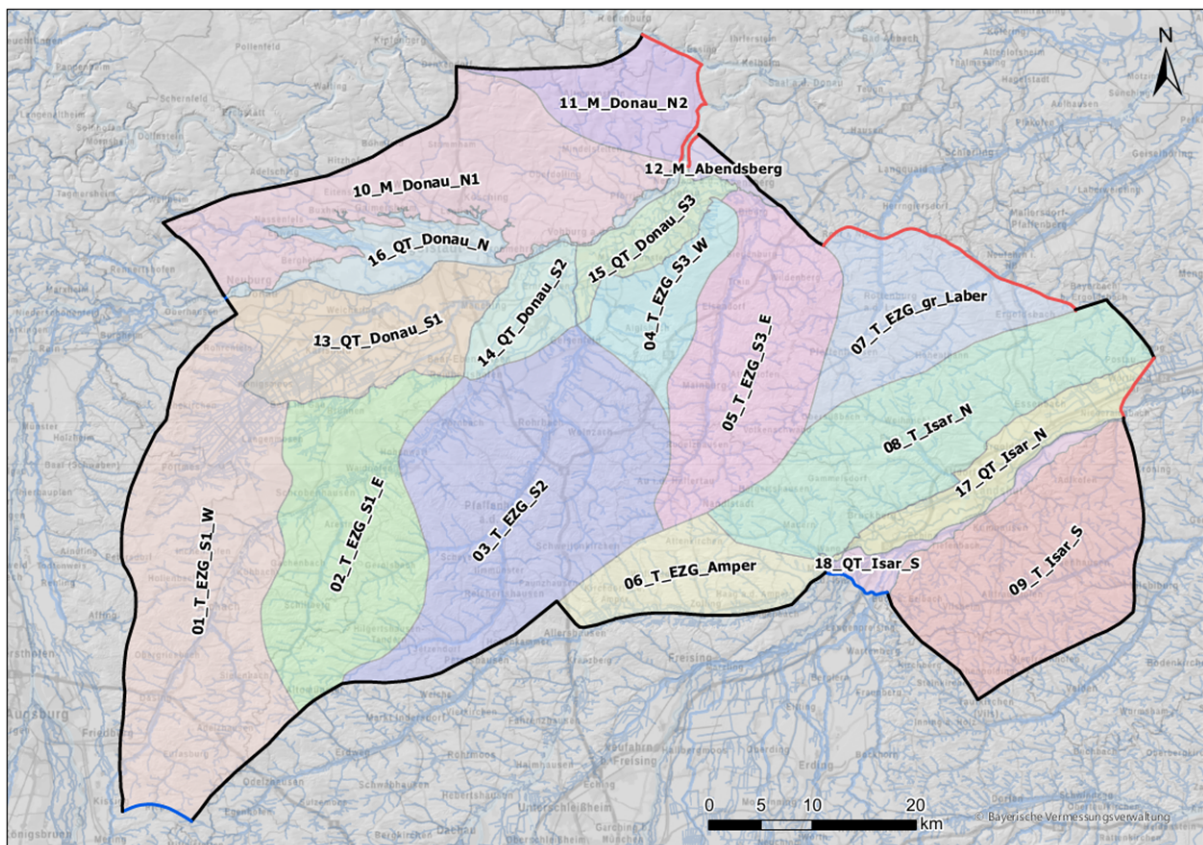


Abb. 24: Modellgebiet mit Teilräumen und Randbedingungen (Schwarz=No-Flow, Blau=Zufluss, Rot=Abfluss)

4.2 Vertikale Abgrenzung des Modellraums und der Teilräume

Für das Donau- und Isartal stellen die angrenzenden tertiären Flanken wichtige Grundwasserneubildungsgebiete dar. Aus der Hydrogeologischen Karte (LFU, 2002, HK100) lässt sich anhand der Grundwassergleichen des Tertiärs entnehmen, dass diese mit den quartären Sedimenten der großen Flusstäler (Donau, Isar, Amper) in hydraulischen Kontakt stehen. Es wird angenommen, dass das im tertiären Hauptgrundwasserstockwerk neugebildete Grundwasser den quartären Grundwasserleitern zuströmt. Dies ist schematisch dem in Abb. 25 dargestellten Profil zu entnehmen, welches die Interaktion zwischen dem Donauquartär und dessen tertiären Einzugsgebiet verdeutlicht. Um den südlichen Randzustrom aus dem Tertiär korrekt zu erfassen, müssen die Grundwasserleiter T1, T2 und T3 im Detail bilanziert werden. Tiefere hydrogeologische Einheiten des Tertiärs wurden im hydrogeologischen Modell nicht bilanziert, da weder zum Einzugsgebiet, noch zu deren Entlastungszonen genaue Kenntnisse vorliegen. Es wurde angenommen, dass deren Einfluss auf die darüber liegenden Grundwasserleiter vernachlässigbar gering ausfällt.

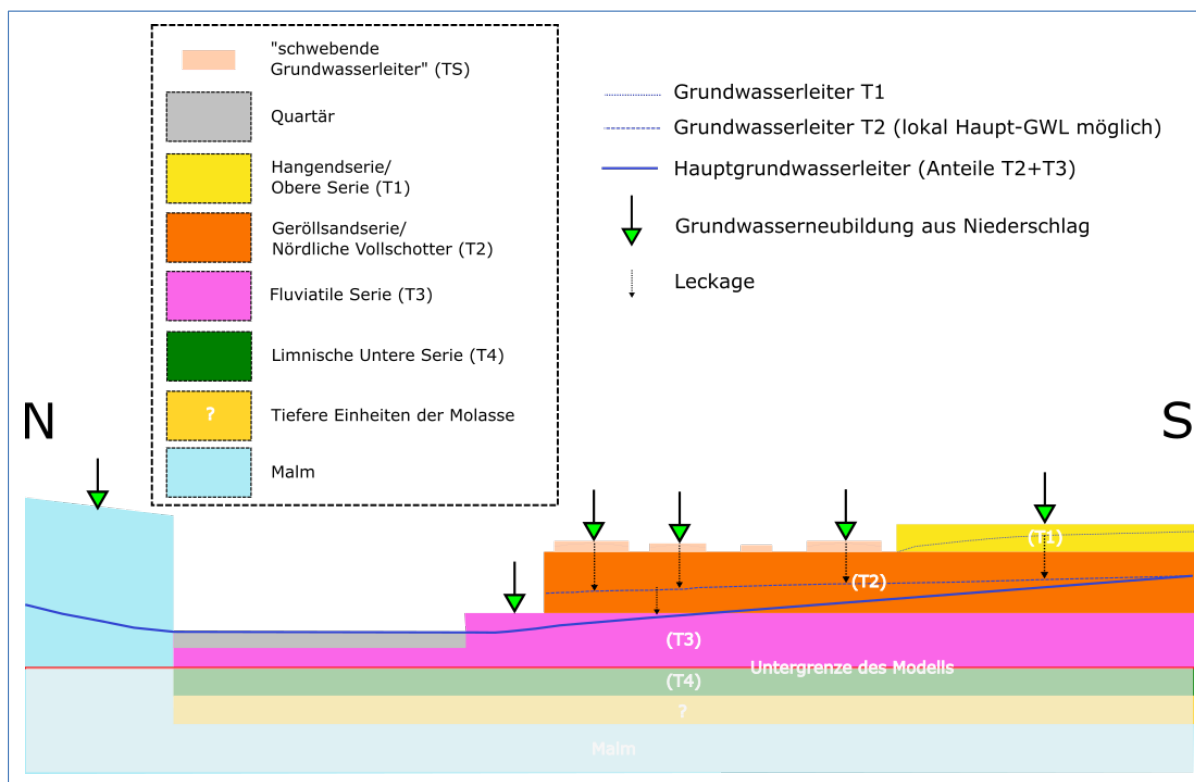


Abb. 25: Schemaprofil des Donauquartärs und dessen Tertiären Einzugsgebiet im hydrogeologischen Modell Halbertau, Jurahopfen, Ingolstädter Becken

4.3 Horizontale Abgrenzung des Modellraums und der Teilräume

Das Modellgebiet lässt sich in Anlehnung an die hydrogeologischen Einheiten vereinfacht in drei Bereiche gliedern (vgl. Kap. 1.5). Der Großteil der Grenzen, die im Tertiär liegen, verlaufen entlang von Grundwasserscheiden bzw. Randstromlinien und entsprechen No-Flow-Randbedingungen. Ausnahmen bilden hier zum einen die Grenze im Südwesten auf der Höhe von Ried, zum anderen die Grenze im Nordosten zwischen Rohr in Niederbayern und Bayerbach bei Ergoldsbach. Im Südwesten wird hier ein Zustrom, im Nordosten ein Abstrom angesetzt.

Weitere Zuflüsse erfährt der Modellraum westlich bzw. südwestlich über das Donau- und Isarquartär. Aufgrund der starken Einengung des Donauquartärs beim Eintritt in das Modellgebiet fällt dieser Zuflussbereich sehr schmal aus (vgl. Anlage 9).

Im Südlichen Bereich des Modellgebiets verläuft eine Grundwasserscheide im Tertiär (Altomünster - Petershausen – Nandlstadt – Hohenthann – Ergoldsbach), südlich davon übernimmt die Isar, bzw. lokal die Amper, nördlich davon die Donau die Vorflutfunktion. Das Isarquartär wird von den nördlich und südlich gelegenen tertiären Teilräumen gespeist. Der Abschnitt des Isarquartärs verläuft von Moosburg bis Wörth an der Isar und schließt im Osten mit der Grenze zum hydrogeologischen Modell „Osterhofener Platte, Unteres Isartal, Vilstal“ ab (LFU, 2021).

Die Westgrenze des Modellgebiets verläuft im Tertiär im Wesentlichen entlang einer Grundwasserscheide und im Malm entlang einer Randstromlinie, welche damit No-Flow Randbedingungen darstellen. Im Norden des Modellgebietes verläuft die Grenze im Malm entlang einer Grundwasserscheide.

4.3.1 Malm

Teilraum „10_M_Donau_N1“

Der Teilraum „10_M_Donau_N1“ umfasst eine Fläche von ca. 426 km². Bis auf die Südgrenze verlaufen alle Grenzen entweder entlang einer Grundwasserscheide (Norden) oder entlang einer Randstromlinie (Westen, Osten). Die Südgrenze des Teilraums verläuft entlang des Übergangs von jurassischen Sedimenten des Malms zu den quartären Sedimenten des Donauquartärs. Häufig sind zwischen dem Malm und den quartären Sedimenten gering durchlässige tertiäre Sedimente ausgebildet, was dazu führt, dass der Zustrom vorwiegend in Bereichen stattfindet, wo diese Trennschichten fehlen. Soweit dies durch vorangegangene Gutachten bekannt ist und sich im Modell auflösen lässt, findet dies Berücksichtigung. Es wird angenommen, dass die lokale Grundwasserneubildung, abzüglich der örtlichen Entnahmen, als Randzustrom in das Donauquartär übergeht.

Teilraum „11_M_Donau_N2“

Der Teilraum „11_M_Donau_N2“ umfasst eine Fläche von ca. 134 km². Bis auf die Ost- und Nordostgrenze verlaufen alle Grenzen entlang einer Grundwasserscheide (Norden) oder einer Randstromlinie im Grenzverlauf zum Nachbarraum. Die Ostgrenze verläuft entlang der Donau, die Nordostgrenze entlang des Main-Donau-Kanals. Diese stellen gemeinsam die Vorfluter dieses Teilraums. Es wird angenommen, dass die lokale Grundwasserneubildung, abzüglich der örtlichen Entnahmen, in die Vorfluter exfiltriert.

Teilraum „12_M_Abensberg“

Der Teilraum „12_M_Abensberg“ umfasst eine Fläche von ca. 18 km². Während die Ostgrenze entlang einer Randstromlinie verläuft, verlaufen die Grenzen im Westen entlang des Übergangs von jurassischen Sedimenten des Malms zu den quartären Sedimenten des Donauquartärs. Die nördliche Grenze verläuft entlang der Donau, welche den Vorfluter des Teilraums darstellt. Es wird angenommen, dass die lokale Grundwasserneubildung, abzüglich der örtlichen Entnahmen, in die Donau exfiltriert.

4.3.2 Tertiärhügelland

Mit Ausnahme des Isartalquartärs setzt sich das südliche Modellgebiet fast ausschließlich aus tertiären Teilräumen zusammen. Für die Teilräume 01 – 05 ist die Donau der Vorfluter, das tertiäre Grundwasser fließt hier nach Norden zum Donauquartär. Teilraum 06 hat die Amper als Vorfluter, welche im Süden des Modellgebiets kurz darauf in die Isar mündet. Das Grundwasser strömt hier nach Süden zur Amper. Der Teilraum 07 hat unmittelbar die kleine und große Laber als Vorfluter, welche nordöstlich des Modellgebiets in die Donau münden. Für die Teilräume 08 und 09 stellt die Isar den Vorfluter dar, bei der sich die Teilräume nördlich und südlich davon befinden.

Teilraum „01_T_EZG_S1_W“

Der Teilraum „01_T_EZG_S1_W“ mit einer Fläche von ca. 586 km² verläuft entlang der Westgrenze des Modellgebiets. Im Osten und Westen wird der Teilraum durch eine Grundwasserscheide abgegrenzt, im Südwesten verläuft die Grenze auf der Höhe von Ried entlang einer Grundwassergleiche, es erfolgt damit ein Zustrom. Die Nordgrenze des Teilraums verläuft entlang des Übergangs von tertiären zu quartären Sedimenten. In diesem morphologisch sehr flachen Gebiet sind weitflächige Moorflächen ausgebildet, das sogenannte Donaumoos. Das Donaumoos ist stark anthropogen beeinflusst, so wurden bereits 1790 erste Maßnahmen zur Entwässerung eingeleitet, um das Moor landwirtschaftlich nutzbar zu machen. Das Moor ist folglich von einem dichten Netzwerk an Entwässerungsgräben durchzogen. Da Moore in ihrer natürlichen Funktion große Mengen CO₂ speichern und damit wesentlich zum Klimaschutz beitragen, werden gegenwärtig im Rahmen des Donaumoos-Entwicklungskonzeptes ganzheitliche Sanierungsoptionen entwickelt.

Der gesamte Teilraum wird von tertiären Sedimenten bestimmt. Im südlichen Teil befinden sich noch Ausstriche der Oberen Serie und Hangendserie, welche den tertiären Grundwasserleiter T1 bilden (vgl. Kapitel 1.5.2). Dieser wird von der Geröllsandserie bzw. der Nördlichen Vollsotter Abfolge unterlagert, welche den Grundwasserleiter T2 bilden. Dieser streicht von der Südgrenze bis etwa Aichach breitflächig aus. Nördlich davon befinden sich meist nur noch geringmächtige kleinräumige Ausbisse. Hier stellt der Grundwasserleiter T3 aus Fluviatiler Unterer Serie und den Fluviatilen Süßwasserschichten den tertiären Hauptgrundwasserleiter dar. Der Teilraum wird von der Paar durchquert, welche von Südwesten nach Nordosten in Richtung Donau fließt. Die Paar nimmt nur lokal Vorflutfunktion für den tertiären Hauptgrundwasserleiter ein. Ein Großteil des Grundwassers strömt daher dem nördlich gelegenen Donauquartär zu. Für die Grundwasserleiter T1 und T2 wird angenommen, dass die Grundwasserneubildung abzüglich der lokalen Entnahmen den lokalen Vorflutern zuströmt. Für den Grundwasserleiter T3 wird angenommen, dass die Grundwasserneubildung, abzüglich der lokalen Entnahmen, als Randzustrom in das Donauquartär übergeht.

Teilraum „02_T_EZG_S1_E“

Der Teilraum „02_T_EZG_S1_E“ umfasst eine Fläche von ca. 374 km². Bis auf die Nordgrenze verlaufen alle Grenzen entweder entlang einer Grundwasserscheide oder Randstromlinie. Die Nordgrenze des Teilraums verläuft entlang des Übergangs von tertiären zu quartären Sedimenten. Der Teilraum wird auf Höhe Schrobenhausen von der Paar durchquert, nördlich davon stellt der Grundwasserleiter T3 den tertiären Hauptgrundwasserleiter. Südlich davon wird der tertiäre Hauptgrundwasserleiter durch den Grundwasserleiter T2 geprägt. Entlang der Südgrenze ist lokal ebenfalls der Grundwasserleiter T1 ausgebildet, dieser spielt jedoch allenfalls regional eine Rolle. Für die Grundwasserleiter T1 und T2 wird angenommen, dass die Grundwasserneubildung abzüglich der lokalen Entnahmen den lokalen Vorflutern zuströmt. Für den Grundwasserleiter T3 wird angenommen, dass die Grundwasserneubildung, abzüglich der lokalen Entnahmen, als Randzustrom in das Donauquartär übergeht.

Teilraum „03_T_EZG_S2“

Der Teilraum „03_T_EZG_S2“ umfasst eine Fläche von ca. 583 km². Bis auf die Nordgrenze verlaufen alle Grenzen entlang einer Grundwasserscheide (Südgrenze) oder Randstromlinie (West-, Ostgrenze). Die Nordgrenze des Teilraums verläuft entlang des Übergangs von tertiären zu quartären Sedimenten. Die Paar durchquert im Nordwesten den Teilraum, auf der Höhe Reichertshofen verlässt diese den Teilraum und geht ins Donauquartär über. Im Südwesten des Teilraums entspringt die Ilm, welche im Nordosten bei Geisenfeld in das Donauquartär übergeht. Entlang der Nordgrenze streicht der Grundwasserleiter T3 in einem schmalen Band aus. Südlich der Paar wird dieser von zum Teil mächtigen Sedimenten des Grundwasserleiters T2 überlagert. Entlang der Südgrenze ist lokal ebenfalls der Grundwasserleiter T1 ausgebildet, dieser spielt jedoch allenfalls regional eine Rolle. Für die Grundwasserleiter T1 und T2 wird angenommen, dass die Grundwasserneubildung abzüglich der lokalen Entnahmen den lokalen Vorflutern zuströmt. Für den Grundwasserleiter T3 wird angenommen, dass die Grundwasserneubildung, abzüglich der lokalen Entnahmen, als Randzustrom in das Donauquartär übergeht.

Teilraum „04_T_EZG_S3_W“

Der Teilraum „04_T_EZG_S3_W“ umfasst eine Fläche von ca. 123 km². Bis auf die Nordgrenze verlaufen alle Grenzen entlang einer Grundwasserscheide oder Randstromlinie. Die Nordgrenze des Teilraums verläuft entlang des Übergangs von tertiären zu quartären Sedimenten. Entlang der Nordgrenze streicht der Grundwasserleiter T3 in einem schmalen Band aus. In der südlichen Hälfte wird dieser von Sedimenten des Grundwasserleiters T2 überlagert. Sedimente des Grundwasserleiters T1 sind aufgrund ihrer kleinräumigen und unzusammenhängenden Verbreitung für diesen Teilraum unbedeutend. Für die Grundwasserleiter T1 und T2 wird angenommen, dass die Grundwasserneubildung abzüglich der lokalen Entnahmen den lokalen Vorflutern zuströmt. Für den Grundwasserleiter T3 wird angenommen, dass die Grundwasserneubildung, abzüglich der lokalen Entnahmen, als Randzustrom in das Donauquartär übergeht.

Teilraum „05_T_EZG_S3_E“

Der Teilraum „05_T_EZG_S3_E“ umfasst eine Fläche von ca. 347 km². Bis auf die Nordgrenze verlaufen alle Grenzen entlang einer Grundwasserscheide oder Randstromlinie. Die Nordgrenze des Teilraums verläuft entlang des Übergangs von tertiären zu quartären Sedimenten. Im Südwesten des Teilraums entspringt die Abens, welche im Norden bei Abensberg in das Donauquartär übergeht. Entlang der Nordgrenze streicht der Grundwasserleiter T3 in einem schmalen Band aus. Südlich von Elsendorf wird dieser von zum Teil mächtigen Sedimenten des Grundwasserleiters T2 überlagert. Entlang der Südgrenze ist lokal ebenfalls der Grundwasserleiter T1 ausgebildet, dieser spielt jedoch allenfalls regional eine Rolle. Für die Grundwasserleiter T1 und T2 wird angenommen, dass die Grundwasserneubildung abzüglich der lokalen Entnahmen den lokalen Vorflutern zuströmt. Für den Grundwasserleiter T3 wird angenommen, dass die Grundwasserneubildung, abzüglich der lokalen Entnahmen, als Randzustrom in das Donauquartär übergeht.

Teilraum „06_T_EZG_Amper“

Der Teilraum „06_T_EZG_Amper“ umfasst eine Fläche von ca. 158 km². Bis auf die Südgrenze verlaufen alle Grenzen entlang einer Grundwasserscheide (Norden) oder entlang von Randstromlinien (Westen, Osten). Die Südgrenze des Teilraums verläuft entlang der Amper, welche den Vorfluter für

diesen Teilraum darstellt. Für den Grundwasserleiter T1 wird angenommen, dass die Grundwasserneubildung abzüglich der lokalen Entnahmen den lokalen Vorflutern zuströmt. Für den Grundwasserleiter T2 wird angenommen, dass die Grundwasserneubildung, abzüglich der lokalen Entnahmen, als Randzustrom dem südlich gelegenen Amperquartär zuströmt.

Teilraum „07_T_EZG_gr_Laber“

Der Teilraum „07_T_EZG_gr_Laber“ umfasst eine Fläche von ca. 230 km². Bis auf die nordöstlich gelegene Grenze verlaufen alle Grenzen entlang einer Grundwasserscheide oder Randstromlinie. Die Nordostgrenze des Teilraums verläuft entlang einer Grundwassergleiche im Tertiär. Das tertiäre Grundwasser strömt hier nordöstlich in Richtung Donauquartär ab. Die kleine Laber entspringt in der Nähe der Südgrenze des Teilraums und verlässt den Teilraum in Richtung Osten, die große Laber entspringt unweit der Westgrenze des Teilraums und verlässt diesen im Nordosten bei Laaberberg. Im gesamten Teilraum stellt der Grundwasserleiter T2 den Hauptgrundwasserleiter. Lokal ist ebenfalls der Grundwasserleiter T1 ausgebildet, dieser spielt jedoch allenfalls regional eine Rolle. Für den Grundwasserleiter T1 wird angenommen, dass die Grundwasserneubildung abzüglich der lokalen Entnahmen den lokalen Vorflutern zuströmt. Für den Grundwasserleiter T2 wird angenommen, dass die lokale Grundwasserneubildung, abzüglich der örtlichen Entnahmen, das Modellgebiet in Richtung Nordosten als Randabstrom verlässt.

Teilraum „08_T_Isar_N“

Der Teilraum „08_T_Isar_N“ umfasst eine Fläche von ca. 394 km². Bis auf die Südgrenze verlaufen alle Grenzen entweder entlang einer Grundwasserscheide (Norden) oder entlang von Randstromlinien (Westen, Osten). Die Südgrenze des Teilraums verläuft entlang des Übergangs von den tertiären Sedimenten der Nördlichen Vollsotter (Grundwasserleiter T2) zu den quartären Sedimenten des Isarquartärs. Für den Grundwasserleiter T1 wird angenommen, dass die Grundwasserneubildung abzüglich der lokalen Entnahmen den lokalen Vorflutern zuströmt. Für den Grundwasserleiter T2 wird angenommen, dass die lokale Grundwasserneubildung, abzüglich der örtlichen Entnahmen, als Randzustrom in das Isarquartär übergeht.

Teilraum „09_T_Isar_S“

Der Teilraum „09_T_Isar_S“ umfasst eine Fläche von ca. 372 km². Bis auf die Nordgrenze verlaufen alle Grenzen entweder entlang einer Grundwasserscheide (Süden) oder entlang von Randstromlinien (Westen, Osten). Die Nordgrenze des Teilraums verläuft entlang des Übergangs von den tertiären Sedimenten der Nördlichen Vollsotter (Grundwasserleiter T2) zu den quartären Sedimenten des Isarquartärs. Für den Grundwasserleiter T1 wird angenommen, dass die Grundwasserneubildung abzüglich der lokalen Entnahmen den lokalen Vorflutern zuströmt. Für den Grundwasserleiter T2 wird angenommen, dass die lokale Grundwasserneubildung, abzüglich der örtlichen Entnahmen, als Randzustrom in das südliche Isarquartär übergeht.

4.3.3 Nördliches Donauquartär

Teilraum „16_QT_Donau_N“

Der Quartärteilraum „16_QT_Donau_N“ umfasst eine Fläche von ca. 117 km². Im Norden erhält dieser Teilraum einen Zustrom vom Malmteilraum „10_M_Donau_N1“. Durch das Grundwassermodell Malm im Bereich des Ingolstädter Beckens (ISAR CONSULT, 1997) sind Kenntnisse über den Zustrom aus dem Malm in das Quartär und dessen räumliche Verteilung bekannt. Auf Grundlage des Gutachtens wurde daher die Grundwasserneubildung des Teilraums „10_M_Donau_N1“, zwischen den südlich der Donau gelegenen Quartärteilräumen „14_QT_Donau_S2“, „15_QT_Donau_S3“ und dem nördlich

der Donau gelegenen Teilraum „16_QT_Donau_N“ aufgeteilt (vgl. 0). Es wird angenommen, dass die Summe aus lokaler Grundwasserneubildung und dem Randzustrom aus dem Norden, abzüglich der örtlichen Entnahmen, in die lokalen Vorfluter exfiltriert.

4.3.4 Südliches Donauquartär

Teilraum „13_QT_Donau_S1“

Der Teilraum „13_QT_Donau_S1“ umfasst eine Fläche von ca. 236 km². Im Süden erhält dieser Zustrom aus den südlich gelegenen tertiären Teilräumen („01_T_EZG_S1_W“, „02_T_EZG_S1_E“). Die Ostgrenze verläuft entlang der Paar. Im südlichen Verlauf bis Manching exfiltriert die Paar ins Donauquartär, nördlich von Manching infiltriert das quartäre Grundwasser in die Paar, diese erlangt also Vorflutfunktion. Im Norden verläuft die Grenze entlang der Donau, welche für diesen Teilraum unter natürlichen Verhältnissen als Vorfluter agieren würde. Aufgrund der bereits unter Kapitel 1.6 aufgeführten Punkte, bezüglich der Stauhaltung und des Verbaus der Donau, übernimmt diese jedoch nur eingeschränkt die Vorflutfunktion. Stattdessen wird diese zum Teil von parallel zur Donau verlaufenden Entwässerungsgräben sowie abschnittsweise auch von den zuströmenden Nebenflüssen übernommen. Es wird angenommen, dass die Summe aus lokaler Grundwasserneubildung und der Randzuströme aus dem Süden, abzüglich der örtlichen Entnahmen, in die lokalen Vorfluter exfiltriert.

Teilraum „14_QT_Donau_S2“

Der Teilraum „14_QT_Donau_S2“ umfasst eine Fläche von ca. 83 km². Im Süden erhält dieser Zustrom aus den südlich gelegenen tertiären Teilräumen („01_T_EZG_S1_W“, „02_T_EZG_S1_E“). Die Westgrenze verläuft entlang der Paar, welche im südlichen Verlauf bis Manching in den quartären Grundwasserleiter exfiltriert, nördlich von Manching infiltriert das Grundwasser in die Paar, diese übernimmt die Vorflutfunktion. Die Ostgrenze verläuft bis zum Flutkanal Kleine Donau entlang der Ilm, danach verläuft die Grenze entlang der Kleinen Donau. Sowohl die Ilm, als auch die Kleine Donau exfiltrieren in den quartären Grundwasserleiter. Im Norden verläuft die Grenze entlang der Donau, welche für diesen Teilraum unter natürlichen Verhältnissen als Vorfluter agieren würde. Aufgrund der bereits unter Kapitel 1.6 aufgeführten Punkte, bezüglich der Stauhaltung und des Verbaus der Donau, übernimmt diese nur eingeschränkt die Vorflutfunktion. Stattdessen wird diese zum Teil von parallel zur Donau verlaufenden Entwässerungsgräben sowie abschnittsweise auch von den zuströmenden Nebenflüssen übernommen. Auf Grundlage des Malm-Grundwassermodells wurde ein Zustrom aus dem Malm angenommen (ISAR CONSULT, 1997). Anhand der quartären Grundwassergleichen ist an der Nordostgrenze von einem Abstrom in den benachbarten Teilraum „15_QT_Donau_S3“ auszugehen. Die Grundwassergleichen lassen jedoch ebenfalls annehmen, dass dieser Zustrom nur lokal begrenzt eine Rolle spielt und mittelbar in die Kleine Donau exfiltriert. Aus diesem Grund wurde der Abstrom in der Bilanz nicht gesondert betrachtet. Es wird daher angenommen, dass die Summe aus lokaler Grundwasserneubildung, der Randzuströme aus dem Süden und der Zusickerung aus dem Malm, abzüglich der örtlichen Entnahmen, in die lokalen Vorfluter exfiltriert.

Teilraum „15_QT_Donau_S3“

Der Teilraum „15_QT_Donau_S3“ umfasst eine Fläche von ca. 78 km², im Süden erhält dieser Zustrom aus den südlich gelegenen tertiären Teilräumen („04_T_EZG_S3_W“, „05_T_EZG_S3_E“). Die Westgrenze verläuft bis zum Flutkanal Kleine Donau entlang der Ilm, danach verläuft die Grenze entlang der Kleinen Donau. Sowohl die Ilm, als auch die Kleine Donau exfiltrieren in den quartären Grundwasserleiter. Ab Vohburg infiltriert das Grundwasser in die Kleine Donau, diese übernimmt ab hier Vorflutfunktion. Im Norden verläuft die Grenze entlang der Donau, welche für diesen Teilraum un-

ter natürlichen Verhältnissen als Vorfluter agieren würde. Aufgrund der bereits unter Kapitel 1.6 aufgeführten Punkte, bezüglich der Stauhaltung und des Verbaus der Donau, übernimmt diese nur eingeschränkt die Vorflutfunktion. Stattdessen wird diese zum Teil von parallel zur Donau verlaufenden Entwässerungsgräben, in diesem Teilraum vorwiegend durch die Kleine Donau, übernommen. Auf Grundlage des Malm-Grundwassermodells, wurde ein Zustrom aus dem Malm angenommen (ISAR CONSULT, 1997). Anhand der quartären Grundwassergleichen ist an der Nordostgrenze von einem Zustrom aus dem benachbarten Teilraum „14_QT_Donau_S2“ auszugehen. Die Grundwassergleichen lassen jedoch ebenfalls annehmen, dass dieser Zustrom nur lokal begrenzt eine Rolle spielt und mittelbar in die Kleine Donau exfiltriert. Aus diesem Grund wurde der Zustrom in der Bilanz nicht berücksichtigt. Es wird angenommen, dass die Summe aus lokaler Grundwasserneubildung, der Randzuströme aus dem Süden und der Zusickerung aus dem Malm, abzüglich der örtlichen Entnahmen, in die lokalen Vorfluter exfiltriert.

4.3.5 Isarquartär

Teilraum „17_QT_Isar_N“

Der Teilraum „17_QT_Isar_N“ umfasst eine Fläche von ca. 120 km². Er wird im Süden durch den Verlauf der Isar begrenzt. Im Norden verläuft die Grenze zum tertiären Teilraum „08_T_Isar_N“, welcher den quartären Teilraum speist. Es wird angenommen, dass die Summe aus lokaler Grundwasserneubildung und der Randzuströme aus dem Norden, abzüglich der örtlichen Entnahmen, über die Modellgrenze im Osten abströmt.

Teilraum „18_QT_Isar_S“

Der Teilraum „18_QT_Isar_S“ umfasst eine Fläche von ca. 43 km². Er wird im Norden durch den Verlauf der Isar begrenzt, welche als Vorfluter für diesen Teilraum agiert. Im Süden verläuft die Grenze zum tertiären Teilraum „09_T_Isar_S“, welcher den quartären Teilraum speist. Eine weitere positive Größe stellt der Uferbegleitstrom der Isar dar, welcher als Randzufluss an der Südwestgrenze angenommen wird. Es wird angenommen, dass die Summe aus lokaler Grundwasserneubildung und der Randzuströme, abzüglich der örtlichen Entnahmen, in die Isar exfiltriert.

4.4 Flächenhafte Grundwasserneubildung aus Niederschlag

Die flächenhafte Grundwasserneubildung aus Niederschlag ist für die Gesamtbilanzierung des Dargebots von zentraler Bedeutung. Im Folgenden wird das Ergebnis der Bodenwasserhaushaltsmodellierung mit dem Modell GWN-BW (Vers. 3.1) dargestellt. Außerdem dargestellt wird die anschließende Verrechnung mit dem flächenhaften Baseflow-Index (BFI) (Gleichung 1).

$$\text{Grundwasserneubildung} = \text{Gesamtabfluss} \times \text{BFI}$$

Gleichung 1

Die Modellergebnisse des Gesamtabflusses im Untersuchungsgebiet für das langjährige Mittel 1971-2000 und das reduzierte Dargebot 2012-2021 sind in Abb. 26 dargestellt.

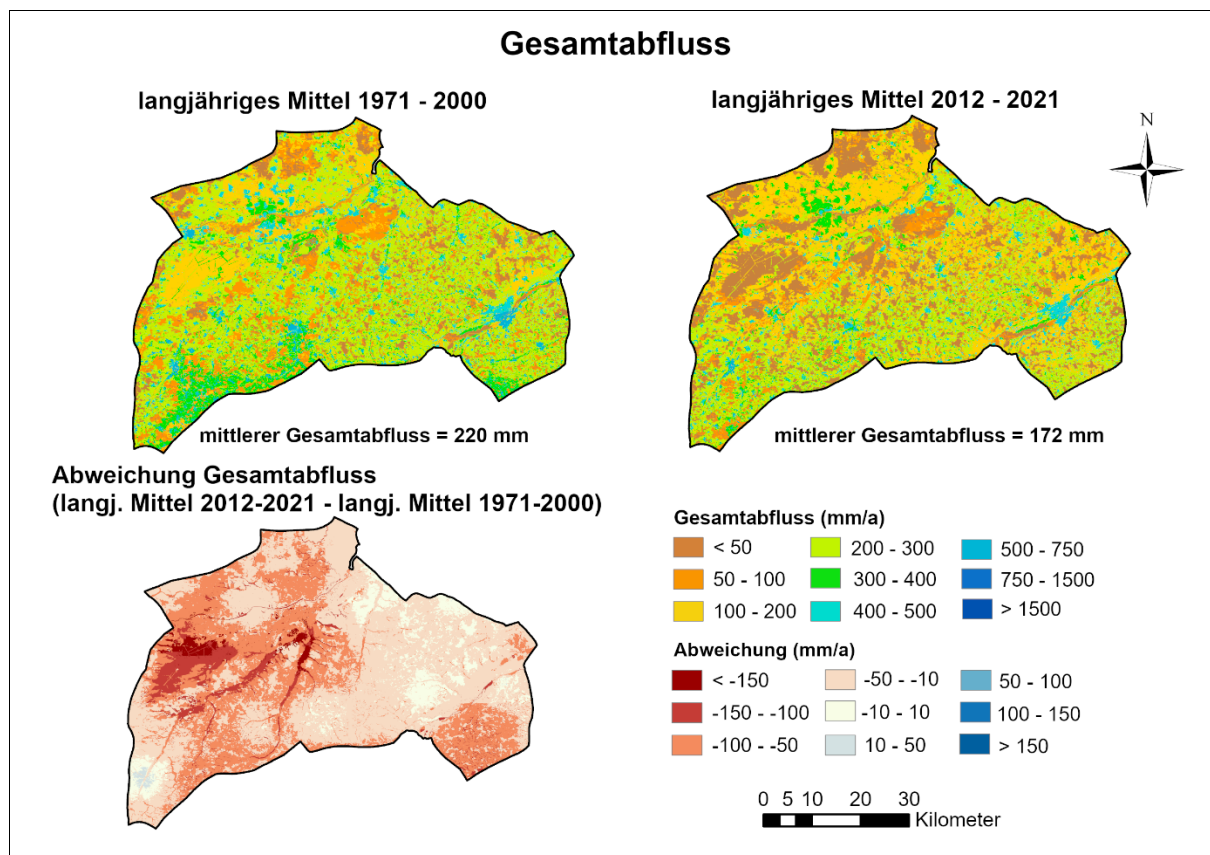


Abb. 26: Gesamtabfluss im Untersuchungsgebiet Hallertau im langjährigen Mittel 1971-2000 und 2012-2021

Der BFI [0:1], als Quotient aus Basis- und Gesamtabfluss, berücksichtigt als Reduktionsfaktor die relevanten Direktabflussanteile des Gesamtabflusses (unverdunsteter Anteil des Niederschlags). Für Bayern liegt der BFI in regionalisierter Form für die gesamte Landesfläche vor (LfU, 2009). Er ist das Ergebnis multipler linearer Regressionsanalysen von einzugsgebietsspezifischen und somit zeitinvarianten Größen im Maßstab 1:500.000. Für nähere Informationen zur Methodik des bayernweiten BFI sei an dieser Stelle auf LfU (2009) zu verweisen. Um der hohen Auflösung der Modellierung in den Schwerpunktgebieten gerecht zu werden, erfolgte eine gebietspezifische Anpassung des bayernweiten BFI-Datensatzes, der die maßgeblichen Gebietscharakteristika angemessen wiedergibt. Im Zuge der Anpassung wurden zusätzlich auch bislang vernachlässigte Einflüsse, wie Versiegelung und Drainage, berücksichtigt.

Eine ausführliche Darstellung der Methodik zur Modellierung der Grundwasserneubildung aus Niederschlag kann der Anlage 16 entnommen werden. Das Ergebnis der BFI-Anpassung ist in Anlage 16/2.6

dargestellt. Hohe BFI-Werte zeigen an, dass am jeweiligen Standort ein entsprechend hoher Anteil des Gesamtabflusses neubildungswirksam wird. Das flächengewichtete Mittel des BFI im Untersuchungsgebiet liegt, nach der Anpassung und infolge der Reduktion durch Versiegelung und Drainagen, um 0,02 unterhalb des ursprünglich verwendeten BFI. Die räumliche Differenzierung des BFI konnte durch die vorgenommene Anpassung wesentlich erhöht werden.

Die endgültigen Ergebnisse der Modellierung und der Berechnung der Grundwasserneubildung aus Niederschlag sind in den Abb. 27 und Abb. 28 dargestellt. Die Raten der Grundwasserneubildung sind in Tabellenform der Tab. 14 zu entnehmen. In Abb. 27 sind die Raten des langjährigen Mittels (1971-2000) und des reduzierten Dargebots (2012-2021) gegenübergestellt. Das reduzierte Dargebot beschreibt den über ein gleitendes Mittel berechneten Zehnjahreszeitraum mit der geringsten Grundwasserneubildung („Trockenwetterdargebot“ nach KLIWA 2017 bzw. KOPP ET AL. 2018).

Im Untersuchungsgebiet beträgt die Grundwasserneubildung im langjährigen Mittel 135 mm bzw. 561,89 Mio.m³/a. Das reduzierte Dargebot für das Untersuchungsgebiet entspricht der mittleren Grundwasserneubildung aus Niederschlag für den Zeitraum 2012-2021 und beläuft sich auf 105 mm bzw. 423,74 Mio.m³/a.

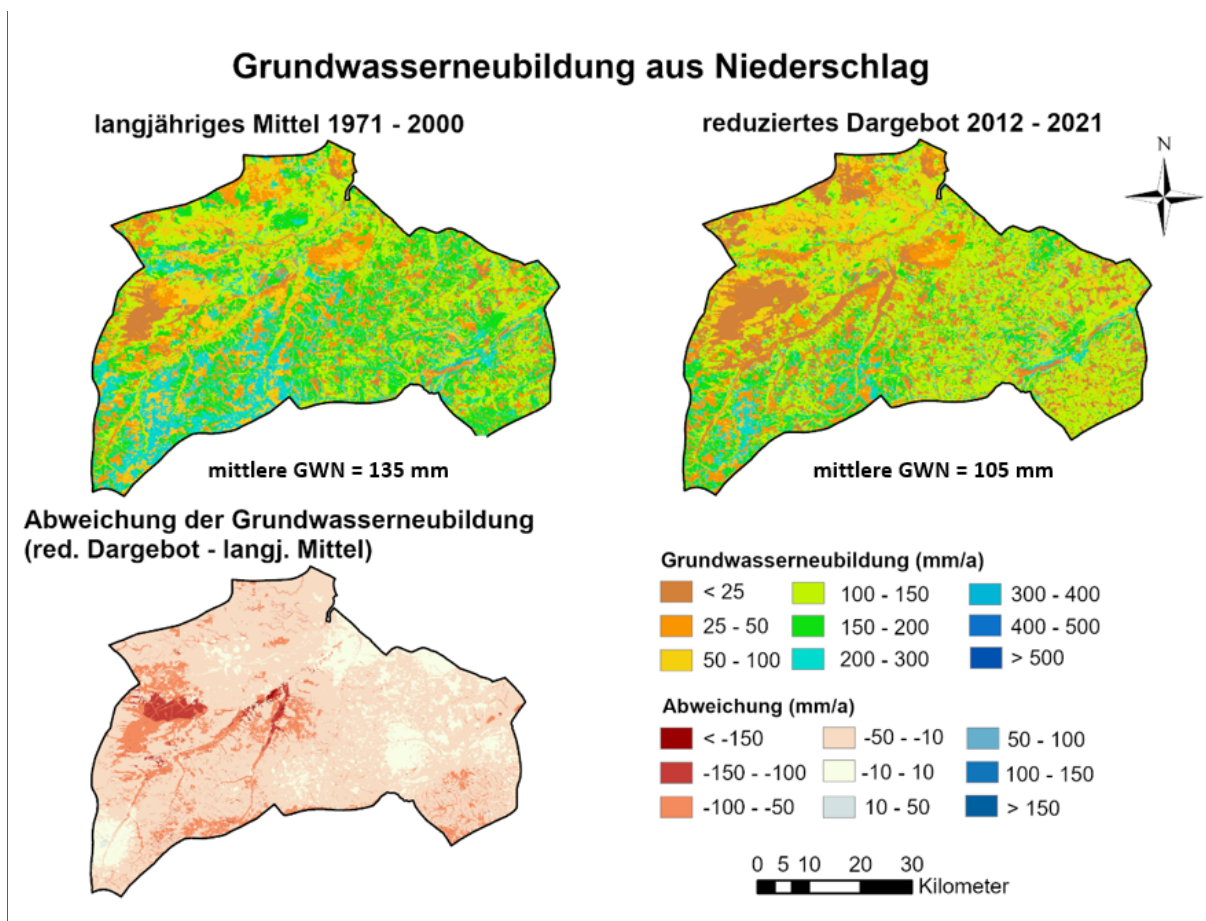


Abb. 27: Grundwasserneubildung aus Niederschlag im Untersuchungsgebiet Hallertau. Gegenüberstellung des langjährigen Mittels und des reduzierten Dargebots

In Abb. 28 werden die jährlichen Grundwasserneubildungsraten des gesamten modellierten Zeitraumes 1951 bis 2021 aufgezeigt, um die langjährige Entwicklung der Grundwasserneubildung aus Niederschlag im Schwerpunktgebiet darzustellen. Auffallend ist das wiederholte Auftreten überdurchschnittlich hoher Neubildungsraten bis zum Jahr 2002. Jahre mit überdurchschnittlichen Neubildungsraten tragen zur (Wieder-) Auffüllung der Grundwasserleiter nach defizitären Phasen bei und halten bei regelmäßigem Auftreten den Wasserhaushalt in einem Gleichgewicht. Auffällig ist ebenfalls, dass mit Ausnahme des Jahres 2013, Jahre mit überdurchschnittlichen Neubildungsraten seit 2002 ausblieben und sich zugleich Jahre mit unterdurchschnittlicher Grundwasserneubildung aus Niederschlag häuften. Innerhalb des Zeitraums 2003-2018 betrug die mittlere Grundwasserneubildung einen, mit dem reduzierten Dargebot, vergleichbaren niedrigen Anteil von lediglich 71 % vom langjährigen Mittel 1971-2000.

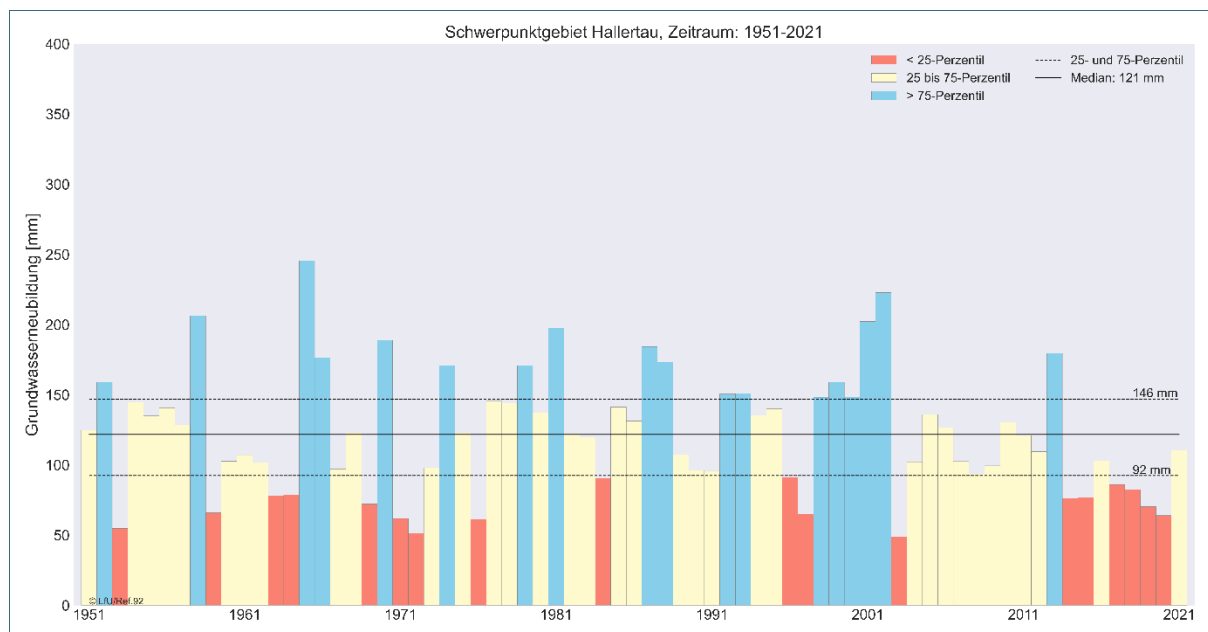


Abb. 28: Jährliche Grundwasserneubildung im Untersuchungsgebiet Hallertau im Zeitraum 1951-2021.

Aufgrund der verschiedenen, in Anlage 14/3 beschriebenen Unsicherheiten kann nicht ausgeschlossen werden, dass Abweichungen zwischen Modellergebnissen und tatsächlichen Standortbedingungen auftreten. In solchen Fällen sind örtliche Fachexpertise und Kenntnis der lokalen Gegebenheiten besonders wichtig, um die Modellergebnisse zu plausibilisieren.

Im Hinblick auf das tatsächliche Wasserdargebot eines Betrachtungsraums muss außerdem berücksichtigt werden, dass neben der Grundwasserneubildung aus Niederschlag weitere wichtige Bilanzgrößen relevant sein können. In vielen Fällen entspricht die Grundwasserneubildung aus Niederschlag näherungsweise dem Grundwasserdargebot. Insbesondere in ergiebigen Talaquifern müssen jedoch weitere wichtige Bilanzgrößen, wie z.B. ein möglicher lateraler Zustrom zum Aquifer oder Uferfiltrat, berücksichtigt werden.

Tab. 14: Grundwasserneubildungsraten aus Niederschlag in den hydrogeologischen Teilräumen im Modellgebiet

Betrachtungsraum		langjähriges Mittel 1971-2000 [Mio m ³ /a]	reduziertes Dargebot 2012-2021 [Mio m ³ /a]	Abweichung red. Dargebot ggü. langjährigem Mittel [%]
01_T_EZG_S1_W	(T1) Hangendserie/ Obere Serie	12,5	10,4	-16
02_T_EZG_S1_E		5,9	4,4	-26
03_T_EZG_S2		6,2	4,8	-22
04_T_EZG_S3_W		0,06	0,04	-23
05_T_EZG_S3_E		6,3	5,4	-14
06_T_EZG_Amper		7,9	6,8	-15
07_T_EZG_gr_Laber		4,3	3,9	-8
08_T_Isar_N		10,7	9,8	-8
09_T_Isar_S		28,7	21,1	-27
01_T_EZG_S1_W	(T2) Geröllsandserie/ Nördliche Vollschorter	33,7	29,6	-12
02_T_EZG_S1_E		35,1	26,2	-25
03_T_EZG_S2		64,3	50,6	-21
04_T_EZG_S3_W		7,4	5,80	-22
05_T_EZG_S3_E		33,9	28,7	-15
06_T_EZG_Amper		10,3	8,5	-17
07_T_EZG_gr_Laber		24,9	22,7	-9
08_T_Isar_N		39,4	34,1	-13
09_T_Isar_S		21,6	16,6	-23
10_M_Donau_N1	0,0003	0,0002	-30	
12_M_Abensberg	0,0002	0,0002	-3	
17_QT_Isar	0,0003	0,0002	-6	
01_T_EZG_S1_W	(T3) Fluviale Untere Serie	19,8	7,7	-61
02_T_EZG_S1_E		8,8	3,9	-55
03_T_EZG_S2		8,6	4,4	-48
04_T_EZG_S3_W		4,5	3	-33
05_T_EZG_S3_E		1,4	1,3	-7
12_M_Abensberg		0,08	0,08	-0,1
13_QT_Donau_S1		0,1	0,06	-36
14_QT_Donau_S2		0,000002	0,000001	-37
15_QT_Donau_S3	0,004	0,005	-5	
01_T_EZG_S1_W	Quartär	2,8	1,5	-44
02_T_EZG_S1_E		1,6	0,3	-81
03_T_EZG_S2		5,4	0,8	-86
04_T_EZG_S3_W		0,1	0	-120
05_T_EZG_S3_E		2,8	2,3	-19
06_T_EZG_Amper		4,1	2,9	-29
07_T_EZG_gr_Laber		0,9	0,8	-15
08_T_Isar_N		0,5	0,4	-14
10_M_Donau_N1		0,8	0,02	-100
11_M_Donau_N2		0,4	0,1	-71
12_M_Abensberg		0,2	0,1	-20
13_QT_Donau_S1		26,9	13,6	-49
14_QT_Donau_S2		10,1	6,9	-31
15_QT_Donau_S3		9,5	7,9	-17
16_QT_Donau_N		12,7	9,6	-25
17_QT_Isar N		17,5	14,9	-15
18_QT_Isar S		5,9	5,2	-13
01_T_EZG_S1_W		Malm allgemein	0,0008	0,0004
05_T_EZG_S3_E	0,003		0,003	-11
10_M_Donau_N1	46		32,6	-29
11_M_Donau_N2	14,9		11,5	-23
12_M_Abensberg	2,1		1,9	-6
13_QT_Donau_S1	0,1		0,08	-27
14_QT_Donau_S2	0,002		0,002	-13
15_QT_Donau_S3	0,006		0,006	-4
16_QT_Donau_N	0,2	0,1	-23	
Gesamt		562	424	-25

4.5 Austausch mit Oberflächengewässern

Die Quantifizierung der Abflusserhöhungen im Verlauf der Donau zwischen Eintritt in bzw. Austritt aus dem Modellgebiet erfolgt zur Plausibilisierung der für die Bilanzierung verwendeten Grundwasserneubildung aus Niederschlag. Zur Quantifizierung der grundwasserbürtigen Abflusserhöhung der Donau wurde der mittlere monatliche Niedrigwasserabfluss (MoMNQ) nach Wundt (WUNDT, 1958) betrachtet. Der MoMNQ wurde als Bezugsgröße dem mittleren Abfluss (MQ) vorgezogen, da nur der Anteil des Abflusses, der aus dem Grundwasser gespeist wird, quantifiziert werden soll. Die Lage der betrachteten relevanten Pegel für die Quantifizierung ist in Abb. 29 dargestellt.

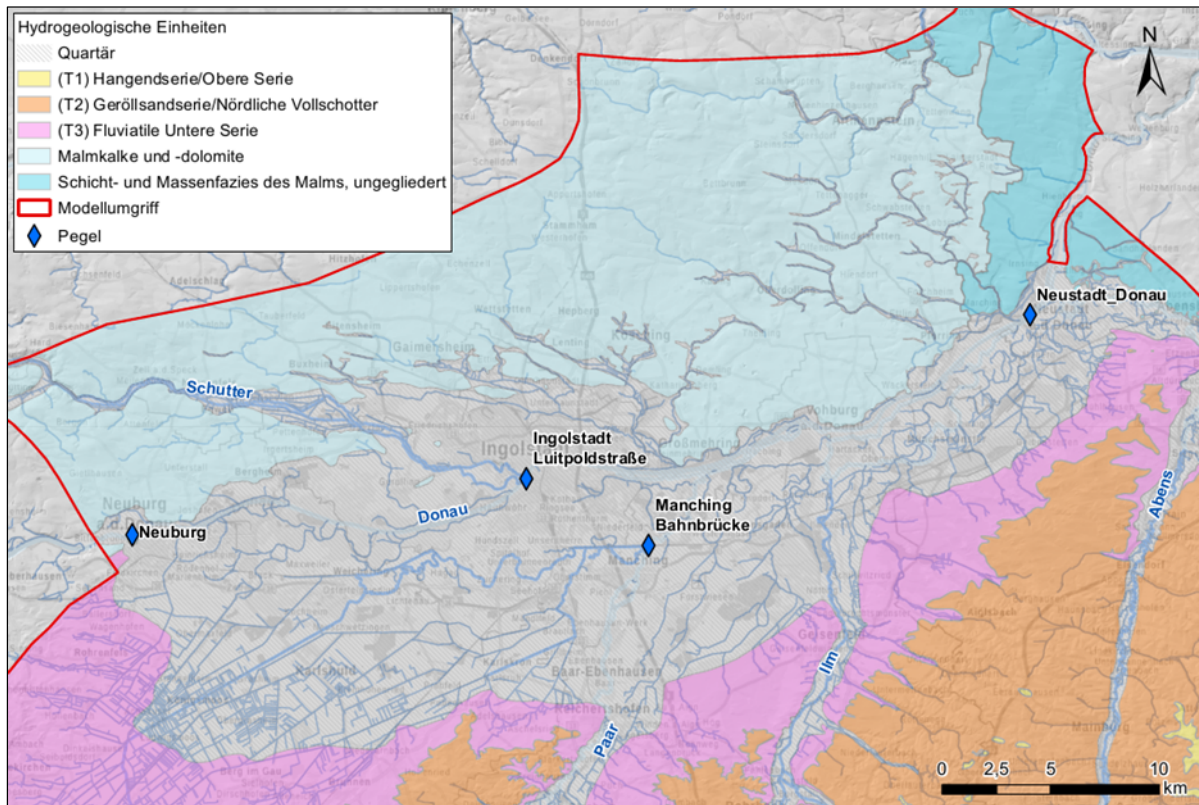


Abb. 29: Lage der betrachteten relevanten Abflussmessstationen zur Quantifizierung der Abflusserhöhung

Entlang der Donau gibt es mit den Pegeln „Neuburg“, „Ingolstadt Luitpoldstraße“ und „Neustadt“ drei für das Projektgebiet relevante Abflussmessstationen (Abb. 29). Nur der Pegel Ingolstadt wird langjährig beobachtet. Für den Pegel Neuburg existiert bisher nur eine vorläufige Abflussermittlung mit kurzer Zeitreihe. Diese drei Messstationen decken ca. 46 km der Länge der Donau im Projektgebiet ab. In Tab. 15 sind die Messstationen „Neuburg“, „Ingolstadt Luitpoldstraße“ und „Neustadt“ mit den relevanten statistischen Abflussdaten (Rohdaten) aufgeführt, die für die Bestimmung der Abflusserhöhung verwendet wurden. Der gemeinsam abgedeckte Messzeitraum der Pegel erstreckt sich von 2011 – 2018. Als Abschätzung des grundwassergespeisten Basisabflusses wurde das arithmetische Mittel aus den Monatsminima nach Wundt gebildet (WUNDT, 1958). Dadurch lassen sich jahreszeitliche Schwankungen berücksichtigen. Zudem erhöht sich die statistische Sicherheit, da das Mittel aus einer größeren Anzahl von Messwerten gebildet wird.

Tab. 15: Abflussdaten der Pegel an der Donau

Pegel	Neuburg	Ingolstadt Luitpoldstraße	Neustadt	Differenz Neustadt - Neuburg
MoMNQ [m ³ /s]	202,1	197,7	215,3	13,2
Fluss [km]	2.477,50	2.457,85	2.431,73	45,77

Der an den Pegeln gemessene Abfluss setzt sich aus Anteilen von Oberflächen-, Zwischen- und Grundwasserabfluss zusammen. Beim Niedrigwasserabfluss wird der Anteil von Oberflächen- und Zwischenabfluss als vernachlässigbar klein angenommen. Betrachtet man den Niedrigwasserabfluss pro Monat, zeigen sich im jahreszeitlichen Verlauf deutliche Unterschiede, die im Mittel berücksichtigt werden. Aus diesem Grund wurde für den Vergleich mit der durch Grundwasserneubildung ausgelösten Abflusserhöhung der monatliche Niedrigwasserabfluss verwendet.

Zwischen den Pegeln „Neuburg“ und „Neustadt“ nimmt der monatliche Niedrigwasserabfluss (MoMNQ) der Donau um ca. 13,2 m³/s zu. Des Weiteren wurden Daten des Pegels Manching (Bahnbrücke) an der Paar, welche auf der Höhe von Vohburg in die Donau mündet, berücksichtigt. Der mittlere monatliche Niedrigwasserabfluss der Paar beträgt auf Höhe des Pegels Manching (Bahnbrücke) 7,1 m³/s.

Die an der Donau gemessene Abflusserhöhung ergibt sich zum einen aus zuströmendem Grundwasser, zum anderen über Fließgewässer, die innerhalb des Modellraums in die Donau münden. Im Bereich zwischen den Pegeln „Neuburg“ und „Neustadt“ stellt die Donau den Vorfluter für die tertiären Teilräume „01_T_EZG_S1_W“, „02_T_EZG_S1_E“, „03_T_EZG_S2“ und „04_T_EZG_S3_W“, dem Malmteilraum „10_M_Donau_N1“, sowie den Quartärteilräumen „13_QT_Donau_S1“, „14_QT_Donau_S2“, „15_QT_Donau_S3“ und „16_QT_Donau_N“ dar. Die für diese Teilräume berechnete Grundwasserneubildung aus Niederschlag (abgeschätztes Einzugsgebiet der Donau zwischen den Pegeln vgl. Abb. 30) strömt daher der Donau zu. Unter Verwendung des durch die Pegel abgedeckten Messzeitraums (2011-2018) entspricht dies insgesamt einer Abflusserhöhung von 6,2 m³/s.

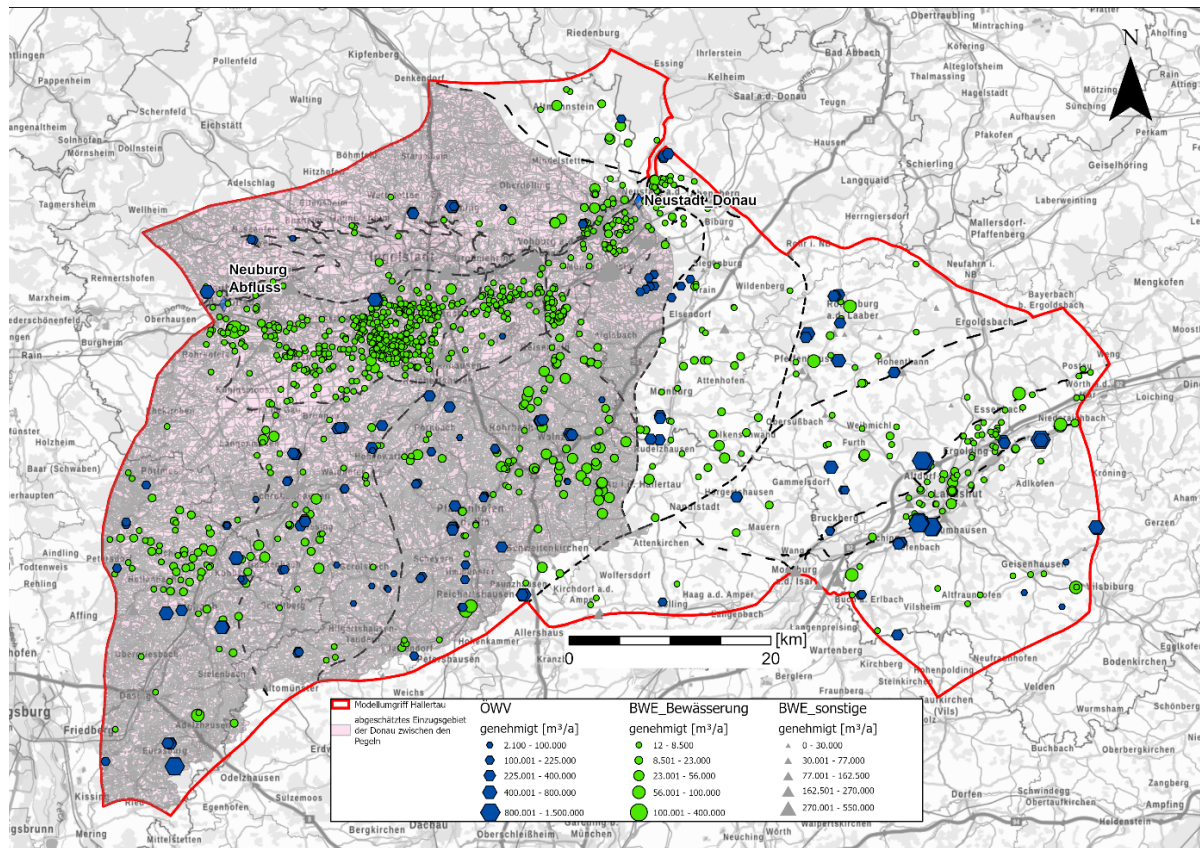


Abb. 30: Abgeschätztes Einzugsgebiet der Donau zwischen den betrachteten Pegeln sowie genehmigte Grundwasserentnahmen im Untersuchungsgebiet

Tab. 16: Bilanzierung der Abflusserhöhung der Donau in m³/s

Bilanzkomponente	Volumenstrom [m³/s]
Abflusserhöhung aus Grundwasserneubildung im Einzugsgebiet	+ 6,2
Zustrom Paar: MoMNQ am Pegel Manching (Bahnbrücke)	+ 7,1
Gewässer nördlich der Donau: Summe Abflusswerte aus Niedrigwasserregionalisierung (nq1gk_z)	+ 1,2
Genehmigte Grundwasserentnahmen im Einzugsgebiet*	- 1,6
Abflussänderung in der Donau zwischen Neuburg und Neustadt (MoMNQ)	- 13,2
Bilanzfehler	-0,3

* Im Bereich des Modellgebietes sind keine direkten Entnahmen aus der Donau bekannt.

Bei der überschlägigen Bilanz der Abflusserhöhung in der Donau ergibt sich ein Bilanzfehler von - 0,3 m³/s (Tab. 16). Unsicherheiten bei der Quantifizierung bestehen zum einen beim Ansatz der Verwendung von genehmigten Grundwasserentnahmen (vgl. Abb. 30), wobei davon auszugehen ist, dass die tatsächlichen Entnahmen niedriger ausfallen und zum anderen bei den Abflussdaten der Gewässer nördlich der Donau (Schutter, Mailinger Bach – Mündung in die Donau zwischen Großmehring und Vohburg, Kelsbach – Mündung in die Donau kurz vor dem Pegel Neustadt). Da für diese keine Ab-

flussmessungen zur Verfügung standen, wurden in der Bilanzierung Werte aus der Niedrigwasserregionalisierung herangezogen (1), wobei es sich hierbei um den mittleren Niedrigwasserabfluss handelt. Es ist anzunehmen, dass der monatliche Niedrigwasserabfluss MoMnQ tendenziell etwas höher wäre. Unter Anbetracht der genannten Einschränkungen erscheint der Bilanzfehler von $-0,3 \text{ m}^3/\text{s}$, mit 2%, tolerierbar.

4.6 Horizontale Zuströme

Sowohl im Donau-, als auch im Isarquartär ist für die Bilanzierung der jeweiligen Quartärbereiche ein Begleitstrom anzusetzen (vgl. Abb. 31 A, B). Zusätzlich müssen im Donauquartär die Begleitströme der Nebentäler Paar, Ilm und Abens berücksichtigt werden (vgl. Abb. 31 D, E, F). Für den an der Westgrenze gelegenen Tertiärteilraum „01_T_EZG_S1_W“ wird ein Grundwasserzustrom im Grundwasserleiter T3 in der Bilanzierung bemessen (vgl. Abb. 31 C). Der jeweils anzusetzende Grundwasserzustrom wurde mittels untenstehender Gleichung 2 nach Darcy ermittelt.

$$Q = k_f \times i \times A = k_f \times i \times b \times d_w \quad \text{Gleichung 2}$$

In Tab. 17 sind die in der Berechnung angesetzten Größen und die daraus resultierenden Grundwasserzuströme aufgelistet.

Tab. 17: Berechnung des Randzustroms nach Darcy

Formelzeichen	Größe	Donautal (A)	Isartal (B)	SW-Grenze (C)	Paartal (D)	Ilmtal (E)	Abenstal (F)
k_f	hydraulischer Durchlässigkeitsbeiwert [m/s]	$5 \cdot 10^{-3}$	$5,6 \cdot 10^{-3}$	$0,043 \cdot 10^{-3}$	$5 \cdot 10^{-3}$	$3 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-3}$
i	Hydraulisches Gefälle [-]	0,001	0,002	0,003	0,003	0,003	0,003
b	durchflossene Querschnittsbreite [m]	1810	7160	7150	3000	2000	1830
d_w	grundwassererfüllte Mächtigkeit [m]	4	4	10	5	3	2
Q	Volumenstrom [Mio. m ³ /a]	1,2	9,6	0,3	1,2	1,9	0,3

Aufgrund der hydrogeologischen Gegebenheiten wird angenommen, dass der Donaubegleitstrom von $1,2 \text{ Mio. m}^3/\text{a}$ nur sehr lokal eine Rolle spielt. Der nördliche Quartärbereich wird durch die Donau abgeschnitten, welche bereichsweise direkt an der Grenze zum Malm verläuft. Im südlichen Quartärbereich steht ein Malm-Härtling direkt im Anstrombereich (vgl. Abb. 31 A), daher ist anzunehmen, dass auch hier der Großteil des Donaubegleitstroms fast unmittelbar in die Donau exfiltriert. Aus diesem Grund wurde der relativ geringe Begleitstrom in der Bilanz der betroffenen Quartärteilräume nicht berücksichtigt.

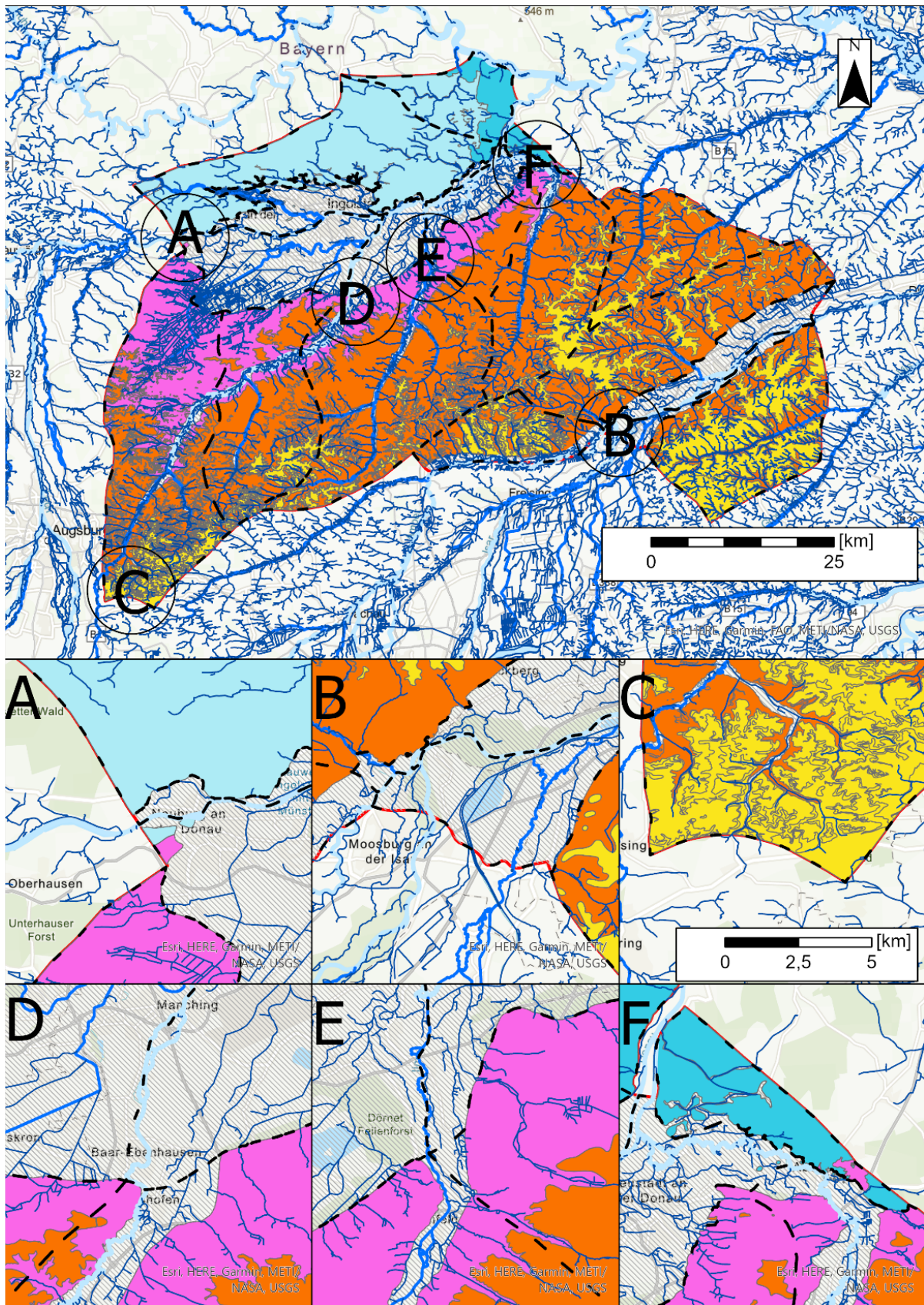


Abb. 31: Geographische Lage der berechneten horizontalen Zuströme im Modellgebiet

4.7 Wechselwirkungen zwischen den einzelnen Grundwasserkörpern

4.7.1 Grundwasserneubildung im tertiären Hauptgrundwasserstockwerk (Leckage)

Für das Donau- und Isartal stellen die angrenzenden tertiären Flanken wichtige Grundwasserneubildungsgebiete dar. Aus der Hydrogeologischen Karte (LFU, 2002, HK100) lässt sich anhand der Grundwassergleichen des Tertiärs entnehmen, dass dieses mit den quartären Sedimenten der großen Flusstäler (Donau, Isar, Amper) in hydraulischen Kontakt steht. Es wird angenommen, dass das im tertiären Hauptgrundwasserstockwerk neugebildete Grundwasser den quartären Grundwasserleitern zuströmt.

Die durch GWN-BW ermittelte Grundwasserneubildung aus Niederschlag (vgl. Kapitel 4.4) bezieht sich auf den obersten Grundwasserleiter, wobei es sich nicht zwingend um den in der Hydrogeologische Karte (LFU, 2002, HK100) aufgeführten obersten Grundwasserleiter handeln muss. Insbesondere im Tertiärhügelland sind diese von schwebenden Grundwasserleitern, teils noch unbekannter Ausdehnung, überlagert. Die modellierte Grundwasserneubildung aus Niederschlag bezieht sich im Falle vorkommender schwebender Grundwasserleiter auf eben diese, sodass es für die tiefer liegenden Grundwasserleiter einer Korrektur zur Berechnung der zu erwartenden Leckagemengen in tiefer liegende Grundwasserleiter bedarf.

Bei den Grundwasserleitern T1 und T3 (ohne Überdeckung) wird in der Modellregion davon ausgegangen, dass diese den obersten Grundwasserleiter darstellen. Der Grundwasserleiter T2 wird hingegen häufig von kleinräumigen Schichtwasservorkommen, sogenannten schwebenden Grundwasserleitern überlagert. Die räumliche Ausbreitung, sowie das Druckniveau der schwebenden Grundwasservorkommen sind häufig unbekannt. Die Grundwasserneubildung des tertiären Hauptgrundwasserstockwerks stellt eine Teilmenge der für die schwebenden Grundwasservorkommen berechneten Grundwasserneubildung dar. Um diese Menge zu ermitteln, gibt es methodisch unterschiedliche Ansätze. Bei einer sehr guten Datenlage, guter Detailkenntnisse der Hydrogeologie, z. B. Mächtigkeit, Durchlässigkeit von Trennschichten, Potenzialunterschied zwischen den Grundwasserleitern, lässt sich die Menge nach Darcy berechnen. Da diese Informationen nicht flächendeckend zur Verfügung stehen, wurde dieser Ansatz als nicht zielführend gesehen. Die Ermittlung der Grundwasserneubildung im tertiären Hauptgrundwasserstockwerk erfolgte daher anhand von Detailuntersuchungen an geeigneten Abflusspegeln innerhalb des Tertiärhügellands und wird für die im Rahmen dieses hydrogeologischen Modells betrachteten Grundwasserleiter im Folgenden näher erläutert.

Abb. 32 zeigt die Unterteilung der hydrogeologischen Einheiten im hydrogeologischen Modell und veranschaulicht schematisch die Interaktion der tertiären Grundwasserleiter.

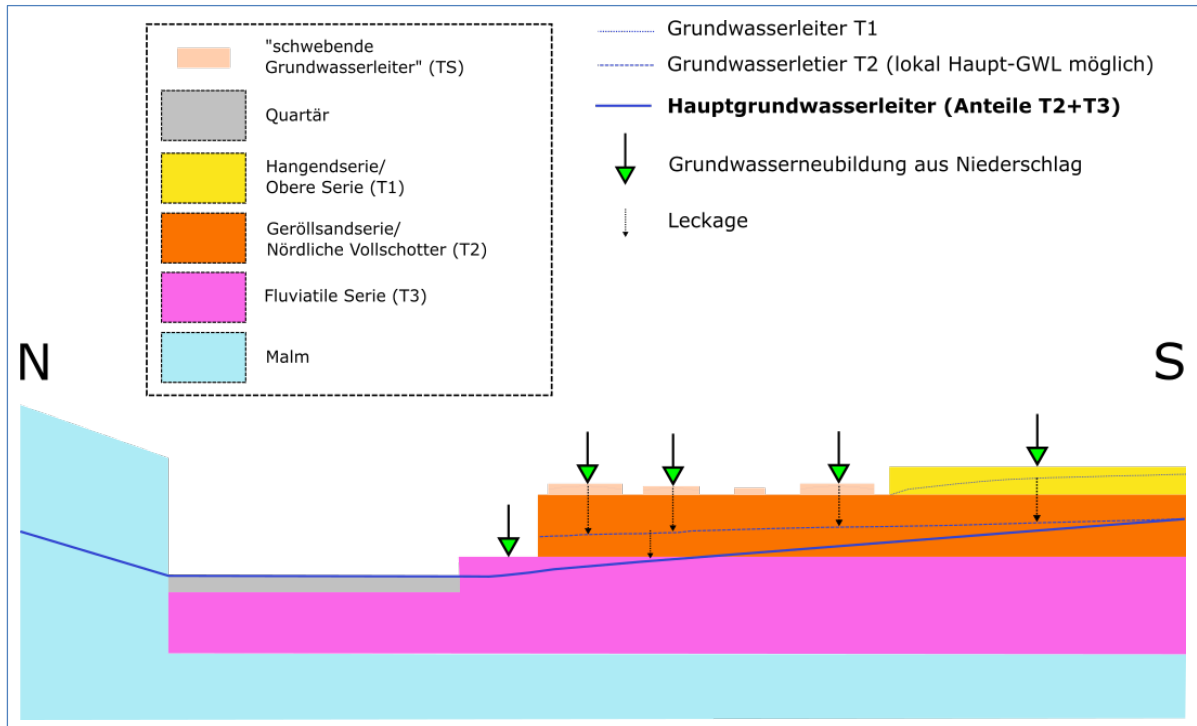


Abb. 32: Schemaprofil des hydrogeologischen Modells

In Detailanalysen verschiedener im Tertiärhügelland gelegener Abflusspegel wurde eine potentiell für tiefer liegende Grundwasserleiter zur Verfügung stehende Wassermenge ermittelt. Um diese Menge abzuschätzen wurde die im Pegelinzugsgebiet durch GWN-BW modellierte Sickerwassermenge ($\sum SW_{EZG_Pegel}$: Zeitraum 1971-2000 und 2012-2021) mit den gemessenen grundwassergespeisten Niedrigwasserabflüssen (Q_B) der Pegel verglichen. Es wurde angenommen, dass die Differenz beider Größen potentiell zur Versickerung, als sogenannte Leckage, für tiefer gelegene Grundwasserleiter zur Verfügung steht (vgl. Gleichung 3). Durch die Verrechnung mit den jeweiligen Pegelinzugsgebieten, lassen sich so Leckageraten in $[\text{l/s} \cdot \text{km}^2]$ bestimmen, die sich auf Regionen vergleichbarer hydrogeologischer Verhältnisse außerhalb der Pegelinzugsgebiete anwenden lassen (vgl. Gleichung 4).

$$\text{potentielle Leckage} \left[\frac{\text{l}}{\text{s}} \right] = \sum SW_{EZG_Pegel} - Q_B \quad \text{Gleichung 3}$$

$$\text{potentielle Leckagerate} \left[\frac{\text{l}}{\text{s} \cdot \text{km}^2} \right] = \frac{\text{pot. Leckage} \left[\frac{\text{l}}{\text{s}} \right]}{\text{Pegelinzugsgebiet} [\text{km}^2]} \quad \text{Gleichung 4}$$

Um die Grundwasserneubildung im Grundwasserleiter T2 (Leckage aus den schwebenden Grundwasserleitern, TS) zu bemessen, wurden passende Pegelinzugsgebiete innerhalb des Tertiärhügellands gewählt.

Tab. 18: Auswahl der Pegel für die Abschätzung der Leckage vom Grundwasserleiter TS zu T2

Gewässer	Pegel	Einzugsgebiet [km ²]	1971-2000 [l/s*km ²]	2012-2021 [l/s*km ²]
Pfettrach	Altdorf	110	2	2,4
Vils	Grafenmühle	1440	2,4	1
Abens	Mainburg	144	2,3	1,2
Aiterach	Salching	138	2,5	1,6
Reißinger Bach	Wallersdorf	87	2,7	2,2
		Mittelwert:	2,4	1,7

Je nach Bereich des Modellgebiets stehen unterschiedliche hydrogeologische Einheiten des Tertiärs mit den quartären Sedimenten der Flusstäler in Kontakt. So erfährt das Donauquartär einen Grundwasserzustrom aus dem südlich gelegenen Tertiär von den hydrogeologischen Einheiten „Fluviatile Untere Serie“ und „Fluviatile Süßwasserschichten“, vereinfacht als tertiärer Grundwasserleiter T3 zusammengefasst. Diese hydrogeologischen Einheiten streichen in der Nähe des Donauquartärs in einem schmalen Band aus und erfahren in diesem Bereich direkte Grundwasserneubildung. Wie bereits in Kapitel 1.5 aufgeführt wird dieser Grundwasserleiter im südlichen Bereich des Modellgebiets von den Grundwasserleitern T1 und T2 überlagert. In diesen Bereichen erfährt der Grundwasserleiter T3 Grundwasserneubildung durch Leckage aus den darüber liegenden Grundwasserleitern. Um die Grundwasserneubildung nicht zu überschätzen wurden mit Hilfe geeigneter Pegel im Tertiärhügelland Leckageraten bestimmt.

Für die Abschätzung der Leckagerate vom Grundwasserleiter T1/T2 zum Grundwasserleiter T3 existieren im Modellgebiet nur zwei geeignete Pegel. Der Pegel Geisenfeld an der Ilm und Aunkofen an der Abens. Die Flussläufe entwässern die Grundwasserleiter T1 und T2 vollständig, sowie untergeordnet den Grundwasserleiter T3. In der erarbeiteten Methode wurde die Sickerwasserrate im Pegelinzugsgebiet aufsummiert und der im Pegel gemessene grundwassergespeiste Basisabfluss abgezogen. Bei der Bestimmung des Basisabflusses wurde sich an dem Verfahren nach Kille orientiert (KILLE, 1970).

Es hat sich gezeigt, dass bei diesen Pegeln der gemessene Abfluss, die aus der Sickerwasserrate resultierende Menge übersteigt. Das ist ein Anzeichen dafür, dass das dem Pegel zugehörige unterirdische Einzugsgebiet weiter als das oberirdische reicht. Für die Methode wurde sich auf das oberirdische Einzugsgebiet bezogen, da für die unterirdischen Einzugsgebiete in der Regel keine Daten zur Verfügung stehen. In einer Studie des Landesamts für Wasserwirtschaft wurde eine Diskrepanz zwischen mittleren Abfluss der oben genannten Pegel und dem potentiellen Gesamtabfluss festgestellt. So wurden am Pegel Geisenfeld ca. 16 % mehr Abfluss gemessen, als der aus Niederschlag und Verdunstung resultierende Gesamtabfluss bemessen hätte (ANDRES, EGGER, 1983). Bei einem Vergleich des mittleren Gesamtabflusses und dem mittleren Abfluss für den Pegelmesszeitraum (1988-2012) konnte das Verhältnis bestätigt werden, woraus eine Abweichung von ca. 15 % resultierte. Unter Betracht der zwei Referenzzeiträume mit der Einschränkung, dass nur Messwerte ab 1988 zur Verfügung stehen, werden sowohl für den Zeitraum 1971-2000, als auch für den Zeitraum 2012-2021 ca. 10 % mehr gemessen als der Gesamtabfluss beträgt. Wenn folglich von dem am Pegel gemessenen Basisabfluss ca. 10 % als vermeintlicher Tiefengrundwasserzustrom (vgl. Kapitel 1.5.5 Grundwasserbeschaffenheit“) abgezogen werden, ergibt sich eine potentielle Leckagerate zwischen dem Grundwasserleiter T2 und Grundwasserleiter T3 von 0,3 l/s·km² für den Zeitraum 1971-2000 und 0,2 l/s·km² für 2012-2021 (Tab. 19).

Tab. 19: Detailanalyse Pegel Geisenfeld an der Ilm. Leckageabschätzung vom Grundwasserleiter T2 zum Grundwasserleiter T3

Pegeleinzugsgebietsfläche (oberirdisch)	456		km ²
	1971-2000	2012-2021	
betrachteter Zeitraum			
Summe Sickerwasserrate	3,1	2,4	m ³ /s
Basisabfluss Q _B	3,2	2,6	m ³ /s
davon Randzustrom Tiefengrundwasser	-0,32	-0,26	m ³ /s
korrigierter Basisabfluss Q _B	2,87	2,34	m ³ /s
potenzielle Leckage	0,14	0,1	m ³ /s
potenzielle Leckagerate	0,3	0,2	l/s·km ²

Für das hydrogeologische Modell stellen die ermittelten Leckageraten eine bedeutende Größe dar. Da bei ist zu berücksichtigen, dass es sich bei dem dargelegten Ansatz um eine grobe Abschätzung der Leckageraten handelt und dementsprechend Unsicherheiten bestehen, die zu Unschärfen in der Bemessung der Leckagemengen führen.

Die unterirdischen Einzugsgebiete können deutlich von den im Ansatz verwendeten oberirdischen Einzugsgebieten abweichen. Des Weiteren ist nicht im kompletten Umfang geklärt, für welche Grundwasserleiter der jeweils betrachtete Gewässerabschnitt Vorflutfunktion einnimmt. Bei der Betrachtung wurden gezielt Pegel ausgewählt, die anhand der anstehenden hydrogeologischen Einheiten und der zur Verfügung stehenden Informationen aus Grundwassergleichen vor allem Zufluss aus den hangenden Grundwasserstockwerken erhalten. Des Weiteren wurden tiefere Grundwasserleiter im Liegenden des Grundwasserleiters T3 im vorliegenden hydrogeologischen Modell nicht betrachtet, sodass keine Berücksichtigung der Leckage vom Grundwasserleiter T3 zu tiefer liegenden Grundwasserleitern erfolgte. Für tiefer liegende Grundwasserleiter existieren mit dem verwendeten Ansatz zudem keine geeigneten Pegel und es sind keine Literaturwerte bekannt.

Auch wenn anzunehmen ist, dass die unterirdischen Einzugsgebiete nicht immer deckungsgleich zu den oberirdischen Einzugsgebieten verlaufen, wird der Ansatz als hinreichend genau angesehen. Es hat sich gezeigt, dass Einzugsgebiete mit vergleichbarer hydrogeologischer Ausprägung, vergleichbare Leckageraten aufweisen. Dennoch ist davon auszugehen, dass die Werte in einer gewissen Bandbreite variieren können und im Rahmen des vorliegenden hydrogeologischen Modells zu Unschärfen führen, aber dennoch die derzeit beste auf Messdaten basierte Herleitung darstellen.

Zusammenfassend sind in Tab. 20 die angesetzten Raten für den Zeitraum 1971-2000 und für den Zeitraum 2012-2021 aufgelistet.

Tab. 20: Zusammenfassende Auflistung der angenommenen Leckageraten (vgl. Abb. 32)

Leckageraten	1971 -2000	2012-2021	Einheit
TS zu T2	2,4	1,7	[l/s·km ²]
T1 zu T2	2,2	1,5	[l/s·km ²]
T2 zu T3	0,3	0,2	[l/s·km ²]
T2überdeckt zu T3	0,15	0,05	[l/s·km ²]

TS: schwebender Grundwasserleiter

T1: Hangendserie/Obere Serie

T2: Geröllsandserie/Nördliche Vollsotter

T3: Fluviale Untere Serie/Fluviale Süßwasserschichten

4.7.2 Zusickerung Malm zu Quartär

Zwischen Malm und Quartär sind überwiegend stauende tertiäre Schichten mit einer geringen Durchlässigkeit ausgebildet. Dadurch ist der Übertritt von Malmgrundwasser in den quartären Grundwasserleiter oftmals nur lokal ausgebildet. Im Grundwassermodell Malm (ISAR CONSULT, 1997) wird ein Zufluss aus dem Malm in den quartären Grundwasserleiter von 295,5 l/s für den Bereich in der Umgebung der Staustufe Vohburg bilanziert. Umgerechnet entspricht das ca. 29,4 % des in den quartären Grundwasserleiter übertretenden Malmgrundwassers. Übertragen auf die durch GWN-BW ermittelte Grundwasserneubildung ergeben sich die in Tab. 21 aufgelisteten Zuflüsse.

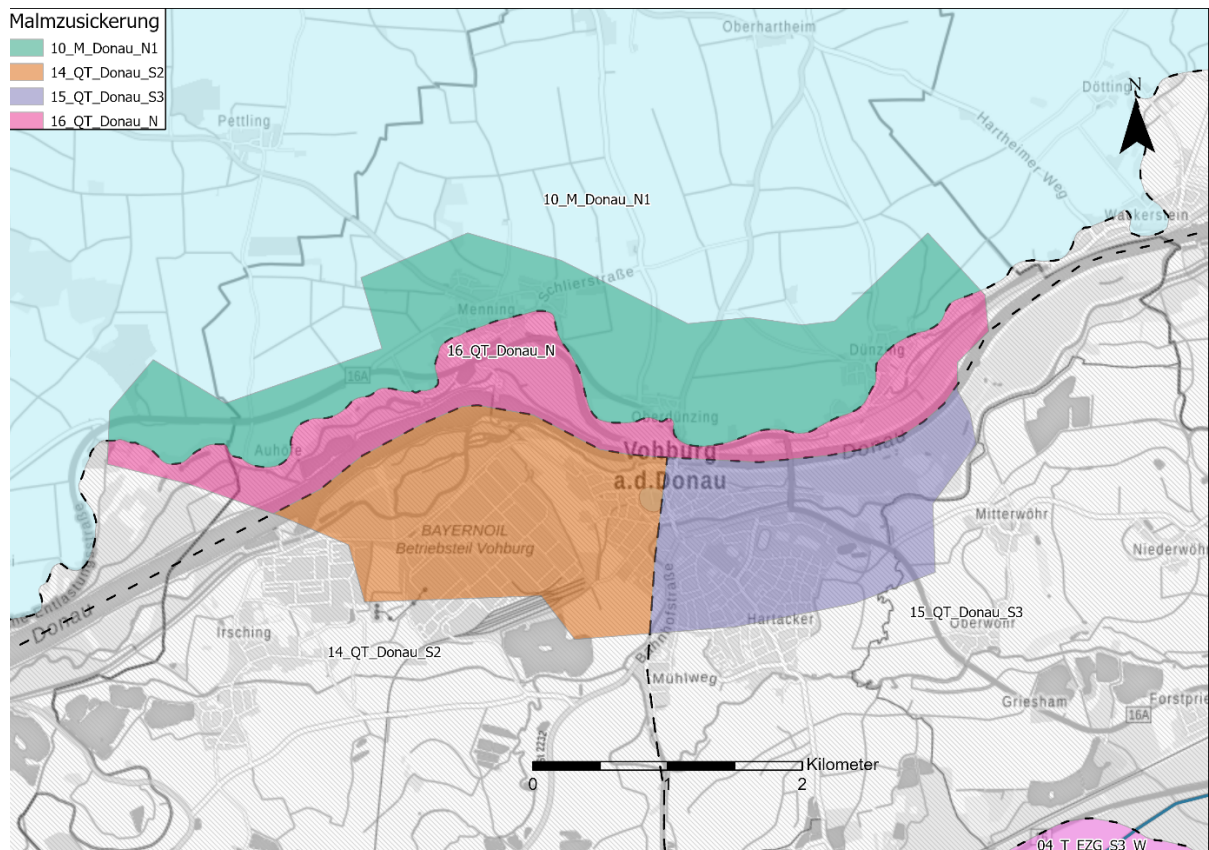


Abb. 33: Bereiche im Quartär, die Zusickerung aus dem Malm erfahren. Grafik abgeändert nach ISAR CONSULT, 1997

Tab. 21: Zustrommengen aus dem Malmgrundwasserleiter in den quartären Grundwasserleiter (Donauquartär)

Zeitraum der GWN-BW Berechnung	Grundwasserneubildung abzüglich lokaler* Entnahmen	Zustrom Malm – Quartär (29,4%)
1971-2000	27.904.033 m ³ /a (vgl. 4.8.2.5)	8.212.157 m ³ /a
2012-2021	14.538.091 m ³ /a (vgl. 4.8.3.5)	4.278.560 m ³ /a

* Wie bereits in Kapitel 2.1.1 erläutert, wurden auch im Donauquartär gelegene Tiefengrundwasserentnahmen berücksichtigt

Tab. 22: Malmzustrom im Donauquartär

Zusickerung in	Flächenanteil am Malmzustrom [%]	Malmzustrom (1971 – 2000) [m ³ /a]	Malmzustrom (2012 – 2021) [m ³ /a]
10_M_Donau_N1	34,1	2.800.851	1.459.252
16_QT_Donau_N	19,7	1.620.181	844.120
14_QT_Donau_S2	25,5	2.090.803	1.089.315
15_QT_Donau_S3	20,7	1.700.321	885.873

4.8 Bilanzierung des Grundwasserumsatzes

4.8.1 Kurzzusammenfassung der Bilanzierung

In Tab. 23 wird der Grundwasserumsatz, der in Kapitel 4.8.3 bilanzierten Grundwasserleiter der verschiedenen Teilräume betrachtet. Es wird zum einen der Nutzungsgrad der Grundwasserneubildung aus Niederschlag, zum anderen der gebietsspezifischen Wassermenge aufgeführt. Bei der gebietsspezifischen Wassermenge werden alle weiteren bekannten positiven Bilanzgrößen miteinbezogen (Randzustrom, Zusickerung, Begleitstrom, vgl. Kapitel 3). Der jeweilige Nutzungsgrad an den einzelnen Betrachtungsszenarien ist in Klassen von 0-10 %, 10-30 %, >30 % angegeben.

Bei der Aufstellung in Tab. 23 wurde sich unter Annahme der mittleren Grundwasserneubildung des Zeitraum 2012 – 2021 auf das reduzierte Dargebot beschränkt. Die Tabelle zeigt den Überblick über die Grundwassernutzungssituation der einzelnen Teilräume innerhalb des Modellgebiets. Die detaillierten Grundwasserbilanzen der einzelnen Teilräume sind den Kapiteln 4.8.2 und 4.8.3 zu entnehmen.

Tab. 23: Nutzungsgrad der unterschiedlichen Grundwasserleiter in den verschiedenen Teilräumen, unter Verwendung der mittleren Grundwasserneubildung für den Zeitraum 2012 – 2021

	Teilraum	Nutzungsgrad der Grundwasserneubildung			Nutzungsgrad der gebietsspezifischen Wassermenge		
		0-10	10-30	>30	0-10	10-30	>30
T3	01_T_EZG_S1_W			X			X
	02_T_EZG_S1_E			X			X
	03_T_EZG_S2			X			X
	04_T_EZG_S3_W		X			X	
	05_T_EZG_S3_E		X			X	
T2	06_T_EZG_Amper	X			X		
	07_T_EZG_gr_Laber			X			X
	08_T_Isar_N			X			X
	09_T_Isar_S			X			X
Malm	10_M_Donau_N1			X			X
	11_M_Donau_N2	X			X		
	12_M_Abendsberg			X			X
Quartär	13_QT_Donau_S1			X		X	
	14_QT_Donau_S2			X			X
	15_QT_Donau_S3			X			X
	16_QT_Donau_N			X		X	
	17_QT_Isar_N		X		X		
	18_QT_Isar_S		X		X		

4.8.2 Langjähriges Mittel der Grundwasserneubildung (Mittelwert: 1971-2000)

Als positive Eingangsgrößen für die Grundwasserbilanz im Modellgebiet sind die flächenhafte Grundwasserneubildung aus Niederschlag, die Leckage aus darüber liegenden Grundwasserleitern, die randlichen Zuströme sowie lokal die Zusickerung aus tieferen Grundwasserleitern zu nennen. Die negativen Eingangsgrößen dagegen sind randliche Abströme, Aussickerung in tiefere Grundwasserleiter, der Abfluss über die Vorfluter und Grundwasserentnahmen.

4.8.2.1 Tertiärhügelland

Bei den Schichtwasservorkommen im Grundwasserleiter T1, als auch im unbedeckten Grundwasserleiter T3 wurde, aufgrund des meist geringen Flurabstands, die Grundwasserneubildung zu vollen Anteilen angesetzt. In den Gebieten wo die hydrogeologischen Einheiten des Grundwasserleiters T2 gemäß der Hydrogeologischen Karte (LFU, 2002, HK100) anstehen, wurde aufgrund des häufig hohen Flurabstands und der Ausbildung von schwebenden Grundwasserleitern von einer abgeminderten Grundwasserneubildung ausgegangen. Diese wurde nach der in Kapitel 4.7 vorgestellten Methode bestimmt. Für den südlichen Teil des Modellgebiets, wo der Grundwasserleiter T3 durch den Grundwasserleiter T1 und T2 überlagert ist, wurde eine Leckagerate bestimmt, um die Tiefengrundwasserneubildung im überdeckten Grundwasserleiter T3 zu berechnen. Die Bilanzgrößen der einzelnen tertiären Grundwasserleiter sind dem Anhang 10/1 zu entnehmen.

4.8.2.2 Quartär der Nebentäler im Tertiärhügelland

Die Grundwasserumsätze der drei großen Nebentäler Paar, Ilm und Abens, sowie der quartären Sedimente im Bereich der Amper, wurden separat bilanziert. Die Nebenflüsse dienen abschnittsweise als Vorfluter für die tertiären Grundwasserleiter, zum Teil werden diese aber auch vom tertiären Grundwasser unterströmt. Die Interaktion zwischen den tertiären Grundwasserleitern und den Nebentälern ist zu komplex, um diese im Rahmen des hydrogeologischen Modells quantitativ fassen zu können. Aus diesem Grund wurde bei deren Bilanzierung nur die lokale Grundwasserneubildung aus Niederschlag als positive Bilanzgröße berücksichtigt. Die Grundwasserentnahmen im Quartär der Flusstäler sind ausschließlich Brauchwasserentnahmen, wobei etwa zwei Drittel davon auf Bewässerung und ein Drittel auf Sonstige entfällt.

Tab. 24: Bilanzierung des Grundwasserumsatz der quartären Ablagerungen im Paartal, Bilanzgrößen in [m³/a]

Teilraum	Grundwasserneubildung	Bewässerung	Sonstige	Exfiltration Paar
01_T_EZG_S1_W	2.284.849	4.700	63.200	2.216.949
02_T_EZG_S1_E	922.317	3.800	56.985	861.532
03_T_EZG_S2	1.342.370	1.950		1.340.420

Tab. 25: Bilanzierung des Grundwasserumsatz der quartären Ablagerungen im Ilmtal, Bilanzgrößen in [m³/a]

Teilraum	Grundwasserneubildung	Bewässerung	Sonstige	Exfiltration Ilm
02_T_EZG_S1_E	119.502			119.502
03_T_EZG_S2	3.938.833	381.920	89.250	3.467.663
04_T_EZG_S3_W	116.470			116.470

Tab. 26: Bilanzierung des Grundwasserumsatz der quartären Ablagerungen im Aabenstal, Bilanzgrößen in [m³/a]

Teilraum	Grundwasser-neubildung	Bewässerung	Sonstige	Exfiltration Abens
03_T_EZG_S2	7.252			7.252
05_T_EZG_S3_E	2.616.527	95.500	47.400	2.473.627

Tab. 27: Bilanzierung des Grundwasserumsatz der quartären Ablagerungen der Großen Laber, Bilanzgrößen in [m³/a]

Teilraum	Grundwasser-neubildung	Bewässerung	Sonstige	Exfiltration Gr. Laber
07_T_EZG_gr_Laber	691.259	14.500		676.759

Tab. 28: Bilanzierung des Grundwasserumsatz der quartären Ablagerungen der Amper, Bilanzgrößen in [m³/a]

Teilraum	Grundwasser-neubildung	Grundwasser-zustrom	Bewässerung	Sonstige	Exfiltration Amper
06_T_EZG_Amper	4.052.737	9.210.809	3.000	221.600	13.038.946

4.8.2.3 Quartär der Nebentäler im Malm

Innerhalb der Malmteilräume nördlich der Donau (10_M_Donau_N1, 11_M_Donau_N2), wurden in der Hydrogeologischen Karte (LfU, 2002) vereinzelt Quartärsedimente auskartiert. Da diese sehr kleinräumig auf verschiedene Flusstäler aufgeteilt sind, wurden diese nicht explizit in der Bilanzierung berücksichtigt. Die wenigen Entnahmen innerhalb der quartären Flächen wurden in der Bilanzierung als Nutzungen im Malm berücksichtigt. Es wird angenommen, dass die lokale Grundwasserneubildung aus Niederschlag relativ schnell in die lokalen Vorfluter exfiltriert.

4.8.2.4 Südliches Donauquartär mit tertiären Einzugsgebieten

Die Bilanzgrößen sind in Tab. 29 als Absolutwerte und in relativen prozentualen Anteilen in Tab. 30 zusammengefasst. Da der Randzustrom aus dem südlichen Tertiär über den Grundwasserleiter T3 stattfindet, wird im Folgenden nur dieser tertiäre Grundwasserleiter aufgeführt. Zusätzlich sind die Quartärteilräume abgebildet, welche Randzuströme aus dem südlichen Tertiär erhalten. Zu- und Abströme zwischen den Teilräumen werden durch die Pfeile verdeutlicht. Um die Vergleichbarkeit zwischen den Teilräumen zu gewährleisten werden die einzelnen positiven und negativen Größen des Grundwasserdargebots in Abb. 35 als prozentuale Anteile am Gesamtdargebot des jeweiligen Teilraums angegeben. Die absoluten Werte des Grundwasserumsatzes sind in Abb. 34 dargestellt.

Tab. 29: Grundwasserbilanz der südlich der Donau gelegenen Teilräume (mittlere Grundwasserneubildung 1971-2000)

Teilraum-Nummer		1	2	3	4	5	6	7	8
Grundwasserleiter		T3	Quartär	T3	T3	Quartär	T3	Quartär	T3
Bilanzgrößen in [m³/a]	Teilraum	01_T_EZG_ S1_W	13_QT_ Donau_S1	02_T_EZG_ S1_E	03_T_EZG_ S2	14_QT_ Donau_S2	04_T_EZG_ S3_W	15_QT_ Donau_S3	05_T_EZG_ S3_E
	Positiv	Grundwasserneubildung 71-00	19.772.067	26.879.558	8.751.040	8.553.092	10.079.679	4.510.986	9.537.522
Zusickerung		2.456.237		2.286.328	4.069.923	2.090.803	590.958	1.700.321	2.646.210
Grundwasserzustrom Paar						1.182.600			
Grundwasserzustrom Ilm								1.892.160	
Grundwasserzustrom Abens								329.776	
Grundwasserzustrom Modellgrenze		293.810							
Grundwasserzustrom aus Teilraum 1			19.190.946						
Grundwasserzustrom aus Teilraum 3			7.828.006						
Grundwasserzustrom aus Teilraum 4						9.394.092			
Grundwasserzustrom aus Teilraum 6								4.290.244	
Grundwasserzustrom aus Teilraum 8							3.673.355		
Negativ	Entnahmen Bewässerung	-436.085	-1.463.671	-203.550	-236.590	-129.755	-154.700	-426.790	
	Entnahmen Sonstige	-171.750	-2.432.774	-631.923	-489.125	-4.321.460	-7.000	-11.666.768	-166.750
	Entnahmen öffentliche Wasserversorgung	-2.723.333	-1.000.000	-2.373.889	-2.503.208		-650.000		-200.000
	Exfiltration Vorfluter		-49.002.066			-18.295.959		-9.329.821	
	Grundwasserabstrom zu Teilraum 2	-19.190.946		-7.828.006					
	Grundwasserabstrom zu Teilraum 5				-9.394.092				
Grundwasserabstrom zu Teilraum 7						-4.290.244		-3.673.355	
30 % der lokalen Grundwasserneubildung		-5.931.620	-8.063.867	-2.625.312	-2.565.928	-3.023.904	-1.353.296	-2.861.257	-418.168
30 % der gebietsspezifischen Wassermenge		-6.756.634	-16.169.553	-3.311.210	-3.786.904	-6.824.152	-1.530.583	-6.427.014	-1.212.031

Tab. 30: Grundwasserbilanz der südlich der Donau gelegenen Teilräume in prozentualen Anteilen (mittlere Grundwasserneubildung 1971-2000)

Teilraum-Nummer		1	2	3	4	5	6	7	8
Grundwasserleiter		T3	Quartär	T3	T3	Quartär	T3	Quartär	T3
Bilanzgrößen in [%]	Teilraum	01_T_EZG_ S1_W	13_QT_ Donau_S1	02_T_EZG_ S1_E	03_T_EZG_ S2	14_QT_ Donau_S2	04_T_EZG_ S3_W	15_QT_ Donau_S3	05_T_EZG_ S3_E
		Grundwasserneubildung 71-00	87,8	49,9	79,3	67,8	44,3	88,4	44,5
Zusickerung	10,9		20,7	32,2	9,2	11,6	7,9	65,5	
Grundwasserzustrom Paar					5,2				
Grundwasserzustrom Ilm							8,8		
Grundwasserzustrom Abens							1,5		
Grundwasserzustrom Modellgrenze	1,3								
Grundwasserzustrom aus Teilraum 1			35,6						
Grundwasserzustrom aus Teilraum 3			14,5						
Grundwasserzustrom aus Teilraum 4						41,3			
Grundwasserzustrom aus Teilraum 6							20,0		
Grundwasserzustrom aus Teilraum 8							17,1		
Negativ	Entnahmen Bewässerung	-1,9	-2,7	-1,8	-1,9	-0,6	-3,0	-2,0	
	Entnahmen Sonstige	-0,8	-4,5	-5,7	-3,9	-19,0	-0,1	-54,5	-4,1
	Entnahmen öffentliche Wasserversorgung	-12,1	-1,9	-21,5	-19,8		-12,7		-5,0
	Exfiltration Vorfluter		-90,9			-80,4		-43,5	
	Grundwasserabstrom zu Teilraum 2	-85,2		-70,9					
	Grundwasserabstrom zu Teilraum 5				-74,4				
Grundwasserabstrom zu Teilraum 7						-84,1		-90,9	
30 % der lokalen Grundwasserneubildung	-26,3	-15,0	-23,8	-20,3	-13,3	-26,5	-13,4	-10,4	
30 % der gebietspezifischen Wassermenge	-30,0	-30,0	-30,0	-30,0	-30,0	-30,0	-30,0	-30,0	

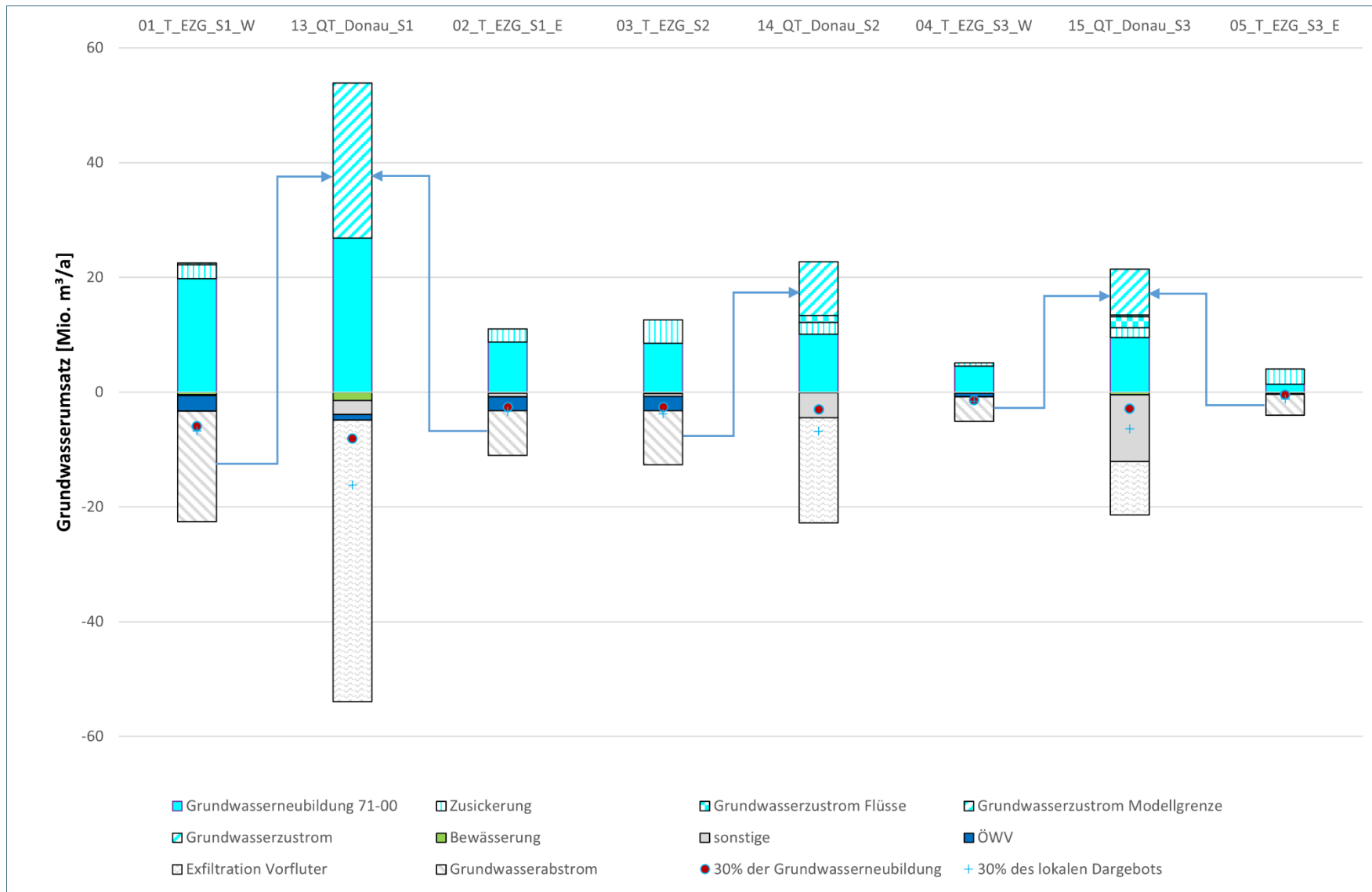


Abb. 34: Grundwasserbilanz der südlich der Donau gelegenen Teilräume (mittlere Grundwasserneubildung 1971-2000)

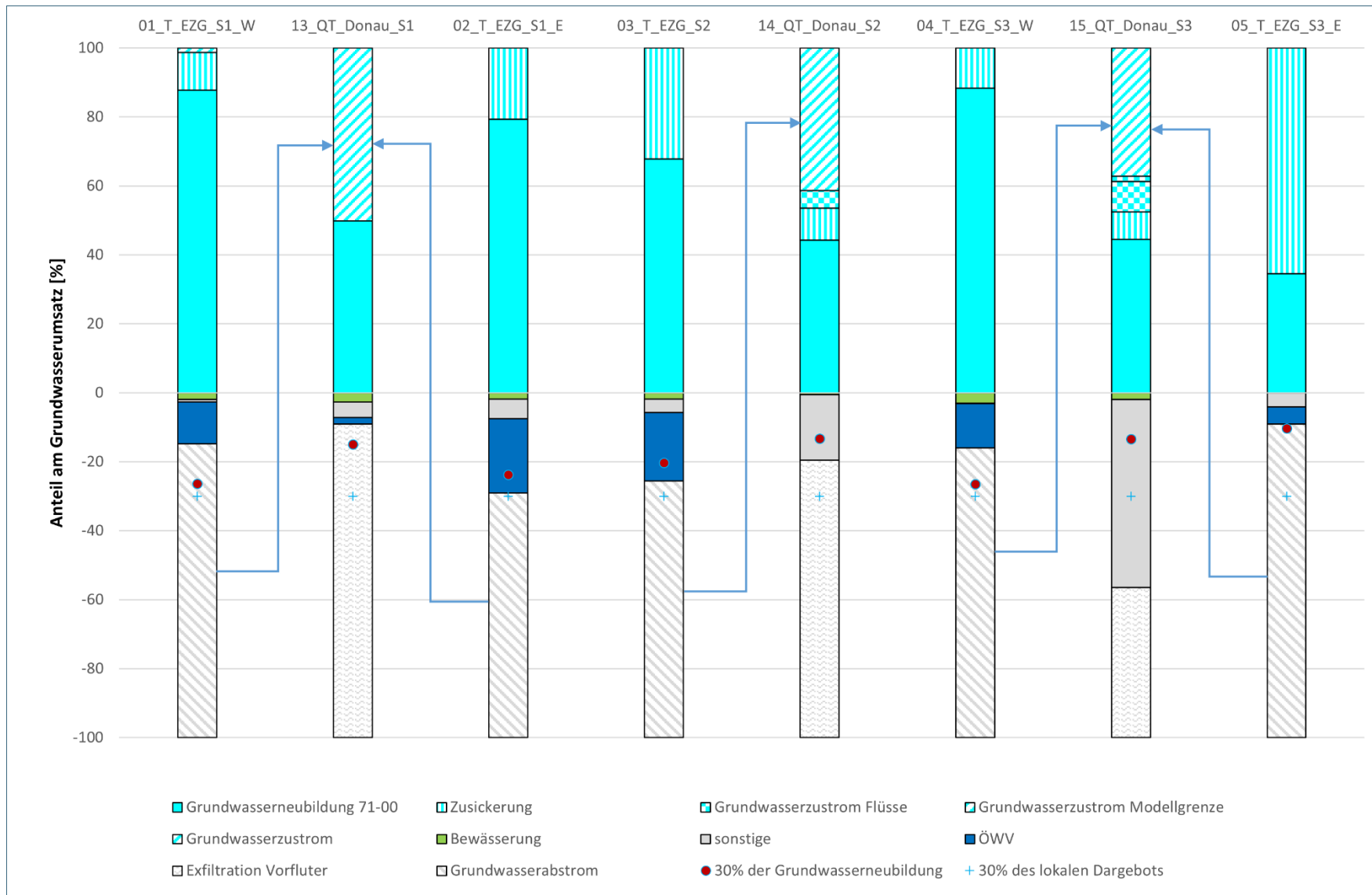


Abb. 35: Grundwasserbilanz der südlich der Donau gelegenen Teilräume in prozentualen Anteilen (mittlere Grundwasserneubildung 1971-2000)

4.8.2.5 Malmteilräume und nördliches Donauquartär

Die Bilanzgrößen sind in Tab. 31 (absolut) und Tab. 32 (prozentual) aufgelistet und quantifiziert. Neben dem quartärem Teilraum „16_QT_Donau_N“ sind die Grundwasserumsätze der nördlich gelegenen Teilräume im Malm „10_M_Donau_N1“ und „11_M_Donau_N2“, sowie der südöstlich der Donau gelegene Malmteilraum „12_M_Abensberg“ dargestellt. Zu- und Abströme zwischen den Teilräumen werden durch die Pfeile verdeutlicht. Um die Vergleichbarkeit zwischen den Teilräumen zu gewährleisten werden die einzelnen positiven und negativen Größen des Grundwasserdargebots in Abb. 37 als prozentuale Anteile am Gesamtdargebot des jeweiligen Teilraums angegeben. Die absoluten Werte des Grundwasserumsatzes sind in Abb. 36 dargestellt.

Tab. 31: Grundwasserbilanz der nördlich der Donau gelegenen Teilräume (mittlere Grundwasserneubildung 1971-2000)

Teilraum-Nummer		1	2	3	4
Grundwasserleiter		Malm	Quartär	Malm	Malm
Bilanzgrößen in [m³/a]		10_M_Donau_N1	16_QT_Donau_N	11_M_Donau_N2	12_M_Abensberg
Positiv	Grundwasserneubildung 71-00	45.994.476	12.733.881	14.934.723	2.243.085
	Grundwasserzustrom aus Teilraum 1		24.110.017		
Negativ	Entnahmen Bewässerung	-262.690	-72.880	-169.030	-19.700
	Entnahmen Sonstige	-2.285.753	-4.672.303		-30.000
	Entnahmen öffentliche Wasserversorgung	-15.542.000*	-300.000	-150.000	-1.000.000
	Grundwasserabstrom in Teilraum 2	-24.110.017			
	Grundwasserabstrom zum südlichen Donauquartär	-3.794.017			
	Exfiltration Vorfluter		-31.798.715	-14.615.693	-1.193.385
30 % der lokalen Grundwasserneubildung		-13.798.343	-3.820.164	-4.480.417	-672.925
30 % der gebietsspezifischen Wassermenge		-13.798.343	-11.053.169	-4.480.417	-672.925

* 13.630.000 [m³/a] werden aus Wasserfassungen entnommen, die geografisch innerhalb der Donauquartär-Teilräume liegen

Tab. 32: Grundwasserbilanz der nördlich der Donau gelegenen Teilräume in prozentualen Anteilen (mittlere Grundwasserneubildung 1971-2000)

Teilraum-Nummer		1	2	3	4
Grundwasserleiter		Malm	Quartär	Malm	Malm
Bilanzgrößen in [%]		10_M_Donau_N1	16_QT_Donau_N	11_M_Donau_N2	12_M_Abensberg
Positiv	Grundwasserneubildung 71-00	100,0	34,6	100,0	100,0
	Grundwasserzustrom aus Teilraum 1		65,4		
Negativ	Entnahmen Bewässerung	-0,6	-0,2	-1,1	-0,9
	Entnahmen Sonstige	-5,0	-12,7		-1,3
	Entnahmen öffentliche Wasserversorgung	-33,8	-0,8	-1,0	-44,6
	Grundwasserabstrom in Teilraum 2	-52,4			
	Grundwasserabstrom zum südlichen Donauquartär	-8,2			
	Exfiltration Vorfluter		-86,3	-97,9	-53,2
30 % der lokalen Grundwasserneubildung		-30,0	-10,4	-30,0	-30,0
30 % der gebietsspezifischen Wassermenge		-30,0	-30,0	-30,0	-30,0

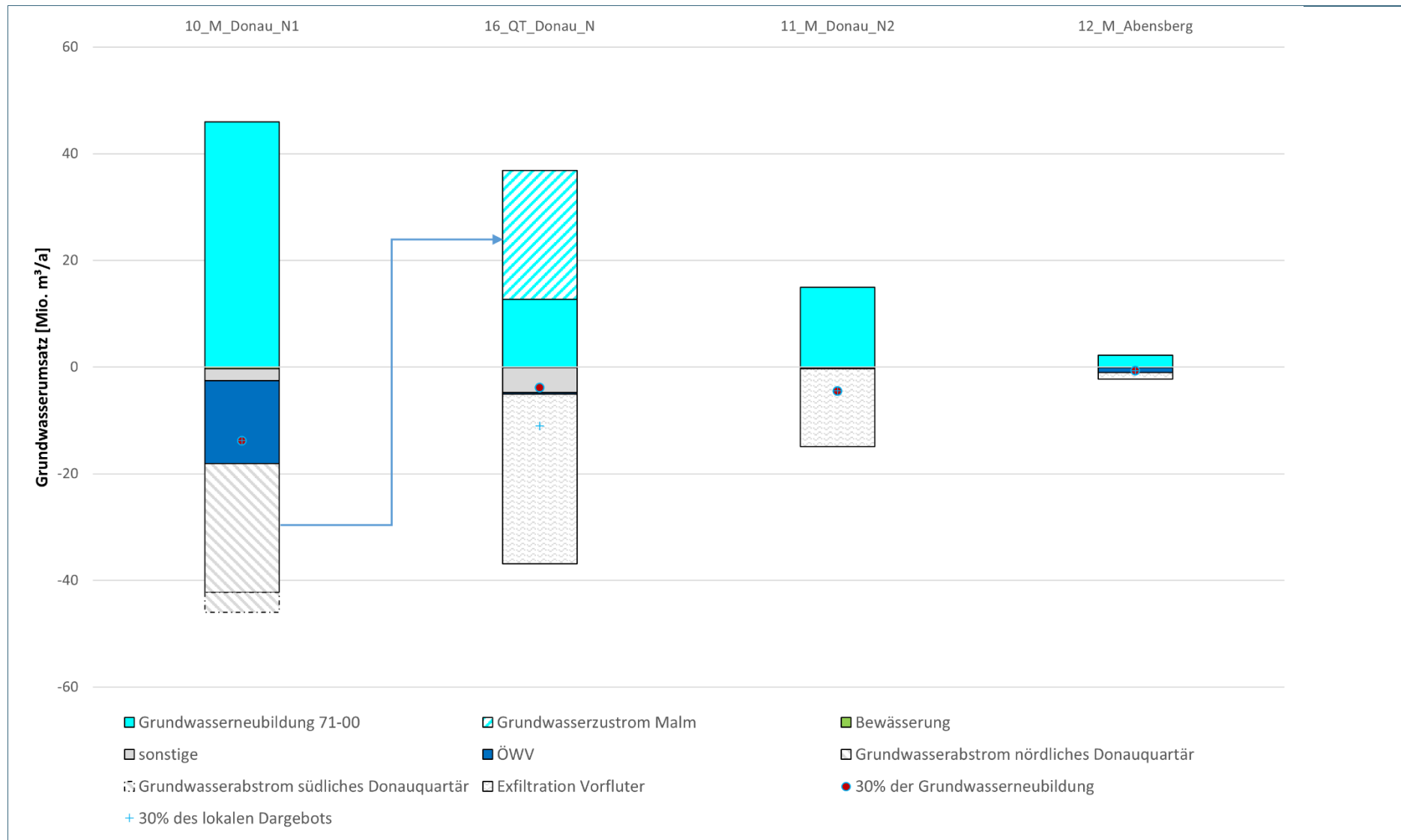


Abb. 36: Grundwasserbilanz der nördlich der Donau gelegenen Teilräume (mittlere Grundwasserneubildung 1971-2000)

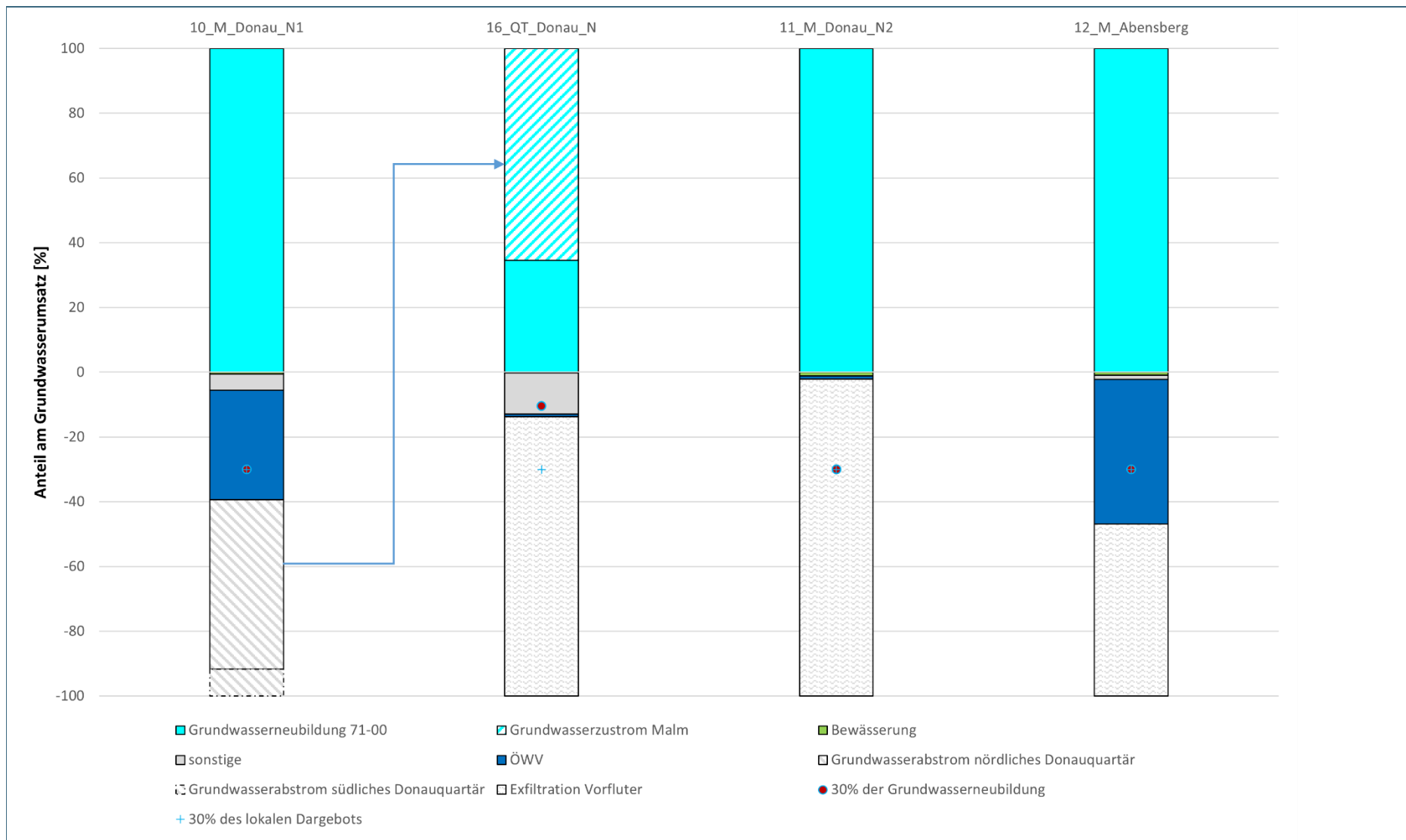


Abb. 37: Grundwasserbilanz der nördlich der Donau gelegenen Teilräume in prozentualen Anteilen (mittlere Grundwasserneubildung 1971-2000)

4.8.2.6 Isarquartär und Einzugsgebiet im Tertiär

Die Bilanzgrößen sind in Tab. 33 (absolut) und Tab. 34 (prozentual) aufgelistet und quantifiziert. Neben den quartären Teilräumen „17_QT_Isar_N“ und „18_QT_Isar_S“ sind die Grundwasserumsätze des Grundwasserleiters T2, des nördlich der Isar gelegenen Tertiärteilraums „08_T_Isar_N“ und des südlich der Isar gelegenen Tertiärteilraums „09_T_Isar_S“, dargestellt. Zu- und Abströme zwischen den Teilräumen werden durch die Pfeile verdeutlicht. Um die Vergleichbarkeit zwischen den Teilräumen zu gewährleisten werden die einzelnen positiven und negativen Größen des Grundwasserangebots in Abb. 39 als Anteile am Gesamtdargebot des jeweiligen Teilraums angegeben. Die absoluten Werte des Grundwasserumsatzes sind in Abb. 38 dargestellt.

Tab. 33: Grundwasserbilanz des Isarquartärs und der umgebenden Tertiärteilräume (mittlere Grundwasserneubildung 1971-2000)

Teilraum-Nummer		1	2	3	4
Grundwasserleiter		T2	Quartär	T2	Quartär
Bilanzgrößen in [m³/a]		08_T_Isar_N	17_QT_Isar_N	09_T_Isar_S	18_QT_Isar_S
Positiv	Grundwasserneubildung 71-00	22.722.520	17.489.639	11.098.245	5.969.588
	Zusickerung	6.285.616		15.668.752	
	Grundwasserzustrom aus Teilraum 1		21.028.093		
	Grundwasserzustrom aus Teilraum 3				19.480.332
	Grundwasserzustrom Isartal				9.559.374
Negativ	Entnahmen Bewässerung	-271.994	-331.139	-109.365	-177.270
	Entnahmen Sonstige	-118.050	-694.838	-159.300	-1.024.300
	Entnahmen öffentliche Wasserversorgung	-7.590.000*	-1.250.000	-7.018.000**	
	Grundwasserabstrom zu Teilraum 2	-21.028.093			
	Grundwasserabstrom zu Teilraum 4			-19.480.332	
	Grundwasserabstrom Modellgrenze		-36.241.755		
	Exfiltration Vorfluter				-33.807.723
30 % der lokalen Grundwasserneubildung		-6.816.756	-5.246.892	-3.329.473	-1.790.876
30 % der gebietspezifischen Wassermenge		-8.702.441	-11.555.320	-8.030.099	-10.502.788

* 1.850.000 [m³/a] werden aus Wasserfassungen entnommen, die geografisch innerhalb der Isarquartär-Teilräume liegen

** 2.200.000 [m³/a] werden aus Wasserfassungen entnommen, die geografisch innerhalb der Isarquartär-Teilräume liegen

Tab. 34: Grundwasserbilanz des Isarquartärs und der umgebenden Tertiärteilräume in prozentualen Anteilen (mittlere Grundwasserneubildung 1971-2000)

Teilraum-Nummer		1	2	3	4
Grundwasserleiter		T2	Quartär	T2	Quartär
Bilanzgrößen in [%]		08_T_Isar_N	17_QT_Isar_N	09_T_Isar_S	18_QT_Isar_S
Positiv	Grundwasserneubildung 71-00	78,3	45,4	41,5	17,1
	Zusickerung	21,7		58,5	
	Grundwasserzustrom aus Teilraum 1		54,6		
	Grundwasserzustrom aus Teilraum 3				55,6
	Grundwasserzustrom Isartal				27,3
Negativ	Entnahmen Bewässerung	-0,9	-0,9	-0,4	-0,5
	Entnahmen Sonstige	-0,4	-1,8	-0,6	-2,9
	Entnahmen öffentliche Wasserversorgung	-26,2	-3,2	-26,2	
	Grundwasserabstrom zu Teilraum 2	-72,5			
	Grundwasserabstrom zu Teilraum 4			-72,8	
	Grundwasserabstrom Modellgrenze		-94,1		
	Exfiltration Vorfluter				-96,6
30 % der lokalen Grundwasserneubildung		-23,5	-13,6	-12,4	-5,1
30 % der gebietsspezifischen Wassermenge		-30,0	-30,0	-30,0	-30,0

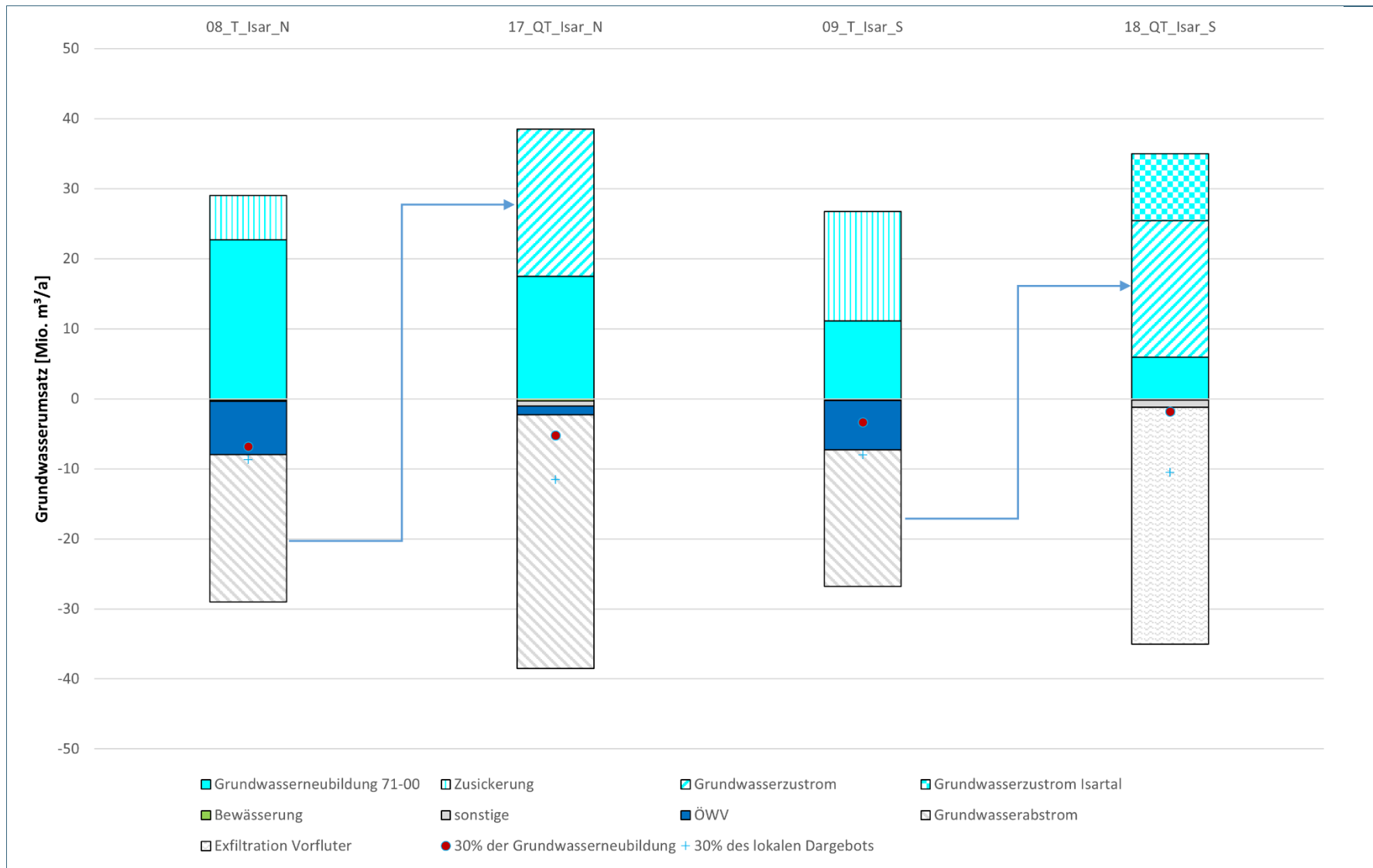


Abb. 38: Grundwasserbilanz des Isarquartärs und der anliegenden tertiären Teilräume (mittlere Grundwasserneubildung 1971-2000)

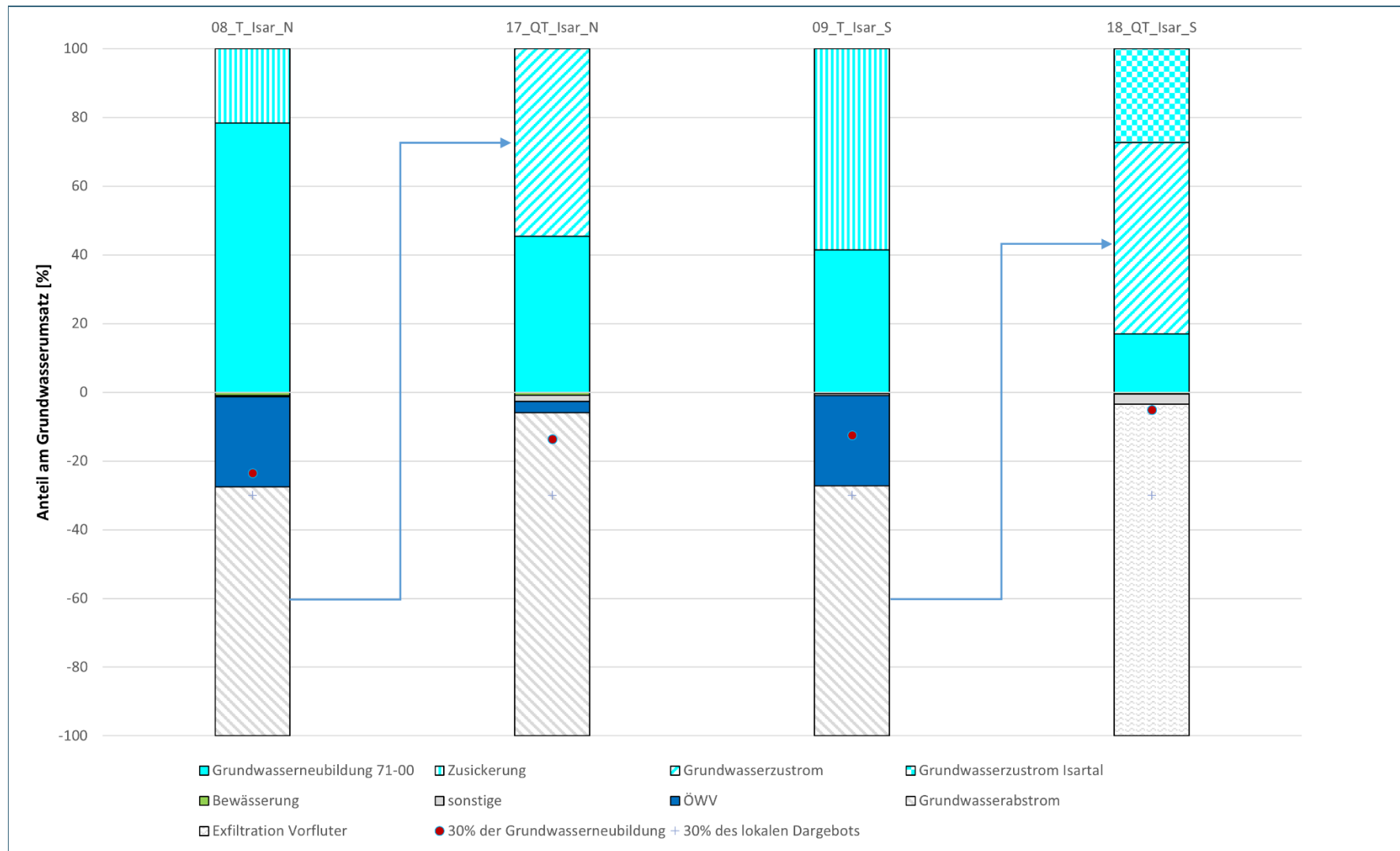


Abb. 39: Grundwasserbilanz des Isarquartärs und der anliegenden tertiären Teilräume in prozentualen Anteilen (mittlere Grundwasserneubildung 1971-2000)

4.8.2.7 Tertiäre Einzugsgebiete der Amper und Laber

Die Bilanzgrößen sind in Tab. 35 (absolut) und Tab. 36 (prozentual) aufgelistet und quantifiziert, Abb. 40 zeigt die Grundwasserbilanz der Teilräume „06_T_EZG_Amper“ und „07_T_EZG_gr_Laber“. Um die Vergleichbarkeit zwischen den Teilräumen zu gewährleisten werden die einzelnen positiven und negativen Größen des Grundwasserdargebots in Abb. 41 als Anteile am Gesamtdargebot des jeweiligen Teilraums angegeben. Die absoluten Werte des Grundwasserumsatzes sind in Abb. 40 dargestellt. Zu- und Abströme zwischen den Teilräumen werden durch die Pfeile verdeutlicht.

Tab. 35: Grundwasserbilanz der Tertiärteilräume 06_T_EZG_Amper und 07_T_EZG_gr_Laber (mittlere Grundwasserneubildung 1971-2000)

Grundwasserleiter		T2	T2	T3
Bilanzgrößen in [m³/a]		06_T_EZG_Amper	07_T_EZG_gr_Laber	07_T_EZG_gr_Laber
Positiv	Grundwasserneubildung 71-00	5.244.398	13.911.007	
	Zusickerung	4.201.411	2.698.594	1.922.871
Negativ	Entnahmen Bewässerung	-2.000	-188.340	
	Entnahmen Sonstige	-3.000	-52.300	-220.000
	Entnahmen öffentliche Wasserversorgung	-230.000	-3.550.000	-750.000
	Aussickerung		-1.922.871	
	Grundwasserabstrom	-9.210.809	-10.896.090	-952.871
	Exfiltration Vorfluter			
30 % der lokalen Grundwasserneubildung		-1.573.319	-4.173.302	
30 % der gebietsspezifischen Wassermenge		-2.833.743	-4.982.880	-576.861

Tab. 36: Grundwasserbilanz der Tertiärteilräume 06_T_EZG_Amper und 07_T_EZG_gr_Laber, in prozentualen Anteilen (mittlere Grundwasserneubildung 1971-2000)

Grundwasserleiter		T2	T2	T3
Bilanzgrößen in [%]		06_T_EZG_Amper	07_T_EZG_gr_Laber	07_T_EZG_gr_Laber
Positiv	Grundwasserneubildung 71-00	55,5	83,8	
	Zusickerung	44,5	16,2	100,0
Negativ	Entnahmen Bewässerung	0,0	-1,1	
	Entnahmen Sonstige	0,0	-0,3	-11,4
	Entnahmen öffentliche Wasserversorgung	-2,4	-21,4	-39,0
	Aussickerung		-11,6	
	Grundwasserabstrom	-97,5	-65,6	-49,6
	Exfiltration Vorfluter			
30 % der lokalen Grundwasserneubildung		-16,7	-25,1	
30 % der gebietsspezifischen Wassermenge		-30,0	-30,0	-30,0

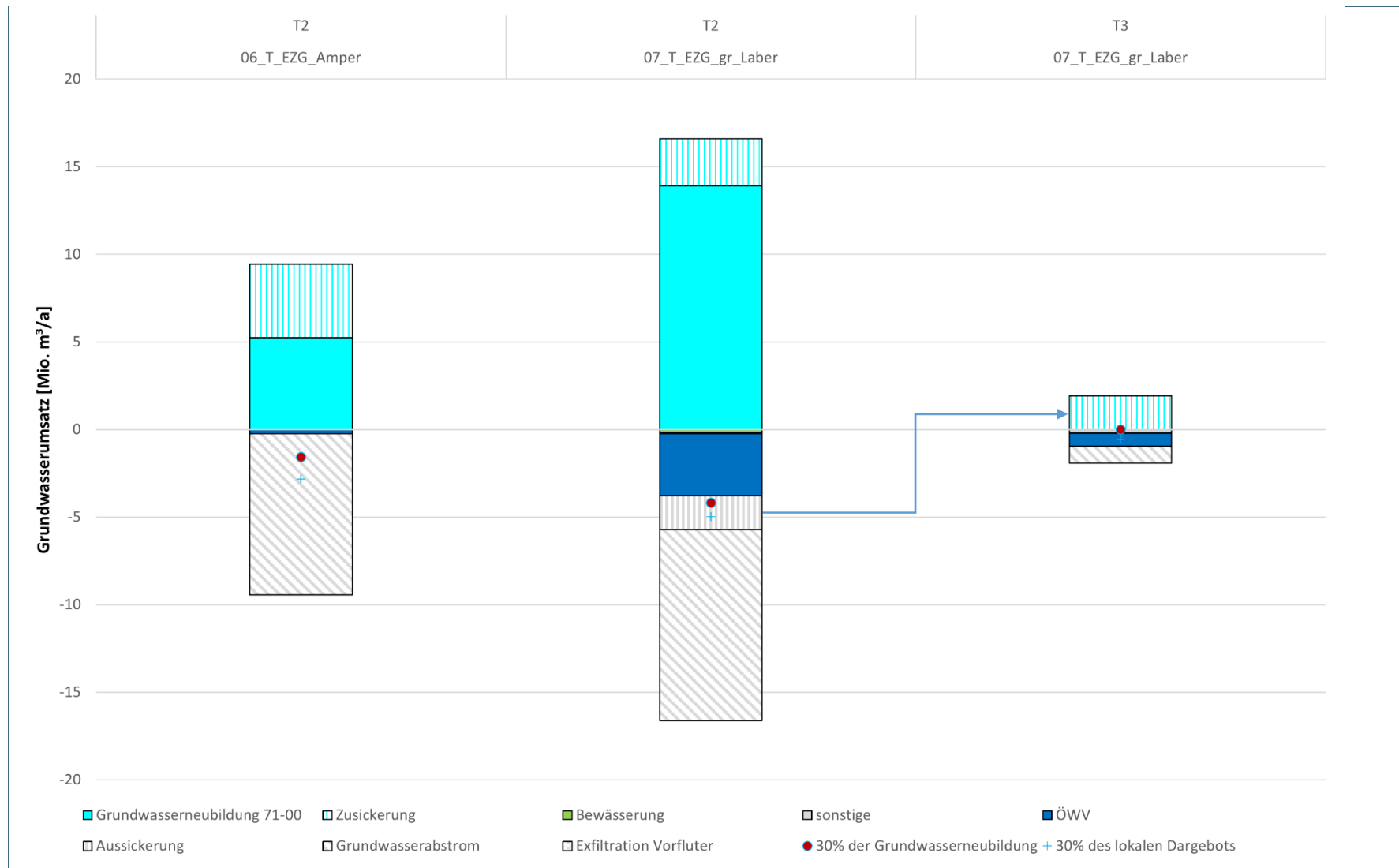


Abb. 40: Grundwasserbilanz der Tertiärteilräume 06_T_EZG_Amper und 07_T_EZG_gr_Laber (mittlere Grundwasserneubildung 1971-2000)

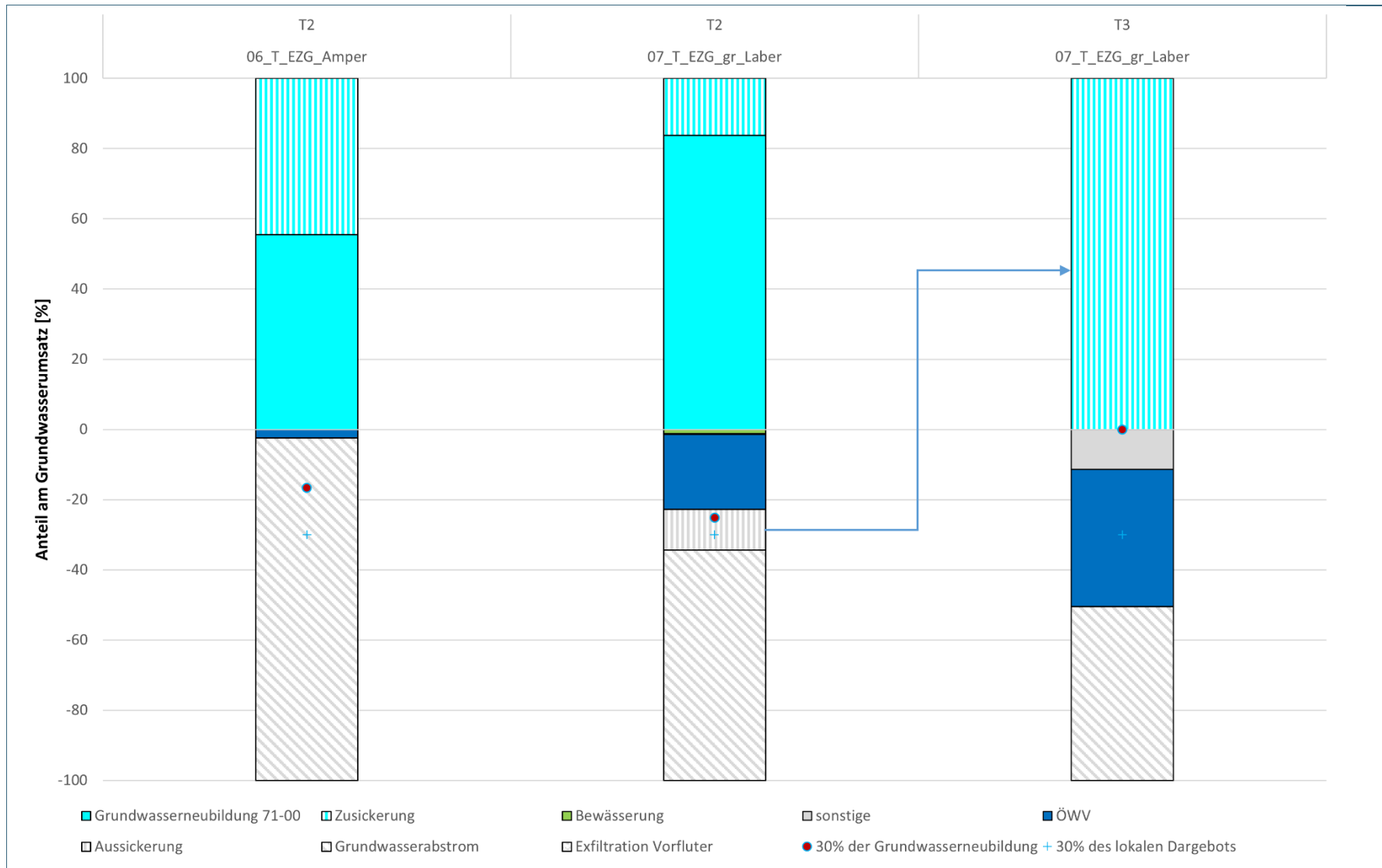


Abb. 41: Grundwasserbilanz der Tertiärterräume 06_T_EZG_Amper und 07_T_EZG_gr_Laber, in prozentualen Anteilen (mittlere Grundwasserneubildung 1971-2000)

4.8.3 Reduzierte Grundwasserneubildung (Mittelwert: 2012-2021)

Um in der Dargebotsbetrachtung, dem in der jüngeren Vergangenheit verzeichneten Rückgang der Grundwasserneubildung aus Niederschlag Rechnung zu tragen, wurde das Mittel für den Zeitraum 2012 – 2021 angesetzt. Das führt im Allgemeinen zu geringeren Abflüssen in den Vorflutern, sowie zu niedrigeren Randab- und zuströmen, was sich sowohl auf die Bilanz der tertiären als auch der quartären Teilräume auswirkt. (Abb. 43 und Abb. 42).

4.8.3.1 Tertiärhügelland

Die Bilanzgrößen der einzelnen tertiären Grundwasserleiter sind dem Anhang 10/2 zu entnehmen.

4.8.3.2 Quartär der Nebentäler im Tertiärhügelland

Die Grundwasserumsätze der drei großen Nebentäler Paar, Ilm und Abens, sowie der quartären Sedimente im Bereich der Amper, wurden separat bilanziert. Die Nebenflüsse dienen abschnittsweise als Vorfluter für die tertiären Grundwasserleiter, zum Teil werden diese aber auch vom tertiären Grundwasser unterströmt. Die Interaktion zwischen den tertiären Grundwasserleitern und den Nebentälern ist zu komplex, um diese im Rahmen des hydrogeologischen Modells quantitativ fassen zu können. Aus diesem Grund wurde bei deren Bilanzierung nur die lokale Grundwasserneubildung aus Niederschlag als positive Bilanzgröße berücksichtigt. Die Grundwasserentnahmen im Quartär der Flusstäler sind ausschließlich Brauchwasserentnahmen, wobei etwa zwei Drittel davon auf Bewässerung und ein Drittel auf Sonstige entfällt.

Tab. 37: Bilanzierung des Grundwasserumsatz der quartären Ablagerungen im Paartal Bilanzgrößen in [m³/a]

Teilraum	Grundwasserneubildung	Bewässerung	Sonstige	Exfiltration Paar
01_T_EZG_S1_W	1.271.062	4.700	63.200	1.203.162
02_T_EZG_S1_E	-31.036	3.800	56.985	-91.821
03_T_EZG_S2	-74.921	1.950		-76.871

Tab. 38: Bilanzierung des Grundwasserumsatz der quartären Ablagerungen im Ilmtal Bilanzgrößen in [m³/a]

Teilraum	Grundwasserneubildung	Bewässerung	Sonstige	Exfiltration Ilm
02_T_EZG_S1_E	90.239			90.239
03_T_EZG_S2	1.002.244	381.920	89.250	531.074
04_T_EZG_S3_W	-21.408			-21.408

Tab. 39: Bilanzierung des Grundwasserumsatz der quartären Ablagerungen im Abenstal Bilanzgrößen in [m³/a]

Teilraum	Grundwasserneubildung	Bewässerung	Sonstige	Exfiltration Abens
03_T_EZG_S2	6.305			6.305
05_T_EZG_S3_E	2.106.721	95.500	47.400	1.963.821

Tab. 40: Bilanzierung des Grundwasserumsatz der quartären Ablagerungen der Großen Laber Bilanzgrößen in [m³/a]

Teilraum	Grundwasserneubildung	Bewässerung	Sonstige	Exfiltration Gr. Laber
07_T_EZG_gr_Laber	587.120	14.500		572.620

Tab. 41: Bilanzierung des Grundwasserumsatz der quartären Ablagerungen der Amper, Bilanzgrößen in [m³/a]

Teilraum	Grundwassern eubildung	Grundwasser zustrom	Bewässerung	Sonstige	Exfiltration Amper
06_T_EZG_Amper	2.869.523	6.344.381	3.000	221.600	8.989.303

4.8.3.3 Quartär der Nebentäler im Malm

Innerhalb der Malmteilräume nördlich der Donau (10_M_Donau_N1, 11_M_Donau_N2), wurden in der Hydrogeologischen Karte (LfU, 2002) vereinzelt Quartärsedimente auskartiert. Da diese sehr kleinräumig auf verschiedene Flusstäler aufgeteilt sind, wurden diese nicht explizit in der Bilanzierung berücksichtigt. Die wenigen Entnahmen innerhalb der quartären Flächen wurden in der Bilanzierung als Nutzungen im Malm berücksichtigt. Es wird angenommen, dass die lokale Grundwasserneubildung aus Niederschlag relativ schnell in die lokalen Vorfluter exfiltriert.

4.8.3.4 Südliches Donauquartär mit tertiären Einzugsgebieten

Tab. 42: Grundwasserbilanz der südlich der Donau gelegenen Teilräume (mittlere Grundwasserneubildung 2012-2021)

Teilraum-Nummer		1	2	3	4	5	6	7	8
Grundwasserleiter		T3	Quartär	T3	T3	Quartär	T3	Quartär	T3
Bilanzgrößen in [m³/a]	Teilraum	01_T_EZG_ S1_W	13_QT_ Donau_S1	02_T_EZG_ S1_E	03_T_EZG_ S2	14_QT_ Donau_S2	04_T_EZG_ S3_W	15_QT_ Donau_S3	05_T_EZG_ S3_E
	Positiv	Grundwasserneubildung 12-21	7.700.654	13.641.722	3.921.198	4.407.073	6.917.421	3.003.923	7.954.263
Zusickerung		1.505.398		1.463.596	2.649.659	1.089.315	393.493	885.873	1.681.228
Grundwasserzustrom Paar						1.182.600			
Grundwasserzustrom Ilm								1.892.160	
Grundwasserzustrom Abens								329.776	
Grundwasserzustrom Modellgrenze		293.810							
Grundwasserzustrom aus Teilraum 1			6.168.694						
Grundwasserzustrom aus Teilraum 3			2.175.432						
Grundwasserzustrom aus Teilraum 4						3.827.808			
Grundwasserzustrom aus Teilraum 6								2.585.716	
Grundwasserzustrom aus Teilraum 8							2.604.439		
Negativ	Entnahmen Bewässerung	-436.085	-1.463.671	-203.550	-236.590	-129.755	-154.700	-426.790	
	Entnahmen Sonstige	-171.750	-2.432.774	-631.923	-489.125	-4.321.460	-7.000	-11.666.768	-166.750
	Entnahmen öffentliche Wasserversorgung	-2.723.333	-1.000.000	-2.373.889	-2.503.208		-650.000		-200.000
	Exfiltration Vorfluter		-17.089.404			-8.565.929		-4.158.669	
	Grundwasserabstrom zu Teilraum 2	-6.168.694		-2.175.432					
	Grundwasserabstrom zu Teilraum 5				-3.827.808				
	Grundwasserabstrom zu Teilraum 7						-2.585.716		-2.604.439
30 % der lokalen Grundwasserneubildung		-2.310.196	-4.092.517	-1.176.359	-1.322.122	-2.075.226	-901.177	-2.386.279	-386.988
30 % der gebietsspezifischen Wassermenge		-2.849.959	-6.595.755	-1.615.438	-2.117.019	-3.905.143	-1.019.225	-4.875.668	-891.357

Tab. 43: Grundwasserbilanz der südlich der Donau gelegenen Teilräume in prozentualen Anteilen (mittlere Grundwasserneubildung 2012-2021)

Teilraum-Nummer		1	2	3	4	5	6	7	8
Grundwasserleiter		T3	Quartär	T3	T3	Quartär	T3	Quartär	T3
Bilanzgrößen in [%]	Teilraum	01_T_EZG_ S1_W	13_QT_ Donau_S1	02_T_EZG_ S1_E	03_T_EZG_ S2	14_QT_ Donau_S2	04_T_EZG_ S3_W	15_QT_ Donau_S3	05_T_EZG_ S3_E
	Positiv	Grundwasserneubildung 12-21	81,1	62,0	72,8	62,5	53,1	88,4	48,9
Zusickerung		15,8		27,2	37,5	8,4	11,6	5,5	56,6
Grundwasserzustrom Paar						9,1			
Grundwasserzustrom Ilm								11,6	
Grundwasserzustrom Abens								2,0	
Grundwasserzustrom Modellgrenze		3,1							
Grundwasserzustrom aus Teilraum 1			28,1						
Grundwasserzustrom aus Teilraum 3			9,9						
Grundwasserzustrom aus Teilraum 4						29,4			
Grundwasserzustrom aus Teilraum 6								15,9	
Grundwasserzustrom aus Teilraum 8							16,0		
Negativ	Entnahmen Bewässerung	-4,6	-6,7	-3,8	-3,4	-1,0	-4,6	-2,6	
	Entnahmen Sonstige	-1,8	-11,1	-11,7	-6,9	-33,2	-0,2	-71,8	-5,6
	Entnahmen öffentliche Wasserversorgung	-28,7	-4,5	-44,1	-35,5		-19,1		-6,7
	Exfiltration Vorfluter		-77,7			-65,8		-25,6	
	Grundwasserabstrom zu Teilraum 2	-64,9		-40,4					
	Grundwasserabstrom zu Teilraum 5				-54,2				
Grundwasserabstrom zu Teilraum 7						-76,1		-87,7	
30 % der lokalen Grundwasserneubildung		-24,3	-18,6	-21,8	-18,7	-15,9	-26,5	-14,7	-13,0
30 % der gebietsspezifischen Wassermenge		-30,0	-30,0	-30,0	-30,0	-30,0	-30,0	-30,0	-30,0

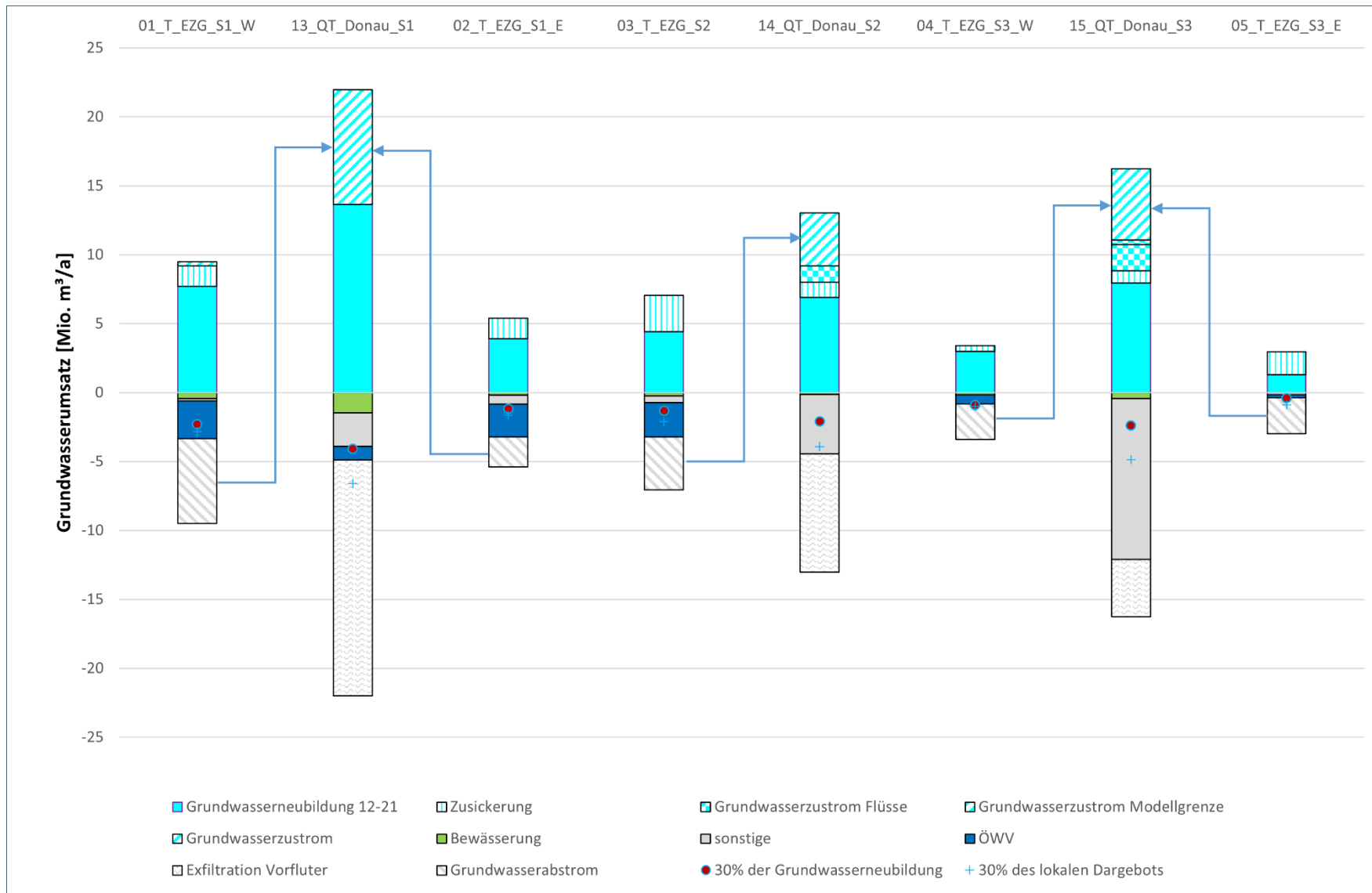


Abb. 42: Grundwasserbilanz der südlich der Donau gelegenen Teilräume (mittlere Grundwasserneubildung 2012-2021)

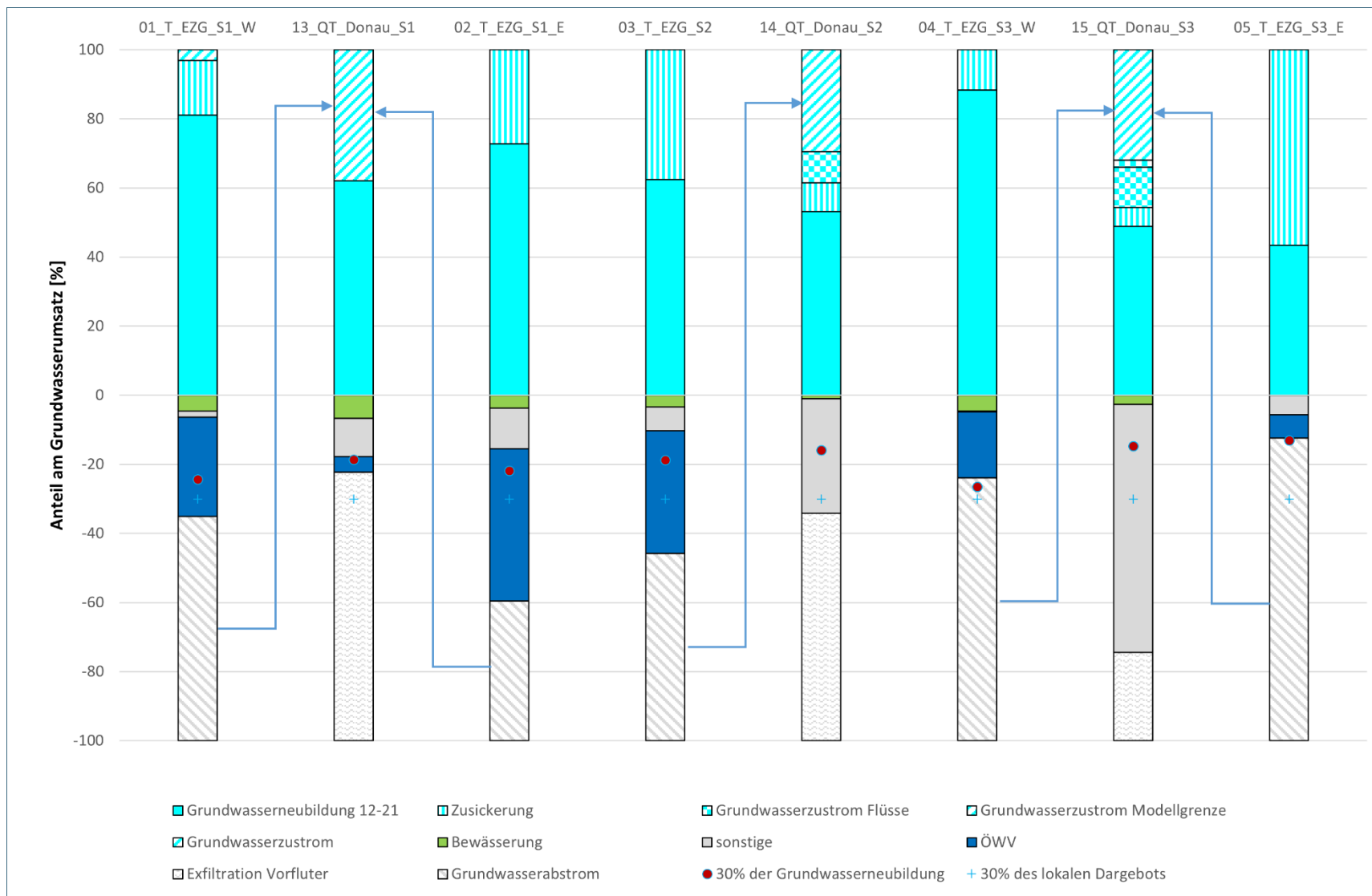


Abb. 43: Grundwasserbilanz der südlich der Donau gelegenen Teilräume in prozentualen Anteilen (mittlere Grundwasserneubildung 2012-2021)

4.8.3.5 Malmteilräume und nördliches Donauquartär

Tab. 44: Grundwasserbilanz der nördlich der Donau gelegenen Teilräume (mittlere Grundwasserneubildung 2012-2021)

Teilraum-Nummer		1	2	3	4
Grundwasserleiter		Malm	Quartär	Malm	Malm
Bilanzgrößen in [m³/a]		10_M_Donau_N1	16_QT_Donau_N	11_M_Donau_N2	12_M_Abensberg
Positiv	Grundwasserneubildung 12-21	32.928.534	9.591.765	11.454.065	2.088.105
	Grundwasserzustrom aus Teilraum 1		12.561.396		
Negativ	Entnahmen Bewässerung	-262.690	-72.880	-169.030	-19.700
	Entnahmen Sonstige	-2.285.753	-4.672.303		-30.000
	Entnahmen öffentliche Wasserversorgung	-15.542.000*	-300.000	-150.000	-1.000.000
	Grundwasserabstrom in Teilraum 2	-12.561.396			
	Grundwasserabstrom zum südlichen Donauquartär	-1.976.695			
	Exfiltration Vorfluter		-17.107.978	-11.135.035	-1.038.405
30 % der lokalen Grundwasserneubildung		-9.788.560	-2.877.529	-3.436.219	-626.432
30 % der gebietsspezifischen Wassermenge		-9.788.560	-6.645.948	-3.436.219	-626.432

* 13.630.000 [m³/a] werden aus Wasserfassungen entnommen, die geografisch innerhalb der Donauquartär-Teilräume liegen

Tab. 45: Grundwasserbilanz der nördlich der Donau gelegenen Teilräume in prozentualen Anteilen (mittlere Grundwasserneubildung 2012-2021)

Teilraum-Nummer		1	2	3	4
Grundwasserleiter		Malm	Quartär	Malm	Malm
Bilanzgrößen in [%]		10_M_Donau_N1	16_QT_Donau_N	11_M_Donau_N2	12_M_Abensberg
Positiv	Grundwasserneubildung 12-21	100,0	43,3	100,0	100,0
	Grundwasserzustrom aus Teilraum 1		56,7		
Negativ	Entnahmen Bewässerung	-0,8	-0,3	-1,5	-0,9
	Entnahmen Sonstige	-7,0	-21,1		-1,4
	Entnahmen öffentliche Wasserversorgung	-47,6	-1,4	-1,3	-47,9
	Grundwasserabstrom in Teilraum 2	-38,5			
	Grundwasserabstrom zum südlichen Donauquartär	-6,1			
	Exfiltration Vorfluter		-77,2	-97,2	-49,7
30 % der lokalen Grundwasserneubildung		-30,0	-13,0	-30,0	-30,0
30 % der gebietsspezifischen Wassermenge		-30,0	-30,0	-30,0	-30,0

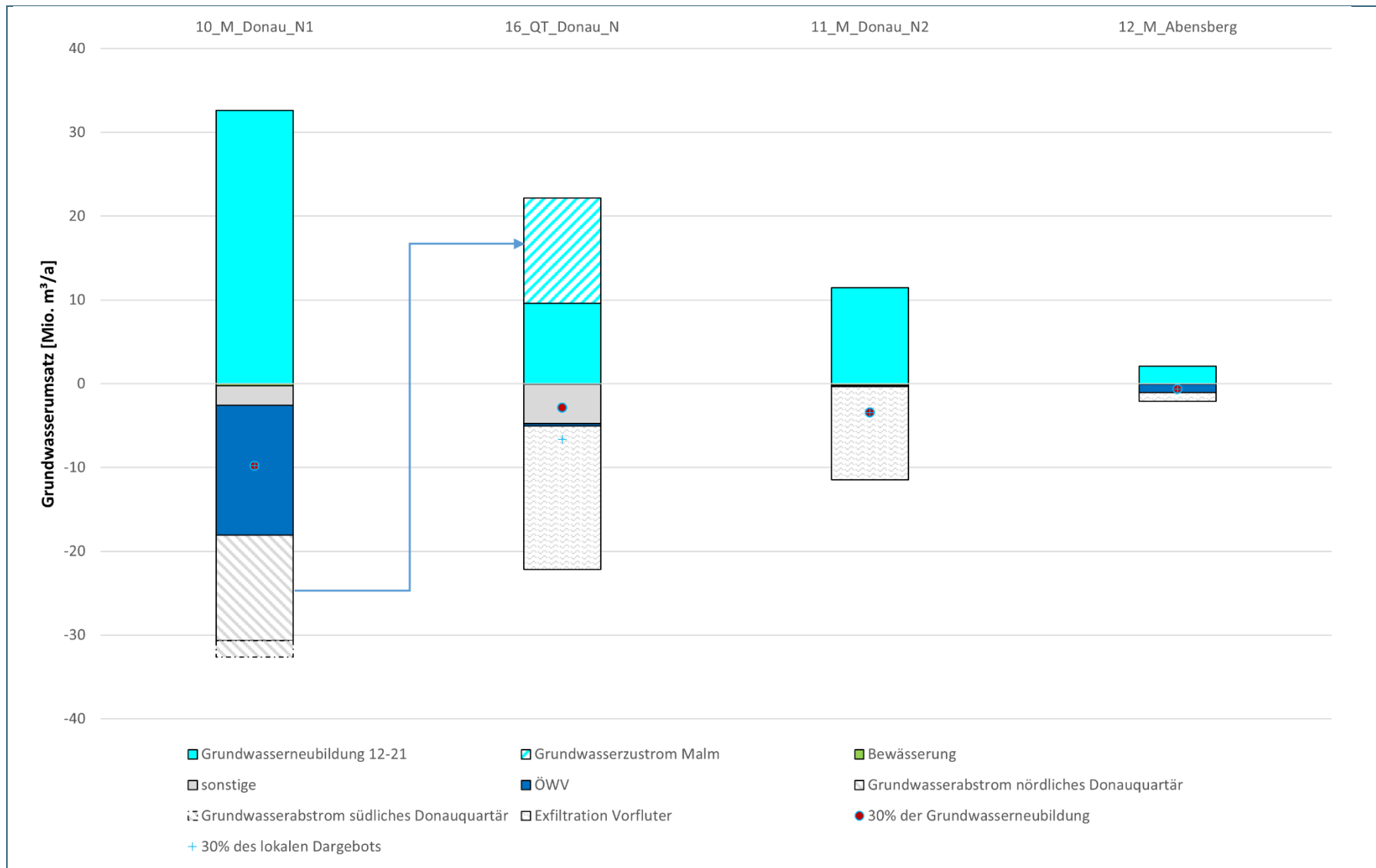


Abb. 44: Grundwasserbilanz der nördlich der Donau gelegenen Teilräume (mittlere Grundwasserneubildung 2012-2021)

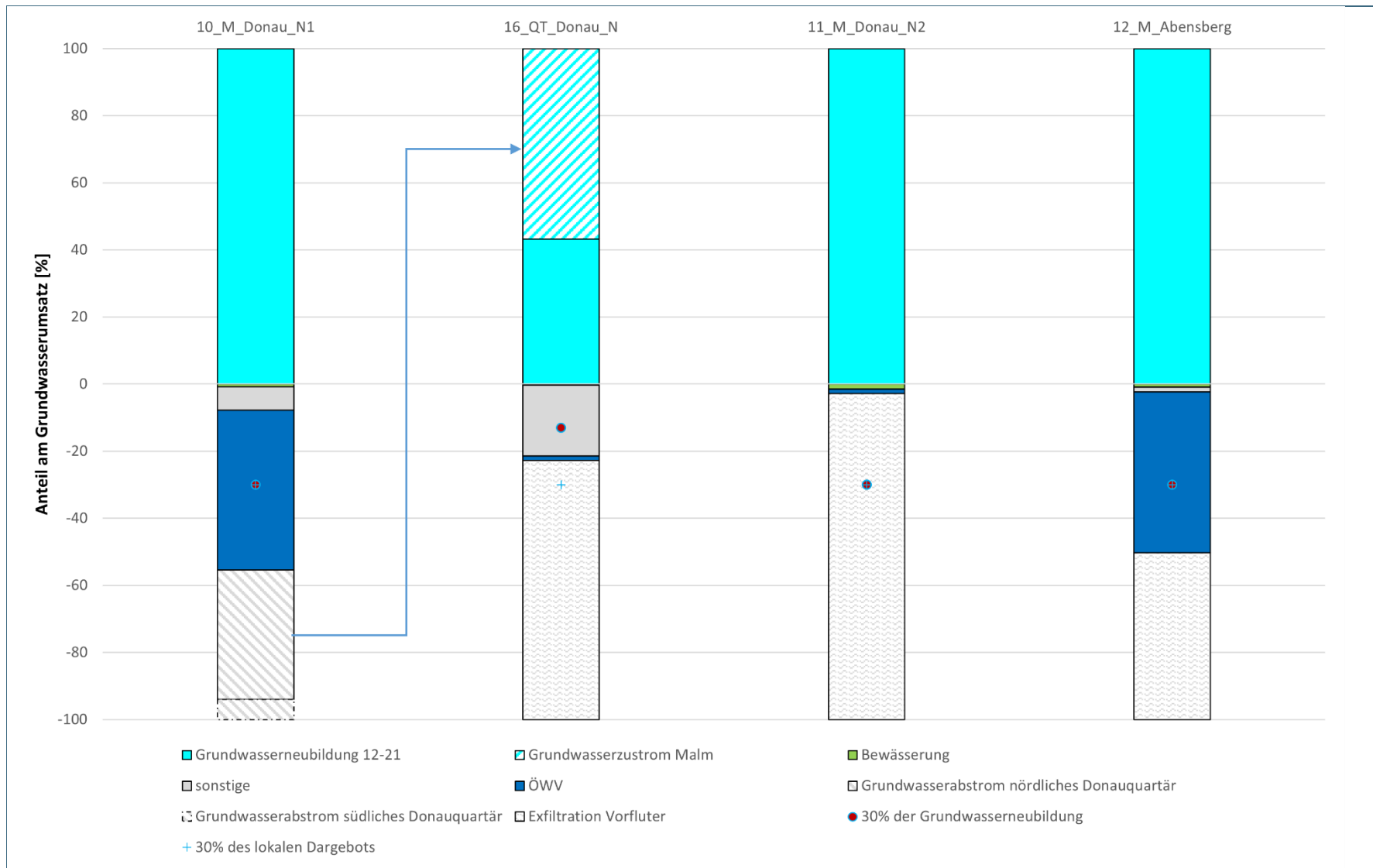


Abb. 45: Grundwasserbilanz der nördlich der Donau gelegenen Teilräume in prozentualen Anteilen (mittlere Grundwasserneubildung 2012-2021)

4.8.3.6 Isarquartär und Einzugsgebiet im Tertiär

Tab. 46: Grundwasserbilanz des Isarquartärs und der umgebenden Tertiärteilräume (mittlere Grundwasserneubildung 2012-2021)

Teilraum-Nummer		1	2	3	4
Grundwasserleiter		T2	Quartär	T2	Quartär
Bilanzgrößen in [m³/a]		08_T_Isar_N	17_QT_Isar_N	09_T_Isar_S	18_QT_Isar_S
Positiv	Grundwasserneubildung 12-21	16.095.119	14.909.468	7.861.257	5.182.427
	Zusickerung	4.285.648		10.683.240	
	Grundwasserzustrom aus Teilraum 1		12.400.722		
	Grundwasserzustrom aus Teilraum 3				11.257.832
	Grundwasserzustrom Isartal				9.559.374
Negativ	Entnahmen Bewässerung	-271.994	-331.139	-109.365	-177.270
	Entnahmen Sonstige	-118.050	-694.838	-159.300	-1.024.300
	Entnahmen öffentliche Wasserversorgung	-7.590.000*	-1.250.000	-7.018.000**	
	Grundwasserabstrom zu Teilraum 2	-12.400.722			
	Grundwasserabstrom zu Teilraum 4			-11.257.832	
	Grundwasserabstrom Modellgrenze		-25.034.213		
	Exfiltration Vorfluter				-24.798.063
30 % der lokalen Grundwasserneubildung		-4.828.536	-4.472.840	-2.358.377	-1.554.728
30 % der gebietsspezifischen Wassermenge		-6.114.230	-8.193.057	-5.563.349	-7.799.890

* 1.850.000 [m³/a] werden aus Wasserfassungen entnommen, die geografisch innerhalb der Isarquartär-Teilräume liegen

** 2.200.000 [m³/a] werden aus Wasserfassungen entnommen, die geografisch innerhalb der Isarquartär-Teilräume liegen

Tab. 47: Grundwasserbilanz des Isarquartärs und der umgebenden Teilräume in prozentualen Anteilen (mittlere Grundwasserneubildung 2012-2021)

Teilraum-Nummer		1	2	3	4
Grundwasserleiter		T2	Quartär	T2	Quartär
Bilanzgrößen in [%]		08_T_Isar_N	17_QT_Isar_N	09_T_Isar_S	18_QT_Isar_S
Positiv	Grundwasserneubildung 12-21	79,0	54,6	42,4	19,9
	Zusickerung	21,0		57,6	
	Grundwasserzustrom aus Teilraum 1		45,4		
	Grundwasserzustrom aus Teilraum 3				43,3
	Grundwasserzustrom Isartal				36,8
Negativ	Entnahmen Bewässerung	-1,3	-1,2	-0,6	-0,7
	Entnahmen Sonstige	-0,6	-2,5	-0,9	-3,9
	Entnahmen öffentliche Wasserversorgung	-37,2	-4,6	-37,8	
	Grundwasserabstrom zu Teilraum 2	-60,8			
	Grundwasserabstrom zu Teilraum 4			-60,7	
	Grundwasserabstrom Modellgrenze		-91,7		
	Exfiltration Vorfluter				-95,4
30 % der lokalen Grundwasserneubildung		-23,7	-16,4	-12,7	-6,0
30 % der gebietspezifischen Wassermenge		-30,0	-30,0	-30,0	-30,0

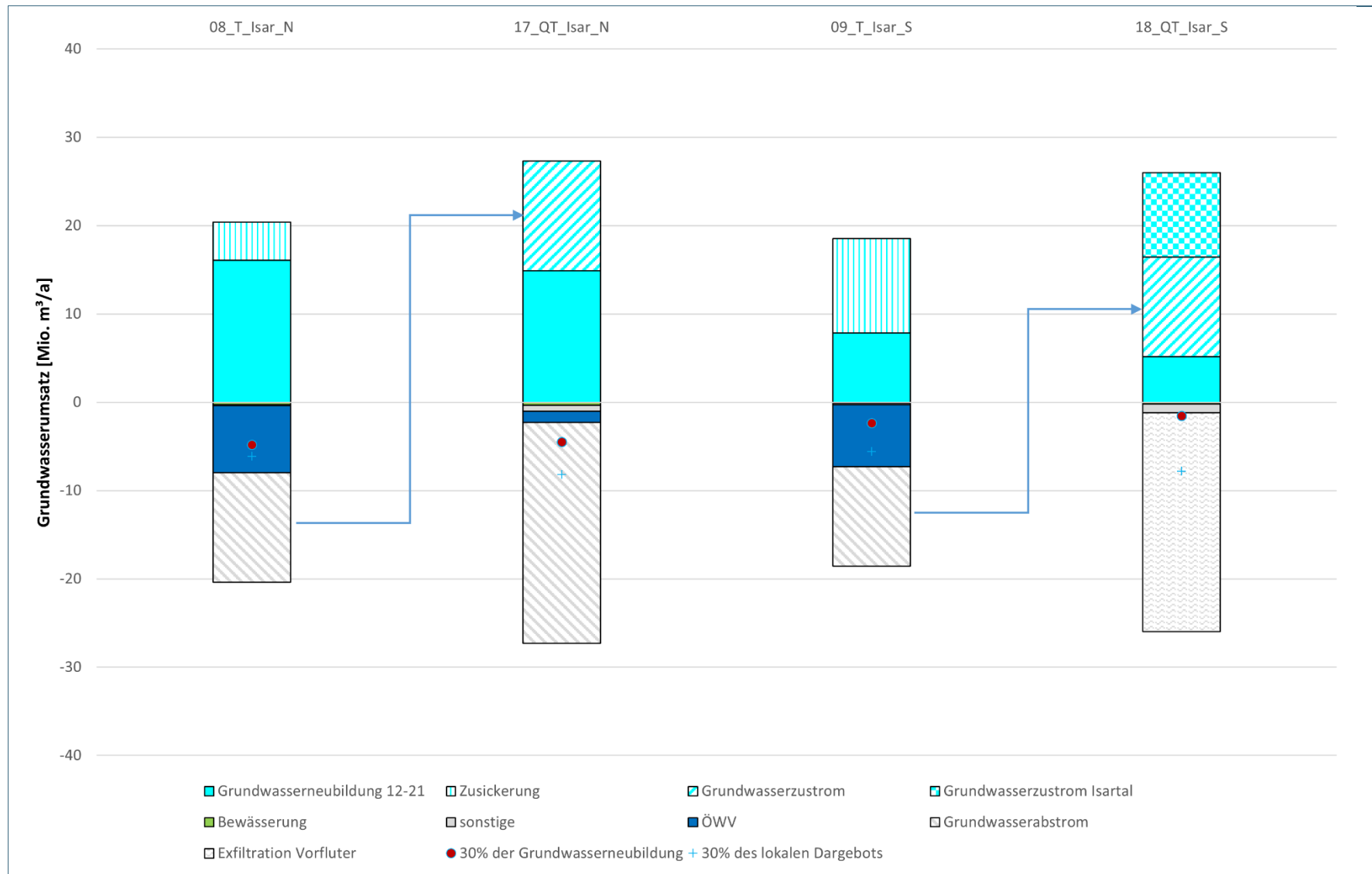


Abb. 46: Grundwasserbilanz des Isarquartärs und der umgebenden Tertiärteilräume (mittlere Grundwasserneubildung 2012-2021)

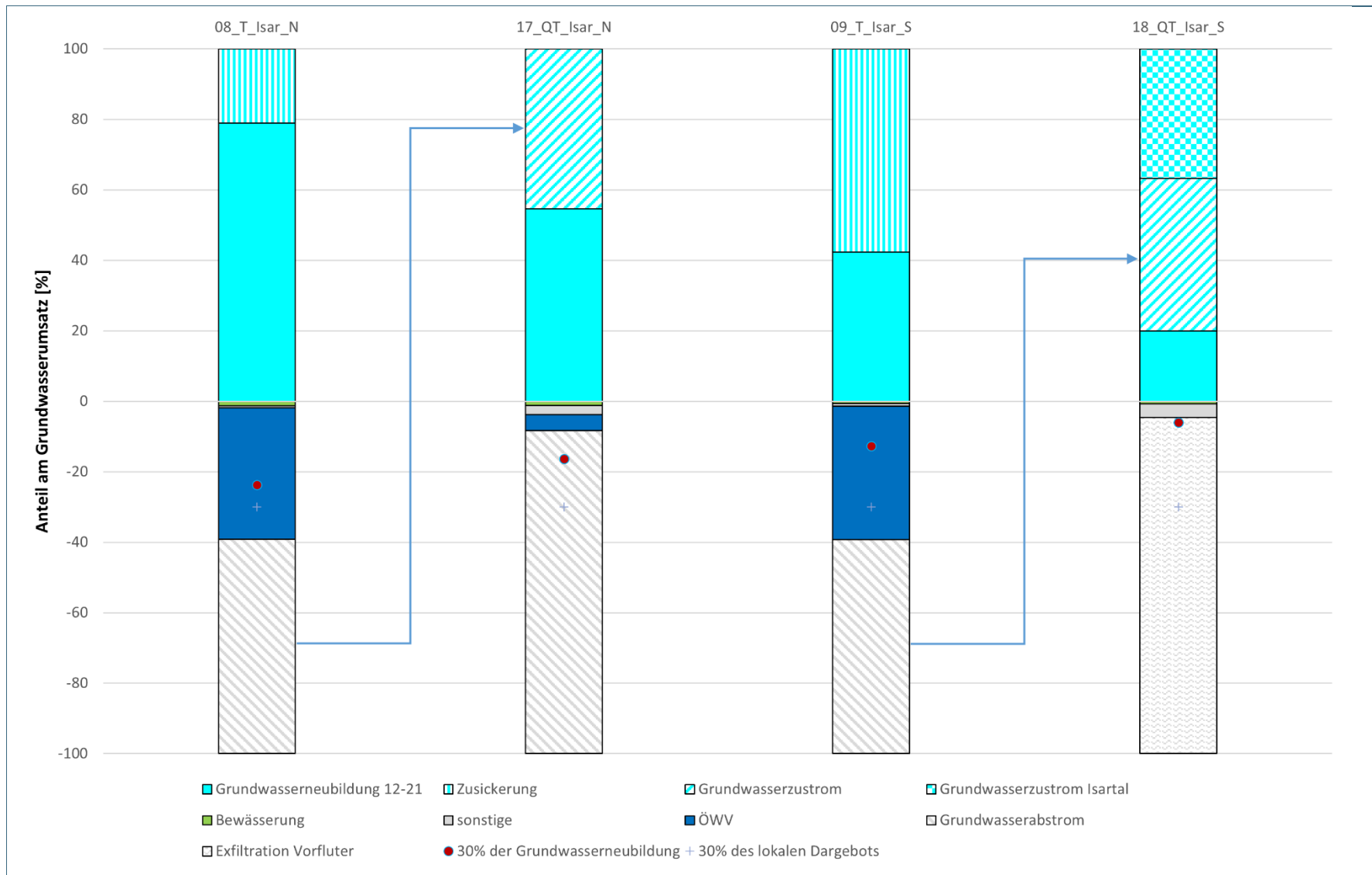


Abb. 47: Grundwasserbilanz des Isarquartärs und der umgebenden Teilräume in prozentualen Anteilen (mittlere Grundwasserneubildung 2012-2021)

4.8.3.7 Tertiäre Einzugsgebiete der Amper und Laber

Tab. 48: Grundwasserbilanz der Tertiärteilräume 06_T_EZG_Amper und 07_T_EZG_gr_Laber (mittlere Grundwasserneubildung 2012-2021)

Grundwasserleiter		T2	T2	T3
Bilanzgrößen in [m³/a]		Teilraum	06_T_EZG_Amper	07_T_EZG_gr_Laber
Positiv	Grundwasserneubildung 12-21		3.714.782	9.853.630
	Zusickerung		2.864.599	1.839.951
Negativ	Entnahmen Bewässerung		-2.000	-188.340
	Entnahmen Sonstige		-3.000	-52.300
	Entnahmen öffentliche Wasserversorgung		-230.000	-3.550.000
	Aussickerung			-1.220.582
	Grundwasserabstrom		-6.344.381	-6.682.358
	Exfiltration Vorfluter			
30 % der lokalen Grundwasserneubildung			-1.114.435	-2.956.089
30 % der gebietsspezifischen Wassermenge			-1.973.814	-366.175

Tab. 49: Grundwasserbilanz der Tertiärteilräume 06_T_EZG_Amper, 07_T_EZG_gr_Laber in prozentualen Anteilen (mittlere Grundwasserneubildung 2012-2021)

Grundwasserleiter		T2	T2	T3
Bilanzgrößen in [%]		06_T_EZG_Amper	07_T_EZG_gr_Laber	07_T_EZG_gr_Laber
Positiv	Grundwasserneubildung 12-21	56,5	84,3	
	Zusickerung	43,5	15,7	100,0
Negativ	Entnahmen Bewässerung	0,0	-1,6	
	Entnahmen Sonstige	0,0	-0,4	-18,0
	Entnahmen öffentliche Wasserversorgung	-3,5	-30,4	-61,4
	Aussickerung		-10,4	
	Grundwasserabstrom	-96,4	-57,1	-20,5
	Exfiltration Vorfluter			
30 % der lokalen Grundwasserneubildung		-16,9	-25,3	
30 % der gebietsspezifischen Wassermenge		-30,0	-30,0	-30,0

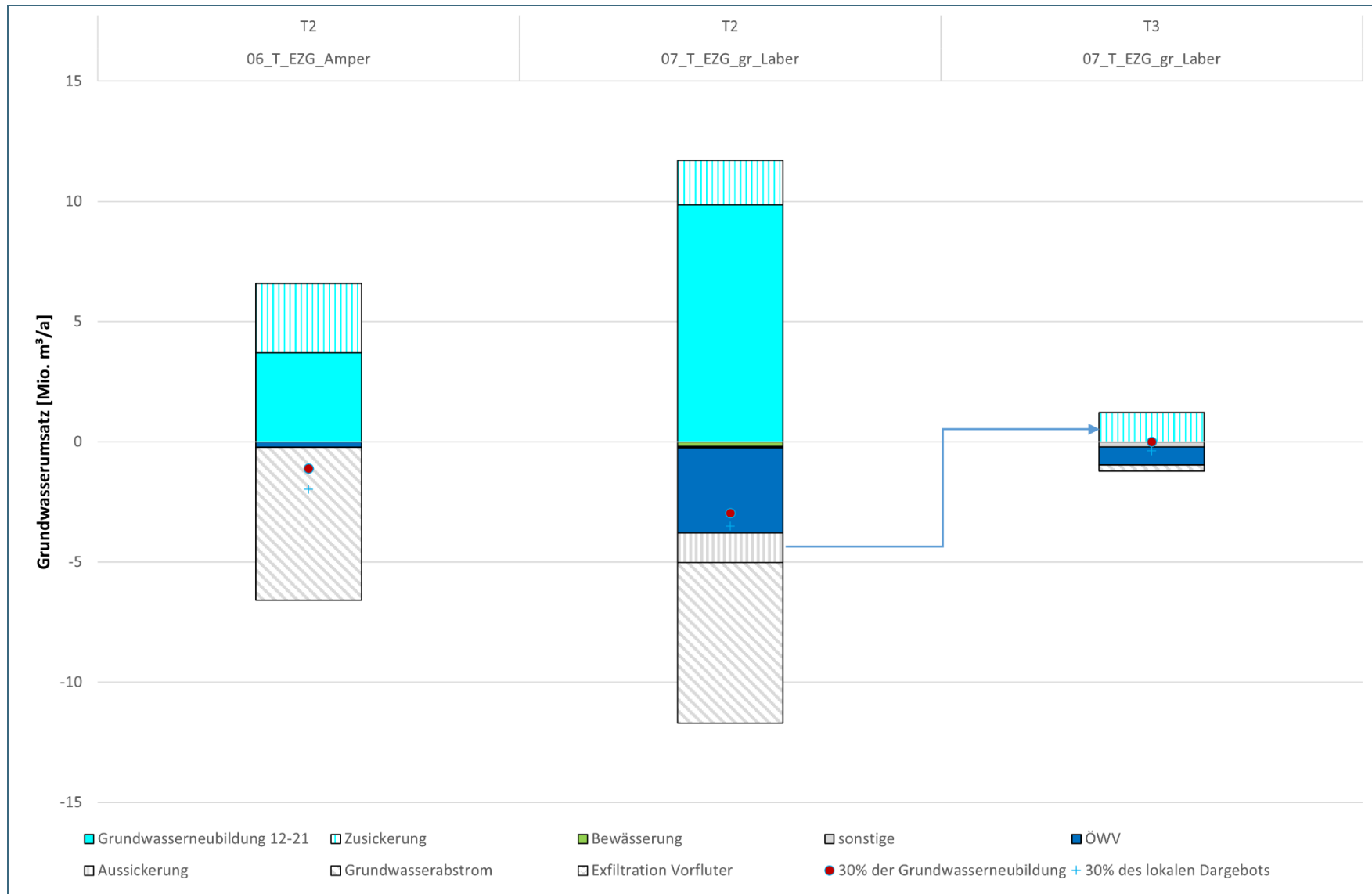


Abb. 48: Grundwasserbilanz der Tertiärterräume 06_T_EZG_Amper und 07_T_EZG_gr_Laber (mittlere Grundwasserneubildung 2012-2021)

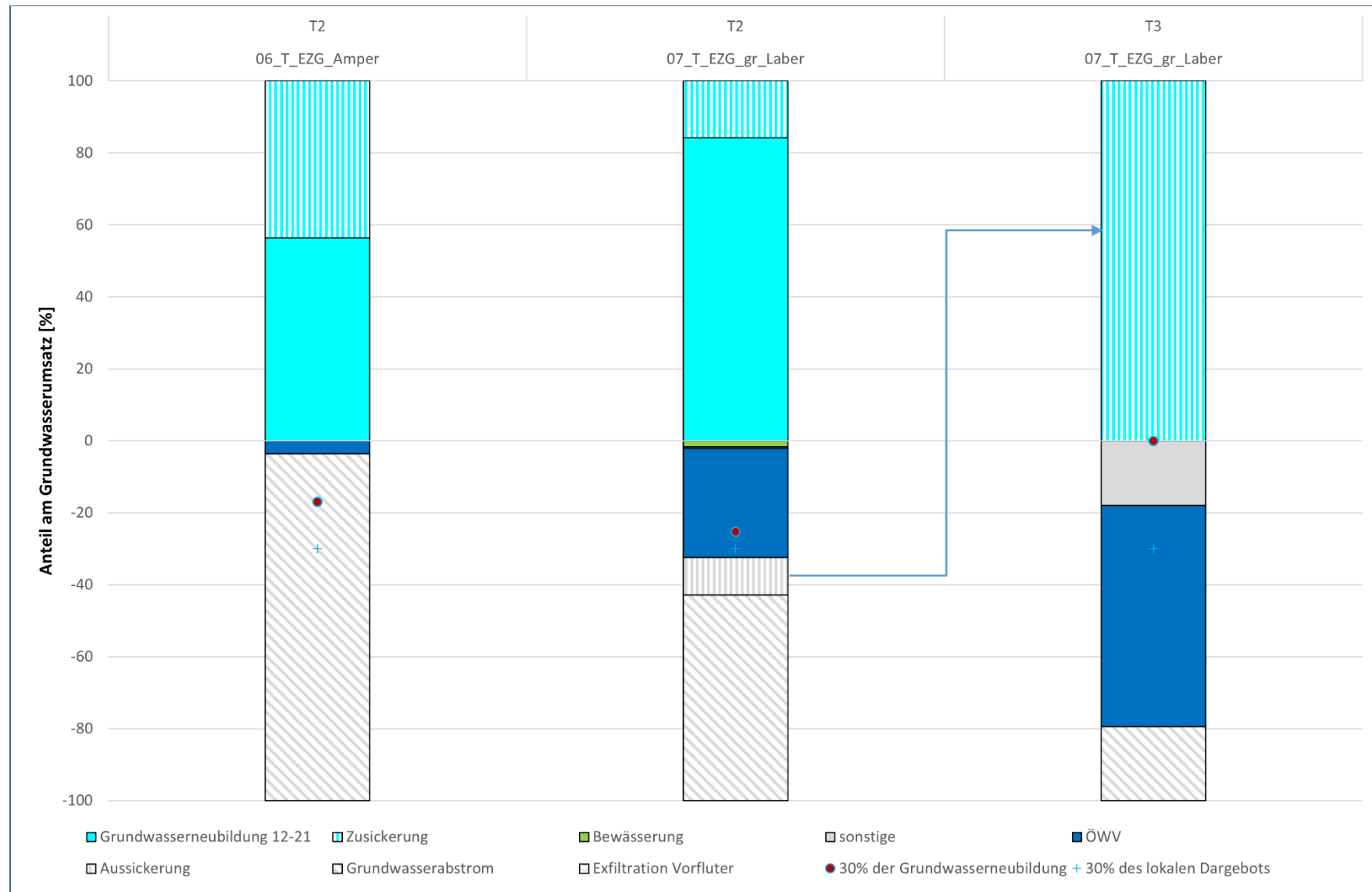


Abb. 49: Grundwasserbilanz der Tertiärteilräume 06_T_EZG_Amper, 07_T_EZG_gr_Laber in prozentualen Anteilen (mittlere Grundwasserneubildung 2012-2021)

4.8.4 Ergebnisse der Bilanzierung

4.8.4.1 Tertiärhügelland

Das Grundwasser in den tertiären Teilräumen 01-05 fließt nördlich in Richtung Donau. Die einzelnen Teilräume umfassen mehrere Grundwasserleiter im Tertiär. Während der Grundwasserleiter T1 meist nur lokal bedeutsame Schichtwasservorkommen darstellt, werden die Grundwasserleiter T2 und T3 für verschiedenste Zwecke zum Teil intensiv bewirtschaftet. Die Bemessung der Grundwasserneubildung in den einzelnen tertiären Grundwasserleitern ist äußerst komplex. Wie in Kapitel 4.7 aufgeführt, wird für die offen anstehenden Grundwasserleiter T1 und T3 die Grundwasserneubildung unverändert angesetzt. Beim Grundwasserleiter T2 werden die Werte der Grundwasserneubildung auf eine angenommene Leckage reduziert. Dies wurde als nötig erachtet, da dieser Grundwasserleiter meist hohe Flurabstände aufweist und häufig von schwebenden Grundwasserleitern überlagert wird. Für den Grundwasserleiter T3 wurde ebenfalls eine Leckagerate bestimmt, die angenommen wird, wenn dieser vom Grundwasserleiter T2 und in reduzierter Form, wenn dieser ggf. zusätzlich vom Grundwasserleiter T1 überlagert wird. Diese Leckageraten haben einen großen Einfluss auf die Grundwasserbilanz der tertiären Grundwasserleiter, aber auch auf die Grundwasserbilanz der quartären Teilräume. Je höher die für den Grundwasserleiter T3 angenommenen Leckageraten, umso größer fällt der für das südliche Donauquartär berücksichtigte Randzustrom aus.

Grundwasserleiter T1 (Obere Serie/Hangendserie/Mischserie)

Beim Grundwasserleiter T1 stellt die Grundwasserneubildung die einzige positive Bilanzgröße dar. Bei den negativen Bilanzgrößen wird angenommen, dass ein Teil der Grundwasserneubildung als Leckage zum Grundwasserleiter T2 versickert, der Rest fließt in den lokalen Vorflutern ab. Bisher spielen Grundwasserentnahmen in der Bilanz des Grundwasserleiters T1 kaum eine Rolle. Da die hydrogeologischen Einheiten des Grundwasserleiters T1 vor allem im südlichen Modellgebiet verbreitet sind, weist dieser hier auch die höchsten Grundwasserumsätze auf.

Grundwasserleiter T2 (Geröllsandserie/Nördliche Vollschorterabfolge)

Der Grundwasserleiter T2 erhält neben der Grundwasserneubildung aus Niederschlag (korrigiert um Leckage, vgl. Kap. 4.7) eine Zusickerung aus dem darüber liegenden Grundwasserleiter T1. Als negative Bilanzgrößen sind Grundwasserentnahmen insbesondere für die öffentliche Wasserversorgung, aber auch zur Bewässerung sowie sonstige Zwecke zu nennen.

Bei den Teilräumen „08_T_Isar_N“, „09_T_Isar_S“ und „06_T_EZG_Amper“ wird angenommen, dass die Restmenge dem anliegenden Quartär zuströmt. Beim Teilraum „07_T_EZG_gr_Laber“ strömt das Grundwasser über die Modellgrenze ab. Bei den restlichen Teilräumen wird angenommen, dass die verbleibende Restmenge des Dargebots in die lokalen Vorfluter exfiltriert.

Grundwasserleiter T3 (Untere Fluviale Serie/Fluviale Süßwasserschichten)

Der Grundwasserleiter T3 erhält neben der Grundwasserneubildung aus Niederschlag, Zusickerung aus dem darüber liegenden Grundwasserleiter T2. Als negative Bilanzgrößen sind Grundwasserentnahmen insbesondere für die öffentliche Wasserversorgung, aber auch zur Bewässerung sowie für sonstige Zwecke zu nennen. Die Restmenge des lokalen Dargebots wird als Grundwasserabstrom zu den anliegenden Quartärteilräumen angenommen. Bei den Teilräumen 06 – 08 stellt die Leckage aus den darüber liegenden Grundwasserleitern die einzige positive Bilanzkomponente dar.

4.8.4.2 Südliches Donauquartär mit tertiären Einzugsgebieten

Für die Bilanz des südlichen Donauquartärs ist der Randzustrom aus dem südlichen Tertiär ein wichtiger Bestandteil. Der tertiäre Grundwasserleiter T3 steht im Kontakt mit dem Donauquartär. In den Bilanzgrafiken wird die Beziehung zwischen den tertiären und quartären Teilräumen durch die Pfeile zwischen den einzelnen Säulen veranschaulicht.

Teilraum „01_T_EZG_S1_W“

Das Grundwasser des Grundwasserleiters T3 des Tertiärteilraums „01_T_EZG_S1_W“ strömt dem Quartärteilraum „13_QT_Donau_S1“ zu. Neben der Grundwasserneubildung aus Niederschlag erfährt der Grundwasserleiter Leakage aus dem darüber liegenden Grundwasserleiter T2. Der Großteil der Entnahmen findet zwar durch die öffentliche Wasserversorgung statt, aber auch Bewässerung stellt eine merkliche Größe dar.

Teilraum „02_T_EZG_S1_E“

Das Grundwasser des Grundwasserleiters T3 des Tertiärteilraums „02_T_EZG_S1_E“ strömt dem Quartärteilraum „13_QT_Donau_S1“ zu. Neben der Grundwasserneubildung aus Niederschlag erfährt der Grundwasserleiter Leakage aus dem darüber liegenden Grundwasserleiter T2. Der Grundwasserleiter wird bereits stark genutzt, der Großteil der Entnahmen findet zwar durch die öffentliche Wasserversorgung statt, aber auch sonstige Entnahmen und Bewässerung stellen eine merkliche Größe dar.

Teilraum „13_QT_Donau_S1“

Neben der lokalen Grundwasserneubildung aus Niederschlag, erfährt der Quartärteilraum Grundwasserzustrom aus dem Grundwasserleiter T3 der Tertiärteilräume „01_T_EZG_S1_W“ und „02_T_EZG_S1_E“. Zusätzlich ist in der näheren Umgebung der Fließgewässer von einem gewissen Uferfiltratanteil aus zu gehen, diese Größe ist jedoch nicht im hydrogeologischen Modell quantifizierbar. Die Entnahmen innerhalb des quartären Teilraums teilen sich relativ gleichmäßig auf die drei hier differenzierten Nutzungszwecke auf, den größten Anteil haben sonstige Entnahmen gefolgt von Bewässerung.

Teilraum „03_T_EZG_S2“

Das Grundwasser des Grundwasserleiters T3 des Tertiärteilraums „03_T_EZG_S2“ strömt dem Quartärteilraum „14_QT_Donau_S2“ zu. Neben der Grundwasserneubildung aus Niederschlag erfährt der Grundwasserleiter Leakage aus dem darüber liegenden Grundwasserleiter T2. Der Großteil der Entnahmen findet hier durch die öffentliche Wasserversorgung statt, gefolgt von Entnahmen für sonstige Zwecke und Bewässerung.

Teilraum „14_QT_Donau_S2“

Neben der Grundwasserneubildung aus Niederschlag, erfährt der Teilraum Zusickerung aus dem Malm (vgl. Kap. 3.6.4), Begleitstrom der Paar und Randzustrom aus dem Tertiärteilraum „03_T_EZG_S2“. Zusätzlich ist in der näheren Umgebung der Fließgewässer von einem gewissen Uferfiltratanteil aus zu gehen, diese Größe ist jedoch nicht im hydrogeologischen Modell quantifizierbar. Das Grundwasser wird stark genutzt, den Großteil der Entnahmen stellen sonstige Entnahmen, insbesondere für Industrie und Gewerbe, dar.

Teilraum „04_T_EZG_S3_W“

Das Grundwasser des Grundwasserleiters T3 des Tertiärteilraums „04_T_EZG_S3_W“ strömt dem Quartärteilraum „15_QT_Donau_S3“ zu. Den größten Anteil der Grundwassernutzung macht die öffentliche Wasserversorgung aus, gefolgt von Entnahmen zur Bewässerung.

Teilraum „05_T_EZG_S3_E“

Das Grundwasser des tertiären Grundwasserleiters T3 des Tertiärteilraums „05_T_EZG_S3_E“ strömt dem Quartärteilraum „15_QT_Donau_S3“ zu. Der Grundwasserleiter wird gleichermaßen durch die öffentliche Wasserversorgung und sonstige Entnahmen genutzt.

Teilraum „15_QT_Donau_S3“

Neben der Grundwasserneubildung aus Niederschlag, erfährt der Teilraum Zusickerung aus dem Malm (vgl. Kap. 3.6.4), Begleitströme der Ilm, sowie Abens und Randzuströme der Tertiärteilräume „04_T_EZG_S3_W“ und „05_T_EZG_S3_E“. Zusätzlich ist in der näheren Umgebung der Fließgewässer von einem gewissen Uferfiltratanteil aus zu gehen, diese Größe ist jedoch nicht im hydrogeologischen Modell quantifizierbar. Das Grundwasser wird stark genutzt, den Großteil der Entnahmen stellen sonstige Entnahmen, insbesondere Industrie und Gewerbe, dar.

4.8.4.3 Malmteilräume und nördliches Donauquartär**Teilraum „10_M_Donau_N1“**

Der Großteil des Grundwassers im Malmteilraum „10_M_Donau_N1“ strömt dem südlich gelegenen Quartärteilraum „16_QT_Donau_N1“ zu. Ein kleiner Anteil wird, wie in Kapitel 0 beschrieben, dem südlich der Donau gelegenen Quartär zugerechnet. Für den Malmteilraum stellt die Grundwasserneubildung aus Niederschlag die einzige positive Bilanzgröße dar. Der Teilraum stellt ein wichtiges Einzugsgebiet für den überdeckten Malm im Ingolstädter Becken dar, einige der in der Teilraumbilanz aufgeführten Entnahmen liegen geografisch innerhalb der Donauquartärteilräume. Der Grundwasserleiter wird bereits relativ stark genutzt. Der Großteil der Grundwasserentnahmen dient der öffentlichen Wasserversorgung, gefolgt von sonstigen Brauchwasserentnahmen. Entnahmen zur Bewässerung spielen in diesem Teilraum nur eine untergeordnete Rolle.

Teilraum „16_QT_Donau_N“

Als positive Bilanzgrößen sind die Grundwasserneubildung aus Niederschlag und der Randzustrom aus dem nördlich gelegenen Malmteilraum „10_M_Donau_N1“ zu nennen. Zusätzlich ist in der näheren Umgebung der Fließgewässer von einem gewissen Uferfiltratanteil aus zu gehen, diese Größe ist jedoch nicht im hydrogeologischen Modell quantifizierbar. Häufig sind zwischen Malm und Quartär gering durchlässige tertiäre Schichten ausgebildet, in wenigen Abschnitten so im Bereich von Neuburg a.d. Donau und Vohburg sind diese entweder geringmächtig oder gar nicht ausgebildet. Der in der Bilanz angesetzte Grundwasserzustrom vom nördlichen Malm fällt daher in der Realität nicht überall gleichmäßig aus. Der quartäre Grundwasserleiter wird bereits stark genutzt, der Großteil der Entnahmen findet hier für sonstige Zwecke statt, zusätzlich bestehen in kleinerem Umfang Entnahmen zur öffentlichen Wasserversorgung.

Teilraum „11_M_Donau_N2“

Für den Malmteilraum stellt die Grundwasserneubildung aus Niederschlag die einzige positive Bilanzgröße dar, die Grundwasserentnahmen fallen im Allgemeinen relativ gering aus. Das Grundwasser des Teilraums strömt, abzüglich der lokalen Entnahmen der Donau zu.

Teilraum „12_M_Abensberg“

Für den Malmteilraum stellt die Grundwasserneubildung aus Niederschlag die einzige positive Bilanzgröße dar. Das Grundwasser des Teilraums strömt, abzüglich der lokalen Entnahmen der Donau zu. Der Malmteilraum wird bereits stark genutzt, der Großteil der Entnahmen dient der öffentlichen Wasserversorgung.

4.8.4.4 Isarquartär und benachbarte Tertiärteilräume

Teilraum „08_T_Isar_N“

Der Grundwasserleiter T2 des Tertiärteilraums „08_T_Isar_N“ steht im hydraulischen Kontakt mit dem südlich gelegenen Quartärteilraum „17_QT_Isar_N“. Neben der lokalen Grundwasserneubildung erfährt der Tertiärteilraum Leckage aus dem darüber gelegenen Grundwasserleiter T1. Manche der in der Teilraumbilanz aufgeführten Entnahmen liegen geografisch innerhalb des südlich gelegenen Quartärteilraum „17_QT_Isar_N“. Da diese den Grundwasserleiter T2 nutzen und deren Einzugsgebiet deshalb maßgeblich im Teilraum „08_T_Isar_N“ liegt, werden diese in dessen Teilraumbilanz berücksichtigt. Der Großteil der Entnahmen findet für die öffentliche Wasserversorgung statt.

Teilraum „17_QT_Isar_N“

Neben der Grundwasserneubildung erhält der quartäre Teilraum Randzustrom aus dem nördlich gelegenen Tertiärteilraum „08_T_Isar_N“. Zusätzlich ist in der näheren Umgebung der Fließgewässer von einem gewissen Uferfiltratanteil aus zu gehen, diese Größe ist jedoch nicht im hydrogeologischen Modell quantifizierbar. Den größten Anteil an der lokalen Grundwasserbewirtschaftung nimmt die öffentliche Wasserversorgung ein, aber auch Sonstige Entnahmen, sowie untergeordnet Bewässerung, tragen einen merklichen Anteil bei.

Teilraum „09_T_Isar_S“

Der Grundwasserleiter T2 des Tertiärteilraums „09_T_Isar_S“ steht mit dem nördlich davon gelegenen Quartärteilraum „18_QT_Isar_S“ im hydraulischen Kontakt. Neben der lokalen Grundwasserneubildung erfährt der südlich der Isar gelegene Tertiärteilraum „09_T_Isar_S“ Leckage aus dem darüber gelegenen Grundwasserleiter T1. Manche der in der Teilraumbilanz aufgeführten Entnahmen liegen geografisch innerhalb des südlichen Isarquartärs. Da diese den Grundwasserleiter T2 nutzen und deren Einzugsgebiet deshalb maßgeblich im Teilraum „09_T_Isar_S“ liegt, wurden die Entnahmen in dessen Teilraumbilanz berücksichtigt. Der Großteil der Entnahmen findet für die öffentliche Wasserversorgung statt.

Teilraum „18_QT_Isar_S“

Neben der Grundwasserneubildung erhält der quartäre Teilraum Randzustrom aus dem südlich gelegenen Tertiärteilraum „09_T_Isar_S“, sowie durch den Uferbegleitstrom im Isarquartär. Zusätzlich ist in der näheren Umgebung der Fließgewässer von einem gewissen Uferfiltratanteil aus zu gehen,

diese Größe ist jedoch nicht im hydrogeologischen Modell quantifizierbar. Der Großteil der Entnahmen findet hier für sonstige Zwecke statt.

4.8.4.5 Tertiäre Einzugsgebiete der Amper und Laber

Teilraum „06_T_EZG_Amper“

Neben der lokalen Grundwasserneubildung erfährt der Grundwasserleiter T2 des Tertiärteilraums Leckage aus dem darüber gelegenen Grundwasserleiter T1. Das Grundwasser im Grundwasserleiter T2 strömt den südlich entlang der Amper gelegenen quartären Sedimenten zu. Der Grundwasserumsatz im Amperquartär wird in den Kapiteln 4.8.2.2 und 4.8.3.2 separat bilanziert. In dem tertiären Teilraum finden nur in geringfügigem Umfang Entnahmen statt.

Teilraum „07_T_EZG_gr_Laber“

Neben der lokalen Grundwasserneubildung erfährt der Grundwasserleiter T2 Leckage aus dem darüber gelegenen Grundwasserleiter T1. Der Grundwasserleiter T3 wird in dem Teilraum ebenfalls bewirtschaftet, da dieser im gesamten Teilraum überdeckt ist, stellt die Leckage aus dem darüber gelegenen Grundwasserleiter T2 dessen einzige positive Bilanzgröße dar. Das Grundwasser des Teilraums strömt, abzüglich der lokalen Entnahmen über die Modellgrenze nordöstlich ab.

5 Zusammenfassung und Ausblick

Mit dem vorliegenden hydrogeologischen Modell „Hallertau, Jurahopfen, Ingolstädter Becken“ wurden zur Ermittlung des verfügbaren Grundwasserdargebots und der Ermittlung der dafür notwendigen Bilanzgrößen geologisch und hydrogeologisch sinnvolle Teilräume abgegrenzt. Neben der Betrachtung der Grundwasserneubildung aus Niederschlag und der aktuellen Grundwassernutzungen erfolgte zudem eine Aufstellung der lateralen Zu- und Abströme zwischen den Teilräumen, die Betrachtung von Wechselwirkungen mit Oberflächengewässern sowie dem vertikalen Austausch zwischen den Grundwasserstockwerken.

Das hydrogeologische Modell lässt sich vereinfacht in drei Bereiche gliedern. Das Tertiärhügelland, welches in drei Grundwasserleiter aufgeteilt wurde (T1-T3), die daran angrenzenden Quartärtäler (Donauquartär, Isarquartär) und den nördlich an das Donauquartär angrenzenden Malm. Diese Bereiche, welche in insgesamt 18 weitere Teilräume abgegrenzt wurden, unterscheiden sich in ihrer Nutzung zum Teil deutlich voneinander. Schwerpunktregionen der landwirtschaftlichen Bewässerung sind darin insbesondere der Hopfenanbau in der Hallertau, vorwiegend im Tertiärhügelland, sowie der Anbau verschiedener Gemüsesorten im Donautal und Donaumoos. Des Weiteren haben Entnahmen zur landwirtschaftlichen Bewässerung im nördlich an das Donautal angrenzenden Malm, im Bereich des sogenannten Jurahopfens, in den vergangenen Jahren zugenommen. Im Südosten des Modellgebiets wurde das Isartal zwischen Moosburg und Landshut als weitere bewässerungsintensive Region berücksichtigt. Damit schließt das vorliegende hydrogeologische Modell direkt an das benachbarte hydrogeologische Modell „Osterhofener Platte, Unteres Isartal, Vilstal“ an.

Die unterschiedlichen hydrogeologischen Einheiten des Tertiärhügellandes stehen mit den quartären Einheiten der Flusstäler in hydraulischen Kontakt. Dabei erfolgt ein Zustrom vom im tertiären Hauptgrundwasserstockwerk (T2 und T3) neugebildeten Grundwasser in die angrenzenden Quartärteilräume, so dass dort ein höheres Grundwasserdargebot zur Verfügung steht, als sich aus einer alleinigen Betrachtung der Bilanzkomponenten Grundwasserneubildung und Grundwassernutzungen ergeben würde. Die durch das Bodenwasserhaushaltsmodell GWN-BW berechnete Grundwasserneubildung aus Niederschlag bezieht sich dabei auf den obersten Grundwasserleiter, welcher im vorliegenden hydrogeologischen Modell als Grundwasservorkommen T1 bezeichnet werden kann und z.T. außerhalb davon auch sehr kleinräumig und im hangenden des tertiären Hauptgrundwasserstockwerks als schwebendes Grundwasservorkommen ohne Kenntnis der räumlichen Ausdehnung ausgebildet sein kann. Um daraus die Grundwasserneubildung des tertiären Hauptgrundwasserstockwerks bestimmen zu können und damit auch den Randzustrom in die angrenzenden Quartärteilräume, wurden die im Pegelinzugsgebiet durch GWN-BW modellierte Sickerwassermenge mit den gemessenen grundwassergespeisten Niedrigwasserabflüssen an Pegeln verglichen. Dabei wurde angenommen, dass die Differenz beider Größen potentiell zur Versickerung, als sogenannte Leckage, für tiefer gelegene Grundwasserleiter zur Verfügung steht. Für die Abschätzung der Leckagemengen wurden aufgrund der in der Datenlage bestehenden Unsicherheiten insgesamt drei Szenarien betrachtet.

Das tertiäre Hauptgrundwasserstockwerk (T2, T3) wird überwiegend von der öffentlichen Wasserversorgung genutzt. Mit seiner Definition als langsam regenerierendes Grundwasservorkommen ist es für Grundwasserentnahmen zum Zweck der landwirtschaftlichen Bewässerung nicht genehmigungsfähig.

Der Bereich des Donautals erfährt eine vergleichsweise geringe Grundwasserneubildung aus Niederschlag. Dem gegenüber steht eine starke Grundwassernutzung durch Entnahmen zur landwirtschaftlichen Bewässerung und in bedeutender Weise auch Industrie. Für Szenarienbetrachtungen und der Wirkungsweise der einzelnen Bilanzkomponenten Grundwasserneubildung aus Niederschlag, Randzustrom aus den tertiären bzw. Malm-Teilräumen, Zusickerung sowie Austausch mit den Oberflächen-

gewässern im Rahmen der Grundwasserbewirtschaftung und Begutachtung von Grundwasserentnahmen zur landwirtschaftlichen Bewässerung wird für den Bereich des südlichen Donauquartärs ergänzend bis Ende 2023 ein instationäres Grundwassermodell aufgebaut. Neben der Ermittlung der gebietsspezifischen Wassermenge soll das Grundwassermodell zudem Vorhersagen der Auswirkungen des Klimawandels auf das Grundwasser liefern und deren Auswirkungen auf das zukünftige Grundwasserangebot liefern.

Das hydrogeologische Modell erlaubt eine genauere Betrachtung der Einzelfälle hinsichtlich der Bewirtschaftung der Grundwasserressourcen. Die Datenlage zur Ermittlung der einzelnen Bilanzkomponenten ist teilweise recht unterschiedlich, so dass sich daraus in Teilbereichen hinsichtlich Randzuströmen und Interaktionen zu Oberflächengewässern zum Teil deutliche Unsicherheiten ergeben. Für detaillierte Betrachtungen gegenseitiger Beeinflussungen von Entnahmebrunnen und zur Erstellung einzelner Detailbilanzen sind daher in jedem Fall entsprechend ausgelegte Grundwassermessstellenetze erforderlich.

6 Hinweise zu den Begutachtungsgrundlagen bei Grundwasserentnahmen für die Bewässerung

Die im vorliegenden hydrogeologischen Modell betrachteten unterschiedlichen hydrogeologischen Einheiten müssen im Rahmen der Begutachtung von Grundwasserentnahmen zum Zwecke der Bewässerung differenziert betrachtet werden. Der differenzierten Betrachtungsweise liegen die „Handlungsempfehlung zum Vorgehen bei der Begutachtung von Wasserentnahmen für die Bewässerung“ sowie das Informationsblatt „Begutachtungsgrundlagen bei Grundwasserentnahmen für die Bewässerung im Bereich des Tertiärhügellandes“ (Anlage 15) zu Grunde.

Grundwasserentnahmen für die Bewässerung können gemäß Priorisierung der Herkunft des Wassers ausschließlich aus oberflächennahen Grundwasservorkommen nach einer entsprechenden Alternativenprüfung genehmigungsfähig sein. Aus dem wasserwirtschaftlichen Grundsatz heraus, dass Tiefengrundwasser besonders geschont werden muss (Schonungsgebot), damit es künftigen Generationen als Trinkwasserreserve dienen kann (Landtagsbeschluss 1994, Landesentwicklungsprogramm Bayern 2013, Verwaltungsvorschrift zum Vollzug des Wasserrechts – VVWas 2014) steht Tiefengrundwasser (langsam-regenerierende Grundwassersysteme) bei der Auswahl der Wasserressourcen für die Bewässerung daher nicht für eine Nutzung für Bewässerungszwecke zur Verfügung.

Das vorliegende hydrogeologische Modell wurde vereinfacht in drei Bereiche gegliedert. In das Tertiärhügelland mit den drei Grundwasserleitern T1 bis T3, die daran angrenzenden Quartärtäler (Donauquartär, Isarquartär) und den nördlich an das Donauquartär angrenzenden Malm. Insbesondere im Tertiärhügelland handelt es um ein besonders komplexes Grundwassersystem.

Dabei gilt, dass das Tiefengrundwasservorkommen „Hauptgrundwasserstockwerk im Tertiärhügelland“ (synonym „Hauptgrundwasserstockwerk der Vorlandmolasse“) insgesamt als langsam regenerierendes Grundwassersystem – Tiefengrundwasser – definiert ist und gekennzeichnet ist durch eine vergleichsweise geringe Tiefengrundwasserneubildung. Das Tiefengrundwasser kann bereichsweise auch mit geringem Flurabstand oberflächennah das erste Grundwasserstockwerk darstellen. Typisch für „reines“ Tiefengrundwasser sind die natürliche Reinheit und ein hohes Alter von mehreren Jahrzehnten bis Jahrtausenden. Hydrogeologisch oder nutzungsbedingt können oftmals Mischungen zwischen Tiefengrundwasser und oberflächennahem Grundwasser (schnell regenerierendes Grundwasser) vorhanden sein.

Auf das hydrogeologische Modell übertragen heißt das, dass das Grundwasservorkommen der Grundwasserleiter T2 und T3 als tertiäres Hauptgrundwasserstockwerk und somit als langsam regenerierendes Grundwassersystem definiert ist.

Die komplexen hydrogeologischen Verhältnisse im Tertiärhügelland können im Hangenden des tertiären Hauptgrundwasserstockwerks, welches als Tiefengrundwasserstockwerk selbst nochmals in einzelne Grundwasserleiter (-horizonte) aufgeteilt werden kann, hangende / schwebende Grundwasservorkommen enthalten, welche, je nach örtlichen hydrogeologischen Gegebenheiten im Tertiärhügelland, meist lokal bis regional begrenzt sind und kurze Umsatzzeiten (schnell-regenerierendes Grundwassersystem) aufweisen (vgl. Abb. 50). Aufgrund geringer (Bohr-)Datendichte können für Bewässerungszwecke potentiell geeignete Grundwasservorkommen mit kurzen Umsatzzeiten im regionalen bis überregionalen Maßstab nicht abgegrenzt und dargestellt werden. Daher ist eine Bohrtiefenbegrenzung auf „Druckpotential Hauptgrundwasserstockwerk“ erforderlich.

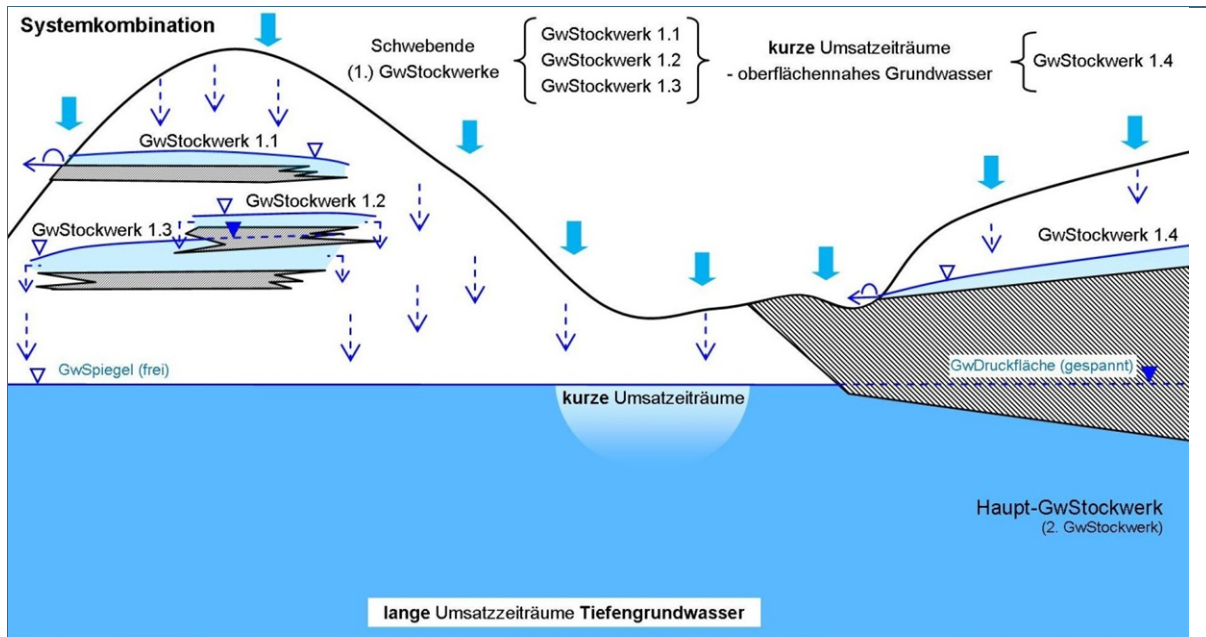


Abb. 50: Grundwassersystem im Tertiärhügelland

In Abb. 51 sind die Bereiche im hydrogeologischen Modell gekennzeichnet, für welche eine Bilanzierung des oberflächennahen Grundwasservorkommens durchgeführt werden konnte.

Sofern Alternativen gemäß der Priorisierung von Bewässerungswasser ausgeschlossen werden können und damit Grundwasserentnahmen aus den hangenden / schwebenden Grundwasservorkommen mit kurzen Umsatzzeiten im Tertiärhügelland grundsätzlich möglich sind, sind diese generell kritisch zu prüfen, da diese Vorkommen bedeutsame Leckagemengen zur Neubildung von Tiefengrundwasser beitragen. Das gilt sowohl für nicht bilanzierte schwebende Grundwasservorkommen, als auch für den bilanzierten Verbreitungsbereich des Grundwasservorkommens T1 (vgl. Kap. 1.5). Die fachliche Begründung der Einstufung von ausschließlich oberflächennahen Grundwasservorkommen mit kurzen Umsatzzeiten basiert auf der jeweils vorliegenden hydrogeologischen Modellvorstellung und ist durch den Allgemeinen amtlichen Sachverständigen örtlich zu begutachten. Nachteilige Auswirkungen auf das Tiefengrundwasservorkommen in quantitativer und auch qualitativer Hinsicht müssen ausgeschlossen werden. Die Beachtung der wasserwirtschaftlichen Grundsätze in Bayern müssen gewährleistet sein.

Für die Grundwasserbilanzierung im Bereich des Malms konnte aufgrund unzureichender Datenlage und der daraus bedingten Unsicherheiten im Rahmen des vorliegenden hydrogeologischen Modells keine Unterteilung zwischen schnell-regenerierenden und langsam-regenerierenden Grundwasservorkommen durchgeführt werden.

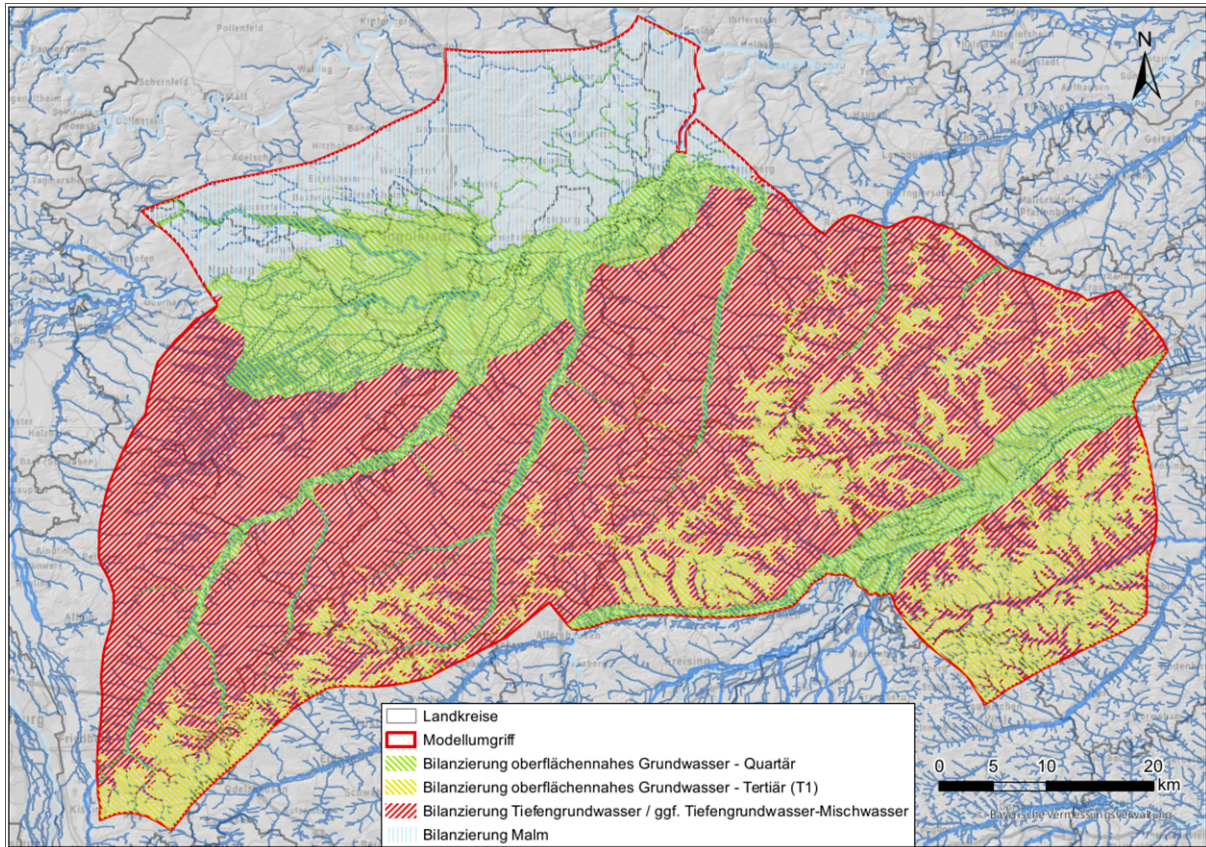


Abb. 51: Bereiche der Grundwasserbilanzierung in Hinblick auf oberflächennahes Grundwasser (schnell-regenerierend) und Tiefgrundwasser (langsam-regenerierend)

7 Literaturverzeichnis

ANDRES, G. & EGGER, R. (1983): Untersuchung zum Grundwasserhaushalt des Tiefenwassers der Oberen Süßwassermolasse durch Grundwasseraltersbestimmung.- Informationsberichte d. Bayer. Landesamts f. Wasserwirtschaft 8/83, München.

GUDERA, T. & MORHARD, A. (2015): Hoch aufgelöste Modellierung des Bodenwasserhaushalts und der Grundwasserneubildung mit GWNBW. – Hydrologie und Wasserbewirtschaftung 59 (5), 205-216; DOI: 10.5675/HyWa_2015,5_1

INGENIEURGESELLSCHAFT PROF. KOBUS UND PARTNER GMBH (2015): Nitrattransportmodell Tertiärhügel-land – Zusammenfassender Abschlussbericht. – 29 S., Stuttgart.

ISAR CONSULT (1997): Grundwassermodell Malm – Ingolstadt / Neuburg an der Donau, ausführlicher Erläuterungsbericht, 573 S, Geretsried.

KILLE, K. (1970): Das Verfahren MoMNQ, ein Beitrag zur Berechnung der mittleren langjährigen Grundwasserneubildung mit Hilfe der monatlichen Niedrigwasserabflüsse, Sonderheft Hydrogeologische Hydrogeochemie, S. 89-95

KLIWA (2017): Entwicklung von Bodenwasserhaushalt und Grundwasserneubildung in Baden-Württemberg, Bayern, Rheinland-Pfalz und Hessen (1951-2015). - KLIWA Berichte Heft 21; <http://www.kliwa.de/publikationen-hefte.htm>

KOPP, B., BAUMEISTER, C., GUDERA, T., HERGESELL, M., KAMPF, J., MORHARD, A., & NEUMANN, J (2018): Entwicklung von Bodenwasserhaushalt und Grundwasserneubildung in Baden-Württemberg, Bayern, Rheinland-Pfalz und Hessen von 1951-2015. - Hydrologie und Wasserbewirtschaftung 62 (2), 62-76; DOI: 10.5675/HyWa_2018,2_1

LAWA – UNTERARBEITSGRUPPE (2011): Sachstandsbericht – Fachliche Umsetzung der EG-WRRL, Teil 5, Bundesweit einheitliche Methode zur Beurteilung des mengenmäßigen Zustands: 26 S.

LFU - BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT (2022): Handlungsempfehlung zum Vorgehen bei der Begutachtung von Wasserentnahmen für die Bewässerung, 13 S, Augsburg.

LFU - BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT [unveröffentlicht] (2021): Hydrogeologisches Modell Osterhofener Platte, Unteres Isartal und Vilstal, 54 S, Augsburg.

LFU - BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT [Hrsg.] (2009): Hydrogeologische Karte von Bayern 1:500.000 – Blatt 4: Mittlere Grundwasserneubildung aus Niederschlag (1971-2000) – Mit Erläuterungen: 88 S., Augsburg

LFU - BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT [Hrsg.] (2002): Geowissenschaftliche Landesaufnahme in der Planungsregion 10 Ingolstadt - Hydrogeologische Karte 1:100 000. – Mit Erläuterungen: 133 S., München.

LFU - BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT [Hrsg.] (2007): Geowissenschaftliche Landesaufnahme in der Planungsregion 13 Landshut - Hydrogeologische Karte 1:100 000. – Mit Erläuterungen: 232 S., Augsburg.

LFU - BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT [Hrsg.] (2002): Geowissenschaftliche Landesaufnahme in der Planungsregion 10 Ingolstadt - Geologische Karte 1:100 000. – Mit Erläuterungen: 179 S., München.

LFU - BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT [Hrsg.] (2021): Umsetzung der Wasserrahmenrichtlinie in Bayern – Methodenband zur Bewirtschaftungsplanung: 169 S., Augsburg.

LUBW - LANDESANSTALT FÜR UMWELTSCHUTZ BADEN-WÜRTTEMBERG (2005): Mindestabflüsse in Ausleitungsstrecken - Grundlagen, Ermittlung und Beispiel.

PRÖSL, K.-H., ANDERS, E. (2011): Bilanzierung der Grundwasservorkommen innerhalb der Gesteine der tertiären Oberen Süßwassermolasse im Großraum München, 76 S, Velden

PRÖSL, K.-H., ANDERS, E. (2009): Hydrogeologisches Gesamtkonzept zur Wassergewinnung für die Hopfenbewässerung in der Hallertau, 45 S., Velden

WUNDT, W.: Die Kleinstwasserführung der Flüsse als Maß für die verfügbaren Grundwassermengen. In: GRAHAM, R.: Die Grundwässer in der Bundesrepublik Deutschland und ihre Nutzung.- Forsch. Dtsch. Landeskunde 104: 47–54; Remagen/Rh. 1958

INTERNETQUELLEN:

(1) HYDROLOGISCHE PLANUNGSGRUNDLAGEN - LOSEBLATTSAMMLUNG

http://www.stmug.bybn.de/wasser_intern/gewaesserkunde/oberirdische_gewaesser_quantitativ/hydrologische_planungsgrundlagen/index.htm (zuletzt abgerufen 02/2021)