

Büroexemplar

Projekt:

Sicherung der TwVersorgung der Gemeinde Mömlingen

Brunnen TB 4, TB 5 und TB 6

Hydrogeologische Erkundung 2012 und Abschlussgutachten

Modellbericht und fachlich begründetes WSG-Konzept (2. Zwischenbericht)

Auftraggeber:



Gemeinde Mömlingen
Hauptstraße 70
63853 Mömlingen

Prüfstempel

Büro für Hydrogeologie
und Umwelt GmbH

Geprüft am: 24.10.13

durch: [Signature]

Freigabe am: 24.10.2013

durch: [Signature]

I. Inhaltsverzeichnis

	Seite
1. Veranlassung, Aufgabenstellung	1
2. Ergänzungen zum Pump- und Markierungsversuch 2012	3
3. Ergänzungen zum hydrogeologischen Modell	4
4. Grundwassermodellierung für den Bereich Mömlingen	8
4.1 Modellkonzept, Kalibrierungsstrategie, Modellierungsziele	8
4.2 Modellerstellung, Randbedingungen	9
4.3 Modellkalibrierung	12
4.3.1 Stationäre Kalibrierung	12
4.3.2 Instationäre Kalibrierung	13
4.3.3 Bewertung der Modellkalibrierung	14
4.4 Modellanwendung – Untersuchung verschiedener Brunnenbetriebsszenarien	15
4.4.1 Grundüberlegungen	15
4.4.2 Szenario 1	16
4.4.3 Szenario 2	17
5. Empfehlungen zum Brunnenbetrieb und wasserrechtliche Belange	18
5.1 Brunnenbetrieb und Gestaltung des Entnahmerechtes	18
5.2 Bemessung des Wasserschutzgebietes	18
6. Empfehlungen zu weiteren Maßnahmen	21
7. Zusammenfassung	23

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1-1: Bestehende Entnahmebewilligung für die Tiefbrunnen TB 2, TB 4 und TB 5 der Gemeinde Mömlingen	1
Tabelle 1-2: Entnahmeantrag 2008 für die Tiefbrunnen TB 4, TB 5 und TB 6 /1/	1
Tabelle 1-3: Prognostizierter Wasserbedarf der Gemeinde Mömlingen bis 2060 (nach /3/)	2
Tabelle 4-1: Konzept für das „GwModell Mömlingen“ (Realisierung 2013)	8
Tabelle 5-1: WSG-Konzept für die Brunnen TB 5 und TB 6, Stand 10/2013	19

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 3-1: Geologische Karte des Untersuchungsgebietes (Auszug aus /10/)	4
Abbildung 3-2: Markante GwAufstiegszonen an der Quelle D, mittl. Teil (03.04.2013)	6

II. Anlagenverzeichnis

- Anlage 1** **Lageplan mit GwStanddaten und Stichtagsmessung 01.08.2012, M 1:10.000**
- Anlage 2** **Erstellung und Kalibrierung des numerischen GwModells Mömlingen**
- Anlage 2.1 Lageplan mit Modellgebiet, Randbedingungen und Diskretisierung, M 1:25.000 / 1:50.000
- Anlage 2.2 Diskretisierung des Modellgebietes und Geländemorphologie, M 1:35.000 / 1:10.000
- Anlage 2.3 Modellkonzept und vertikaler Aufbau – Prinzipschnitt, M 1:10.000 / M 1:1.000
- Anlage 2.4 Ergebnisse der stationären Modellkalibrierung
- Anlage 2.4.1 Vergleich gemessener und berechneter GwStände – Stichtagsmessungen 01.08.2012 und 31.10.2012
- Anlage 2.4.2 Vergleich gemessener und berechneter Abflüsse (Quellabflüsse und Infiltrationsraten entlang des Amorbachs)
- Anlage 2.4.3 Berechnete Bahnlinien ausgehend vom Infiltrationsbereich des Amorbachs – Modellschichten 2 und 4, M 1:15.000
- Anlage 2.4.4 Darstellung der räumlichen Verteilung der Durchlässigkeit – Vertikale k_f -Werte, Modellschichten 2 und 3, M 1:25.000
- Anlage 2.4.5 Darstellung der räumlichen Verteilung der Durchlässigkeit – Horizontale k_f -Werte, Modellschichten 2, 3 und 4, M 1:25.000
- Anlage 2.4.6 GwGleichenpläne für den stationären Kalibrierungszustand 31.10.2012, Modellschichten 2, 3 und 4, M 1:15.000
- Anlage 2.4.7 Berechnung der Brunneneinzugsgebiete TB 4 und TB 5 für den stationären Kalibrierungszustand 31.10.2012, M 1:15.000
- Anlage 2.5 Ergebnisse der instationären Modellkalibrierung – Vergleich gemessener und berechneter GwGanglinien; Nachbildung der Betriebssimulation 2005
- Anlage 3** **Ergebnisse der Modellanwendungen – Darstellung berechneter GwGleichen und Bahnlinien**
- Anlage 3.1 Szenario 1 – Alleiniger Betrieb des Brunnens TB 5
- Anlage 3.1.1 Brunneneinzugsgebiet bei Ansatz einer Gesamtentnahmerate von 250.000 m³/a, M 1:15.000
- Anlage 3.1.2 Detailplan 50-Tage-Zonen bei Ansatz einer Gesamtentnahmerate von 1.150 m³/d, M 1:5.000

- Anlage 3.2 Szenario 2 – Betrieb der Brunnen TB 5 und TB 6
- Anlage 3.2.1 Brunneneinzugsgebiet bei Ansatz einer Gesamtentnahmerate von 250.000 m³/a – 75% aus TB 5; 25% aus TB 6, M 1:15.000
- Anlage 3.2.2 Detailplan 50-Tage-Zonen bei Ansatz einer Gesamtentnahmerate von 1.150 m³/d – 75% aus TB 5; 25% aus TB 6, M 1:5.000
- Anlage 3.2.3 Vertikalschnitt mit berechneten GwGleichen (Potenziallinien) und Bahnlagen, ohne Maßstab

- Anlage 4 WSG-Bemessung für die Brunnen TB 5 und TB 6 – WSG-Konzept, Stand 10/2013 auf der Grundlage von Szenario 2; Schutzzonen II und III**
- Anlage 4.1 Darstellung des gesamten WSG – Topografische Karte und Flächennutzungsplan, M 1:15.000
- Anlage 4.2 Darstellung der Schutzzone II – Topografische Karte, M 1:5.000

III. Verzeichnis der verwendeten Unterlagen

- /1/ Trinkwasserversorgung der Gemeinde Mömlingen, Brunnen TB 4, TB 5 und TB 6; Antragsunterlagen für eine gehobene Erlaubnis zum Entnehmen und Ableiten von Grundwasser sowie zur Festsetzung eines Wasserschutzgebietes
Genesis Umwelt Consult GmbH, Schwabach, 29.04.2008
- /2/ Vollzug der Wasser- und Bodenschutzgesetze; Tiefbrunnen 4, 5 und 6 der Gemeinde Mömlingen; hier: Antrag auf gehobene wasserrechtliche Erlaubnis und Trinkwasserschutzgebietsausweisung
Wasserwirtschaftsamt Aschaffenburg, Az. 43-8631.01/02, Aschaffenburg, 04.11.2010
- /3/ Sicherung der Trinkwasserversorgung der Gemeinde Mömlingen, Brunnen TB 4, TB 5 und TB 6 – Hydrogeologisches Gutachten und Wasserbedarfsprognose
HG Büro für Hydrogeologie und Umwelt GmbH, Gießen, April 2012
- /4/ Sicherung der Trinkwasserversorgung der Gemeinde Mömlingen, Brunnen TB 4, TB 5 und TB 6 – Hydrogeologische Erkundung 2012 und Abschlussgutachten (Zwischenbericht)
HG Büro für Hydrogeologie und Umwelt GmbH, Gießen, November 2012
- /5/ Topographische Karte M 1:25.000, Blatt 6120 Obernburg a. Main
Bayer. Landesvermessungsamt, München, 2005
- /6/ HAD – Hydrologischer Atlas von Deutschland
Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Freiburg, 2003
- /7/ Richtlinien für Trinkwasserschutzgebiete; Teil 1: Schutzgebiete für Grundwasser – Technische Regel, Arbeitsblatt W 101
DVGW, Bonn, Juni 2006
- /8/ Merkblatt Nr. 1.2/7 – Wasserschutzgebiete für die öffentliche Wasserversorgung – Teil 1: Wasserschutzgebiete als Bereiche besonderer Vorsorge – Aufgaben, Bemessung und Festsetzung
Bayer. Landesamt für Umwelt, Augsburg, 01.01.2010
- /9/ Sicherung der TwVersorgung der Stadt Obernburg am Main – Ermittlung des optimalen Brunnenbetriebs zur Begrenzung der Belastung durch Pflanzenschutzmittel; Hydrogeologischer Bericht
HG Büro für Hydrogeologie und Umwelt GmbH, Gießen, Februar 2011
- /10/ Geologische Karte des Grossherzogthums Hessen, Blatt Neustadt-Obernburg, M 1:25.000
Leipzig, Berlin, 1893
- /11/ Ergebnisprotokoll zur Besprechung am 18.09.2013 mit den Behörden bei der Gemeinde Mömlingen – HG-Vermerk Nr. 6 (PNr. 11060/1)
HG Büro für Hydrogeologie und Umwelt GmbH, Gießen, 26.09.2013

1. Veranlassung, Aufgabenstellung

Die Gemeinde Mömlingen betreibt derzeit zur gemeindlichen Wasserversorgung die Tiefbrunnen TB 4 und TB 5, wofür – gemeinsam mit dem zwischenzeitlich verfüllten Tiefbrunnen TB 2 – eine bis zum 31.12.2012 befristete wasserrechtliche Bewilligung zur Entnahme und Ableitung von Grundwasser wie folgt besteht:

Tabelle 1-1: Bestehende Entnahmebewilligung für die Tiefbrunnen TB 2, TB 4 und TB 5 der Gemeinde Mömlingen

Brunnen	TB 2	TB 4	TB 5
Grundstück Fl.-Nr.	5535	5486	5000
Gemarkung	Mömlingen	Mömlingen	Mömlingen
Maximale Entnahmeraten	10 l/s	8 l/s	12 l/s
	575 m ³ /d	400 m ³ /d	690 m ³ /d
	130.000 m ³ /a	100.000 m ³ /a	160.000 m ³ /a

Nach dieser Bewilligung dürfen aus dem Brunnen TB 2, TB 4 und TB 5 maximal 30 l/s, 1.450 m³/d und 270.000 m³/a abgeleitet werden.

Im Hinblick auf die langfristige Sicherung der TwVersorgung der Gemeinde Mömlingen wurde 2008 die Entnahme aus den Brunnen TB 4, TB 5 und TB 6 wie folgt beantragt /1/:

Tabelle 1-2: Entnahmeantrag 2008 für die Tiefbrunnen TB 4, TB 5 und TB 6 /1/

Brunnen	TB 4	TB 5	TB 6	Summe
Grundstück Fl.-Nr.	5486	5000	5001	
Gemarkung	Mömlingen	Mömlingen	Mömlingen	
Maximale Entnahmeraten	15 l/s	15 l/s	7 l/s	37 l/s
	246.400 m ³ /a	246.400 m ³ /a	100.000 m ³ /a	246.400 m ³ /a

Des Weiteren wurde in /1/ auch die Festsetzung des Wasserschutzgebietes für die Brunnen TB 4, TB 5 und TB 6 beantragt.

Nach /2/ sind die 2008 vorgelegten Unterlagen für die Durchführung der wasserrechtlichen Verfahren nicht geeignet; die hierzu notwendigen Nachweise sind in diesem Schreiben des Wasserwirtschaftsamtes Aschaffenburg an das Landratsamt Miltenberg genannt. Die Erarbeitung dieser Nachweise erfordert jedoch ein mit den Behörden abgestimmtes, stufenweises Vorgehen.

Vor diesem Hintergrund wurde im Auftrag der Gemeinde Mömlingen von unserem Büro im April 2012 ein erstes hydrogeologisches Gutachten erstellt, das eine Aktualisierung der hydrogeologischen Modellvorstellung und eine Wasserbedarfsprognose bis 2060 beinhaltet /3/. Demnach ist langfristig mit folgendem Wasserbedarf in der Gemeinde Mömlingen zu rechnen:

Tabelle 1-3: Prognostizierter Wasserbedarf der Gemeinde Mömlingen bis 2060 (nach /3/)

Prognosejahr	Gesamter Wasserbedarf (m ³ /a)	Tagesspitzenbedarf (m ³ /d)
2015	204.956 (≅ 7 l/s)	1.123 (≅ 13 l/s)
2025	208.686 (≅ 7 l/s)	1.144 (≅ 13 l/s)
2040	206.593 (≅ 7 l/s)	1.132 (≅ 13 l/s)
2060	194.280 (≅ 6 l/s)	1.065 (≅ 12 l/s)

Das Gutachten /3/ kommt zu dem Schluss, dass die abschließende Behandlung der wasserrechtlichen Fragen noch ergänzende Untersuchungen erfordert. Dementsprechend wurden ab Mai 2012 die entsprechenden Erkundungsmaßnahmen durchgeführt, die im Vorfeld mit den Behörden abgestimmt wurden; diesbezüglich wird auf Kap. 6 im Gutachten /3/ verwiesen.

Die Ergebnisse der bis zum Herbst 2012 durchgeführten Erkundungsmaßnahmen sind in dem Gutachten /4/ umfassend dokumentiert und bewertet. Auf dieser Grundlage wurde das vorliegende numerische GwModell erstellt, das die fachliche Grundlage für die Bemessung des Wasserschutzgebietes für die zukünftig relevanten TwBrunnen der Gemeinde Mömlingen bildet.

- Der vorliegende Modellbericht setzt die Kenntnis der Gutachten /3/ und /4/ voraus.

2. Ergänzungen zum Pump- und Markierungsversuch 2012

Der Pump- und Markierungsversuch 2012 wurde offiziell Anfang November 2012 beendet. Bis zu diesem Zeitpunkt war an dem Brunnen TB 5 kein Markierungsstoff (SF_6) in nachweisbarer Konzentration festzustellen. Da jedoch zu diesem Zeitpunkt nicht auszuschließen war, dass der Markierungsstoff SF_6 zu einem späteren Zeitpunkt am Brunnen TB 5 auftreten könnte, wurde die SF_6 -Beprobung dieses Brunnens 1 x monatlich bis zum Juni 2013 fortgeführt. Nachweisbare SF_6 -Konzentrationen traten am Brunnen TB 5 jedoch auch bis zu diesem Zeitpunkt nicht auf.

Abgesehen von der Analyse vom 05.03.2013 wurde seit Beginn des Markierungsversuchs (27.08.2012) am Brunnen TB 5 jeweils ein SF_6 -Wert von 2 fmol/l bestimmt, was nach Angabe des ausführenden Spurenstofflabors Dr. Oster, Wachenheim innerhalb des Messfehlers liegt und somit nicht als Nachweis gewertet werden kann. Dies trifft nach Auffassung des Labors auch auf den Wert vom 05.03.2013 zu (3 fmol/l), da der Messfehler der Bestimmung ca. 20% bzw. mindestens ± 2 fmol/l beträgt.

Der (nahezu) fehlende SF_6 -Nachweis am Brunnen TB 5 ist insbesondere deshalb bemerkenswert, da die TwVersorgung der Gemeinde Mömlingen seit Herbst 2012 praktisch allein über diesen Brunnen erfolgt und dieser somit – im Vergleich zu den Vorjahren und unter Berücksichtigung des Pumpversuchs 2012 (siehe /4/) – ungewöhnlich intensiv genutzt wird. Hieraus ist zu schließen, dass – sofern kein technisch bedingter Brunnenausfall eintritt – die TwVersorgung der Gemeinde Mömlingen alleine über den Brunnen TB 5 qualitätssicher erfolgen könnte.

Nachdem nun innerhalb von mehr als 9 Monaten – der Markierungsversuch wurde am 27.08.2012 begonnen – kein SF_6 , das als Markierungsstoff in die Mömling eingebracht wurde, am Brunnen TB 5 nachweisbar war, wird davon ausgegangen, dass dieser Brunnen keinem Einfluss von Mömling-Uferfiltrat unterliegt. Die Abschätzung der Herkunft des an den Brunnen TB 4 und TB 5 in Kapitel 3.4.2 in /4/ anhand der vorliegenden Leitfähigkeitsmessungen ändert sich demnach wie folgt:

- 85% Grundwasser aus nördlicher Richtung
- $\geq 10\%$ Grundwasser aus südlicher Richtung (repräsentative Qualität: TB 6)
- $\leq 5\%$ Mömling-Uferfiltrat, jedoch nur am Brunnen TB 4

3. Ergänzungen zum hydrogeologischen Modell

Aufgrund des oben beschriebenen Resultats bezüglich der bis Juni 2013 fortgesetzten SF₆-Messungen am Brunnen TB 5 ist das hydrogeologische Modell in /4/ bezüglich dieses Brunnens wie folgt zu aktualisieren:

- Das GwEinzugsgebiet der Brunnen TB 4 und TB 5 und der Quellen A bis D, die aufgrund der Hydrochemie eindeutig als echte GwAustritte einzustufen sind, liegt i. W. nördlich der Mömling und reicht auch über den Amorbach hinaus; dies ist aus folgenden hydrogeologischen Sachverhalten und Daten zu schließen:
 - Die vorliegenden GwStände belegen eine GwFließrichtung von Nordwest nach Südost bzw. in Richtung der Brunnen; dies zeigen auch die aktuellen GwGleichenpläne in Anlage 3 in /4/.
 - Die GwQualität der Brunnen TB 4 und TB 5 und der Quelle D zeigt, dass innerhalb dieses GwEinzugsgebietes Calciumcarbonat-haltige Gesteine verbreitet sein müssen. Dies können bei den örtlichen geologischen Gegebenheiten nur die Gebiete mit Löß- und Lößlehmverbreitung sein, die nördlich der Mömling liegen. Die FCKW-Befunde weisen darauf hin, dass die Quelle D und der Brunnen TB 5 das gleiche Einzugsgebiet haben, was auch nach den GwGleichenplänen (Anlage 3) in /4/ und den hydrochemischen Parametern in Tabelle 4-3 in /4/ plausibel ist.

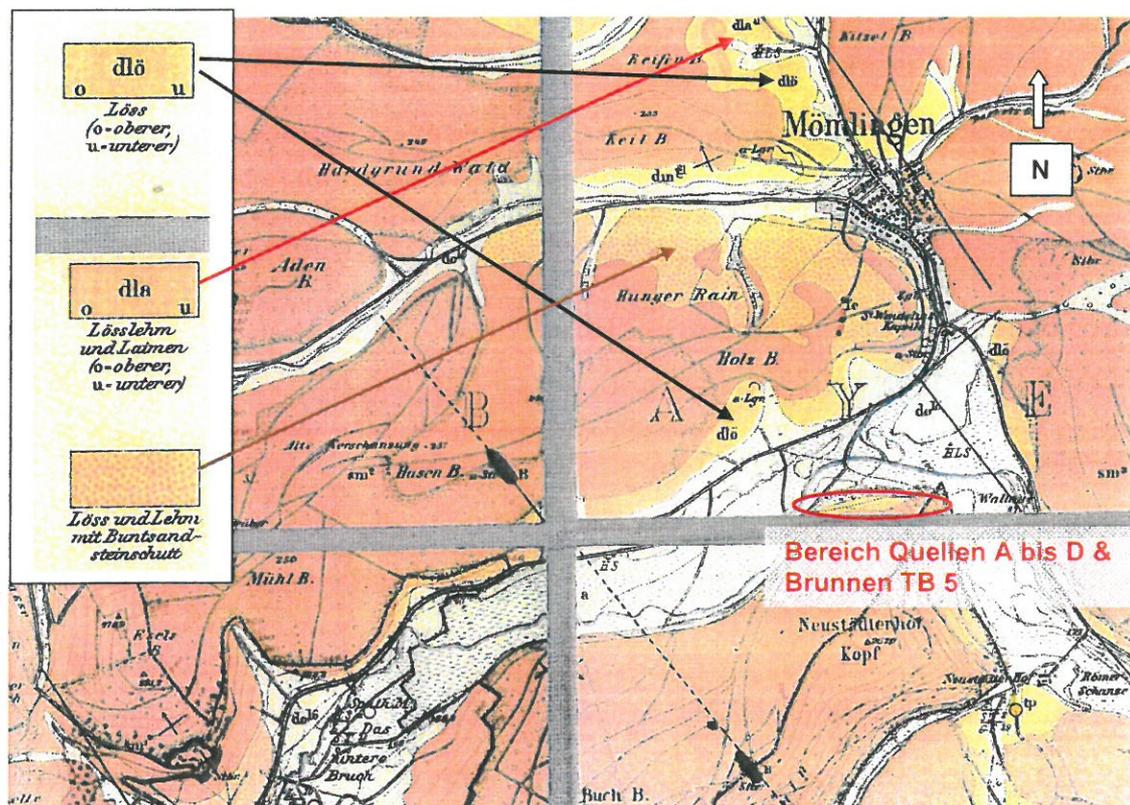


Abbildung 3-1: Geologische Karte des Untersuchungsgebietes (Auszug aus /10/)

- Der Amorbach bildet keine hydraulische Grenze, da er über dem maßgeblichen GwSpiegel schwebt. In Verbindung mit den GwStandsmessungen ergibt sich hieraus die Schlussfolgerung, dass das Einzugsgebiet der Brunnen TB 4 und TB 5 im Norden über den Amorbach hinausreicht.
- In der geohydraulischen Auswertung der Pumpversuchsdaten in /3/ deutet sich für die Brunnen TB 4 und TB 5 eine nicht sehr ausgeprägte Wirksamkeit einer Anreicherungsgrenze an; hierfür kommt unter den örtlichen Gegebenheiten nur die Mömling in Betracht. Für den Brunnen TB 4 wird dies durch das Markierungsversuchsergebnis auch bestätigt, für den Brunnen TB 5 jedoch nicht. Eine Erklärung hierfür könnte sein, dass der Uferfiltratanteil am Brunnen TB 5 so klein ist, dass er keine nachweisbaren SF₆-Konzentrationen zur Folge hat.
 - Die Auswertung des Markierungsversuchs spricht dafür, dass die hydraulische Stützung durch Mömling-Uferfiltrat am Brunnen TB 4 vermutlich in dessen relativer Nähe erfolgt. Für den Brunnen TB 5 ist dies – sofern überhaupt vorhanden – aufgrund der Höhenverhältnisse nur in einem weiter oberstromig gelegenen Mömling-Abschnitt in mehr als 800 bis 1.000 m Entfernung möglich. Dies dürfte über talparallele (Hangzerreißungs-) Klüfte erfolgen, die auch die hohe Ergiebigkeit dieses Brunnens und die hohe Gebirgsdurchlässigkeit an diesem Standort plausibel erklären.
 - Es wird allerdings für den Brunnen TB 5 angenommen, dass der im Vergleich zu den Wasserspiegelnhöhen der Quellen A bis D relativ hohe GwStand durch eine Druckbeeinflussung aus nördlicher Richtung verursacht ist. Unter Berücksichtigung der hydraulischen Niveaus, der Hydrochemie und der Geländebeobachtungen sehen wir für diesen Bereich folgende Zusammenhänge:
 - Die wesentliche GwAnströmung erfolgt von Norden, wobei die Mömling im Bereich der Quellen A bis D und des Brunnens TB 5 keine Vorflutwirkung ausübt sondern unterströmt wird.
 - Die natürliche Entwässerung des GwLeiters erfolgt südlich der Mömling über die Quellen A bis D, die offensichtlich entlang der Hangzerreißungszone angeordnet sind. Hierfür sprechen die kleinen sichtbaren Quelltöpfe ohne Bewuchs; besonders augenfällig sind markante GwAufstiege im mittleren Teil der Quelle D, die die folgende Abbildung zeigt.
 - Aufgrund der nachgewiesenen hohen Gebirgsdurchlässigkeit an diesem Standort ist anzunehmen, dass auch der Brunnen TB 5 in dieser Hangzerreißungszone lokalisiert ist. Dessen relativ hoher Ruhewasserspiegel (ca. 134,40 m ü.NN) im Vergleich zu den am 15.08.2012 gemessenen Wasserspiegelniveaus der Quellen (133,48 [Qu. A] bis 132,19 m ü.NN [Qu. D]; siehe /4/) zeigt, dass über die Quellausläufe keine vollständige Druckabsenkung in der Hangzerreißungszone in diesem Bereich erzeugt wird.
 - Berücksichtigt man die hohe Ergiebigkeit des Brunnens TB 5, das Erscheinungsbild der Quellen (sichtbare GwAufstiege, Quellbäche) und die gemessenen Quellabflüsse bedeutet dies wiederum, dass die Hangzerreißungszone südlich der Mömling in ungewöhnlich starkem Maße Gw-führend ist. Dies setzt die Einspeisung aus einem sehr großen GwEinzugsgebiet voraus, das aufgrund der örtlichen

Gegebenheiten im Norden liegen muss. Das mögliche Einzugsgebiet im Süden ist zu klein und kann keine adäquate GwNeubildungsfläche erklären (s.u.); zudem liefert es nicht die passende Wasserqualität (siehe Hydrochemie TB 6 in /3/, /4/).

- Verstärkt wird die GwFührung dieser Hangzerreißungszone noch durch die GwAnreicherung durch Gewässerinfiltration: Amorbach-Versickerung im Norden (Messung: ca. 7 l/s) und Mömling-Infiltration in Richtung Landesgrenze (Schätzung: ca. 1,5 l/s; siehe Kap. 3.4.2 in /4/).

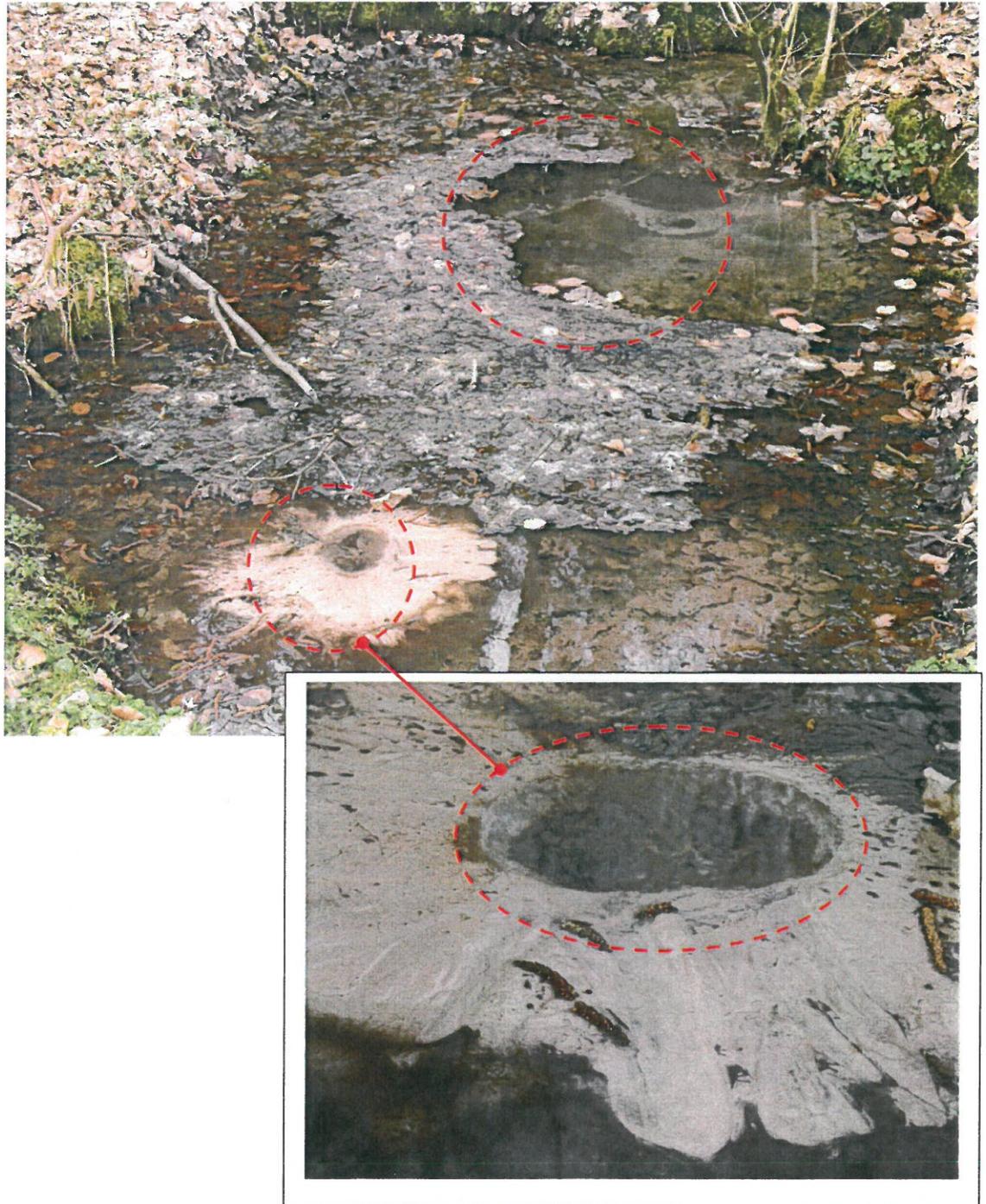


Abbildung 3-2: Markante GwAufstiegszonen an der Quelle D, mittl. Teil (03.04.2013)

- Die starke GwFührung der Hangzerreißungszone im Bereich vom Brunnen TB 5 wird auch dadurch deutlich, dass trotz der dauerhaften Förderung von ca. 15 l/s während des PV/MV 2012 die Wasserspiegel an den Quellen A bis D offensichtlich nur geringfügig abgesenkt wurden, und unter diesen Förderbedingungen und der gleichzeitig im Herbst üblichen NW-Situation am 31.10.2012 noch ein messbarer Quellabfluss festzustellen war (siehe Anlagen 1.1, 1.4 und 3.2 in /4/).

4. Grundwassermodellierung für den Bereich Mömlingen

4.1 Modellkonzept, Kalibrierungsstrategie, Modellierungsziele

Ausgehend von dem hydrogeologischen Modell (HGM) wurde in /4/ für das numerische „GwModell Mömlingen“ ein Konzept entwickelt, das leicht modifiziert wie folgt realisiert wurde:

Tabelle 4-1: Konzept für das „GwModell Mömlingen“ (Realisierung 2013)

Modellaspekt	konzeptioneller Ansatz	Umsetzung, Untersuchungsziele
Modellgebiet	Orientierung an natürlichen Randbedingungen (RB).	Naturnahe Ausrichtung der GwStrömungsberechnung
Randbedingungen (RB)	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Leakage-RB (RIVER) entlang der Gewässer Mömling und Amorbach (abschnittsweise); Höhenniveaus gemäß Einmessungen (siehe /3/ [Mömling] und Anlage 1 [Amorbach]). ➤ Leakage-RB (DRAIN) an den Quellen A bis D; Höhenniveaus gemäß Einmessung (siehe Anlage 1). ➤ Leakage-RB (DRAIN) am Amorbach (abschnittsweise) sowie am Ebelsloch-, Bachelsbrunngraben und am Schlauchenwiesgraben. ➤ Plausible Randstromlinien und GwScheiden als NO-FLOW-RB. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Sicherstellung einer integrieren GwBilanz. ➤ GwZufluss nur über GwNeubildung durch Niederschlag möglich; GwNeubildung wirksam in der obersten Modellschicht. ➤ Gewässer als Leakage-RB jeweils innerhalb der Schicht, in der sie aufgrund der hydrogeologischen Gegebenheiten verlaufen; Gewässerniveaus entsprechend den vorliegenden Höheneinmessungen, gemäß DGM 25/50 und gemäß TK 25. ➤ Berücksichtigung der Modellierungsergebnisse aus dem Bereich Obernburg /9/. ➤ GwBilanzkontrolle über die Abflussmessungen am Amorbach und die gemessenen Quellabflüsse
Quellen und Senken	<ul style="list-style-type: none"> ➤ GwNeubildung aus Niederschlag gemäß HGK 500 (stationäre Modellierung), flächenhaft wirksam in der obersten Modellschicht; Mittelwert: $q_{Gw} = 4,2 \text{ l/s} \cdot \text{km}^2$. ➤ Brunnenentnahmen in bekannter bzw. definierter Höhe; Zuordnung zu den Modellschichten nach hydrogeologisch-geohydraulischen Kriterien. 	
Vertikaler Modellaufbau	Umsetzung des Untergrundaufbaus als 4-Schicht-Modell.	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Schicht 1: (i. W.) sm+ qu (Talbereich) ➤ Schicht 2: su (+ sm) + qu (Talbereich) ➤ Schicht 3: su, oberer Abschnitt ➤ Schicht 4: su, unterer Abschnitt ➤ dichte Modellbasis = Oberkante Bröckelschiefer (Zechstein) entsprechend dem hydrogeologischen Kenntnisstand in Anlehnung an /9/

Modellaspekt	konzeptioneller Ansatz	Umsetzung, Untersuchungsziele
Kalibrierungsziele (stationäre und instationäre Kalibrierung)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Nachbildung der GwVerhältnisse am 01.08. und 31.10.2012 (GwStichtagsmessungen; stationäre Kalibrierung). 2. Nachbildung der Untergrundpassagezeit von Mömling-Uferfiltrat am Brunnen TB 4 (stationäre Kalibrierung). 3. Bilanzkontrolle anhand der gemessenen Abfluss-/Infiltrationsraten am Amorbach und der gemessenen Abflüsse an den Quellen A bis D (stationäre Kalibrierung). 4. Nachbildung der Betriebssimulation 2005 (siehe /3/, /4/; instationäre Kalibrierung) 	Nachbildung der GwStrömungsverhältnisse und der GwDynamik im Einzugsgebiet der Brunnen TB 4, TB 5 und TB 6.
Modellanwendungen	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Berechnung von GwFließgeschwindigkeiten und Brunneneinzugsgebieten bei Ansatz wasserwirtschaftlich relevanter Förderraten an den relevanten Brunnen. ➤ Evtl. Optimierung von Brunnenentnahmen zur Begrenzung von Nutzungskonflikten. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Berechnung der 50-Tage-Zone bei Ansatz der relevanten Tagesspitzenentnahmen zur Bemessung der Schutzzone II. ➤ Berechnung der Brunneneinzugsgebiete bei Ansatz der relevanten Durchschnittsentnahmen (= Jahresentnahmen) zur Bemessung der Schutzzone III.

Das numerische GwModell wurde mit dem Rechenprogramm MODFLOW (GMS Version 6.0) erstellt, das nach der Finite-Differenzen-Methode arbeitet (MODFLOW 2000).

4.2 Modellerstellung, Randbedingungen

Entsprechend dem oben beschriebenen Konzept wurde das „GwModell Mömlingen“ erstellt, wobei folgende Aspekte anzumerken bzw. einige Vorgaben zu beachten sind:

- Das Modellgebiet wird an oberirdischen Wasserscheiden orientiert und so groß gewählt, dass es die relevanten Brunneneinzugsgebiete, soweit dies im Vorfeld der Modellierung absehbar war, vollständig einschließt (siehe Anlage 2.1).
- Es gilt die Annahme, dass im Bereich der oberirdischen Wasserscheiden entlang der gesamten Modellgebietsgrenze auch GwScheiden bzw. Randstromlinien in der GwStrömung wirksam sind. Somit ergeben sich entlang der gesamten Modellgebietsgrenze No-Flow-Randbedingungen, die für alle Modellschichten gelten. Dies bedeutet, dass ein Zufluss in das Modellgebiet nur über die natürliche GwNeubildung aus Niederschlag und ggf. durch die Versickerung von Oberflächenwasser entlang der Fließgewässer (Mömling, Amorbach) möglich ist, und ein GwAbfluss bzw. -Entzug modelltechnisch nur über die Fließgewässer, die Quellen A bis D und die GwEntnahmen an den Brunnen erfolgen kann.

- Die Fließgewässer Mömling und Amorbach werden als Leakage-Randbedingungen, Typ River in der 1. bzw. 2. Modellschicht (s. u.) vorgegeben, da entlang dieser Gewässer sowohl Ex- als auch Infiltration möglich ist. Hierzu sind folgende Ergebnisse bzw. Modellvorstellungen zu beachten:
 - Der Amorbach schwebt W' des Ortsbereiches von Mömlingen über dem GwSpiegel und infiltriert hier nachweislich; zwischen den Messpunkten AB5 und AB1 wurde im Sommer 2012 eine Versickerungsrate von durchschnittlich 7 l/s bzw. 2,8 l/s*km gemessen (Mittelwerte aus 3 Messkampagnen; siehe /4/). Auf der Grundlage der Abflussmessungen bzw. der bekannten Infiltrationsrate ist für den Amorbach eine Bilanzkontrolle möglich.
 - Die Mömling infiltriert im Bereich des Brunnens TB 4 in geringem Maße in den Untergrund, wie der kombinierte Pump- und Markierungsversuch in /4/ gezeigt hat. Unterhalb des Brunnenstandorts TB 4, insbesondere im Bereich des Brunnens TB 5 und der Quellen A bis D, dürfte die Mömling hydraulisch vom GwBereich entkoppelt sein bzw. unterströmt das Grundwasser innerhalb des Buntsandsteins die Mömling in diesem Bereich von Norden her.
 - Die Höhenniveaus dieser Gewässer bzw. Gewässerabschnitte werden entsprechend den vorliegenden Einmessdaten vorgegeben und für den W' Abschnitt des Amorbachs aus der TK 25 abgeleitet.

- Der Amorbach wird im Ortsbereich von Mömlingen und im W des Modellgebietes, ebenso wie der Ebelslochgraben, Bachelsbrunngraben und Schlauchenwiesgraben, als Leakage-Randbedingung, Typ Drain in der 1. bzw. 2. Modellschicht (s. u.) vorgegeben. Für diese Gewässer- bzw. Grabenabschnitte gilt somit die Modellannahme, dass hier nur GwAbfluss, jedoch keine Gewässerinfiltration erfolgen kann; Verlauf und Höhenniveaus werden aus der TK 25 abgeleitet.

- Hinsichtlich des Ansatzes der GwNeubildung aus Niederschlag wird in analoger Weise verfahren, wie im „GwModell Obernburg“ /9/ (Ansatz gemäß HGK 500 bzw. Bodenwasserhaushaltsmodell); die GwNeubildung ist nur in der 1. Modellschicht (s. u.) wirksam.

- Brunnentnahmen werden nur im Unteren Buntsandstein (su; Modellschicht 4) angesetzt.

- Der 4-schichtige Modellaufbau ist als Prinzipskizze in Anlage 2.3 dargestellt; hierzu ist folgendes zu erläutern (siehe Anlage 2.3):
 - Die Modellschicht 1 erfasst den oberen Teil der Buntsandstein-Abfolge und war zunächst nicht vorgesehen. Es zeigte sich aber, dass ohne diese Schicht entlang des Oberlaufs des Amorbachs (modelltheoretisch) bei gleichzeitig plausiblen GwStänden an den bekannten GWM kein Abfluss zu erzeugen war. Aufgrund der Höhenlage sind die Zellen dieser Schicht nur im NW' Teil des Modellgebietes hydraulisch aktiv, ansonsten fallen sie in weiten Teilen des Modellgebietes trocken.

- In der Modellschicht 2 werden die Unterschiede in der Hydrogeologie (Buntsandstein, Quartär) durch entsprechende Parametrisierung abgebildet.
 - Die Modellschicht 3 ist erforderlich, um die hydraulische Entkopplung zwischen der Mömling und dem unteren Abschnitt des Buntsandsteins N' des Brunnens TB 5 und der Quellen A bis D zu realisieren.
 - Bei der Durchlässigkeitsverteilung im Buntsandstein sind die k_f -Werte aus Pumpversuchsdaten in /3/ zu beachten; für die Lockergesteine des Talquartärs (Sande, Kiese) sind plausible Literaturwerte anzusetzen.
 - Im Buntsandstein sind im Bereich der Hangzerreißungszonen erhöhte Durchlässigkeiten anzunehmen; dies betrifft praktisch jedoch nur die Modellschichten 2 bis 4.
 - Die als dicht angenommene Modellbasis wird – wie im „GwModell Obernburg“ /9/ – auf einem einheitlichen Niveau von 30 m ü.NN angesetzt.
- Für die stationäre Modellkalibrierung sind folgende Aspekte wesentlich:
- Bei der stationären Kalibrierung auf der Grundlage der Stichtagsmessungen 01.08. bzw. 31.10.2012 ist zu beachten, dass zu diesen Zeitpunkten unterschiedliche Entnahmebedingungen bzw. Brunnenförderraten gegeben waren. Am 01.08.2012 liefen die Brunnen TB 4 und TB 5 noch im Regelbetrieb für die Tw-Versorgung zu diesem Zeitpunkt; die Förderraten betragen an diesem Tag 214 m³/d (TB 4) bzw. 627 m³/d (TB 5).
 - Am 31.10.2012 wurde die Spitzenförderung am Ende des Pump- und Markierungsversuchs wie folgt realisiert: 1.296 m³/d (TB 5) bzw. 432 m³/d (TB 4).
 - Unter diesen Spitzenförderbedingungen (analog 31.10.2012) wurde auch die Untergrundpassagezeit von Mömling-Uferfiltrat bis zum Brunnen TB 4 von ≤ 4 Tagen im Rahmen des Markierungsversuchs gemessen; am Brunnen TB 5 ist kein Uferfiltrateinfluss nachweisbar.
 - Bei der Bilanzkontrolle über die Quellabflüsse ist zu beachten, dass diese Abflüsse sowohl im Regelbetrieb der Brunnen (01.08.2012) als auch bei Spitzenförderung unter den Pumpversuchsbedingungen am 31.10.2012 wie folgt gemessen wurden:

Datum	Quelle(n)	Schüttung / Quellabfluss
01.08.2012	A + B + C	2,2 l/s
31.10.2012	D	0,8 l/s
01.08.2012	A + B + C	1,6 l/s
31.10.2012	D	0,5 l/s

- Bei der instationären Modellkalibrierung anhand der Betriebssimulation 2005 ist zu berücksichtigen, dass die damaligen Höheneinmessungen widersprüchlich waren. Als Ausgangsniveau bzw. Startwerte für die Betriebssimulation 2005 wurden daher die Höhen gemäß der Stichtagsmessung 31.10.2012 angesetzt. Da dies eine Abweichung gegenüber dem realen Gw-Niveau Ende 08/2005 bedeuten könnte, ist die instationäre Kalibrierung an der Gw-Standsänderung unter den Bedingungen der Betriebssimulation auszurichten.

Des Weiteren ist anzumerken, dass die Betriebssimulation während einer etwa 3-wöchigen Zeitspanne zwischen Ende August und Anfang September 2005 durchgeführt wurde, innerhalb derer – jahreszeitlich bedingt – mutmaßlich (nahezu) keine GwNeubildung durch Niederschlagsversickerung erfolgt ist. Vereinfachend wurde daher für die instationäre Kalibrierung für diese Periode keine zeitlich variable GwNeubildung angesetzt, sondern der auch für die stationäre Kalibrierung geltende Mittelwert von $q_{Gw} = 4,2 \text{ l/s} \cdot \text{km}^2$.

4.3 Modellkalibrierung

4.3.1 Stationäre Kalibrierung

Gemäß der oben beschriebenen Reihenfolge der Anpassungsziele wurde zunächst durch Variation der k -Werte im Rahmen hydrogeologisch plausibler Größenordnungen und unter Berücksichtigung der aus Pumpversuchen ermittelten Durchlässigkeitsbeiwerte (siehe /3/) die Anpassung der GwStände an die Werte der Stichtagsmessungen vom 01.08. und 31.10.2012 angestrebt. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass bei der stationären Kalibrierung die mittlere GwNeubildung aus Niederschlag, wirksam in der jeweils obersten Modellschicht, nicht verändert wurde ($q_{Gw} = 4,2 \text{ l/s} \cdot \text{km}^2$), dass aber an diesen beiden Stichtagen unterschiedliche Förderbedingungen gegeben und dementsprechend in der Modellrechnung umzusetzen waren. Am 01.08.2012 erfolgte noch der übliche Routinebetrieb der Brunnen TB 4 und TB 5, während die Stichtagsmessung 31.10.2012 gegen Ende des definierten Pumpbetriebs beim kombinierten Pump- und Markierungsversuch erfolgte /4/.

Die statistische Auswertung in Anlage 2.4.1 zeigt die Güte der stationären Modellanpassung bezüglich der GwStände an den beiden Stichtagen. Demnach fallen bei gleichen Korrelationskoeffizienten die Fehlkenngößen für die Anpassung an die Werte vom 31.10.2012 etwas besser aus; insgesamt zeigt sich aber eine zufriedenstellende Anpassung an die GwStichtagsmessungen. Die k -Wert-Verteilung für diesen Kalibrierungszustand ist in Anlage 2.4.4 und Anlage 2.4.5 dokumentiert.

In Anlage 2.4.2 ist der Vergleich der an den o.g. Stichtagen gemessenen Abflüsse an den Quellen A bis D und am Amorbach W' von Mömlingen dokumentiert¹. Auch bezüglich dieser Abflussmesswerte zeigt sich am 31.10.2012 eine etwas bessere Anpassung der Rechenwerte an die Messungen. Aufgrund der guten Übereinstimmung der Mess- und der Rechenwerte an den Quellen A bis D und an dem westlichsten Messpunkt am Amorbach (AB 5), vor allem am 31.10.2012, kann das GwModell Mömlingen als bilanzkontrolliert gelten. Dementsprechend wird auch die bekannte Infiltration entlang des Amorsbachs, die vor allem zwischen den Messpunkten AB 5 und AB 3 erfolgt (siehe Anlage 1.1 in /4/), gut reproduziert. Am 01.08. bzw. am 31.10.2012 wurde eine durchschnittliche Gesamtinfiltrationsrate von 7,5 bzw. 8 l/s gemessen. Das GwModell liefert als Absickerung entlang

¹ Negative Werte beschreiben den GwAbfluss (= NW-Abfluss) an der betreffenden Leakage-RB und positive Werte die entsprechende Einspeisung (Infiltration) in den GwLeiter entlang des betreffenden Gewässerabschnittes.

der Leakage-Randbedingung Amorbach zwischen dem Messpunkt AB 5 und AB 3 für beide Stichtage ca. 8,2 l/s. Unter Berücksichtigung der Genauigkeit der Abflussmessungen (hydrometrischer Flügel) kann dies als sehr gute Übereinstimmung von Messung und Rechnung gewertet werden, und es ist festzustellen, dass das GwModell Mömlingen auch diesbezüglich die geohydraulischen Verhältnisse bilanzseitig korrekt widerspiegelt.

Die GwStrömungssituation für den Kalibrierungszustand (31.10.2012) ist in Anlage 2.4.6 in Form von GwGleichenplänen für die Modellschichten 2 bis 4 dargestellt¹.

Nicht erreicht wurde das 2. Ziel der stationären Kalibrierung, das die Anpassung der Untergrundpassagezeit von Mömling-Uferfiltrat bis zum Brunnen TB 4 in ≤ 4 Tagen vorsah. Derart kurze Fließzeiten konnten mit dem Modell nur bei gleichzeitig grober Abweichung von den übrigen Messungen (s.o.) erreicht werden bzw. resultieren umgekehrt bei dem oben beschriebenen Kalibrierungszustand längere Untergrundpassagezeiten von Mömling-Infiltrat bis zum Erreichen dieses Brunnens. Aufgrund des äußerst geringen Uferfiltratanteils im Förderwasser des Brunnens TB 4 (siehe /4/) besteht daher der Verdacht, dass entlang einer Einzelkluft (o.ä.) zwar sehr hohe GwFließgeschwindigkeiten auftreten, diese Einzelkluft (o.ä.) aber nur eine sehr begrenzte Kapazität hat, weshalb auf diesem Fließweg nur eine sehr begrenzte Fließrate möglich ist. Eine solche spezielle geohydraulische Situation lässt sich mit dem vorliegenden Finite-Differenzen-Modell nicht adäquat umsetzen, da dies modelltechnisch die explizite Vorgabe von Einzelklüften erfordert. Dies ist mit der hier verwendeten Modellierungssoftware nicht möglich.

Da der Brunnen TB 4 für die zukünftige TwGewinnung im Regelbetrieb nicht mehr in Betracht kommt, besteht für diesen Brunnen auch keine Notwendigkeit, mit dem Modell Betriebssimulationen zu rechnen. Daher wird dieses Defizit in der Modellkalibrierung akzeptiert.

4.3.2 Instationäre Kalibrierung

Um auch die Dynamik des GwSystems mit dem numerischen GwModell zu erfassen, wurde dieses – ausgehend von der stationären Kalibrierung – auch instationär angepasst. Anpassungsziel war hierbei die Reproduktion der GwStandänderungen, die bei der Betriebssimulation 2005 unter dem Einfluss der realisierten wechselnden Förderraten an den Brunnen TB 4, TB 5 und TB 6 gemessen wurden (siehe Anlage 1.4 in /4/).

Für die instationäre Modellkalibrierung waren die Parameter spezifischer Speicherkoeffizient S_s und entwässerbarer Hohlraumanteil n_o („Nutzporosität“) für den Buntsandstein wie folgt einzuführen:

- $S_s = 8 \times 10^{-5} \text{ m}^{-1}$
- $n_o = 0,02$ bzw. 2%

Diese Beträge wurden einheitlich für den gesamten Buntsandstein angesetzt.

¹ Die Modellschicht 1 ist in dem maßgeblichen Bereich W' von Mömlingen weitgehend trocken, so dass auf die Darstellung des GwGleichenplans für diese Modellschicht verzichtet wurde.

Der Vergleich der gemessenen und der berechneten GwGanglinien in Anlage 2.5 zeigt, dass auch die Dynamik des GwSystems recht gut durch das numerische Modell nachgebildet wird. Dementsprechend kann der Betrag für den entwässerbaren Hohlraumanteil n_0 („Nutzporosität“) von 0,02 bzw. 2% als Kalibrierungsergebnis gewertet werden.

4.3.3 Bewertung der Modellkalibrierung

Das numerische GwModell Mömlingen dient in erster Linie der Behandlung wasserwirtschaftlicher Fragen bezüglich der zukünftig versorgungsrelevanten Brunnen im Regelbetrieb. Ausgehend von dieser Zielstellung werden der Kalibrierungszustand und somit auch die Prognosefähigkeit des GwModells Mömlingen wie folgt bewertet:

- Es gelingt eine akzeptable Reproduktion der GwStände aus den Stichtagsmessungen 01.08. und 31.10.2012 sowie der GwGanglinien aus der Betriebssimulation 2005. Somit werden die Druckhöhen in dem GwSystem entsprechend dem gegebenen Erkundungsstand hinreichend korrekt wiedergegeben.
- Durch die Bilanzkontrolle anhand der NW-Abflussmessungen an den Quellen A bis D und am Amorbach ist sichergestellt, dass der GwUmsatz bei Ansatz einer mittleren GwNeubildungsspende von $q_{Gw} = 4,2 \text{ l/s} \cdot \text{km}^2$ realitätsnah berechnet wird. Dies ist – neben der realitätsnahen k_f -Wert-Verteilung – Voraussetzung für die Berechnung realistischer GwAnstrombreiten bzw. GwEinzugsgebiete der Brunnen.
- Das numerische GwModell bestätigt die hydrogeologische Modellvorstellung nach /3/ bzw. /4/ in den wesentlichen Punkten wie folgt:
 - Das GwEinzugsgebiet der Brunnen TB 4 und TB 5 liegt nördlich der Mömling und erfasst Bereiche in denen kalkhaltige Lockersedimente über dem Buntsandstein und entlang des Amorbachtals verbreitet sind (siehe Anlage 2.4.7), was die entsprechende Wasserqualität an diesem Brunnen erklärt.
 - Die Mömling wird N' des Brunnens TB 5 bzw. der Quellen A bis D von Grundwasser aus den N' gelegenen Flächen unterströmt, was hier die Existenz (Annahme) einer gering durchlässigen Schicht unterhalb der Mömling erfordert. Für die Modellschicht 3 ergibt sich hier in der Modellkalibrierung eine k_f -Wert-Zone mit $1 \times 10^{-8} \text{ m/s}$ (vertikaler k_f -Wert; siehe Anlage 2.4.4).
 - Dass die Entwässerung des GwSystems natürlicherweise über die südlich der Mömling verlaufende Hangzerreißungszone und die dortigen Quellen A bis D erfolgt, ist im Gelände erkennbar; dieser Mechanismus erfordert für die Modellschichten 2 und 3 eine linienhafte Zone mit erhöhten vertikalen k_f -Werten, was sich auch aus der stationären Kalibrierung ergibt (siehe Anlage 2.4.4).
- Nicht reproduzieren lässt sich mit dem numerischen GwModell, aus den oben beschriebenen Gründen, die nachgewiesene Untergrundpassagezeit von Mömling-Uferfiltrat bis zum Erreichen des Brunnens TB 4. Da dieser Brunnen für den zukünfti-

gen Regelbetrieb und somit für WSG-bemessungsrelevante Entnahmen nicht mehr in Betracht kommt, kann dieses Modelldefizit in Kauf genommen werden.

- Das hydrogeologische Modell postuliert für die N⁹ Talseite, im Bereich der Messstellen GM6 bis GM8, ebenfalls eine Hangzerreißungszone mit mutmaßlich hoher Durchlässigkeit und in Folge dessen der Ausbildung der GwKaskade. Diese lässt sich mit dem numerischen GwModell in dieser Form nicht reproduzieren; vielmehr zeigt das Modellergebnis – konsequent dem Darcy-Gesetz folgend – hier eine herabgesetzte Durchlässigkeit, durch die (formal) das aus den GwStandsmessungen resultierende hydraulische Gefälle erzeugt wird. In jedem Fall liegt dieser Bereich – wenngleich mit evtl. inkorrekt wiedergegebenen k-Werten – im GwEinzugsgebiet des Brunnens TB 5 somit innerhalb der zukünftigen Schutzzone III. Somit bleibt dieses formale Modellergebnis letztendlich ohne Folgen für die WSG-Bemessung und kann daher akzeptiert werden, zumal es auch im Hinblick auf den zukünftigen Brunnenbetrieb nicht relevant ist.
- Die (Vorwärts-) Berechnung der Bahnlinien ausgehend von dem bekannten Infiltrationsbereich entlang des Amorbachs in Anlage 2.4.3 zeigt folgendes:
 - Das Infiltrat, das innerhalb der Modellschicht 2 verbleibt, in der der Amorbach aufgrund der Höhenverhältnisse verläuft (siehe Anlage 2.3), strömt in der Schicht 2 nach SE zur Mömling hin ab.
 - Nach der Darstellung der GwGleichen in Anlage 2.4.6 ist jedoch im Amorbachtal ein hydraulischer Gradient von oben nach unten gegeben, d.h. es ist möglich, dass Amorbach-Infiltrat auch in die Modellschichten 3 und 4 absickern kann.
 - Innerhalb der Modellschicht 4 kann dieses Infiltrat unter Förderbedingungen auch zu den Brunnen TB 4 und TB 5 gelangen und innerhalb dieser Brunneneinzugsgebiete GwBilanz-wirksam werden.

4.4 Modellanwendung – Untersuchung verschiedener Brunnenbetriebsszenarien

4.4.1 Grundüberlegungen

Nach dem derzeitigen Stand der Untersuchungen ist davon auszugehen, dass für den zukünftigen Regelbetrieb der Brunnen zur gemeindlichen TwVersorgung in Mömlingen folgende Brunnen- und Entnahmekonfigurationen in Betracht kommen:

- Alleiniger Betrieb des Brunnens TB 5.
- Betrieb der Brunnen TB 5 und TB 6 im Verhältnis 3:1, d.h. der Brunnen TB 5 realisiert durchschnittlich 75% der erforderlichen Förderleistung und 25% werden aus dem Brunnen TB 6 gewonnen.

- Andere Brunnen- und Entnahmekonfigurationen kommen derzeit nicht Betracht, so dass sich die Szenarienberechnungen auf die Brunnen TB 5 und TB 6 beschränken können. Hierbei wird angenommen, dass die Förderung aus dem unteren Abschnitt des Unteren Buntsandsteins (su), also in der Modellschicht folgt
- Es wird für die Bemessung des WSG, Zone III eine zukünftige Jahresentnahme (Gesamtentnahme) von 250.000 m³/a (\cong 8 l/s) angesetzt. Dies liegt etwas über dem in /3/ prognostizierten Bedarf von knapp 210.000 m³/a und berücksichtigt einen Sicherheitszuschlag von etwa 20%, der den Unschärfen in der hydrogeologischen Erkundung und der Komplexität des GwStrömungssystems Rechnung trägt.
- Für die Bemessung der Schutzzone II wird – entsprechend der Bedarfsprognose in /3/ - ein Tagesspitzenbedarf von 1.150 m³/d (\cong 13,3 l/s) zugrunde gelegt.
- Der Berechnung der Brunneneinzugsgebiete, der Bahnlinien mit Zeitmarken und der 50-Tage-Linien liegt die Parameterverteilung aus der Modellkalibrierung zugrunde, also die k_f -Wert-Verteilung gemäß Anlage 2.4.4 und Anlage 2.4.5 sowie ein entwässerbarer Hohlraumanteil („Nutzporosität“) von $n_o = 0,02$ bzw. 2%.

4.4.2 Szenario 1

Bei diesem Szenario wird davon ausgegangen, dass der Regelbetrieb zur gemeindlichen TwVersorgung zukünftig allein über den Brunnen TB 5 könnte, was aufgrund seiner hohen Ergiebigkeit (> 15 l/s) und der installierten Pumpenleistung (15 l/s), der guten Wasserqualität und des nachweislich fehlenden Einflusses von Mömling-Uferfiltrat problemlos möglich wäre.

Berechnet wird das Brunneneinzugsgebiet bei einer durchschnittlichen Förderung von 250.000 m³/a (\cong 8 l/s) und die 50-Tage-Zone bei einer Spitzenentnahme von 1.150 m³/d (\cong 13,3 l/s). Die Ergebnisse werden in Form von GwGleichenplänen mit Bahnlinien dargestellt, wobei die Bahnlinien ausgehend von der Mitte der Brunnenzelle rückwärts berechnet wurden. Diese Ergebnisse stellen sich wie folgt dar (siehe Anlage 3.1):

- Das Brunneneinzugsgebiet liegt – wie bereits in /3/ bzw. /4/ hergeleitet – N' der Mömling und reicht im NW bis in den Bereich der Landesgrenze zu Hessen, allerdings wird auch teilweise das Gewerbegebiet entlang der Bundesstraße 426 sowie randlich auch das Wohngebiet S' der Kreisstraße MIL 33.
- Die 50-Tage-Zone für den Brunnen TB 5 bleibt weitestgehend auf Flächen S' der Mömling beschränkt.

4.4.3 Szenario 2

Der alleinige Betrieb des Brunnens TB 5 bietet mutmaßlich keine ausreichende Versorgungssicherheit für den Regelbetrieb, so dass (mindestens) ein zweiter TwBrunnen zweckmäßig ist. Nach dem derzeitigen Kenntnisstand scheiden der Brunnen TB1 und der Brunnen TB 4 aufgrund der nach Ansicht der Behörden nicht ausreichend gegebenen Schützbarkeit für den zukünftigen Regelbetrieb aus.

Gut schützbare wäre sicher der Brunnen TB 6, der jedoch aufgrund seiner begrenzten Ergebigkeit in /3/ kritisch bewertet wird.

Ausgehend von den bisherigen Ergebnissen und vorbehaltlich einer ergänzenden Überprüfung wird an dieser Stelle davon ausgegangen, dass am Brunnen TB 6 bis zu 5 l/s auch über einen längeren Zeitraum gefördert werden könnten, und dass zukünftig die Brunnen TB 5 und TB 6 gemeinsam im Mengenverhältnis von 3:1 die Regelversorgung sicherstellen.

Ausgehend von dieser Annahme werden die Förderraten gemäß Szenario 1 entsprechend diesem Mengenverhältnis auf die Brunnen TB 5 (75%) und TB 6 (25%) verteilt.

Die Ergebnisse werden ebenfalls in Form von GwGleichenplänen mit Bahnlinien dargestellt, wobei die Bahnlinien ausgehend von der Mitte der Brunnenzelle rückwärts berechnet wurden. Diese Ergebnisse stellen sich wie folgt dar (siehe Anlage 3.2):

- Das Einzugsgebiet des Brunnens TB 5 liegt ähnlich wie nach Szenario 1, ist allerdings aufgrund der um 25% niedrigeren Förderrate etwas schmaler.
- Die 50-Tage-Zonen für beide Brunnen bleiben vollständig auf Flächen S' der Mömling beschränkt.
- Das resultierende GwEinzugsgebiet des Brunnens TB 6 fällt bei der relativ geringen Förderrate von 2 l/s überraschend lang und breit aus. Dies ist geohydraulisch wie folgt zu erklären:
 - Der Ruhewasserspiegel an dieser Bohrung liegt nur wenig über dem Niveau des großräumig relevanten Vorfluters Mömling. Dies bedeutet, dass Grundwasser, das in dem NW' gelegenen Einzugsgebiet aus Niederschlag neugebildet, vorwiegend in den oberen Schichten umgesetzt wird und überwiegend der Mömling zuströmt.
 - Auf den Flächen N' der Mömling gelangt aufgrund der bereichsweise sehr geringen vertikalen Durchlässigkeit der Modellschichten 2 und 3 nur sehr wenig Grundwasser in die tiefste Modellschicht (Schicht 4), aus der der Brunnen TB 6 fördert.
 - Die wesentliche wirksame GwNeubildungsfläche liegt der Modellrechnung zufolge in dem Waldgebiet S' von Dorndiel (Heidenkopf, Hirschberg). Hier gelangt aufgrund der Höhenverhältnisse neugebildetes Grundwasser auch in den tiefen Bereich des GwSystems, in dem es die Täler von Amorbach und Mömling resp. die höheren Schichten entlang dieser Fließstrecke unterströmt. Die 3-Dimensionalität der GwStrömung ist in der Darstellung in Anlage 3.2.3 erkennbar.

5. Empfehlungen zum Brunnenbetrieb und wasserrechtliche Belange

5.1 Brunnenbetrieb und Gestaltung des Entnahmerechtes

Aufgrund der vorliegenden Ergebnisse und vorbehaltlich der ergänzenden Untersuchungen am Brunnen TB 6 /11/ wird der Gemeinde Mömlingen empfohlen, für die zukünftige Wasserversorgung ausschließlich die Brunnen TB 5 und TB 6 zu betreiben (Regelbetrieb). Nach den vorliegenden Nachweisen sollte hierbei folgendes Entnahmerecht als gehobene Erlaubnis über mindestens 20 Jahre beantragt werden:

- Brunnen TB 5:
 - bis zu 15 l/s
 - bis zu 1.150 m³/d
- Brunnen TB 6:
 - bis zu 5 l/s
 - bis zu 290 m³/d
- Gesamtentnahme Br. TB 5 + TB 6:
 - bis zu 1.150 m³/d
 - bis zu 250.000 m³/a

Wie die Betrachtungen im folgenden Kapitel 5.2 zeigen, wird diese Brunnen- und Entnahmekonfiguration durch das vorgeschlagene WSG-Konzept ausreichend abgesichert.

Die Gemeinde Mömlingen betreibt in ihrem Wasserwerk seit 2006 eine zertifizierte UV-Anlage zur Prophylaxe gegen hygienische Beeinträchtigungen. Wenngleich die Brunnen TB 5 und TB 6 nachweislich (TB 5) und sehr wahrscheinlich (TB 6) keinem besonderen hygienischen Risiko ausgesetzt sind, sollte diese UV-Anlage auch weiterhin betrieben werden, um dem geringen mikrobiologischen (Rest-) Risiko aus der hydrogeologischen Position des Brunnens TB 5 in der Hangzerreißungszone zu begegnen.

5.2 Bemessung des Wasserschutzgebietes

Ausgehend von der Annahme, dass eine gehobene Erlaubnis in dem oben beschriebenen Umfang erteilt wird, wird für die Brunnen TB 5 und TB 6 ausgehend von dem Modellergebnis Szenario 2 und unter Berücksichtigung des Abgrenzungsschemas in dem einschlägigen Merkblatt des BLfU /8/ folgendes WSG-Konzept vorgeschlagen (siehe Anlage 4):

Tabelle 5-1: WSG-Konzept für die Brunnen TB 5 und TB 6, Stand 10/2013

Schutzzone	Bemessungsansatz	Begründung, Hinweise
Zone I (Fassungsbereiche)	Der bestehende Fassungsbereich für den Brunnen TB 5 erfüllt die Kriterien nach /7/ und /8/ und kann beibehalten werden. Für den Brunnen TB 6 ist das Mindestkriterium (allseitig 10 m um den Brunnen) ausreichend.	Keine Änderung des bestehenden Fassungsbereichs für den Brunnen TB 5 bzw. Anwendung des erforderlichen Mindestkriteriums.
Zone II (Engere Schutzzone)	<ul style="list-style-type: none"> • Maßgebliche Förderraten: <ul style="list-style-type: none"> ○ Br. TB 5: 860 m³/d ○ Br. TB 6: 290 m³/d • Berechnung der 50-Tage-Zone anhand dieser Förderraten und bei Br. TB 5 Berücksichtigung der Hangzerreißungszone • Einbeziehung der S' der Brunnen gelegenen Hangbereiche über mind. 300 m gemäß /7/. 	Für die Bemessung der Zone II ist die wasserrechtlich genehmigte Tagesspitzenförderung maßgebend.
Zone III (Weitere Schutzzone)	<ul style="list-style-type: none"> • Einbeziehung des berechneten Einzugsgebietes bei folgenden Förderraten (250.000 m³/a \approx 8 l/s): <ul style="list-style-type: none"> ○ Br. TB 5: 6 l/s ○ Br. TB 6: 2 l/s • Berücksichtigung der bilanzrechnerisch notwendigen Einzugsgebietsfläche für 250.000 m³/a: $F_{Gw} = 8 \text{ l/s} : 4,2 \text{ l/s} \cdot \text{km}^2 = \text{ca. } 2 \text{ km}^2$ • Hydraulische Stützung durch Gewässerinfiltration bleibt unberücksichtigt. • Aufgrund des Tritium-Nachweises und nur lokal hoher Schutzfunktion der Deckschichten (siehe /3/) erfolgt für das anteilige WSG für den Brunnen TB 5 i. W. keine Ausgrenzung von Teilflächen mit geringer Schutzbedürftigkeit; lediglich der NW' Teil des berechneten GwEinzugsgebietes, der in einem Waldgebiet in Hessen liegt, kann aufgrund geringer Schutzbedürftigkeit außerhalb des WSG verbleiben. • Für den Brunnen TB 6 können aus hydrogeolog.-geohydraulischen Gründen Flächen mit geringer Schutzbedürftigkeit ausgegrenzt werden; dies wird im Folgenden näher erläutert. 	<p>Für die Bemessung der Zone III ist die wasserrechtlich genehmigte Jahresförderung (= Durchschnittsentnahme) maßgebend.</p> <p>Die Ausgrenzung von Teilflächen des GwEinzugsgebietes mit geringer Schutzbedürftigkeit liegen in großer Entfernung von den Brunnenstandorten in Waldgebieten in Hessen (sehr weit entfernte TEZG mit unkritischer Nutzung). Daher kann das WSG für die Brunnen Mömlingen auf bayerische Flächen begrenzt werden.</p>

Die spezielle geohydraulische Situation für den Brunnen TB 6 wurde unter dem Szenario 2 oben bereits erläutert. Demnach liegt die wesentliche wirksame GwNeubildungsfläche in dem Waldgebiet S' von Dorndiel in Hessen, das gemäß Merkblatt /8/ als entfernte TEZG eingestuft werden und dementsprechend außerhalb des WSG verbleiben kann.

Für den Brunnen TB 6 wird vorgeschlagen, lediglich den an die Schutzzone II angrenzenden brunnennahen Teil des berechneten GwEinzugsgebietes bis maximal zur Landesgrenze bzw. bis zur Bundesstraße B 426 als Schutzzone III auszuweisen. In dem daran anschließenden NW' Teil des Einzugsgebietes erfolgt aufgrund der hydrogeologischen Gegebenheiten kaum Zusickerung in den tieferen und für den Brunnen TB 6 zuflussrelevanten Teil des GwSystems. In Verbindung mit der oben beschriebenen Lage der wesentlichen wirksamen GwNeubildungsfläche S' von Dorndiel kann daher der gesamte N' des Mömlingtals gelegene Teil des berechneten GwEinzugsgebietes des Brunnen TB 6 als entferntes TEZG eingestuft werden und außerhalb des WSG verbleiben.

Auf diese Weise resultiert für den Brunnen TB 6 insgesamt eine Teil-WSG-Fläche mit einer Größe von ca. 1 km², was rechnerisch dem Doppelten der bilanzrechnerisch notwendigen Deckungsfläche (F_{GWN}) für die Durchschnittsentnahme von 2 l/s entspricht:

$$F_{GWN\ TEZG\ TB\ 6} = 2\ l/s : 4,2\ l/s * km^2 = ca. 0,5\ km^2.$$

Dies gilt auch für das gesamte vorgeschlagene WSG mit einer Fläche von ca. 4,4 km²:

$$F_{GWN\ TEZG\ TB\ 6} = 8\ l/s : 4,2\ l/s * km^2 = ca. 2\ km^2.$$

Wie das Modellergebnis des Szenarios 1 zeigt, schließt die vorgeschlagene Schutzzone II auch die 50-Tage-Zone für den Brunnen TB 5 bei Ansatz der Tagesspitzenförderung von 1.150 m³/d allein an diesem Brunnen nahezu vollständig ein. Daher erscheint diese Spitzenförderung für diesen Brunnen in Verbindung mit der vorgeschlagenen WSG-Bemessung gerechtfertigt und genehmigungsfähig. Dies eröffnet die Option, dass der Brunnen TB 5 auch alleine die Tagesspitzenförderung übernehmen kann.

Das nach diesem Konzept vorgeschlagene WSG für die Brunnen TB 5 und TB 6 ist in Anlage 4 dargestellt.

6. Empfehlungen zu weiteren Maßnahmen

Nach den vorliegenden Untersuchungen kann die Wasserversorgung der Gemeinde Mömlingen dauerhaft über die Brunnen TB 5 und TB 6 sichergestellt werden (Regelbetrieb). Allerdings bieten diese Brunnen alleine keine ausreichende Sicherung bei einem gravierenden Notversorgungsfall, der durch einen Ausfall des Wasserwerks hervorgerufen wird. Da die Stadt Obernburg diesbezüglich in einer vergleichbaren Situation ist, wird daher empfohlen, gemeinsam mit der Stadt Obernburg eine Lösung zur wechselseitigen Notfallabsicherung zu suchen. Naheliegender wäre eine Leitungsverbindung zwischen den Wasserwerken in Mömlingen und Obernburg, die sowohl fachlich als auch wirtschaftlich näher untersucht resp. geplant werden sollte.

Ansonsten werden zur Sicherung der TwVersorgung der Gemeinde Mömlingen folgende Maßnahmen empfohlen:

- Untersuchung des Zustandes und der Mindestergiebigkeit des Brunnens TB 6 mittels TV-Befahrung und Bohrloch-Geophysik sowie Durchführung eines stufenweisen Pumpversuchs mit begleitenden Messungen (Hydrochemie, GwAltersbestimmung). Diese Klärung ist Grundlage für die weitere wasserwirtschaftliche Planung.
- Rück- oder Umbau des Brunnens TB1 nach einem mit dem Wasserwirtschaftsamt Aschaffenburg abzustimmenden Konzept. Dieser Brunnen koppelt ausbaubedingt hydraulisch zwei GwLeiter, was von der Behörde als dauerhaft nicht akzeptabel eingestuft wird. Bei einem sachgerechten Umbau zu einem reinen Buntsandsteinbrunnen könnte eine vergleichsweise kostengünstige Notfallabsicherung geschaffen werden.
- Von den bestehenden GwMessstellen (GWM) könnte GM 4 rückgebaut werden, da diese GWM unmittelbar benachbart zu GM 5 liegt und beide GWM nahezu gleiche GwStände liefern; zwingend notwendig ist dieser GWM-Rückbau jedoch nicht. Die Messstelle GM 5 erfasst den flurnahen Kies-GwLeiter (Quartär) und käme daher als Vorfeldmessstelle für den Brunnen TB 6 mit Blick auf die Zuströmung aus Richtung B 426 in Betracht.
Ob und welche weiteren GWM zukünftig zu betreiben sind, sollte mit dem Wasserwirtschaftsamt Aschaffenburg abgeklärt werden.
- An den (verbleibenden) GWM sollten zukünftig folgende Messungen durchgeführt werden (GwMonitoring mit fachgutachterlicher Begleitung):
 - 1 x monatlich GwStichtagsmessung an ausgewählten GWM
 - Jeweils 1 ausgewählte GWM im Einzugsgebiet der Brunnen TB 5 und TB 6 sollten als Vorfeldmessstelle genutzt und mindestens 1 x jährlich hydrochemisch untersucht werden (Parameterumfang in Anlehnung an TrinkwV + Ionenbilanz)

Diese Messergebnisse sollten gemeinsam mit den Brunnendaten regelmäßig aufbereitet und unter Berücksichtigung der vorliegenden Ergebnisse bewertet werden; zweckmäßig sind entsprechende Jahresberichte.

7. Zusammenfassung

Die Gemeinde Mömlingen betreibt derzeit zur gemeindlichen Wasserversorgung die Tiefbrunnen TB 4 und TB 5, wofür – gemeinsam mit dem zwischenzeitlich verfüllten Tiefbrunnen TB 2 – eine bis zum 31.12.2012 befristete wasserrechtliche Bewilligung besteht. Im Hinblick auf die langfristige Sicherung der TwVersorgung der Gemeinde Mömlingen wurde 2008 die Entnahme aus den Brunnen TB 4, TB 5 und TB 6 beantragt. Als Grundlage für die diesbezüglichen wasserrechtlichen Verfahren werden seit Anfang 2012 von unserem Büro umfangreiche hydrogeologische Untersuchungen durchgeführt, die bis zum Stand 11/2012 in den Gutachten /3/ und /4/ dokumentiert sind, deren Kenntnis für den vorliegenden Bericht vorausgesetzt wird.

Im Sommer/Herbst 2012 wurde ein kombinierter Pump- und Markierungsversuch (PV/MV) an den Brunnen TB 4 und TB 5 durchgeführt, der offiziell am Anfang 11/2012 beendet wurde. Die Bestimmung des Markierungsstoffs SF₆ wurde jedoch am Brunnen TB 5 unter den anschließenden Regelbetriebsbedingungen fortgeführt; bis zum Juni 2013 konnte hier jedoch kein Markierungsstoff nachgewiesen werden. Dies führt zu dem Schluss, dass der Brunnen TB 5 keinem Einfluss von Mömling-Infiltrat unterliegt. Das Hydrogeologische Modell (HGM) gemäß /3/ und /4/ wurde dementsprechend aktualisiert.

Auf der Grundlage dieses HGM wurde ein 4-schichtiges numerisches GwModell für das Untersuchungsgebiet mit dem Rechenprogramm Modflow erstellt, das anhand von GwStichtagsmessungen im Rahmen des PV/MV stationär kalibriert und über die Abflussmessungen am Amorbach und an den Quellen A bis D bilanzkontrolliert ist. Ergänzend wurde auf der Grundlage der Daten aus der Betriebssimulation 2005 eine instationäre Modellkalibrierung durchgeführt.

Mit dem kalibrierten GwModell wurden folgende zwei Brunnenbetriebsszenarien untersucht (Berechnung der Brunneneinzugsgebiete und der 50-Tage-Zonen um die Brunnen):

- Szenario 1: Alleiniger Betrieb des Brunnens TB 5 mit einer Durchschnittsentnahme von 250.000 m³/a (≅ 8 l/s) bzw. einer Spitzenentnahme von 1.150 m³/d (≅ 13,3 l/s).
- Szenario 2: Betrieb der Brunnen TB 5 und TB 6 mit einer Durchschnittsentnahme von 250.000 m³/a (≅ 8 l/s) bzw. einer Spitzenentnahme von 1.150 m³/d (≅ 13,3 l/s) im Mengenverhältnis 3:1 (TB 5: 75%; TB 6: 25 %).

Auf der Grundlage des Szenarios 2 wird unter Berücksichtigung des einschlägigen Merkblattes des BLfU /8/ ein WSG-Konzept für die Brunnen TB 5 und TB 6 vorgeschlagen. Dieses WSG hat eine Gesamtfläche von ca. 4,4 km² und ist als Bilanzdeckungsfläche für die angesetzte Gesamtentnahme von 250.000 m³/a (≅ 8 l/s) mehr als ausreichend.

Vorbehaltlich der Ergebnisse erforderlicher Detailuntersuchungen am Brunnen TB 6 sollte das zukünftige Entnahmerecht für diese Brunnen wie folgt beantragt werden:

- Brunnen TB 5:
 - bis zu 15 l/s
 - bis zu 1.150 m³/d
- Brunnen TB 6:
 - bis zu 5 l/s
 - bis zu 290 m³/d
- Gesamtentnahme Br. TB 5 + TB 6:
 - bis zu 1.150 m³/d
 - bis zu 250.000 m³/a

Darüber hinaus werden folgende weitere Maßnahmen empfohlen:

- Untersuchung des Zustandes und der Mindestergiebigkeit des Brunnens TB 6 als Grundlage für die weitere wasserwirtschaftliche Planung.
- Rück- oder Umbau des Brunnens TB1 nach einem mit dem Wasserwirtschaftsamt Aschaffenburg abzustimmenden Konzept.
- Rückbau der GwMessstelle GM 4 oder der GM 5 in Abstimmung mit dem Wasserwirtschaftsamt Aschaffenburg.
- Zukünftig Durchführung eines GwMonitorings unter Nutzung der bestehenden GwMessstellen.

Büro HG GmbH

Gießen, Oktober 2013



Dipl.-Geol. Dr. Bernd Hanauer



Dipl.-Ing. Hydrogeol. Ilona Sziártó