## Licca Liber - Weiterführende Untersuchungen

# Anlage 6.1 Hydrogeologisches Modell

Stand: 04.11.2019 Version: 04

Abbil	dungs	verzeic	hnis	3
Tabe	llenve	rzeichn	is	3
Anlag	jenve	rzeichni	s	Э
1	Einfü 1.1 1.2 1.3	hrung Projek Aufgat Vorgeł	t Licca Liber benstellung für das hydrogeologische Modell	1 1 2
2	Grun 2.1 Grun 2.2	dlagen Zusam dwasse Unters	menwirken des Hydrogeologischen Modells und des nummerischen rmodells uchungsraum, Modell- und Aussagegebiet	3 3 4
3	Besc 3.1 3.2	hreibun Geogra 3.1.1 3.1.2 3.1.3 Oberfla	g des Untersuchungsraums	5 5 5 7 7 2 7
	3.3	3.2.1 3.2.2 Regior 3.3.1 3.3.2	Fließgewasser 12   Stillgewässer 14   nalgeologische und –hydrogeologische Verhältnisse 14   Regionalgeologische Situation 14   Regionalhydrogeologische Situation 14   Regionalhydrogeologische Situation 14	2 4 4 7

4	Hydro	ogeolog	gische Modellvorstellung für das Modellgebiet	. 21
	4.1	Geohy	draulische Abgrenzung des Modellgebiets und Randbedingungen	21
	4.2	Struktu	urierung des Modellgebiets	. 22
		4.2.1	Schichtlagerung	. 22
		4.2.2	Geohydraulische Kennwerte	. 31
	4.3	Grund	wasserhydraulik	. 35
		4.3.1	Grundwasserströmungsverhältnisse im Modellgebiet	. 35
		4.3.2	Grundwasserströmungsverhältnisse innerhalb des Aussagegebie	ets
			39	
		4.3.3	Grundwasserstandsdynamik	. 39
	4.4	Kennd	aten der Fließ- und Stillgewässer	. 43
	4.5	Grund	wasserbilanzkomponenten	. 69
		4.5.1	Grundwasserneubildung aus Niederschlag	. 69
		4.5.2	Randzufluss/Randabfluss	. 75
		4.5.3	Vertikaler Austausch mit dem Tertiär	. 78
		4.5.4	Austausch mit oberirdischen Gewässern	. 80
		4.5.5	Grundwasserentnahmen	. 95
	4.6	Grund	wasserhaltungen	. 95
	4.7	Kanalisation		. 95
	4.8	Grundwasserbilanz		. 96
	4.9	Grund	wasserbeschaffenheit: Grundwasserchemismus und Nitrat	. 97
-		ala a a fili		4.04
5	vorga	aben tu	r das numerische Grundwassermodell	101
6	Verw	endete	Unterlagen	103

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2.1:	Aufgaben des Hydrogeologischen Modells und des Numerischen Grundwassermodells4
Abbildung 2.2:	Betrachtungsebenen (aus DVGW 2016, redaktionell verändert)5
Abbildung 3.1:	Untersuchungsraum für die Erstellung des hydrogeologischen Modells7
Abbildung 3.2:	Geländemorphologie im Untersuchungsraum9
Abbildung 3.3:	Landnutzungen im Untersuchungsraum (CORINE Datensatz des Umweltbundesamts, 2006)11
Abbildung 3.4:	Übersichtskarte zu den Fließgewässern im Untersuchungsraum13
Abbildung 3.5:	Geologische Gliederung des Untersuchungsraums (Quelle: Geologische Karte von Bayern 1:500.000)16
Abbildung 3.6:	Ausdehnung des Quartärkies-Grundwasserleiters im Bereich des Untersuchungsraums mit den Grundwassergleichen für mittlere Verhältnisse aus der HGK500 Bayern
Abbildung 3.7:	Potentialdifferenz zwischen dem Quartärkies- Grundwasserleiter und dem 1. Hauptgrundwasserstockwerk im Tertiär (abgeleitet aus den Grundwassergleichen aus der HGK500 Bayern für das Quartär und den Grundwassergleichen aus der Tertiärstudie für das 1. Hauptgrundwasserstockwerk im Tertiär)
Abbildung 4.1:	Verlauf der Nord-Süd und West-Ost Profilschnittlinien25
Abbildung 4.2:	Geologische Nord-Süd-Schnitte 1 und 226
Abbildung 4.3:	Geologische West-Ost-Schnitte 1 und 227
Abbildung 4.4:	Geologische West-Ost-Schnitte 3 und 428
Abbildung 4.5:	Geologischer West-Ost-Schnitt 529
Abbildung 4.6:	Geologische Schnitte entlang der nördlichen und der südlichen Abgrenzung des Modellgebiets mit Darstellung

	des mittleren Grundwasserspiegels im Quartärkies- Grundwasserleiter (Quelle: HGK500 Bayern)
Abbildung 4.7:	Häufigkeitsverteilung der k <sub>f</sub> -Werte für die Auenstufe und das Postglazial
Abbildung 4.8:	Belegpunkte für die hydraulische Durchlässigkeit des Quartärkies-Grundwasserleiters
Abbildung 4.9:	Grundwassergleichen für eine Stichtagsmessung am 24.11.1997 (Niedrigwasser)
Abbildung 4.10:	Grundwassergleichen für Grundwasserhöchststände im hydrologischen Jahr 1982
Abbildung 4.11:	Lage der betrachteten Messstellen41
Abbildung 4.12:	Wasserstand an Grundwassermessstellen und am Pegel Haunstetten (Primärachse) sowie Grundwasserneubildung (Sekundärachse)
Abbildung 4.13:	Ganglinie des Grundwasserstands an der Messstelle gdk_818043
Abbildung 4.14:	Tagesmittelwerte des Lech-Abflusses an den Pegeln Haunstetten und Augsburg u. d. Wertachmündung für den Zeitraum von 1990 bis 201644
Abbildung 4.15:	Tagesmittelwerte des Lech-Wasserstands an den Pegeln Haunstetten und Augsburg u. d. Wertachmündung für den Zeitraum von 1990 bis 201645
Abbildung 4.16:	TagesmittelwertedesWertach-AbflussesamPegelTürkheim für den Zeitraum von 1990 bis 201646
Abbildung 4.17:	TagesmittelwertedesWertach-WasserstandsandenPegelnTürkheimundAugsburgOberhausenfürdenZeitraum von 1990bis 2016
Abbildung 4.18:	Tagesmittelwerte des Schmutter-Abflusses an den Pegeln Fischbach und Achsheim für den Zeitraum von 1990 bis 2016
Abbildung 4.19:	Tagesmittelwerte des Schmutter-Wasserstands an denPegeln Fischbach und Achsheim für den Zeitraum von1990 bis 2016

Abbildung 4.20: Tagesmittelwerte	des Paar-Abflusses am Pegel Mering für
den Zeitraum von	1990 bis 201650
Abbildung 4.21: Tagesmittelwerte	des Paar-Wasserstands am Pegel
Mering für den Ze	eitraum von 1990 bis 201651
Abbildung 4.22: Längsschnitt der	Paar von Flusskilometer 106 bis 119
(Schnitt entlang	des Hauptarms, Nebenarme der Paar
werden nicht darg	gestellt)
Abbildung 4.23: Abflussmessunge	en und Vermessungspunkte am Lochbach 53
Abbildung 4.24: Tagesmittelwerte	des Lochbach-Abflusses am Pegel
Unterbergen für c	len Zeitraum von 1990 bis 201654
Abbildung 4.25: Tagesmittelwerte	des Lochbach-Wasserstands am Pegel
Unterbergen für c	Ien Zeitraum von 1990 bis 201655
Abbildung 4.26: Längsschnitt des	Lochbachs von Flusskilometer 0 bis 15 
Abbildung 4.27: Standorte der A	Abflussmessungen an den Bächen im
Stadtgebiet Augs	burg57
Abbildung 4.28: Standorte der Stadtwald Augsbi	Abflussmessung an den Bächen im urg durch Merkel (2009)59
Abbildung 4.29: Grundwasserstär	nde zweier Grundwassermessstellen
Darstellung eine:	s Gesamtzeitraums von 10 Jahren)60
Abbildung 4.30: Grundwasserstär	nde zweier Grundwassermessstellen
(Darstellung des	Untersuchungszeitraums)61
Abbildung 4.31: Gemessene Abf (Messzeitraum 2)	lüsse an den Bächen im Stadtwald (Merkel, 2009)62
Abbildung 4.32: Tiefenvermessun	g des Kuhsee64
Abbildung 4.33: Abbautiefen des	Auensees (oben), Tiefenvermessung der
Wasserwacht für	den südöstlichen Bereich des Auensees
(unten)	
Abbildung 4.34: Tiefenvermessun	g der Wasserwacht für den südöstlichen
Bereich des Friec	Iberger Baggersees66

Abbildung 4.35	Tiefenvermessung der Wasserwacht für den Autobahnsee
_	
Abbildung 4.36	Tiefenvermessung der Tauchbasis Ilsesee für den Ilsesee
Abbildung 4.37	Vergleich zwischen gemessenem täglichem Niederschlag an der DWD Station Augsburg sowie an der räumlich zugehörigen REGNIE Rasterzelle71
Abbildung 4.38	Grasreferenzverdunstung einer Rasterzelle nahe der DWD-Station Augsburg72
Abbildung 4.39	Jahressumme der berechneten Grundwasserneubildung im Untersuchungsraum im Jahr 200173
Abbildung 4.40	Mittlere Jahressumme der berechneten Grundwasserneubildung im Untersuchungsraum im Betrachtungszeitraum 1992- 2014
Abbildung 4.41	: Darstellung der Einzugsgebiete für die Abschätzung des maximal möglichen lateralen Grundwasserzustroms aus dem Tertiär über den westlichen bzw. den östlichen Modellrand
Abbildung 4.42	Potentielle GW-Aufstiegsbereiche (Tertiär → Quartär) und GW-Abstiegsbereiche (Quartär → Tertiär) im Modellgebiet
Abbildung 4.43	Berechnungsmethodik Uferspeicherung nach Ubell (1987)
Abbildung 4.44	Uferspeicherung eines Hochwasserereignisses im Juli 199682
Abbildung 4.45	Uferspeicherung des Pfingsthochwassers 1999 an Traverse 1 (Messstellen swa_8032, swa_8037, swa_8826 sowie swa_8041)
Abbildung 4.46	Uferspeicherung des Pfingsthochwassers 1999 an Traverse 2 (Messstellen Pegel Haunstetten, swa_7002, swa_7004 und tba_0637)
Abbildung 4.47	Grundwasserstände an einigen Messstellen innerhalb des Stadtgebiets

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 4.1:	Statistische Auswertung der kf-Werte für die einzelnen Terrassenstufen
Tabelle 4.2:	Gewässerkundliche Hauptwerte des Lechs für die Abfluss- Pegel Haunstetten und Augsburg u. d. Wertachmündung
Tabelle 4.3:	Angaben zu den Lech-Staustufen im Modellgebiet (aus: RMD Consult, 2013)45
Tabelle 4.4:	Gewässerkundliche Hauptwerte der Wertach für den Abfluss-Pegel Türkheim
Tabelle 4.5:	Gewässerkundliche Hauptwerte der Schmutter für die Abfluss-Pegel Fischbach und Achsheim
Tabelle 4.6:	Gewässerkundliche Hauptwerte der Paar für den Abfluss-Pegel Mering
Tabelle 4.7:	Gewässerkundliche Hauptwerte des Lochbachs für den Abfluss-Pegel Unterbergen
Tabelle 4.8:	Informationen zu Stillgewässern im Modellgebiet63
Tabelle 4.9:	Mittlere Grundwasserneubildung je Landnutzungsart und Vergleich mit Berechnungen des LFUs70
Tabelle 4.10:	Abschätzung des Randzustroms über den südlichen Modellrand75
Tabelle 4.11:	Abschätzung des Randabstroms über den nördlichen Modellrand76
Tabelle 4.12:	Infiltrations- und Exfiltrationsraten der Bilanzabschnitte92
Tabelle 5.1: Vo	rgaben aus dem Hydrogeologischen Modell für den Aufbau des Numerischen Grundwassermodells102

## Anlagenverzeichnis

Anlage 6.1.1:	Flächige Darstellung der Quartärbasis
Anlage 6.1.2:	Flächige Darstellung der Deckschichtmächtigkeit
Anlage 6.1.3:	Berechnung der Grundwasserneubildung

## 1 Einführung

#### 1.1 Projekt Licca Liber

Das Lechtal im Raum Augsburg unterliegt vielfältigen Nutzungsansprüchen. Energiegewinnung, Naherholung, Naturschutz, Hochwasserschutz, Landwirtschaft und Trinkwasserwassergewinnung prägen den Lech und dessen Umfeld. Verbau und Eintiefung des Lechs haben in der Vergangenheit zu einem Lebensraumverlust für Tiere und Pflanzen geführt. Es besteht Handlungsbedarf, den eingetreten negativen Entwicklungen entgegen zu wirken.

Ziel des Projektes "Licca liber" ist die Stabilisierung der Flusssohle bei gleichzeitiger Renaturierung des Flusses sowie dem Erhalt des Hochwasserschutzes. Hierzu werden verschiedenste Maßnahmen untersucht.

Gegenstand der vorliegenden Arbeiten ist der Planungsabschnitt Licca liber I. Dieser verläuft von Flusskilometer 56,7 (Unterwasser der Staustufe 23) bis 37,3 (Oberwasser Wehr Gersthofen). In diesem Abschnitt befinden sich mehrere Querbauwerke, die den Wasserspiegelverlauf des Lechs prägen.

Die Grundwasserstände im Planungsabschnitt sind eng mit dem Lech verbunden. Durch die vorhandenen Querbauwerke und den damit verbundenen Sprüngen des Lechwasserspiegels ist davon auszugehen, dass der Lech sowohl Wasser an das Grundwasser abgibt (sogenannte Infiltration) als auch Grundwasser aufnimmt (Exfiltration) und sich die zu entwickelnden Maßnahmen am Lech auf die Grundwasserverhältnisse auswirken können. Dabei ist besonders zu beachten, dass in angrenzenden Kommunen bereits Grundwasserhochstände im Bereich von bebauten Gebieten vorherrschen.

Daher werden im Rahmen der Planungen am Lech auch die Grundwasserverhältnisse mit betrachtet. Die potenziellen Auswirkungen von Maßnahmen am Lech werden mit einem numerischen Grundwassermodell prognostiziert. Grundlage des numerischen Grundwassermodells ist das sogenannte Hydrogeologische Modell.

## 1.2 Aufgabenstellung für das hydrogeologische Modell

Im Rahmen der Erstellung des Hydrogeologischen Modells werden den Leitfäden der FHDGG folgend die nachfolgenden Themen bearbeitet (siehe auch Kapitel 2.1) (FHDGG, 2002 und 2010):

- Abgrenzung des Modellgebiets
  - soweit möglich sollte die Abgrenzung des Modellgebiets den natürlichen geohydraulischen Grenzen folgen
- Strukturierung des Modellgebiets
  - o vertikale Strukturierung: Schichtlagerung
  - o laterale Strukturierung: räumliche Verteilung von Aquiferkennwerten
- Analyse der Grundwasserhydraulik
  - o Grundwassergleichenpläne
  - Grundwasserdynamik (Ganglinien)
- Ermittlung der Randbedingungen
  - Grundwasserneubildung
  - o Grundwasser-Oberflächengewässer Interaktion
  - Lateraler Grundwasserzustrom über den Modellrand
- Abschätzung der Grundwasserbilanz das Modellgebiet.

#### 1.3 Vorgehensweise

Die Erstellung des Hydrogeologischen Modells basiert im Wesentlichen auf der Basis von Daten, Informationen und Literatur, die seitens des Wasserwirtschaftsamts Donauwörth und des LFU zur Verfügung gestellt wurden. Ergänzend wurden nach Abstimmung mit dem Wasserwirtschaftsamt weitere Daten bei Wasserversorgern und dem Tiefbauamt Augsburg direkt durch kup beschafft.

In den nachfolgenden Ausführungen werden zunächst (siehe Kapitel 2) einige Grundlagen vorgestellt, die dem besseren Verständnis dienen. So werden - im Sinne einer Differenzierung - die Unterschiede zwischen dem vorliegenden Hydrogeologischen Modell und der darauf aufbauenden Numerischen Grundwassermodellierung erläutert. Daran anschließend werden die räumlichen Betrachtungsebenen beschrieben, die bei Modellierungen Anwendung finden.

Wesentlicher Inhalt des Kapitels 3 ist eine allgemeine Beschreibung der geografischen, hydrologischen und geologischen Verhältnisse. Diese Beschreibung verwendet eine vergleichsweise großskalige Betrachtungsebene im sogenannten Untersuchungsraum.

Für einen Teil des Untersuchungsraums, das sogenannte Modellgebiet, erfolgt eine detaillierte Beschreibung mit quantitativen Werteangaben für verschiedene Eigenschaften und die Entwicklung der hydrogeologischen Modellvorstellung (Kapitel 4).

Abschließend erfolgt eine Zusammenstellung (Kapitel 5), welche Informationen und Daten in welcher Form im Numerischen Grundwassermodell verwendet werden können.

## 2 Grundlagen

## 2.1 Zusammenwirken des Hydrogeologischen Modells und des nummerischen Grundwassermodells

Das Hydrogeologische Modell bildet die Grundlage für die Entwicklung eines numerischen Grundwassermodells zur quantitativen Beschreibung der Grundwasserverhältnisse. Dem Leitfaden der Fachsektion Hydrogeologie der Deutschen Geologischen Gesellschaft (FHDGG, 2002 und FHDGG, 2010) sowie dem Arbeitsblatt W 107 (A) des DVGW (2016) folgend, ist die Ausarbeitung eines konzeptionellen hydrogeologischen Modells die Grundvoraussetzung für den Aufbau eines numerischen Grundwassermodells.

Die Erstellung des Hydrogeologischen Modells umfasst hierbei die Herausarbeitung aller relevanten hydrogeologischen Systemeigenschaften und Prozesse für das zu untersuchende Grundwassersystem, die digitale Aufbereitung der hydrogeologischen Grundlagendaten sowie die Dokumentation der Ergebnisse in einer ersten abstrahierenden und vereinfachenden konzeptionellen Modellvorstellung (siehe Abbildung 2.1). Im hydrogeologischen Modell werden somit die dreidimensionalen Geometrien (laterale Abgrenzung sowie vertikale Strukturierung) und die Randbedingungen für das Numerische Grundwassermodell definiert.

Im Numerischen Grundwassermodell werden mittels gängiger Software (z.B. Modflow, Feflow, Spring. ...) die Strömungsund ggf. Transportverhältnisse im Grundwassersystem simuliert. Das Modellgebiet wird hierzu in Berechnungseinheiten unterteilt. Den physikalischen Gesetzmäßigkeiten wie Volumen-, Massen- und Energiebilanz folgend werden die Differentialgleichungssysteme aufgestellt und gelöst (DVGW 2016). In einem numerischen Grundwassermodell wird in der Regel zunächst der Istzustand nachvollzogen und danach Planungszustände prognostiziert (siehe Abbildung 2.1).

Die Bearbeitung des Numerischen Modells folgt nach Bearbeitung des Hydrogeologischen Modells.

Hydrogeologisches Modell:	Numerisches Modell:
Daten, Erkenntnisse, Strukturen, Prozesse, Systemvorstellung	Simulation der Fließ∨orgänge und Prognose
Orientierung Heft 10 FHDGG (1999) bzw. ergänzte Neuauflage Heft 24 FHDGG (2002), Heft 70 SDGG (2010)	Orientierung: DVGW 107 (A), 2016

Abbildung 2.1:Aufgaben des Hydrogeologischen Modells und des Numerischen Grundwassermodells

## 2.2 Untersuchungsraum, Modell- und Aussagegebiet

Maßgeblich für die Erstellung eines Grundwassermodells, mit dem belastbare Aussagen zu den Grundwasserverhältnissen getroffen werden können, ist die Abgrenzung des Modellgebiets. Dem Leitfaden der Fachsektion Hydrogeologie der Deutschen Geologischen Gesellschaft (FHDGG, 2002 und FHDGG, 2010) sowie dem Arbeitsblatt W 107 (A) des DVGW (2016) folgend, sind hierbei die nachfolgenden drei Ebenen zu unterscheiden (siehe Abbildung 2.2).

## Ebene 1: Untersuchungsraum

Der Untersuchungsraum bildet den Rahmen für die Erstellung des Hydrogeologischen Modells. Er sollte so gewählt werden, dass alle für die zu bearbeitende Fragestellung relevanten hydrogeologischen Strukturen sowie die maßgeblichen oberirdischen (Oberflächengewässer) und unterirdischen (Grundwasser) Fließsysteme in adäquater Weise berücksichtigen werden.

## Ebene 2: Modellgebiet

Das Modellgebiet ist die maßgebliche Skala sowohl für die detaillierte Bearbeitung des Hydrogeologischen Modells als auch für die Entwicklung des numerischen Grundwassermodells. Aufbauend auf den Erkenntnissen aus der Ausarbeitung der hydrogeologischen Verhältnisse im Untersuchungsraum erfolgt die Abgrenzung des Modellgebiets. Die Abgrenzung sollte hierbei vorzugsweise natürlichen geohydraulischen Grenzen folgen (z. B. unterirdische Einzugsgebiete, Vorfluter). An den Rändern des Modellgebiets werden Randbedingungen definiert.

#### Ebene 3: Aussagegebiet

Das Aussagegebiet ist derjenige Teil des Modellgebiets für den quantitative Aussagen zu den Grundwasserverhältnissen mit einem numerischen Grundwassermodell getroffen werden sollen. Das Aussagegebiet umfasst hierbei einen Teilbereich des Modellgebiets. Um den Einfluss der an den Rändern des Modellgebiets angesetzten Randbedingungen auf den Bereich des Aussagegebiets zu minimieren, sollte dieses einen genügend großen Abstand von den Rändern des Modellgebiets aufweisen.



Abbildung 2.2:Betrachtungsebenen (aus DVGW 2016, redaktionell verändert)

## 3 Beschreibung des Untersuchungsraums

#### 3.1 Geografische Verhältnisse und Geländemorphologie

#### 3.1.1 Abgrenzung des Untersuchungsraums

Der Untersuchungsraum (siehe Abbildung 3.1) liegt im nördlichen Randbereich des Alpenvorlands und umfasst im Wesentlichen das Lechtal im Großraum Augsburg zwischen Kleinaitingen im Süden und den Aindlinger Badeseen (etwa 2 km nördlich von im Norden sowie das westlich angrenzende Wertachtal. Langweid) Der Untersuchungsraum erstreckt sich über eine Distanz von knapp 35 km in Nord-Süd-Richtung. Gemäß der standortkundlichen Landschaftsgliederung nach Wittmann (1991) liegt der Untersuchungsraum im Übergangsbereich der Naturräume Lechtal (Naturraum 13.1) und Lechfeld (Naturraum 12.4). In West-Ost Richtung erstreckt sich der Untersuchungsraum über eine Distanz von ca. 32 km und umfasst somit sowohl die Täler von Lech und Wertach als auch das westlich bzw. östlich angrenzende Hügelland. Westlich des Lechtals umfasst das Untersuchungsgebiet die Landschaftsräume Biburger Hügelland (12.7.3) und Nördliches Schotterriedel und -hügelland (12.7.4). Östlich des Lechtals umfasst das Untersuchungsgebiet die Landschaftsräume Oberbayerisches Tertiärhügelland (12.8.2) und im Südosten das Gebiet der Erdinger Altmoräne (13.8.1).



Abbildung 3.1: Untersuchungsraum für die Erstellung des hydrogeologischen Modells

## 3.1.2 Geländemorphologie

Der Untersuchungsraum wird im Wesentlichen von den Tälern der Flüsse Lech und Wertach geprägt. Das Lech- und Wertachtal fallen von Süden nach Norden mit einem relativ gleichmäßigen Gefälle von etwa 0,25% zur Donau hin ab. Die Geländehöhe des Lechtals im Bereich der südlichen Begrenzung des Untersuchungsraums liegt bei etwa 520 m+NN. Die Geländehöhe des Lechtals im Bereich der nördlichen Begrenzung des Untersuchungsraums liegt bei etwa 440 m+NN.

Eine natürliche Gliederung erfahren die Täler von Lech und Wertach durch drei Terrassenstufen (Postglazial-, Hoch- und Niederterrasse). Bis zum Zusammenfluss von Lech und Wertach im Norden von Augsburg werden die beiden Flusstäler von der Augsburger Hochterrasse sowie der östlich angrenzenden Haunstetter Niederterrasse getrennt. Die beiden Terrassenstufen sind deutlich im Geländemodell (siehe Abbildung 3.2) auszumachen. Nördlich von Augsburg erreicht das Lechtal seine größte laterale Ausdehnung im Bereich des Untersuchungsraums und wird durch die Langweider Tal Hochterrasse vom der Schmutter getrennt, welche nördlich des Untersuchungsraums in den Lech mündet.

Im Osten grenzt ein flachwelliges Hügelland an das Lechtal, welches maßgeblich von tertiären Sanden, Mergeln und Tonen aufgebaut wird. Im Südosten des Untersuchungsraums ist eine ausgeprägte Geländestufe zwischen Lechtal und dem angrenzenden Hügelland mit einem Höhenunterschied von bis zu 30 m ausgebildet. Im Westen des Lechtals bilden langestreckte, meist von Löß/Lößlehm bedeckte, quartäre Schotterdecken das prägende Landschaftselement. Der Höhenunterschied zwischen Talböden und Höhenrücken liegt hier meist unter 50 m.

Bis auf einige Staustufen sowie Baggerseen die im Zuge des Kiesabbaus entstanden sind kommt es durch die hohe Durchlässigkeit des Untergrunds zu keiner natürlichen Seebildung.



Abbildung 3.2: Geländemorphologie im Untersuchungsraum

## 3.1.3 Landnutzung

Unter Landnutzung versteht man die Einteilung der Erdoberfläche aufgrund unterschiedlicher menschlicher Nutzungen des Bodens in Kategorien. Der europaweit vorliegende CORINE-Datensatz (Umweltbundesamt, 2006) unterscheidet 13 Klassen. Im Untersuchungsraum liegen folgende 11 Landnutzungen vor:

- Nadelwälder
- Ackerland
- Locker bebaute Flächen und Siedlungen (Siedlung\*)
- Grünland
- Verschiedene heterogene landw. Flächen (versch. landw. Flächen\*)
- Mischwälder
- Laubwälder
- Flächen ohne bzw. mit nur geringer Vegetation, Strauch- und Krautbewuchs (Buschbrache\*)
- Offene Wasserflächen, Gewässerläufe (Gewässer\*)
- Dicht bebaute Flächen, > 80% versiegelt (Stadt\*)
- Feuchtflächen, Torfmoore (Feuchtflächen\*)

\* Zur besseren Übersichtlichkeit wurden für diese Landnutzungsarten für die folgenden Kapitel Kurzformen eingeführt)

Abbildung 3.3 zeigt die Landnutzungsklassen im Raum Augsburg. Ackerland ist die weitaus häufigste Nutzungsform im Raum Augsburg. Die zweit häufigste Landnutzung sind Siedlungsflächen.



Abbildung 3.3:Landnutzungen im Untersuchungsraum (CORINE Datensatz des Umweltbundesamts, 2006)

#### 3.2 Oberflächengewässer und deren Nutzung

#### 3.2.1 Fließgewässer

In Abbildung 3.4 sind die Fließgewässer im Untersuchungsraum basierend auf dem Datensatz Fließgewässernetz 1:25.000 der Gewässerachsen (Stand 2013) dargestellt.

Der Untersuchungsraum wird von Süd nach Nord vom Lech und ab Gersthofen parallel dazu vom Lechkanal durchflossen. Im Untersuchungsraum erstreckt sich der Lech auf einer Länge von ca. 38 km. Der Mittel-Wasserstand des Lechs liegt im Süden des Untersuchungsraums bei ca. 526,20 m ü. NN (Staustufe 22, Lech-km 61) und im Norden bzw. etwa 8 km nördlich des Untersuchungsraums bei ca. 425 m ü. NN (Oberwasser der Staustufe Ellgau, Lech-km 17). Das große Wasserspiegelgefälle des Lechs im Untersuchungsraum wird durch eine Reihe von Staustufen/Wehranlagen und Sohlabstürze abgebaut. Der Lech wird innerhalb des Untersuchungsraums an mehreren Stellen zur Energiegewinnung genutzt.

Im nördlichen Stadtgebiet von Augsburg mündet die Wertach von Westen kommend bei ca. Lech-km 39 in den Lech. Die Wertach verläuft im Untersuchungsgebiet bis zu ihrer Mündung annähernd parallel zum Lech. Auch die Wertach wird innerhalb des Untersuchungsraums zur Energiegewinnung genutzt. Am südwestlichen Rand tritt die Schmutter in den Untersuchungsraum ein, fließt zunächst in Nord-Ost-Richtung auf den Lech zu und dann ungefähr ab Neusäß Lech parallel bis über den nördlichen Rand des Untersuchungsraums hinaus.

Östlich des Lechs fließt die Friedberger Ach. Sie entspringt südlich von Friedberg aus dem Zusammenfluss von Hagenbach und Reidbachgraben und verläuft Lech parallel bis über den nördlichen Rand des Untersuchungsraums hinaus. Im südöstlichen Teil des Untersuchungsraums fließt die Paar Lech parallel von Süd nach Nord, schwenkt dann bei Ottmaring in Nord-Ost-Richtung um und verlässt südlich von Dasing den Untersuchungsraum.

Des Weiteren verlaufen im Untersuchungsraum noch eine große Anzahl von kleineren und größeren Nebengewässern, der oben genannten Flüsse. Insbesondere sei auf den Lochbach sowie die im Augsburger Stadtgebiet und im Augsburger Stadtwald verlaufenden Bäche hingewiesen.

Weitere detailliertere Informationen zu den Fließgewässern innerhalb des Modellgebietes erfolgen im Kapitel 4.4.



Abbildung 3.4: Übersichtskarte zu den Fließgewässern im Untersuchungsraum

#### 3.2.2 Stillgewässer

Im Untersuchungsraum liegen eine ganze Reihe kleinerer und größerer Seen wie z.B. der Ilsesee in Köngisbrunn, der Auensee bei Kissing, der Friedberger Baggersee bei Friedberg oder die Aindlinger Badeseen am nördlichen Rand des Untersuchungsraums zwischen Herbertshofen und Sand. Die meisten der Seen werden als Baggerseen oder Badeseen genutzt.

Weitere detailliertere Informationen zu den Stillgewässern innerhalb des Modellgebietes erfolgen im Kapitel 4.4.

## 3.3 Regionalgeologische und –hydrogeologische Verhältnisse

#### 3.3.1 Regionalgeologische Situation

Die Geologie im Untersuchungsraum wird durch fluvioglaziale Ablagerungen des Quartärs sowie fluviatile Ablagerungen der Oberen Süßwassermolasse (Tertiär) bestimmt. Die quartären Ablagerungen stehen hierbei vor allem im Bereich der Täler von Lech und Wertach sowie im Gebiet westlich des Lechtals an. Die tertiären Gesteine treten vermehrt im Bereich östlich des Lechtals zu Tage (Schäfer, 1957). Die geologische Gliederung des Untersuchungsraums ist in Abbildung 3.5 dargestellt.

Im Zeitalter des Quartärs kam es im Zuge mehrerer Kaltzeiten zu Vorstößen der alpinen Gebirgsgletscher in das Alpenvorland. Im Bereich des Untersuchungsraums wurde hierbei der Südostrand von einem rißzeitlichen Gletschervorstoß erreicht. Dies führte zu entsprechenden Moränenablagerungen im Südosten des Untersuchungsraums.

Weitverbreitet sind im Untersuchungsraum fluviatil abgelagerte Schotterfluren, die das Lechtal füllen und es am westlichen Rand in Form von Terrassenstufen begleiten. Die Schotterfluren entstanden im Pleistozän, als die Schmelzwässer der alpinen Gebirgsgletscher grobklastische Sedimente in das Alpenvorland verfrachteten. Die fluviatilen Schotter wurden hierbei von Eiszeit zu Eiszeit auf einem tieferen Niveau abgelagert und bildeten hierdurch unterschiedliche Terrassenstufen.

Insbesondere der Talbereich westlich des Lechs wird stark durch eine Terrassenlandschaft geprägt die mehrere Stufen umfasst. Im Untersuchungsraum sind drei differenzierte Terrassenstufen ausgebildet. Im Bereich zwischen Wertach und Lech, südlich von Augsburg, sind dies: die rißzeitliche Augsburger Hochterrasse, die spätwürmzeitliche Haunstetter Niederterrasse, sowie die postglazialen Schotter der heutigen Täler von Lech und Wertach. Die Schotter der Augsburger Hochterrasse setzen sich zu etwa 90 % aus kalkalpinen Geröllen zusammen, weisen eine durchschnittliche Mächtigkeit von 8 bis 13 m auf und sind in den oberen Metern tiefgründig verwittert. Die Haunstetter Niederterrasse wird aus sandigen, schwach schluffigen Kiesen aufgebaut und weist eine durchschnittliche Mächtigkeit von 8 bis 10 m auf. Die Postglazialterrassenstufe setzt sich aus sandigen nahezu schlufffreien Kiesen zusammen und weist eine durchschnittliche Mächtigkeit von 7 bis 10 m auf (HydroConsult, 2012).

Im Bereich nördlich von Augsburg, bzw. nördlich des Zusammenflusses von Wertach und Lech, sind die prägenden Terrassenstufen die rißzeitliche Langweider Hochterrasse, die würmzeitliche Oberhauser Niederterrasse und die postglazialen Schotter des heutigen Lechtals. Die Langweider Hochterrasse, welche das Schmuttervom Lechtal trennt, endet nördlich des Untersuchungsraums bei Langweid. In diesem Bereich geht das Schmuttertal in das Lechtal über. Die einzelnen Terrassenstufen sind, genauso wie die Täler von Lech und Wertach selbst, senkrecht zur Talachse relativ eben und weisen lediglich entlang der Talachse von Süd nach Nord einen Höhenunterschied auf. In weiten Bereichen sind die Terrassenschotter von Löß bzw. Lößlehm überdeckt.

Östlich des Lechtals sowie in den Bereichen zwischen Lech- und Wertachtal sowie Lechund Schmuttertal sind Gesteine der Oberen Süßwassermolasse aufgeschlossen. Im Bereich der heutigen Täler von Lech und Wertach sowie der angrenzenden Terrassenstufen werden die Sedimente der Oberen Süßwassermolasse von den quartären Schottern und Löß-/Lößlehmablagerungen überdeckt. Die Gesteine der Oberen Süßwassermolasse umfassen sowohl feinklastische (Ton, Mergel) als auch grobklastische (Sande, Kiese) Ablagerungen und können nach Doppler (1989) in eine limnische und eine fluviatile Untere Serie, eine Mittlere Serie (Geröllsandserie) und eine Obere Serie untergliedert werden. Bei den Gesteinen der Oberen Süßwassermolasse handelt es sich um fluviatile und limnische Ablagerungen. Die unterschiedlichen Gesteinstypen repräsentieren hierbei unterschiedliche fluviatile und limnische Ablagerungsmillieus (z. B. Flussrinnen, Überflutungsbereiche, Stillwasserbereiche). Über ein nach Westen gerichtetes Flusssystem wurde im späten Tertiär der Abtragungsschutt aus den Alpen ins Alpenvorland verfrachtet. Hierbei kam es, je nach Transportkraft der Gewässer, zur Ablagerung von grob- bis feinklastischen Sedimenten. Insbesondere das Tertiärhügelland, welches sich von Augsburg im Westen bis Passau im Osten erstreckt, wird maßgeblich durch die fluviatilen Ablagerungen der Oberen Süßwassermolasse geprägt.



Abbildung 3.5:Geologische Gliederung des Untersuchungsraums (Quelle: Geologische Karte von Bayern 1:500.000)

## 3.3.2 Regionalhydrogeologische Situation

Im Untersuchungsraum stellen die postglazialen Schotterfluren im Lech- und Wertachtal mit den vorhandenen Terrassenstufen pleistozänen Ursprungs ein bedeutendes zusammenhängendes Grundwasservorkommen dar. Dieses wird im Folgenden als Quartärkies-Grundwasserleiter bezeichnet. Die Ausdehnung des Quartärkies-Grundwasserleiters ist in Abbildung 3.6 dargestellt. Entsprechend dem Verlauf des Lechtals ist die großräumige Grundwasserströmung von Süd nach Nord gerichtet. Lokal kann es hierbei allerdings, insbesondere durch den Einfluss der Gewässer Lech und Wertach, zu Abweichungen von der großräumigen Strömungsrichtung kommen. Die Grundwasserströmungsverhältnisse im Quartärkies-Grundwasserleiter sind in Abbildung 3.6 anhand des Grundwassergleichenplans aus der HGK500 für mittlere Grundwasserverhältnisse dargestellt. Die vorhandenen Durchlässigkeitsbeiwerte (k<sub>f</sub>-Wert) als Punktinformationen für den Quartärkies-Grundwasserleiter für den Bereich des Untersuchungsgebiets liegen im Wertebereich von 3x10<sup>-3</sup> (Hochterrasse) bis 20x10<sup>-3</sup> m/s (Auenstufe). Eine detaillierte Beschreibung der Durchlässigkeitsverhältnisse des Quartärkies-Grundwasserleiters ist in Kapitel 4.2.2 zu finden.

Im Bereich der Täler von Schmutter und Paar bestehen geringmächtige quartäre Talfüllungen periglazialen Ursprungs aus feinklastischem Umlagerungsmaterial aus dem tertiären und altquartären Hinterland. Im Vergleich zu den Schotterfluren des Lech- und Wertachtals bilden diese feinklastischen Ablagerungen keine bedeutenden Grundwasservorkommen (HydroConsult, 2003b).

Der Quartärkies-Grundwasserleiter des Lech- und Wertachtals wird von einer Wechselfolge aus sandig-kiesigen und tonmergeligen Ablagerungen der Oberen Süßwassermolasse (Tertiär) unterlagert. Insbesondere die sandig-kiesigen Horizonte bilden hierbei zusätzlich zum Quartärkies-Grundwasserleiter ein regional ausgebildetes Grundwasservorkommen. Das Tertiär-Grundwasservorkommen kann hierbei in zwei Grundwasserstockwerke untergliedert werden (HydroConsult, 2003b). Im Bereich des Untersuchungsgebiets sind die wichtigsten zur Wassergewinnung genutzten Schichten: (1) die hauptsächlich kiesig-sandige Mittlere Serie (Geröllsandserie) und (2) die überwiegend sandigen Abschnitte der Unteren- und Oberen Serie (HydroConsult, 2003b). Im Vergleich zu den quartären Schottern des Lech- und Wertachtals weisen die Ablagerungen der Oberen Süßwassermolasse eine deutlich geringere hydraulische Durchlässigkeit auf. Die Auswertung von vorhandenen k<sub>f</sub>-Wert-Punktinformationen für das obere Tertiär-Hauptgrundwasserstockwerk zeigte eine bimodale Verteilung mit einem Maximum bei 2x10<sup>-5</sup> m/s und einem zweiten Maximum bei 1x10<sup>-4</sup> m/s (HydroConsult, 2016). Die vorhandenen k<sub>f</sub>-Wert-Punktinformationen für das obere Tertiärgrundwasserstockwerk sind somit um 1-2 Größenordnungen geringer als für den Quartärkies-Grundwasserleiter.

Aufgrund des Durchlässigkeitskontrasts zwischen dem Quartärkies- und dem Tertiär-Grundwasserleiter spielt der Tertiär-Grundwasserleiter lediglich eine untergeordnete Rolle für die Grundwasserdynamik im Quartärkies-Grundwasserleiter. Somit ist eine eigenständige Betrachtung des Tertiär-Grundwasserleiters für die Grundwasserströmungsberechnungen zur Maßnahmenbewertung für das Projekt Licca Liber nicht notwendig.

Im Rahmen der Tertiärstudie des Ingenieurbüros HydroConsult (2003 und 2016) wurde der Austausch zwischen dem Quartärkies-Grundwasserleiter und dem oberen Tertiär-Grundwasserstockwerk untersucht und über eine Wasserbilanzierung mengenmäßig abgeschätzt. Für den Bereich des Lech- und Wertachtals von Landsberg im Süden bis zur Donau im Norden wurde auf Basis der Potentialdifferenz zwischen den beiden Grundwasserleitern eine Zustromrate in den Quartärkies-Grundwasserleiter von etwa 0,42 m<sup>3</sup>/s abgeschätzt. In Abbildung 3.7 ist die Potentialdifferenz zwischen dem Quartärkies-Grundwasserleiter und dem 1. Hauptgrundwasserstockwerk im Tertiär dargestellt. Die Potentialdifferenz wurde hierbei aus dem Grundwassergleichenplänen der HGK500 Bayern für den Quartärkies-Grundwasserleiter und dem Grundwassergleichenplan aus der Tertiärstudie (HydroConsult 2003) für das 1. Hauptgrundwasserstockwerk im Tertiär abgeleitet. Ein Grundwasseraufstieg aus dem Tertiär in den Quartärkies-Grundwasserleiter ist im Bereich einer positiven Potentialdifferenz (gelbrote Bereiche) möglich. Ein Grundwasserabstieg aus dem Quartärkies- in den Tertiär-Grundwasserleiter ist in den Bereichen mit negativer Potentialdifferenz möglich (blaue Bereiche). Wie bereits in der Tertiärstudie (HydroConsult 2003) dargelegt ist vor allem im östlichen Randbereich des Lechtals ab der Höhe von Augsburg mit einem Grundwasseraufstieg in den Quartärkies-Grundwasserleiter zu rechnen.

Zusätzlich zur vertikalen Interaktion zwischen dem Quartärkies- und dem Tertiär-Grundwasserleiter ist insbesondere für den nördlichen Bereich des Untersuchungsgebiets mit einem randlichen Zustrom aus dem Tertiär in den Quartärkies-Grundwasserleiter zu rechnen. Dies ist dem Verlauf der Grundwassergleichen für den Tertiär-Grundwasserleiter in Abbildung 3.7 zu entnehmen, welche insbesondere im nördlichen Bereich des Untersuchungsraums ein Grundwassergefälle in Richtung Lechtal andeuten.



Abbildung 3.6: Ausdehnung des Quartärkies-Grundwasserleiters im Bereich des Untersuchungsraums mit den Grundwassergleichen für mittlere Verhältnisse aus der HGK500 Bayern



Abbildung 3.7:Potentialdifferenz zwischen dem Quartärkies-Grundwasserleiter und dem 1. Hauptgrundwasserstockwerk im Tertiär (abgeleitet aus den Grundwassergleichen aus der HGK500 Bayern für das Quartär und den Grundwassergleichen aus der Tertiärstudie für das 1. Hauptgrundwasserstockwerk im Tertiär)

## 4 Hydrogeologische Modellvorstellung für das Modellgebiet

#### 4.1 Geohydraulische Abgrenzung des Modellgebiets und Randbedingungen

Der maßgebliche Grundwasserleiter für die grundwasserhydraulische Fragestellung im Zuge des Projekts Licca Liber ist der Quartärkies-Grundwasserleiter des Lech- und Wertachtals im Großraum Augsburg. Der Quartärkies-Grundwasserleiter weist deutlich höhere Durchlässigkeitsbeiwerte als der Tertiärgrundwasserleiter auf (siehe HydroConsult 2003 und 2016). Eine natürliche Abgrenzung des Modellgebiets nach Westen und nach Osten ist daher durch die Verbreitung der Quartärschotter in den Tälern von Lech und Wertach gegeben. Die Abgrenzung des Modellgebiets ist in Abbildung 3.6 dargestellt (rote Line).

In weiten Bereichen des westlichen sowie des östlichen Rands grenzt das Modellgebiet an die Ablagerungen der Oberen Süßwassermolasse. In Abbildung 3.7 ist der Grundwassergleichenplan für das 1. Hauptgrundwasserstockwerk im Tertiär dargestellt (Quelle: Tertiärstudie HydroConsult, 2003). Im südlichen Bereich des Modellgebiets ist die Grundwasserströmungsrichtung im Tertiär mehr oder weniger parallel zum Lechtal ausgerichtet, so dass in diesem Bereich nicht mit einem randlichen Grundwasserzustrom aus dem Tertiär in den Quartärkies-Grundwasserleiter zu rechnen ist. In diesem Bereich kann somit eine "no-flow"-Randbedingung im numerischen Grundwassermodell angesetzt werden. Im nördlichen Bereich des Modellgebiets zeigen die Grundwassergleichen für den Tertiär-Grundwasserleiter ein Potentialgefälle in Richtung Lechtal an, so dass für diesen Bereich ein Randzustrom aus dem Tertiär in den Quartärkies-Grundwasserleiter im numerischen Grundwassermodell zu berücksichtigen ist.

Im Südosten grenzt der Quartärkies-Grundwasserleiter an quartäre Moränenablagerungen. In diesem Bereich verläuft die Modellgebietsabgrenzung entlang der Paar bis zum nördlich anschließenden Tertiär-Grundwasserleiter.

Die Paar verläuft im südöstlichen Randbereich des Modellgebiets und tritt ca. 3 km nördlich von Kissing aus dem Lechtal und somit dem Modellgebiet aus. In diesem Bereich grenzt der Quartärkies-Grundwasserleiter an die quartären Ablagerungen des Paartals und es kommt somit zu einem Grundwasserabstrom aus dem Quartärkies-Grundwasserleiter der im numerischen Grundwassermodell zu berücksichtigen ist. Aufgrund der im Vergleich zum Quartärkies-Grundwasserleiter geringeren hydraulischen Durchlässigkeit der lokalen quartären Ablagerungen im Paartal ist allerdings mengenmäßig lediglich mit einem geringen Grundwasserabstrom über diesen Randbereich zu rechnen. Im Bereich nahe des nördlichen Modellrands nördlich von Augsburg mündet die Schmutter in den Lech und der Quartärkies-Grundwasserleiter grenzt an die periglazialen Ablagerungen des Schmuttertals. In diesem Bereich kommt es zum Grundwasserzustrom in den Quartärkies-Grundwasserleiter. In Analogie zum Paartal sind die quartären Ablagerungen im Schmuttertal lokalen Ursprungs und weisen eine geringere hydraulische Durchlässigkeit auf als die Schotter des Lech- und Wertachtals. Es ist daher mengenmäßig lediglich mit einem geringen Grundwasserzustrom aus dem Schmuttertal in das Modellgebiet zu rechnen.

Im Norden sowie im Süden wird als Modellgebietsbegrenzung jeweils eine Grundwassergleiche für mittlere hydrologische Verhältnisse (Festpotential-Randbedingung, Grundwassergleichen aus HGK500 Bayern) gewählt. Im Süden ist dies die 520 m+NN Grundwassergleiche, ca. 1 km südlich von Königsbrunn. Im Norden ist dies die 435 m+NN Grundwassergleiche, ca. 1-2 km nördlich von Langweid. Eine Abschätzung der Zu-/Abstromrate erfolgt in Kapitel 4.5.2.

Das Modellgebiet weißt eine Nord-Süd-Erstreckung von etwa 32 km, eine maximale Ost-West-Erstreckung von etwa 16 km und eine Fläche von ca. 342 km<sup>2</sup> auf.

Hinweis: Im Zuge des Numerischen Grundwassermodells wird ein Teilgebiet der Wertach gegebenenfalls nicht berücksichtigt.

## 4.2 Strukturierung des Modellgebiets

## 4.2.1 Schichtlagerung

Die Basis des Quartärkies-Grundwasserleiters wird durch die Grenzfläche zwischen Quartär und Tertiär gebildet. Die flächige Darstellung der Basis des Quartärkies-Grundwasserleiters ist in Anlage 6.1.1 dargestellt und wurde aus den nachfolgenden punktuellen Informationen zur geologischen Schichtlagerungen aus Bohrprofilen abgeleitet: Bohrungen des Tiefbauamts der Stadt Augsburg, Messstellen und Brunnen der Stadtwerke Augsburg, Daten zur Schichtlagerung aus dem hydrogeologischen Gutachten zur Fachplanung Lech, Auszug aus der Bohrdatenbank des LFU Bayern vom 25.08.2016 sowie von Seiten des Auftraggebers bereitgestellte zusätzliche Informationen zur Schichtlagerung entlang des Lech. Die Belegpunkte für die Höhenlage der Quartärbasis sind in Anlage 6.1.1 als schwarze Punkte eingezeichnet. Die zusätzlichen Belegpunkte aus Bohrungen in direkter Nähe des Lech sind als hellgrüne Kreise dargestellt. Die Dichte der Belegpunkte für die flächige Interpolation der Quartärbasis weist eine starke räumliche Variation innerhalb des Modellgebiets auf. Während zum Beispiel im Stadtgebiet von Augsburg eine vergleichsweise hohe Dichte an Belegpunkten vorliegt, stehen für den südöstlichen Teil des Modellgebiets (östlich des Lechs) nur sehr wenige Bohrinformationen zur Verfügung.

Die flächige Darstellung der Quartärbasis wurde durch die räumliche Interpolation der Punktinformationen erzeugt. Hierfür wurde in einem ersten Schritt die Höhenlage der Quartärbasis entlang des Lech aus den Stützpunkten entlang des Lech (hellgrüne Kreise) linear interpoliert. Auf Basis des Interpolationsergebnisses wurden Hilfsstützpunkte entlang des Lech im 10 m Abstand erzeugt. Die Räumliche Interpolation der Quartärbasis für das gesamte Modellgebiet erfolgte in einem zweiten Schritt auf Basis der Stützpunkte im Modellgebiet (schwarze Punkte) sowie der erzeugten Hilfsstützpunkte im 10 m Abstand entlang des Lech.

Zusätzliche Erkundungen durch das Büro Geoulm im Bereich zwischen Flusskilometer 42 und 43 des Lech haben gezeigt, dass die Tertiäroberkante in diesem Bereich direkt im Lech signifikant tiefer liegt als links- und rechtsufrig des Lech. Der Lech verläuft somit bereichsweise in einer Art Rinne und die Tertiäroberkante steigt links- und rechtsufrig des Lech verhältnismäßig steil an. Im Gegensatz zu den aktuellen Erkundungen durch das Büro Geoulm ist für die meisten historischen Erkundungen die genaue Lage der Sondierung zum Lech nicht aus den zur Verfügung stehenden Unterlagen ersichtlich und die Rinnenstruktur kann somit nur lokal aufgelöst werden. Für die anstehenden Grundwassermodellbetrachtungen ist die exakte Abbildung der Rinnenstruktur allerdings lediglich von untergeordneter Betrachtung.

Zur besseren Visualisierung der Schichtlagerungsverhältnisse im Modellgebiet sind in Abbildung 4.2 zwei geologische Nord-Süd-Schnitte, in Abbildung 4.3 bis Abbildung 4.5 fünf West-Ost-Schnitte sowie in Abbildung 4.6 je ein Schnitt entlang der nördlichen bzw. südlichen Abgrenzung des Modellgebiets dargestellt. Für die Schnitte entlang der nördlichen bzw. der südlichen Abgrenzung des Modellgebiets ist zusätzlich der Grundwasserspiegel im Quartärkies-Grundwasserleiter aus der HGK500 von Bayern dargestellt. Der Verlauf der Schnittlinien ist in Abbildung 4.1 eingezeichnet.

Die Basis des Quartärkies-Grundwasserleiters fällt von 510 bis 515 m+NN am südlichen Modellrand auf etwa 430 m+NN am nördlichen Modellrand ab. Insbesondere der Bereich der Augsburger Hochterrasse südlich von Augsburg ist durch eine, im Vergleich zum Lech- und zum Wertachtal, höher gelegene Quartärbasis gekennzeichnet. Bereichsweise hat sich der Lech bis in die tertiären Schichten eingegraben. Dies ist insbesondere in den West-Ost Schnitten 1 und 3 deutlich zu erkennen.

In weiten Bereichen des Modellgebiets werden die quartären Schotter von feinklastischen Deckschichten überlagert, sodass die Basis der Deckschichten die Oberkante des Quartärkies-Grundwasserleiters bildet. Eine flächige Darstellung der

Deckschichtmächtigkeit ist in Anlage 6.1.2 dargestellt. Die Deckschichtmächtigkeit wurde wie die Quartärbasis ausgehend von den punktuellen Informationen aus Bohrungen räumlich interpoliert. Die Belegpunkte für die Interpolation sind in Anlage 6.1.2 als schwarze Punkte dargestellt. Die Mächtigkeit der Deckschichten variiert im Modellgebiet zwischen 0 und 4 m. Die größte Mächtigkeit ist aufgrund der Löß/Lößlehm-Ablagerungen im Bereich der Hochterrassenstufe zu verzeichnen. Im Bereich des Lechtals liegt die Mächtigkeit der Deckschicht in weiten Bereichen unter 1 m. Aufgrund der starken räumlichen Variabilität der Informationsdichte ist die Interpolation der Deckschichtmächtigkeit insbesondere in Bereichen mit einer geringen Stützpunktdichte mit Unsicherheiten behaftet.



Abbildung 4.1: Verlauf der Nord-Süd und West-Ost Profilschnittlinien



Abbildung 4.2: Geologische Nord-Süd-Schnitte 1 und 2



Abbildung 4.3: Geologische West-Ost-Schnitte 1 und 2


Abbildung 4.4: Geologische West-Ost-Schnitte 3 und 4



Abbildung 4.5: Geologischer West-Ost-Schnitt 5



Schnitt entlang der nördlichen Modellgebietsbegrenzung

Abbildung 4.6: Geologische Schnitte entlang der nördlichen und der südlichen Abgrenzung des Modellgebiets mit Darstellung des mittleren Grundwasserspiegels im Quartärkies-Grundwasserleiter (Quelle: HGK500 Bayern)

# 4.2.2 Geohydraulische Kennwerte

Ein maßgeblicher Aquifer-Kennwert ist der hydraulische Durchlässigkeitsbeiwert (k<sub>r</sub>-Wert [m/s]). Für den Bereich des Modellgebiets stehen punktuell Informationen zur Durchlässigkeit des Quartärkies-Grundwasserleiters zur Verfügung. Eine räumliche Übersicht der vorhandenen k<sub>r</sub>-Werte ist in Abbildung 4.8 dargestellt. Zusätzlich zur Klassifikation der einzelnen k<sub>r</sub>-Werte ist in Abbildung 4.8 die räumliche Verbreitung der unterschiedlichen Terrassenstufen kenntlich gemacht. Die dargestellten k<sub>r</sub>-Werte wurden aus den Auflistungen im Hydrogeologischen Gutachten zur Fachplanung Lech (Geotechnisches Büro Prof.-Dr. Schuler und Dr.-Ing. Gödecke, 1995) sowie für den Bereich südlich von Augsburg dem Bericht zum Grundwassermodell Augsburg-Mitte (HydroConsult, 2012) entnommen. Generell ist an dieser Stelle anzumerken, dass die einzelnen k<sub>r</sub>-Werte auf unterschiedliche Weise abgeschätzt wurden (z. B. Pumpversuche mit Beobachtungsbrunnen, Pumpversuche ohne Beobachtungsbrunnen, Siebkurvenanalysen). Für die Erstellung der gegenwärtigen Studie wurden die k<sub>r</sub>-Wert-Punkt-informationen aus den bestehenden oben genannten Gutachten/Modellberichten übernommen.

für Die k<sub>f</sub>-Werte die einzelnen Terrassenstufen zeigen einen aroben Durchlässigkeitstrend für die einzelnen Terrassenstufen auf. In Tabelle 4.1 ist die statistische Auswertung sowie die Anzahl der vorhandenen kr-Wert-Informationen für die einzelnen Terrassenstufen dargestellt. In Abbildung 4.7 ist zusätzlich die Häufigkeitsverteilung der kt-Werte für die Auenstufe und die Postglazialterrasse in Form von Histogrammen dargestellt. Für die Hoch- sowie die Niederterrassenstufe wurden aufgrund der sehr geringen Anzahl an kf-Wert-Informationen keine Histogramme erstellt. Für die Auenstufe liegt die Mehrzahl der Werte im Bereich von 10x10<sup>-3</sup> bis 30x10<sup>-3</sup> m/s. Der Mittelwert liegt bei 18x10<sup>-3</sup> m/s. Für den Bereich des Postglazials liegt die Mehrzahl der Werte im Bereich von 1x10<sup>-3</sup> bis 43x10<sup>-3</sup> m/s. Der Mittelwert liegt bei 11x10<sup>-3</sup> m/s. Für den Bereich der Niederterrasse liegen lediglich fünf kf. Wert-Informationen vor, diese liegen im Bereich von 0,4x10<sup>-3</sup> bis 52x10<sup>-3</sup> m/s. Für den Bereich der Langweider Hochterrassenstufe liegen vier kf-Wert-Informationen vor, diese liegen im Bereich von 0,9x10<sup>-3</sup> bis 4x10<sup>-3</sup> m/s.

Die k<sub>f</sub>-Werte können zur groben Eingrenzung der Durchlässigkeitsbereiche herangezogen und für die initiale Parametrisierung des numerischen Grundwassermodells mit homogenen Durchlässigkeitsverteilungen für die einzelnen Terrassenstufen verwendet werden. Im Zuge der stationären und instationären Modellkalibrierung erfolgt dann gegebenenfalls eine weitere räumliche Differenzierung der Durchlässigkeitsstruktur um die bestmögliche Übereinstimmung zwischen gemessenen und berechneten Grundwasserständen zu erzielen. Basierend auf der oben ausgeführten Auswertung der vorhandenen k<sub>f</sub>-Wert-Informationen für den Bereich des Modellgebiets wird vorgeschlagen für die initiale Parametrisierung des Grundwassermodells homogene Durchlässigkeitsverteilungen für die einzelnen Terrassenstufen mit den folgenden Werten anzusetzen:

- Auenstufe: 20x10<sup>-3</sup> m/s
- Postglazial: 10x10<sup>-3</sup> m/s
- Niederterrasse: 10x10<sup>-3</sup> m/s
- Hochterrasse: 3x10<sup>-3</sup> m/s.

Die angesetzten  $k_f$ -Werte für die einzelnen Terrassenstufen liegen im selben Wertebereich wie die angesetzten Werte für das Grundwassermodell Augsburg-Mitte (HydroConsult, 2012).

Im Gegensatz zu den k<sub>f</sub>-Wert-Informationen liegen zum durchflusswirksamen Hohlraumanteil für die einzelnen Terrassenstufen im Modellgebiet nur sehr wenige Informationen vor. Aus den Pumpversuchen im Stadtgebiet von Königsbrunn wurde 1999 ein durchflusswirksamer Hohlraumanteil von 17 bis 21 % für den Bereich des Postglazials abgeleitet (Geotechnisches Büro Prof.-Dr. Schuler und Dr.-Ing. Gödecke, 1999). Für die initiale Parametrisierung des instationären Grundwassermodells wird auf die für das Modell Augsburg-Mitte (HydroConsult, 2012) angesetzten Werte zum durchflusswirksamen Hohlraumanteil zurückgegriffen. Diese sind:

- Auenstufe: 20 %
- Postglazial: 18 %
- Niederterrasse: 16 %
- Hochterrasse: 14 %.

Für den gewählten generalisierten Ansatz wurde hierbei der durchflusswirksame Hohlraumanteil entsprechend des Alters, des Verwitterungsgrades und des Schluffanteils der einzelnen Terrassenstufen angesetzt (HydroConsult, 2012).

		K <sub>f</sub> -Werte [x10 <sup>-3</sup> m/s]			
	Anzahl der	Wertebereich	Mittelwert	Standardabweichung	
	Belegpunkte				
Auenstufe	58	0,4 - 65	18,2	26,0	
Postglazial	12	1,0 - 43	11,0	12,4	
Niederterrasse	5	0,4 - 52	14,5	19,3	
Hochterrasse	4	0,9 - 4	2,9	1,3	

### Tabelle 4.1: Statistische Auswertung der kf-Werte für die einzelnen Terrassenstufen



Abbildung 4.7:Häufigkeitsverteilung der k<sub>f</sub>-Werte für die Auenstufe und das Postglazial



Abbildung 4.8:Belegpunkte für die hydraulische Durchlässigkeit des Quartärkies-Grundwasserleiters

#### 4.3 Grundwasserhydraulik

#### 4.3.1 Grundwasserströmungsverhältnisse im Modellgebiet

Im Rahmen der Fachplanung Lech (Geotechnisches Büro Prof.-Dr. Schuler und Dr.-Ing. Gödecke,1995 und 1999) wurden Grundwassergleichenpläne erarbeitet, die auf sehr umfangreichen Erhebungen zum Grundwasserstand basieren. Im Folgenden werden die Ergebnisse dieser beiden Studien aufgeführt um die Grundwasserströmungsverhältnisse im gesamten Modellgebiet zu visualisieren.

Abbildung 4.9 zeigt die Grundwassergleichen für die **Stichtagsmessung im November 1997**. Für die Interpolation der Grundwassergleichen wurden 1683 Grundwassermessstellen sowie 84 Oberflächengewässermessstellen verwendet. Laut Gutachten lagen während der Erhebung ausgesprochen tiefe Grundwasserstände vor. Die Grundwasserstände variieren innerhalb des Untersuchungsraums zwischen 530 m ü. NN im Süden und 430 m ü. NN. Die Grundwasserstände lassen sich wie folgt charakterisieren

- Bereich südlicher Lech: Dieser Bereich befindet sich zwischen Hochablass und der südlichen Grenze des Untersuchungsraums. Nach Westen ist dieser Bereich begrenzt durch die Wasserscheide der Hochterrasse zwischen Lech und Wertach. Die Grundwasserströmung ist weitestgehend Lech-parallel, nur im Nahbereich der Staustufen kommt es aufgrund der Infiltration/Exfiltration von Lechwasser zu deutlichen Verformungen der Grundwassergleichen. Eine weitere deutliche Verformung ist an der Paar in Kissing zu beobachten, auch hier scheint Oberflächenwasser zu infiltrieren.
- Bereich Wertach: Dieser Bereich erstreckt sich zwischen der Wertachmündung im Norden bis zur südlichen Grenze des Untersuchungsraums. Nach Osten wird dieser Bereich durch die Wasserscheide der Augsburger Hochterrasse begrenzt. Im Süden dieses Bereichs strömt das Grundwasser noch parallel zur Wertach. Im Teilbereich nördlich von Bobingen tieft sich die Wertach ein und nimmt Grundwasser auf, dies äußert sich in einer Wertach nahen Verformung der Grundwassergleichen.
- Bereich Lech nördlich des Hochablasses: Dieser Bereich wird überwiegend vom stark eingetieften Lech charakterisiert. Die Exfiltration von Grundwasser in den Lech äußert sich in einer teilweise starken Verkippung der Grundwassergleichen. In Richtung der nördlichen Grenze des Untersuchungsraums scheint sich die Exfiltration etwas abzuschwächen, die Grundwassergleichen rücken etwas weiter auseinander.

Eine Darstellung von Grundwasserhochständen ist in Abbildung 4.10 dargestellt. Hierbei handelt es sich nicht um eine Stichtagsmessung, sondern um an den Messstellen im hydrologischen Jahr 1982 gemessene Grundwasserstände. Die Autoren der Fachplanung Lech weisen ausdrücklich darauf hin, dass die Datenlage bereichsweise für eine Interpolation von Grundwasserständen nicht ausreichend ist, daher sind nicht alle Bereiche durch Grundwassergleichen abgedeckt (z.B. Bereich nördlich Augsburg bis zur Grenze des Untersuchungsraums, Bereich Wertach ab ca. Gögglingen bis zur südlichen Grenze des Untersuchungsraums). Die grundsätzliche Charakterisierung der Strömungsverhältnisse bleibt ähnlich zum Niedrigwasser. Die der Paar etwas stärker Infiltration ist ausgeprägt (Verformungen der Grundwassergleichen auch in Mering).



Hinweis: Die Darstellung basiert auf einem Isolinien-Shape, das durch das WWA-Donauwörth zur Verfügung gestellt wurde. Die Isolinien wurden im Rahmen der Fachplanung Lech (Geotechnisches Büro Prof.-Dr. Schuler und Dr.-Ing. Gödecke, 1999) erarbeitet. Die Grundwassergleiche 520 m ü. NN und 480 m ü. NN fehlt im Quelldatensatz.

Abbildung 4.9:Grundwassergleichen für eine Stichtagsmessung am 24.11.1997 (Niedrigwasser).



Hinweis: Die Darstellung basiert auf einem Isolinien-Shape, das durch das WWA-Donauwörth zur Verfügung gestellt wurde. Die Isolinien wurden im Rahmen der Fachplanung Lech (Geotechnisches Büro Prof.-Dr. Schuler und Dr.-Ing. Gödecke, 1995) erarbeitet. Bitte Erläuterungen im Text beachten.

Abbildung 4.10: Grundwassergleichen für Grundwasserhöchststände im hydrologischen Jahr 1982.

#### 4.3.2 Grundwasserströmungsverhältnisse innerhalb des Aussagegebiets

Die Grundwasserströmungsverhältnisse für einen Mittelwasser-Zustand (April/Mai 2010) werden im Rahmen des Berichts zum Grundwassermodell beschrieben (ARGE SKI KUP UIBK, 2018-2).

#### 4.3.3 Grundwasserstandsdynamik

Die Dynamik der Grundwasserstände wird wesentlich beeinflusst durch folgende Einflüsse:

- Austausch mit Vorflutern
- Grundwasserneubildung
- Grundwasserentnahmen
- Randzuströme

Die Dynamik der Grundwassermessstände sei im Folgenden anhand mehrerer Grundwassermessstellen im Stadtwald erläutert. Diese befinden sich entlang einer Traverse auf Höhe Fluss-Km 54,4. Die Dynamik des Lechs wird durch den Pegel Haunstetten (ca. 4 km unterstrom der Messstelle swa\_8041) abgebildet. Die Lage der Messstellen ist Abbildung 4.11 zu entnehmen. Abbildung 4.12 zeigt die Ganglinien der vier Grundwassermessstellen, des Pegel Haunstettens sowie die berechnete Grundwasserneubildung im Stadtwald und den angrenzenden Gebieten.

Als **Beispiel für den Einfluss des Lechs** auf die Dynamik der Grundwassermessstellen kann der Zeitraum Juni bis Oktober 2001 gesehen werden. In diesem Zeitraum ereigneten sich mehrere Hochwässer während keine relevanten Grundwasserneubildungsereignisse stattfanden. Der Wasserspiegel des Lechs wirkt sich deutlich auf die Ganglinie der Lech-nahen Grundwassermessstelle swa\_8041 aus, während an den weiter entfernen Messstellen der Einfluss deutlich abnimmt. An der Lech-fernsten Messstelle (swa\_8032) kann die Dynamik kaum noch wahrgenommen werden, bzw. wird deutlich überprägt von anderen Einflüssen.

Im Zeitraum ab dem 20.03.2001 bis 01.04.2001 hingegen zeigt der Lech keine relevanten Hochwässer, die errechnete **Grundwasserneubildung** zeigt mehrere aufeinander folgende größere Neubildungsereignisse. Alle Grundwassermessstellen zeigen ähnliche hohe Anstiege (ca. 20 cm), die deutlich über dem Anstieg des Lech-Wasserspiegels liegen (ca. 10 cm). Das heißt auch die lokale Grundwasserneubildung führt zu einer Änderung der Grundwasserstände.

Zum Zeitpunkt der Ausarbeitung des Berichts zur Hydrogeologie lagen nur Monatswerte von **Grundwasserentnahmen** vor. Bei deren Betrachtung konnte kein klarer

Zusammenhang zwischen Grundwasserentnahmen und Grundwasserstand hergestellt werden.

Als Beispiel für durch **Randzuströme** bedingte Grundwasserstandsschwankungen lässt sich die Messstelle gkd\_8180 anführen. Diese befindet sich etwa 1 km vom südlichen Modellrand entfernt. Fließgewässer, die die Ganglinie beeinflussen könnten, sind ausreichend weit entfernt. Die Ganglinie ist in Abbildung 4.13 dargestellt. Von einer Beeinflussung der Ganglinie durch Grundwasserneubildung ist auszugehen, allerdings liegt die Schwankungsbreite deutlich über dem Wert, der allein durch Grundwasserneubildung verursacht wird. Diese verbleibende Instationarität wird wesentlich vom Zustrom über den südlichen Modellrand hervorgerufen.



Abbildung 4.11: Lage der betrachteten Messstellen



Hinweis: Der Pegel Haunstetten befindet sich ca. 4 km unterstrom der Traverse; zur besseren Sichtbarkeit der Ganglinien im Diagramm wurden die Messwerte des Pegels konstant um 8 m erhöht.

Abbildung 4.12: Wasserstand an Grundwassermessstellen und am Pegel Haunstetten (Primärachse) sowie Grundwasserneubildung (Sekundärachse)



Abbildung 4.13: Ganglinie des Grundwasserstands an der Messstelle gdk\_8180

# 4.4 Kenndaten der Fließ- und Stillgewässer

#### Lech

Innerhalb des Modellgebiets gibt es zwei amtliche Abflusspegel des Lechs: Dies sind der Pegel Haunstetten bei Lech-km 50,40 und der Pegel Augsburg u. d. Wertachmündung bei Lech-km 38,65. In Tabelle 4.2 sind die wie folgt definierten gewässerkundlichen Hauptwerte für den Lech (Angaben des Bayerischen Landesamts für Umwelt) an den beiden Abfluss-Pegeln aufgeführt:

- NQ = Niedrigstes Tagesmittel der Beobachtungsreihe
- MNQ = Mittel der niedrigsten Abflüsse der Jahre des Beobachtungszeitraums
- MQ = Mittlerer Abfluss im Beobachtungszeitraum
- MHQ = Mittel der höchsten Abflüsse der Jahre des Beobachtungszeitraums
- HQ = Höchstes Tagesmittel der Beobachtungsreihe

	Abfluss [m³/s]			
	Pegel Haunstetten Pegel Augsburg u. d. Wertachmündun			
	(Jahresreihe 1976 – 2012)	(Jahresreihe 1960 – 2012)		
NQ	17,1	33		
MNQ	32,1	48,9		
MQ	81,2	114		
MHQ	421	590		
HQ	1150	1540		

# Tabelle 4.2:Gewässerkundliche Hauptwerte des Lechs für die Abfluss-PegelHaunstetten und Augsburg u. d. Wertachmündung

In Abbildung 4.14 sind die Tagesmittelwerte des Lech-Abflusses an den beiden Pegeln für den Zeitraum von 1990 bis 2016 dargestellt.



Abbildung 4.14: Tagesmittelwerte des Lech-Abflusses an den Pegeln Haunstetten und Augsburg u. d. Wertachmündung für den Zeitraum von 1990 bis 2016

In Abbildung 4.15 sind die Tagesmittelwerte des Lech-Wasserstands an den beiden Pegeln für den Zeitraum von 1990 bis 2016 dargestellt.



Im Modellgebiet liegen die Staustufe 23, der Hochablass Augsburg sowie das Wehr Gersthofen. Einige Informationen zu diesen Staustufen sind in Tabelle 4.3 aufgeführt. Zwischen Staustufe 23 und dem Hochablass befinden sich zusätzlich sechs Sohlabstürze.

Tabelle 4.3:Angaben zu den Lech-Staustufen im Modellgebiet (aus: RMD Consult,<br/>2013)

Staustufe	Flusskilometer	Stauziel [m ü. NN]	HQ10 [m <sup>3</sup> /s]
Staustufe 23	56,7	516,30	510
Hochablass	46,98	484,57	520
Augsburg			
Wehr Gersthofen	37,319	457,31	700

#### Wertach

Im Modellgebiet befindet sich an der Wertach der amtliche Wasserstands-Pegel Augsburg Oberhausen bei Wertach-km 3,09. Südlich vom Modellgebiet befindet sich bei

Wertach-km 45,40 der amtliche Abfluss-Pegel Türkheim. In Tabelle 4.4 sind die gewässerkundlichen Hauptwerte der Wertach (Angaben des Bayerischen Landesamts für Umwelt) für den Abfluss-Pegel Türkheim.

# Tabelle 4.4: Gewässerkundliche Hauptwerte der Wertach für den Abfluss-Pegel Türkheim

	Abfluss [m <sup>3</sup> /s]		
	Wertach Pegel Türkheim (Jahresreihe 1951 – 2012)		
NQ		1,32	
MNQ		3,92	
MQ		16,4	
MHQ		170	
HQ		390	

In Abbildung 4.16 sind die Tagesmittelwerte des Wertach-Abflusses am Pegel Türkheim für den Zeitraum von 1990 bis 2016 dargestellt.





In Abbildung 4.17 sind die Tagesmittelwerte des Wertach-Wasserstands an den Pegeln Türkheim und Augsburg Oberhausen für den Zeitraum von 1990 bis 2016 dargestellt.

Abbildung 4.17: Tagesmittelwerte des Wertach-Wasserstands an den Pegeln Türkheim und Augsburg Oberhausen für den Zeitraum von 1990 bis 2016

#### Schmutter

An der Schmutter liegt innerhalb des Modellgebiets bei Schmutter-km 29,68 der amtliche Abfluss-Pegel Achsheim. Weiter oberstrom liegt östlich des Modellgebiets bei Schmutter-km 70,49 der amtliche Abfluss-Pegel Fischbach. In Tabelle 4.5 sind die gewässerkundlichen Hauptwerte der Schmutter (Angaben des Bayerischen Landesamts für Umwelt) für die beiden Abfluss-Pegel.

	Abfluss [m <sup>3</sup> /s]			
	Schmutter Pegel Fischbach Schmutter Pegel Achsheim			
	(Jahresreihe 1951 – 2012)	(Jahresreihe 1967 – 2012)		
NQ	0,246	0,976		
MNQ	0,621	1,51		
MQ	1,32	3,11		
MHQ	21,2	30,8		
HQ	126	100		

# Tabelle 4.5:Gewässerkundliche Hauptwerte der Schmutter für die Abfluss-PegelFischbach und Achsheim

In Abbildung 4.18 sind die Tagesmittelwerte des Schmutter-Abflusses an den beiden Pegeln für den Zeitraum von 1990 bis 2016 dargestellt.



Abbildung 4.18:Tagesmittelwerte des Schmutter-Abflusses an den PegelnFischbach und Achsheim für den Zeitraum von 1990 bis 2016

In Abbildung 4.19 sind die Tagesmittelwerte des Schmutter-Wasserstands an den beiden Pegeln für den Zeitraum von 1990 bis 2016 dargestellt.



#### Paar

An der Paar liegt innerhalb des Modellgebiets bei Paar-km 113,14 der amtliche Abfluss-Pegel Mering. In Tabelle 4.6 sind die gewässerkundlichen Hauptwerte der Paar (Angaben des Bayerischen Landesamts für Umwelt) für den Abfluss-Pegel Mering aufgeführt.

Tabelle 4.6: Gewässerkundliche Hauptwerte der Paar für den Abfluss-Pegel Mering

	Abfluss [m³/s]	
	Paar Pegel Mering (Jahresreihe 1985 – 2012)	
NQ		0,748
MNQ		1,1
MQ		1,94
MHQ		17,2
HQ		34,9

In Abbildung 4.20 sind die Tagesmittelwerte des Paar-Abflusses am Pegel Mering für den Zeitraum von 1990 bis 2016 dargestellt.



In Abbildung 4.21 sind die Tagesmittelwerte des Paar-Wassertands am Pegel Mering für den Zeitraum von 1990 bis 2016 dargestellt.



Für den Abschnitt von Flusskilometer 106 bis 119 liegen für die Paar Vermessungsdaten des WWA Donauwörth aus dem Jahr 2002 vor. In Abbildung 4.22 ist ein aus den Vermessungsdaten erzeugter Längsschnitt der Paar mit Verlauf der Sohlhöhe und des Wasserspiegels von Flusskilometer 106 bis 119 dargestellt.



Abbildung 4.22: Längsschnitt der Paar von Flusskilometer 106 bis 119 (Schnitt entlang des Hauptarms, Nebenarme der Paar werden nicht dargestellt)

# Lochbach

Der Lochbach wird durch Wasser der Staustufe 22 des Lechs gespeist und beginnt somit direkt am der südlichen Rand des Modellgebiets. Im Stadtgebiet Augsburg geht der Lochbach in den Vorderen Lech und anschließend in den Stadtbach über. Nach Vereinigung mit dem Proviantbach fließt er der Wertach zu. Der Verlauf des Lochbachs sowie Angaben zu Abflussmessungen aus den Jahren 2007 und 2016 sind in Abbildung 4.23 dargestellt. Ein wichtiges Querbauwerk im Lochbach ist das Hohe Wehr westlich von Königsbrunn, hier wird auch der alte Floßgraben aus dem Lochbach ausgeleitet.



Abbildung 4.23: Abflussmessungen und Vermessungspunkte am Lochbach

Am Lochbach liegt bei Lochbach-km 13,85 der amtliche Abfluss-Pegel Unterbergen. In Tabelle 4.7 sind die gewässerkundlichen Hauptwerte des Lochbachs (Angaben des Bayerischen Landesamts für Umwelt) für den Abfluss-Pegel Unterbergen aufgeführt.

Tabelle 4.7:	Gewässerkundliche Hauptwerte des Lochbachs für den Abfluss-Pegel
U	nterbergen

	Abfluss [m <sup>3</sup> /s]		
	Lochbach Pegel Unterbergen (Jahresreihe 1983 – 2012)		
NQ		0,88	
MNQ		1,59	
MQ		4,73	
MHQ		5,43	
HQ		5,97	

In Abbildung 4.24 sind die Tagesmittelwerte des Lochbach-Abflusses am Pegel Unterbergen für den Zeitraum von 1990 bis 2016 dargestellt. Aus der Abbildung gehen die regelmäßigen Lochbach-Ablässe hervor. Diese werden überwiegend im Herbst und Frühjahr durchgeführt. Üblicherweise dauern die Ablässe etwa zwei Wochen.



In Abbildung 4.25 sind die Tagesmittelwerte des Lochbach-Wasserstands am Pegel Unterbergen für den Zeitraum von 1990 bis 2016 dargestellt.



Für den Abschnitt von Flusskilometer 0 bis 15 liegen für den Lochbach Vermessungsdaten der E.ON Wasserkraft GmbH, Werkgruppe Lech (2002) sowie des Tiefbauamts (2005) vor. In Abbildung 4.26 ist ein aus den Vermessungsdaten erzeugter Längsschnitt des Lochbachs mit Verlauf der Sohlhöhe und des Wasserspiegels von Flusskilometer 0 bis 15 dargestellt. An Fkm 8,1 liegt keine Sohlhöhe unterstrom des Absturzbauwerks vor.



Abbildung 4.26: Längsschnitt des Lochbachs von Flusskilometer 0 bis 15

# Bäche im Stadtgebiet Augsburg

Die folgenden Auswertungen basieren auf einer Abflussmessung die im Jahr 2007 vom WWA Donauwörth durchgeführt wurde (WWA Donauwörth und TBA Augsburg, 2007). In Zusammenarbeit mit dem Tiefbauamt wurden von kup den Messbeschreibungen die Lagekoordinaten zugeordnet. Die Messungen wurden am 04./05.07.2007 sowie am 29./30.08.2007 an den in Abbildung 4.27 dargestellten Messorten durchgeführt. Die Messungen fanden an 64 Messorten statt - nicht durchgeführte oder abgebrochene Messungen werden nicht dargestellt. Insgesamt fließen dem durch die Messung abgedeckten Stadtgebiet 32,9 m<sup>3</sup>/s zu (2,68 + 0,82 + 29,4 m<sup>3</sup>/s) und 32,77 m<sup>3</sup>/s ab (14,78 + 17,99 m<sup>3</sup>/s). Bei einer angenommenen Fehlertoleranz von 5 – 10% sind sowohl dominierende infiltrierende als auch exfiltrierende Verhältnisse vorstellbar.



Augsburg

#### Bäche im Stadtwald Augsburg

Abflüsse von Bächen im Stadtwald wurden im Rahmen der Diplomarbeit "Der Stadtwald Augsburg - eine hydrologische Analyse der Oberflächengewässer" (Merkel, 2009) untersucht.

Merkel führte Abflussmessungen an 32 Abflussmessstellen im Stadtwald durch (siehe Abbildung 4.28). Die Messstandorte liegen vorzugsweise an Gabelungen bzw. Vereinigungen von Gewässern. Es wurden zwei Messzeiträume für die Untersuchungen gewählt:

- Messzeitraum 1: Oktober/November 2007
- Messzeitraum 2: Juli 2008



Abbildung 4.28: Standorte der Abflussmessung an den Bächen im Stadtwald Augsburg durch Merkel (2009)

In einem weiteren Schritt wurden die Gewässer in Bilanzabschnitte (Gewässerlängen zwischen 200 bis 4800 m) eingeteilt. Für diese Gewässerabschnitte wurden Bilanzbetrachtungen durchgeführt.

Abbildung 4.29 und Abbildung 4.30 zeigen die Messzeiträume sowie die Ganglinien zweier Grundwassermessstellen auf verschiedenen Zeitskalen. Es wird deutlich, dass die beiden Messzeiträume eher in Zeiträume mittlerer hydrologischer Verhältnisse einzuordnen sind. Die Grundwasserstände des ersten Messzeitraums sind relativ konstant, während Teile des zweiten Messzeitraums in Richtung höherer Grundwasserstände tendieren.



Abbildung 4.29: Grundwasserstände zweier Grundwassermessstellen (Darstellung eines Gesamtzeitraums von 10 Jahren)



Abbildung 4.30: Grundwasserstände zweier Grundwassermessstellen (Darstellung des Untersuchungszeitraums)

Abbildung 4.31 zeigt die Abflüsse der Bäche im Stadtwald im Messzeitraum 2. Der größte Abfluss wird im Süden am Neuen Graben gemessen, der kleinste Abfluss beträgt 27 l/s. Das Mittel aller gemessenen Abflüsse beträgt 381 l/s.

Aus den Abflussmessungen wurden von Peschke (2009) Leakage-Koeffizienten ermittelt. Diese variieren zwischen etwa 0.01 (Stadtbäche auf Höhe von Lech-Fkm 50-53) und maximal etwa 40 d<sup>-1</sup> (Neuer Graben). Im Bericht zum Grundwassermodell Augsburg Mitte (HydroConsult, 2010) werden höhere Leakage-Koeffizienten dokumentiert: Im Neuen Graben betragen diese bis zu 100000 d<sup>-1</sup>. Obwohl beide Arbeiten durch das Büro HydroConsult unterstützt bzw. erstellt wurden, wird diese deutliche Abweichung zwischen den Leakage-Koeffizienten nicht bewertet. Eine direkte Übernahme ins Grundwassermodell kann aufgrund der fehlenden räumlichen Angaben nur als Orientierungswert erfolgen.



Abbildung 4.31: Gemessene Abflüsse an den Bächen im Stadtwald (Messzeitraum 2) (Merkel, 2009)

#### Stillgewässer im Modellgebiet

Die zu den Stillgewässern im Modellgebiet vorliegenden Informationen sind in Tabelle 4.8 aufgeführt. Hierbei handelt es sich um Angaben des Landratsamts Aichach-Friedberg aus dem Jahr 2010, um Angaben aus dem Modellbericht des Grundwassermodells Königsbrunn von HydroConsult aus dem Jahr 2003 sowie um Angaben des WWA Donauwörth. Die Gewässerflächen sind dem Shape-Datensatz "tatsächliche Nutzung" des WWA Donauwörth entnommen.

An einigen Gewässern liegen Vermessungen zur Tiefe von Seen vor. Diese sind in Abbildung 4.32 bis Abbildung 4.36 dargestellt. An den übrigen Seen wird vereinbarungsgemäß die Lage und Ausdehnung der Seen aus o.g. Shape-Datensatz entnommen und eine Ausbaggerung bis auf die Quartär-Unterkante angenommen.

See	Gewässerfläch	Wasserspiege	Tiefe [m]	Tiefen-
	e [km²]	I		vermessung
		[m ü. NN]		
Auensee	0,198	NW: 492,51* <sup>3)</sup>	Bis zu ca.	Bereichsweise
		MW: 492,91* <sup>3)</sup>	6m * <sup>5)6)</sup>	
		HW: 493,31* <sup>3)</sup>		
Kuhsee	0,164	Stauziel	Bis zu	Vollständig
		484,54 <sup>*3)</sup>	5,5m * <sup>5)</sup>	
		Max.		
		Absenkziel		
		483,4 <sup>*3)</sup>		
Weitmannse	0,367	501,2 <sup>*3)</sup>	5 m	Nicht möglich
е		Max. 502,7* <sup>3)</sup>	(Maximum	
			) *1)	
llsesee	0,111	507,15 <sup>*8)</sup>	Bis zu 15m	Punktinformatione
		507,16 <sup>*4)</sup>	*7)	n
Lautersee	0,079	505,35	5,4 m* <sup>2)</sup>	Keine Angaben
			(Mittelwert)	

Tabelle 4.8: Informationen zu Stillgewässern im Modellgebiet

\*<sup>1)</sup> Angabe des Landratsamt Aichach-Friedberg (2010)

\*2) entnommen aus dem Grundwassermodell Königsbrunn (HydroConsult, 2003)

<sup>\*3)</sup> Angaben des WWA Donauwörth

\*4) Angabe aus Höhenmodell entnommen

\*<sup>5)</sup> Angabe aus Tiefenvermessung der Wasserwacht

\*6) Planunterlagen zu Abbautiefen

<sup>\*7)</sup> Angaben der Tauchstation Ilsesee

<sup>\*8)</sup> HydroConsult (2005)




Abbildung 4.33: Abbautiefen des Auensees (oben), Tiefenvermessung der Wasserwacht für den südöstlichen Bereich des Auensees (unten)



Abbildung 4.34: Tiefenvermessung der Wasserwacht für den südöstlichen Bereich des Friedberger Baggersees

# Licca Liber - weiterführende Untersuchungen Hydrogeologie



Abbildung 4.35: Tiefenvermessung der Wasserwacht für den Autobahnsee



Abbildung 4.36: Tiefenvermessung der Tauchbasis Ilsesee für den Ilsesee

## 4.5 Grundwasserbilanzkomponenten

### 4.5.1 Grundwasserneubildung aus Niederschlag

Die Grundwasserneubildung stellt eine wichtige Eingangsgröße für das Grundwassermodell dar. Wie in Kapitel 4.3.3 (Grundwasserstandsdynamik) gezeigt wurde, zeigen die Grundwasserstandsganglinien zu einigen Zeitpunkten Ausschläge die unabhängig von der Entfernung zu den Vorflutern auftreten. Diese Ausschläge sind auf Grundwasserneubildungsereignisse zurückzuführen.

Die Vorgehensweise zur Ermittlung der Grundwasserneubildung erfolgt in Orientierung an das Merkblatt ATV-DVWK (2002) sowie an den Erläuterungen zur Hydrogeologischen Karte von Bayern 1:500000 (Wagner et al., 2009). Die Vorgehensweise wird im Folgenden nur zusammenfassend widergegeben, für Details wird auf Anlage 6.1.3 verwiesen.

Die Grundwasserneubildung wird auf Grundlage folgender Datensätze errechnet:

- Niederschlagsrasterdatensatz (REGNIE) des DWD (2013)
- Grasreferenzverdunstung des DWD Climate-Data-Center (CDC) (2016)
- Landnutzungen des CORINE-Datensatz (Umweltbundesamt, 2006)
- nFk<sub>we</sub> -Werte aus der nutzungsdifferenzierte Bodenübersichtskarte 1:1000000 (BUEK1000N) (Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, 2007)

In Abbildung 4.37 ist ein Vergleich zwischen den Niederschlagsaufzeichnungen der DWD Station Augsburg sowie der nächstliegenden DWD REGNIE Rasterzelle dargestellt. Der REGNIE-Datensatz wird aus den Stationsdaten des DWDs interpoliert, daher sind die beiden Zeitreihen (weitgehend) identisch.

Abbildung 4.38 stellt beispielhaft eine Ganglinie der Grasreferenzverdunstung (nächstliegende Rasterzelle der Station Augsburg) dar. Es ist der typische Jahresgang der Grasreferenzverdunstung erkennbar (Höchstwerte werden im Sommer gemessen, während im Winterhalbjahr zeitweise keine relevante Verdunstung stattfindet). Das in Anlage 6.1.3 beschriebene Verfahren liefert für jede Elementarfläche eine Ganglinie der Grundwasserneubildung auf Tagesbasis. Abbildung 4.39 zeigt die hieraus berechnete Jahressumme der Grundwasserneubildung für das Jahr 2001 innerhalb des Untersuchungsraums. Abbildung 4.40 stellt die mittlere Jahressumme der Grundwasserneubildung im Zeitraum 1992 bis 2015 dar.

Tabelle 4.9 zeigt einen Vergleich zwischen Ergebnissen der

Grundwasserneubildungsberechnung durch KUP sowie durch das LFU (Wagner et al., 2009). Es ergibt sich weitestgehend eine gute Übereinstimmung. Abweichungen ergeben sich für die Landnutzungsart Mischwald, bei den Berechnungen des LFUs ist hier besonders auffällig, dass die Grundwasserneubildung im Mischwald höher als für Laub- und Nadelwälder ausfällt (> Faktor 1,9). Die Landnutzungsart Siedlung zeigt ebenfalls eine größere Abweichung.

Die Grundwasserneubildung wird im Rahmen der Sensitivitätsuntersuchung des Grundwassermodells näher untersucht, ggf. kann die Grundwasserneubildung in diesen Bereichen entsprechend den Berechnungen des LFU erhöht werden.

# Tabelle 4.9:Mittlere Grundwasserneubildung je Landnutzungsart und Vergleich mit<br/>Berechnungen des LFUs.

Hinweis: Grundlage des Vergleichs bildet ein Shapefile des LFUs mit deren Berechnungsergebnissen. Kleine Bereiche in diesem Shapefile sind nicht mit Grundwasserneubildungswerten belegt – diese Teilflächen wurden in den Vergleich nicht mit einbezogen.

Landnutzung	Fläche	Grundwasserneu-bildung	Grundwasserneu-bildung	BFI
		KUP	LFU	
(Kurzform)	[km²]	[mm/a]	[mm/a]	[-]
Stadt	23.08	171.50	182.61	0.41
Siedlung	75.92	161.63 232.48	224.93	0.52
Ackerland	118.24		218.62	0.84
Grünland	12.84	202.01	199.86	0.73
Versch. Landw.	40.87	229.87	201.94	0.76
Flächen				
Laubwälder 6.31		78.10	49.92	0.76
Nadelwälder	3.98	63.82	49.16	0.83
Mischwälder	0.65	79.39	92.66	0.74
Buschbrache 3.87		263.87	265.64	0.81
Mittelwert		201,31 mm/a	208,43 mm/a	0,70
		(1,82 m³/s)	(1,89 m³/s)	



DWD Station Augsburg sowie an der räumlich zugehörigen REGNIE Rasterzelle.



Station Augsburg.



Untersuchungsraum im Jahr 2001.



Abbildung 4.40: Mittlere Jahressumme der berechneten Grundwasserneubildung im Untersuchungsraum im Betrachtungszeitraum 1992- 2014.

# 4.5.2 Randzufluss/Randabfluss

Die Modellgebietsabgrenzung verläuft im Norden sowie im Süden entlang der Grundwassergleichen für den Quartärkies-Grundwasserleiter aus der HGK500 Bayern. Über den südlichen Modellrand kommt es somit zu einem Grundwasserzustrom und über den nördlichen Modellrand zu einem Abstrom. Der Zu-/Abstrom Q [m<sup>3</sup>/s] über den südlichen/nördlichen Modellrand wurde basierend auf den vorhandenen k<sub>f</sub>.Wert-Informationen [m/s], dem Grundwassergefälle I [-] sowie der Aquiferbreite b [m] und der wassererfüllten Mächtigkeit m [m] am südlichen/nördlichen Modellrand über das Darcy-Gesetzt abgeschätzt:

$$Q = b \times m \times I \times k_f$$

## Zustrom über den südlichen Modellrand

Aus dem Grundwassergleichenplan für mittlere Verhältnisse aus der HGK500 Bayern (siehe Abbildung 3.6) wurde ein Grundwassergefälle von ca. 3 ‰ für den Bereich des südlichen Modellrands abgeleitet. Basierend auf den in Tabelle 4.10 aufgeführten Parametern wurde für den südlichen Modellrand ein Grundwasserzustrom für mittlere hydrologische Verhältnisse von etwa 2,2 m<sup>3</sup>/s abgeschätzt. Die Verteilung des Zustroms auf das Lech- und das Wertachtal sowie die einzelnen Terrassenstufen ist in Tabelle 4.10 aufgelistet.

	k <sub>f</sub> [x10⁻³m/s]	Breite [m]	Wassererfüllte	Zustrom
			Mächtigkeit m]	[m³/s]
Lechtal				
Auenstufe	20	2000	6,5	0,78
Postglazialstufe &	10	4300	6,5	0,84
Niederterrasse				
Hochterrasse	3	5900	3,7	0,20
Wertachtal				
Auenstufe	20	1300	3,0	0,23
Postglazialstufe	10	1850	3,0	0,17
Abgeschätzter Gesar	ntzustrom über o	den südlicher	n Modellrand [m³/s]	2,22

Tabelle 4.10: Abschätzung des Randzustroms über den südlichen Modellrand

# Abstrom über den nördlichen Modellrand

Aus dem Grundwassergleichenplan für mittlere Verhältnisse aus der HGK500 Bayern (siehe Abbildung 3.6) wurde ein Grundwassergefälle von ca. 2 ‰ für den Bereich des nördlichen Modellrands abgeleitet. Basierend auf den in Tabelle 4.11 aufgeführten Parametern wurde für den nördlichen Modellrand ein Grundwasserzustrom für mittlere hydrologische Verhältnisse von etwa 0,6 m<sup>3</sup>/s abgeschätzt.

	k <sub>f</sub> [x10⁻³m/s]	Breite [m]	Wassererfüllte Mächtigkeit m]	Zustrom [m <sup>3</sup> /s]
Lechtal				
Auenstufe	20	4300	2,6	0,45
Postglazialstufe	10	2900	2,6	0,15
Abgeschätzter Gesamtabstrom über den nördlichen Modellrand				0,6
[m³/s]				

Tabelle 4.11: Abschätzung des Randabstroms über den nördlichen Modellrand

## Zustrom aus dem Tertiär über den westlichen und den östlichen Modellrand

Im Westen sowie im Osten grenzt der Quartärkies-Grundwasserleiter an den Tertiär-Grundwasserleiter. Die Grundwassergleichen für den Tertiär-Grundwasserleiter (siehe Abbildung 4.41) deuten im nördlichen Bereich ab etwa der Höhe von Augsburg auf einen möglichen Grundwasserzustrom aus dem Tertiär in den Quartärkies-Grundwasserleiter über den westlichen und östlichen Modellrand hin. Um die potentielle Größenordnung des Grundwasserzustroms über den westlichen/östlichen Modellrand fassen zu können wurde für die in Abbildung 4.41 dargestellten lila Flächen die mittlere Grundwasserneubildungsrate ausgewertet. Diese beträgt 0,28 m<sup>3</sup>/s für den östlichen Bereich und 0,18 m<sup>3</sup>/s für den westlichen Bereich und stellt gewissermaßen eine Art Obergrenze der potentiellen Zustromrate aus dem Tertiär über den östlichen/westlichen Modellrand dar. Die Abschätzung der maximal möglichen Zustromrate basiert auf der Annahme, dass die gesamte Grundwasserneubildung im Einzugsgebiet dem Quartärkies-Grundwasserleiter zuströmt. Für die numerischen Modellbetrachtungen kann die abgeschätzte Größenordnung des maximal möglichen Zustroms nicht 1:1 übernommen werden, sondern stellt lediglich das obere Limit des zu erwartenden lateralen Randzustroms aus dem Tertiär dar.



möglichen lateralen Grundwasserzustroms aus dem Tertiär über den westlichen bzw. den östlichen Modellrand

# Zustrom über westlichen Modellrand im Wertachtal

Der Zustrom aus dem tertiären Hügelrand ins Modellgebiet westlich der Wertach wurde im Rahmen des Berichts durch BCE (2015) für den nördlichen Teil des Wertachtals abgeschätzt: Dieser beträgt über eine Länge von etwa 9,5 km etwa 54 l/s.

# 4.5.3 Vertikaler Austausch mit dem Tertiär

Die potentiellen Grundwasseraufstiegsbereiche (Tertiär  $\rightarrow$  Quartär) und die potentiellen Grundwasserabstiegsbereiche (Quartär  $\rightarrow$  Tertiär) wurden auf Basis der Grundwassergleichen der HGK500 Bayern für das Quartär und der Grundwassergleichen für das 1. Hauptgrundwasserstockwerk im Tertiär aus der Tertiärstudie (HydroConsult, 2016) im Bereich des Lechtals abgeleitet. Die Aufstiegsbereiche für Grundwasser aus dem Tertiär in den Quartärkies-Grundwasserleiter im Lechtal sind in Abbildung 4.42 grün eingefärbt und die Abstiegsbereiche für Grundwasser aus dem Quartärkies-Grundwasserleiter in das Tertiär sind orange eingefärbt. Die orangefarbenen/grünen Flächen weisen hierbei eine Grundwasserpotentialdifferenz von mindestens einem Meter zwischen Quartär und Tertiär auf.

Die Austauschraten zwischen dem Quartärkies-Grundwasserleiter und dem Tertiär im Modellgebiet können auf Basis der Größe der grünen (ca. 110,6 km<sup>2</sup>) bzw. orangefarbenen (ca. 48,4 km<sup>2</sup>) Flächen und der ermittelten mittleren Aufstiegs-/Abstiegsraten im Bereich des Unteren Lechtals durch das Ingenieurbüro HydroConsult (1,5 l/s/km<sup>2</sup> bzw. 1,2 l/s/km<sup>2</sup>; Quelle: Tertiärstudie, 2003) abgeschätzt werden:

- Grundwasseraufstieg (Tertiär → Quartär): +73 l/s
- Grundwasserabstieg (Quartär → Tertiär): -133 l/s.



Abbildung 4.42: Potentielle GW-Aufstiegsbereiche (Tertiär → Quartär) und GW-Abstiegsbereiche (Quartär → Tertiär) im Modellgebiet

# 4.5.4 Austausch mit oberirdischen Gewässern

## Lech

Der Lech ist der wichtigste Vorfluter im Modellgebiet, wie bereits die Auswertungen zur Grundwasserstandsdynamik gezeigt haben (vgl. Abbildung 4.12) beeinflussen Hochwasserereignisse des Lechs die Grundwasserstände bis weit ins Hinterland.

Nach DWA (2013) lässt sich der Austausch mit dem Grundwasser großer Gewässer über die Uferspeicherung nach Ubell (s. Abbildung 4.43) erfassen. Für die Berechnung werden die Grundwasserstände mehrerer Messstellen an einem Stichtag durch Geraden verbunden, wodurch man die Lage des Grundwasserspiegels erhält. In einem folgenden Schritt werden aus der Differenz der Grundwasserspiegelverläufe zweier Stichtage die Fläche bestimmt. Unter Annahme einer Porosität von 20 % wird mittels folgender Formel die Änderung des im Grundwasserleiter gespeicherten (Wasser-) Volumens dV errechnet:

$$dV = A \cdot n \cdot 1m$$

(mit:

A... Fläche zwischen Grundwasserspiegeln, s. Abbildung;

n... Porosität, hier 20%,

1m... Das Volumen wird für einen Abschnitt von 1 m Länge entlang des Lechs bestimmt)

Der Austausch kann nur für Hochwasserereignisse berechnet werden, es handelt sich hierbei nicht um langjährige Mittelwerte.

Für die folgenden Auswertungen wurde u.a. die Messstellentraverse im Stadtwald aus Kapitel 3.3.2 ausgewertet (bestehend aus dem Grundwassermessstellen swa\_8032, swa\_8037, swa\_8826 sowie swa\_8041 verwendet, s. Abbildung 4.11). Die Station Pegel Haunstetten, an der kontinuierliche Wasserspiegelmessungen vorliegen, befindet sich etwa 4 km unterstrom der Traverse. Es wurden insgesamt drei Hochwasserereignisse ausgewertet, exemplarisch ist die Grundwasserspiegellage für das Pfingsthochwasser 1999 in Abbildung 4.45 dargestellt. Die ermittelten Infiltrationen liegen bei 155 m<sup>3</sup>/m im Juli 1996, im Mai 1999 bei 402 m<sup>3</sup>/m und im August 2000 bei 222 m<sup>3</sup>/m. Diese Ergebnisse beinhalten auch Grundwasseranstiege aufgrund der Grundwasserneubildung aus Niederschlag.

Eine weitere Messstellentraverse (bestehend aus den Messstellen Pegel Haunstetten, swa\_7002, swa\_7004 und tba\_0637) ergibt für das Pfingsthochwasser eine Infiltration

von 688 m³/m.



Abbildung 4.43: Berechnungsmethodik Uferspeicherung nach Ubell (1987)

Licca Liber - weiterführende Untersuchungen Hydrogeologie



#### Abbildung 4.44: Uferspeicherung eines Hochwasserereignisses im Juli 1996

Abbildung 4.45: Uferspeicherung des Pfingsthochwassers 1999 an Traverse 1 (Messstellen swa\_8032, swa\_8037, swa\_8826 sowie swa\_8041)

## Licca Liber - weiterführende Untersuchungen Hydrogeologie



Abbildung 4.46: Uferspeicherung des Pfingsthochwassers 1999 an Traverse 2 (Messstellen Pegel Haunstetten, swa\_7002, swa\_7004 und tba\_0637)

## Bäche im Stadtgebiet Augsburg

In Kapitel 4.4 wurde die Abflussmessung im Stadtgebiet Augsburg vorgestellt. An den Stichtagen liegen nur unvollständige Informationen zur Lage der Grundwasserstände im Stadtgebiet vor. Kontinuierlich vorliegende Messdaten an Grundwassermessstellen zeigen jedoch (s. Abbildung 4.47), dass die Dynamik der Grundwasserstände im Betrachtungszeitraum sehr aerina werden ist. Daher im Folgenden Grundwassergleichen, interpoliert aus Messdaten des Zeitraums 17. bis 19.07.2016, ausgewertet (Abbildung 4.49). Die Interpolation vernachlässigt die Wasserspiegel von Lech und Wertach, daher decken die Grundwassergleichen nur einen Teilbereich des Stadtgebiet Augsburgs ab. Die Datenlage innerhalb dieses Bereichs ist jedoch vergleichsweise gut. Ein Vergleich mit den Wasserspiegelmessungen an den Stadtbächen (Tiefbauamt, 2005), zeigt, dass die Wasserspiegel der Stadtbäche meist deutlich über dem Grundwasser liegen, das heißt die Infiltration von Oberflächenwasser dominiert.

Abbildung 4.50 zeigt die sich aus den Abflussmessungen ergebenden Verlustraten entlang der Stadtbäche. Bereiche mit geringen Infiltrations-/Exfiltrationsraten wechseln sich ab. Einzelne Bereiche weisen größere Infiltrations-/Exfiltrationsraten auf. Einige dieser Bereiche sind vermutlich von Absturzbauwerken beeinflusst.

Die Auswertung der Stichtagsmessung zeigt, dass eine Interaktion der Oberflächengewässer mit dem Grundwasser besteht. Bei Berücksichtigung der üblichen Messunsicherheit einer Abflussmessung von 5 – 10 % sind sowohl dominierend infiltrierende als auch exfiltrierende Verhältnisse vorstellbar. Für dominierend infiltrierende Verhältnisse spricht, dass vermessene Wasserspiegel der Stadtbäche überwiegend über dem Grundwasser liegen.



Stadtgebiets



Betrachtungszeitraum



Abbildung 4.49: Grundwassergleichen für Messdaten im Zeitraum 17. – bis 19.07.2007, Stützstellen der Interpolation (Messwert Grundwasser) sowie Differenz zwischen Wasserspiegeln der Gewässer (OFG) und Grundwasserständen (GW).



Abbildung 4.50: Infiltrations-/Exfiltrationsraten entlang der Stadtbäche, Differenz zwischen Wasserspiegeln der Gewässer (OFG) und Grundwasserständen (GW) sowie Lage von Querbauwerken.

## Bäche im Stadtwald (Abflussmessung Merkel, 2009)

In Kapitel 4.4 wurde die Abflussmessung von Merkel (2009) vorgestellt. Hierauf basierend wurden In-/Exfiltrationen der Gewässer berechnet. Abbildung 4.51 und Abbildung 4.52 zeigen die Auswertungen je Gewässerabschnitt für den ersten und den zweiten Messzeitraum. Es wird deutlich, dass einige Gewässerabschnitte Grundwasser aufnehmen, während andere Gewässerabschnitte Wasser abgeben. Ein Vergleich der beiden Abbildungen zeigt, dass sich die Infiltrations-/Exfiltrationsraten instationär verhalten und eine ausgeprägte Interaktion zwischen Grund- und Oberflächenwasser besteht. Gewässer im zweiten Messzeitraum nehmen weniger Grundwasser auf, als im ersten Messzeitraum. Flächenmäßig dominieren Gewässer, die Wasser ans Grundwasser abgeben. In wenigen Gewässern kommt es zur Umkehr der Austauschraten (Wechsel von Infiltration zu Exfiltration).

Da die Messzeiträume relativ breit gefasst sind, keine Messwerte an einer ausreichenden Zahl von Grundwassermessstellen vorliegen sowie eine zusätzliche Abflussmessung im Stadtwald (s.u.) durchgeführt wurde, wird auf eine Auswertung verzichtet.



2009).



2009).

# Bäche im Stadtwald und östlich des Lechs (WWA Stichtagsmessung November 2016)

Im November 2016 wurde an folgenden Gewässern Abflussmessungen durch das WWA Donauwörth durchgeführt:

- Bäche im Stadtwald
- Verlorener Bach/Hagenbach
- Paar
- •

Die Gewässer wurden in Bilanzabschnitte eingeteilt und mithilfe der Abflussmessungen Infiltration/ Exfiltrationsraten zwischen den Messorten ermittelt. Bilanzabschnitte und Abflussmessungen sind in Abbildung 4.53 und Abbildung 4.54 dargestellt.

Die Untersuchungen bestätigen, dass an den Bächen im Stadtwald sowie am Hagenbach/Verlorener Bach eine ausgeprägte Interaktion mit dem Grundwasser besteht. Die Paar nimmt in der Summe nur geringe Mengen Grundwasser auf, an den Bächen im Stadtwald und am Verlorenen Bach/Hagenbach dominiert die Infiltration. Die ermittelten Bilanzen werden in Tabelle 4.12 aufgelistet.

Tabelle 4.12: Infiltrations- und Exfiltrationsraten der Bilanzabschnitte

Bilanzabschnitt	Infiltration (+) / Exfiltration (-)		
	[m³/d]		
Mittelbach Quelle	-0.30		
sw1	0.77		
sw2	-0.09		
sw3	0.13		
sw4	0.04		
sw4_west	-0.12		
sw5	0.10		
sw6	0.03		
Verlorener Bach/Hagenbach	0.46		
Paar	-0.01		
	(Abflussmessung -0.11 +		
	seitlicher Zufluss +0.10*)		

\* Seitlicher Zufluss zur Paar im südlichen Bereich durch die Gewässer Höllgraben und Moosbach, Angabe des WWA Donauwörth.



Abbildung 4.53: Abflussmessungen an Bächen im Stadtwald, Auswertung der lokalen Gewässerbilanz (Linien) sowie Einteilung in Bilanzabschnitte



Abbildung 4.54: Abflussmessungen am Verlorenen Bach/Hagenbach und an der Paar, Auswertung der lokalen Gewässerbilanz (Linien)

# 4.5.5 Grundwasserentnahmen

Im Modellgebiet wird Grundwasser aus verschiedenen hydrogeologischen Schichten entnommen, die größten Mengen stammen aus den Quartärkiesen des Lechtals. Im Jahr 2010 beträgt die Entnahme aus der Quartärkiesen im Modellgebiet etwa 600 l/s, die Entnahmen aus dem oberen Tertiär betragen etwa 300 l/s. Die quantitative Auswertung der Grundwasserentnahmen für weitere Jahre erfolgt im Rahmen des Berichts zum Grundwassermodell (ARGE SKI KUP UIBK, 2018-2) für die im Modell jeweils betrachteten Zeiträume.

## 4.6 Grundwasserhaltungen

HydroConsult (2012) führt zwei Grundwasserentnahmen im Stadtgebiet Augsburg auf (Schleifenstraße und Don-Bosco-Sammler). Weil diese auch während der Bachablässe im Herbst 2005 und der damit verbundenen Grundwasserabsenkung keine wesentliche Änderung des abgeführten Grundwassers aufweisen, können diese Entnahmen als konstant angenommen werden.

Grundwasserabsenkung	Betrieb ab	Entnahmerate [l/s]
Schleifenstraße	Brunnen 1-13 ab 1/2001	330 <sup>*1)</sup>
	*1)	
Prinzstraße	Brunnen 14-20 ab 1/2003	200*1)
	*1)	
Don-Bosco-Sammler	1959* <sup>1)</sup>	44 <sup>*1)</sup>
Reichenbergstraße	Ende 2008* <sup>2)</sup>	unbekannt

\*1) HydroConsult (2012)

\*<sup>2)</sup> Telefonische Angabe des Tiefbauamts

# 4.7 Kanalisation

Das Kanalnetz der Stadt Augsburg nimmt durch Undichtigkeiten Grundwasser auf. Laut den Auswertungen in HydroConsult (2012) liegt der Fremdwasseranteil im Kanalnetz der Stadt Augsburg bei etwa 838 l/s. Diese Auswertung basiert auf Abflussdaten einiger Kanäle der Jahre 1995 bis 2003, wie der Fremdwasseranteil ermittelt wurde, ist nicht dokumentiert. Im Grundwassermodell von HydroConsult wurde dieser Anteil als zeitlich konstant angenommen. Die Stadt Augsburg (Abt. Abwasserreinigung) ermittelt den monatlichen Fremdwasserzufluss zur Kanalisation basierend auf einer Bilanzbetrachtung aus folgenden Komponenten:

# Fremdwasser = Nachtminimumzufluss - Nachtzufluss der Einwohner - Nachtzufluss der Industrie

Hierbei wird der Nachtzufluss je Einwohner geschätzt (350000 Einwohner mit jeweils 1 I/s Nachtzufluss). Der Nachtzufluss der Industrie wurde erhoben. Abbildung 4.55 zeigt den mittleren Fremdwasser-Zufluss seit dem Jahr 1999. Es wird deutlich, dass der Fremdwasser-Zufluss im Laufe der Jahre stark abgenommen hat, dies ist wahrscheinlich u.a. auf die Inbetriebnahme von Grundwassersammlern im Textilviertel Augsburgs in den Jahren 2001, 2003 sowie 2008 zurückzuführen.



Abbildung 4.55: Fremdwasser-Zufluss an der Kläranlage Augsburg

# 4.8 Grundwasserbilanz

Wesentliche Zuströme für das Modellgebiet/Quartärkies-Grundwasserleiter ergeben sich aus dem Zustrom über den südlichen Rand (2,22 m³/s) und die Grundwasserneubildung (1,62 m³/s) aus Niederschlag. Der randliche Tertiärzustrom (Ost- und Westrand) beträgt etwa 1 m³/s. Der vertikale Austausch mit dem Tertiär führt tendenziell zu einem Abstrom.

Der Abstrom über den nördlichen Modellrand beträgt etwa 0,6 m<sup>3</sup>/s. Die Entnahmen aus dem Quartärkies betragen etwa 0,6 m<sup>3</sup>/s.

Aus dieser summarischen Betrachtung der Zu- und Abströme ergibt sich als Systemvorstellung, dass eine Summe von ca. 3,5 m<sup>3</sup>/s den Vorflutern netto zuströmen muss. Das heißt die Exfiltration aus dem Grundwasser in die Vorfluter ist deutlich größer als die Infiltration.

## 4.9 Grundwasserbeschaffenheit: Grundwasserchemismus und Nitrat

Das Grundwasser des Quartärkies-Grundwasserleiters kann basierend auf den Hauptionenbestandteilen als Calcium-Magnesium-Hydrogenkarbonat-Wasser charakterisiert werden (Fachplanung Lech, 1995). In Abbildung 4.57 ist der Auszug einer Wasseranalyse von 3 Brunnen der Stadtwerke Augsburg exemplarisch dargestellt (Quelle: Stadtwerke Augsburg). Die Lage der 3 Brunnen ist in Abbildung 4.56 dargestellt. Die Analyse zeigt für alle 3 Brunnen einen ähnlichen Wasserchemismus auf. Der pH-Wert liegt im Bereich zwischen 7,3 und 7,5 und der Sauerstoffgehalt liegt im Bereich zwischen 7,2 und 9,5 mg/l. Die größten Differenzen zwischen den 3 Brunnen sind hinsichtlich der Nitratkonzentrationen zu beobachten (Brunnen 154: 11 mg/l; Brunnen 711: 5,7 mg/l; Brunnen 211: 3,9 mg/l).

In Bezug auf die Nitratkonzentrationen im Grundwasser des Quartärkies-Grundwasserleiters sind im Bereich des Modellgebiets generell starke Unterschiede zwischen den einzelnen Messstellen und Brunnen zu beobachten. Diese Unterschiede zeigen sich darin, dass die Nitratkonzentration generell mit der Entfernung vom Lech zunimmt. Während die Nitratkonzentration in den Lech-nahen Messstellen und Brunnen generell im Bereich <10 mg/l liegen steigt die Konzentration in den Lech-fernen Messstellen und Brunnen bis in den Bereich von 50 mg/l, dem zulässigen Grenzwert für Trinkwasser. In Abbildung 4.58 ist die zeitliche Entwicklung der Nitratkonzentration für 5 Messstellen/Brunnen entlang einer Transekte mit zunehmender Entfernung vom Lech dargestellt. In Abbildung 4.58 ist der Konzentrationsunterschied zwischen den Lechnahen und den Lech-fernen Messstellen deutlich zu erkennen. Weiterhin zeigen die Lech-fernen Messstellen GWM 8075 und GWM 8021 einen Rückgang der Nitratkonzentration seit den 1990er Jahren. Die Lech-nahen Messstellen/Brunnen Br 816 und GWM 2038 hingegen zeigen keinen eindeutigen zeitlichen Trend auf. Vielmehr ist für diese Messstellen/Brunnen die jahreszeitliche Dynamik des Lech, und somit dessen Einfluss auf die Grundwasserverhältnisse, deutlich in den Nitrat-Zeitreihendaten zu erkennen.



Abbildung 4.56: Lage der beispielhaften Brunnen mit Wasserchemiemessungen (blaue Kreise) und der Messstellen und Brunnen mit Nitrat-Messungen (grüne Dreiecke)

5

Probenahmedatum		124 Filterbrunnen 157 52.11.2015	711 Filterbrunnen 71 55.11.2015	2111 55.111.2015	Gewinnungsanlage Mittelwerte
Parameter	Einheit	Ergebnis	Ergebnis	Ergebnis	
Aussehen bei PN		klar	klar	klar	
Farbe, qualitativ bei PN		farblos	farblos	farblos	
Geruch, qualitativ bei PN		ohne	ohne	ohne	
Geschmack, qualitativ					
Wassertemperatur bei PN	°C	11,1	10,7	14,2	12,0
Koloniezahl 20 °C	KBE/1 ml	0	0	0	0
Koloniezahl 36 °C	KBE/1 ml	0	0	0	0
Coliforme Bakterien	MPN/100 ml	0	0	0	0
E.coli	MPN/100 ml	0	0	0	0
Enterokokken	KBE/100 ml	0	0	0	0
Freies Chlor bei PN	mg/l	< 0,02	0,02	< 0,02	n.n.
Nitrat (NO3)	mg/l	11	5,7	3,9	6,9
Arsen	mg/l	< 0,001	< 0,001	< 0,001	n.n.
Nitrit (NO2)	mg/l	< 0,01	< 0,01	< 0,01	n.n.
Aluminium	mg/l	0,001	< 0,001	< 0,001	0,001
Chlorid	mg/l	10	6,5	5,5	7,3
Eisen, gesamt	mg/l	< 0,001	< 0,001	0,002	0,002
Mangan	mg/l	< 0,001	< 0,001	< 0,001	n.n.
Natrium	mg/l	5,8	4,9	5,3	5,3
Sulfat (SO4)	mg/l	18	19	23	20
Irubung	NIU	< 0,05	0,06	0,08	0,07
pH-Wert (bei °C) bei PN	~	7,31	7,46	1,41	7,41
Elektrische Leitfahigkeit (bei 25°C)	µS/cm	548	490	408	482
Kalium	mg/l	1,4	1,1	0,9	1,1
Calcium	mg/i	78,9	69,8	55,6	68,1
Magnesium	mg/i	21,3	19,4	16,2	19,0
Ammonium	mg/i	< 0,02	< 0,02	< 0,02	n.n.
onno-Phosphat	mg/i	< 0,01	< 0,01	< 0,01	n.n.
Sauerstoll	mgO2/i	9,2	9,4	1,5	0,10
Saurekapazität bis pH 4,3 (m-wert)	mmol/l	0,20	4,74	0.20	4,30
Spoktr Absorationskooff (SAK) boi 254 pm	1/m	1.2	1.2	11	1 17
Spektr, Absorptionskoeff, (SAK) bei 426 pm	1/m	< 0.1	< 0.1	< 0.1	c 0 1
Speku: Absorptionskoell. (SAK) bel 430 mm	ma/l	2 2	10	1.5	1 77
Sinzium, gelosi Kiosoleäuro, golöst	mg/l	43	3.0	3.0	3,80
Gelöster organischer Kohlenstoff (DOC)	mg/l	0.46	0.42	0.5	0.46
	11154/1	0.40	V.44	0.3	0.40

Abbildung 4.57: Grundwasserbeschaffenheit: Ergebnisse der Wasseranalyse für 3 Brunnen der Stadtwerke Augsburg vom 25.11.2015; Quelle: Stadtwerke Augsburg)



Abbildung 4.58: Entwicklung der Nitratkonzentrationen mit der Entfernung vom Lech (Quelle: Stadtwerke Augsburg)
## 5 Vorgaben für das numerische Grundwassermodell

Die Ausarbeitung des Hydrogeologischen Modells dient der Vorbereitung eines numerischen Grundwassermodells. Einige der im Zuge des Hydrogeologischen Modells erarbeiteten Auswertungen und Informationen können als Vorgabe für das Numerische Grundwassermodel verwendet werden. Überwiegend dienen diese Vorgaben dem Modellaufbau. Tabelle 5.1 enthält eine entsprechende Zusammenstellung.

Neben diesen "harten" Vorgaben können im Numerischen Grundwassermodell weitere Informationen und Daten aus dem Hydrogeologischen Modell verwendet werden. Diese Informationen und Daten können in zwei Klassen eingeteilt werden:

- Orientierungswerte als Vorgabe für eine sinnvolle Parametrisierung im numerischen Grundwassermodell
- Vergleichswerte für die Kalibrierung und Modellüberprüfung

Zu den Orientierungswerten gehören konsequenterweise alle Parameter, die im Zuge der Modellkalibrierung angepasst werden. Für diese Parameter gibt das Hydrogeologische Modell einen plausiblen Rahmen vor. Als Parameter sind die Austauschraten zwischen dem Grundwasser und den oberirdischen Gewässern und die geohydraulischen Parameter zu nennen. Auch der Grundwassergleichenplan gemäß Abbildung 3.6 dient als Orientierungswert für die numerische Grundwassermodellierung. Er kann z.B. als Startwert für die Modellläufe verwendet werden.

Als Vergleichswerte für die Kalibrierung liegen langjährige Grundwasserstandsganglinien zahlreichen Grundwassermessstellen an im Daten werden im Rahmen Berichts Modellgebiet vor. Diese des zum Grundwassermodell (ARGE SKI KUP UIBK, 2018-2) für die im Grundwassermodell betrachteten Zeiträume beschrieben.

Verwendung im	Modellyorgabe mit Verweis auf Quelle im
Numeriechen	
Numenschen	Hydrogeologischen Modell
Grundwassermodell	
Abgrenzung des	Verlauf Grundwassergleiche 520 m ü. NN aus Abbildung 3.6
Modellgebiets im Süden	
Abgrenzung des	Verlauf des Tertiärrands und einer Randstromlinie aus
Modellgebiets im Westen	Abbildung 3.6
Abgrenzung des	Verlauf des Tertiärrands und einer Randstromlinie aus
Modellgebiets im Osten	Abbildung 3.6
Abgrenzung des	Verlauf Grundwassergleiche 435 m ü. NN aus Abbildung 3.6
Modellgebiets im Norden	
Modellbasis	Quartärbasis aus Anlage 6.1.1
Modelloberkante	Geländeoberkante aus dem 1x1m Höhenmodell. Im
	nördlichen Modellgebiet (Bereich bis 4km südlich des
	nördlichen Modellrands) liegt lediglich ein 50x50m Raster
	vor.
Verlauf des Lechs	Lech aus Angaben in Kapitel 3.2
Querschnittsinformationen	Im Aussagegebiet aus Laserscan-Befliegung von AHM (Jahr
des Lechs	2010), bzw. für Prognosen gemäß Maßnahmenplanung
Verlauf der kleineren	Gewässer aus Angaben in Kapitel 3.2
Gewässer	
Festpotenzialrand im	Verlauf Grundwassergleiche 520 m ü. NN aus Abbildung 3.6
Süden	
Festpotenzialrand im	Verlauf Grundwassergleiche 435 m ü. NN aus Abbildung 3.6
Norden	
Vertikaler Austausch mit	Grundwasseraufstieg (Tertiär > Quartär): +73 l/s
dem Tertiär	Grundwasserabstieg (Quartär > Tertiär): -133 l/s
	(s. Kapitel 4.5.3)
Zuflussrandbedingung im	Randzufluss aus Tertiär aus Kapitel 4.5.2
Westen und Osten	
Grundwasserneubildung	Grundwasserneubildungsberechnung gemäß Kapitel 4.5.1
als flächige	
Zuflussrandbedingung	
Entnahmen als punktuelle	Entnahmeraten gemäß Kapitel 4.5.5
(negative)	
Zuflussrandbedingung	

Tabelle 5.1: Vorgaben aus dem Hydrogeologischen Modell für den Aufbau des Numerischen Grundwassermodells

## 6 Verwendete Unterlagen

ARGE SKI KUP UIBK (2018-2): Licca Liber - Weiterführende Untersuchungen - Anlage 6.2- Bericht zum Aufbau und Kalibrierung des Grundwassermodells.

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

BCE (2015): Hochwasserschutz und Gewässerentwicklung an der Wertach - 4. Realisierungsabschnitt - Anlage 9.2 Teil 2: Aufbau und Anpassung Grundwassermodell.

Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe. (2007): Nutzungsdifferenzierte Bodenübersichtskarte der Bundesrepublik Deutschland 1:1.000.000 (BÜK 1000 N2.31), Hannover und Berlin, Digit. Archiv FISBo BGR.

Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall (DWA) (2013): Wechselwirkungen zwischen Grund- und Oberflächenwasser, DWA-Themen

DWD, Abteilung Hydrometeorologie (2013): REGNIE (REGionalisierte NIEederschläge)- Verfahrensbeschreibung & Nutzeranleitung, interner Bericht im DWD, Offenbach 2013.

DWD Climate Data Center (CDC) (2016): Tägliche Raster der potentiellen Evapotranspiration über Gras, Version 0.x, Juli 2016

E.ON Wasserkraft GmbH, Werkgruppe Lech (2002): Vermessung von Wasserspiegelund Sohlhöhen im Bereich Siebentisch- und Haunstetter Wald (28.10.2002)

FHDGG (2002): Hydrogeologische Modelle: Ein Leitfaden mit Fallbeispielen, in Schriftenreihe der Deutschen Geologischen Gesellschaft, Heft 24

FHDGG (2010): Hydrogeologische Modelle:Bedeutung des Hydrogeologischen a priori-Wissens, in Schriftenreihe der Deutschen Gesellschaft für Geowissenschaften, Heft 70

DVGW (2016): Aufbau und Anwendung numerischer Grundwassermodell in Wassergewinnungsgebieten, Technische Regel – Arbeitsblatt DVGW W 107 (A)

HydroConsult (2003a): Tertiärgrundwasser im Raum Augsburg – Studie zur Grundwasserbilanzierung

HydroConsult (2003b): Instationäres Grundwasserströmungsmodell "Königsbrunn" - Band 1: Modelldokumentation

HydroConsult (2005): Naturversuch "Absenkung Ilsesee" 2005, Versuchsauswertung; Augsburg, 30.08.2005.

HydroConsult (2012): Grundwassermodell "Augsburg-Mitte" - Hydrogeologisches Modell und Statusbericht zum mathematischen Grundwasserströmungsmodell

HydroConsult (2016): Hydrogeologische Studie zum Tertiärgrundwasser in Bayerisch-Schwaben

Geotechnisches Büro Prof.-Dr. Schuler und Dr.-Ing. Gödecke (1995): Fachplanung Lech - Teil 1 Darstellung der Grundwasserverhältnisse

Geotechnisches Büro Prof.-Dr. Schuler und Dr.-Ing. Gödecke (1999): Fachplanung Lech - Teil 1 Darstellung der Grundwasserverhältnisse – Grundwasserstichtagsmessung vom 24./25.11.1997

Landratsamt Aichach-Friedberg (2010): Badegewässerprofil gemäß § 6 der Bayerischen Badegewässerverordnung. Erstellt am: 26.07.2010, abgerufen am 29.11.2016 von https://Ira-aic-fdb.de/hierleben/freizeit/badeseen/weitmannsee/badegewaesserprofill-weitmannsee-2015.pdf

Merkel, W. (2009): Der Stadtwald Augsburg - eine hydrologische Analyse der Oberflächengewässer

Peschke, L. (2009): Der Stadtwald Augsburg – hydrogeologische Verhältnisse und Abschätzung von Aussickerungen an Bächen durch Modellrechnung RMD Consult (2013): Hochwassergefahren- und -risikokarten – Ermittlung von Hochwassergefahrenflächen, Lech LE1

Schäfer, I. (1957) Erläuterungen zur Geologischen Karte von Augsburg und Umgebung 1:50.000, Bayerisches Geologisches Landesamt

Tiefbauamt (2005): Vermessung von Wasserspiegel- und Sohlhöhen im Stadtgebiet

Wagner, B. et al. (2009): Erläuterungen zur hydrogeologischen Karte von Bayern 1:500.000, Hydrogeologische Karte von Bayern. Bayerisches Landesamt für Umwelt, Augsburg.

Wittmann, O. (1991): Standortkundliche Landschaftsgliederung von Bayern Übersichtskarte 1:100.000, in GLA Fachberichte Band 5

WWA Donauwörth und TBA Augsburg. (2007): Abflussmessungen an Stadtbächen.

WWA Donauwörth (29/30. November 2016): Abflussmessungen an Gewässern im Stadtwald, am Verlorenen Bach/Hagenbach und an der Paar.