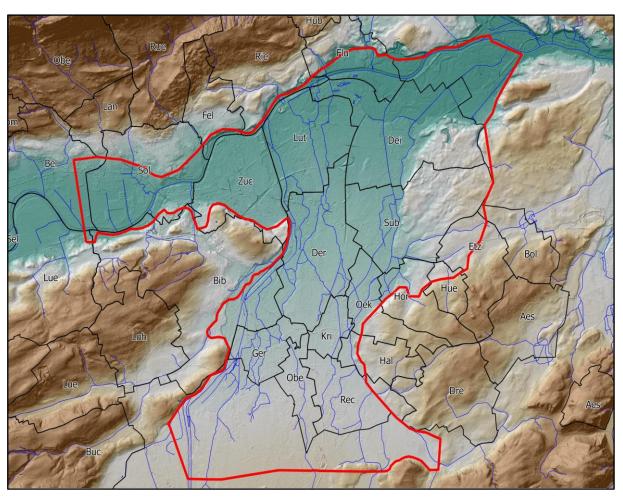


# **Grundwassermodell Wasseramt**

## Nachführung 2017

Aufbauend auf Bericht: Hydrogeologie Wasseramt – Grundlagen für Schutz und Bewirtschaftung des Grundwassers – Amt für Umwelt, Kanton Solothurn – 2008

15.11.2017



Amt für Umwelt Werkhofstrasse 5 4509 Solothurn



Amt für Umwelt

TK CONSULT AG
Mainaustrasse 30
CH-8008 Zürich
Telefon +41 (0)44 310 14 70
tkc@tkconsult.ch
www.tkconsult.ch

Version	Datum	Sachbearbeitung	Freigabe	Verteiler
1.0	11.08.2015	ALA	TRJ	1 x AfU SO
2.0	14.08.2017	BAM	KUU/COS	1 x AfU SO
2.1	13.11.2017	BAM	KUU/COS	1 x AfU SO
2.2	15.11.2017	BAM	KUU/COS	1 x AfU SO

## Inhaltsverzeichnis

1	Einle	eitur	ng en	1
	1.1	Αι	usgangslage	1
	1.2	Αι	uftragsbeschreibung	2
	1.3	Αι	uftragsvergabe und Leistungen gemäss Offerte	3
	1	3.1	Hauptauftrag (21.11.2013)	3
	1	.3.2	Zusatzauftrag 1 (25.04.2014)	3
	1	3.3	Zusatzauftrag 2 (26.01.2015)	3
2	Gru	ndla	gen	4
	2.1	Ве	erichte Grundwassermodellierung	4
	2.2	Н	drogeologische Grundlagen	5
	2	2.2.1	Grundwasserwärmenutzung (Archiv SO)	5
	2	2.2.2	Grundwassereinbauten (Archiv SO)	5
			Schutzzonenüberarbeitungen (Archiv SO)	6
	2	2.2.4	Daten Kanton Bern	6
	2.3	Dı	urchlässigkeiten	7
	2.4	Gı	undwasserspiegel	8
	2.5	Gı	undwasserstauer	10
	2.6	М	eteodaten	10
	2.7	Da	aten der Oberflächengewässer	11
	2.8	Ka	nnäle und Drainagen	11
	2.9	Tr	ink- und Brauchwassernutzung	11
	2.10	) Sc	oftware	14
	2	2.10.1	SPRING, PEST	14
	2	2.10.2	2 Basement	14
3	Anp	assu	ng des Modellnetzes	15
4	Ran	dbed	lingungen	16
	4.1	Di	rekte Grundwasserneubildung	16
	4.2	In	direkte Grundwasserneubildung	17
	4.3	Ol	perflächengewässer	19
	4	1.3.1	Aare	19
	4	1.3.2	Emme	20
	4	1.3.3	Übrige Vorfluter	21
	4.4	Ra	andpotential Süd	22

5	Kalib	rierung des Modells	23
	5.1	Methodik	23
	5.2	Kalibrierte Durchlässigkeiten	25
	5.3	Modellierte Grundwasserstände	26
	5.	3.1 Stationär	26
	5.	3.2 Instationär	28
	5.	3.3 Höchster Grundwasserstand	28
	5.	3.4 Vergleich Grundwasserspiegel altes/neues Modell	28
	5.	3.5 Änderung Grundwasserspiegel aufgrund Nutzungsänderung	29
	5.4	Modellierte Leakage-Mengen	31
6	Grun	dwasserbilanz	33
	6.1	Bilanz Gesamtmodell	33
	6.2	Bilanz Teilgebiete	36
	6.	2.1 Unteres Emmental bis Kantongrenze (Teilgebiet 1)	37
	6.	2.2 Gerlafingen-Kriegstetten (Teilgebiet 2)	38
	6.	2.3 Subingen (Teilgebiet 3)	39
	6.	2.4 Solothurn–Zuchwil (Teilgebiet 4)	40
	6.	2.5 Luterbach–Wangen a. A. (Teilgebiet 5)	41
7	Zustr	ömbereiche der Trinkfasserfassungen	42
	7.1	PW Dörnischlag	42
	7.2	PW Aarmatt	42
	7.3	PW Luterbach XI	42
	7.4	PW Ruchacker	42
	7.5	PW Biberist	42
	7.6	PW Lerchenfeld	43
	7.7	PW Erlenmoos	43
	7.8	PW Tannwald	43
8	Grun	dwasserspiegelschwankungen	44
	8.1	Trend 2002 – 2013	44
	8.2	Modellierte Schwankungen	45
9	Schlu	issfolgerungen	46

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1. Links: Korrelation zwischen Wasserspiegel der Emme und dem Grundwasserspiegel. Rechts: Wellenausbreitung im Grundwasser unter hypothetischen Annahmen [3].	4
Abbildung 2: Histogramm aller gemessenen k-Werte im Modellgebiet	7
Abbildung 3: Neue k-Werte aus Pumpversuchen	8
Abbildung 4: Messstellen des Grundwasserspiegels	9
Abbildung 5: Messstellen des Grundwasserstauers und Differenz zum alten Stauer	10
Abbildung 6: Entnahmestandorte	12
Abbildung 7: Modellnetzanpassungen	15
Abbildung 8: Neubildung, Verdunstung und Oberflächenabfluss (Jahres- und Monatswert)	16
Abbildung 9: Flurabstandsklassen für Neubildungsberechnung	17
Abbildung 10: Randeinzugsgebiete zur Berechnung des Randzuflusses	18
Abbildung 11: Wasserspiegel der Aare bei hohem, mittlerem und tiefem Abfluss	19
Abbildung 12: Abflüsse BAFU, Aare und Emme	20
Abbildung 13: Wasserspiegel der Emme bei hohem mittlerem und tiefem Abfluss	20
Abbildung 14: Querprofile Aare und Emme, Abfluss- und Wasserstandsmessungen, Vorflutpotentiale	21
Abbildung 15: Randpotential Süd: Situation	22
Abbildung 16: Randpotential Süd: Ganglinien	22
Abbildung 17: k-Wert-Stützstellen und «Nachbar-Limnigraphen» von Messstellen mit Einzelmessungen	24
Abbildung 18: Gemessener und bei der Kalibrierung angesetzter Grundwasserspiegel	25
Abbildung 19: Kalibrierte k-Werte im Vergleich mit den Messungen und den Werten des Modells 2008	26
Abbildung 20: Stationäre Kalibrierung: Abweichung zwischen Modell und Messung (Situation)	27
Abbildung 21: Stationäre Kalibrierung: Abweichung zwischen Modell und Messung (Histogramm)	27
Abbildung 22: Abweichung Modell 2008/2017	29
Abbildung 23: Änderung GWSp aufgrund Nutzungsänderung	30
Abbildung 24: Vergleich gemessener und modellierter Leakage-Mengen	32
Abbildung 25. Instationäre Zu- und Abflüsse, monatliche Mittelwerte (2010 – 2013)	34
Abbildung 26: Summe der Zu- und Abflüsse, Speicheränderung, monatliche Mittelwerte (2010 – 2013)	35
Abbildung 27: Teilgebiete und mittlere Profildurchflüsse	36
Abbildung 28: Normierte Ganglinien Piezometer 2002 – 2013	44
Abbildung 29: Modellierte Schwankung des Grundwasserspiegels	45

## **Tabellenverzeichnis**

Tabelle 1: Grundlagen im Zusammenhang mit Wärmenutzungen	5
Tabelle 2: Grundlagen im Zusammenhang mit Grundwassereinbauten	5
Tabelle 3: Neue k-Werte aus Pumpversuchen	7
Tabelle 4: Anzahl Messstellen pro Messart und Periode	9
Tabelle 5: Trink- und Brauchwassernutzung	13
Tabelle 6: Mittlere Bilanzmengen Gesamtmodell	34
Tabelle 7: Mittlere Bilanzmengen: Teilgebiet «Unteres Emmental bis Kantonsgrenze»	37
Tabelle 8: Mittlere Bilanzmengen: Teilgebiet «Gerlafingen-Kriegstetten»	38
Tabelle 9: Mittlere Bilanzmengen: Teilgebiet «Subingen»	39
Tabelle 10: Mittlere Bilanzmengen: Teilgebiet «Solothurn-Zuchwil»	40
Tabelle 11: Mittlere Bilanzmengen: Teilgebiet «Luterbach-Wangen a. A.»	41

## **Anhang**

Anhang 1: Vergleich Messung / Modell

Kalibrierungsergebnisse (Neu)

## Beilagen

Beilage 6:

Beilage 1:	Isohypsen des mittleren Grundwasserspiegels, Isohypsen des Grundwasserstauers, Hydrogeologische Messstellen (Nachführung 2017)
Beilage 2:	Grundwasser-Höchststände und kleinster Flurabstand (Nachführung 2017)
Beilage 3:	Fliessgewässer: Abflussmessungen, Infiltrationen und Exfiltrationen (Nachführung 2017)
Beilage 4:	Trinkwasserfassungen und ihre Zuströmbereiche (Nachführung 2017)
Beilage 5:	Geologie (wird nicht nachgeführt)

## 1 Einleitung

## 1.1 Ausgangslage

Das Wasseramt stellt eines der bedeutendsten Grundwasservorkommen des Kantons Solothurn dar. Es umfasst die nördliche bzw. stromabwärts gelegene Fortsetzung des Grundwasserstroms "Unteres Emmental" (Kanton Bern), d.h. das Gebiet zwischen Kantonsgrenze und Aare, sowie das aus dem Raum Solothurn-Zuchwil aus Westen zufliessende Grundwasser. Als Trinkwasserressource kommt dem Vorkommen eine grosse Bedeutung zu. Zahlreiche Einzeluntersuchungen lieferten zwar wertvolle Informationen über die Grundwasserverhältnisse, eine umfassende und moderne Zusammenstellung des Fliessgeschehens, der Grundwasserbeschaffenheit und der Bewirtschaftung dieses Vorkommens fehlte aber bislang. Um den Schutz und die Bewirtschaftung des Grundwasservorkommens Wasseramt besser steuern zu können, initiierte deshalb der Kanton Solothurn, vertreten durch das Amt für Umwelt, eine umfassende hydrogeologische Untersuchung. Ende 2004 wurde ein Projektteam, bestehend aus sechs Geologie-, Vermessungs- und Ingenieurbüros, beauftragt, diese hydrogeologische Studie im Wasseramt durchzuführen.

Im Bericht «Hydrogeologie Wasseramt - Grundlagen für Schutz und Bewirtschaftung des Grundwassers - 2008» [1] sind die Ergebnisse dieser Studie zusammengestellt. Der Untersuchungszeitraum ist 2002 – 2005. Ein zentraler Bestandteil der Untersuchungen bestand in der Erfassung und Wiedergabe der Strömungsverhältnisse mit einem numerischen Grundwassermodell. Im Bericht sind die daraus gewonnenen Erkenntnisse präsentiert. Kapitel 2 des oben genannten Berichts [1] beschreibt die Datengrundlagen und -beschaffung, das Messstellennetz, das Grundwassermodell und die Kalibrierung des Modells. Die hydrogeologischen Verhältnisse (Niederschlag, Verdunstung, Abfluss, Grundwasserstand) im Untersuchungszeitraum, die geologischen Verhältnisse sowie das Grundwasservorkommen im Wasseramt werden in Kapitel 3, 4 bzw. 5 behandelt. Auf die Randbedingungen, die den Grundwasserhaushalt beeinflussten, wird in Kapitel 6 (Grundwasserneubildung durch Niederschlag), 7 (Oberflächengewässer), 8 (Drainagen und permanente Grundwasserabsenkungen) und 9 (Trinkwasser- und Brauchwassernutzungen) eingegangen. Kapitel 10 behandelt die aus der Modellierung resultierende Grundwasserbilanz und Kapitel 11 die Grundwasserspiegelschwankungen im Modellgebiet. Mit dem erstellten Grundwassermodell wurden verschiedene Bewirtschaftungsszenarien untersucht und in Kapitel 12 beschrieben. Schliesslich wird in Kapitel 13 auf die Grundwasserbeschaffenheit eingegangen. Schlussfolgerungen und Ausblick in Kapitel 14 fasst die Ergebnisse der Studie zusammen.

Das erstellte, zweidimensionale Finite Element Modell wurde nicht nur im Rahmen der oben erwähnten Studie verwendet, sondern in der Zwischenzeit auch für andere Fragestellungen eingesetzt, insbesondere im Zusammenhang mit dem Projekt «Hochwasserschutz- und Revitalisierung Emme» [2][3][4].

TKC 19.011 1/47

## 1.2 Auftragsbeschreibung

Der Auftraggeber, das Amt für Umwelt des Kantons Solothurn, sieht im Rahmen dieses Auftrags vor, das in Kapitel 1.1 beschriebene Grundwassermodell von 2008 aufgrund folgender Punkte zu aktualisieren:

- Das Modell wurde mit der Software SPRING Version 3.3 erstellt. SPRING wurde seit der Modellerstellung laufend erneuert und liegt mittlerweile als Version 4.2 vor (Kapitel 2.10.1).
- Der Betrieb des Pumpwerks Rüttifeld wurde im Jahr 2005 eingestellt und im Gegenzug die Entnahme beim PW Dörnischlag (Luterbach) und PW Aarmatt (Zuchwil) erhöht (Kapitel 2.9).
- Die Betriebsschliessung von Borregaard in Luterbach im Jahr 2008 führte zu einem starken Anstieg des Grundwasserspiegels (Kapitel 2.9).
- Der Betrieb des Pumpwerks Subingen wurde im Jahr 2008 eingestellt und im Gegenzug die Entnahme beim PW Ruchacker (Luterbach) erhöht (Kapitel 2.9).
- Neue Bohrungen im Rahmen von Grundwassereinbauten und Wärmenutzungen liefern neue Erkenntnisse über die Durchlässigkeiten, den Grundwasserspiegel, Grundwasserstauer und neue Entnahmen (Kapitel 2.2 2.5, 2.9).
- Die Wasserspiegel der Aare und Emme wurden bei der Modellerstellung vereinfacht berechnet. Die Berechnung der Wasserspiegel soll nun mit 1d-Aflussmodellen für die beiden Gewässer erfolgen (Kapitel 2.7, 2.10.2, 4.3).
- Zwei Kanäle/Drainagen in Luterbach sind bei der Modellerstellung nicht oder bis jetzt nicht berücksichtigt worden. Diese sollen ins Modell integriert werden (Kapitel 2.8, 3).
- Es gibt neue Berichte von Schutzzonenüberarbeitungen, die bei der Modellierung berücksichtigt werden sollen (Kapitel 2.2).
- Berücksichtigung der Modellerweiterung im Bereich Biberist, die im Rahmen des Projekts «Hochwasserschutz- und Revitalisierung Emme» erforderlich war [2][3][4] (Kapitel 2.1, 3).

Die oben genannten Punkte erfordern eine Neukalibrierung des bestehenden Grundwassermodells sowie die Neuberechnung der Zuströmbereiche zu den Grundwasserfassungen. Der Untersuchungszeitraum ist 2010 – 2013. Bei der Kalibrierung sollen neben den aktuellen Messreihen und Einzelmessungen des Grundwasserspiegels (Einbauten und Wärmenutzung) auch die Messdaten des Grundwasserspiegels, die Abfluss- und Wasserspegelmessungen bei den Gewässern sowie alle übrigen Grundlagen berücksichtigt werden, die im Rahmen der hydrogeologischen Studie erhoben wurden.

Da die Datengrundlagen und die Modellerstellung ausführlich im vorangehenden Bericht [1] beschrieben sind, wird im vorliegenden Bericht hauptsächlich auf die neuen Datengrundlagen (Kapitel 2) und die Modellanpassungen (Kapitel 3) eingegangen. Zudem werden die Ergebnisse des aktualisierten Grundwassermodells mit den Ergebnissen des Modells von 2008 verglichen. Dies betrifft insbesondere die Randbedingungen (Kapitel 4), die kalibrierten k-Werte (Kapitel 5.2), die Grundwasserspiegel (Kapitel 5.3), die Bilanzmengen (Kapitel 6), die Zuströmbereiche der Grundwasserfassungen (Kapitel 7) sowie die Grundwasserspiegelschwankungen (Kapitel 8). Die Kapitel im vorliegenden Bericht werden etwas anders gegliedert als im Bericht der hydrogeologischen Studie [1].

TKC 19.011 2/47

## 1.3 Auftragsvergabe und Leistungen gemäss Offerte

Insgesamt kam es zu einem Hauptauftrag und zwei Zusatzaufträgen an die TK CONSULT AG. Die einzelnen Leistungen gemäss Offerten sind im Folgenden aufgelistet.

## 1.3.1 Hauptauftrag (21.11.2013)

- Zusammenstellung der neuen Erkenntnisse, Messdaten, Pumpmengen
- Umstellung von der ursprünglich verwendeten Spring-Modellversion 3.4 auf 4.1. (Behandlung der Vorfluter wurde wesentlich verbessert)
- Instationäre Berechnung der Wasserspiegel von Emme und Aare mit Basement, Generierung der instationären Randbedingungen für das Grundwassermodell (Tagesmittel)
- Kalibrierung und Validierung mit Daten 2010-2013
- 3 Besprechungen
- Bericht mit Planbeilagen

#### 1.3.2 Zusatzauftrag 1 (25.04.2014)

- Einbauten-Archiv: Durchsicht von Berichten, Planbeilagen und Bohrprofilen (Periode 2004 2013) sowie kopieren von wichtigen Informationen.
- Wärmenutzung-Archiv: Durchsicht von Berichten, Planbeilagen und Bohrprofilen (Periode 2004 2013) sowie kopieren von wichtigen Informationen.
- Schutzzonenüberarbeitung: Durchsicht von Berichten und Planbeilagen sowie kopieren von wichtigen Informationen.
- Durchsicht von weiteren Berichten (Borregaard, Böhringer, ...).
- Kontaktaufnahme mit AWA Bern (Rolf Tschumper) und Abstimmung der beiden Grundwassermodelle sowie Beschaffung von Grundwasserdaten des AWA.

## 1.3.3 Zusatzauftrag 2 (26.01.2015)

- Vergleich des Zustandes mit und ohne Pumpbetrieb (Subingen, Rüttifeld, und Borregaard sind jetzt ausser Betrieb).
- Vergleich insbesondere mit Kapitel 9/10/11 des Berichtes [1].
- Neuberechnung der Zuströmbereiche der Grundwasserbrunnen.
- Abstimmung mit Kanton Bern bezüglich Resultate der Modellierung.

TKC 19.011 3/47

## 2 Grundlagen

## 2.1 Berichte Grundwassermodellierung

Die wichtigste Grundlage bildet der Bericht zur hydrogeologischen Studie. Alle in diesem vorangehenden Bericht genannten Grundlagen werden nicht nochmals aufgelistet.

[1] Hydrogeologie Wasseramt – Grundlagen für Schutz und Bewirtschaftung des Grundwassers, Kanton Solothurn, Amt für Umwelt, 2008.

Die folgenden Berichte wurden im Rahmen des Projekts «Hochwasserschutz und Revitalisierung Emme» erstellt:

- [2] Hochwasserschutz und Revitalisierung Emme Wehr Biberist bis Aare Vorstudie Einfluss auf das Grundwasser, TK CONSULT AG, Oktober 2011.
- [3] Hochwasserschutz und Revitalisierung Emme Wehr Biberist bis Aare Hydrogeologische Analyse Emme-Hochwasser vom 1. Juni 2013, TK CONSULT AG, Mai 2014.
- [4] Hochwasserschutz und Revitalisierung Emme Wehr Biberist bis Aare Fachbericht Hydrogeologie Bauprojekt, TK CONSULT AG & INGE M<sup>E</sup>, FRIEDLIPARTNER AG, August 2014.

Aus der Studie im Zusammenhang mit dem Emme-Hochwasser vom 1. Juni 2013 [3] wurde folgende, für die Modellaktualisierung wichtige Erkenntnis gewonnen und wird deshalb an dieser Stelle erwähnt: Der Einfluss des Emme-Hochwassers wurde mit dem Modell für alle Limnigraphenstandorte im Modellgebiet analysiert. In Abbildung 1 wird die Korrelation zwischen Grundwasserspiegel und Emme-Wasserspiegel sowie einer Wellenausbreitung im Grundwasser mit einem hypothetischen Modell gezeigt. Daraus ist ersichtlich, dass sich der Einfluss der Emme auf einen Nahbereich beschränkt und sich nicht im Grundwasser ausbreitet. Die Korrelation zwischen Emme-Wasserstand und Grundwasserspiegel ist nur an einer einzigen Messstelle 100 m von der Emme entfernt höher als 0.5. Weiter entfernte Messstellen sind nicht korreliert, d.h. dass das Hochwasser der Emme keinen Einfluss auf entferntere Pegel hat.

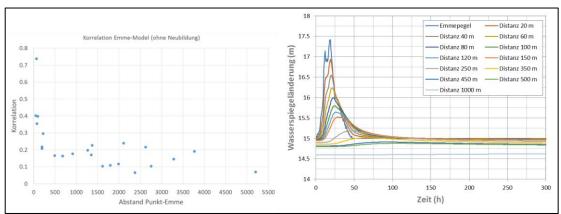


Abbildung 1. Links: Korrelation zwischen Wasserspiegel der Emme und dem Grundwasserspiegel. Rechts: Wellenausbreitung im Grundwasser unter hypothetischen Annahmen [3].

TKC 19.011 4/47

## 2.2 Hydrogeologische Grundlagen

Neben den im vorangehenden Bericht [1] erwähnten hydrogeologischen Grundlagen stehen neu folgende Grundlagen zur Verfügung:

## 2.2.1 Grundwasserwärmenutzung (Archiv SO)

[5] Hydrogeologische Berichte, Messungen Grundwasserspiegel, Bohrprofile und Pumpversuchsauswertungen im Zusammenhang mit Wärmenutzungen aus folgenden Archivnummern (Zeitraum 2004 – 2013):

Archivnr.	Bezeichnung	Archivnr.	Bezeichnung
352.001.008	Seminarhotel Ramada, Solothurn	352.048.001	Urben+Kyburtz AG, Etziken
352.006.002	Justizvollzugsanstalt Schachen, Deitingen/Flumenthal	352.049.003	Alters- und Pflegeheim Am Bach, Gerlafingen
352.006.003	Justizvollzugsanstalt Schachen, Deitingen/Flumenthal	352.049.004	Graphis Bau- + Wohngenossenschaft, Gerlafingen
352.015.002	ISD Attisholz, Flumenthal	352.058.008	Roth AG, Obergerlafingen
352.043.008	Überbauung Grüttmatt, Biberist	352.064.008	Rechenzentrum Scintilla AG, Zuchwil
352.047.008	Vogt-Schild Druck AG, Derendingen	352.064.009	Synthes-Neubau, Zuchwil
352.047.010	Überbauung Luzernstrasse 12/12a, Derendingen		

Tabelle 1: Grundlagen im Zusammenhang mit Wärmenutzungen

Auf die k-Werte aus den Pumpversuchen, die Grundwasserspiegel sowie die neuen Erkenntnisse über den Grundwasserstauer wird in den Kapiteln 2.3, 2.4 und 2.5 eingegangen.

## 2.2.2 Grundwassereinbauten (Archiv SO)

[6] Hydrogeologische Berichte, Messungen Grundwasserspiegel, Bohrprofile und Pumpversuchsauswertungen und Erfassungsblätter im Zusammenhang mit Grundwassereinbauten aus folgenden Archivnummern (Zeitraum 2004 – 2013):

Solothurn	Flumenthal	Gerlafingen	Zuchwil
353.001.045	353.006.004	353.049.043	353.064.028
353.001.046	Biberist	353.049.051	353.064.029
353.001.047	353.043.048	353.049.054	353.064.031
353.001.052	353.043.049	353.049.055	353.064.035
353.001.057	353.043.053	353.049.056	353.064.038
353.001.061	353.043.056	353.049.058	353.064.039
353.001.072	353.043.064	353.049.059	353.064.043
353.001.076	Deitingen	Horriwil	353.064.050
353.001.083	353.046.011	353.053.009	Emme-Projekt
353.001.084	353.046.016	353.053.012	353.201.005
353.001.087	353.046.022	Luterbach	
353.001.103	353.046.028	353.057.014	
353.001.107	353.046.029	353.057.015	
353.001.110	Derendingen	353.057.025	
353.001.115	353.047.015	Obergerlafingen	
353.001.116	353.047.020	353.058.010	
353.001.123	353.047.021	Oekingen	
353.001.126	353.047.025	353.059.004	
	353.047.027		<del></del>

Tabelle 2: Grundlagen im Zusammenhang mit Grundwassereinbauten

Auf die k-Werte aus den Pumpversuchen, die Grundwasserspiegel sowie die neuen Erkenntnisse über den Grundwasserstauer wird in den Kapiteln 2.3, 2.4 und 2.5 eingegangen.

TKC 19.011 5/47

#### 2.2.3 Schutzzonenüberarbeitungen (Archiv SO)

- [7] Geotechnisches Institut: Schweizerische Bundesbahnen, Bahn 2000, NBS Mattstetten-Rothrist, TA 2.1 Wasseramt, Hydrogeologische Untersuchungen in der Grundwasserschutzzone des Pumpwerks **Erlenmoos**, Mai 1999.
- [8] Wanner AG: Grundwasserpumpwerk **Erlenmoos**, Recherswil, Grundlagen und Vorgehen bei der Revision der Schutzzonen, Februar 2000.
- [9] Dr. H. Kruysse: Überprüfung der Grundwasserschutzzone für das **Pumpwerk XI**, Hydrogeologischer Bericht, Februar 2003.
- [10] Wanner AG: Schutzzone **Widlibrunnen** in Horriwil der Brunnengemeinschaft Subingen-Deitingen, Hydrogeologischer Schutzzonenbericht, März 2007.
- [11] Kellerhals + Haefeli AG: Wasserversorgung Wangen a. d. Aare, Quell- und Grundwasserfassungen **Mürgelen**, Schutzzonenüberprüfung, Februar 2009.
- [12] Wanner AG: Schutzzone PW **Dörnischlag**, Gemeinde Luterbach und Deitingen, Hydrogeologischer Schutzzonenbericht, Oktober 2009.
- [13] Wanner AG: Überprüfung Schutzzonen Grundwasserpumpwerk «Chilchacker» (Lerchenfeld), Hydrogeologischer Bericht, Januar 2012 (Vorprüfungsexemplar).
- [14] Werner + Partner AG: Grundwasserfassung Ruchacker (Gemeinde Derendingen und Luterbach), Schutzzonenüberarbeitung, Hydrogeologischer Schutzzonenbericht, Februar 2014.

#### 2.2.4 Daten Kanton Bern

- [15] Grundlagen für die siedlungswasserwirtschaftliche Planung des Kantons Bern, Hydrologie Emmental, Teil III: Unteres Emmental, Wasser- und Energiewirtschaftsamt Kanton Bern, 1981.
- [16] Grundlagen für die siedlungswasserwirtschaftliche Planung des Kantons Bern, Hydrologie Emmental, Teil IV: Modellstudie zur Bestimmung des Grundwasserdargebots im Testgebiet Emmental, Wasser- und Energiewirtschaftsamt Kanton Bern, 1983.
- [17] Nachführung der Grundwasserkarte, Pilotprojekt Unteres Emmental, Amt für Wasser und Abfall Kanton Bern, 2012.

Auf die neuen Erkenntnisse über den Grundwasserstauer im Kanton Bern [17] wird in Kapitel 2.5 eingegangen. Zudem werden in Kapitel 6 die Angaben über die Bilanzmengen, die in den obenstehenden Berichten gemacht werden, mit dem neu kalibrierten Modell verglichen.

TKC 19.011 6/47

## 2.3 Durchlässigkeiten

Aus der hydrogeologischen Studie [1] stehen an 60 Standorten gemessene k-Werte aus Pumpund Flowmeterversuchen zur Verfügung. Der mittlere k-Wert beträgt  $1.4\cdot10^{-3}$  m/s. Im Zeitraum 2004 – 2013 [5] [6] sind 25 weitere Pumpversuche durchgeführt worden (siehe Tabelle 3). Der mittlere k-Wert der neuen Untersuchungen liegt bei  $1.6\cdot10^{-3}$  m/s.

Insgesamt stehen 85 k-Werte-Messungen zur Verfügung, welche mit den kalibrierten k-Werten in Kapitel 5.2 verglichen werden. Die Standorte können Abbildung 3 entnommen werden. Die Grösse der Kreise ist nach der Grösse des k-Werts skaliert. Das Histogramm aller gemessenen k-Werte (Abbildung 2) macht deutlich, dass im Modellgebiet auch sehr grosse Durchlässigkeiten von  $>1.0\cdot10^{-2}$  m/s vorhanden sind.

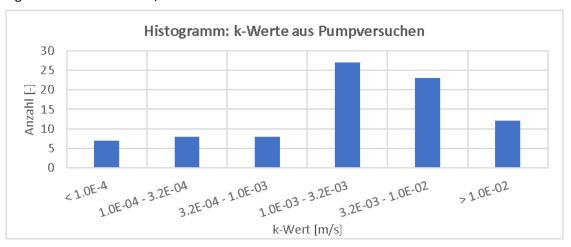


Abbildung 2: Histogramm aller gemessenen k-Werte im Modellgebiet

ID	VEGAS	Archiv-Nr.	Х	Υ	k-Wert
A-001		352.001.008	607815.000	228320.000	3.00E-03
A-046	613'230'004	352.006.002/3 / 353.006.004	613285.000	230695.000	9.00E-04
A-048		352.015.002	610983.000	230778.000	5.50E-03
A-049	610'224'061	352.043.008 / 353.043.048/9	610155.000	224970.000	1.00E-02
A-054	609'225'055	353.043.053	609398.000	225529.000	6.40E-04
A-056	609'225'057	353.043.053	609464.000	225540.000	3.90E-04
A-057	609'225'058	353.043.056	609390.000	225360.000	4.90E-04
A-061	613'230'030	353.046.011	613640.000	230790.000	4.00E-03
A-062	613'230'031	353.046.011	613630.000	230870.000	1.50E-04
A-064		353.046.022	613743.000	229092.000	1.90E-02
A-065		353.046.022	613663.000	229115.000	2.80E-03
A-069		352.047.008	612202.000	227336.000	1.10E-02
A-072		352.047.008	612196.000	227336.000	2.00E-02
A-073	610'227'022	352.047.010 / 353.047.027	610943.000	227683.000	2.30E-04
A-078	612'227'017	353.047.021	612195.000	227225.000	4.60E-03
A-079	611'227'047	353.047.025	611967.000	227430.000	1.40E-02
A-080	612'227'018	353.047.025	612020.000	227383.000	1.70E-03
A-083		352.048.001	614998.000	226639.000	2.60E-04
A-084	610'224'063	352.049.003 / 353.049.054	610110.000	224137.000	6.00E-03
A-085	610'224'070	352.049.004 / 353.049.056	610125.000	224690.000	1.50E-03
A-092	609'224'047	353.049.058	609955.000	224040.000	4.00E-04
A-093	609'223'012	353.049.059	609882.000	223985.000	3.00E-03
A-095	613'226'037	353.053.012	613570.000	226022.000	1.00E-05
A-106	611'224'024	352.058.008 / 353.058.010	611165.000	224560.000	3.50E-03
A-109	608'228'138	352.064.008 / 353.064.035	608933.000	228475.000	4.00E-04

Tabelle 3: Neue k-Werte aus Pumpversuchen

TKC 19.011 7/47

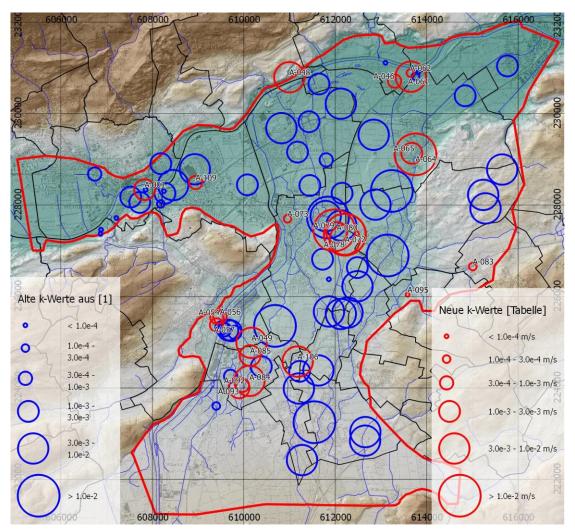


Abbildung 3: Neue k-Werte aus Pumpversuchen

## 2.4 Grundwasserspiegel

- [18] Messdaten der amtlichen Limnigraphen, Amt für Umwelt Kanton Solothurn.
- [19] Messdaten der Limnigraphen G131, G152, G153 und G208, Amt für Wasser und Abfall Kanton Bern.

Tabelle 4 fasst die vorhandenen Messstellen zusammen. Abbildung 4 zeigt alle Messstellen in einem Situationsplan. Während der Messkampagne 2004/05 (zwei Stichtagsmessungen) im Rahmen der hydrogeologischen Studie [1] wurden bei insgesamt 160 Standorten der Grundwasserspiegel aufgezeichnet. Zudem standen von 25 Limnigraphen kontinuierliche Aufzeichnungen des Grundwasserspiegels zur Verfügung.

Für die neue Kalibrierungsperiode 2010 – 2013 stehen von 28 Limnigraphen Grundwasserdaten zur Verfügung. Sechs Standorte fallen weg (Li Fassung RKO, Li Gerlafingen, Li Waldhaus, KB 04/3, RB 05/4 und RB 05/1) und neun, mehrheitlich im Zusammenhang mit dem Emme-Projekt [2] [3] [4] stehenden Standorte im Bereich Zuchwil, Luterbach und Derendingen kommen dazu (Li Widiwald, Li 102, GP 18, GP 20, GP 21, GP 23, GP 26, GP 27, GP 28). Bei drei Standorten in Luterbach wurden zudem periodische Handmessungen durchgeführt.

TKC 19.011 8/47

Aus der Archivarbeit beim AfU Kanton Solothurn [5] [6] stehen an 118 neuen Standorten Messungen des Grundwasserspiegels zur Verfügung. Die neuen Standorte konzentrieren sich auf die Gemeinden Solothurn, Zuchwil, Luterbach, Derendingen, Gerlafingen und Biberist. Pro Standort sind 1 – 5 Handmessungen mit Messdatum vorhanden. Alle neuen Messstellen werden im Modellnetz berücksichtigt.

Maccout	2002 - Aug 2005	Sep 2005 - 2009	2010 - 2013	
Messart	alte Kalibrierung [1]	nicht modelliert	neue Kalibrierung	
Limnigraph	25	22	28	
Periodische Handmessungen	1	0	3	
Einzelmessungen (Archiv AfU SO)	24	23	76	
Einzelmessungen (Messkampagne 2004/05)	160	0	0	

Tabelle 4: Anzahl Messstellen pro Messart und Periode

Obwohl viele Messstellen während der neuen Kalibrierungsperiode 2010 – 2013 nicht beobachtet wurden, ist es dennoch von zentraler Bedeutung, diese bei der Kalibrierung ebenfalls zu berücksichtigen. Darauf wird in Kapitel 5.1 detailliert eingegangen. Alle alten und aktuellen Messstellen sind ebenfalls in Beilage 1 dargestellt.

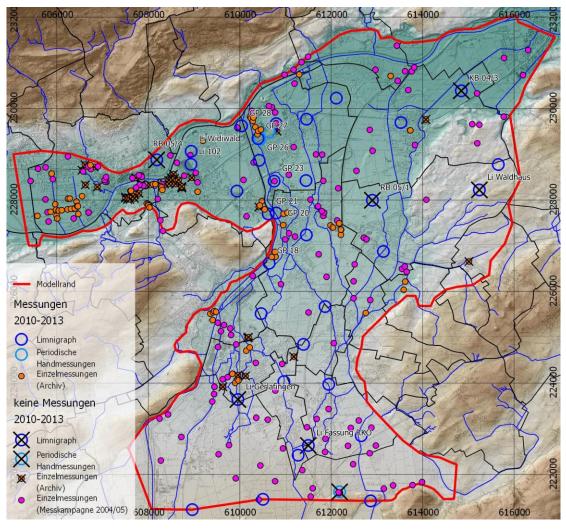


Abbildung 4: Messstellen des Grundwasserspiegels

TKC 19.011 9/47

#### 2.5 Grundwasserstauer

Aus der Archivarbeit beim AfU Kanton Solothurn [5] [6] stehen an 15 neuen Standorten Messungen des Grundwasserstauers zur Verfügung. Zudem können die Stauerdaten aus der Studie «Pilotprojekt Unteres Emmental» [17] für die Aktualisierung des Grundwasserstauers im Modell verwendet werden. Wie aus Abbildung 5 hervorgeht, treten vor allem im südlichen Bereich des Modellgebiets grössere Differenzen zwischen dem neuen und alten Stauer auf. Bei Wiler liegt der Stauer einige Meter tiefer als bisher angenommen. Westlich von Willadingen hingegen zeigen die Daten vom Kanton Bern, dass der Stauer höher liegt.

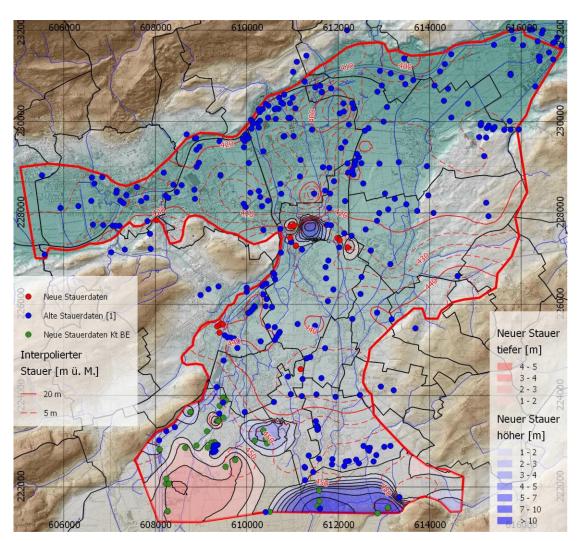


Abbildung 5: Messstellen des Grundwasserstauers und Differenz zum alten Stauer

### 2.6 Meteodaten

[20] Niederschlagsmesswerte Messstelle Koppingen (2010 – 2013). MeteoSchweiz.

Auf die Berechnung der Verdunstung und der Neubildung sowie auf die hydrologischen Verhältnisse im Untersuchungszeitraum wird in Kapitel 4.1 eingegangen.

TKC 19.011 10/47

## 2.7 Daten der Oberflächengewässer

- [21] Querprofildatensatz Aare und Emme. BAFU, 2008.
- [22] Abflusswerte Station Aare Brügg, Aegerten (2010 2013), BAFU.
- [23] Abflusswerte Station Emme Wiler, Limpachmündung, BAFU.

Zudem stehen die Abfluss- und Wasserstandsmessungen an diversen Gewässern im Wasseramt aus [1] zur Verfügung. Auf die Oberflächengewässer wird in Kapitel 4.3 (Randbedingungen) sowie in Kapitel 5.4 (Ergebnisse Modellierung) detailliert eingegangen.

## 2.8 Kanäle und Drainagen

Folgende zwei Objekte waren beim Modellaufbau [1] nicht oder nur teilweise bekannt und werden bei der Modellüberarbeitung berücksichtigt:

#### **ZASE-Abwasserkanal**

Während der Untersuchung des Einflusses des Hochwassers vom 1. Juni 2013 [3] auf den Grundwasserträger zeigte sich, dass der neuerstellte Limnigraph GP27 eine ungewöhnlich rasche Reaktion auf das Hochwasserereignis zeigte. Nachforschungen zeigten dann, dass das Kiesbett des ZASE-Kanal als Hauptzubringer zur Kläranlage einen präferentiellen Fliesspfad direkt von der Emmedükerung in Richtung PW XI darstellt. Dies wurde schon in [7] festgehalten. Zitat: «Bei der Überprüfung der vorliegenden Schutzzone wurde klar, dass zwei bestehende Anlagen die Grösse der künftigen Teilzone S2 massgebend einschränken: a) Die Zuchwilstrasse mit der, an ihrem Rand in 5 bis 6 m Tiefe (also teilweise unter den Grundwasserspiegel) 1974/75 verlegten, Kanalisationsleitung Ø 1200 mm der Einwohnergemeinde Luterbach.» Im Bericht wird empfohlen, diesen Problembereich zu sanieren. Es war daher naheliegend, im Modell diese Leitung mit einer höheren Durchlässigkeit zu berücksichtigen. Bei allen anderen Kanalisationen stellt sich dieses Problem natürlich nicht.

#### Drainage des Kraftwerks Flumenthal (Alpiq)

Im Modell war eine während des Baus des Kraftwerkes Flumenthal erstellte Drainageleitung eingebaut. Die Lage wurde von der Gewässerkarte des Kantons übernommen, sie ist in Beilage 3 in [1] ersichtlich. Leider zeigte sich erst nach Abschluss der Modellierungen, dass die Drainage, gemäss Information des AfU, eine Verlängerung Richtung Emme aufweist. Nach wie vor unbekannt ist die drainierte Wassermenge, sie wäre für eine Kalibrierung wesentlich.

In Kapitel 3 (Anpassung Modellnetz) und Kapitel 0 (Ergebnisse Modellierung) wird auf den ZASE-Kanal und die Drainage des Kraftwerks eingegangen.

### 2.9 Trink- und Brauchwassernutzung

Im Bericht zur hydrogeologischen Studie zeigt Anhang 3.1/2 [1] eine Liste der Grundwassernutzer im Wasseramt. Es fehlen die Nutzungen auf Berner Kantonsgebiet. Analog zu dieser Liste zeigt Tabelle 5 die Grundwassernutzung im Zeitraum 2010 – 2013 sowie ein Vergleich zur Periode der hydrogeologischen Studie 2002 – 2004. Die Tabelle ist sortiert nach Verwendung, Entnahmeart und Konzessionär. Wie bereits in der Einleitung erwähnt, wurde unterdessen der

TKC 19.011 11/47

Betrieb vom PW Rüttifeld (Mittl. Entnahme: 29 l/s), PW Subingen (Mittl. Entnahme: 42 l/s) und die Entnahme bei den vier Fassungen von Borregaard (Mittl. Entnahme: 230 l/s) eingestellt. Als Kompensation für die zwei öffentlichen Pumpwerke resultiert eine erhöhte Entnahmemenge beim PW Dörnischlag (+ 30 l/s) und PW Ruchacker (+ 36 l/s). Neu dazugekommen sind die Wärmenutzungen (GWP). Die grössten zwei Nutzer sind das Hotel Ramada mit einer eigenen Entnahme und die Synthes, die das Pumpwerk Rötiquai nutzen. Alle hier aufgelisteten GWPs leiten das Wasser in die Vorflut. Wärmenutzungen mit einer Rückgabe werden bei der Modellierung nicht berücksichtigt, da sie keinen Einfluss auf die Grundwasserbilanz haben.

Neben den öffentlichen Pumpwerken, den GWPs und der Papierfabrik Utzenstorf stehen keine neuen Entnahmedaten zur Verfügung. Deshalb werden die stationären Werte von 2002 – 2004 bei der Modellierung übernommen.

Auf dem gesamten Modelgebiet beläuft sich die mittlere Entnahme auf 780 l/s (25 Mio. m³/a). Davon fallen 71 % auf Solothurner Konzessionäre.

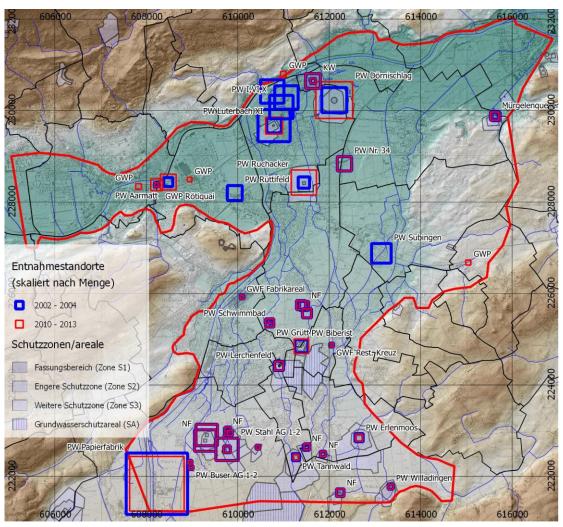


Abbildung 6: Entnahmestandorte

TKC 19.011 12/47

						ı			1								
m,									[s]	<u>[5]</u>							
10-1		när														Entn. 2002 - 2004 [1/s]	3 [1/
1/20									- 20	201							
Vergleich 2002-04/2010-13		ssior							200	10 -							
200	Bur	nte	art						n. 20	n 20							
eich	npue	n Ko	hme						Ent	Ent							
ergle	Verwendung	Kanton Kontessionär	Entnahmeart					ļ.,	Mittl.	Mittl. Entn 2010 - 2013 [1/s]							
>	>	ž	ū	Name PW Dörnischlag	Konzessionär	VEGAS/WEA 612'230'001	X 612097	Y 230212	<u>≥</u> 55.9	≥ 86.7							
			(1	PW Aarmatt	Regio Energie Solothurn	608'228'002	608465	228420	13.7	31.6							
			Pumwerk (PW) (Horizontal/Vertikal)	PW Luterbach XI, Teil TW	ZV GrWV Unt. Leberberg	610'229'003	610780	229655	28.6	34.6							
			rk (P I/Ve	PW Ruchacker	EW Derendingen	611'228'001	611432	228410	19.8	56.2							
			Pumwerk (PW) vrizontal/Vertik	PW Biberist	Einwohnergemeinde Biberist	611'224'003	611378	224828	24.0	27.9							
			Pur orizo	PW Lerchenfeld	Einwohnergemeinde Gerlafingen	610'224'001	610888	224400	14.3	13.4							
			Ξ	PW Erlenmoos	Städtische Werke Grenchen	612'222'001	612640	222830	11.6	8.9							
		SO		PW Tannwald	Städtische Werke Grenchen	611'222'003	611260		8.7	5.3							
	(vE			NF Hölzli 1	Brunnengenossenschaft Bocherswill Kringstotten Ookingen	611'222'001	611483	222617	5.6	5.6							
	sser		g (N	NF Hölzli 2 NF Unterholz	Recherswil-Kriegstetten-Oekingen	611'222'002 611'222'004	611500 611850	222632	5.6 4.4	5.6 4.4							
	Trinkwasser (TW)		ssun	NF Brunnengen. Rabizoni	Brunnengen. Unterholz, Recherswil Brunnengen. Rabizoni Rabizoni	612'221'003	612228	221627	10.0	10.0							
	Trin		Niederdruckfassung (NF)	NF Gerlafingen-Biberist 1	Drumengen. Nubizoni Nubizoni	609'222'014	609761	222999	3.7	3.7							
			rdru	NF Gerlafingen-Biberist 2	Brunnengenossenschaft	609'222'076		222932	3.7	3.7							
			iede	NF Gerlafingen-Biberist 3	Gerlafingen-Biberist	609'223'034	609763	223006	3.7	3.7							
			Z	NF Gerlafingen-Biberist 4		609'222'075	609813	222933	3.7	3.7							
			PW	PW Zielebach	EG Zielebach	610'222'009	610427	222622	0.4	0.4							
ť				PW Willadingen	GV Willadingen WV	613'221'001	613332	221759	3.6	3.6							
inde		BE		Mürgelenquellen 1		615'229'001	615620	229876		11.7							
Unverändert			Quelle	Mürgelenquellen 2	WV Gde. Wangen a.A.	615'229'002	615639	229852 229863	11.7 11.7	11.7 11.7							
ן בֿ				Mürgelenquellen 3 NF Eichholz 1		615'229'015 611'225'010	615605	225710		13.9							
	TW ungenutzt	SO	NF	NF Eichholz 2	EW Derendingen	011223010		225730		13.9							
				NF Eichholz 3			611500	225550	13.9	13.9							
		so	PW	PW Rötiquai	Regio Energie Solothurn	608'228'001	608210	228360	0.5	0.5							
				GWF KW Flumenthal	Atel Hydro AG, 4618 Boningen	611'230'002	611630	230630	28.8	28.8							
				GWF Wylihöferfeld	Wylihof Golf A.G., Luterbach	611'230'002	611630	230630	3.4	3.4							
				PW Nr. 34 (Wasserhaltung)	Kanton Solothurn	612'228'001	612320	228820	27.8	27.8							
		0	PW	PW Schwimmbad Eichholz	Schwimmbad Eichholz,Gerlafingen	610'225'002	610707	225376 224855	0.3	0.3							
		SO		GWF Rest. Kreuz PW Grütt	Pisoni Kriegstetten AG	612'224'002 610'225'003	612040 610685	225340		11.6							
	Brauch-			GWF Fabrikareal		610'225'015	610080		0.04	0.04							
	wasser			NF M-real 1	M-real (Papierfabrik Biberist)	609'222'042		222767									
	(BW)		NF	NF M-real 2		609'222'043		222888		46.6							
				PW Papierfabrik	Papierfabrik Utzenstorf AG	608'221'002	608216	221822	151.8	133.7							
				PW Stahl AG 1	Stahl Gerlafingen AG	609'222'001	609750	222575	48.9	48.9							
		BE	PW	PW Stahl AG 2	Energieversorgung / TD	609'222'001		222575									
						PW Buser AG 1	Buser Oberflächentechnik AG	608'222'012		222175		0.4					
				PW Buser AG 2 PW Rüttifeld	Einwahnargamainda Zuchwil	608'222'081 609'228'001		222294 228180		0.1							
q	TW			PW Subingen	Einwohnergemeinde Zuchwil ZV WV äusseres Wasseramt	613'226'001		228180	41.6								
Betrieb				PW Luterbach XI, Teil BW	ZV GrWV Unt. Leberberg (BW)	610'229'003		229655									
ser B	Brauch-	SO	PW	PW X		610'230'002		230060									
Ausser	wasser BW			PW Attisholz I	Fa. Borregaard Schweiz AG	610'230'003	610740	230400	51.7								
		Ш		PW Attisholz VI		611'230'001	611050	230270	51.7								
				GWP Ramada	Seminarhotel Ramada Solothurn	607'228'172		228320		5.0							
Neu	Wärme-			GWP Rötiquai	Regio Energie Solothurn (Synthes)	608'228'001		228360		20.8							
	pumpe (GWP)		S	PW	GWP Sintilla	Rechenzentrum Sintilla AG	608'228'138	608933			2.0						
				GWP ISD Attisholz	Vigier Beton Mittelland AG	610'230'059	610983	230778		5.0							
				GWP Urban + Kyburg	Urban + Kyburg AG	615'226'035	р12030	226660		3.3							

Tabelle 5: Trink- und Brauchwassernutzung

TKC 19.011 13/47

#### 2.10 Software

## 2.10.1 SPRING, PEST

Der Aufbau des Grundwassermodells sowie sämtliche Simulationen im Rahmen der Grundwassermodellierung werden mit dem Computercode SPRING (delta-h mbH, Witten, Version 4.3, 2016) durchgeführt. Das Programm löst die stationäre oder instationäre 2d/3d-Grundwassergleichung nach der Methode der Finiten Elemente. Das Programm ermöglicht die automatische Kalibrierung eines Grundwassermodells im Zusammenspiel mit der Software PEST (http://www.pesthomepage.org/).

#### 2.10.2 Basement

Die Wasserspiegelberechnungen der Aare und Emme (Kapitel 4.3) werden mit dem Modul BASECHAIN\_1D des Simulationsprogramms Basement (VAW ETHZ, Version 2.6) durchgeführt. BASECHAIN\_1D berechnet den instationären, eindimensionalen Abfluss in Flussnetzwerken mit der vollständigen de-Saint-Venant-Gleichung auf Basis von Finiten Volumen. Die Flussäste werden mit Hilfe von Querprofilen diskretisiert. Die Rauigkeiten der Sohle sowie die Randbedingungen (z.B. Zuflussganglinien, fixer Wasserspiegel) müssen bei der Modellierung vorgegeben werden. Zwischen zwei Querprofilen kann ein lateraler Zufluss angesetzt werden.

TKC 19.011 14/47

## 3 Anpassung des Modellnetzes

Das erstellte, numerische Grundwassermodell [1] liegt als zweidimensionales Finite Elemente Netz vor. Im Rahmen des Emme-Projekts [2] [3] [4] wurde das Modellnetz im Bereich von Biberist nach Westen erweitert (Abbildung 7) und das Kiesbett als präferenziellen Fliesspfad des ZASE-Abwasserkanals (Kapitel 2.8) berücksichtigt (Abbildung 7, Netzanpassung im kleinen Ausschnitt).

Als neue Erkenntnis kommt dazu, dass die Drainage des Kraftwerks Flumenthal (Alpiq) länger ist als bei der Modellerstellung bekannt war (Kapitel 2.8). Über die vertikale Lage der Drainage liegen keine Angaben vor und wird aufgrund der umliegenden Grundwassermessstellen abgeschätzt (Abbildung 7, kleiner Ausschnitt). Als weitere Modellanpassung wird der südöstliche Bereich nicht mehr modelliert, weil hier anhand der vorliegenden Handmessung keine präzise Kalibrierung möglich ist. Neu wird hier ein Randzufluss angesetzt, um den Einfluss des abgeschnittenen Gebiets weiter zu berücksichtigen (Kapitel 4.2).

Das ganze Modellnetz umfasst 12'000 Knoten und 15'000 Elemente und deckt eine Fläche von 62.5 km² ab.

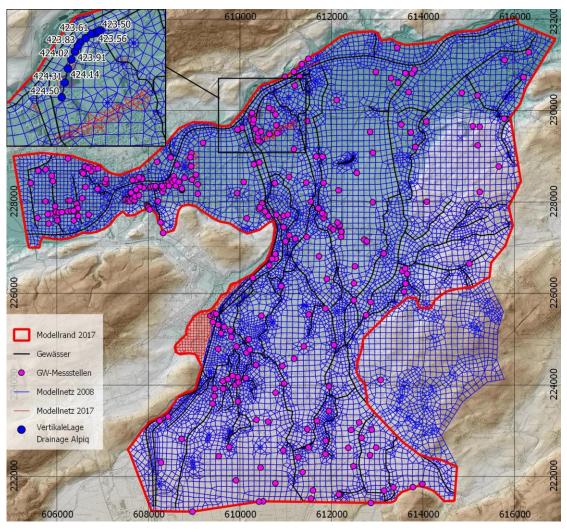


Abbildung 7: Modellnetzanpassungen

TKC 19.011 15/47

## 4 Randbedingungen

## 4.1 Direkte Grundwasserneubildung

Die direkte Grundwasserneubildung ist die Menge des Niederschlages, die über die Talsohle ins Grundwasser gelangt. Für das Grundwassermodell wird die Neubildung anhand der Niederschlagsdaten der Station Koppingen [20] über eine Bodenbilanz berechnet und anschliessend je nach Flurabstand zeitlich verschoben und ausgemittelt. Das Vorgehen ist im Bericht zur hydrogeologische Studie in Kapitel 5 beschrieben [1].

Abbildung 8 zeigt die berechneten jährlichen bzw. monatlichen Neubildungs- und Verdunstungsraten. Bei starken Regenereignissen wird ein Teil des Niederschlags als Oberflächenabfluss definiert. 2010 und 2011 waren mit 971 bzw. 860 mm Niederschlag trockener als die folgenden Jahre mit 1'110 (2012) und 1'067 mm (2013). Die Neubildung verhält sich dementsprechend ähnlich. 2012 kam es zu einer zu einer Neubildungsrate von 400 mm und war somit mehr als doppelt so gross wie 2011 mit 180 mm. Die monatlichen Werte zeigen deutlich, dass es im Wasseramt vor allem im Winterhalbjahr zu direkter Grundwasserneubildung kommt.

Die frühere Untersuchungsperiode 2002 - 2005 [1] zeigt mit einem mittleren Jahresniederschlag von 1'040 mm und einer mittleren jährlichen Neubildungsrate von 290 mm im Vergleich mit der Periode 2010 - 2013 ähnliche Werte.

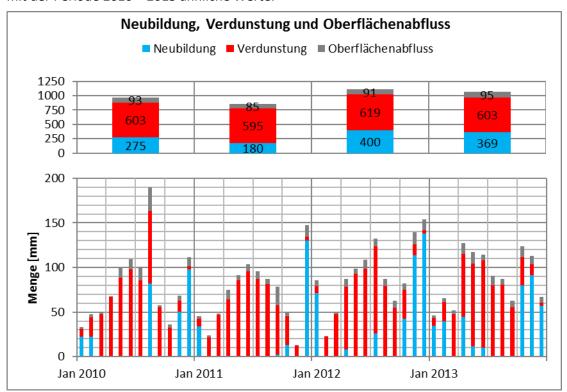


Abbildung 8: Neubildung, Verdunstung und Oberflächenabfluss (Jahres- und Monatswert)

Die täglich berechnete Sickerwassermenge kann nicht als direkte Neubildung betrachtet werden, da die Bilanz in der obersten Bodenschicht durchgeführt wird. Das Sickerwasser muss bis zum Grundwasserspiegel noch die ungesättigte Zone durchlaufen. Je nach Flurabstand erfolgt

TKC 19.011 16/47

die Neubildung verzögert und gedämpft. Aus diesem Grund wird das Modell in Flurabstandsklassen eingeteilt (Abbildung 9) und bei jeder Klasse eine andere Verzögerung für die Neubildung definiert. Um auch eine Dämpfung zu berücksichtigen, wird der Mittelwert der Sickerwassermenge über eine bestimmte Zeitdauer berechnet, die ebenfalls vom Flurabstand abhängt.

Im Bereich der Siedlungen wird die Neubildungsrate um 30 % reduziert, weil hier davon auszugehen ist, dass ein gewisser Teil des Niederschlags über die Siedlungsentwässerung abgeführt wird.

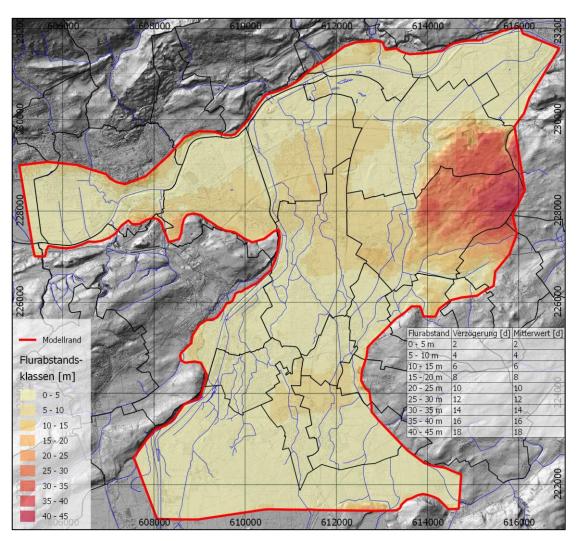


Abbildung 9: Flurabstandsklassen für Neubildungsberechnung

## 4.2 Indirekte Grundwasserneubildung

Bei der ersten Kalibrierung des Grundwassermodells wurde im Kapitel 6.2 [1] darauf hingewiesen, dass die indirekte Grundwasserneubildung (Randzuflüsse) stationär angesetzt wurde. Davon wird nicht abgewichen. Allerdings werden die Randeinzugsgebiete detaillierter untersucht und charakterisiert. Insbesondere deshalb, weil im südöstlichen Bereich der Modellrand angepasst wurde (Kapitel 3).

TKC 19.011 17/47

Abbildung 10 zeigt die Einzugsgebiete, die für den Randzufluss verantwortlich sind. Die Abschätzung des Randzuflusses (Q) pro Streckenabschnitt wird anhand der abgeschätzten Abflussspende (q) von  $10 \text{ l/s/km}^2$  (entspricht 300 mm/a), dem Einzugsgebietsfläche (A) und einem abgeschätzten Abminderungsfaktor (f), der die Besiedlung sowie den Oberflächenabfluss berücksichtigt, folgendermassen durchgeführt: Q [l/s] = q [l/s/km²] · A [km²] · f [-].

Der resultierende Randzufluss ist in Abbildung 10 sowohl in der Karte als auch in der Tabelle dargestellt bzw. aufgelistet. Der gesamte Randzufluss berechnet sich zu 175 l/s und ist damit aufgrund der Modellanpassung im südöstlichen Bereich, wo neu auch ein Randzufluss angesetzt wird, grösser als bei der ersten Modellkalibrierung (140 l/s).

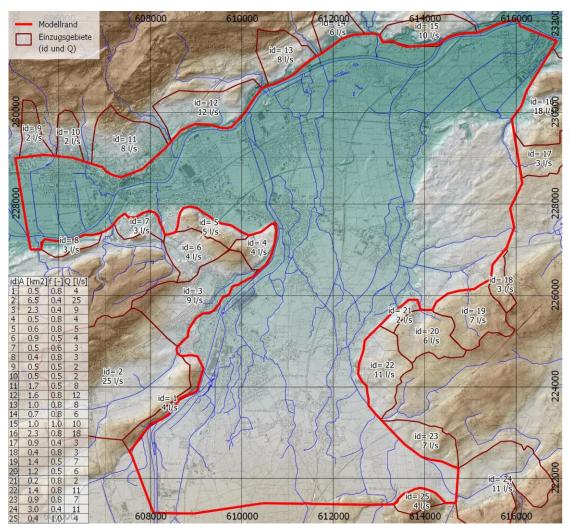


Abbildung 10: Randeinzugsgebiete zur Berechnung des Randzuflusses

TKC 19.011 18/47

## 4.3 Oberflächengewässer

Der Wasseraustausch der Flüsse ist für den Grundwasserträger von grosser Bedeutung. Je nach Wasserspiegel des Grundwassers und der Oberflächengewässer kann In- oder Exfiltration entstehen. Wegen der starken Schwankungen der Flusswasserspiegel ist es sinnvoll, sie instationär zu berechnen und als Vorflutrandbedingung des Grundwassermodells zu verwenden. Aus diesem Grund werden hydrodynamische 1d-Abflussmodelle der Aare und der Emme unter Verwendung des Programms Basement (Kapitel 2.10.2) erstellt.

#### 4.3.1 Aare

Die Morphologie der Aare ist durch 271 Querprofile [21] definiert und erstreckt sich von Brügg bis zum Kraftwerk Bannwil. Die Lage der Querprofile kann Abbildung 14 entnommen werden. Die Kraftwerke Flumenthal und Bannwil regeln den Wasserspiegel gemäss Wehrreglement als Funktion des Abflusses. Diese Regelung wurde ebenfalls berücksichtigt (Abbildung 11). Die obere Randbedingung ist der Abfluss der Messstation Aare Brügg, Aegerten [22] (Abbildung 12). Die untere Randbedingung bildet das geregelte Wehr des KW Bannwil. Der gemessene Abfluss der Emme [23] wird als lateraler Zufluss definiert. Das Resultat der Berechnung ist der instationäre Wasserspiegel der Aare für die Zeitperiode 2010 – 2013. Der Wasserspiegel ist für drei Abflusszustände in Abbildung 11 dargestellt. Bedingt durch die Regelung des KW Flumenthal schwankt der Wasserspiegel nur geringfügig. Im Falle eines Hochwassers, wenn das Wehr geöffnet werden muss, ist der Wasserspiegel zwischen Rötibrücke und Wehr tiefer als bei geringeren Abflüssen. Die berechneten Wasserspiegel werden bei der Grundwassermodellierung als instationäres Vorflutpotential angesetzt.

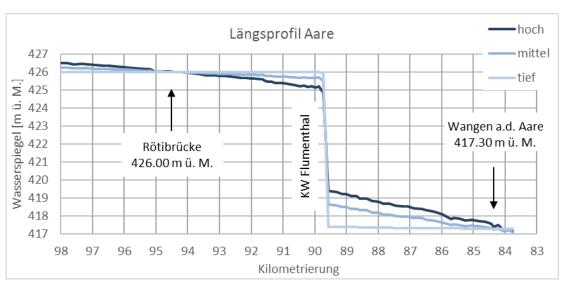


Abbildung 11: Wasserspiegel der Aare bei hohem, mittlerem und tiefem Abfluss

TKC 19.011 19/47

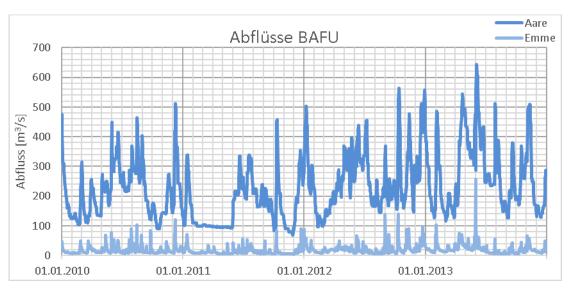


Abbildung 12: Abflüsse BAFU, Aare und Emme

#### 4.3.2 Emme

Die Morphologie der Emme ist durch 60 Querprofile [21] definiert und erstreckt sich von Bätterkinden bis zur Mündung in die Aare. Die Lage der Querprofile kann Abbildung 14 entnommen werden. Die obere Randbedingung ist der Abfluss der Messstation Emme Wiler, Limpachmündung [23] (Abbildung 12). Die untere Randbedingung bildet der berechnete Wasserspiegel der Aare. Das Resultat der Berechnung ist der instationäre Wasserspiegel der Emme für die Periode 2010 – 2013. Der Wasserspiegel ist für zwei Abflusszustände in Abbildung 13 dargestellt. Ebenfalls dargestellt ist der mittlere Wasserspiegel in einem Situationsplan in Abbildung 14. Im Vergleich zur Aare sind die Schwankungen des Wasserspiegels grösser, da die Emme nicht geregelt wird. Die berechneten Wasserspiegel werden bei der Grundwassermodellierung als instationäres Vorflutpotential angesetzt.

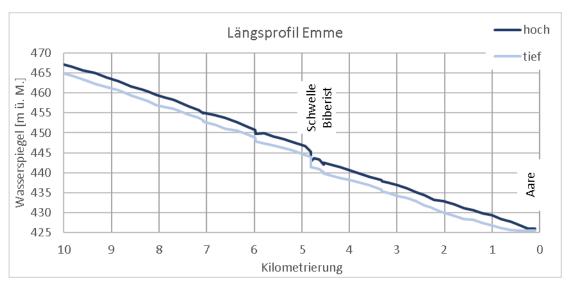


Abbildung 13: Wasserspiegel der Emme bei hohem mittlerem und tiefem Abfluss

TKC 19.011 20/47

## 4.3.3 Übrige Vorfluter

Bei den übrigen Vorflutern wird mit Ausnahme der Verlängerung der Alpiq-Drainage (Kapitel 3) keine Änderung bei den Wasserspiegellagen vorgenommen, da die Datengrundlage mit beinahe 100 Standorte mit Abstichmessungen im Rahmen der zwei Messkampagnen 2004/05 [1] sehr gut ist. Die Abstichpunkte sowie die gemessenen Abflüsse, die im Rahmen der Messkampagnen ebenfalls bestimmt wurden, sind in Abbildung 14 zusammen mit den Vorflutpotentialen im Grundwassermodell darstellt.

Neben den Oberflächengewässern und Drainagen werden auch die Grundwasserableitungen über undichte Kanäle gemäss Kapitel 8.2 in [1] sowie die Grundwasseraufstösse und Quellen (Kapitel 2.9) mit einer Leakage-Randbedingung abgebildet.

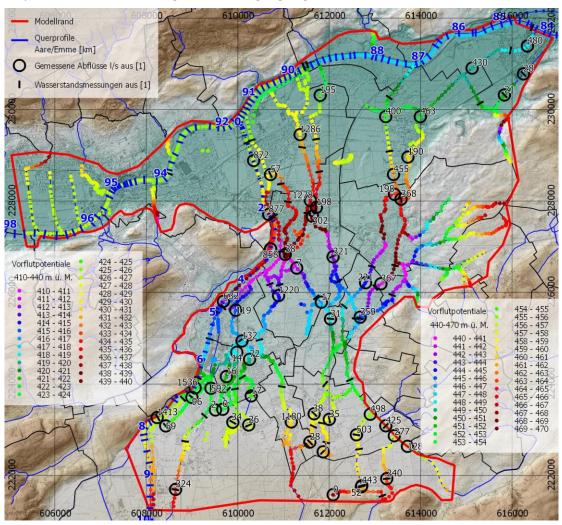


Abbildung 14: Querprofile Aare und Emme, Abfluss- und Wasserstandsmessungen, Vorflutpotentiale

TKC 19.011 21/47

## 4.4 Randpotential Süd

Wie bei der Modellerstellung [1] wird beim südlichen Modellrand ein Festpotential definiert. Die Randbedingung wird optimiert: Zwischen G131 und G208 wird bei der Interpolation des instationären Randpotentials ein Hilfspunkt eingefügt, um den erhöhten, gemessenen Grundwasserspiegel in diesem Bereich gerecht zu werden (Abbildung 15). Zudem wird neu der westliche Rand in Anlehnung an [15] als undurchlässiger Rand definiert. Früher war in diesem Bereich ein stationäres Potential angesetzt.

Abbildung 16 zeigt die gemessenen Grundwasserspiegel bei den vier Limnigraphen des Kantons Bern [19]. Deutlich zu erkennen ist die dämpfende Wirkung der Oberflächengewässer und Quellen zwischen G131 und G208. Der Grundwasserspiegel weist bei diesen Messstellen wesentlich geringere Schwankungen auf.

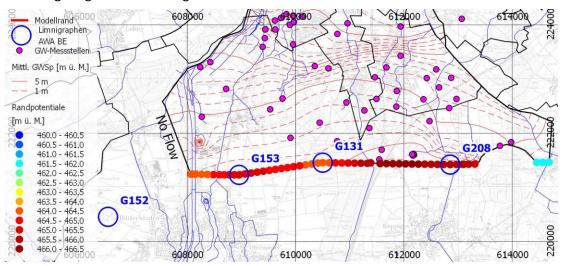


Abbildung 15: Randpotential Süd: Situation

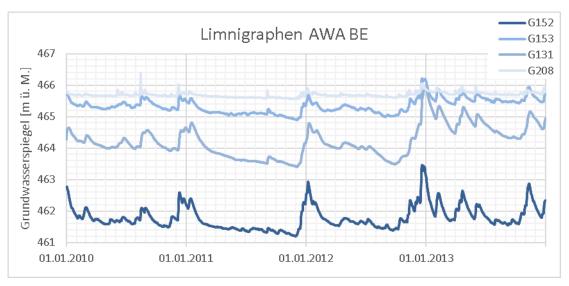


Abbildung 16: Randpotential Süd: Ganglinien

TKC 19.011 22/47

## 5 Kalibrierung des Modells

#### 5.1 Methodik

Die Kalibrierung des Grundwassermodells erfolgt nach einem automatischen (inversen) Verfahren mit SPRING im Zusammenspiel mit der Software PEST (2.10.1). Die (gewichteten) Abweichungen zwischen sämtlichen Messungen (Grundwasserspiegel (Kapitel 2.4) und In-/Exfiltrationsmengen an Gewässern (Kapitel 4.3)) und den entsprechenden, von SPRING berechneten, Modellgrössen werden in Form einer Zielfunktion aufsummiert. Anschließend werden die Modellparameter (k-Werte, Leakage-Koeffizienten an Gewässern) iterativ angepasst, bis ein Minimum der Zielfunktion erreicht ist.

Als Resultat der Kalibrierung ergeben sich schlussendlich diejenigen k-Werte und Leakage-Koeffizienten, auf deren Grundlage die Messungen bestmöglich nachvollzogen werden können. Bezüglich k-Werten werden sogenannte Pilot-Points oder Stützstellen (Abbildung 17) definiert, deren Werte optimiert werden. Zwischen diesen Stützstellen werden die k-Werte interpoliert. Die Anzahl der Stützstellen sollte die geologische Variabilität widerspiegeln, anderseits muss sie in Relation zu der Anzahl Pegelmessungen gewählt werden, um Überparametrisierung zu vermeiden.

Ein Problem bei der inversen Modellierung liegt darin, dass die Parameter auf Grundlage der ebenfalls nicht genau bekannten Randbedingungen (z.B. Neubildung oder Randzuflüsse) bestimmt werden. Deshalb müssen die ermittelten Modellparameter stets auf Plausibilität geprüft und allenfalls die Randbedingungen angepasst werden.

Wie Kapitel 2.4 erwähnt, ist der Grundwasserspiegel bei vielen Messstellen, insbesondere bei jenen der Messkampagne 2004/05, in der Periode 2010 – 2013 nicht aufgezeichnet worden. Ebenfalls gibt es eine Reihe von Messungen im Rahmen von Grundwassereinbauten, die vor 2010 datiert sind. Aus diesem Grund erfolgt die Kalibrierung des Modells stationär für mittlere Verhältnisse sowohl bzgl. Randbedingungen als auch bzgl. Grundwasserstände. Da nur bei den Limnigraphen und Messstellen mit periodischen Handmessungen ein Mittelwert bestimmt werden kann, muss für die Messstellen mit Einzelmessungen ein Mittelwert anhand der umliegenden Limnigraphen («Nachbarn», Abbildung 17) abgeschätzt werden. Dabei wird die Differenz zwischen der datierten Einzelmessung und dem Grundwasserspiegel des «Nachbar-Limnigraphen» berechnet und die resultierende Differenz zum berechneten Limnigraphen-Mittelwert addiert. Dadurch wird eine zuverlässige, stationäre Kalibrierung möglich. Ein Vergleich zwischen gemessenem und für die Kalibrierung angesetzten, mittleren Grundwasserspiegel zeigt Abbildung 18. Die Darstellung macht deutlich, dass vor allem im unteren Bereich des Grundwassermodells die Korrektur wichtig ist. Grund für die relativ grosse Abweichung zwischen Messung und angesetztem Mittelwert ist hauptsächlich der eingestellte Betrieb von Borregaard seit 2008 (Kapitel 2.9) und dem resultierenden, höheren Grundwasserniveau in diesem Bereich.

Nach Beendigung einer stationären Kalibrierung wird geprüft, ob das Modell mit den kalibrierten Modellparametern und den definierten instationären Randbedingungen bei einem instationären Rechenlauf (Tageszeitschritte) die vorhandenen gemessenen Ganglinien wiedergeben

TKC 19.011 23/47

kann. Ist dies der Fall, gilt das Modell als kalibriert, ansonsten müssen die instationären Randbedingungen (Kapitel 4) angepasst oder eine neue stationäre Kalibrierung mit angepasster Verteilung der Stützstellen und/oder veränderten stationären Randbedingungen durchgeführt werden.

Bei der Kalibrierung werden auch die gemessenen k-Werte (Kapitel 2.3) berücksichtigt, indem die Abweichungen zu den von SPRING bzw. PEST geschätzten k-Werten in die Optimierung eingehen (sog. Plausibilitätskriterium). Nach einigen Kalibrierungsläufen mit jeweils angepassten Bedingungen resultieren zufriedenstellende Ergebnisse.

In den folgenden Kapiteln wird auf die kalibrierten Modellparameter (Kapitel 5.2), die modellierten Grundwasserstände (Kapitel 5.3), die modellierten Leakage-Mengen (Kapitel 5.4) sowie auf die Bilanzierung (Kapitel 6) eingegangen.

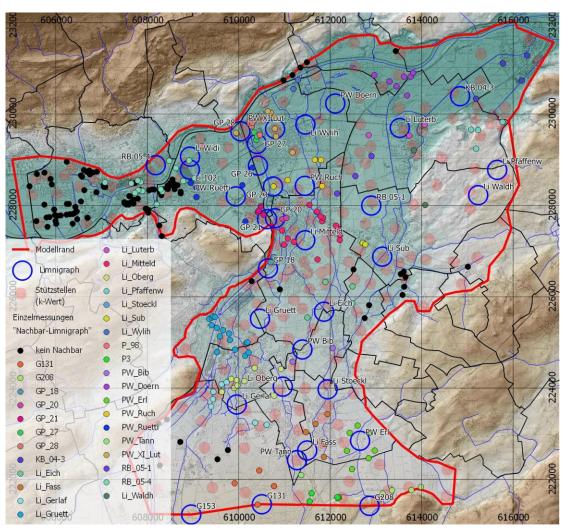


Abbildung 17: k-Wert-Stützstellen und «Nachbar-Limnigraphen» von Messstellen mit Einzelmessungen

TKC 19.011 24/47

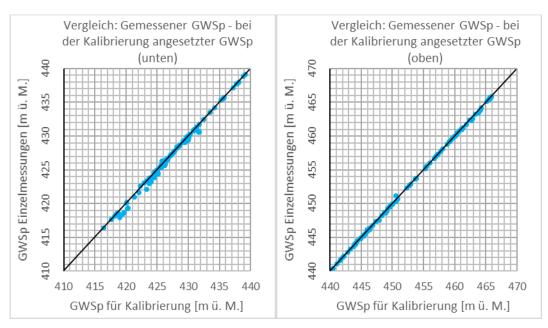


Abbildung 18: Gemessener und bei der Kalibrierung angesetzter Grundwasserspiegel

## 5.2 Kalibrierte Durchlässigkeiten

Die kalibrierten k-Werte sind in Abbildung 19 dargestellt. Ebenfalls dargestellt sind die gemessenen k-Werte (Kapitel 2.3) sowie die kalibrierten k-Werte aus der ersten Kalibrierung [1]. Der mittlere, kalibrierte k-Wert beträgt  $3.0\cdot10^{-3}$  m/s und weicht nur wenig von dem mittleren, gemessenen k-Wert ab  $(1.5\cdot10^{-3}\,\text{m/s})$ . Deutlich zu erkennen ist die Abfolge von guter und schlechter Durchlässigkeit. Die k-Wert-Verteilung der Kalibrierung von 2008 zeigt ein ähnliches Bild. Lokal gibt es aber leichte Abweichungen, so z.B. im südwestlichen Bereich des Modells und im Bereich von Zuchwil. Die k-Werte sind ebenfalls in Beilage 6 dargestellt.

TKC 19.011 25/47

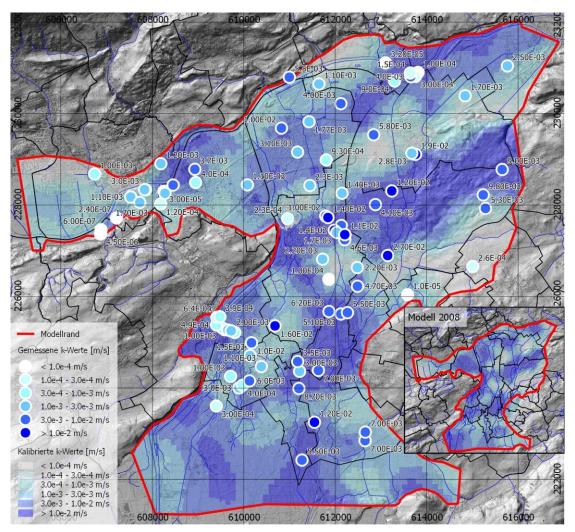


Abbildung 19: Kalibrierte k-Werte im Vergleich mit den Messungen und den Werten des Modells 2008

## 5.3 Modellierte Grundwasserstände

#### 5.3.1 Stationär

Bei der Kalibrierung hat sich gezeigt, dass einige Messstellen Einzelwertmessungen aufweisen, die nicht ins Fliessfeld des Grundwasserleiters passen und den umliegenden, gemessenen Grundwasserständen widersprechen. Aus diesem Grund werden diese Werte bei der Kalibrierung nicht berücksichtigt und in Abbildung 20 als «unsichere Werte» betitelt.

In Abbildung 20 sind die Abweichungen zwischen Modell und Messung in einem Situationsplan (siehe auch Beilage 6) und in Abbildung 21 in einem Histogramm dargestellt. Die mittlere, absolute Abweichung beträgt 0.17 m.

TKC 19.011 26/47

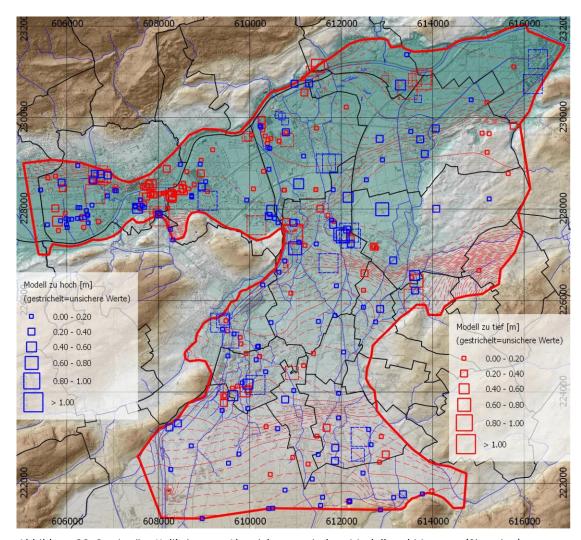


Abbildung 20: Stationäre Kalibrierung: Abweichung zwischen Modell und Messung (Situation)

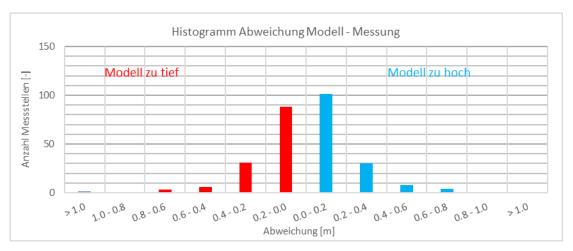


Abbildung 21: Stationäre Kalibrierung: Abweichung zwischen Modell und Messung (Histogramm)

TKC 19.011 27/47

#### 5.3.2 Instationär

Mit dem unter stationären Bedingungen kalibrierten Modell wird eine instationäre Berechnung der Periode 2010 – 2013 anhand der definierten Randbedingungen (Kapitel 4) durchgeführt. Die berechneten Ganglinien sind in Anhang 1 im Vergleich zu den Messwerten dargestellt. Um die modellierten Grundwasserstände auch mit den älteren Messungen vergleichen zu können, wird nicht nur die Kalibrierungsperiode, sondern die gesamte Periode, aus der Messungen vorhanden sind (2002 – 2013), dargestellt.

#### 5.3.3 Höchster Grundwasserstand

Die Beilage 2 in [1] wird nachgeführt, weil sich die Grundwasser-Höchststände mit der neuen Kalibrierung geändert haben. Dargestellt sind die Isohypsen des höchsten modellierten Grundwasserstands der Periode 2010 – 2013 sowie die gemessenen Höchststände der gesamten, mehrjährigen Messperiode der einzelnen Limnigraphen. Mehrheitlich können die Höchststände mit dem Modell gut nachvollzogen werden.

#### 5.3.4 Vergleich Grundwasserspiegel altes/neues Modell

In Abbildung 22 ist die Differenz der modellierten, mittleren Grundwasserspiegel der Periode 2010 - 2013 und 2002 – 2005 [1] dargestellt. Zu den Differenzen können folgende Aussagen gemacht werden:

- Der Anstieg von rund 1.0 m im Bereich Luterbach ist auf die Betriebsschliessung von Borregaard zurückzuführen (siehe Kapitel 5.3.5).
- Im Bereich der Limnigraphen, die auch schon bei der Modellerstellung 2008 [1] vorhanden waren, sind die Differenzen aufgrund der guten Datengrundlage und der entsprechend hohen Gewichtung bei der Kalibrierung gering.
- Relativ grosse Differenzen von teilweise mehr als 0.5 m sind im Bereich der Grundwasser-Steilstufen Recherswil, Subingen und Deitingen auszumachen. Um den Grundwasserspiegel bzw. den steilen Grundwassergradienten zuverlässiger abbilden zu können, wäre hier ein dichteres Messstellennetz nötig.
- Zwischen Subingen und Etziken steht eine Handmessung bei der Kalibrierung zur Verfügung, die bei der ersten Kalibrierung noch nicht vorhanden war. Dadurch ergeben sich hier relativ grosse Differenzen zwischen dem alten und neuen Modell.
- Zwischen Deitingen und der Aare (Schachen) resultiert ein tieferer Grundwasserspiegel.
   Vermutlich wurde bei der Messkampagne 2004/05 von einer falschen Referenzhöhe ausgegangen. Jedenfalls wird in den Archiv-Dokumenten 352.006.002/3 darauf hingewiesen, dass die Höhenkote des Piezometers neu eingemessen wurde, weil es bezüglich des HGW zwischen dem Modell 2008 und der Gewässerschutzkarte des Kanton Solothurn Unstimmigkeiten gab.
- Im Bereich von Wangen an der Aare liegt der Grundwasserspiegel mit dem neuen Modell 1.0 – 1.5 m höher. Der Wasserspiegel der Aare kann mit dem 1d-Abflussmodell (Kapitel 4.3.1) zuverlässiger bestimmt und als Randbedingung bei der Modellierung angesetzt werden.

TKC 19.011 28/47

• Im Raum Solothurn West zeigen die vielen Einzelmessungen eindeutig, dass von Norden nach Süden der Grundwassergradient erst steil und dann durch die Drainagen sehr flach wird. Dies wird mit dem neuen Modell besser abgebildet.

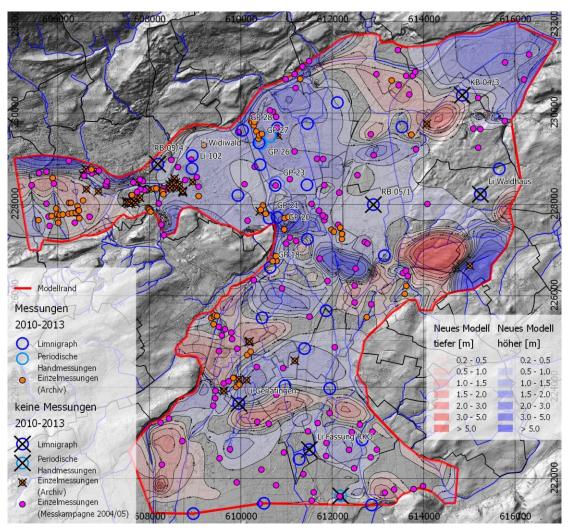


Abbildung 22: Abweichung Modell 2008/2017

## 5.3.5 Änderung Grundwasserspiegel aufgrund Nutzungsänderung

Mit dem neu kalibrierten Modell wird die Situation mit den mittleren Nutzungsmengen der Periode 2002 – 2005 (Kapitel 2.9) berechnet und mit der Situation der aktuellen Nutzung verglichen. Ein leichtes Absinken des Grundwasserspiegels resultiert im Nahbereich der neuen Grundwasserwärmepumpen. Im Raum Subingen, Derendingen, Luterbach und Zuchwil ist der Grundwasserspiegel grossflächig um 0.2 – 0.5 m angestiegen. Grund dafür sind die öffentlichen Pumpwerke Rüttifeld und Subingen, die nicht mehr betrieben werden, sowie die Betriebsschliessung der Firma Borregaard in Luterbach, wo im Nahbereich sogar ein Anstieg von mehr als 1.0 m resultiert.

TKC 19.011 29/47

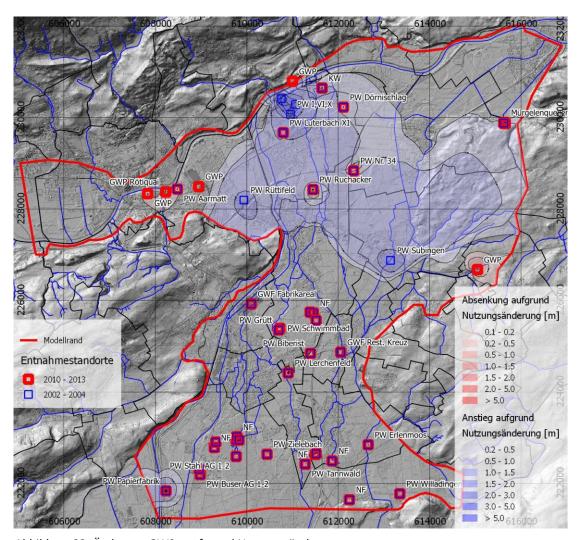


Abbildung 23: Änderung GWSp aufgrund Nutzungsänderung

TKC 19.011 30/47

# 5.4 Modellierte Leakage-Mengen

In Beilage 3 ist dargestellt, wo Infiltration bzw. Exfiltrationsverhältnisse zwischen Grundwasserleiter und Oberflächengewässer (inkl. gefasste Grundwasseraufstösse, Drainagen und Verluste durch Kanalisationen (vgl. [1])) vorherrschen. Entlang der Aare tritt im Bereich Solothurn West sowie unterhalb des Kraftwerks Flumenthal vorwiegend Exfiltration auf. Im Staubereich des Kraftwerks hingegen kommt es hauptsächlich zu Infiltration. An der Emme wechseln sich die In- und Exfiltrationsstrecken regelmässig ab. Die Gewässer oberhalb bzw. im Bereich der Steilstufen nehmen hauptsächlich Grundwasser auf (Exfiltration). Ansonsten liegen die Gewässer vorwiegend über dem Grundwasserspiegel (Infiltration).

Beilage 3 sowie Abbildung 24 zeigen den Vergleich zwischen gemessenen (Kapitel 2.7) und mittleren, modellierten Leakage-Mengen. An der Emme kommt es im oberen und unteren Abschnitt zu einer relativ guten Übereinstimmung. Im mittleren Abschnitt (Biberist) exfiltrieren im Modell rund 130 l/s. Die Messung zeigt hingegen praktisch keinen Wasseraustausch. Dies hängt möglicherweise mit der Messgenauigkeit bei Abflüssen von über 2 m³/s zusammen.

Bei den Oberflächengewässern oberhalb der Steilstufe Subingen zeigen die gemessenen und modellierten Leakage-Mengen eine gute Übereinstimmung. Die Gesamtbilanzmenge beträgt über 700 l/s. Hingegen kann die gemessene Exfiltration von 42 l/s in den Grüttbach mit dem Modell nicht nachvollzogen werden. Der Wasserspiegel des Gewässers, gestützt auf Messungen [1], liegt überall höher als der Grundwasserspiegel und lässt dadurch keine Exfiltration zu.

Mit Ausnahme der gemessenen Exfiltrationsmengen an der Oesch, wo möglicherweise auch eine ungenügende Messgenauigkeit eine Rolle spielt, können die Leakage-Mengen bei den Gewässern im unteren Bereich mit dem Modell gut wiedergegeben werden.

Zwischen gemessenen und modellierten Mengen bei den Quellen und Grundwasseraufstössen (inkl. PW 34 beim Autobahnanschluss) gibt es ebenfalls eine gute Übereinstimmung. Die Gesamtmenge beträgt hier 240 l/s.

Wie in Kapitel 3 erwähnt, wird die Drainage des Kraftwerks Flumenthal (Alpiq) im Modell verlängert und bei der Modellierung berücksichtigt. Die gesamte, modellierte Exfiltrationsmenge bis zur Mündung in die Aare beträgt rund 140 l/s. Es wäre interessant, hier eine Messung zu Vergleichszwecken durchzuführen.

TKC 19.011 31/47

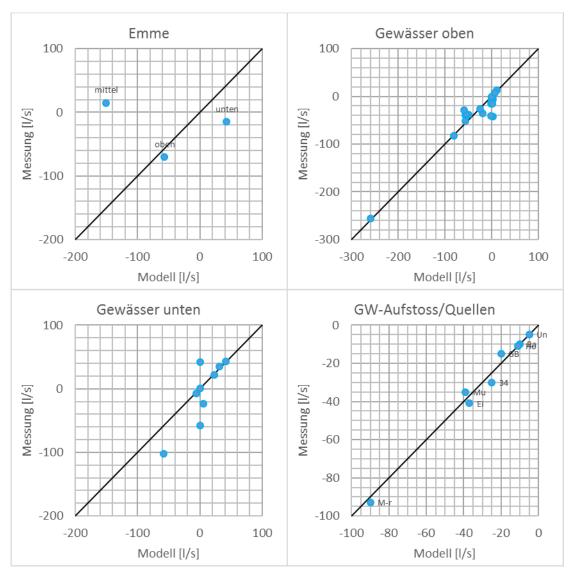


Abbildung 24: Vergleich gemessener und modellierter Leakage-Mengen

TKC 19.011 32/47

## 6 Grundwasserbilanz

#### 6.1 Bilanz Gesamtmodell

Aus den Ergebnissen der instationären Modellierung der Periode 2010 – 2013 wird für das Gesamtgebiet eine mittlere (Tabelle 6) sowie eine instationäre Grundwasserbilanz (Abbildung 25, Abbildung 26) erstellt. Um die Tageswerte etwas zu glätten und die monatlichen Schwankungen besser sichtbar zu machen, werden bei der instationären Bilanzierung die Mengen monatlich gemittelt.

Der berechnete Profilzufluss aus dem Unteren Emmental weist einen Mittelwert von 1'840 l/s auf. Die Schwankungen sind verhältnismässig gering (1'700 – 2'000 l/s). Im Bericht zur hydrogeologischen Studie des Unteren Emmentals wird auf Höhe Wiler b. U. / Willadingen von einem Profildurchfluss (Profil E19) von 2'400 l/s ausgegangen (Beilage 6 in [15]). Allerdings ist das Profil E19 im Westen nicht deckungsgleich mit dem südlichen Modellrand des Wasseramtmodells, sondern schwenkt nach Südwesten in den Grundwasserleiter des Limpachtals ab (Abbildung 27). In Beilage 6 in [15] wird eine Exfiltrationsmenge in den Limpach von 540 l/s angegeben. Dieser Teil wird mit dem Wasseramtmodell nicht abgedeckt. Somit resultieren rund 1'850 l/s, die beim südlichen Modellrand zu erwarten sind. Dieser Profildurchfluss stimmt gut mit der modellierten Menge überein. In der Modellstudie zur genaueren Bestimmung des Grundwasserdargebots im Unteren Emmental wird die Durchflussmenge beim Profil E19 mithilfe einer Ausgleichsrechnung auf 2220 l/s korrigiert (Kapitel 4.3.2 in [16]). Genauere Messungen beim Limpach ergeben eine Exfiltrationsmenge von 330 l/s, wodurch von rund 1'900 l/s als Profilzufluss ins Wasseramtmodells auszugehen ist. Auch dieser Wert weicht nicht wesentlich vom modellierten Profildurchfluss ab.

Wie bereits in 4.1 gezeigt, kommt es vor allem in den Wintermonaten zu Grundwasserneubildung. Die Neubildung weist einen Mittelwert von 560 l/s und monatliche Schwankungen von 0-3000 l/s auf. Keine Schwankungen zeigen die Randzuflüsse, weil diese wie bei der hydrogeologischen Studie von 2008 stationär angesetzt werden (Kapitel 4.2).

Ein wichtiger Teil der Zuflüsse kommt aus den Oberflächengewässern. Der Mittelwert beträgt rund 550 l/s, wovon der grösste Teil nicht auf die Emme und die Aare, sondern auf die übrigen Gewässer fällt. Die mittleren monatlichen Werte der Gewässerinfiltration bewegen sich zwischen 450 und 610 l/s.

Im Mittel werden rund 750 l/s zu Trink- und Brauchwasserzwecken genutzt. Die Schwankungen über die Zeit sind gering. Wesentlich grössere Schwankungen sind bei den Oberflächengewässern auszumachen. Die Exfiltrationsmengen betragen 1'900-3'300 l/s. Wie bei der Infiltration weisen auch bei der Exfiltration die übrigen Gewässer wesentlich grössere Mengen als die Aare und die Emme auf.

Der mittlere berechnete Gesamtumsatz beträgt rund 3'100 l/s. Bei den Zuflüssen sind die Schwankungen mit Werten zwischen 2'600 und 5'500 l/s grösser als bei den Abflüssen (2'700 – 4400 l/s). Diese Werte sind etwas kleiner als bei der hydrogeologischen Studie von 2008 [1]. In Kapitel 6.2 wird detailliert auf den Vergleich zwischen dem alten und neuen Modell eingegangen.

TKC 19.011 33/47

Zufluss	[l/s]	[l/s]	Abfluss
Profilzufluss Süd	1'840	-	
Direkte Neubildung	561	-	
Randzufluss	177	-	
Infiltration Aare	71	-	
Infiltration Emme	129	-	
Infiltration übrige Gewässer	345	-	
	-	534	Pumpwerke
	-	212	Niederdruck-/Quellfassungen
- - -	-	380	Exfiltration Aare
	-	320	Exfiltration Emme
	-	1'485	Exfiltration übrige Gewässer
	-	193	Kanalisationsverluste
Total Zufluss	3'123	3'123	Total Abfluss

Tabelle 6: Mittlere Bilanzmengen Gesamtmodell

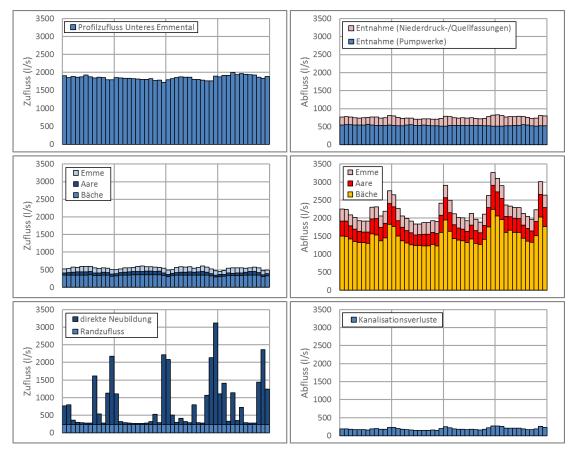


Abbildung 25. Instationäre Zu- und Abflüsse, monatliche Mittelwerte (2010 – 2013)

TKC 19.011 34/47

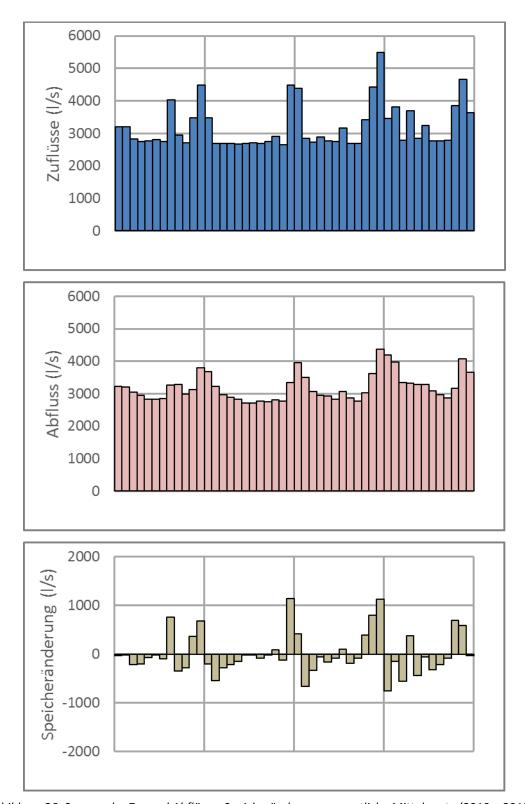


Abbildung 26: Summe der Zu- und Abflüsse, Speicheränderung, monatliche Mittelwerte (2010 – 2013)

TKC 19.011 35/47

# 6.2 Bilanz Teilgebiete

Im Gegensatz zur Bilanzierung des Gesamtmodells (Kapitel 6.1) werden hier die mittleren Grundwasserzu- und -abflüsse von Teilgebieten aufgelistet und diskutiert. Die Mittelwerte basieren auf den Jahren 2010-2013. Die geografische Einteilung der Teilgebiete sowie die Profildurchflüsse sind in Abbildung 27 dargestellt. In den folgenden Unterkapiteln wird detailliert auf die Bilanzmengen der einzelnen Teilgebiete eingegangen und mit dem Modell von 2008 [1] sowie mit den Daten vom Kanton Bern [15][16][17] verglichen.

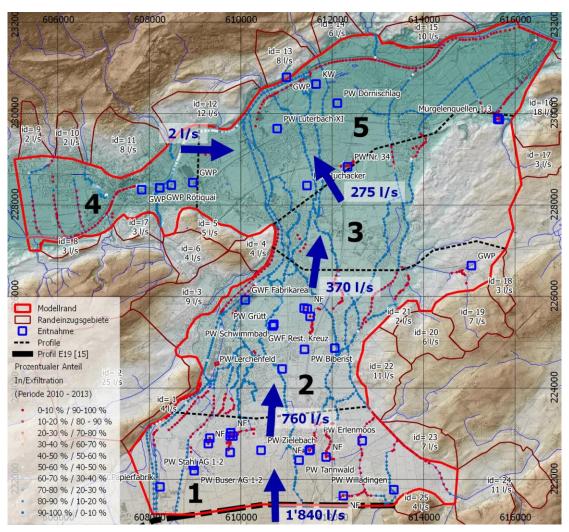


Abbildung 27: Teilgebiete und mittlere Profildurchflüsse

TKC 19.011 36/47

## 6.2.1 Unteres Emmental bis Kantongrenze (Teilgebiet 1)

Das Teilgebiet 1 erstreckt sich von Höhe Wiler b. U. / Willadingen bis zur Kantonsgrenze (Obergerlafingen–Recherswil), die Fläche beträgt 12.1 km². Der mittlere Grundwasserumsatz beträgt 2'070 l/s (Tabelle 7). Der Anteil des Profilzuflusses aus dem Unteren Emmental an den gesamten Zuflüssen beträgt rund 90 % (1'840 l/s). In diesem Teilgebiet sind die Exfiltrationsmengen bei den Oberflächengewässern wesentlich grösser als die Infiltrationsmengen. Eine Gesamtmenge von rund 760 l/s strömt in das Teilgebiet Gerlafingen-Kriegstetten. Im betrachteten Teilgebiet verliert der Grundwasserleiter demnach rund 1'100 l/s.

Zufluss	[l/s]	[l/s]	Abfluss
Profilzufluss	1'840	-	
Direkte Neubildung	114	-	
Randzufluss	26	-	
Infiltration Aare	-	-	
Infiltration Emme	62	-	
Infiltration übrige Gewässer	25	-	
	-	209	Pumpwerke
	-	136	Niederdruck-/Quellfassungen
	-	-	Exfiltration Aare
	-	4	Exfiltration Emme
	-	892	Exfiltration übrige Gewässer
	-	69	Kanalisationsverluste
	-	757	Profilabfluss
Total Zufluss	2'067	2'067	Total Abfluss

Tabelle 7: Mittlere Bilanzmengen: Teilgebiet «Unteres Emmental bis Kantonsgrenze»

## Vergleich mit hydrogeologischer Studie 2008:

Mehrheitlich zeigen die Bilanzmengen des aktualisierten Modells ähnliche Werte wie die hydrogeologische Studie 2008. Neu resultiert mit 760 l/s ein höherer Profilabfluss. Vermutlich wurde damals die Exfiltrationsmenge in die Bäche überschätzt. Der neue Profilabfluss stimmt besser mit der Menge beim Profil E20 in [15] überein, wo von 900 l/s ausgegangen wird.

TKC 19.011 37/47

## 6.2.2 Gerlafingen-Kriegstetten (Teilgebiet 2)

Das Teilgebiet 2 erstreckt sich von der Kantonsgrenze bis auf Höhe Derendingen, die Fläche beträgt 12.3 km². Sowohl Profilzufluss als auch -abfluss befinden sich an den sogenannten Stauerschwellen bzw. Gefällesteilstufen. Der mittlere Grundwasserumsatz beträgt 1'060 l/s (Tabelle 8). Der Anteil des Profilzuflusses aus dem oberen Teilgebiet an den gesamten Zuflüssen beträgt rund 70 % (760 l/s). Weil auch hier bei den Oberflächengewässern die Exfiltration wesentlich grösser ist als die Infiltration, ist der Profilabfluss mit 370 l/s bedeutend kleiner als der Profilzufluss.

Zufluss	[l/s]	[l/s]	Abfluss
Profilzufluss	757	-	
Direkte Neubildung	124	-	
Randzufluss	63	-	
Infiltration Aare	-	-	
Infiltration Emme	7	-	
Infiltration übrige Gewässer	115	-	
	-	55	Pumpwerke
	-	37	Niederdruck-/Quellfassungen
	-	-	Exfiltration Aare
	-	279	Exfiltration Emme
	-	300	Exfiltration übrige Gewässer
	-	22	Kanalisationsverluste
	-	371	Profilabfluss
Total Zufluss	1'065	1'065	Total Abfluss

Tabelle 8: Mittlere Bilanzmengen: Teilgebiet «Gerlafingen-Kriegstetten»

## Vergleich mit hydrogeologischer Studie 2008:

Mehrheitlich zeigen die Bilanzmengen des aktualisierten Modells ähnliche Werte wie die hydrogeologische Studie 2008. Der modellierte Nettoverlust in diesem Teilgebiet ist nicht bedeutend grösser als im Modell von 2008, wodurch aufgrund des grösseren Profilzuflusses ein grösserer Profilabfluss (370 statt 100 l/s) resultiert. Der Grundwasserumsatz, der durch die Oberflächengewässer verursacht wird, ist im aktualisierten Modell geringer (+120/-580 l/s) als im alten Modell (+550/-755 l/s).

TKC 19.011 38/47

## 6.2.3 Subingen (Teilgebiet 3)

Das Teilgebiet 3 erstreckt sich von Höhe Derendingen bis auf die Linie Derendingen—Deitingen—Wangenried, die Fläche beträgt 6.2 km². Auch dieses Teilgebiet geht von einer Steilstufe zur nächsten und stellt somit ein Becken dar. Der mittlere Grundwasserumsatz beträgt 590 l/s (Tabelle 9). Der Anteil des Profilzuflusses aus dem oberen Teilgebiet an den gesamten Zuflüssen beträgt rund 65 % (370 l/s). In diesem Gebiet überwiegen die Abflüsse gegenüber den Zuflüssen nicht so stark wie bei den zwei oberen Teilgebieten. Der modellierte Profilabfluss liegt bei 275 l/s.

Zufluss	[l/s]	[l/s]	Abfluss
Profilzufluss	371	-	
Direkte Neubildung	105	-	
Randzufluss	5	-	
Infiltration Aare	1	-	
Infiltration Emme	0	-	
Infiltration übrige Gewässer	105	-	
	1	-	Pumpwerke
	1	39	Niederdruck-/Quellfassungen
	1	-	Exfiltration Aare
	1	37	Exfiltration Emme
	1	142	Exfiltration übrige Gewässer
	-	93	Kanalisationsverluste
	-	275	Profilabfluss
Total Zufluss	586	586	Total Abfluss

Tabelle 9: Mittlere Bilanzmengen: Teilgebiet «Subingen»

## Vergleich mit hydrogeologischer Studie 2008:

Das Modell von 2008 zeigt für dieses Teilgebiet eine positive Nettobilanz. Der Profildurchfluss erhöht sich von 100 auf 300 l/s. Grund dafür sind die grossen Infiltrationsmengen bei den Bächen (315 l/s). Die Abflussmessungen in diesem Bereich liegen aber deutlich unter diesem Wert (Beilage 3). Das neue Modell schätzt eine Infiltration von 105 l/s, wodurch sich eine negative Nettobilanz sowie ein geringerer Profilabfluss einstellt (275 l/s) als beim alten Modell (390 l/s).

TKC 19.011 39/47

## 6.2.4 Solothurn-Zuchwil (Teilgebiet 4)

Das Teilgebiet 4 erstreckt sich vom Wildbach in Solothurn West bis auf die Höhe Feldbrunnen– Zuchwil, die Fläche beträgt 6.1 km². Der mittlere Grundwasserumsatz beträgt rund 105 l/s (Tabelle 10). Im Vergleich zu den übrigen Teilgebieten gibt es keinen Profilzufluss und aufgrund des flachen Grundwassergradienten nur einen sehr geringen Profilabfluss im Osten. Die direkte Neubildung durch Niederschlag macht hier den grössten Anteil bei den Zuflüssen aus. Bei den Abflüssen überwiegt mit 60 l/s die Nutzung gegenüber der Exfiltration.

Zufluss	[l/s]	[l/s]	Abfluss
Profilzufluss	-	-	
Direkte Neubildung	57	-	
Randzufluss	28	-	
Infiltration Aare	10	-	
Infiltration Emme	-	-	
Infiltration übrige Gewässer	9	-	
	-	60	Pumpwerke
	-	-	Niederdruck-/Quellfassungen
	-	32	Exfiltration Aare
	-	-	Exfiltration Emme
	-	10	Exfiltration übrige Gewässer
	-	0	Kanalisationsverluste
	-	2	Profilabfluss
Total Zufluss	104	104	Total Abfluss

Tabelle 10: Mittlere Bilanzmengen: Teilgebiet «Solothurn-Zuchwil»

#### Vergleich mit hydrogeologischer Studie 2008:

Mehrheitlich zeigen die Bilanzmengen des aktualisierten Modells ähnliche Werte wie die hydrogeologische Studie 2008. Der Rückgang des Profildurchflusses von 25 auf 2 l/s kann damit begründet werden, dass durch die geringere Nutzung im Raum Luterbach die Strömungsrichtung des Grundwassers bei diesem Profil geändert hat und neu eher Richtung Norden zeigt. Dieser Effekt wird durch die grössere Nutzung im betrachteten Teilgebiet (60 statt 15 l/s) verstärkt.

TKC 19.011 40/47

## 6.2.5 Luterbach-Wangen a. A. (Teilgebiet 5)

Das Teilgebiet 5 wird durch die Linie Feldbrunnen–Zuchwil im Westen, die Linie Derendingen–Deitingen–Wangenried im Süden und die Aare im Norden begrenzt. Die Fläche beträgt 17.1 km². Der mittlere Grundwasserumsatz beträgt 705 l/s (Tabelle 10). Der Anteil des Profilzuflusses aus dem oberen Teilgebiet beträgt rund 40 % (280 l/s). Grosse Mengen (210 l/s) werden in diesem Teilgebiet gefördert. Die Exfiltration erfolgt mehrheitlich in die Aare. Die übrigen Gewässer spielen eine untergeordnete Rolle.

Zufluss	[l/s]	[l/s]	Abfluss
Profilzufluss (Süd und West)	277	-	
Direkte Neubildung	162	-	
Randzufluss	55	-	
Infiltration Aare	61	-	
Infiltration Emme	60	-	
Infiltration übrige Gewässer	91	-	
	-	210	Pumpwerke
	-	-	Niederdruck-/Quellfassungen
	-	348	Exfiltration Aare
	-	-	Exfiltration Emme
	-	138	Exfiltration übrige Gewässer
	-	9	Kanalisationsverluste
	-	-	Profilabfluss
Total Zufluss	705	705	Total Abfluss

Tabelle 11: Mittlere Bilanzmengen: Teilgebiet «Luterbach-Wangen a. A.»

#### Vergleich mit hydrogeologischer Studie 2008:

Mehrheitlich zeigen die Bilanzmengen des aktualisierten Modells ähnliche Werte wie die hydrogeologische Studie 2008. Wie schon mehrfach erwähnt sind die Entnahmemengen bedeutend kleiner als im Zeitraum 2002 – 2005. Beim alten Modell wurde der Grundwasserfluss Richtung Aare im Bereich Wangen a. d. Aare als Profilabfluss betitelt. Diese Menge ist im vorliegenden Modell als zusätzliche Exfiltrationsmenge in die Aare klassifiziert, da es gemäss Grundwasserkarte des Kantons Bern (www.map.apps.be.ch) keinen anschliessenden Grundwasserleiter gibt.

TKC 19.011 41/47

# 7 Zuströmbereiche der Trinkfasserfassungen

Beilage 4 aus [1] muss revidiert werden, weil die Zuströmbereiche mit der neuen Kalibrierung und der veränderten Nutzung möglicherweise anders ausfallen. Angesetzt werden jeweils die mittleren Entnahmemengen gemäss Tabelle 5. Die Berechnung erfolgt für den mittleren, stationären Zustand. Neben den Zuströmbereichen ist in Beilage 4 auch die mittlere Grundwassermächtigkeit dargestellt. Als strömungswirksame Porosität wird ein Wert von 8 % angenommen. In den Schutzzonenberichten ([7] - [14]) werden Werte von 8 – 12 % vorgeschlagen.

# 7.1 PW Dörnischlag

Die Bahnlinien im Nahbereich des PW Dörnischlag zeigen modellierte Fliessgeschwindigkeiten von rund 10 m/d und sind damit etwas geringer als die Geschwindigkeiten, die durch Färbversuche bestimmt wurden (12 m/d, Anhang 7 in [12]). Im Modell ist die Zuströmungsrichtung von Südwest nach Nordost. In der Schutzzonenüberarbeitung wird von einer Süd-Nord-Fliessrichtung ausgegangen. Grund für die Abweichung ist vermutlich das durch den Betriebsschluss von Borregaard hervorgerufene veränderte Fliessfeld.

### 7.2 PW Aarmatt

Beim PW Aarmatt liegt keine Schutzzone vor. Die modellierten Fliessgeschwindigkeiten betragen im Nahbereich des PW Aarmatt rund 10 m/d. Die Zuströmung ist mehrheitlich von Süden und Osten.

# 7.3 PW Luterbach XI

Die Bahnlinien im Nahbereich des PW Luterbach XI zeigen modellierte Fliessgeschwindigkeiten von rund 8 m/d bei einer Entnahme von 34 l/s. Bei einer Entnahme von 160 l/s wurden durch Färbversuche Geschwindigkeiten von 16 m/d bestimmt (Kapitel 5 in [9]). Die modellierte Zuströmungsrichtung stimmt mit der in [9] dargestellten Fliessrichtung überein.

#### 7.4 PW Ruchacker

Die Bahnlinien im Nahbereich des PW Ruchacker zeigen modellierte Fliessgeschwindigkeiten von rund 6 m/d bei einer Entnahme von 56 l/s. Bei einer Entnahme von 170 l/s wurde durch Handrechnung eine Geschwindigkeit von 13 m/d bestimmt (Kapitel 6.3 in [14]). Die modellierte Zuströmungsrichtung stimmt mit der in [14] dargestellten Fliessrichtung überein.

## 7.5 PW Biberist

Beim PW Biberist liegt kein Schutzzonenbericht vor. Die modellierten Fliessgeschwindigkeiten betragen im Nahbereich des PW Biberist rund 19 m/d. Gemäss Modellergebnissen ist die bestehende Schutzzone zu klein.

TKC 19.011 42/47

#### 7.6 PW Lerchenfeld

Die Bahnlinien im Nahbereich des PW Lerchenfeld zeigen modellierte Fliessgeschwindigkeiten von rund 11 m/d bei einer Entnahme von 13 l/s. Bei einer Entnahme von 100 l/s wurde durch Handrechnung eine Geschwindigkeit von 21 m/d bestimmt (Kapitel 5.3 in [13]).

Im Modell ist die Zuströmungsrichtung von Südsüdwest nach Nordnordost. In der Schutzzonenüberarbeitung [13] wird von einer Südsüdost-Nordnordwest-Fliessrichtung ausgegangen.

#### 7.7 PW Erlenmoos

Die Bahnlinien im Nahbereich des PW Erlenmoos zeigen modellierte Fliessgeschwindigkeiten von rund 15 m/d bei einer Entnahme von 9 l/s. Bei einer Entnahme von 22 l/s wurden durch Färbversuche Geschwindigkeiten von 14 – 21 m/d bestimmt (Kapitel 5.2.3 in [7]). Die modellierte Zuströmungsrichtung stimmt mit der in [7] dargestellten Fliessrichtung überein.

#### 7.8 PW Tannwald

Beim PW Tannwald liegt kein Schutzzonenbericht vor. Die modellierten Fliessgeschwindigkeiten sind sehr hoch und betragen im Nahbereich des Pumpwerks rund 40 m/d. Gemäss Modellergebnissen ist die bestehende Schutzzone etwas zu klein. Die hohen Fliessgeschwindigkeiten decken sich mit den Erkenntnissen aus den hydrogeologischen Untersuchungen im Unteren Emmental [15].

TKC 19.011 43/47

# 8 Grundwasserspiegelschwankungen

#### 8.1 Trend 2002 – 2013

In Kapitel 11 des Berichts zur hydrogeologischen Studie [1] wird ausführlich auf die Grundwasserspiegelschwankungen und die Trendanalyse eingegangen. Die Trendanalyse wurde je nach Pegel anhand von 17-31-jährigen Messreihen durchgeführt. Dabei zeigte sich, dass der Grundwasserspiegel in den Bereichen Wiler, Zielenach und Willadingen sowie Luterbach Subingen und Deitingen eine deutlich fallende Tendenz aufweist ( $0.5-3.6 \, \text{cm/Jahr}$ ). In Recherswil, Gerlafingen, Kriegstetten und Biberist sowie in Zuchwil wurde ein ansteigender Trend ausgemacht ( $0.1-2.1 \, \text{cm/Jahr}$ ). Neu stehen acht zusätzliche Jahre (2006-2013) für die Trendabschätzung zur Verfügung.

Abbildung 28 zeigt die Ganglinien aller Piezometer, die im Zeitraum 2002 – 2013 durchgehend in Betrieb waren. Die Ganglinien sind auch einzeln für jedes Piezometer in Anhang 1 dargestellt. Es fällt auf, dass der Grundwasserspiegel im Zeitraum 2009 – 2013 tendenziell höher liegt als 2002 – 2008. Der Trend zeigt bei allen Piezometern einen Anstieg. Die Werte liegen bei 0.1 – 12.0 cm/Jahr. Bei den Pegeln nördlich von Derendingen hängt das vor allem mit der Nutzungsänderung in diesem Bereich zusammen (Kapitel 5.3.5). Dazu kommt das Phänomen der langzeitlichen Periodizität, auf die in der hydrogeologischen Studie detailliert eingegangen wird [1]: 2003 – 2005 herrschte ein Grundwasserdefizit, 2012 – 2013 hingegen ein Grundwasserüberschuss.

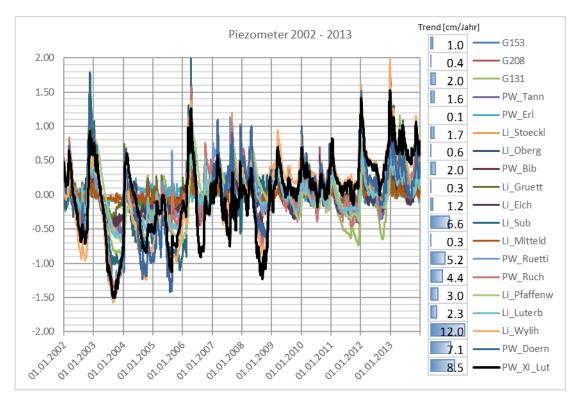


Abbildung 28: Normierte Ganglinien Piezometer 2002 – 2013

TKC 19.011 44/47

# 8.2 Modellierte Schwankungen

Die modellierten Amplituden der Grundwasserspiegelschwankungen sind in Abbildung 29 dargestellt. In den Bereichen, wo sich drainierende Bäche, Grundwasseraufstösse und Drainage befinden, weisen die Amplituden geringe Werte von 0.2-1.0 m auf. In den übrigen Bereichen sind Schwankungen von bis zu 2.5 m vorhanden. Die grossen modellierten Schwankungen zwischen Etziken und Subingen sind unsicher, da hier keine instationären Pegelaufzeichnungen vorhanden sind.

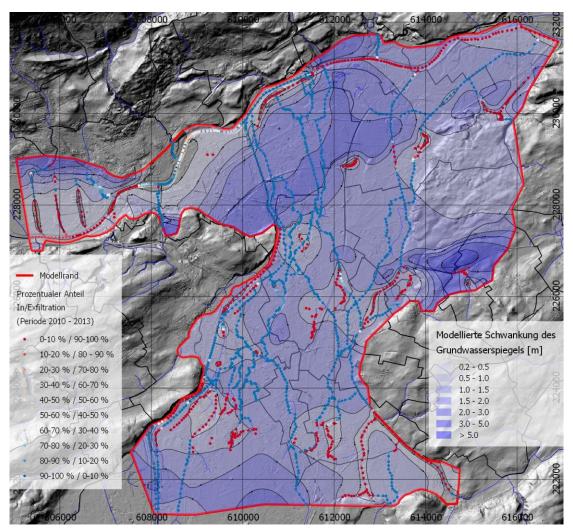


Abbildung 29: Modellierte Schwankung des Grundwasserspiegels

TKC 19.011 45/47

# 9 Schlussfolgerungen

Das Grundwassermodell Wasseramt konnte erfolgreich nachgeführt werden. Die Modellierungen erfolgen ab sofort mit der aktuellen SPRING Version 4.2. Die Nutzungsänderungen im Modellgebiet (PW, Subingen, PW Rüttifeld, Brunnen Borregaard, neue Entnahmen für Wärmenutzung) wurden berücksichtigt und die Differenzen des Grundwasserspiegels gegenüber dem alten Nutzungsregime dargestellt. Im Bereich von Luterbach ist ein Anstieg von 0.5 – 1.0 m zu verzeichnen. Die Absenkungen durch die neuen Nutzungen sind vernachlässigbar. Die hydrogeologischen Untersuchungen im Zeitraum 2004 – 2013 lieferten neue Erkenntnisse über den Grundwasserspiegel, die Durchlässigkeiten, den Grundwasserstauer und die Fliessgeschwindigkeiten im Nahbereich der Pumpwerke. Diese Erkenntnisse wurden bei der Kalibrierung berücksichtigt, wodurch das Modell stellenweise verbesserte werden konnte. Durch die Abflussmodellierung der Aare und der Emme konnten die so berechneten Wasserspiegel als sichere Randbedingung der Grundwassermodellierung angesetzt werden.

Die kalibrierte K-Wert-Verteilung sieht ähnlich aus wie bei der hydrogeologischen Studie von 2008. Der mittlere, kalibrierte K-Wert liegt bei 2.0·10<sup>-3</sup> m/s und weicht nur unwesentlich von der mittleren Durchlässigkeit ab, die durch Pumpversuche bestimmt wurde. Die mittlere Abweichung zwischen gemessenem und modelliertem Grundwasserspiegel liegt bei 0.17 m (exklusive unsicherer Messwerte). Die Differenz zwischen dem mittleren Grundwasserspiegel des alten und des neuen Modells zeigt insbesondere im Bereich der Steilstufen und Randbereichen Abweichungen von mehr als 1.0 m. Dort, wo bereits bei der Modellerstellung eine gute Datengrundlage vorhanden war, sind die Abweichungen jedoch gering. Zuverlässig konnten auch die gemessenen In- und Exfiltrationsmengen an Oberflächengewässern und den Grundwasseraufstössen nachvollzogen werden.

Mehrheitlich zeigen die Bilanzmengen des aktualisieren Modells ähnliche Werte wie die hydrogeologische Studie 2008. Der Gesamtumsatz beträgt 3'100 l/s. Ein grosser Teil des Zuflusses ist auf die Zuströmung aus dem Unteren Emmental zurückzuführen. Der modellierte Wert von rund 1'850 l/s stimmt gut mit den hydrogeologischen Untersuchungen des Kantons Bern überein.

Die modellierten Fliessgeschwindigkeiten im Bereich der Grundwasserschutzzonen liegen bei 8 – 40 m/d. Im südlichen Bereich des Modellgebiets sind die Geschwindigkeiten tendenziell grösser. Ähnliche Fliessgeschwindigkeiten konnten den Berichten im Rahmen der Schutzzonenüberarbeitungen entnommen werden.

Das aktualisierte Grundwassermodell kann unter anderem für folgende Fragestellungen eingesetzt werden:

- Berechnung von Zuströmbereichen zu Grundwasserentnahmen.
- Thermische Modellierung im Rahmen von geplanten Grundwasserwärmenutzungen.
- Berechnung von Auswirkungen bei Bauprojekten auf den Grundwasserhaushalt und Erarbeitung von Massnahmen.

TKC 19.011 46/47

Im Folgenden werden einige Punkte erwähnt, wodurch das Grundwassermodell und die daraus resultierenden Grundwasserkarten noch zuverlässiger werden können:

- Der Grundwasser-Höchststand resultiert aus der Modellberechnung. Um eine präzisere Hochwasserkarte erstellen zu können wäre es sinnvoll, die Modellergebnisse von 2010 2013 mit den Höchstständen der Langzeitmessreihen bei den Piezometern zu verrechnen und die Grundwasserisohypsen lokal zu korrigieren. Zudem könnten Grundwasserkarten für verschiedene Überschreitungswahrscheinlichkeiten (z.B. W347, MW, HW1, HW3, HW10, HW30, HW100, HW300) erstellt werden, indem die Langzeitmessreihen statistisch ausgewertet werden.
- Im Bereich der Steilstufen gibt es gewisse Unsicherheit über den genauen Verlauf des Grundwasserspiegels und den Grundwasserstauer. Hier wären neue Messungen hilfreich.
- Mit weiteren Abflussmessungen an Oberflächengewässern liessen sich die Bilanzmengen verifizieren.
- Wichtig ist die Datensammlung im Rahmen weiterer hydrogeologischer Untersuchungen, um eine möglichst flächendeckende Erkenntnis über den Untergrund zu erhalten.

Zürich, 15.11.2017

Verfasser: Michael Ballmer

**TK CONSULT AG** 

Steffen Corbe
Geschäftsführer
corbe@tkconsult.ch
044 310 14 77

Uli Kuhlmann Mitglied des Verwaltungsrats kuhlmann@tkconsult.ch 044 310 14 73

TKC 19.011 47/47

# Anhang 1 Vergleich Messung / Modell