

Erwiderung

zur Stellungnahme der Ingenieurgesellschaft Prof. Kobus und Partner GmbH (kup) vom 4.11.2013 zur „Kritik BUND/Herr Dr. Lueger am Grundwassermodell von kup (Behördenmodell) im Vortrag ‚Analyse der Grundwasserströmungsmodelle‘ Erörterungsverhandlung S21 vom 09. bis 13.09.2013“

Inhalt

Vorbemerkung.....	1
Verwendete Unterlagen und Literatur.....	2
Grundsätzliches.....	3
Zu „3 Stellungnahme zu den Folien der Erörterungsverhandlung“	5
Zum „Anhang: Vertiefende fachliche Erläuterungen zur Grundwassermodellierung“	23
Zu „1 Neckarwasserspiegel“	23
Zu „2 Leakage Gewässer“	24
Zu „3 Klarstellung des Zitats aus U. S. Nädelin (2003) zu Leakagekoeffizienten“	26
Zu „4 Kanal“	27
Zu „5 Zu- und Abflüsse im Muschelkalkaquifer“	28
Zu „6 Grundwasserneubildung“	29
Zu „7 Leakage-Ansatz zur Beschreibung von vertikalen Austauschprozessen“	30
Zu „8 Pumpversuch“	34
Zu „9 Parametrisierung“	36
Zu „10 Störungen und Dolinen“	39
Zu „11 Sensitivitätsstudie“	40
Zu „12 Validierung“	45
Zu „13 Qualität der Modellanpassung (Nachbildung der vergangenen Grundwasserhältnisse)“	47
Zu „14 Prognosefähigkeit“	54
Zu „15 Modellvergleiche von Herrn Dr. Lueger“	55
Zusammenfassung.....	60

Beilage 1: Verteilung der Gebirgsdurchlässigkeiten

Vorbemerkung

Das Regierungspräsidium Stuttgart hat den BUND mit Schreiben vom 5.11.2013 aufgefordert, bis 30.11.2013 eine Erwiderung auf die Stellungnahme der Ingenieurgesellschaft Prof. Kobus und Partner GmbH (kup) vorzulegen. Diese Fristsetzung entspricht 24 Tagen (knapp 3,5 Wochen). Der Ingenieurgesell-

schaft Prof. Kobus und Partner standen für ihre Stellungnahme zu der im Rahmen der Erörterungsverhandlung vorgebrachten Kritik des BUND an ihrem Grundwasserströmungsmodell 51 Tage (mehr als 7 Wochen) zur Verfügung.

Das Regierungspräsidium Stuttgart hat das Ersuchen des BUND abgelehnt, ihm eine gleichlange Frist zur Stellungnahme zuzugestehen wie der Ingenieurgesellschaft Prof. Kobus und Partner. Die Tatsache, dass das Regierungspräsidium dem BUND nicht einmal die halbe Stellungnahmefrist einräumt wie der Ingenieurgesellschaft Prof. Kobus und Partner, ist nicht nur ein Akt der Ungleichbehandlung, sondern behindert den BUND in sachlich ungerechtfertigter Weise bei der Ausarbeitung einer substantiellen Erwiderung auf die von der Ingenieurgesellschaft Prof. Kobus und Partner vorgebrachten Argumente.

Da es objektiv nicht möglich ist, im Rahmen der eingeräumten Frist eine endgültige Erwiderung abzugeben, hat der BUND innerhalb der gesetzten Frist nur eine vorläufige Erwiderung erstattet und sich vorbehalten, diese bis zum 23. Dezember 2013 abzuändern oder zu ergänzen. Die geänderte und ergänzte Erwiderung wird hiermit vorgelegt. Sie ersetzt die vorläufige Erwiderung vom 28.11.2013.

Verwendete Unterlagen und Literatur

Neben dem Modellbericht:

INGENIEURGESELLSCHAFT PROF. KOBUS UND PARTNER GMBH 04.2011: Grundwassermodell Stuttgart- Bad Cannstatt. Modellaufbau, Modellkalibrierung und Validierung. – Ber.Nr. A 376-1 im Auftr. Regierungspräsidium Stuttgart; Stuttgart (KUP).

wurden folgende Unterlagen bzw. Literaturstellen zitiert:

ARGE WASSER - UMWELT - GEOTECHNIK 06.2002: Anlage 1.6: Ergebnisse der geohydraulischen Versuche zum 5. EKP, Anlage 1.6.2: Zusammenstellung der Untersuchungsergebnisse. (In:) Projekt Stuttgart 21. Umgestaltung des Bahnknotens Stuttgart. Aus- und Neubaustrecke Stuttgart - Augsburg. Bereich Stuttgart - Wendlingen mit Flughafenanbindung. Planfeststellungsabschnitt 1.1. Talquerung mit Hauptbahnhof. 5. Erkundungsprogramm. Geologische, hydrogeologische, geotechnische und wasserwirtschaftliche Stellungnahme. Teil 1: Geologie und Hydrogeologie. – Stellungn. Az. A0005, A0011 u. 82705 im Auftr. Deutsche Bahn AG; Westheim. ARGE WASSER - UMWELT - GEOTECHNIK 03.11.2010: Projekt Stuttgart 21. Umgestaltung des Bahnknotens Stuttgart, Ausbau- und Neubaustrecke Stuttgart - Augsburg Bereich Stuttgart-Wendlingen mit Flughafenanbindung. Planfeststellungsabschnitte 1.1, 1.2, 1.5 und 1.6a/b. Aufbau, Eichung und Validierung des instationären Grundwasserströmungsmodells. – Ber. Az. A0006 mit Beil. im Auftr. DB ProjektBau; Westheim, Stuttgart, Ettlingen, Dresden.

ASTM D5447-04 09.2010: Standard Guide for Application of a Groundwater Flow Model to a Site-Specific Problem.

DVGW DEUTSCHE VEREINIGUNG DES GAS- UND WASSERFACHES e.V. 06.2004: Aufbau und Anwendung numerischer Grundwassermodelle in Wassergewinnungsgebieten. – Technische Regel, Arbeitsblatt W 107; Bonn.

FORKEL C. 1999: Möglichkeiten und Grenzen von mathematisch-numerischen Grundwassermodellen. – Wasser & Boden 51/4: 14-18; Berlin (Blackwell Wissenschafts-Verlag).

KINZELBACH W. 2005: Grundwasser I. – Vorlesungsskriptum; Zürich (Eidg. Techn. Hochschule, Inst. f. Hydromechanik u. Wasserwirtschaft).

KINZELBACH W. u. RAUSCH R. 1995: Grundwassermodellierung, Eine Einführung mit Übungen. Berlin, Stuttgart (Gebrüder Borntraeger, ISBN 3-443-01032-6).

KOSCHITZKY H.-P. u. LANG U. 07.12.2007: 44. Sitzung am 18.10.2007 Arbeitskreis Grundwassererkundung und -modellierung. - Aktenvermerk AV 430; Stuttgart (Inst. f. Wasserbau, Univ. Stuttgart).

KOBUS H. 31.12.2009: Grundwassermodelle Stuttgart – Bad Cannstatt: Gemeinsame Datenbasis, Datenbank und Anforderungen an die instationäre Modellierung. Stand Dezember 2009. – Ber. 2009/85 im

- Auftr. Regierungspräsidium Stuttgart im Rahmen des Arbeitskreises Grundwassererkundung und Modellierung; Stuttgart (Inst. f. Wasserbau, Univ. Stuttgart).
- KOBUS H. 26.05.2010: Grundwassermodelle Stuttgart – Bad Cannstatt: Gemeinsame Datenbasis, Datenbank und Anforderungen an die instationäre Modellierung. Stand Mai 2010. – Ber. 2010/87 im Auftr. Regierungspräsidium Stuttgart im Rahmen des Arbeitskreises Grundwassererkundung und -modellierung; Stuttgart (Inst. f. Wasserbau, Univ. Stuttgart).
- KOBUS H. 30.04.2011: Grundwassermodelle Stuttgart- Bad Cannstatt: Vergleich instationäre Modelle Stand April 2011 (auf Datenbasis bis 2008). – Bericht 2011/89 Arbeitskreis Grundwassererkundung und -modellierung; Stuttgart (Univ. Stuttgart, Inst. F. Wasserbau).
- LANG U. 02.04.2008: 47. Sitzung am 28.01.2008 Arbeitskreis Grundwassererkundung und -modellierung. - Aktenvermerk AV 433; Stuttgart (Inst. f. Wasserbau, Univ. Stuttgart).
- LANG U., PAUL T. u. JUSTIZ J. 11.2011: Grundwassermodell Stuttgart – Bad Cannstatt. Testszenarien gemäß Planung 2010 auf Basis der instationären Kalibrierung bis 2008. – Ber. A439-1 im Auftr. Regierungspräsidium Stuttgart; Stuttgart (kup Ing.-Ges. Prof. Kobus u. Partner).
- NÄDELIN U. S. 2003: GIS gestütztes Pre- und Postprocessing für die numerische Grundwassermodellierung, Objekt orientiertes Konzept und beispielhafte Umsetzung, – Diplomarbeit Institut für Hydrologie der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg.
- POPPER K. R. 1989: Logik der Forschung. 9. Aufl. Tübingen (Mohr).
- STUER B. u. HÖNIG D. 2004: Befangenheit in der Planfeststellung. - Die Öffentliche Verwaltung H. 15: 642-649; Stuttgart (Kohlhammer).
- TECHNISCHE UNIVERSITÄT DRESDEN 06.2007: Bestimmung des Durchlässigkeitsbeiwertes Versuchsdurchführung im Ödometergerät (veränderliches hydraulisches Gefälle). – http://tu-dresden.de/die_tu_dresden/fakultaeten/fakultaet_bauingenieurwesen/geotechnik/grundbau/studium/bauingenieurwesen/bodenmechanik_und_grundbau_biw2_03/lehmaterial/labor_feldversuche/dateien//Durchlaessigkeit_Oedometer.pdf.
- WIKIPEDIA 19.12.2013 (Abfrage): Befangenheit. – <http://de.wikipedia.org/wiki/Befangenheit>.

Grundsätzliches

In der 44. Sitzung des Arbeitskreises Grundwassererkundung und -modellierung vom 18.12.2007 (KOSCHITZKY u. LANG 2007, S. 8) betonte Herr Binkle vom Regierungspräsidium-Stuttgart, dass zum Baubeginn der Baumaßnahme zwei Modelle vorhanden sein müssen, denn das Modell der Bahn müsse mit dem zweiten Modell (Prüfmodell) entwickelt und geprüft werden.

Der Landesgutachter Wasserwirtschaft, Prof. Helmut Kobus, ergänzte dazu, dass man nur durch den parallelen Einsatz beider Modelle gerichtsfeste Aussagen machen könne.

In der 47. Sitzung des Arbeitskreises Grundwassererkundung und -modellierung vom 28.01.2008 (LANG 2008, S. 2) erklärte Herr Burkhardt für die DB ProjektBau GmbH, dass er einen Brief vom Eisenbahn-Bundesamt (EBA) erhalten habe, „in dem die Notwendigkeit für ein zweites Prüfmodell gesehen wird und die DBPB zur Stellungnahme aufgefordert wird.“

Frau Kaufmann vom EBA erklärte in derselben Sitzung (LANG 2008, S. 8-9), dass ihre Entscheidung für die Beantragung des zweiten Modells beim EBA auf den Empfehlungen der Fachbehörden basiere. Als wasserwirtschaftliche Fachbehörde werde seitens des EBA das Regierungspräsidium Stuttgart, Abteilung Umwelt, Referat 52, Gewässer und Boden, betrachtet.

Aus diesen Protokollierungen geht unzweifelhaft hervor, dass das Prüfmodell (auch „Behördenmodell“) vom EBA auf Empfehlung des Regierungspräsidiums Stuttgart, Abteilung Umwelt, Referat 52, Gewässer und Boden als wasserwirtschaftliche Fachbehörde veranlasst wurde. Es ist also davon auszugehen, dass

das EBA das hier gegenständliche Prüfmodell als wesentliche und konstituierende Grundlage für ihre Entscheidung über das beantragte Grundwassermanagement betrachtet.

Die hier vorgelegte Erwiderung und die schon im Zuge der Erörterung vom BUND vorgebrachten Einwände kommen zum Ergebnis, dass

- das Prüfmodell und das zu prüfende Modell des Vorhabenträgers nicht unabhängig voneinander erstellt worden sind und somit eine Befangenheit der „Prüfer“ vorliegt,
- das Prüfmodell unsachgemäß erstellt wurde, nicht dem Stand der Technik entspricht und somit zur Prüfung des Modells des Vorhabenträgers ungeeignet ist, und
- die Ergebnisse der beiden Modelle gravierend abweichende Ergebnisse und Prognosen erbringen, wodurch die Unrichtigkeit mindestens eines der beiden Modelle erwiesen ist.

Wenn es also nicht gelingt, diese Feststellungen zu widerlegen, ist die vom EBA für notwendig erachtete Prüfung des Modells des Vorhabenträgers als gescheitert anzusehen. Das EBA hätte diesfalls nach Ansicht des Unterfertigten nur zwei Möglichkeiten, nämlich:

- die Genehmigung des beantragten Grundwassermanagements zu versagen, oder
- eine neuerliche Prüfung des Modells des Vorhabenträgers von unbefangener und fachlich qualifizierter Seite zu veranlassen.

Jedenfalls sind alle vorgebrachten Kritikpunkte von bisher unbeteiligter, unbefangener und fachlich qualifizierter Seite im Rahmen eines „Obergutachtens“ eingehend zu prüfen, wie vom Unterfertigten schon in der Erörterung am 13. Sept. 2013 gefordert wurde. Diese Prüfung hat in allen Schritten transparent und für die Öffentlichkeit nachvollziehbar zu erfolgen.

Zu „3 Stellungnahme zu den Folien der Erörterungsverhandlung“

Die folgende Tabelle 1 beinhaltet eine Zusammenstellung der in der kup-Stellungnahme aufgestellten Behauptungen samt ihrer Referenznummer. Dazu wird eine kurze Erwiderung gegeben und auf die entsprechenden Kapitel dieser Erwiderung hingewiesen.

Tabelle 1: Zusammenstellung der in der kup-Stellungnahme in Tabelle 1 erhobenen Behauptungen sowie Erwiderung darauf

Folien-Nummer / -Titel – Kritik, Behauptung, Forderung zum Modell	Behauptungen der kup-Stellungnahme (Referenz-Nr. vorangestellt)	Erwiderung	weiterführende Hinweise
14 / Modell kup, Zusammenfassung Modell entspricht nicht dem Stand der Technik (keine Sensitivitätsanalyse, keine Validierung)	(14-1) Die Behauptung, es sei keine Sensitivitätsanalyse vorgenommen worden, ist nicht zutreffend: - Sensitivitätsbetrachtungen wurden bereits in Vorstudien durchgeführt und auf der Basis dieser Erkenntnisse ergänzende Erkundungsmaßnahmen veranlasst. - Im Rahmen der Kalibrierung wurde die Sensitivität ebenfalls untersucht. - Modellbetrachtungen zu Testszenarien lieferten weitere Informationen zur Sensitivität. - Zwei unabhängige Modelle sind per se eine Sensitivitätsbetrachtung.	Die Verfasser der kup-Stellungnahme verstehen offenbar unter den Begriffen „Sensitivitätsanalyse“, „Sensitivitätsstudie“ etc. etwas anderes als das DVGW-Arbeitsblatt W 107. Die angeführten Maßnahmen erfüllen die im DVGW-Arbeitsblatt W 107, Pkt. 7.2.5 Verifikation (Validierung) gestellten Anforderungen nicht.	DVGW-Arbeitsblatt W 107, Pkt. 7.2.5 Verifikation (Validierung) Kap. Zu „11 Sensitivitätsstudie“
	(14-2) Die Behauptung, es sei keine Validierung vorgenommen worden, entspricht nicht den Tatsachen: - Für den Zeitraum 2007 bis 2008 liegt eine Validierung auf Tagesbasis vor. - Das Modell wurde zwischen 2009 und 2011 instationär auf Monatsbasis fortgeschrieben ohne den Parametersatz zu ändern.	Das Behördenmodell ist nicht nach dem Stand der Technik validiert. Die Voraussetzungen für einen Verzicht auf eine Validierung gemäß DVGW-Arbeitsblatt W 107, Pkt. 7.2.5, sind nicht gegeben.	DVGW-Arbeitsblatt W 107, Pkt. 7.2.5 Verifikation (Validierung) Kap. Zu „12 Validierung“

Folien-Nummer / -Titel – Kritik, Behauptung, Forderung zum Modell	Behauptungen der kup-Stellungnahme (Referenz-Nr. vorangestellt)	Erwiderung	weiterführende Hinweise
	Zudem erübrigt die umfangreiche instationäre Kalibrierung eine Validierung.		
14 / Modell kup, Zusammenfassung Weithin nicht nachvollziehbar bzw. überprüfbar (Randbedingungen, Herleitung des Neckarwasserspiegels, vertikale Gebirgsdurchlässigkeiten, Grundwasserneubildung, ...)	<p>(14-3) Die gewählten Randbedingungen sind im kup-Bericht textlich beschrieben und in entsprechenden Anlagen visualisiert, so dass diese vollständig nachvollzogen werden können.</p> <p>Die gewählten Randbedingungen basieren auf der Datenbasis der Modelle gemäß Kapitel 2.2 und sind daher überprüfbar.</p>	<p>Die gewählten Randbedingungen haben vielfach keine empirische Basis und beruhen häufig allein auf der Kalibrierung.</p> <p>Die angenommenen „Leakagefaktoren“ sind in der angewendeten Form empirisch unbelegt, nicht nachprüfbar, frei erfunden und in wissenschaftstheoretischer Hinsicht metaphysisch.</p>	<p>Kap. Zu „2 Leakage Gewässer“ (S. 24)</p> <p>Kap. Zu „3 Klarstellung des Zitats aus U. S. Nädelin (2003) zu Leakagekoeffizienten“ (S. 26)</p> <p>Kap. Zu „4 Kanal“ (S. 27)</p> <p>Kap. Zu „7 Leakage-Ansatz zur Beschreibung von vertikalen Austauschprozessen“ (S. 30)</p> <p>Kap. Zu „9 Parametrisierung“ (S. 36)</p>
	<p>(14-4) Die Neckarwasserspiegel in den Stauhaltungen entsprechen den tatsächlichen Verhältnissen und schwanken bei tagesdifferenzierter Betrachtung.</p> <p>Der Ansatz ist durch Vergleich der gemessenen und gerechneten neckarnahen Grundwassermessstellen überprüft.</p>	<p>Die Herleitung des Einflusses von Hochwässern auf den Neckarwasserspiegel im Modell ist nicht nachvollziehbar und nicht überprüfbar.</p>	<p>Kap. Zu „1 Neckarwasserspiegel“ (S. 23)</p>

Folien-Nummer / -Titel – Kritik, Behauptung, Forderung zum Modell	Behauptungen der kup-Stellungnahme (Referenz-Nr. vorangestellt)	Erwiderung	weiterführende Hinweise
	(14-5) Die Nachbildung des vertikalen Austausches zwischen Gesteinsschichten erfolgt im Behördenmodell über den Leakage-Ansatz und nicht über vertikale Gebirgsdurchlässigkeiten.	Die Nachbildung der vertikalen Grundwasserbewegungen erfolgt anhand von „Leakagefaktoren“, welche in der im Modell angewendeten Form grundsätzlich nicht nachvollzogen oder überprüft werden können. Sie haben keine Entsprechung in der Wirklichkeit, sind frei erfunden und in wissenschaftstheoretischer Hinsicht metaphysisch.	Kap. Zu „7 Leakage-Ansatz zur Beschreibung von vertikalen Austauschprozessen“ (S. 30)
	(14-6) Die Vorgehensweise bei der Berechnung der Grundwasserneubildung aus Niederschlag befindet sich in Anlage 5 der Datenbasis der Modelle. Der kup-Bericht A376-1 beinhaltet die modelltechnische Umsetzung der Grundwasserneubildung als Modellrandbedingung.	Eine Kalibrierung oder Überprüfung der Grundwasserneubildung ist aufgrund der angewendeten Methodik („Speicherzellenmodell“) nicht möglich.	Modellbericht S. 50-52 Kap. Zu „6 Grundwasserneubildung“ (S. 29)
14 / Modell kup, Zusammenfassung Dokumentationsfehler (z.B. Modellbericht, Tabelle 9.1)	(14-7) Dokumentationsfehler ohne Eingang in bzw. Auswirkungen auf die Modellierung.	Im Bericht zum „Langzeit“-Pumpversuch (Modellbericht, Tabelle 9.1) wird für den Brunnen 224 die maximale gemessene Absenkung mit 0,29 m angegeben. Die Luftdruck-korrigierte Ganglinie in Abbildung 9.3 weist jedoch eine maximale gemessene Absenkung von 0,41 m auf. Ebenso wird in Tabelle 9.1 für die Messstelle BK 11/14 die maximale berechnete Absenkung mit 0,00 m angegeben. Die Ganglinie in Abbildung 9.4 zeigt jedoch eine maximale berechnete Absenkung von 0,34 m.	Modellbericht, Tab. 9.1, Abb. 9.3, Abb. 9.4

Folien-Nummer / -Titel – Kritik, Behauptung, Forderung zum Modell	Behauptungen der kup-Stellungnahme (Referenz-Nr. vorangestellt)	Erwiderung	weiterführende Hinweise
		Die Dokumentation des „Langzeit“-Pumpversuchs ist offenbar fehlerhaft. Die Ergebnisse des Pumpversuchs wurden in die Modellkalibrierung einbezogen. Dorthin haben sich die Dokumentationsfehler wahrscheinlich fortgepflanzt.	
14 / Modell kup, Zusammenfassung Empirische Datengrundlage unzureichend (Kanalabflüsse, Wasserspiegeldaten aus den Stauhaltungen, vertikale Wasserdurchlässigkeit, ...)	(14-8) Kanalabflüsse – also die Abflüsse im Kanal – spielen für die Grundwasserbilanz keine Rolle und werden damit im Modell nicht berücksichtigt.	Die Kanalabflüsse, zumindest soweit sie dem Grundwasser entstammen, werden durch eine „Drainagerandbedingung“ in Form eines Leakagefaktors nachgebildet und bilanzmäßig erfasst. Wozu werden Kanalabflüsse nachgebildet, wenn sie (angeblich) keine Rolle spielen? Der als „Drainagerandbedingung“ modellierte Grundwasserzufluss zu den Kanälen beruht auf einem logischen Fehler (Zirkelschluss!) und auf Leakagefaktoren, die in der angewendeten Form metaphysisch sind. Er hat keinerlei Aussagekraft.	Modellbericht S. 20 Kap. Zu „4 Kanal“ (S. 27)
	Wasserspiegeldaten aus den Stauhaltungen siehe (14-4).	Siehe zu (14-4)	
	Vertikale Wasserdurchlässigkeit siehe (14-5).	Siehe zu (14-5).	
15 / Modell kup, Zusammenfassung Fehlende empirische Daten werden durch unüberprüfbare, metaphysische Fiktionen ohne natürliche Entsprechung ersetzt („Leakagekoeffizienten“)	Diese Behauptung ist abwegig. - (15-1) Die Verwendung von Leakagefaktoren zur Modellierung der Anbindung von Grundwasser an oberirdische Gewässer ist ein gängiges Verfahren in der Grundwassermodellierung.	Bei richtiger Anwendung hätten die Eingangsgrößen der „Leakagefaktoren“ (Durchlässigkeitsbeiwert, Schichtdicke, Austauschflächen) wenigstens an einzelnen Beispielen auf empirisch bestimmte Größen zurückgeführt werden müssen. Siehe auch zu (15-2).	Kap. Zu „2 Leakage Gewässer“ (S. 24) Kap. Zu „3 Klarstellung des Zitats aus U. S. Nädelin (2003) zu Leakagekoeffizienten“ (S. 26)

Folien-Nummer / -Titel – Kritik, Behauptung, Forderung zum Modell	Behauptungen der kup-Stellungnahme (Referenz-Nr. vorangestellt)	Erwiderung	weiterführende Hinweise
	<p>- (15-2) Die Nachbildung vertikal geschichteter Grundwasserleitersysteme, den so genannten "leaky" Aquiferen, mit dem Leakage-Ansatz ist ein gängiges Verfahren in der Grundwassermodellierung.</p>	<p>In der angewendeten Form erfolgt die Nachbildung des vertikalen Grundwassertauschs anhand von „Leakagefaktoren“, welche grundsätzlich nicht nachvollzogen oder überprüft werden können. Sie haben keine Entsprechung in der Wirklichkeit, sind frei erfunden und in wissenschaftstheoretischer Hinsicht metaphysisch.</p> <p>Vertikale Durchlässigkeiten können mittels Ödometerversuch bestimmt werden. Das harmonische Mittel versuchsmäßig (z.B. durch Pumpversuche) ermittelter Durchlässigkeitsbeiwerte ist der vertikalen Durchlässigkeit annähernd gleichzusetzen.</p> <p>Bei Verwendung vertikaler Durchlässigkeiten sind unüberprüfbare „Leakagefaktoren“ überflüssig.</p>	<p>DIN 18130 Teil 1 KINZELBACH (2005, S. 35) TECHNISCHE UNIVERSITÄT DRESDEN (2007) Kap. Zu „7 Leakage-Ansatz zur Beschreibung von vertikalen Austauschprozessen“ (S. 30)</p>
<p>15 / Modell kup, Zusammenfassung Geologische Störungen nicht nachgebildet</p>	<p>(15-3) Diese Behauptung ist nicht zutreffend:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Die maßgeblichen Störungen sind in der modelltechnischen Abbildung der Schichtlagerung berücksichtigt. - Die hydraulisch wirksamen Bereiche für vertikale Interaktionen sind nachgebildet. 	<p>Die besonderen hydrologischen Eigenschaften der Störungen, welche von den angrenzenden Gesteinen völlig abweichen können, wurden nicht in das Modell implementiert.</p> <p>In der kup-Stellungnahme wird auf künftige Erkundungen im Zuge des Tunnelbaus verwiesen und erklärt, dass sich die hydraulische Wirksamkeit der Störungen erst im Zuge der Bauausführung erfassen lassen.</p>	<p>Kap. Zu „10 Störungen und Dolinen“ (S. 39)</p>

Folien-Nummer / -Titel – Kritik, Behauptung, Forderung zum Modell	Behauptungen der kup-Stellungnahme (Referenz-Nr. vorangestellt)	Erwiderung	weiterführende Hinweise
		Die hydrologischen Eigenschaften der geologischen Störungen sind den Modellarbeitern bisher nicht bekannt.	
15 / Modell kup, Zusammenfassung Tatsachenwidrige und unrealistische Eingangsdaten (Durchlässigkeitswerte, Speicherkoeffizienten, ...)	(15-4) Diese Behauptung ist nicht zutreffend: Die Durchlässigkeiten liegen in der Bandbreite der Messungen und ihre regionale Verteilung entspricht den örtlichen Gegebenheiten. Siehe auch (52-1).	Dem Modell liegen auf allen Ebenen zahlreiche tatsachenwidrige und unrealistische Eingangsdaten zugrunde, wie z.B. Durchlässigkeitsverteilungen, Speicherkoeffizienten, Grundwasserneubildung etc.	Kap. Zu „9 Parametrisierung“ (S. 36)
15 / Modell kup, Zusammenfassung Zahlreiche Überschreitungen der festgelegten Abweichungsgrenzwerte, Prognosesicherheit nicht gewährleistet.	(15-5) Die Behauptung, es seien Abweichungsgrenzwerte festgelegt worden, trifft nicht zu.	Der Arbeitskreis Grundwassererkundung und -modellierung hat verbindliche Genauigkeitsanforderungen festgelegt. Diese werden im Modellbericht als verbindliche Grundlage anerkannt und zitiert.	KOBUS (2009), KOBUS (2010) Modellbericht S. 26 Kap. Zu „13 Qualität der Modellanpassung (Nachbildung der vergangenen Grundwasserhältnisse)“ (S. 47)
	(15-6) Die Behauptung, die Prognosesicherheit sei nicht gewährleistet, ist nicht zutreffend. Das Behördenmodell ist gemäß dem Stand der Technik angepasst und liefert eine sachgerechte Nachbildung von: - natürlichen Bilanzen und relevanten Strömungsprozessen, - vertikale Interaktion zwischen den Grundwasserleitern im Quartär / Gipskeuper und dem Mineralgrundwasserleiter, - Translation von Reaktionen aus dem Nesenbachtal bis zu den Mineralquellen,	Dem Modell liegen unrealistische oder unrichtige Eingangsdaten und Annahmen zugrunde. Zur Kalibrierung wurden meta-physische „Leakagefaktoren“ verwendet. Daher wurde keine zufriedenstellende Modellanpassung erreicht. Das Modell verfehlt die festgelegten Genauigkeitsanforderungen an vielen Messstellen und Quellen im gesamten Modellgebiet. Dass an den Quellen die Zielvorgaben vollständig erreicht worden seien, wie in der kup-Stellungnahme behauptet, ist eine Falschinformation.	Kap. Zu „9 Parametrisierung“ (S. 36) Kap. Zu „13 Qualität der Modellanpassung (Nachbildung der vergangenen Grundwasserhältnisse)“ (S. 47) Kap. Zu „14 Prognosefähigkeit“ (S. 54)

Folien-Nummer / -Titel – Kritik, Behauptung, Forderung zum Modell	Behauptungen der kup-Stellungnahme (Referenz-Nr. vorangestellt)	Erwiderung	weiterführende Hinweise
	- unterschiedliche Dynamik der Grundwasserstände mit saisonaler und mehrjähriger Schwankung in den verschiedenen Grundwasserleitern.		
16 / Modell kup, Zahlenmystik statt Fakten Für die Modellierung der Grundwasserbewegung fehlen wesentliche Daten zu: Grundwasserkommunikation Neckar und Feuerbach	Diese Behauptung ist nicht zutreffend, siehe (15-1).	Siehe zu (15-1).	Kap. Zu „2 Leakage Gewässer“ (S. 24) Kap. Zu „3 Klarstellung des Zitats aus U. S. Nädelin (2003) zu Leakagekoeffizienten“ (S. 26)
16 / Modell kup, Zahlenmystik statt Fakten Für die Modellierung der Grundwasserbewegung fehlen wesentliche Daten zu: Wasserabfluss Kanäle: Nesenbachkanal mit Cannstatter Kanal, Hauptsammler West und Nord	Diese Behauptung ist nicht zutreffend, siehe (14-8).	Abflussmessungen in den Kanälen wurden nicht durchgeführt. Die Kanalabflüsse, zumindest soweit sie dem Grundwasser entstammen, werden durch eine „Drainagerandbedingung“ in Form eines Leakagefaktors nachgebildet und bilanzmäßig erfasst. Diese Leakagefaktoren sind empirisch unbelegt und nicht überprüfbar.	Modellbericht S. 20 Kap. Zu „4 Kanal“ (S. 27)
16 / Modell kup, Zahlenmystik statt Fakten Für die Modellierung der Grundwasserbewegung fehlen wesentliche Daten zu: Grundwasser zu- und -abflüsse im Muschelkalkaquifer	(16-1) Diese Behauptung ist nicht zutreffend. Da der hauptsächliche Abfluss im Muschelkalkaquifer über die Mineralquellen und die Anomalien im Neckar durch Messung bekannt ist, kann auch auf Zuströme im Muschelkalkaquifer unter Berücksichtigung der lokalen Neubildung im Nesenbachtal geschlossen werden (stationäre Kontinuitätsbetrachtung: Zufluss = Abfluss).	Die Abflüsse über Anomalien wurden lediglich anhand thermischer Messungen grob abgeschätzt.	Modellbericht (S. 63) Kap. Zu „5 Zu- und Abflüsse im Muschelkalkaquifer“ (S. 27)

Folien-Nummer / -Titel – Kritik, Behauptung, Forderung zum Modell	Behauptungen der kup-Stellungnahme (Referenz-Nr. vorangestellt)	Erwiderung	weiterführende Hinweise
		<p>In den instationären Wasserbilanzen für den Muschelkalk und das Festpotenzial Feuerbach sind die Zu- und Abflüsse nahezu gegenläufig. Das bedeutet, dass zuzeiten starken Zuflusses besonders wenig abfließt und umgekehrt. Ein solches Fließverhalten erscheint zumindest unplausibel, zumal die Dynamik des Abflusses aus dem Muschelkalkaquifer hauptsächlich über die Grundwasserneubildung auf der Hochscholle in den Muschelkalk gesteuert werde. Wenn das so ist, müsste ein erhöhter Zufluss über die Grundwasserneubildung auch mit einem erhöhten Abfluss einhergehen und umgekehrt.</p>	
<p>16 / Modell kup, Zahlenmystik statt Fakten</p> <p>Für die Modellierung der Grundwasserbewegung fehlen wesentliche Daten zu: Vertikale Durchlässigkeiten der Gesteinschichten allgemein</p>	<p>(16-2) Diese Behauptung ist nicht zutreffend.</p> <p>- Die Ermittlung der vertikalen Durchlässigkeiten erfolgte im zentralen Nesenbachtal indirekt über die Auswertung von Pumpversuchen mit Reaktionen in übereinander liegenden Grundwasserleitern. Derartige Pumpversuche wurden im relevanten Bereich durchgeführt und modelltechnisch ausgewertet.</p>	<p>Im Modellbericht kommen keinerlei Angaben zur Auswertung von Pumpversuchen zur Bestimmung vertikaler Durchlässigkeiten vor. Über die behaupteten Pumpversuche zur Ermittlung vertikaler Durchlässigkeiten gibt es keine Unterlagen oder nähere Angaben.</p> <p>Die vertikalen Durchlässigkeiten werden im Modell ausschließlich über „Leakagefaktoren“ nachgebildet.</p>	<p>Modellbericht</p> <p>Kap. Zu „7 Leakage-Ansatz zur Beschreibung von vertikalen Austauschprozessen“ (S. 30)</p>

Folien-Nummer / -Titel – Kritik, Behauptung, Forderung zum Modell	Behauptungen der kup-Stellungnahme (Referenz-Nr. vorangestellt)	Erwiderung	weiterführende Hinweise
	<p>- In den Hangbereichen haben Pumpversuche auf Grund der geringen Ergiebigkeiten keine Aussagekraft zu vertikalen Durchlässigkeiten. Daher wurden diese aus Kalibrierung über die Nachbildung der vertikalen Piezometerhöhendifferenzen ermittelt.</p> <p>- In vergipsten Bereichen gibt es keine relevante Grundwasserbewegung, da das Gebirge trocken ist.</p>		
<p>16 / Modell kup, Zahlenmystik statt Fakten</p> <p>Für die Modellierung der Grundwasserbewegung fehlen wesentliche Daten zu: Tektonischen Störungen</p>	<p>Diese Aussage ist nicht zutreffend (siehe 15-3).</p>	<p>Siehe zu (15-3).</p>	<p>Kap. Zu „10 Störungen und Dolinen“ (S. 39)</p>
<p>16 / Modell kup, Zahlenmystik statt Fakten</p> <p>Zitat aus Modellbericht, S 46: „Beim Neckar ist die Austauschfläche [...] [...] und nicht weiter aufgeteilt“</p> <p>Die fehlenden Daten werden also mithilfe sog. „Leakage-Koeffizienten“ modelliert. Dabei geht das Modell davon aus, dass (fiktive) Membranen zwischen den aneinander grenzenden Modelleinheiten die Grundwasserbewegung bestimmen.</p>	<p>Diese Behauptung ist abwegig (siehe 15-1).</p>	<p>Siehe zu (15-1).</p>	<p>Kap. Zu „2 Leakage Gewässer“ (S. 24)</p> <p>Kap. Zu „3 Klarstellung des Zitats aus U. S. Nädelin (2003) zu Leakagekoeffizienten“ (S. 26)</p>
<p>17 / Modell kup, Eichungsergebnisse</p>	<p>(17-1) Die in der Folie dargestellten Auswertungen mit angeblichen (zeitweiligen) Grenzwertüberschreitungen sind nicht zutreffend, da keine Grenzwerte definiert sind.</p>	<p>Siehe zu (15-5).</p>	<p>KOBUS (2009), KOBUS (2010)</p> <p>Modellbericht S. 26</p>

Folien-Nummer / -Titel – Kritik, Behauptung, Forderung zum Modell	Behauptungen der kup-Stellungnahme (Referenz-Nr. vorangestellt)	Erwiderung	weiterführende Hinweise
			Kap. Zu „13 Qualität der Modellanpassung (Nachbildung der vergangenen Grundwasserhältnisse)“ (S. 47)
18 / Modell kup, Ergebnisse der „Validierung“	siehe (17-1)	Siehe zu (17-1)	
19 / Modell kup, Langzeitpumpversuch Interpretation auf Basis des stationären Strömungsmodells	(19-1) Die Kritik ist unzutreffend und unbegründet: - Die Interpretation im Behördenmodell erfolgte mit Änderungen über die Zeit (instationär) und nicht wie von Herrn Dr. Lueger ausgeführt als stationäre Modellierung, - Für die Interpretation sind hydrologiebereinigte Änderungen maßgeblich.	Zitat Modellbericht S. 78: „Für die Nachbildung des Langzeitpumpversuchs wurden stationäre mittlere hydrologische Verhältnisse entsprechend dem Ergebnis der <u>stationären</u> Kalibrierung verwendet. D.h. mit dem Modell wurden nur die Absenkungen an den Grundwassermessstellen und die Quellschüttungsminderungen als Relativwerte ausgewertet und nicht die berechneten Absolutwerte mit den gemessenen verglichen.“	Modellbericht S. 78 Kap. Zu „8 Pumpversuch“ (S. 34)
19 / Modell kup, Langzeitpumpversuch Wasserspiegel-Absolutbeträge nicht verglichen – nur Veränderungen	(19-2) Die Kritik ist unzutreffend und unbegründet, da: - Änderungen (Absenkung und Minderung der Quellschüttung) sind die geeigneten Parameter bei der Pumpversuchsauswertung. - Absolutbeträge spielen im vorliegenden Fall keine Rolle.	Die modelltechnische Nachbildung des Langzeitpumpversuchs erfolgte anhand stationärer Verhältnisse im Jahr 1994, obwohl aktuelle Daten über den instationären Systemzustand zur Verfügung standen. Daher konnten nur die Veränderungen der Grundwasserstände und Quellschüttungen, nicht aber deren Absolutwerte beurteilt werden. Die Ergebnisse des Pumpversuchs wurden zur Kalibrierung verwendet. Dort spielen Absolutbeträge sehr wohl eine Rolle.	Modellbericht S. 68-76 Kap. Zu „8 Pumpversuch“ (S. 34)

Folien-Nummer / -Titel – Kritik, Behauptung, Forderung zum Modell	Behauptungen der kup-Stellungnahme (Referenz-Nr. vorangestellt)	Erwiderung	weiterführende Hinweise
19 / Modell kup, Langzeitpumpversuch Absenkungen werden widersprüchlich angegeben (Dokumentationsfehler)	Siehe (14-7).	Siehe zu (14-7).	Modellbericht, Tab. 9.1, Abb. 9.3, Abb. 9.4
19 / Modell kup, Langzeitpumpversuch Quasi-stationärer Strömungszustand vom Modell nicht nachgebildet	(19-3) Die Kritik ist unzutreffend, da der maßgebliche Erkenntnisgewinn bei Pumpversuchen durch die zeitliche Entwicklung der Absenkungen erfolgt. Die zeitliche Entwicklung der Absenkung an den Messstellen mit unterschiedlicher Entfernung zu den Pumpbrunnen wurde im Behördenmodell abgebildet. Ein quasi-stationärer Endzustand wurde in der Messung nicht erreicht und ist für die Auswertung nicht notwendig.	Die Nicht-Erreichung eines quasi-stationären Strömungszustandes wird bestätigt. Der Pumpversuch fand unter irregulären Bedingungen (starke Luftdruckschwankungen) statt und wurde vor Erreichung aussagekräftiger Resultate (vor dem Ende der störenden äußeren Einflüsse) abgebrochen.	Modellbericht S. 68-76 Kap. Zu „8 Pumpversuch“ (S. 34)
19 / Modell kup, Langzeitpumpversuch Bei Förderbrunnen: Absenkung bei 4 von 5 Brunnen weitaus zu gering berechnet (Differenz: max. 1,58 m)	(19-4) Die Kritik ist unbegründet, da: - in einem Modell der Grundwasserstand innerhalb einer Modellzelle und nicht des singulären Brunnens berechnet wird, - die laterale und vertikale Ausbreitung der Grundwasserstands-Absenkungen an benachbarten Messstellen maßgeblich für die Auswertung des Pumpversuchs sind.	Die Kritik zeigt auf, dass: - die Diskretisierung im Bereich der Pumpversuchsauswirkungen hätte verfeinert werden müssen (kleinere Modellzellen), - die Modellierung des Pumpversuchs insgesamt zu ungenauen Ergebnissen führt.	Kap. Zu „8 Pumpversuch“ (S. 34)
20 / Modell kup, Langzeitpumpversuch Bei 17% der Messstellen Überschreitungen der zulässigen Abweichungsgrenzwerte	Siehe (15-5).	Die berechneten Grundwasserstandsänderungen weichen an den Messstellen der Gemeinsamen Datenbasis um durchschnittlich 91% von den gemessenen ab.	Kap. Zu „8 Pumpversuch“ (S. 34) – Grundwassermessstellen
20 / Modell kup, Langzeitpumpversuch Gemessene und berechnete Absoluthöhen differieren um 1-2 m	Siehe (19-2).	Im Förderbrunnen „Dinkelacker Br.7“ differieren gemessene und berechnete Absenkungen um 1,58 m, Förderbrunnen „Dinkelacker Br.4“ um 1,41 m.	Modellbericht S. 68-76 Kap. Zu „8 Pumpversuch“ (S. 34)

Folien-Nummer / -Titel – Kritik, Behauptung, Forderung zum Modell	Behauptungen der kup-Stellungnahme (Referenz-Nr. vorangestellt)	Erwiderung	weiterführende Hinweise
20 / Modell kup, Langzeitpumpversuch Zu den Quellschüttungen fehlen wichtige Ergebnisse (Modellbericht S. 76 fehlt)	Die von kup dem Auftraggeber übergebene Fassung beinhaltet Seite 76.	Zwischenzeitlich ist die Seite 76 von anderer Seite zur Verfügung gestellt worden.	Modellbericht S. 76
20 / Modell kup, Langzeitpumpversuch Gemessene und berechnete Quellschüttungen differieren um mehrere Liter pro Sekunde	Siehe (19-2).	Gemessene und berechnete Schüttungsrückgänge differieren in den Berger Quellen um etwas mehr als 2 l/s, die absoluten Schüttungen um 6-6,5 l/s.	Modellbericht S. 68-76 Kap. Zu „8 Pumpversuch“ (S. 34)
20 / Modell kup, Langzeitpumpversuch Berger Quellen: Schüttung um ca. 2 l/s zu hoch berechnet	Siehe (19-2).		Modellbericht S. 57 Kap. Zu „8 Pumpversuch“ (S. 34)
20 / Modell kup, Langzeitpumpversuch Pumpversuchsende vor Erreichung des stationären Strömungszustandes (zu kurze Versuchsdauer)	Siehe (19-3).	Siehe zu (19-3).	Modellbericht S. 68-76 Kap. Zu „8 Pumpversuch“ (S. 34)
21 / Vergleich der Modelle ARGE WUG und kup [Tabelle: Vergleich der berechneten Quellschüttungsverläufe]	(21-1) Die Auswertung ist unzutreffend: - Die von Herrn Dr. Lueger ausgewerteten Differenzen betreffen Messzeiträume, in denen nur händische Messungen vorliegen, welche für die Modellanpassung von untergeordneter Relevanz sind. - Maßgeblich sind die Zeiträume mit MID-Messungen. In diesen Zeiträumen unterscheiden sich die simulierten Schüttungen marginal.	Händische Messungen sind in der Hydrologie eine übliche Praxis. Die festgestellten Abweichungen lassen sich nur zu einem kleinen Teil auf händische Messungen zurückführen. 50% der Quellen mit MID-Messung zeigen Überschreitungen der Genauigkeitsanforderungen.	Kap. Zu „13 Qualität der Modellanpassung (Nachbildung der vergangenen Grundwasserhältnisse)“, ab S. 51, Tabelle 7 u. Tabelle 8
22 / Vergleich der Modelle ARGE WUG und kup [Tabelle: Vergleich der berechneten Grundwasserganglinien]	(22-1) Der Unterschied in den beiden Spalten („Differenz WUG-kup“ und „Differenz WUG-kup (Absolutwerte)“ ist unverständlich. In beiden Spalten sind Absolutwerte in Metern aufgeführt. Diese müssten identisch sein.	Erklärung: Die Spalte „Differenz WUG-kup“ bedeutet: WUG-Werte minus kup-Werte	Kap. Zu „13 Qualität der Modellanpassung (Nachbildung der vergangenen Grundwasserhältnisse)“ (S. 47, Tabelle 9, Tabelle 10)

Folien-Nummer / -Titel – Kritik, Behauptung, Forderung zum Modell	Behauptungen der kup-Stellungnahme (Referenz-Nr. vorangestellt)	Erwiderung	weiterführende Hinweise
		<p>Die Spalte „Differenz WUG-kup (Absolutwerte)“ bedeutet: WUG-Werte minus kup-Werte, jedoch ohne Vorzeichen. (Das wird in der Mathematik als „Absolutwert“ bezeichnet.)</p> <p>Die kleinste absolute Differenz ist null, weil sich die berechneten Ganglinien von WUG und kup zu manchen Zeitpunkten kreuzen. Dort ist die Differenz naturgemäß null.</p>	
<p>23 / Vergleich der Modelle ARGE WUG und kup, Wasserbilanzänderungen infolge Baumaßnahme [Tabelle: Effektive Grundwasserentnahme [l/s]]</p>	<p>(23-1) Die Summation der effektiven Grundwasserentnahmen über „alle Bauschritte gesamt“ ist physikalisch sinnfrei und realitätsfern, da die Bauschritte sukzessive über die Bauzeit erfolgen und nicht - wie von Herrn Dr. Lueger angenommen- gleichzeitig ablaufen.</p>	<p>Die Summen in der Tabelle beziffern nicht eine gleichzeitig entnommene Wassermenge, sondern verdeutlichen die Unterschiede der Modellprognosen in ihrem Gesamtausmaß. Um Missverständnisse zu vermeiden, sind die entsprechenden Summenwerte in Klammern angeführt. Das wurde <u>in der Präsentation erklärt</u>, aber von den kup-Mitarbeitern anscheinend überhört.</p>	<p>Kap. Zu „15 Modellvergleiche von Herrn Dr. Lueger“ (S. 55, Tabelle 11)</p>
<p>24 / Grundwasserströmungsmodelle, Zusammenfassende Beurteilung Beide Modelle beruhen auf unrichtigen bzw. unrealistischen Grundannahmen. Das Modell kup baut auf metaphysischen „Leakagekoeffizienten“ auf.</p>	<p>Diese Behauptung ist abwegig. Siehe (15-1) und (15-2).</p>	<p>Siehe zu (15-1) und (15-2).</p>	<p>Kap. Zu „1 Neckarwasserspiegel“ (S. 23) Kap. Zu „2 Leakage Gewässer“ (S. 24) Kap. Zu „3 Klarstellung des Zitats aus U. S. Nädelin (2003) zu Leakagekoeffizienten“ (S. 26) Kap. Zu „4 Kanal“ (S. 27)</p>

Folien-Nummer / -Titel – Kritik, Behauptung, Forderung zum Modell	Behauptungen der kup-Stellungnahme (Referenz-Nr. vorangestellt)	Erwiderung	weiterführende Hinweise
			Kap. Zu „7 Leakage-Ansatz zur Beschreibung von vertikalen Austauschprozessen“ (S. 30)
<p>24 / Grundwasserströmungsmodelle, Zusammenfassende Beurteilung</p> <p>In wesentlichen Belangen (z.B. tektonische Störungen, Hydraulische Leitfähigkeit, Kolmation des Neckars) wurde die Wirklichkeit nicht bzw. unrichtig nachgebildet.</p>	<p>Diese Kritik ist nicht zutreffend. Siehe:</p> <ul style="list-style-type: none"> - (15-3) zu tektonischen Störungen. - (15-4) zu hydraulischen Leitfähigkeit. - (15-1) zur Kolmation des Neckars. 	<p>Siehe zu (15-3), (15-4), (15-1).</p>	<p>Kap. Zu „9 Parametrisierung“ (S. 36)</p> <p>Unterkapitel „Nichtberücksichtigung geologischer Störungen und Dolinen“ (S. 38)</p> <p>Kap. Zu „2 Leakage Gewässer“ (S. 24)</p> <p>Kap. Zu „7 Leakage-Ansatz zur Beschreibung von vertikalen Austauschprozessen“ (S. 30)</p>
<p>24 / Grundwasserströmungsmodelle, Zusammenfassende Beurteilung</p> <p>Beide Modelle enthalten Dokumentationsfehler bzw. -lücken. [...]</p>	<p>Siehe (14-7).</p>	<p>Siehe zu (14-7).</p>	<p>Modellbericht, Tab. 9.1, Abb. 9.3, Abb. 9.4</p>
<p>25 / Grundwasserströmungsmodelle, Zusammenfassende Beurteilung</p> <p>Beide Modelle überschreiten vielfach die definierten Abweichungsgrenzwerte zwischen berechneten und gemessenen Grundwasserständen sowie Quellschüttungen.</p>	<p>Siehe (15-5).</p>	<p>Siehe zu (15-5).</p>	<p>KOBUS (2009), KOBUS (2010)</p> <p>Modellbericht S. 26</p> <p>Kap. Zu „13 Qualität der Modellanpassung (Nachbildung der vergangenen Grundwasserhältnisse)“ (S. 47)</p>

Folien-Nummer / -Titel – Kritik, Behauptung, Forderung zum Modell	Behauptungen der kup-Stellungnahme (Referenz-Nr. vorangestellt)	Erwiderung	weiterführende Hinweise
<p>25 / Grundwasserströmungsmodelle, Zusammenfassende Beurteilung</p> <p>Die beiden Modelle weisen in ihren Prognosen für die baubedingten Grundwasserentnahmen und deren Auswirkungen auf die Quellschüttungen markante Unterschiede auf.</p> <p>Die Vorhersagen sind nicht belastbar und können keinesfalls als Grundlage für das geplante Grundwassermanagement verwendet werden.</p>	<p>(25-1) Die Kritik zu markanten Unterschieden ist nicht zutreffend. Zwei unabhängige Modelle (Modell des Vorhabenträgers und das Behördenmodell) liefern unabhängige Prognosen. Beide Modelle liefern zwar keine identischen Rechenergebnisse, jedoch die übereinstimmende Aussage, dass die Auswirkungen auf die Heil- und Mineralquellen gering sind im Vergleich zu der mittleren Schüttung und der natürlichen Schwankungsbreite.</p> <p>Die Kritik zur Belastbarkeit von Vorhersagen ist nicht zutreffend, siehe (15-6).</p>	<p>Beide Modelle zeigen gravierende Unterschiede in den Modellergebnissen (Grundwasserstände, Quellabläufe)</p> <p>Beide Modelle zeigen gravierende Unterschiede in den Prognosen.</p>	<p>Kap. Zu „15 Modellvergleiche von Herrn Dr. Lueger“ (S. 55)</p> <p>Insb.: Unterkapitel „Zur Stellungnahme der kup“ (S. 56)</p> <p>Kap. Zu „15 Modellvergleiche von Herrn Dr. Lueger“ (S. 55)</p> <p>Insb.: Unterkapitel „Modellvergleich: Vorhersagen über baumaßnahmenbedingte Grundwasserentnahmen und damit verbundene Quellschüttungsänderungen“ (S. 58)</p>
<p>25 / Grundwasserströmungsmodelle, Zusammenfassende Beurteilung</p> <p>Die beiden Modelle führen zu deutlich unterschiedlichen Ergebnissen.</p>	<p>Siehe (25-1).</p>	<p>Siehe zu (25-1).</p>	<p>Kap. Zu „15 Modellvergleiche von Herrn Dr. Lueger“ (S. 55)</p>

Folien-Nummer / -Titel – Kritik, Behauptung, Forderung zum Modell	Behauptungen der kup-Stellungnahme (Referenz-Nr. vorangestellt)	Erwiderung	weiterführende Hinweise
<p>25 / Grundwasserströmungsmodelle, Zusammenfassende Beurteilung</p> <p>Beide Modelle sind grundlegend zu überarbeiten und richtigzustellen. Auf dieser Basis ist das -Grundwassermanagement neu zu konzipieren.</p>	<p>(25-2) Diese Forderungen werden zurückgewiesen. Das Behördenmodell wurde nach dem Stand der Technik erstellt (siehe Kap. 2). Das Behördenmodell ist nicht Grundlage der Konzeption des Grundwassermanagements. Es dient dazu die vom Vorhabenträger ermittelten Auswirkungen zu überprüfen.</p>	<p>Das Behördenmodell erfüllt in mehrfacher Hinsicht nicht die Anforderungen des Standes der Technik:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Es beruht auf unrichtigen und nicht nachvollziehbaren Eingangsdaten. - Es ist nicht ordnungsgemäß validiert. - Sensitivitätsstudien oder vergleichbare Methoden wurden nicht angewendet. <p>Das Behördenmodell dient zur Überprüfung des Modells des Vorhabenträgers, welches als Grundlage des Grundwassermanagements herangezogen wird. Dazu ist es nicht geeignet, weil es selbst gravierende Mängel aufweist.</p>	<p>Kap. Zu „9 Parametrisierung“ (S. 36)</p> <p>Kap. Zu „12 Validierung“ (S. 45)</p> <p>Kap. Zu „11 Sensitivitätsstudie“ (S. 40)</p>
<p>26 / Grundwasserströmungsmodelle, Zusammenfassende Beurteilung</p> <p>Die beiden Grundwassermodelle (stationär, instationär) liefern weder zuverlässige Prognosen, noch bilden Sie die Realität richtig ab.</p>	<p>Siehe (15-6).</p>	<p>Siehe zu (15-6).</p>	<p>Kap. Zu „9 Parametrisierung“ (S. 36)</p> <p>Kap. Zu „13 Qualität der Modellanpassung (Nachbildung der vergangenen Grundwasserverhältnisse)“ (S. 47)</p> <p>Kap. Zu „14 Prognosefähigkeit“ (S. 54)</p>
<p>26 / Grundwasserströmungsmodelle, Zusammenfassende Beurteilung</p> <p>Fazit: Die Grundwassermodelle können nicht als Grundlage für das geplante Grundwassermanagement dienen.</p>	<p>Siehe (15-6) und (25-2).</p>	<p>Siehe zu (15-6) und (25-2).</p>	

Folien-Nummer / -Titel – Kritik, Behauptung, Forderung zum Modell	Behauptungen der kup-Stellungnahme (Referenz-Nr. vorangestellt)	Erwiderung	weiterführende Hinweise
<p>26 / Grundwasserströmungsmodelle, Zusammenfassende Beurteilung</p> <p>Fazit: [...] Die Aussagen zur Hangrutschung und Gebäudestabilität sind deshalb nicht zutreffend.</p>	<p>(26-1) Diese Behauptung ist nicht zutreffend.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Das Behördenmodell liefert keine Aussagen zu Hangrutschungen. - Für die Absenkungen und die damit einhergehenden Fragestellungen zur Gebäudestabilität im quartären Grundwasserleiter und im Bochinger Horizont liefert das Modell für die Geotechnik hinreichend genaue Angaben. 	<p>Die für das Projekt erstellten Gutachten zur Hangrutschung und Gebäudestabilität nehmen auf die Grundwassermodellierung Bezug. Insofern beruhen sie auf einer ungeeigneten Grundlage, weil die Grundwassermodellierung mangelhaft ist und keine hinreichend zuverlässigen Prognosen erlaubt.</p>	
<p>52 / Vergleich der Modelle ARGE WUG und kup</p> <p>[Graphische Darstellung mit Spanne der gemessenen und kalibrierten Durchlässigkeiten]</p>	<p>(52-1) Die Darstellung durch Herrn Dr. Lueger ist in weiten Teilen unzutreffend.</p> <p>Die in der Folie 52 dargestellten Spannen der horizontalen Durchlässigkeitsbeiwerte (Messungen und Behördenmodell) entsprechen nicht den Tatsachen.</p>	<p>Die Angaben in der Tabelle entsprechen den Angaben in der Gemeinsamen Datenbasis und in den beiden Modellberichten.</p> <p>Die Behauptung der kup ist unzutreffend und wird auch nicht durch konkrete Angaben begründet, was an der Darstellung unrichtig sein soll.</p>	<p>Ergebnisse der geohydraulischen Versuche zum 5. EKP, Anlage 1.6.2: Zusammenstellung der Untersuchungsergebnisse (ARGE WASSER - UMWELT - GEOTECHNIK 2002)</p> <p>Beilage 1 dieser Erwiderung</p>
<p>53 / Modell kup: Blackbox „Leakagekoeffizient“ oder „Das Bett des Prokrustes“</p>	<p>siehe (15-1) und (15-2).</p> <p>Der Leakageansatz ist selbstverständlich naturwissenschaftlich haltbar.</p> <p>Herr Dr. Lueger vergleicht den Leakagekoeffizienten mit dem „Bett des Prokrustes“. Dies ist ein unzutreffender Vergleich.</p>	<p>Der Leakageansatz selbst ist naturwissenschaftlich haltbar, aber nur dann, wenn er <u>richtig</u> angewendet wird.</p> <p>Die richtige Anwendung erfordert eine grundsätzliche Überprüfbarkeit. Überprüft kann nur werden, was in der Natur existiert und wenigstens grundsätzlich gemessen werden kann.</p>	<p>POPPER (1989)</p> <p>Kap. Zu „7 Leakage-Ansatz zur Beschreibung von vertikalen Austauschprozessen“ (S. 30)</p> <p>Kap. Zu „2 Leakage Gewässer“ (S. 24)</p>

Folien-Nummer / -Titel – Kritik, Behauptung, Forderung zum Modell	Behauptungen der kup-Stellungnahme (Referenz-Nr. vorangestellt)	Erwiderung	weiterführende Hinweise
	<p>Der Mythologie folgend hat Prokrust die bei ihm einkehrendem Reisenden an das Bett angepasst (und die Reisenden unter Anwendung von Gewalt entweder gekürzt oder gestreckt). Bei der Modellierung wird jedes Gewässer und jede Anomalie individuell behandelt. Damit erhält jeder Reisende (bzw. Gewässer) sein eigenes, auf ihn zugeschnittenes (Bach-)Bett.</p> <p>Ferner:</p> <p>Durch auszugsweise zitieren aus der Arbeit von U. S. Nädelin (2003), ohne den Kontext wiederzugeben, wird die Aussage in der Arbeit von Nädelin (2003) inhaltlich entstellt.</p>	<p>Im Modell werden für die Modellierung des Wasseraustauschs zwischen benachbarten Medien (z.B. Gesteinsschichten) eine Art „Membranen“ postuliert, deren bestimmende Eigenschaften (Dicke, Durchlässigkeit) nicht bestimmbar ist und auch im Modell nicht beziffert wird.</p> <p>Auf diese Weise kann jedes beliebige Modellergebnis „herbeigerechnet“ werden. So wird nicht ein Modell an die Wirklichkeit angepasst, sondern eine fiktive „Wirklichkeit“ an die gewünschten Modellergebnisse.</p> <p>In diesem Sinn gleicht das Modell dem Bett des Prokrustes.</p> <p>Ferner: NÄDELIN (2003) wurde exakt und wortgetreu zitiert. Der Vorwurf der inhaltlichen Entstellung wird entschieden zurückgewiesen.</p>	

Zum „Anhang: Vertiefende fachliche Erläuterungen zur Grundwassermodellierung“

Zu „1 Neckarwasserspiegel“

Die Verfasser der kup-Stellungnahme räumen ein, dass bei stationärer Betrachtung und bei instationärer Betrachtung auf Monatsbasis Schwankungen der Neckarwasserspiegel vernachlässigt wurden (siehe auch kup-Modellbericht S. 19 und 54).

Wie aus dem Modellbericht (S. 55) hervorgeht, liegen (angeblich) aus den Stauhaltungen im Modellgebiet keine Wasserstandsdaten vor. Dies erscheint allerdings ziemlich unwahrscheinlich, weil moderne Standards des Fließgewässermanagements auch im Bereich von Stauhaltungen Wasserstandsmessungen vorsehen.

Der Einfluss von Hochwässern wird im Modell (nur) zur instationären Modellierung auf Tagesbasis anhand einer Korrelationsbetrachtung zwischen den Neckar-Wasserständen des Pegels Wendlingen und den Grundwasserständen der Messstelle B 351 nachgebildet. Aus dem Vergleich Neckarwasserstand bei Wendlingen mit dem Grundwasserstand an der Messstelle B 351 ziehen die Modellbearbeiter den Schluss, dass die Grundwasserstände im Modellgebiet ab einem Neckarwasserstand von ca. 90 cm durch den Neckar beeinflusst werden. Sie versuchen das durch die Abbildung 6.7 Ihres Modellberichts zu belegen. Diese Abbildung wird nachstehend wiedergegeben:

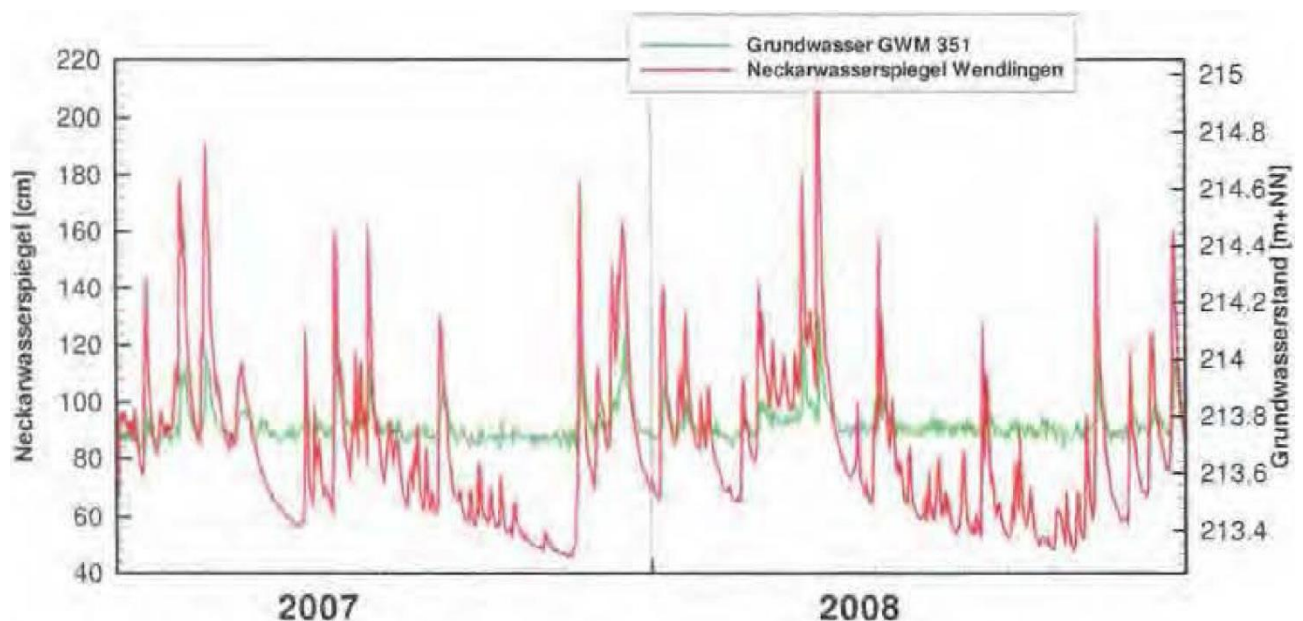


Abbildung 1: Ganglinie des Neckars in Wendlingen und an der Grundwassermessstelle B351 im Neckartal (Quelle: kup-Modellbericht, Abb. 6.7 auf S. 55)

Dazu ist festzuhalten:

Ein gewisser Zusammenhang zwischen dem Wasserstand im Pegel Wendlingen und dem Grundwasserspiegel in der Messstelle B 351 scheint zwar grob optisch vorhanden zu sein, er ist jedoch statistisch nicht belegt. Anhand statistischer Analysen könnte ein solcher Zusammenhang, so er tatsächlich besteht, quantitativ ausgedrückt werden. Dem Modellbericht ist nicht zu entnehmen, dass eine statistische Analyse durchgeführt wurde, somit beruht die numerische Simulation auf einer intuitiven Einschätzung der Modellbearbeiter.

Weiters liegt der Pegel Wendlingen in einem Bereich, der nicht mehr durch Stauhaltungen beeinflusst ist und somit nur entsprechend den hydrologischen Verhältnissen im Oberlauf reagiert. Für den Modellraum

erfasst der Pegel Wendlingen allerdings nur teilweise das Einzugsgebiet des Neckars, da unterstrom des Pegels Wendlingen noch die Fils in den Neckar fließt (Modellbericht S. 55).

Völlig unreflektiert bleibt im Modell auch die Frage, ob die auf Basis des Pegels Wendlingen und der Messstelle B 351 implementierte Beziehung zwischen dem Wasserstand im Neckar und dessen Auswirkung auf das Grundwasser für das gesamte Modellgebiet repräsentativ sind. Das Modell ist daher in dieser Hinsicht weder nachvollziehbar noch überprüfbar.

Wenn die Verfasser der Stellungnahme ihren modelltechnischen Ansatz als „überprüfbar“ ausgeben, „*in dem die gemessenen und gerechneten neckarnahen Grundwassermessstellen verglichen werden*“, ist das unzutreffend. Denn die berechneten Ganglinien sind ein Produkt einer Vielzahl von Daten, die mit den Neckarwasserständen großteils nicht in Zusammenhang stehen. Es kann daher anhand eines solchen Vergleichs schon prinzipiell nicht überprüft werden, ob gerade dieser spezielle Modellansatz der Wirklichkeit nahekommt oder nicht. Die berechneten Ganglinien der in der Stellungnahme genannten Messstellen weichen übrigens teils erheblich und nachhaltig von den gemessenen ab. Eine „Überprüfung“ im Sinne der Verfasser der Stellungnahme führt also zur Widerlegung ihres Modellansatzes.

Fazit: Die Herleitung des Einflusses von Hochwässern auf den Neckarwasserspiegel im Modell ist nicht nachvollziehbar und nicht überprüfbar.

Zu „2 Leakage Gewässer“

Die Verfasser der Stellungnahme begründen ihren Leakage-Ansatz zur Nachbildung des Austauschs von Grund- und Oberflächenwasser mit folgendem Zitat aus KINZELBACH und RAUSCH (1995, Kapitel 2.2.7):

„Die In- und Exfiltration an Gewässern kann in Analogie zum halbgespannten Aquifer modelliert werden [es folgen ein Bildverweis und eine Formel] $l_{i,j}$ ist der Leakagefaktor am Knoten (i,j) , der aus der Durchlässigkeit der Gewässersohle dividiert durch deren Dicke, bestimmt werden kann.“

Dieses Zitat sagt klar, dass zur Bestimmung des Leakagefaktors die Durchlässigkeit der Gewässersohle und deren Dicke bekannt sein müssen. Dem sei das wörtliche Zitat aus dem Modellbericht (S. 46) gegenübergestellt:

„Im Rahmen der Modellkalibrierung wurden auch die Leakagekoeffizienten am Neckar, den Heil- und Mineralquellen sowie an den Kanälen der Stadtentwässerung bestimmt. Der Leakagekoeffizient ist im numerischen Modell wie folgt definiert:

$$C = \frac{k_{f,d} \cdot A}{d}$$

Wobei A die Austauschfläche, $k_{f,d}$ die Durchlässigkeit der Leakageschicht und d die Dicke der Leakageschicht ist. Beim Neckar ist die Austauschfläche klar definiert, aber die Durchlässigkeit der Leakageschicht und deren Dicke sind Parameter, die sich nur anhand einer Kalibrierung ermitteln lassen. Bei den Quellen und den Kanaldrainagen der Stadtentwässerung ist es schwierig eine Fläche zu bestimmen. Aus diesem Grund wird der im Modell verwendete Parameter als summarischer Leakagekoeffizient betrachtet und nicht weiter aufgeteilt.“

Wie die Modellersteller fälschlich behaupten, seien Durchlässigkeit und Dicke der Leakageschicht Parameter, die sich nur anhand einer Kalibrierung ermitteln lassen. Bei den Quellen und den Kanaldrainagen der Stadtentwässerung sei es „schwierig“ eine Fläche zu bestimmen. Tatsächlich wurden solche Flächen überhaupt nicht konkret ermittelt, jedenfalls nicht angegeben.

Die bestimmenden Parameter der im gegenständlichen Modell verwendeten „Leakagefaktoren“ wurden also in der Natur nicht nachgeprüft oder gemessen. Auch eine indirekte Überprüfung durch Vergleiche gemessener und berechneter Ganglinien ist nicht möglich, weil die berechneten Ganglinien von vielen Recheneingangswerten mitbestimmt werden, die von der Leakage unabhängig sind und vielfach ebenfalls auf Annahmen beruhen.

Den fehlenden Realitätsbezug ihrer „Leakagefaktoren“ rechtfertigen die Verfasser der Stellungnahme mit einem weiteren Zitat aus KINZELBACH und RAUSCH (1995), Kapitel 4:

„Wasseraustausch mit Oberflächengewässern: Wasserspiegel- und Sohlhöhe von Oberflächengewässern zählen zu den leicht zu gewinnenden Daten. Sie lassen sich durch Einmessen, aus Pegelaufzeichnungen oder grob aus der topographischen Karte bestimmen. Leakagefaktoren von Oberflächengewässern sind praktisch nicht direkt meßbar. Sie können nur aus der Modelleichung, die im nächsten Abschnitt beschrieben wird, gewonnen werden.“

Hier weisen KINZELBACH u. RAUSCH auf die Schwierigkeit hin, Leakagefaktoren direkt zu messen, sie sagen damit aber nicht, dass eine Rückführung auf empirisch gewonnene Daten nicht notwendig oder gar unmöglich sei. So kann der Durchlässigkeitsbeiwert im Bereich einer Gewässersohle mittels Ödometerversuch bestimmt werden, was z.B. bei Deponiestandortuntersuchungen gängige Praxis ist (siehe z.B. DIN 18130 Teil 1 oder TECHNISCHE UNIVERSITÄT DRESDEN 2007). Die Dicke der durchströmten Schicht kann anhand von Bohrprofilen bestimmt oder wenigstens grob abgeschätzt werden. NÄDELIN (2003, S. 72-73) hält ebenfalls fest, dass Leakagekoeffizienten auch rein messtechnisch (ohne Rückgriff auf berechnete / gemessene Grundwasserstände) erfasst werden können.

Mit solchen Untersuchungen kann eine plausible Bandbreite der Leakage anhand empirischer Daten eingegrenzt und mit den kalibrierten Leakagefaktoren verglichen werden.

Dazu sei auf die Feststellung von NÄDELIN (2003) auf S. 72 verwiesen, den die Verfasser der Stellungnahme auf S. 30 selbst zitieren:

„Bestimmt werden kann der Leakagekoeffizient zum einen über Kalibrierverfahren, zum anderen über Feldmessungen, wobei beide Ansätze Problematiken beinhalten.“

Damit ist klargestellt, dass Leakagekoeffizienten nicht nur im Zuge der Kalibrierung, sondern auch durch Feldmessungen (also empirisch) bestimmt werden können, auch wenn beide Ansätze Problematiken beinhalten.

Bei richtiger Anwendung der von KINZELBACH und RAUSCH beschriebenen Vorgangsweise hätten daher die Eingangsgrößen der „Leakagefaktoren“ (Durchlässigkeitsbeiwert, Schichtdicke, Austauschflächen) wenigstens an einzelnen Beispielen auf empirisch bestimmte Größen zurückgeführt werden müssen.

Das ist in keinem Fall geschehen. Die Grobabschätzung der Mineralwasseraufstiege in den Neckar (siehe Kapitel Zu „3 Klarstellung des Zitats aus U. S. Nädelin (2003) zu Leakagekoeffizienten“, S. 26) kann diesen Mangel auch nicht ausgleichen, weil sich daraus die Bestimmungsgrößen der Leakagekoeffizienten (Schichtdicken, Durchlässigkeiten) nicht ableiten lassen.

Somit verpacken die Modellverfasser in der Blackbox „Leakagekoeffizient“ alle Wirkungsfaktoren, die sie nicht kennen, vielleicht auch solche, die nicht in ihr Modell passen. Sie lassen auch im Dunkeln, wie ihre Leakagekoeffizienten mit anderen hydrologischen Größen in Beziehung stehen. Demnach haben diese auch hier keinerlei nachvollziehbaren Realitätsbezug und sind nichts anderes als willkürlich gewählte Korrekturfaktoren, mit deren Hilfe die Wirklichkeit zurechtgebogen werden kann, bis sie unter Zwang die ersehnten Ergebnisse preisgibt. Das Modell gleicht damit dem Bett des berühmten Unholds und Serienkillers Prokrustes, der seine Opfer noch unsanfter seinen Vorstellungen anpasste.¹

Es gibt nichts, was an diesen frei erfundenen Leakagekoeffizienten überprüft werden kann. Sie sind damit nach allgemein herrschender Wissenschaftstheorie unwissenschaftliche und metaphysische Größen.

¹ Prokrustes betrieb eine Herberge im sonnigen Griechenland. Von der Reise müde, legten sich die Touristen in das Bett, das er ihnen anpries. Wenig kundenfreundlich wollte er sein Dienstleistungsangebot nicht den Bedürfnissen der Gäste anpassen und sah die Sache umgekehrt. So „kalibrierte“ er mit einer Hacke denen die überstehenden Glieder ab, die zu groß für sein Bett waren. Jene, die dafür zu klein waren, „modellerte“ er solange mit Gewalt, bis sie sauber hineinpassten. Am Ende waren alle tot oder verstümmelt. Das störte Prokrustes wenig, schließlich war sein Bett das Maß aller Dinge. Pallas Athene, die Göttin der Weisheit und der Wissenschaft, war darob entsetzt. Zum Glück wurde dieser Bösewicht von Theseus auf seiner Wanderung nach Athen erschlagen.

Diesbezüglich sei auf die grundlegenden Ausführungen in POPPER's „Logik der Forschung“ verwiesen. Damit wird das Modell in seiner Gesamtheit ein metaphysisches Aussagensystem, das man glauben kann oder auch nicht. Neue Erkenntnisse oder gar sichere Prognosen sind daraus nicht zu gewinnen. Und wenn sich Vorhersagen als unrichtig herausstellen sollten (womit zu rechnen ist!), gibt es dagegen ein probates Mittel: Man ändert flugs die Leakagekoeffizienten, und schon ist die Welt wieder in Ordnung. So geschehen bei der Einbindung des Langzeitpumpversuchs in das Modell (siehe Modellbericht S. 57), der dann als Teil der „Validierung“ ausgegeben wurde.

Eine solche Vorgangsweise erscheint unwissenschaftlich. Sie ist in wesentlichen Teilen irrational und entzieht sich einem naturwissenschaftlichen Diskurs.

FORKEL (1999, S. 18) zeigt ein Problem auf, das vielleicht damit in Zusammenhang steht: *„Die in jedem Modell enthaltenen Ungenauigkeiten und Fehlerquellen können von einem erfahrenen Modellierer leider auch ausgenutzt werden, um Modellergebnisse und -aussagen gezielt zu manipulieren.“*

Fazit: Die Vorgangsweise bei der Modellierung des Austauschs zwischen Grund- und Oberflächen mittels Leakagekoeffizienten führt zu Werten, welche grundsätzlich nicht nachvollzogen oder überprüft werden können. Sie haben keine Entsprechung in der Wirklichkeit, sind frei erfunden und in wissenschaftstheoretischer Hinsicht metaphysisch.

Zu „3 Klarstellung des Zitats aus U. S. Nädelin (2003) zu Leakagekoeffizienten“

Die Verfasser der kup-Stellungnahme kritisieren die in Folie 53 ihrer Ansicht nach unvollständig und sinnentstellend zitierte Aussage von NÄDELIN (2003). Sie geben das Zitat mit weiteren Passagen wieder.

Dazu ist festzuhalten, dass ein Zitat naturgemäß immer nur ein Auszug einer Gesamtaussage ist. Das ist zulässig und wegen der beschränkten Möglichkeit, längere Texte auf Folien darzustellen, auch gar nicht anders durchführbar.

Die Verfasser der kup-Stellungnahme zitieren NÄDELIN, wie folgt:

„Der Leakagekoeffizient (Lc) entspricht dem auf eine Flächeneinheit normierte Strömungswiderstand zwischen dem Oberflächengewässer und dem Grundwasser. Bestimmt werden kann der Leakagekoeffizient zum einen über Kalibrierverfahren, zum anderen über Feldmessungen, wobei beide Ansätze Problematiken beinhalten.“

„Geht der Leakagekoeffizient als Kalibrierparameter in das Grundwassermodell ein, so besteht die Gefahr der Überkalibrierung, wodurch das Modellergebnis an Aussagekraft verliert. Dem entgegen gewirkt werden kann über eine Zonierung der Leakagekoeffizienten, sowie Einschränkungen des Wertebereiches anhand Erfahrungswerte aus der Literatur. Ferner können die Freiheitsgrade des Modells durch zusätzliche Messdaten, wie beispielsweise beobachtete Potentialhöhen in unmittelbarer Nähe eines Gerinnes eingeschränkt werden.“

NÄDELIN weist darauf hin, dass einer Überkalibrierung durch eine Zonierung der Leakagekoeffizienten, Heranziehung von Erfahrungswerten aus der Literatur und zusätzliche (empirische) Messdaten entgegengewirkt werden kann.

Dass im Modell eine Zonierung der Leakagekoeffizienten vorgenommen wurde, ist unbestritten. Das allein ermöglicht aber keine Beurteilung ihrer annähernden Richtigkeit. Auch dass beobachtete Piezometerhöhen im Nahbereich des Neckars und der Kanäle für die Modellanpassung verwendet wurden, ist evident. Es ist aber dem Modellbericht nicht zu entnehmen, ob und in welcher Weise diese beobachteten Piezometerhöhen für die Anpassung der Leakagekoeffizienten selbst (nicht nur des Modells in seiner Gesamtheit) verwendet wurden. Nachprüfbar Angaben sind dazu nicht zu finden.

Im Modellbericht auf S. 19 wird angegeben, dass Mineralwasseraufstiege in den Neckar als „zusätzliche Leakagerandbedingung“ im Grundwassermodell berücksichtigt wurden. Allerdings sind die Aufstiegsraten an den Anomalien nur als Anhaltswerte zu verstehen, die eine Größenordnung angeben, da sie einerseits nur einmalig bestimmt wurden und das Auswerteverfahren über die beobachteten thermischen Anomalien eine „gewisse Unschärfe“ aufweist (Modellbericht S. 37). Im Grunde handelt es sich hier nicht um

Leakage-Randbedingungen im eigentlichen Sinn, sondern um stationäre punktuelle Abflussrandbedingungen, welche mit dem übrigen Austausch zwischen Grund- und Neckarwasser in keinem Zusammenhang stehen. Wohl aus diesem Grund werden die den Mineralwasseraufstiegen zugeordneten Leakagefaktoren nicht beziffert, sondern nur konstante Abflüsse angegeben. Auch hier bietet der Modellbericht also keine Überprüfbarkeit.

Es gilt somit auch hier die im Kapitel „Zu „2 Leakage Gewässer“ (S. 24) geäußerte Kritik.

Zu „4 Kanal“

In der kup-Stellungnahme wird davon ausgegangen, dass Kanalabflüsse für die Grundwasserbilanz keine Rolle spielen. Daher benötigt das Modell keine Abflussdaten.

Im Weiteren wird erklärt, dass die Kanäle (oder deren Grabenverfüllung) Grundwasser aufnehmen und somit wie eine Drainage wirken. Dieser Effekt werde durch eine „Drainagerandbedingung“ in Form eines Leakagefaktors nachgebildet. Dieser werde im Zuge der Kalibrierung festgelegt. Realistische Leakagefaktoren ergeben sich nach Ansicht der Verfasser der Stellungnahme dann, wenn mit dem Modell die Grundwasserstände plausibel abgebildet werden.

Dieser Argumentation ist Folgendes entgegenzuhalten:

Einerseits wird behauptet, dass Kanalabflüsse für die Grundwasserbilanz keine Rolle spielen. Andererseits werden diese Kanalabflüsse, zumindest soweit sie dem Grundwasser entstammen, durch eine „Drainagerandbedingung“ in Form eines Leakagefaktors nachgebildet und bilanzmäßig erfasst (siehe Modellbericht S. 20). Hier stellt sich die Frage, wozu Kanalabflüsse nachgebildet werden, wenn sie (angeblich) keine Rolle spielen. Dieser Widerspruch bleibt unaufgeklärt.

Der (kalibrierte, nicht gemessene) Abfluss in die Kanäle wird in Tabelle 5.9 auf S. 36 des Modellberichts mit 20 l/s beziffert. Er steht somit unter den zehn genannten Abfluss-Bilanzkomponenten immerhin an sechster Stelle und umfasst ca. 2,4 Prozent des Gesamtabflusses.

Die Kanalabflüsse stehen in Wechselwirkung mit dem Grundwasser. Diese Wechselwirkungen haben nicht zu vernachlässigende Auswirkungen auf den Grundwasserstand in den Messstellen. Im Modellbericht (S. 26) werden u.a. diese Auswirkungen als Grund dafür angeführt, dass die an Messstellen im Quartär bis Bochinger Horizont gestellten Anforderungen zur Übereinstimmung zwischen berechneten und gemessenen Piezometerhöhen nur mit 50 cm festgesetzt wurden.

Die Zuflüsse aus dem Grundwasser (nämlich der Drainageeffekt) werden durch Leakagefaktoren simuliert. Die Leakagefaktoren werden allein aufgrund der Kalibrierung festgelegt, obwohl eine Nachprüfung durch Abflussmessungen (z.B. an der Einleitungsstelle in den Neckar) problemlos durchführbar wäre. Die Kalibrierung erfolgt somit buchstäblich im „Blindflug“.

Wie sich neben fehlenden Abflussdaten auch andere Datenlücken auf die Kalibrierung auswirken, ist u.a. dem Modellbericht auf S. 46 zu entnehmen, wo es heißt: *„Die Leakagekoeffizienten der Stadtentwässerungskanäle liegen zwischen 10^{-4} und 10^{-7} m²/s. Die kleinen Leakagekoeffizienten liegen hauptsächlich im Oberstrom der Nesenbachtalquerung bzw. des Hauptbahnhofs. Dies liegt sicherlich mit daran, dass hier keine Grundwasserstandsganglinien vorhanden sind.“* Fehlende Grundwasserdaten werden hier kurzerhand als Begründung für die Festlegung kleiner Leakagekoeffizienten verwendet. Das wirft ein Schlaglicht auf die irrationale Vorgangsweise bei der Kalibrierung.

Mangels empirischer Daten in Form von Abflussmessungen können die kalibrierten Leakagefaktoren nicht überprüft werden.

Aus vorstehenden Gründen gilt daher auch zu diesem Thema das im Kapitel „Zu „2 Leakage Gewässer“ (S. 24) Gesagte (siehe dort).

Die Drainagerandbedingung beruht zudem auf einem logischen Fehler, weil sie aus Modellergebnissen abgeleitet wird, die auf der Drainagerandbedingung beruhen, welche wiederum von den Modellergebnis-

sen bestimmt wird – und so fort. Es handelt sich hier um einen typischen Zirkelschluss². Die logische Struktur des Modells im Hinblick auf die Drainagewirkung der Kanäle gleicht daher folgender Argumentationskette: Warum geben Kühe Milch? Weil sie Kühe sind! Und warum sind sie Kühe? Weil sie Milch geben! Das Modell krankt daher an einem grundlegenden Beweisfehler und hat hinsichtlich des modellierten Austauschs zwischen Kanal und Grundwasser über Leakagefaktoren keinerlei Aussagekraft.

FORKEL (1999, S. 18) zeigt ein Problem auf, das vielleicht damit in Zusammenhang steht: „Die in jedem Modell enthaltenen Ungenauigkeiten und Fehlerquellen können von einem erfahrenen Modellierer leider auch ausgenutzt werden, um Modellergebnisse und -aussagen gezielt zu manipulieren.“

Fazit: Der als „Drainagerandbedingung“ modellierte Grundwasserzufluss zu den Kanälen beruht auf einem logischen Fehler (Zirkelschluss!) und auf Leakagefaktoren, die in der angewendeten Form metaphysisch sind. Er hat keinerlei Aussagekraft.

Zu „5 Zu- und Abflüsse im Muschelkalkaquifer“

Ausgangspunkt der Kritik des BUND ist eine Darstellung der instationären Wasserbilanzen für den Muschelkalk und das Festpotenzial Feuerbach im Modellbericht, Anlage 7.8. Diese Grafik wird nachstehend wiedergegeben.

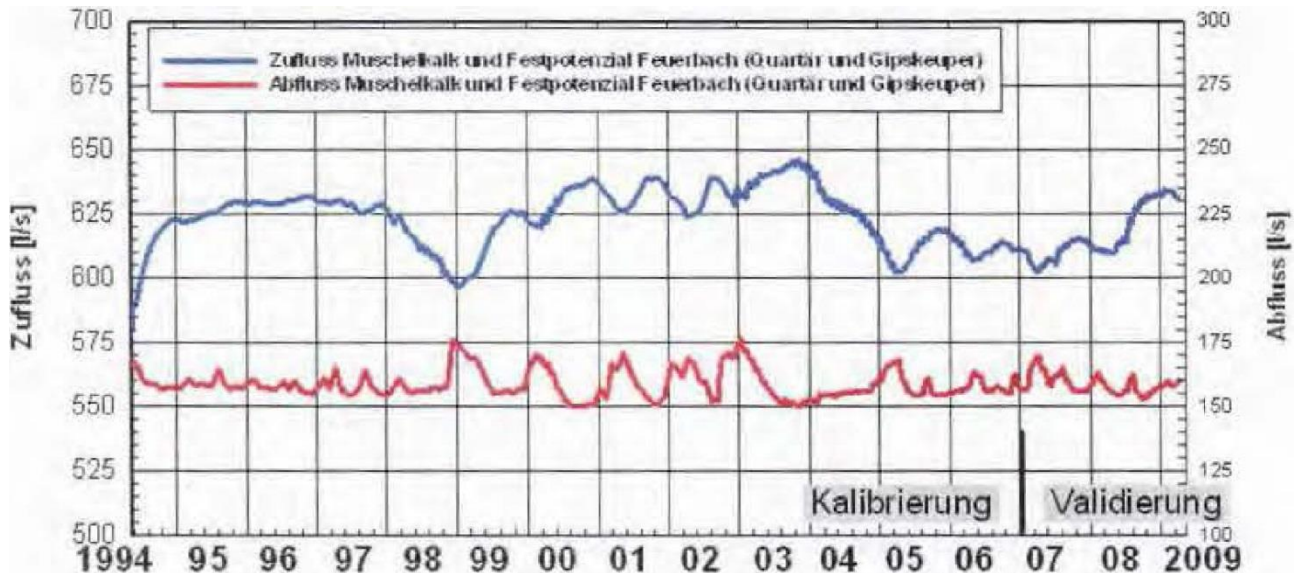


Abbildung 2: Instationäre Wasserbilanzen für den Muschelkalk und das Festpotenzial Feuerbach (entnommen aus dem Modellbericht, Anlage 7.8)

Auffällig an dieser Bilanzdarstellung ist, dass die Zu- und Abflüsse nahezu gegenläufig sind. Das bedeutet, dass zuzeiten starken Zuflusses besonders wenig abfließt und umgekehrt. Ein solches Fließverhalten erscheint zumindest unplausibel, zumal nach Angabe im Modellbericht (S. 63) die Dynamik des Abflusses aus dem Muschelkalkaquifer hauptsächlich über die Grundwasserneubildung auf der Hochscholle in den Muschelkalk gesteuert werde. Wenn das so ist, müsste ein erhöhter Zufluss über die Grundwasserneubildung auch mit einem erhöhten Abfluss einhergehen und umgekehrt.

Möglicherweise ist dieses Ergebnis ein Artefakt der Modellierung. Die Modellbearbeiter sind aufgefordert, dieses Modellierungsergebnis zu erklären und zu begründen.

² Ein Zirkelschluss, Zirkelbeweis, logischer Zirkel, Dialele oder hysteron proteron (altgriechisch, wörtlich das Spätere vor dem Früheren), ist ein Beweisfehler, bei dem die Voraussetzungen das zu Beweisende schon enthalten. Es wird also behauptet, eine Aussage durch Deduktion zu beweisen, indem die Aussage selbst als Voraussetzung verwendet wird (siehe WIKIPEDIA 1.9.2012 (Abfrage): Zirkelschluss. – <http://de.wikipedia.org/wiki/Zirkelschluss>).

Die Modellränder im Muschelkalk, über die ein Zu- oder Abfluss erfolgt, wurden im stationären Modell als Festpotenzialränder definiert. Im instationären Modell können diese wahlweise als Festpotenzial mit schwankender Festpotenzialhöhe h oder als Leakagerand mit schwankender Leakagehöhe h_L gesetzt werden. Über den Leakagekoeffizienten C lasse sich ein Zu- oder Abfluss Q einstellen, der dem aus der Festpotenzialrandbedingung entspreche. Der Grundwasserzufluss Q ist dabei wie folgt definiert:

$$Q = C \cdot (h_L - h) \quad (\text{siehe Modellbericht S. 14})$$

Dazu ist festzuhalten, dass die hier angenommenen Leakagekoeffizienten C und Leakagehöhen h_L in der Natur keine Entsprechung haben. Welche Bedeutung die Modellbearbeiter dem Begriff „Leakagehöhe“ (h_L) zuweisen, wird im Modellbericht nicht definiert. Ebenso wenig wird angegeben, wie die „Leakagehöhe“ berechnet wird und in welcher Beziehung sie zu den anderen hydrologischen Parametern steht. Das Modell ist insofern nicht nachvollziehbar. Die Größen „Leakagehöhe“ und „Leakagekoeffizient“ sind im Modell undefiniert. Sie sind empirisch unbelegt und entziehen sich einer Überprüfung. Sie sind daher in wissenschaftstheoretischer Hinsicht „metaphysisch“. Siehe dazu auch die Ausführungen in Kapitel Zu „2 Leakage Gewässer“ (S. 24).

Hinsichtlich der notwendigen Überprüfung der kalibrierten bzw. definierten Randzuflüsse sei auf die Arbeit von KINZELBACH und RAUSCH (1995) verwiesen, die von den Verfassern der kup-Stellungnahme selbst gern zitiert wird. Dort heißt es in Kapitel 4.1 auf S. 65:

*„**Randzuflüsse:** Diese gehören zu den meist unbekanntesten Daten. Sie müssen in der Regel aus der Modellgleichung bestimmt werden. Sofern die Randzuflüsse nicht aus unbekanntesten unterirdischen Einzugsgebieten stammen, sind auch hier Abschätzungen der Größenordnung nach möglich. Seitliche Einzugsgebiete wirken wie Speicher für die von Ihnen eingefangene Neubildung. Ihr Inhalt und Ausfluß kann grob bilanziert werden.“*

Unbestreitbar kommen die Randzuflüsse nicht aus unbekanntesten unterirdischen Einzugsgebieten. Die Modellbearbeiter hätten also die Möglichkeit, ihre Annahmen und Kalibrierungsergebnisse anhand von Bilanzabschätzungen auf Plausibilität zu prüfen. Dem Modellbericht ist nicht zu entnehmen, dass sie das getan haben. Resultat dieses Versäumnisses sind sehr unplausibel erscheinende Modellierungsergebnisse, wie sie in Abbildung 2 dargestellt sind.

Zur Methodik der Kalibrierung schreiben KINZELBACH und RAUSCH (1995) auf S. 67:

„Jeder Eichschritt sollte dokumentiert und die Sensitivität des veränderten Parameters, d.h. Höhenänderung pro entsprechender Parameteränderung, festgehalten werden.“

Sensitivitätsprüfungen der Kalibrierungsparameter lässt der Modellbericht generell vermissen. Die Behauptung der Verfasser der kup-Stellungnahme *„Im Behördenmodell wurden die bekannten Grundwasserstände am Modellrand im Muschelkalkaquifer gemäß der gängigen fachlichen Praxis vorgegeben“* entbehrt jeder Grundlage.

Fazit: Die instationären Wasserbilanzen für den Muschelkalk und das Festpotenzial Feuerbach zeigen nahezu durchgehend gegenläufige Zu- und Abflüsse. Eine Erklärung dafür wird weder im Modellbericht noch in der kup-Stellungnahme gegeben. Ein solches Fließverhalten erscheint unplausibel und ist möglicherweise ein Artefakt der Modellierung (unsachgemäße Verwendung von „Leakagekoeffizienten“, fehlende Plausibilitäts- und Sensitivitätsprüfung).

Zu „6 Grundwasserneubildung“

Die in der kup-Stellungnahme geäußerte Mutmaßung, dass sich die Kritik des BUND nur auf den Modellbericht stütze und Anlage 5 der Datenbasis der Modelle außer Acht lasse, ist unzutreffend.

Die instationäre Grundwasserneubildung wurde über eine Bodenwasserhaushaltsbetrachtung ermittelt. Da insbesondere die Modellbereiche mit freien Wasserspiegeln im Gipskeuper eine große ungesättigte Zone aufweisen, wurde für die Grundwasserneubildung im Gipskeuper ein „Speicherzellenmodell“ entwi-

ckelt, das die Versickerung in Abhängigkeit von der Mächtigkeit der ungesättigten Zone verzögert (Modellbericht S. 50-52). Damit wird eine Annäherung an den Wassertransport in der ungesättigten Bodenzone angestrebt.

Das Speicherzellenmodell berücksichtigt nicht die Bodeneigenschaften oder die hydrogeologischen Verhältnissen in der ungesättigten Zone. Die Modellbearbeiter setzen eine Sättigung von 1% bei einem Hohlraumanteil von 5% voraus. Daraus ergibt sich ein wassererfüllter Hohlraumanteil in der ungesättigten Zone von 0,05%. Die Modellbearbeiter betrachten diesen Wert selbst „eher als Ersatzparameter“.

Wie Abbildung 6.4 im Modellbericht auf S. 52 zeigt, führt das Speicherzellenmodell zu einer Dämpfung der extremen Grundwasserneubildungsspitzen und zu einer Verlagerung der zusickernden Grundwasserneubildung in Zeiten geringer Neubildung, was zumindest im Prinzip der Funktionsweise der ungesättigten Zone entspricht.

Eine Kalibrierung oder Überprüfung des Speicherzellenmodells und der angesetzten Parameter ist aufgrund fehlender Informationen aus der ungesättigten Zone allerdings nicht möglich, wie im Modellbericht (S. 52) ausdrücklich eingeräumt wird.

Die in der kup-Stellungnahme vorgebrachten Argumente gehen an dieser Kernproblematik vorbei und damit ins Leere.

Fazit: Eine Kalibrierung oder Überprüfung der Grundwasserneubildung ist aufgrund der angewendeten Methodik („Speicherzellenmodell“) nicht möglich.

Zu „7 Leakage-Ansatz zur Beschreibung von vertikalen Austauschprozessen“

Metaphysische Leakagefaktoren

Die Vorgangsweise bei der Anwendung des Leakage-Ansatzes wird im Modellbericht auf S. 25 wie folgt beschrieben:

„Im numerischen Modell ist der vertikale Austausch zwischen den Modellschichten über einen Leakageansatz realisiert. Das bedeutet, dass in vertikaler Richtung die Verteilung der Leakagekoeffizienten kalibriert wurde.

Der Leakagekoeffizient ist wie folgt definiert:
$$C = \frac{k_{f,v}}{d}$$

Dabei ist $k_{f,v}$ die vertikale Durchlässigkeit und d die Dicke der hydraulisch wirksamen Dichtungsschicht zwischen den hydrogeologischen Einheiten.“

Im Zuge des Eichvorganges wird eine flächenhafte Verteilung der Leakagekoeffizienten vorgenommen und solange variiert, bis eine Annäherung der berechneten mit den gemessenen Zieldaten erreicht ist, mit der die Modellbearbeiter zufrieden sind.

Modelltechnisch gehen die Verfasser der kup-Stellungnahme von der Vorstellung aus, dass zwischen den aneinander grenzenden Gesteinsschichten so etwas wie eine (gedachte) „Membran“ liegt, die den Grundwasseraustausch zwischen den Schichten entsprechend dem Potenzialunterschied der beiden Gesteinsschichten einschränkt.

Festzuhalten ist, dass die hydrogeologischen Einheiten (also die Gesteinsschichten) selbst dem Grundwasseraustausch einen Widerstand entgegensetzen. So, wie die Modellersteller den Leakage-Ansatz verstehen und anwenden, gibt es die angenommene „hydraulisch wirksame Dichtungsschicht zwischen den hydrogeologischen Einheiten“ in Wirklichkeit nicht; sie ist in der angewendeten Weise lediglich ein gedankliches Hilfsmittel, um den Fließwiderstand von einer Gesteinsschicht in die andere zu quantifizieren. Es kann ihr also weder durch Messung noch rechnerisch ein eigenständiger Wert für ihre Dicke und auch kein eigenständiger Wert für die vertikale Durchlässigkeit zugewiesen werden. Das kommt auch dadurch zum Ausdruck, dass im Modellbericht für diese Größen keine Werte angegeben werden. Sie sind rein fiktiv.

Der von den Verfassern der kup-Stellungnahme zitierte Auszug aus NÄDELIN (2003)

*„Steht der Grundwasserleiter im Zentrum der Betrachtung, so wird angenommen, dass das Wasser innerhalb eines Grundwasserleiters ausschließlich horizontal im Grundwasserleiter fließt, wobei die Fließgeschwindigkeit vom hydraulischen Gradienten und der Transmissivität des Grundwasserleiters abhängt. Mit diesem Ansatz können 2-D, horizontale Strömungen in gespannten und ungespannten Grundwasserleitern simuliert werden. **Wird der Wasseraustausch zwischen einem Grundwasserleiter und über bzw. unter ihm liegenden Grundwasserleitern mit Hilfe des Leakage-Koeffizienten berücksichtigt, so spricht man von einem quasi 3-D Modellierungsansatz, der sich aus horizontalen, grundwasserleitenden Schichten zusammensetzt.**“*

wird von ihnen völlig falsch verstanden und interpretiert. Selbstverständlich kann der Wasseraustausch zwischen unterschiedlichen Grundwasserleitern mithilfe des Leakage-Ansatzes modelliert werden, aber natürlich nur dann, wenn sie voneinander durch „halbdurchlässige“ Schichten mit grundsätzlich messbaren Durchlässigkeiten und Schichtdicken getrennt sind. Im Modell wird aber ein ganz anderer Weg beschritten: Dort wird der Wasseraustausch zwischen unmittelbar angrenzenden Grundwasserleitern ohne dazwischen liegende Trennschicht durch „Leakagefaktoren“ ausgedrückt. Die für den Leakage-Ansatz unbedingt notwendige Trennschicht ist in der gewählten Vorgangsweise ein bloß gedankliches Konstrukt, welches in Wirklichkeit nicht existiert und weder eine angebbare Schichtdicke noch eine definierbare Durchlässigkeit hat.

Die Einführung eines solchermaßen konstruierten „Leakagefaktors“ ermöglicht zwar eine Kalibrierung der vertikalen unabhängig von der horizontalen Durchlässigkeit, da er jedoch grundsätzlich nicht durch reale Größen bestimmbar ist, kann er beliebig verändert werden. Das eröffnet dem Modell unbegrenzte Freiheitsgrade.

Problematisch an diesem Ansatz ist, dass die gedachte „Grenzmembran“ zwischen den Gesteinsschichten eine reine Hilfsfiktion ist und in der Natur nicht existiert. Sie entzieht sich daher jedweder Prüfung und ist deshalb aus wissenschaftstheoretischer Sicht metaphysisch. Ihre Funktion ist die gnädiger Götter oder boshafter Erdgeister, die – je nach Eicherfolg – das Schicksal des Modells bestimmen. In diesem Sinne gleicht der Kalibrierungsvorgang mystischen Gebeten und Beschwörungen.

In wissenschaftstheoretischer Hinsicht sind Modelle Theoreme über bestimmte Wirkungszusammenhänge. Um dem Anspruch der Wissenschaftlichkeit zu genügen, müssen sie grundsätzlich „widerlegbar“ sein. Das bedeutet natürlich nicht, dass sie tatsächlich widerlegt werden müssen, sie müssen aber an (neuen) Erfahrungen scheitern können und so gestaltet sein, dass jedermann überprüfen kann, ob sie falsch sind (siehe dazu ausführlich POPPER, u.a. S. 15). Genau diesem Anspruch entsprechen die Leakagekoeffizienten des gegenständlichen Modells nicht. Als metaphysische Größen können sie ohne Begrenzung durch reale Tatsachen willkürlich bzw. nach subjektiven Interessen oder Glaubensmaßstäben festgesetzt werden.

FORKEL (1999, S. 18) zeigt ein Problem auf, das vielleicht damit in Zusammenhang steht: *„Die in jedem Modell enthaltenen Ungenauigkeiten und Fehlerquellen können von einem erfahrenen Modellierer leider auch ausgenutzt werden, um Modellergebnisse und -aussagen gezielt zu manipulieren.“*

Die Einführung von „Leakagefaktoren“ zur Modellierung des Grundwasseraustauschs zwischen Gesteinsschichten könnte vielleicht noch hingenommen werden, wenn aussagekräftigere Möglichkeiten nicht zur Verfügung stünden. Das trifft jedoch nicht zu. Ein praktikabler (und im Modell des Vorhabenträgers auch angewendeter) Ansatz wäre, den Grundwasseraustausch zwischen den Gesteinsschichten über ihre vertikalen Durchlässigkeiten zu modellieren. Dieser Parameter ist empirisch überprüfbar und nicht metaphysisch, wie die im Modell konstruierten „Leakagekoeffizienten“.

Vertikale Durchlässigkeiten können mittels Ödometerversuch bestimmt werden, was z.B. im Wasserbau oder bei Deponiestandortuntersuchungen gängige Praxis ist (siehe z.B. DIN 18130 Teil 1 oder TECHNISCHE UNIVERSITÄT DRESDEN 06.2007 „Bestimmung des Durchlässigkeitsbeiwertes“). Eine weitere Möglichkeit zeigt KINZELBACH (2005, S. 35): Demnach ist die vertikale Durchlässigkeit dem harmonischen Mittel versuchsmäßig (z.B. durch Pumpversuche) ermittelter Durchlässigkeitsbeiwerte annähernd gleichzusetzen.

Bestandteil der gemeinsamen Datenbasis ist eine umfassende Zusammenstellung geohydraulischer Versuche (ARGE WASSER - UMWELT - GEOTECHNIK 2002) mit zahlreichen Daten über die Durchlässigkeit der relevanten Gesteinsschichten. Aus diesem Zahlenwerk können problemlos und mit kleinem Aufwand für jede Gesteinsschicht die harmonischen Mittelwerte berechnet und daraus brauchbare Anhaltswerte für die vertikale Gesteinsdurchlässigkeit bestimmt werden. Für die meisten Gesteinsschichten reicht auch die Anzahl der Werte aus, um die regionale Verteilung der vertikalen Durchlässigkeiten darzustellen. Auf dieser Basis können flächenhaft vertikale Gesteinsdurchlässigkeiten kalibriert und überprüft werden.

Fazit: Die Nachbildung des vertikalen Grundwasseraustauschs erfolgt anhand von „Leakagefaktoren“, welche in der angewendeten Form grundsätzlich nicht nachvollzogen oder überprüft werden können. Sie haben keine Entsprechung in der Wirklichkeit, sind frei erfunden und in wissenschaftstheoretischer Hinsicht metaphysisch.

Kalibrierte Leakagefaktoren mit kalibrierten Gesteinsdurchlässigkeiten und Schichtmächtigkeiten unvereinbar

Die kalibrierten Leakagefaktoren sind mit den kalibrierten Gesteinsdurchlässigkeiten und Schichtmächtigkeiten unvereinbar. Das zeigt folgendes Beispiel:

Tabelle 2: Kalibrierte Parameter / Modellannahmen

	Wert	Quelle: Modellbericht
Leakagekoeffizient zwischen Grenzdolomit und Grünen Mergeln im Neckartal:	$C = 1E-12$ 1/s	S. 45
Horizontaler Durchlässigkeitsbeiwert des Grenzdolomits im Neckartal:	$k_f = 5E-5$ m/s	S. 41
Horizontaler Durchlässigkeitsbeiwert der Grünen Mergel im Neckartal:	$k_f = 1E-10$ m/s	S. 42
Mittlere Mächtigkeit des Grenzdolomits im gesamten Modellgebiet:	$M_{mod} = 2$ m	S. 12
Mittlere Mächtigkeit der Grünen Mergel im gesamten Modellgebiet:	$M_{mod} = 4$ m	S. 12

Im Modellbericht (S. 25) wird der Leakagekoeffizient so definiert: $C = k_{f,v} / d$

wobei $k_{f,v}$ die vertikale Durchlässigkeit und d die Dicke der hydraulisch wirksamen Dichtungsschicht zwischen den hydrogeologischen Einheiten bezeichnet.

Im Modellbericht sind an keiner Stelle und zu keinem Schichtglied Werte für die Bestimmungsgrößen des Leakagekoeffizienten C , also für die vertikale Durchlässigkeit $k_{f,v}$ und die Dicke d der hydraulisch wirksamen Dichtungsschicht, zu finden.

Bei Annahme bestimmter Schichtdicken d ergeben sich nach der Formel für den Leakagekoeffizienten entsprechende vertikale Durchlässigkeiten, wie folgt:

Tabelle 3: Aus dem Leakagekoeffizient errechnete vertikale Durchlässigkeitsbeiwerte bei Annahme verschiedener Dicken der „Dichtungsschicht“ zwischen Grenzdolomit und Grünen Mergeln

d (Annahme)	$k_{f,v} = C \cdot d$ [m/s]
0	0
1 mm	1E-15
1 cm	1E-14
1 dm	1E-13
1 m	1E-12
2 m (Gesamtmächtigkeit Grenzdolomit)	2E-12
4 m (Gesamtmächtigkeit Grüne Mergel)	4E-12
6 m (Gesamtmächtigkeit Grenzdolomit + Grüne Mergel)	6E-12

Hieraus ist klar zu ersehen, dass für den kalibrierten Leakagekoeffizienten umso kleinere Durchlässigkeiten notwendig sind, je dünner die Dichtungsschicht angenommen wird.

Bei Annahme, dass die „Dichtungsschicht“ die gesamte Mächtigkeit des Grenzdolomits plus der Grünen Mergel umfasst (dicker kann die „Dichtungsschicht“ nicht sein!), ergibt sich aus dem kalibrierten Leakagekoeffizienten eine größtmögliche vertikale Durchlässigkeit von 6E-12 m/s. Dies ist ein extrem kleiner Wert; der Grundwasseraustausch ist daher unter solchen Bedingungen verschwindend gering.

Welche Größenordnungen der Grundwasseraustausch zwischen Grenzdolomit und Grünen Mergeln unter diesen Bedingungen annehmen kann, zeigt folgende Berechnung anhand der DARCY'schen Strömungsformel:

$$v_f = Q / F = k_{f,v} \cdot l$$

mit folgenden Berechnungsannahmen:

vertikaler Durchlässigkeitsbeiwert:	$k_{f,v} = 6E-12$ m/s
durchströmte Querschnittsfläche:	$F = 1$ m ²
Potenzialunterschied zwischen Grenzdolomit und Grünen Mergeln:	$\Delta h = 1$ m
Fließstrecke (Gesamtmächtigkeit Grenzdolomit + Grüne Mergel):	$L = 6$ m
Potenzialgradient:	$l = \Delta h / L = 1/6 = 0,167$

Daraus ergibt sich der spezifische Grundwasserdurchsatz mit: $Q / F = 6E-12 \cdot 1/6 = 1E-12$ m³m⁻²s⁻¹

Das entspricht einem Grundwasseraustausch von:

- 0,032 Liter pro Jahr auf einer Fläche von 1 Quadratmeter
- 31,6 Kubikmeter pro Jahr auf einer Fläche von 1 Quadratkilometer
- 0,12 Liter pro Sekunde bezogen auf die gesamte Modellgebietsfläche (ca. 120 km²)
- 10,37 Kubikmeter pro Tag bezogen auf die gesamte Modellgebietsfläche (ca. 120 km²)

Dem steht ein Grundwasserdurchsatz von ca. 843 Liter pro Sekunde im gesamten Modellgebiet gegenüber (Modellbericht S. 36). Der hier schon mit äußerst großzügigen Annahmen berechnete Grundwasseraustausch zwischen Grenzdolomit und Grünen Mergeln im Neckartal liegt also bei $0,12 / 843 \approx 0,014\%$ des gesamten Grundwasserdurchsatzes im Modellgebiet und ist daher – bei den im Modell kalibrierten Leakagekoeffizienten – praktisch vernachlässigbar.

Es ist jedoch äußerst fraglich, ob die kalibrierten Leakagekoeffizienten mit den realen Gegebenheiten im Einklang stehen. Um dies zu prüfen, wurden aus den in der Gemeinsamen Datenbasis dokumentierten Durchlässigkeitsbeiwerten des Grenzdolomits und der Grünen Mergel die jeweiligen harmonischen Mittelwerte berechnet. Diese geben nach KINZELBACH (2005, S. 35) einen Anhalt für die vertikale Durchlässigkeit. Die harmonischen Mittelwerte der dokumentierten Durchlässigkeitsbeiwerte des Grenzdolomits und

der Grünen Mergel wurden den anhand der kalibrierten Leakagekoeffizienten maximal möglichen Durchlässigkeitsbeiwerte (siehe Tabelle 3) gegenübergestellt und miteinander verglichen:

Tabelle 4: Vergleich der vertikalen Durchlässigkeitsbeiwerte anhand der Gemeinsamen Datenbasis und der Modellkalibrierung

Vertikale Durchlässigkeit	Grenzdolomit	Grüne Mergel
Harmonisches Mittel der anhand von Bohrlochversuchen dokumentierten Durchlässigkeitsbeiwerte	2,92E-10 m/s	3,20E-09 m/s*
Maximal möglicher Wert, berechnet aus dem kalibrierten Leakagekoeffizienten bei größtmöglicher Schichtdicke (6 m)	≤ 6,00E-12 m/s	

* Da in der Gemeinsamen Datenbasis für die Grünen Mergel nur zwei Werte vorliegen, wurde der kleinste dokumentierte Wert angenommen.

Aus dieser Gegenüberstellung lassen sich folgende Schlüsse ziehen:

- Der aus dem kalibrierten Leakagekoeffizienten abgeleitete größtmögliche vertikale Durchlässigkeitsbeiwert ist um zwei bis drei Zehnerpotenzen kleiner als die auf empirischer Grundlage ermittelten Durchlässigkeitsbeiwerte.
- Bei Ansatz des kalibrierten Leakagekoeffizienten erfordern die auf empirischer Grundlage ermittelten Durchlässigkeitsbeiwerte folgende minimale Dicken für die „Dichtschicht“ zwischen den beiden Schichtgliedern:
 Grenzdolomit: $d = k_{f,v} / C = 2,92E-10 / 1E-12 = 292 \text{ m}$ (im Modell angenommen: 2 m)
 Grüne Mergel: $d = k_{f,v} / C = 3,20E-09 / 1E-12 = 3.200 \text{ m}$ (im Modell angenommen: 4 m)

Der für den Grundwasseraustausch zwischen Grenzdolomit und Grünen Mergeln kalibrierte Leakagekoeffizient ist somit unplausibel und mit den aus Bohrlochversuchen gewonnenen Durchlässigkeitsbeiwerten unvereinbar. Ähnliche Ungereimtheiten lassen sich auch bei den kalibrierten Leakagekoeffizienten für den Grundwasseraustausch zwischen anderen Schichtgliedern feststellen.

Zu „8 Pumpversuch“

„Für die Nachbildung des Langzeitpumpversuchs wurden stationäre mittlere hydrologische Verhältnisse entsprechend dem Ergebnis der stationären Kalibrierung verwendet. D.h. mit dem Modell wurden nur die Absenkungen an den Grundwassermessstellen und die Quellschüttungsminderungen als Relativwerte ausgewertet und nicht die berechneten Absolutwerte mit den gemessenen verglichen.“ (aus Modellbericht S. 78).

Die kup-Stellungnahme richtet sich gegen die (angebliche) Kritik, dass der Pumpversuch vor Erreichung des stationären Strömungszustandes beendet wurde. Diese Tatsache, welche in der Stellungnahme auch bestätigt wird, ist lediglich der Ausgangspunkt der eigentlichen Kritik – nämlich, dass der Pumpversuch vor Erreichung aussagekräftiger Resultate abgebrochen wurde.

In der Pumpzeit kam es nämlich zu außergewöhnlich starken Luftdruckschwankungen. Das machte rechnerische Luftdruckkorrekturen notwendig, welche mit erheblichen Unsicherheiten behaftet sind. Solche Bedingungen sind als irregulär zu bezeichnen. Eine verlängerte Pumpzeit bis nach Abklingen der Luftdruckschwankungen hätte die Interpretierbarkeit des Pumpversuchs wesentlich verbessert.

Ein weiterer in der Stellungnahme als unberechtigt bezeichneter Kritikpunkt ist die modelltechnische Nachbildung des Langzeitpumpversuchs anhand stationärer mittlerer hydrologischer Verhältnisse.

Diese Vorgangsweise hat zur Folge, dass nur die Absenkungen an den Grundwassermessstellen und die Quellschüttungsminderungen als Relativwerte ausgewertet und nicht die berechneten Absolutwerte mit

den gemessenen verglichen werden konnten. Zur Zeit der Pumpversuchsauswertung standen alle aktuellen Daten des instationären Systemzustandes zur Verfügung. Ein Vergleich mit diesen Daten hätte es möglich gemacht, nicht nur die berechneten Absenkungen sondern auch die berechneten Absoluthöhen des Grundwasserspiegels und der Quellschüttungen mit den gemessenen Werten zu vergleichen. Das wäre zur Validierung des Modells notwendig gewesen, wurde aber verabsäumt.

Auf S. 68 des Modellberichts wird dieses Versäumnis damit begründet, dass die instationäre Modellsimulation Anfang 2009 endet. Diese Begründung mag im Zeitraum des Pumpversuchs zugetroffen haben, allerdings wird das Modell laufend nachgeführt. Es wäre also ein Leichtes gewesen, nach Einspeisung der Daten bis zum Ende des Pumpversuchs die berechneten Grundwasserstände und Quellschüttungen mit dem instationären Systemzustand im Verlauf des Pumpversuchs zu vergleichen. Ein solcher Vergleich kann auch nachträglich mit den zur Verfügung stehenden Daten durchgeführt werden. Das ist unbedingt zu fordern, um die Prognosesicherheit des Modells einer Prüfung zu unterziehen.

Eine solche Prüfung erscheint auch deshalb notwendig, weil die Modellbearbeiter die Ergebnisse des Pumpversuchs besser beurteilen, als sie sind, und die angeblich „sehr gute Übereinstimmung“ als Argument für die (angeblich) „gute Prognosefähigkeit des Modells im Bereich des geplanten Tiefbahnhofs“ ins Treffen führen (Modellbericht S. 72).

Eine statistische Auswertung der gemessenen und berechneten maximalen Absenkungen während des Langzeitpumpversuchs führt demgegenüber zu ganz anderen Resultaten:

Grundwassermessstellen:

Die statistische Auswertung beruht auf den luftdruckkorrigierten Werten in Tabelle 9.1. des Modellberichts.

An den insgesamt 115 beobachteten Messstellen wurden maximale Absenkungen von 0 bis 2 m gemessen. Die mittlere gemessene Maximalabsenkung betrug 17,5 cm mit einer Standardabweichung von $\pm 28,5$ cm. Daraus lässt sich schließen, dass eine erhebliche Anzahl der Messstellen vom Pumpversuch nicht beeinflusst wurde.

An den insgesamt 42 beobachteten Messstellen der Gemeinsamen Datenbasis wurden maximale Absenkungen von 0 bis 1 m gemessen. Die mittlere gemessene Maximalabsenkung betrug 28,3 cm mit einer Standardabweichung von $\pm 20,3$ cm. Auch hieraus ist zu vermuten, dass eine erhebliche Anzahl dieser Messstellen vom Pumpversuch nicht beeinflusst wurde.

An den insgesamt 115 beobachteten Messstellen wurden maximale Absenkungen von 0 bis 47 cm gemessen. Die mittlere berechnete Maximalabsenkung betrug 13,8 cm mit einer Standardabweichung von $\pm 14,9$ cm.

An den insgesamt 42 beobachteten Messstellen der Gemeinsamen Datenbasis wurden maximale Absenkungen von 0 bis 47 cm gemessen. Die mittlere berechnete Maximalabsenkung betrug 28,7 cm mit einer Standardabweichung von $\pm 11,3$ cm.

Die Differenz zwischen gemessenen und berechneten Absenkungen aller beobachteten Messstellen liegt zwischen -31 und 158 cm bei einem Mittelwert \pm Standardabweichung von $3,7 \pm 23,2$ cm. An den einzelnen Messstellen beträgt die durchschnittliche Abweichung 21,0% der gemessenen bzw. 26,6% der berechneten Absenkungsbeträge.

Die Differenz zwischen gemessenen und berechneten Absenkungen aller beobachteten Messstellen der Gemeinsamen Datenbasis liegt zwischen -31 und 60 cm bei einem Mittelwert \pm Standardabweichung von $-0,3 \pm 18,8$ cm. An den einzelnen Messstellen beträgt die durchschnittliche Abweichung -91,4% der gemessenen bzw. 82,8% der berechneten Absenkungsbeträge.

Mineralquellen:

Die in Abbildung 9.6 des Modellberichts dargestellte Schüttungsganglinie der Berger Quellen (gesamt) zeigt im Verlauf des Pumpversuchs einen maximalen Schüttungsrückgang von 3,9 l/s, während der berechnete maximale Rückgang 1,82 m beträgt. Der Unterschied zwischen den beiden Werten beträgt etwas

mehr als 2 l/s und verfehlt daher die vom Arbeitskreis Grundwassererkundung und -modellierung festgelegte Genauigkeitsanforderung (KOBUS 2010).

Am 30.01.2010, kurz vor Pumpenabschaltung zeigt die luftdruckkorrigierte Schüttungsganglinie der Berger Quellen einen leichten Anstieg, was die Modellbearbeiter auf eine „Sekundärbeeinflussung“ zurückführen (Modellbericht S. 75 u. 76), die sie aber nicht näher erklären können. Möglicherweise ist dieser (scheinbare?) Anstieg ein Artefakt der Luftdruckkorrektur. Das liegt nahe, weil auch an anderen Messstellen knapp vor Pumpenabschaltung eine leichte Anstiegstendenz festgestellt wurde. Anhand der Ganglinie ist nicht eindeutig zu entscheiden, ob bei Fortsetzung des Pumpversuchs die Schüttung weiter zurückgegangen wäre. Der Pumpversuch wurde zu früh abgebrochen.

Die Tabelle 9.2. im Modellbericht „Gemessene und berechnete maximale Quellschüttungsänderungen während des Langzeitpumpversuchs im Januar 2010“ listet die gemessenen Schüttungsrückgänge „*mit Berücksichtigung einer Sekundärbeeinflussung*“ auf. In welcher Form diese „Sekundärbeeinflussung“ berücksichtigt wurde, wird im Bericht nicht angegeben. Eine Liste der tatsächlich gemessenen Werte fehlt. Faktum ist, dass in dieser Tabelle für die Berger Quelle deutlich kleinere Schüttungsrückgänge angegeben werden, als tatsächlich gemessen wurden. Wahrscheinlich gilt das auch für die anderen Quellen.

FORKEL (1999, S. 18) zeigt ein Problem auf, das vielleicht damit in Zusammenhang steht: „*Die in jedem Modell enthaltenen Ungenauigkeiten und Fehlerquellen können von einem erfahrenen Modellierer leider auch ausgenutzt werden, um Modellergebnisse und -aussagen gezielt zu manipulieren.*“

Jedenfalls können aus den Ergebnissen des Pumpversuchs keine Schlüsse über die zu erwartenden baubedingten Quellschüttungsminderungen gezogen werden.

Fazit: Der sogenannte Langzeitpumpversuch wurde vor Erreichen eines stationären Strömungszustandes beendet. Das wird in der kup-Stellungnahme bestätigt. Er fand unter irregulären Bedingungen (starke Luftdruckschwankungen, nicht näher beschriebene „Sekundärbeeinflussungen“) statt, was eine regelrechte Auswertung verhinderte. Der Versuch wurde vor Erreichen aussagekräftiger Ergebnisse abgebrochen. Die modelltechnische Nachbildung des Langzeitpumpversuchs erfolgte anhand stationärer mittlerer hydrologischer Verhältnisse im Jahr 1994, obwohl aktuelle Daten über den instationären Systemzustand zur Verfügung standen. Aus diesem Grund konnten nur die Veränderungen der Grundwasserstände und Quellschüttungen, nicht aber deren Absolutwerte beurteilt werden. Eine nachträgliche Nachbildung des Pumpversuchs ist möglich und zu fordern, weil die Daten des instationären Systemzustands vorliegen. Die berechneten Grundwasserstandsänderungen weichen an den Messstellen der Gemeinsamen Datenbasis um durchschnittlich 91% von den gemessenen ab. An den Berger Quellen wurden die definierten Genauigkeitsanforderungen verfehlt. Die Quellschüttungsrückgänge wurden unter „Berücksichtigung einer Sekundärbeeinflussung“ kleiner angegeben, als tatsächlich gemessen. Rückschlüsse auf die baubedingten Quellschüttungsminderungen sind aufgrund dieser Pumpversuchsergebnisse nicht möglich.

Zu „9 Parametrisierung“

Die Verfasser der kup-Stellungnahme halten die Kritik, dem Modell lägen tatsachenwidrige und unrealistische Eingangsdaten zu Grunde, für unberechtigt.

Daher wird die in der Erörterungsverhandlung teilweise schon näher ausgeführte Kritik an tatsachenwidrigen und unrealistischen Eingangsdaten des Modells an einigen Beispielen nachgewiesen:

Modelleingangsdaten und Randbedingungen

Muschelkalkaquifer

Siehe Kapitel Zu „5 Zu- und Abflüsse im Muschelkalkaquifer“ (S. 28).

Unterkeuper

Siehe dazu Modellbericht S. 14.

Der westliche Modellrand im Unterkeuper verläuft entlang einer angenommenen Grundwassergleiche, die sich aber nur sehr grob abschätzen lässt. Aus diesem Grund wurde hier eine Zuflussrandbedingung angesetzt, mit der sich näherungsweise das angenommene Potenzial einstellt. Die Modellbearbeiter geben weder „das angenommene Potenzial“ noch die daraus abgeleitete Zuflussrandbedingung an. Das Modell ist daher in dieser Hinsicht weder nachvollziehbar noch überprüfbar.

Der südöstliche Modellrand verläuft etwa parallel zum Nesenbachtal im Berghang entlang einer vermuteten Randstromlinie bis zum Ausstrich des Schilfsandsteins im Bereich Gablenberg. Die Modellbearbeiter lassen offen, aus welchen Gründen sie dort eine Randstromlinie vermuten. Das Modell ist daher in dieser Hinsicht weder nachvollziehbar noch überprüfbar.

Im Südosten wird das numerische Modell quer zum Neckartal im Bereich Hedelfingen begrenzt. Ein möglicher Zufluss im Unterkeuper wurde bewusst vernachlässigt.

Im Süden verläuft der Modellrand entlang einer Randstromlinie von der Fildergrabenrandverwerfung bis östlich des Neckars. Die Randstromlinie ist empirisch nicht belegt und wird von den Modellbearbeitern bloß „angenommen“.

Im Grenzdolomit wurde ebenfalls eine Zuflussrandbedingung angesetzt, über die uns die Modellbearbeiter nichts Näheres verraten. Die Modellberandung im Süden und insgesamt im Grenzdolomit ist demnach spekulativ und jedenfalls nicht nachvollziehbar.

Gipskeuper

Siehe dazu Modellbericht S. 15-16.

Im Verlauf der instationären Modelleichung habe sich nach Angabe der Modellbearbeiter gezeigt, dass die Grundwasserströmung des Bochinger Horizonts im Bereich des Rosensteinparks durch eine Abflussrandbedingung im Neckartal beeinflusst sein müsse, da die Grundwasserstände in diesem Bereich praktisch keiner zeitlichen Schwankung unterliegen. Aus diesem Grund wurde entlang des Ausstrichs des Bochinger Horizonts im Neckartal eine Drainagerandbedingung angesetzt, wobei die Drainagehöhe 1 m über die Sohle des Bochinger Horizonts gelegt wurde. Abbildung 3.3 des Modellberichts zeigt schematisch diese Randbedingung im vertikalen Schnitt und die in diesem Bereich beobachteten Grundwasserstände im Bochinger Horizont. Während der Grundwasserstand an der Messstelle B 307, die dem Neckartal am nächsten ist, keinen Schwankungen unterliegt, zeigt die weiter westlich im Rosensteinpark gelegene Messstelle B 306 eine deutliche Dynamik (siehe Modellbericht, Anlage 7.3). Dies wird damit erklärt, dass am Rand des Neckartals ein unterirdischer Austritt in den Neckarkies vorhanden sein müsse, der die Dynamik des Grundwassersystems im Bochinger Horizont dämpfe. Die gewählte Randbedingung begründen die Modellbearbeiter modelltechnisch mit der Absicht, die geringen Schwankungen in diesem Bereich abbilden zu können.

Die Grundwasserganglinien der erwähnten Messstellen B 306 und B 307 waren schon vor der instationären Modelleichung bekannt. Dass dies erst „im Verlauf der instationären Modelleichung“ aufgefallen ist, erscheint kaum glaubhaft. Dass eine Drainagerandbedingung so angesetzt worden sei, dass die „Drainagehöhe“ 1 m über die Sohle des Bochinger Horizonts liege, lässt sich anhand der schematischen Abbildung 3.3 nicht nachvollziehen bzw. scheint ihr sogar zu widersprechen. Insofern ist die Implementierung dieser Randbedingung widersprüchlich und nicht nachvollziehbar. Der modelltechnisch erhoffte Effekt, nämlich „die geringen Schwankungen in diesem Bereich abbilden zu können“, ist auch nicht eingetreten, wie der berechnete, auffallend schwankende Ganglinienverlauf der Messstelle B307 eindrucksvoll bezeugt (siehe Modellbericht, Anlage 7.3). Während nämlich die gemessene Ganglinie in den Jahren 1996-2009 nur um ca. 20 cm schwankt, zeigt die berechnete Ganglinie im gleichen Zeitraum Schwankungen von ca. 3 m. Offenbar ist die Berechnung hier fehlerhaft, oder die gesetzte Randbedingung verfehlt ihren Zweck vollständig.

Quartär

Siehe dazu Modellbericht S. 16-17.

Das Modell setzt im Quartär des Neckartals an den Berghängen einen Zufluss an, der einem Teil der Grundwasserneubildung aus dem benachbarten oberirdischen Einzugsgebiet entspricht. Der restliche Anteil werde dem unterlagernden Festgesteinsgrundwasserleiter zugeführt. Im Südosten wird das numerische Modell durch eine Festpotenzialrandbedingung quer zum Neckartal begrenzt. Hier erfolgt im numerischen Modell ein Zustrom aus dem oberstromig gelegenen Neckartal. Am unterstromigen Modellrand im Neckartal wurde auch eine Festpotenzialrandbedingung angesetzt, um den unterirdischen Abstrom des Quartärs im Neckartal zu simulieren.

Die Modellbearbeiter quantifizieren diese Randbedingungen nicht. Sie sind somit weder nachvollziehbar noch überprüfbar.

Oberflächengewässer als Leakagerandbedingung

Siehe Kapitel Zu „2 Leakage Gewässer“, S. 24 und Modellbericht S. 19.

Mit Ausnahme der Stauhöhen des Neckars geben die Modellbearbeiter keine Hinweise zur Quantifizierung dieser Leakagerandbedingungen. Das Modell ist insoweit nicht nachvollziehbar bzw. überprüfbar.

Kanäle als Drainagerandbedingungen

Siehe dazu Kapitel Zu „4 Kanal“, 27 und Modellbericht S. 20.

Die Kanäle Nesenbachkanal mit Cannstatter Kanal, Hauptsammler West und Hauptsammler Nord wurden als Drainagerandbedingung in das Grundwassermodell implementiert. Als Drainagehöhe setzen die Modellbearbeiter die jeweilige Kanalsole an. Der bilanzmäßige Abfluss wurde über einen Leakagefaktor eingestellt. Der Leakagefaktor wurde im Rahmen der instationären Modellkalibrierung „eingegrenzt“. Die Kalibrierung beruht auf Zirkelschlüssen und hat daher keinerlei Aussagekraft (siehe Kapitel Zu „4 Kanal“, S. 28).

Der Wasserabfluss über die Kanäle wurde nicht empirisch erfasst, obwohl dies wahrscheinlich ohne größeren Aufwand machbar gewesen wäre. Stattdessen wurden im Rahmen der Kalibrierung Leakagefaktoren berechnet, welche den Bilanzabfluss bestimmen. Diese Bilanzkomponente ist empirisch unbelegt, ebenso wie die verwendeten Leakagefaktoren selbst. Eine Plausibilitätsprüfung der berechneten Leakagefaktoren und Kanalabflüsse ist im Modell nicht zu finden.

Da Abflussmessungen aus den Kanälen wahrscheinlich mit vertretbarem Aufwand durchgeführt werden können, sind die Kanalabflüsse empirisch zu erheben (so wie auch die Grundwasserentnahmen und Quellschüttungen; siehe Modellbericht, Kapitel 3.6.9 sowie 3.6.10 auf S. 20) und in das Modell zu übernehmen. Das würde den Rückgriff auf unüberprüfbare Leakagefaktoren entbehrlich machen und das Modell in dieser Hinsicht auf eine wirklichkeitsnahe Basis stellen.

Nichtberücksichtigung geologischer Störungen und Dolinen

Siehe Kapitel Zu „10 Störungen und Dolinen“, S. 39.

Aquifereigenschaften

Durchlässigkeitsverteilungen

Nach Angabe im Modellbericht S. 23 liegen im Neckarkies Durchlässigkeiten bis zu $5,3E-1$ m/s nach der Gemeinsamen Datenbasis vor. In den Ergebnissen der geohydraulischen Versuche zum 5. EKP (ARGE WASSER – UMWELT – GEOTECHNIK 6.2002, Anlage 1.6) sind jedoch derart große Durchlässigkeiten nicht verzeichnet. Möglicherweise handelt es sich hier um einen Irrtum, der gegebenenfalls in das Modell eingeflossen sein könnte.

Speicherkoefizienten

Nach Angabe im Modellbericht S. 24 liegen die spezifischen Speicherkoefizienten bei gespannten Grundwasserhältnissen zwischen $1E-6$ und $1E-5$ 1/m relativ unabhängig von der hydrogeologischen Einheit.

Ein Vergleich mit den Ergebnissen der geohydraulischen Versuche zum 5. EKP zeigt jedoch, dass diese Angabe von den Pump- bzw. Bohrlochversuchen in vielen Fällen abweicht. Dort sind z.B. für den Bochinger Horizont Speicherkoeffizienten bis $5E-3$ dokumentiert, wobei man hier gespannte Verhältnisse vermuten kann. Bezieht man diese auf die im Modell angenommene Schichtmächtigkeit von 5 m (Modellbericht, Tab. 3.2 auf S. 12), kommt man zu spezifischen Speicherkoeffizienten von bis zu $1E-3$ 1/m. In den Dunkelroten Mergeln wiederum ist ein minimaler Speicherkoeffizient von $1,2E-06$ dokumentiert. Bezieht man diesen auf die im Modell angenommene Schichtmächtigkeit von 16 m (Modellbericht, Tab. 3.2 auf S. 12), gelangt man zu einem minimalen spezifischen Speicherkoeffizient von $7,5E-8$ 1/m.

Die von den Modellbearbeitern angegebenen Werte decken somit die Spannweite der natürlich vorkommenden spezifischen Speicherkoeffizienten bei weitem nicht ab.

Grundwasserneubildung

Siehe Kapitel Zu „6 Grundwasserneubildung“, S. 29.

Neckarwasserspiegel

Siehe Kapitel Zu „1 Neckarwasserspiegel“, S. 23.

Fazit

Dem Modell liegen auf allen Ebenen zahlreiche tatsachenwidrige und unrealistische Eingangsdaten zugrunde. Schon allein aus diesem Grund ist das Modell unbrauchbar und nicht in der Lage, die Auswirkungen der baubedingten Maßnahmen zutreffend vorherzusagen. Die kup-Stellungnahme ist widerlegt.

Zu „10 Störungen und Dolinen“

Im Untersuchungsraum liegen zahlreiche Störungszonen und Verwerfungen vor, die insbesondere für den vertikalen Austausch zwischen den Grundwasserleitern eine wichtige Rolle spielen. Sie werden in geohydraulischer Hinsicht in unterschiedlicher Weise wirksam. Einerseits können sie die Kontinuität von Grundwasserleitern unterbrechen und so die Wasserströmung behindern, andererseits bilden sie nicht selten bevorzugte Wasserwegsamkeiten, die den Grundwasserstrom umlenken und zum Aufdringen von Tiefengrundwässern führen. Auch die Mineralwasseraufstiege aus dem Oberen Muschelkalk verdanken diesem Umstand ihre Existenz. Diese führen dem oberflächennahen Grundwasser erhebliche Wassermengen zu und alimentieren auch tiefere Grundwasserstockwerke. Soweit aus den vorliegenden Unterlagen hervorgeht, sind diese Komponenten der Grundwasserbilanz empirisch kaum bekannt.

In der kup-Stellungnahme wird behauptet, dass die Lage und die Versatzbeträge der bekannten geologischen Störungen bei der Interpolation der Schichtlagerungen berücksichtigt wurden. Dies deckt sich zwar mit dem Modellbericht, jedoch wurden die besonderen hydrologischen Eigenschaften der Störungen, welche von den angrenzenden Gesteinen völlig abweichen können, nicht in das Modell implementiert. Das wird auch in der Stellungnahme implizit bestätigt. Dort wird auf künftige Erkundungen im Zuge des Tunnelbaus verwiesen und erklärt, dass sich die hydraulische Wirksamkeit der Störungen erst im Zuge der Bauausführung erfassen lasse.

Nach Ansicht der Verfasser der kup-Stellungnahme sei in den bergmännisch aufzufahrenden Trassenabschnitten die hydraulische Wirksamkeit von Störungen für die Modellprognostik nicht relevant. Das begründen sie damit, dass bei Hinweisen auf erhöhte Durchlässigkeiten Injektionen eingesetzt werden, um einem erhöhten Wasserandrang und Aufstieg von Mineralwasser in solchen Abschnitten entgegen zu wirken.

Sie verkennen dabei, dass die Störungen auch weitab von den bergmännischen Tunnelabschnitten existieren und da wie dort hydrologisch wirksam sind. Diese Wirkungen können natürlich nur im unmittelbaren Tunnelbereich beeinflusst und ohne zusätzliche Felduntersuchungen auch nur dort ermittelt werden. Im Gegensatz zur Meinung der Verfasser der kup-Stellungnahme gibt es sehr wohl Methoden, die hydrologische Wirksamkeit von Störungen auch außerhalb einer Tunnelbaustelle zu erfassen. Als Beispiele dafür

seien hydrologische Bohrlochversuche, Tracerversuche und die Analyse von Grundwasser-Isolinienplänen genannt.

Aufgrund der kup-Stellungnahme ist also davon auszugehen, dass die hydrologischen Eigenschaften der geologischen Störungen den Modellbearbeitern bisher nicht bekannt sind und daher in das Modell keinen Eingang gefunden haben.

Die Ausführungen in der kup-Stellungnahme zum Bereich der Nesenbachtalquerung, die überwiegend in offener Bauweise erstellt werden soll, beziehen sich anscheinend auf Dolinen.

Die Verfasser der kup-Stellungnahme verweisen auf eine „intensive und gezielte Erkundung auf vertikale Wegsamkeiten und eine entsprechende modelltechnische Auswertung“ und führen dazu die Nachrechnung einiger Pumpversuche an. Daraus seien im Bereich der Nesenbachtalquerung auf Grund der Erkundungsergebnisse im aktuellen Modell die vertikalen Leakagekoeffizienten der Grundgipsschichten weiter verfeinert und im Bereich der bekannten hydraulisch wirksamen vertikalen Schwächezonen angepasst worden. Inwiefern auf diese Weise die zahlreichen über das Modellgebiet verstreuten Dolinen berücksichtigt wurden, geht aus der Stellungnahme nicht klar hervor. Soweit dem Modellbericht auf S. 44 zu entnehmen ist, erfolgte die „Berücksichtigung“ in einem einzigem Fall durch eine lokale Erhöhung des „Leakage-Faktors“ im Bereich am Nordportal des bestehenden Bahnhofs.

Einer der Verfasser der kup-Stellungnahme, Herr Dr.-Ing. Lang, welcher auch die Erstellung des gegenständlichen „Behördenmodells“ geleitet hat, erklärte anlässlich der Erörterungsverhandlung im September 2013 ausdrücklich, dass ihm zwei Dolinen bekannt seien. Dies dürfte noch eine Übertreibung sein, denn in seinem Modellbericht wird nur eine Doline erwähnt, nämlich jene am Nordportal des bestehenden Bahnhofs.

Anhand der eigenen Angaben der Modellbearbeiter ist somit bewiesen, dass Störungen und Dolinen im Modell nicht adäquat berücksichtigt wurden.

Die weitgehende Vernachlässigung der hydrologischen Eigenschaften geologischer Störungen und Dolinen im Modell führt mit hoher Wahrscheinlichkeit zu erheblichen Fehlern in der modellinternen Grundwasserbilanz. Offenbar liegt darin eine der Ursachen für die Notwendigkeit, „geisterhafte“ Leakagekoeffizienten einzuführen und ihnen unrealistische Werte zuzuweisen, um bei der Modelleichung die Mess- und Berechnungsergebnisse für Grundwasserstände und Grundwasseraustritte halbwegs zu approximieren. Dass das trotz dieses Kunstgriffs nicht gelingt, erweist sich an den Eich- und „Validierungs“-Ergebnissen (siehe Kapitel Zu „12 Validierung“, S. 45 und Zu „13 Qualität der Modellanpassung (Nachbildung der vergangenen Grundwasserverhältnisse)“, S. 47).

Zu „11 Sensitivitätsstudie“

Die US-Norm ASTM D5447-04 schreibt in Pkt. 6.7 vor:

„Sensitivity analysis is a quantitative method of determining the effect of parameter variation on model results. The purpose of a sensitivity analysis is to quantify the uncertainty in the calibrated model caused by uncertainty in the estimates of aquifer parameters, stresses, and boundary conditions (6). It is a means to identify the model inputs that have the most influence on model calibration and predictions (1). Perform sensitivity analysis to provide users with an understanding of the level of confidence in model results and to identify data deficiencies (16).“ (Hervorhebung durch den Unterfertigten)

Eine Sensitivitätsanalyse im Sinne dieser Bestimmung wurde nicht durchgeführt. Quantitative Angaben zu den Effekten von Parameter-Variationen auf die Modellergebnisse liegen nicht vor. Die Modellunsicherheit kann daher in keiner Weise angegeben werden. Der Verlässlichkeitsgrad („level of confidence“) ist nicht abschätzbar, und Datenmängel können nicht identifiziert werden, soweit sie nicht schon augenfällig erkennbar sind.

Die Verfasser der kup-Stellungnahme weisen die Kritik zurück, dass das Modell keiner Sensitivitätsstudie unterzogen worden ist. Sie beziehen sich dabei auf das DVGW-Arbeitsblatt W 107 und führen dazu eine Reihe von Maßnahmen an, die ihrer Ansicht nach einer Sensitivitätsanalyse entsprechen.

Dem wird wie folgt entgegnet:

Das DVGW-Arbeitsblatt W 107 schreibt in Pkt. 7.2.5 Verifikation (Validierung) vor:

„(...) Zum Schluss werden Unsicherheiten und Annahmen in den Modelleingangsdaten und der Modellstruktur hinsichtlich ihrer Auswirkungen auf die Zuverlässigkeit von Modellprognosen analysiert. Dies kann z. B. anhand von Sensitivitätsanalysen, Worst/Best-Case-Studien, Monte-Carlo-Rechnungen oder Stochastischen Simulationen erfolgen. Die Anwendung dieser Methoden kann mit einem hohen zusätzlichen Aufwand verbunden sein, der nicht bei jeder Fragestellung angemessen ist. Deshalb gelten folgende Rahmenbedingungen:

- *Form und Intensität der Behandlung: von Modellunsicherheiten müssen schon bei der Festlegung der Aufgabenstellung und der Findung des Modellkonzeptes vereinbart werden.*
- *Form und Intensität einer Quantifizierung der Modellunsicherheiten muss der Fragestellung angemessen sein. Auch qualitative Abschätzungen können für die Eingrenzung des Anwendungsbereichs wertvoll sein.*
- *Eine Quantifizierung von Modellunsicherheiten sollte nur auf wenige, für die Modellaussage wesentliche Parameter beschränkt bleiben.*
- *Worst-Case-Analysen sollten auf die Variation einzelner Parameter beschränkt bleiben, Kombinationen mehrerer Worst-Case-Betrachtungen führen schnell zu unrealistischen Ergebnissen.*
- *Bei der Durchführung einer intensiven Kalibrierung können aus der Bandbreite der Ergebnisse bereits Informationen über die Sensitivität von Modellparametern und Randbedingungen und damit auch quantitative Informationen über den Einfluss von Unsicherheiten aus den Eingangsgrößen auf die Modellergebnisse gezogen werden.“*

Im Modellbericht wird in folgenden Passagen auf die Sensitivität Bezug genommen (Wort „Sensitivität“ und Wortkombinationen davon hervorgehoben):

Modellbericht S. 26: *„Die Genauigkeit der Kalibrierung wurde ebenfalls in der gemeinsamen Datenbasis (Kobus, 2010) festgelegt. Bei den Grundwasserständen wird zwischen verschiedenen Sensitivitätsbereichen unterschieden, da es sich einerseits bei dem zu modellierenden Grundwasserleitersystem um ein sehr komplexes System handelt und andererseits die maßnahmenbedingten Eingriffe unterschiedliche wasserwirtschaftliche Bedeutung haben. Komplexe hydrogeologische Verhältnisse liegen insbesondere bei den Messstellen vor, die eine hohe Überdeckung und damit eine mächtige ungesättigte Zone aufweisen, die in den Übergangsbereichen zwischen ausgelaugtem und nicht ausgelaugtem Gebirge liegen und die nur gering mächtige Aquiferschichten erschließen. In diesen Bereichen ist zu erwarten, dass auch lokale Gegebenheiten die Messwerte insbesondere im instationären Fall beeinflussen. Derartige Einflüsse lassen sich allerdings im großräumigen Modell nicht mitberücksichtigen, so dass hier die Genauigkeit der Modellanpassung geringer gewählt wurde als im zentralen Nesenbachtal mit klar definierten hydrogeologischen Verhältnissen und ausreichender Datendichte.*

Folgende Sensitivitätsbereiche mit Genauigkeitsanforderungen wurden in der gemeinsamen Datenbasis festgelegt:

I: Zentrales Nesenbachtal zwischen Willy-Brandt- und Heilbronner Str.

Sensitiver Bereich der Baumaßnahme, da Druckspiegel des Muschelkalks mit der Baumaßnahme unterschritten wird, erfordert hohe Genauigkeit.

Messstellen im Grundgips/Grenzdolomit und tiefer (auch WE- Messstellen): ± 2 dm

Messstellen im Quartär bis Bochinger Horizont:

Für die Bauüberwachung anzustreben: ± 2 dm

Mit derzeitiger hydrologischer Datenbasis und den vorhandenen Unsicherheiten (lokale Versiegelung, bestehende Bauwerke und Undichtigkeiten des Kanalsystems) erreichbar: ± 5 dm

II: Südlicher Hangbereich im PFA1.2 bis Gipsspiegel

Wegen des Potenzialsprungs Abweichungen der Messwerte im Bereich von mehreren Metern (Messstellen in Modelleichung nicht erfasst)

III: Nördlicher Hangbereich im PFA 1.5 bis Gipsspiegel:

Baumaßnahme in großen Bereichen oberhalb des Druckspiegels im Muschelkalk.

Wegen hoher Überdeckung und starker Anisotropie bzgl. Anhydritführung/Gipsführung/-auslaugung mit nicht erfassbaren lokalen Eigenheiten:

Gipskeuper- Messstellen stark lokal überprägt (in Modelleichung nicht erfasst).

Messstellen im Unterkeuper ± 2 m

IV: Gleisdreieck im Bereich PFA 1 .5

Wegen lokaler Heterogenität des Grundwasserleitersystems (siehe Pumpversuchsergebnisse der Erkundung), komplexer kleinräumiger Neubildungsprozesse und ggf. Einflüsse bestehender Bebauung ergeben sich nicht erfassbare lokale Eigenheiten.

Alle Messstellen ± 1 m

V: Bereich Neckartal

Alle Messstellen (auch WE- Messstellen): ± 2 dm

VI: Muschelkalkmessstellen außerhalb des Nesenbachtals

(Diese Messstellen liegen außerhalb des zentralen Einflussbereichs der Baumaßnahme und deren erwarteten Auswirkungen)

Messstellen: ± 5 dm

(TWSNWB63 nicht repräsentativ, da stockwerksübergreifend in Unterkeuper und Muschelkalk verfiltert).“

Zweck der Vorschreibungen im DVGW-Arbeitsblatt W 107 ist die Analyse von Unsicherheiten und Annahmen in den Modelleingangsdaten und der Modellstruktur hinsichtlich ihrer Auswirkungen auf die Zuverlässigkeit von Modellprognosen.

Gegenstand der vorzitierten Passage aus dem Modellbericht sind „Sensitivitätsbereiche“. Weiters werden „Genauigkeitsanforderungen“ hinsichtlich der Modellierungsergebnisse festgelegt. Die im DVGW-Arbeitsblatt W 107 vorgeschriebene „Analyse von Unsicherheiten und Annahmen in den Modelleingangsdaten und der Modellstruktur hinsichtlich ihrer Auswirkungen auf die Zuverlässigkeit von Modellprognosen“ wird in der zitierten Passage nicht thematisiert. Unsicherheiten und Annahmen in den Modelleingangsdaten und der Modellstruktur werden nicht analysiert. Ein Zusammenhang dieser Unsicherheiten und Annahmen hinsichtlich ihrer Auswirkungen auf die Zuverlässigkeit von Modellprognosen wird in keiner Weise hergestellt. Es werden lediglich Festlegungen hinsichtlich der Modellgenauigkeit in bestimmten „sensitiven“ Bereichen getroffen.

Anmerkung: Die US-Norm ASTM D5447-04 definiert Sensitivität in Pkt. 3.1.9 wie folgt:

„3.1.9 sensitivity (model application) – the degree to which the model result is affected by changes in a selected model input representing hydrogeologic framework, hydraulic properties, and boundary conditions.“

Das nicht validierte Modell („calibrated but unverified model“; siehe Kapitel Zu „12 Validierung“, S. 46) wurde keiner Sensitivitätsanalyse unterzogen. Es wurde nicht untersucht (jedenfalls nicht dokumentiert), in welchem Ausmaß das Modellergebnis durch ausgewählte Eingangsdaten des hydrogeologischen Systems, der hydraulischen Eigenschaften und der Randbedingungen („selected model input representing hydrogeologic framework, hydraulic properties, and boundary conditions“) beeinflusst wird.

Die zitierten Anforderungen an die Modellgenauigkeit in sensitiven Bereichen haben mit einer Sensitivitätsanalyse oder anderen im DVGW-Arbeitsblatt W 107 genannten Methoden zur Analyse von Unsicherheiten und Annahmen in den Modelleingangsdaten und der Modellstruktur hinsichtlich ihrer Auswirkungen auf die Zuverlässigkeit von Modellprognosen nichts zu tun. Sie entsprechen auch nicht der Definition in der Bezug habenden US-Norm ASTM D5447-04.

Modellbericht S. 48-49: „An der Messstelle in Mahdental liegen Messwerte seit 1988 vor. Hieraus lassen sich die Randbedingungen für den westlichen Modellrand im Muschelkalkaquifer problemlos für den Kalibrierungszeitraum ableiten. Von der Messstelle Schamhausen existieren Messwerte erst seit 2004. Das bedeutet, dass vor 2004 entweder keine Schwankungen angenommen werden, oder der instationäre Gang an der Messstelle Scharnhäusen über eine Korrelation mit einer langjährigen Grundwasserganglinie erfolgt. Um die Zeitreihe von Scharnhäusen zu verlängern wurde eine Korrelation mit der langjährigen Grundwasserstandsmessung an der Messstelle P177 durchgeführt. Wie Abbildung 6.1 zeigt, lässt sich damit der Grundwasserstand an der Messstelle Scharnhäusen auch vor 2004 generieren. Die ab 2004 generierten Grundwasserstände passen sehr gut zu den gemessenen Daten. Der Ganglinienverlauf aus den generierten und gemessenen Daten wurde in seiner zeitlichen Variabilität dem südlichen Modellrand im Muschelkalkaquifer zugeordnet und damit eine zeitlich variable Festpotenzialrandbedingung generiert. Damit ergibt sich für den südlichen Modellrand eine Festpotenzialhöhe von ca. 259 m+NN für den Startzeitpunkt Mai 1994. Der Unterschied zur stationären Randbedingung von 260 m+NN ist allerdings unerheblich, was anhand einer Sensitivitätsstudie nachgewiesen wurde.“

Diese Passage bezieht sich auf die westliche und südliche Modellberandung im Muschelkalk. Sie beschreibt die Herleitung der Randbedingung für die instationäre Modellierung anhand einiger Grundwassermessstellen. Die im letzten Satz erwähnte „Sensitivitätsstudie“ ist im Modellbericht nicht zu finden, eine Quellenangabe fehlt. Der Satz lässt auch nicht erkennen, dass mit dieser „Sensitivitätsstudie“ Auswirkungen auf die Zuverlässigkeit von Modellprognosen geprüft wurden.

Nach Angabe in der kup-Stellungnahme seien Sensitivitätsbetrachtungen bereits in Vorstudien durchgeführt und auf der Basis dieser Erkenntnisse ergänzende Erkundungsmaßnahmen (Pumpversuche zur Erkundung der vertikalen Interaktion Muschelkalk und Gipskeuper) veranlasst worden. Anscheinend beziehen sich die Verfasser der kup-Stellungnahme hier auf die vorstehend zitierte Textpassage im Modellbericht. Eine Quelle nennen sie nicht.

Die zitierte Passage hat mit einer Sensitivitätsanalyse oder anderen im DVGW-Arbeitsblatt W 107 genannten Methoden zur Analyse von Unsicherheiten und Annahmen in den Modelleingangsdaten und der Modellstruktur hinsichtlich ihrer Auswirkungen auf die Zuverlässigkeit von Modellprognosen nichts zu tun.

Eine stochastische Modellierung wurde nach Angabe in der kup-Stellungnahme nicht durchgeführt. Diese Aussage schließt auch Monte-Carlo-Verfahren ein, welche nach KINZELBACH u. RAUSCH (1995, S. 71) die einfachste Form der stochastischen Modellierung darstellen.

Worst-Case-Betrachtungen wurden nach Angabe in der kup-Stellungnahme mit dem Grundwassermodell für die Planfeststellung im Jahr 2005 durchgeführt. Diese beziehen sich aber bestenfalls auf das stationäre Modell, welches sich als unzureichend erwiesen und unrichtige Prognosen ergeben hat, wie die Notwendigkeit der 7. Planänderung eindrücklich zeigt. Das instationäre Modell wurde einer solchen Prüfung nicht unterzogen.

In der kup-Stellungnahme wird auf die Untersuchung von „Testszenarien“ hingewiesen. Vermutlich beziehen sie sich dabei auf den kup-Bericht A439-1 „Testszenarien gemäß Planung 2010 auf Basis der instationären Kalibrierung bis 2008“ (LANG U., PAUL T. u. JUSTIZ J. 2011). In den Testszenarien sei das Modell hinsichtlich möglicher Unsicherheiten im Untergrunderbau im Hinblick auf Mineralwasseraufstiege während der Baumaßnahme (z.B. Mittelpfeiler Neckarbrücke) getestet worden.

Diese Angabe entspricht nicht den Angaben im kup-Bericht A439-1. Als Ziel wird dort auf S. 2 genannt: „Das Ziel der hier dokumentierten Modelluntersuchungen ist es, die Praxistauglichkeit der Modelle im Hinblick auf eine baubegleitende Modellierung anhand von Testszenarien aufzuzeigen.“ Es geht also hier dezidiert nicht um eine (kritische) Testung des Modells hinsichtlich möglicher Unsicherheiten im Untergrunderbau im Hinblick auf Mineralwasseraufstiege während der Baumaßnahme, sondern um eine Bestätigung der Praxistauglichkeit der Modelle. Das beweist auch die gewählte Vorgangsweise (kup-Bericht A439-1, S. 3): Dabei wurden bestimmte Szenarien im Bauablauf einschließlich Störfällen betrachtet. Bei den Testszenarien wurden die Änderung der Gesamtquellschüttung und einzelner Quellen sowie die Grundwasserstände an ausgewählten Messstellen von den Modellen berechnet. Nicht geprüft wurde, wie

sich im Rahmen der Unsicherheitsbandbreite variierte Untergrundverhältnisse bzw. Aquifereigenschaften im Hinblick auf die Mineralwasseraufstiege auswirken.

Zielsetzung und Vorgangsweise bei der Untersuchung der „Testszenarien“ widerspricht (mindestens) in folgenden Punkten dem DVGW-Arbeitsblatt W 107, Pkt. 7.2.5:

- Unsicherheiten und Annahmen in den Modelleingangsdaten (also z.B. Randbedingungen, Durchlässigkeitsbeiwerte, Speicherkoeffizienten, Schichtmächtigkeiten) und der Modellstruktur wurden nicht analysiert. (Stattdessen wurden Modelleingangsdaten und Modellstruktur als gegeben vorausgesetzt.)
- Die Auswirkungen dieser Unsicherheiten und Annahmen auf die Zuverlässigkeit von Modellprognosen wurde nicht analysiert. (Stattdessen wurde lediglich berechnet, welche Ergebnisse die beiden Modelle bei Annahme bestimmter Bauszenarien oder Störfälle produzieren.)

Die sogenannte „Testung“ der beiden Modelle anhand der „Testszenarien“ ist also keine Modell-Verifikation im Sinne des DVGW-Arbeitsblattes W 107.

Nach Angabe der Verfasser der kup-Stellungnahme *„wurde eine intensive instationäre Kalibrierung durchgeführt, aus der gemäß DVGW-Arbeitsblatt W107 Informationen über die Sensitivität von Modellparametern und Randbedingungen und damit auch quantitative Informationen über den Einfluss von Unsicherheiten aus den Eingangsgrößen auf die Modellergebnisse gezogen werden können.“*

Eine intensive instationäre Kalibrierung scheint tatsächlich durchgeführt worden zu sein. Richtig ist auch, dass damit Informationen über die Sensitivität von Modellparametern und Randbedingungen und damit auch quantitative Informationen über den Einfluss von Unsicherheiten aus den Eingangsgrößen auf die Modellergebnisse gezogen werden können. Die Modellbearbeiter haben aber diese Möglichkeiten nicht genutzt. Sie haben weder die Sensitivität von Modellparametern und Randbedingungen noch den Einfluss von Unsicherheiten aus den Eingangsgrößen auf die Modellergebnisse untersucht oder dargestellt. Jedenfalls ist im Modellbericht darüber nichts zu finden. Die weiter oben zitierten Passagen aus dem Modellbericht mit Bezug auf „Sensitivität“ behandeln einerseits Vorgaben zur Kalibrierungsgenauigkeit, andererseits die Begründung der westlichen und südlichen Modellberandung im Muschelkalk, nicht aber Unsicherheiten in den Modell-Eingangsgrößen und deren Auswirkungen auf die Modellqualität insgesamt.

Letztlich versteigen sich die Verfasser der kup-Stellungnahme zur geradezu absurden Behauptung, dass der Einsatz zweier „unabhängiger“ Modelle „eine Sensitivitätsbetrachtung über das in den Regelwerken und der Literatur geforderte Vorgehen hinaus“ darstelle.

Dem ist wie folgt zu entgegnen:

- Die Erstellung unterschiedlicher Modelle allein stellt keine „Sensitivitätsbetrachtung“ im Sinne des DVGW-Arbeitsblatts W107 dar. Das wäre nur dann der Fall, wenn entweder die Modelle nach den Vorschriften des Pkt. 7.2.5 geprüft würden, oder ein Vergleich der Modelle unter Beachtung dieser Vorschriften vorgenommen würde. Das ist bisher nicht der Fall und wird von den Verfassern der kup-Stellungnahme auch nicht angeführt.
- Eine vergleichende „Sensitivitätsbetrachtung“ der Aquiferparameter aus der Kalibrierung, der Modellausdehnung, des numerischen Verfahren und der Wahl der Randbedingungen liegt nicht vor. Die Verfasser der kup-Stellungnahme nennen auch keine entsprechende Quelle, die ihre Behauptung stützt.
- Die in der 67. und 68. Sitzung des Arbeitskreises Grundwassererkundung und -modellierung (Kobus H. 2011) als „Abschluss der Phase I“ angekündigte „Modellprüfung und Nachweis der Einsatztauglichkeit“ ist nicht vorhanden oder noch nicht abgeschlossen. Zumindest liegt darüber kein Bericht vor. Es ist also nicht nachprüfbar, ob darin eine „Sensitivitätsbetrachtung“ im Sinne des DVGW-Arbeitsblatts W107 enthalten ist und zu welchen Ergebnissen diese gegebenenfalls geführt hat.

Fazit: Die Verfasser der kup-Stellungnahme verstehen offenbar unter den Begriffen „Sensitivitätsanalyse“, „Sensitivitätsstudie“ etc. etwas anderes als Bezug habende Normen, die den Stand der Technik repräsentieren (z.B. DVGW-Arbeitsblatt W 107 oder die US-Norm ASTM D5447-04). Die angeführten Maßnahmen erfüllen in keinem einzigen Fall die im DVGW-Arbeitsblatt W 107, Pkt. 7.2.5 Verifikation (Validierung) bzw. in der US-Norm ASTM D5447-04, Pkt. 6.7 gestellten Anforderungen.

Zu „12 Validierung“

DVGW-Arbeitsblatt W 107, Pkt. 3.5 Verifikation (Validierung) lautet:

„Prozess zur Quantifizierung der Prognosefähigkeit eines Modells und seiner Einsatzbereiche. Hierzu muss ein hydraulischer Systemzustand ausgewählt werden, der sich vom kalibrierten Zustand im Rahmen des gewünschten und erforderlichen Prognosebereiches deutlich unterscheidet, aber vergleichbar gut durch Messdaten belegt ist“

Die Verfasser der kup-Stellungnahme behaupten, dass das Behördenmodell dieser Bestimmung aus folgenden Gründen entspreche:

- Zur Validierung wurde der Zeitraum 2007-2008 verwendet, zur Kalibrierung hingegen der Zeitraum 1994-2006.
- Die instationäre Kalibrierung erfolgte auf Monatsbasis, die Validierung hingegen auf Tagesbasis.

Die Validierung verwende einen anderen Zeitraum und eine andere zeitliche Skala als die Kalibrierung und unterscheidet sich damit deutlich von der Kalibrierung. Damit sei das Behördenmodell als validiert anzusehen.

Dem ist Folgendes entgegenzuhalten:

Der hydraulische Systemzustand wird von seinen hydraulischen Eigenschaften bestimmt. Zu diesen gehören im Wesentlichen unter- und oberirdische Zu- und Abflüsse (z.B. Grundwasserneubildung, Quellschüttungen etc.) sowie Grund- und Oberflächenwasserstände. Die Zeitpunkte bzw. Zeiträume der Beobachtung des Systemzustandes gehören nicht zum Systemzustand.

Die Systemzustände im Zeitraum und zu den Beobachtungszeitpunkten der Validierung liegen durchwegs in der Bandbreite der Kalibrierung. Sie unterscheiden sich also nicht deutlich, wie im DVGW-Arbeitsblatt W 107, Pkt. 3.5 verlangt. Eine Validierung nach dem Stand der Technik liegt also nicht vor.

Nach DVGW-Arbeitsblatt W 107, Pkt. 3.5 muss der zur Validierung gewählte hydraulische Systemzustand im Rahmen des gewünschten und erforderlichen Prognosebereiches liegen. Dazu ist ein Systemzustand erforderlich, der dem prognostizierten Zustand nahekommt. Ein solcher Systemzustand könnte durch einen Langzeitpumpversuch herbeigeführt werden. Der durchgeführte „Langzeitpumpversuch“ (siehe Kapitel Zu „8 Pumpversuch“, S. 34) fand unter irregulären Bedingungen (starke Luftdruckschwankungen, rätselhafte äußere Einflüsse) statt und war daher nicht auswertbar. Er wird auch weder im Modellbericht noch in der kup-Stellungnahme als Teil der Validierung genannt. Außerdem sind seine Ergebnisse in die Kalibrierung eingeflossen (siehe Modellbericht S. 57), was ihn für Validierungszwecke von vornherein ausschließt.

Das DVGW-Arbeitsblatt W 107, Pkt. 7.2.5 Verifikation (Validierung) schreibt im ersten Absatz vor:

„Im Rahmen der Verifikation wird der Systemzustand mit dem numerischen Grundwassermodell nachgebildet und muss mit den Messdaten vergleichbar gut übereinstimmen wie der Kalibrierzustand. Ist das nicht der Fall, muss der Kalibriervorgang fortgesetzt werden.“

Nach dem Modellbericht (S. 57) erfolgte die instationäre Kalibrierung *„unter Berücksichtigung der Erkenntnisse aus dem Pumpversuch im Januar 2010“*. Der Pumpversuch ist also Teil der Kalibrierung und scheidet damit als Teil der Validierung aus.

Im Validierungszeitraum 2007 bis 2008 wurden die Grundwasserneubildung aus Niederschlag, die Randzuflüsse im Gipskeuper, die Festpotenzialhöhen im Muschelkalkaquifer und der Neckarwasserspiegel variiert (Modellbericht S. 65). Damit wurde offenbar das kalibrierte instationäre Modell an die Verhältnisse

in der „Validierungs“-Phase angepasst. Das kalibrierte Modell wurde also im Zuge der „Validierung“ verändert und damit der Kalibriervorgang fortgesetzt. Das veränderte und neu kalibrierte Modell wurde danach keiner neuerlichen Validierung unterzogen. Das widerspricht dem DVGW-Arbeitsblatt W 107, Pkt. 7.2.5.

Im Weiteren verweisen die Verfasser der kup-Stellungnahme auf eine angeblich „gute Übereinstimmung zwischen gemessenen und gerechneten Daten“ im Zuge der Fortschreibung des Modells bis zum 1. Quartal 2011. Diese Behauptung ist nicht nachvollziehbar, weil die zugrundeliegenden Daten nicht vorgelegt wurden und sohin einer Prüfung entzogen sind. Um die Behauptung nachprüfen zu können, verlangt der BUND die vollständige Vorlage dieser Daten.

Offenbar für den Fall, dass ihre bisher vorgebrachten Argumente einer Prüfung nicht standhalten, weisen sie darauf hin, dass gemäß DVGW-Arbeitsblatt W 107 auf eine Validierung verzichtet werden könne, da das Modell umfangreich instationär kalibriert worden sei und eine gute Modellanpassung aufweise.

Die Bezug habende Bestimmung im DVGW-Arbeitsblatt W 107, Pkt. 7.2.5 Verifikation (Validierung), lautet:

„Bei einer instationären Kalibrierung, die einen ausreichend langen Messzeitraum mit unterschiedlichen hydraulischen Systemzuständen erfasst und über den gesamten Zeitraum eine gute Übereinstimmung zwischen gemessenen und modellierten Daten erreicht, kann auf eine zusätzliche Modellverifikation verzichtet werden.“

Unbestreitbar umfasst die instationäre Kalibrierung einen ausreichend langen Messzeitraum. Sie erfasst aber lediglich die „natürlichen“ Systemzustände einschließlich einigen baubedingten Einflüssen in der Vergangenheit. Ein Systemzustand, wie er durch die geplanten Baumaßnahmen zu erwarten ist, wird durch das Modell nicht annähernd repräsentiert. Der durchgeführte „Langzeit“-Pumpversuch behebt diesen Mangel nicht, weil er unter irregulären Begleitumständen stattfand und keine Aussagen zu den Auswirkungen auf die absoluten Grundwasserspiegelhöhen und Quellschüttungen zulässt (siehe Kapitel Zu „8 Pumpversuch“, S. 34). Die Kalibrierung umfasst somit keine unterschiedlichen hydraulischen Systemzustände im Sinne des DVGW-Arbeitsblatts W107. Außerdem werden die Kalibrierungsergebnisse den vom Arbeitskreis Grundwassererkundung und -modellierung (KOBUS 2010) festgelegten und im Modellbericht verbindlich anerkannten Genauigkeitsanforderungen (siehe Kapitel Zu „11 Sensitivitätsstudie“, S. 40) nicht gerecht. Siehe dazu die Ausführungen im folgenden Kapitel Zu „13 Qualität der Modellanpassung (Nachbildung der vergangenen Grundwasserverhältnisse)“, S. 47.

Die US-Norm ASTM D5447-04 schreibt in Pkt. 6.6.5 vor:

„Calibration of a groundwater flow model to a single set of field measurements does not guarantee a unique solution. In order to reduce the problem of nonuniqueness, the model calculations may be compared to another set of field observations that represent a different set of boundary conditions or stresses. This process is referred to in the groundwater modeling literature as either validation (1) or verification (14, 15). The term verification is adopted in this guide. In model verification, the calibrated model is used to simulate a different set of aquifer stresses for which field measurements have been made. The model results are then compared to the field measurements to assess the degree of correspondence. If the comparison is not favorable, additional calibration or data collection is required. Successful verification of the groundwater flow model results in a higher degree of confidence in model predictions. A calibrated but unverified model may still be used to perform predictive simulations when coupled with a careful sensitivity analysis.“ (Hervorhebung durch den Unterfertigten)

Eine Validierung des Modells durch von der Kalibrierung abweichende Grundwasserbeanspruchungen („different set of aquifer stresses“; also ähnliche Beanspruchungen, wie sie durch die baubedingten Wasserhaltungen zu erwarten sind) wurde nicht durchgeführt. In der sogenannten „Validierungsphase“ wurde lediglich die zeitliche Diskretisierung verändert (täglich statt monatlich). Die Ergebnisse des „Langzeitpumpversuchs“ sind in die Kalibrierung eingeflossen („additional calibration“) und daher nicht Teil der Validierung. Siehe dazu Kapitel Zu „8 Pumpversuch“ (S. 34).

Anmerkung: Die Norm definiert Sensitivität wie folgt:

„3.1.9 sensitivity (model application) – the degree to which the model result is affected by changes in a selected model input representing hydrogeologic framework, hydraulic properties, and boundary conditions.“

Das nicht validierte Modell („calibrated but unverified model“) wurde keiner Sensitivitätsanalyse unterzogen. Es wurde nicht untersucht (jedenfalls nicht dokumentiert), in welchem Ausmaß das Modellergebnis durch ausgewählte Eingangsdaten des hydrogeologischen Systems, der hydraulischen Eigenschaften und der Randbedingungen („selected model input representing hydrogeologic framework, hydraulic properties, and boundary conditions“) beeinflusst wird. Siehe dazu Kapitel Zu „11 Sensitivitätsstudie“ (S. 40).

Prognoserechnungen („predictive simulations“) können daher mit diesem Modell nicht durchgeführt werden.

Fazit: Das Behördenmodell ist nicht nach dem Stand der Technik validiert. Die Voraussetzungen für einen Verzicht auf eine Validierung gemäß DVGW-Arbeitsblatt W 107, Pkt. 7.2.5, sind nicht gegeben.

Zu „13 Qualität der Modellanpassung (Nachbildung der vergangenen Grundwasserverhältnisse)“

Das DVGW-Arbeitsblatt W 107 legt in Pkt. 8.1 Allgemeines fest:

„Die Qualität einer Modellierung definiert sich durch ihre Fähigkeit, die vereinbarten Erkenntnisse, Aussagen und Prognosen in der geforderten, problemadäquaten Genauigkeit zu liefern. Um dies zu gewährleisten, bedarf es einer Qualitätssicherung. Die Möglichkeiten der Qualitätssicherung können in drei Bereiche unterteilt werden:

- *Qualitätssicherung über die Einhaltung von Gesetzen, Normen und Regeln*
- *Qualitätssicherung über Selbstkontrolle*
- *Qualitätssicherung über externe Prüfungen“*

Die Modellbearbeiter haben sich im Rahmen des Arbeitskreise Grundwassererkundung und -modellierung im Rahmen der „Qualitätssicherung über Selbstkontrolle“ selbst Genauigkeitsanforderungen (sic!) an die Kalibrierung auferlegt (KOBUS 2010). Dies entspricht der in Tabelle 2 des DVWG-Arbeitsblatts „Möglichkeiten zur Selbstkontrolle im Sinne einer Qualitätssicherung“ genannten Vorgangsweise, welche lautet: *„Benennung sowie ggf. Quantifizierung der im Modell und seinem Ergebnis verbliebenen Unsicherheiten“*.

Diese Genauigkeitsanforderungen wurden im Modellbericht auf S. 26 als verbindlich anerkannt. Sie sind im Kapitel Zu „11 Sensitivitätsstudie“ (S. 40) wörtlich wiedergegeben und nachzulesen.

Wenn die Verfasser der kup-Stellungnahme bestreiten, dass es sich bei den ausdrücklich so genannten „Genauigkeitsanforderungen“ um Grenzwerte handelt, ist das Wortklauberei. Sie selbst bezeichnen sie als „Zielvorgaben“. Ob zahlenmäßig definierte Genauigkeitsanforderungen Grenzwerte sind oder Zielvorgaben, ist unerheblich. Jedenfalls sind sie Kriterien, an deren Einhaltung die Qualität des Modells zu messen ist. Werden die im Modellbericht selbst genannten Genauigkeitsanforderungen nicht eingehalten, entspricht das Modell nicht den festgelegten Vorgaben. Das ist auch der Fall, wie weiter unter gezeigt wird.

Da die Verfasser der kup-Stellungnahme unzweifelhaft selbst wissen, dass das Modell die definierten Genauigkeitsanforderungen vielfach nicht erfüllt, weichen sie nachträglich auf andere Qualitätskriterien („5%-Regel“) aus. Diese finden sie *„teilweise auch in Fachblättern einzelner Bundesländer“*, ohne diese jedoch konkret zu benennen. Sie legen auch keinen Nachweis vor, dass ihr Modell diese anderen Qualitätskriterien erfüllt.

Immerhin räumen die Verfasser der kup-Stellungnahme ein, dass *„auch in Einzelfällen kurzfristig Abweichungen in den Messdaten aufgetreten sind“*, was aber in Ihren Augen für die Modellqualität keine Rolle spielt. Sie versuchen die tatsächlich zahlreichen und teilweise auch über längere Zeiträume anhaltenden Überschreitungen der Genauigkeitsanforderungen damit zu relativieren, dass sie auf lokale Abweichungen in Randbereichen hinweisen, welche hinzunehmen seien. Allerdings beschränken sich die Grenzwertüberschreitungen keineswegs nur auf Randbereiche sondern umfassen das gesamte Modellgebiet.

Die US-Norm ASTM D5447-04 schreibt in Pkt. 6.6 vor:

„Calibration of the groundwater flow model is the process of adjusting hydraulic parameters, boundary conditions, and initial conditions within reasonable ranges to obtain a match between observed and simulated potentials, flow rates, or other calibration targets. The range over which model parameters and boundary conditions may be varied is determined by data presented in the conceptual model. In the case where parameters are well characterized by field measurements, the range over which that parameter is varied in the model should be consistent with the range observed in the field. The degree of fit between model simulations and field measurements can be quantified using statistical techniques.“ (Hervorhebung durch den Unterfertigten)

Zahlreiche kalibrierte Werte liegen außerhalb der empirisch gefundenen („well characterized by field measurements“) Wertebereiche und sind mit diesen nicht konsistent. Das betrifft insbesondere Randbedingungen und Aquifereigenschaften. Siehe dazu Kapitel „9 Parametrisierung“ (S. 36).

Die US-Norm ASTM D5447-04 schreibt in Pkt. 6.6.1 vor:

„(...) The calibration process continues until the degree of correspondence between the simulation and the physical hydrogeologic system is consistent with the objectives of the project.“ (Hervorhebung durch den Unterfertigten)

Die festgelegten Genauigkeitsanforderungen („objectives of the project“) wurden vielfach nicht erreicht. Siehe dazu Kapitel „Festgestellte Abweichungen von den Genauigkeitsanforderungen“ (S. 48).

Die US-Norm ASTM D5447-04 schreibt in Pkt. 6.6.2 vor:

„The calibration is evaluated through analysis of residuals. A residual is the difference between the observed and simulated variable. Calibration may be viewed as a regression analysis designed to bring the mean of the residuals close to zero and to minimize the standard deviation of the residuals (10). Statistical tests and illustrations showing the distribution of residuals are presented to document the calibration. Ideally, criteria for an acceptable calibration should be established prior to starting the calibration.“ (Hervorhebung durch den Unterfertigten)

Der Arbeitskreis Grundwassererkundung und -modellierung hat vor Beginn der Kalibrierung die zulässigen Abweichungen („residuals“) zwischen gemessenen und kalibrierten Werten in Form von Genauigkeitsanforderungen („criteria for an acceptable calibration“) festgelegt. Diese wurden vielfach nicht erfüllt. Siehe dazu Kapitel „Festgestellte Abweichungen von den Genauigkeitsanforderungen“ (S. 48).

Festgestellte Abweichungen von den Genauigkeitsanforderungen

Die Kalibrierungsergebnisse an den Grundwassermessstellen für stationäre mittlere Strömungsverhältnisse zum Stichzeitpunkt Mai 1994 sind im Modellbericht (S. 28-35 und Tabellen 5.1 bis 5.8) festgehalten.

Für die Modelleichung hat der Arbeitskreis Grundwassererkundung und -modellierung Kriterien für die Beurteilung der Übereinstimmung der Grundwasserstands- und Schüttungsmessdaten mit den berechneten Werten definiert (KOBUS 2009, S. 32). Im Zuge der Modelleichung hat sich herausgestellt, dass die zulässigen Abweichungen der Rechenwerte von den Messdaten vielfach nicht eingehalten werden konnten. Darauf reagierte der Arbeitskreis nicht mit Anregungen zur Modellverbesserung, sondern mit einer Herabsetzung der Qualitätskriterien (KOBUS 2010).

Tabelle 5: Anteil der Messstellen mit Überschreitungen der zulässigen Abweichungsgrenzen bei der stationären Kalibrierung (Quelle: Modellbericht, S. 57-61 und Anlage 7)

Stratigraphische Einheit	Überschreitungen der Genauigkeitsanforderungen nach	
	Kobus (2010)	Kobus (2009)
	(Überschreitungsanzahl / Messstellenanzahl)	
Quartär	2 / 11 (18%)	4 / 11 (36%)
Mittlerer Gipshorizont und Bleiglanzbankschicht	3 / 4 (75%)	4 / 4 (100%)
Dunkelrote Mergel	1 / 5 (20%)	3 / 5 (60%)
Bochinger Horizont	4 / 16 (25%)	8 / 16 (50%)
Grundgipsschichten	3 / 4 (75%)	3 / 4 (75%)
Grenzdolomit	1 / 4 (25%)	4 / 4 (100%)
Mittlerer Lettenkeuper	5 / 15 (33%)	9 / 15 (60%)
Muschelkalk	2 / 14 (14%)	6 / 14 (43%)
Alle stratigraphischen Einheiten	21 / 73 (29%)	41 / 73 (56%)

Die für die instationären Kalibrierung berechneten Ganglinien der Grundwassermessstellen weichen von den gemessenen Ganglinien teilweise stark ab (siehe Modellbericht, S. 57-61 und Anlage 7). An 51 von 58 Messstellen (88%) überschreiten die berechneten Grundwasserstände die in der Gemeinsamen Datenbasis festgelegten zulässigen Grenzwerte (KOBUS 2010) vereinzelt bis durchgehend.

Die Modellbearbeiter räumen diesen Befund ein, sind aber der Ansicht, dass die Prognosen der baumaßnahmebedingten Änderungen nicht in dieser Größenordnung liegen, sondern deutlich kleiner seien, auch wenn die in den Absolutwerten geforderten Genauigkeiten nicht an allen Messstellen eingehalten werden können (Modellbericht S. 57). Eine Begründung für diese Ansicht geben sie nicht. Einzelne Abweichungen begründen sie mehr oder weniger plausibel. Das erklärt aber nicht die Tatsache, dass an den meisten Grundwassermessstellen die vorgegebenen Genauigkeitsanforderungen verfehlt wurden.

Die Ergebnisse der Kalibrierung des instationären numerischen Modells werden für die einzelnen Schichtglieder nachstehend kurz zusammengefasst und kommentiert (siehe auch Beilage 3).

Quartär

Von den 11 Messstellen ist die berechnete im Vergleich zur gemessenen Ganglinie an den Messstellen B 403, B 404, B 405, BK 18.1 /4, B 235, B 309, BK 16/1, B 11, B 13, B 222, B 20 gedämpft bis stark gedämpft, in der Messstelle B 309 sehr stark gedämpft. Damit zeigen alle Messstellen (100%) abweichende Ganglinien.

Die berechneten Grundwasserstände überschreiten die Abweichungsgrenzwerte in den Messstellen B 403, B 11, B 13, B 222, B 20 und B 405 vereinzelt. In den Messstellen B 404, BK 18.1/4 GM und BK 16/1 GM sind starke Abweichungen festzustellen. In der Messstelle B 404 wurden die Grundwasserstände durchgehend ca. 0,2 m zu hoch berechnet, in der Messstelle BK 16/1 GM weichen die berechneten Grundwasserstände teilweise mehr als 2 m von den gemessenen ab. Somit werden an 11 Messstellen (85%) zulässige Abweichungsgrenzwerte überschritten.

Mittlerer Gipshorizont + Bleiglanzbank

Aus diesen Schichtgliedern liegen keine berechneten Ganglinien vor. Eine Kalibrierung ist offenbar nicht erfolgt.

Dunkelrote Mergel

Von den 3 Messstellen ist die berechnete im Vergleich zur gemessenen Ganglinie an allen Messstellen etwas gedämpft. Damit zeigen alle Messstellen (100%) abweichende Ganglinien.

Die berechneten Grundwasserstände überschreiten die Abweichungsgrenzwerte in der Messstelle BK 11/3 vereinzelt und in den Messstellen BK 16/7 sowie BK 15_ 2/10 teilweise stark. Somit werden an allen Messstellen (100%) zulässige Abweichungsgrenzwerte überschritten.

Bochinger Horizont

Von den 9 Messstellen ist die berechnete im Vergleich zur gemessenen Ganglinie an allen Messstellen gedämpft, davon in den Messstellen B 242 und B 241 stark. In der Messstelle B 307 produziert das Modell Schwankungen, die in Wirklichkeit nicht vorhanden sind. Damit zeigen alle Messstellen (100%) abweichende Ganglinien.

Die berechneten Grundwasserstände überschreiten die Abweichungsgrenzwerte in den Messstellen B 212, B 9 und B 211 vereinzelt. In den Messstellen B 242, B 241, B 305/2 sind zeitweise starke Abweichungen festzustellen. In der Messstelle B 307 wurden die Grundwasserstände fast durchgehend zu tief, in der Messstelle BK 11/1 fast durchgehend zu hoch berechnet. In der Messstelle B 306 überschreiten die berechneten Grundwasserstände zeitweise die Abweichungsgrenzwerte. Somit werden an allen Messstellen (100%) zulässige Abweichungsgrenzwerte überschritten.

Grundgipsschichten

Von den 5 Messstellen ist die berechnete im Vergleich zur gemessenen Ganglinie an den Messstellen Notbrunnen 2 und BK 11/14 etwas gedämpft sowie an der Messstelle BK 11/99 gedämpft. In den Messstellen BK 16/3 und BK 15.2/7 liegen stark abweichende Eichergebnisse vor; die berechneten Schwankungen sind deutlich stärker als in Wirklichkeit. Damit zeigen alle Messstellen (100%) abweichende Ganglinien.

Die berechneten Grundwasserstände überschreiten die Abweichungsgrenzwerte zeitweise in allen Messstellen. Somit werden an allen Messstellen (100%) zulässige Abweichungsgrenzwerte überschritten.

Zum Notbrunnen 2 ist festzuhalten, dass er im Modellbericht und in der Gemeinsamen Datenbasis abwechselnd dem Grenzdolomit/Grundgipsschichten und den Dunkelroten Mergeln zugeschrieben wird (Modellbericht, S. 29, 70, Anl. 7.4, Anl. 8.4; Kobus 2010, S. 7, 35).

Grenzdolomit

Von den zwei Messstellen ist die berechnete im Vergleich zur gemessenen Ganglinie an beiden Messstellen gedämpft. Damit zeigen alle Messstellen (100%) abweichende Ganglinien.

Die berechneten Grundwasserstände überschreiten die Abweichungsgrenzwerte in der Messstelle B 213 vereinzelt und in der Messstelle B 225 zeitweise. Somit werden an allen Messstellen (100%) zulässige Abweichungsgrenzwerte überschritten.

Mittlerer Lettenkeuper

Von den 15 Messstellen ist die berechnete im Vergleich zur gemessenen Ganglinie an den Messstellen Notbrunnen 3, P171, BK 11/15, P176, BK 11 /135 gedämpft, in den Messstellen B 214, P173 und B 224 deutlich und in den Messstellen B 350, B 351 und B 352 extrem gedämpft. Im Sarweybrunnen sind die berechneten Schwankungen deutlich stärker als in Wirklichkeit. In den Messstellen B 310, Notbrunnen 9 und B 301 ist der berechnete Ganglinienverlauf teilweise gegenläufig zum gemessenen. Damit zeigen alle Messstellen (100%) abweichende Ganglinien.

Die berechneten Grundwasserstände überschreiten die Abweichungsgrenzwerte in den Messstellen B 350, B 351 und B 352 vereinzelt, in den Messstellen Notbrunnen 3, P171, BK 11/15, P176, P173, BK 11/15, P176, P173, B 214, Sarweybrunnen und B 224 zeitweise. Im Fall Notbrunnen 3 und P171 treten die unzulässigen Abweichungen insbesondere in den Jahren 2003, 2004 und 2008, im Fall BK 11/15, P176 und P173 insbesondere in den Jahren 2002-2005 und im Fall B 224 insbesondere im Zeitraum 2003-2004 auf. In der Messstelle BK 11/135 liegt die berechnete Ganglinie fast durchgehend 0,5 m über der oberen Abweichungsgrenze. Somit werden an 12 Messstellen (80%) zulässige Abweichungsgrenzwerte überschritten.

Oberer Muschelkalk

Von den 13 Messstellen ist die berechnete im Vergleich zur gemessenen Ganglinie in allen Messstellen gedämpft, davon bei GWM 8108, BK 17.1/4 PM, BK 17.4/3 PM nur etwas gedämpft, in den Messstellen GWM 343 und Notbrunnen 41 hingegen deutlich gedämpft. Damit zeigen alle Messstellen (100%) abweichende Ganglinien.

Die berechneten Grundwasserstände überschreiten die Abweichungsgrenzwerte in den Messstellen B4a PM, GWM 343, Notbrunnen 41 und BK 17.1/4 PM vereinzelt, in den Messstellen P177, P172, P174, Statistisches Landesamt, Leonhardsbrunnen und GWM 11/16 zeitweise. Im Fall P177 treten die unzulässigen Abweichungen insbesondere in den Jahren 2002-2003, im Fall P172 insbesondere in den Jahren 1995-2000 sowie 2008, bei P174 insbesondere 2002-2004, beim Statistischen Landesamt insbesondere 2003 und 2008 und im Fall GWM 11/16 insbesondere im Zeitraum 2003-2007 auf. In der Messstelle GWM 8108 liegt die berechnete Ganglinie fast durchgehend über der oberen Abweichungsgrenze. Somit werden an 11 Messstellen (85%) die zulässigen Abweichungsgrenzwerte überschritten.

Wenn im Modellbericht auf S. 61 behauptet wird, dass „GWM 8108 eine ausreichend gute Anpassung“ zeige, kann das als Hinweis gewertet werden, dass die in der Gemeinsamen Datenbasis festgelegten Qualitätskriterien des Modells als unerreichbar aufgegeben werden.

Quellschüttungen

Der Vergleich der gemessenen und berechneten Quellschüttungen ist im Modellbericht (S. 62-63 und Anlage 7) enthalten. Bei der Darstellung und Auswertung der Quellschüttungsganglinien wurde zwischen den so genannten Handmessungen und den kontinuierlichen MID-Messungen (mit magnetisch-induktiver Durchflussmessung) unterschieden. Nach Angabe der Modellbearbeiter können erstere aufgrund der Messmethode gewisse Unsicherheiten enthalten. Außerdem seien verschiedene Quellen für die jetzt vorliegenden MID-Messungen umgebaut worden. Aus diesem Grund sei davon auszugehen, dass Unterschiede zwischen den Handmessungen und den MID-Messungen vorhanden sein können.

In der Gemeinsamen Datenbasis (KOBUS 2010, S. 31) ist festgelegt, dass für die Modelleichung die berechneten von den gemessenen Quellschüttungen höchstens um 2 l/s abweichen sollen.

Zur Überprüfung der Einhaltung dieses Qualitätskriteriums wurden die Abweichungen zwischen gemessenen und berechneten Quellschüttungen aus dem Modellbericht (Anlage 7.7, Seiten 62-63) von den Messschrieben abgegriffen. Wegen schlechter Scans des zur Verfügung stehenden Dokuments waren die Messwertverläufe in den Diagrammen schwer, teilweise auch gar nicht erkennbar, sodass die abgegriffenen Werte in der Tabelle 6 unten nicht in jedem Fall exakt sein müssen. In der Tabelle 6 fett gekennzeichnete Werte zeigen die Überschreitung der angestrebten Anpassungsgenauigkeit von ± 2 l/s.

Tabelle 6: Abweichungen zwischen gemessenen und berechneten Quellschüttungen bei der instationären Kalibrierung und „Validierung“ (Quelle: Modellbericht, S. 62-63 und Anlage 7; Überschreitungen der Genauigkeitsanforderungen **fett** gekennzeichnet)

Quelle	Schüttung gemessen [l/s]		berechnet [l/s]		Max. Abweichung [l/s]
	Min.	Max.	Min.	Max.	
Berger Quellen gesamt	52	71	52	71	8
Berger Westquelle	3,8	6	3,8	5	1
Berger Mittelquelle	Gemessene Ganglinien auf Diagramm nicht erkennbar		10	14	?
Berger Nordquelle	Gemessene Ganglinien auf Diagramm nicht erkennbar		6,2	8,6	?
Berger Ostquelle	4,8	6,3	4,8	6,4	0,4
Berger Südquelle	1,1	1,6	0,1	0,1	1,5
Berger Urquelle	Gemessene Ganglinie auf Diagramm nicht erkennbar		26	36	?
Auquelle	18	32	18	32	12

Quelle	Schüttung gemessen [l/s]		berechnet [l/s]		Max. Abweichung [l/s]
	Min.	Max.	Min.	Max.	
Inselquelle	26	40	31	41	8
Kellerbrunnen	24	32	8	9	16
Leuzequelle	30	43	33	38	6
Maurischer Garten	13,3	16,5	13,1	15,6	1
Mombach Quelle	Gesicherte Messdaten liegen nicht vor (Modellbericht S. 63)		39	43	?
Schiffmannbrunnen	0,1	0,3	0,22	0,26	0,15
Veielquelle	1,7	2,4	0,6	0,7	1,5
Wilhelmsbrunnen I+II	16	31	13	25	17

Von den 16 untersuchten Quellen (einschließlich Schüttungssumme der Berger Quellen) kann bei 3 Quellen wegen mangelnder Lesbarkeit der Unterlage kein Vergleich durchgeführt werden. Auch bei der Mombach Quelle ist kein Vergleich zwischen Berechnungs- und Messdaten möglich, weil letztere nicht vorliegen. Von den verbleibenden 12 Quellen liegen die Abweichungen zwischen gemessenen und berechneten Schüttungsmengen bei 6 Quellen, also der Hälfte, zeitweise außerhalb der angestrebten Anpassungsgenauigkeit.

Dass am Kellerbrunnen das numerische Modell deutlich niedrigere Schüttungen aufweist als die Handmessungen, erklären die Modellbearbeiter damit, dass die Handmessungen in der ca. 3 m tiefer gelegenen Brunnenstube erfolgen. Dies führe zu einer deutlich höheren Quellschüttung als im normalen Betrieb der Kellerbrunnen. Diese Erklärung klingt zwar auf den ersten Blick nicht unplausibel, ist aber im Detail nicht nachvollziehbar. Vor allem liefert sie keine Begründung für die Höhe der Abweichungen, die im Maximalfall die Hälfte der höchsten gemessenen Schüttung ausmachen.

Die Abweichungen an den Wilhelmsbrunnen I + II führen die Modellbearbeiter auf eine „Alterung der Brunnen“ zurück. Wie eine Brunnenalterung zu einer erhöhten Quellschüttung führen soll, verraten uns die Berichtersteller freilich nicht. In der Regel ist eine Brunnenalterung mit einer Schüttungsminderung verbunden.

Von den 4 Quellen mit MID-Messungen liegen die Abweichungen zwischen gemessenen und berechneten Schüttungsmengen bei 2 Quellen, also ebenfalls der Hälfte, zeitweise außerhalb der angestrebten Anpassungsgenauigkeit (siehe Tabelle 7).

Tabelle 7: Abweichungen zwischen gemessenen und berechneten Schüttungen an Quellen mit MID-Messungen (Überschreitung der Abweichungsgrenzwerte **fett** gekennzeichnet)

Quelle (Zeitraum 2004-2008)	Schüttung gemessen [l/s]		Schüttung berechnet [l/s]		Max. Abweichung [l/s]
	Min.	Max.	Min.	Max.	
Auquelle	18	25	18	26	2
Inselquelle	29	38	32	37	4
Leuzequelle	32	37	33	37	3
Maurischer Garten	12,9	15	13,4	15,6	0,8

Grundwasserganglinien in der „Validierungs“-Phase

Die Unterschiede zwischen berechneten und gemessenen Grundwasserganglinien in der „Validierungs“-Phase werden im Modellbericht auf den Seiten 65-66 beschrieben sowie in der Anlage 8.1, Seiten 1 bis 21 als Messschriebe dargestellt. Die aus den Messschrieben abgegriffenen Ergebnisse werden im Folgenden kurz zusammengefasst:

In den Quartärschichten sind die berechneten im Vergleich zu den gemessenen Ganglinien meist gedämpft bis stark gedämpft, in der Messstelle BK 18.1 /4 leicht überhöht. Nur eine der 11 Messstellen (B 309) weist keine Überschreitung der zulässigen Abweichungsgrenzwerte auf. Von der Messstelle B 235 haben die Bearbeiter keine Daten vorgelegt.

In den Dunkelroten Mergeln sind die berechneten im Vergleich zu den gemessenen Ganglinien entweder stark gedämpft, überhöht oder teilweise gedämpft und überhöht. Nur eine der 3 Messstellen (BK 16/7) weist keine Überschreitung der zulässigen Abweichungsgrenzwerte auf.

Im Bochinger Horizont weichen die berechneten im Vergleich zu den gemessenen Ganglinien erheblich ab. Nur 2 der 9 Messstellen (B 305/2, B 306) weisen keine Überschreitung der zulässigen Abweichungsgrenzwerte auf.

In den Grundgipsschichten sind die berechneten im Vergleich zu den gemessenen Ganglinien mit einer Ausnahme (BK 15.2/7) gedämpft bis stark gedämpft. Nur eine der 5 Messstellen (BK 11/99) weist keine Überschreitung der zulässigen Abweichungsgrenzwerte auf.

Im Grenzdolomit sind die berechneten im Vergleich zu den gemessenen Ganglinien stark gedämpft. Beide Messstellen überschreiten die zulässigen Abweichungsgrenzwerte.

Im Mittleren Lettenkeuper sind die berechneten im Vergleich zu den gemessenen Ganglinien überwiegend gedämpft bis stark gedämpft, in den Messstellen B 310 und Notbrunnen 9 überhöht und in B 301 stark überhöht. Nur 2 der 15 Messstellen (Notbrunnen 9, B 301) weisen keine Überschreitung der zulässigen Abweichungsgrenzwerte auf.

Im Oberen Muschelkalk sind die berechneten im Vergleich zu den gemessenen Ganglinien durchwegs gedämpft bis stark gedämpft. Nur 2 der 13 Messstellen (BK 17.4/3 PM, GWM 840) weisen keine Überschreitung der zulässigen Abweichungsgrenzwerte auf.

Insgesamt liegen bei 47 von 57 Messstellen (82%) Überschreitungen der zulässigen Abweichungsgrenzwerte vor.

Quellschüttungen in der „Validierungs“-Phase

Die Unterschiede zwischen berechneten und gemessenen Quellschüttungen in der „Validierungs“-Phase (2007-2009) werden im Modellbericht auf Seite 66 beschrieben sowie in der Anlage 8.7, Seiten 22 bis 27, als Messschriebe wiedergegeben. Die davon abgegriffenen Ergebnisse werden in nachstehender Tabelle 8 kurz zusammengefasst:

Tabelle 8: Vergleich berechneter und gemessener Quellschüttungsmengen in der „Validierungs“-Phase (**Fett:** Überschreitung des Abweichungsgrenzwertes von ± 2 l/s)

Quelle	Max. Abweichung (abgegriffen) [l/s]		Ganglinienverlauf
	Handmessung	MID-Messung	
Wilhelm 1+2	15	-	gedämpft
Auquelle	nicht erkennbar	3,9	tw. gedämpft, tw. überhöht
Berger Quellen (gesamt)	4	-	tw. gedämpft, tw. überhöht
Berger Mittelquelle	0,9	-	
Berger Nordquelle	0,5	-	
Berger Ostquelle	0,4	-	
Berger Südquelle	0,2	1,3	gedämpft, durchgehend um ca. 1,3 l/s tiefer als MID-Messungen
Berger Urquelle	2,4	-	gedämpft
Berger Westquelle	nicht erkennbar	0,35	gedämpft
Inselquelle	nicht erkennbar	2,5	gedämpft

Quelle	Max. Abweichung (abgegriffen) [l/s]		Ganglinienverlauf
	Handmessung	MID-Messung	
Kellerbrunnen	14	-	durchgehend ca. 13 l/s zu tief
Leuzequelle	nicht erkennbar	2,4	stark gedämpft
Maurischer Garten	nicht erkennbar	0,9	stark gedämpft
Schiffmannbrunnen	nicht erkennbar	-	
Veielquelle	1,4	-	stark gedämpft

Bei einigen Quellen war der Ganglinienverlauf der Handmessungen in den Diagrammen wegen schlechter Scanqualität nicht erkennbar. Die entsprechenden Werte sind daher in der obigen Tabelle nicht angeführt.

Von den 15 untersuchten Quellen sind an 9 die Ganglinienverläufe der Handmessungen erkennbar. Davon überschreiten 4 (44%) die in der Gemeinsamen Datenbasis definierte Genauigkeitsanforderung von ± 2 l/s teils stark (Wilhelm 1+2, Kellerbrunnen).

An 6 Quellen liegen Ganglinien aufgrund von MID-Messungen vor. Davon überschreiten 3 (50%) die in der Gemeinsamen Datenbasis definierte Genauigkeitsanforderung von ± 2 l/s teils deutlich (Auquelle).

Fazit

Der Arbeitskreis Grundwassererkundung und -modellierung hat im Jahr 2009 Genauigkeitsanforderungen für die Übereinstimmung der gemessenen mit den berechneten Grundwasserstands- und Quellschütungsdaten definiert und im Jahr 2010 „entschärft“. Im Behördenmodell wurden diese Anforderungen anerkannt und verbindlich übernommen.

Die Festlegung der Genauigkeitsanforderungen erfolgte im Rahmen der „Qualitätssicherung über Selbstkontrolle“ gemäß DVGW-Arbeitsblatt W 107, Pkt. 8.1. und Tabelle 2 (Benennung sowie ggf. Quantifizierung der im Modell und seinem Ergebnis verbliebenen Unsicherheiten).

An einer überwiegenden Zahl der Grundwassermessstellen und Quellen im gesamten Modellgebiet erfüllen die Modellergebnisse die geltenden Genauigkeitsanforderungen nicht.

Der Versuch der Verfasser der kup-Stellungnahme, die definierten Genauigkeitsanforderungen nachträglich zu relativieren und durch andere, nicht näher bezeichnete Qualitätsmaßstäbe zu ersetzen, ist als Eingeständnis des Scheiterns zu werten.

In der kup-Stellungnahme wird auch kein Nachweis erbracht, dass die Modellergebnisse anderen anerkannten Qualitätskriterien genügen.

Zu „14 Prognosefähigkeit“

Dem Modell liegen unrealistische oder unrichtige Eingangsdaten und Annahmen zugrunde. Siehe dazu Kapitel Zu „9 Parametrisierung“, S. 36. Zur Kalibrierung wurden metaphysische „Leakagefaktoren“ verwendet und logische Fehler begangen (Zirkelschlüsse). Siehe dazu Kapitel „Kanäle als Drainagerandbedingungen“ (S. 38). Daher konnte keine zufriedenstellende Modellanpassung erreicht werden. Das Modell verfehlt die festgelegten Genauigkeitskriterien an vielen Messstellen und Quellen im gesamten Modellgebiet. Dazu wird auf Kapitel Zu „13 Qualität der Modellanpassung (Nachbildung der vergangenen Grundwasserverhältnisse)“, S. 47, verwiesen. Dass an den Quellen die Zielvorgaben vollständig erreicht worden seien, wie in der kup-Stellungnahme fälschlich behauptet, wird auch durch Wiederholung nicht wahr.

Die US-Norm ASTM D5447-04 schreibt in Pkt. 5.2 vor:

„Groundwater models are routinely employed in making environmental resource management decisions. The model supporting these decisions must be scientifically defensible and decision-makers must be informed of the degree of uncertainty in the model predictions (...).“ (Hervorhebung durch den Unterfertigten)

Das Modell ist nicht wissenschaftlich haltbar („scientifically defensible“). Es baut auf unzutreffenden Eingangsdaten, fragwürdigen Randbedingungen und metaphysischen Größen (unüberprüfbare „Leakagefaktoren“) auf. Siehe dazu die Kapitel Zu „9 Parametrisierung“ (S. 36), Zu „2 Leakage Gewässer“ (S. 24) und Zu „7 Leakage-Ansatz zur Beschreibung von vertikalen Austauschprozessen“ (30).

Das Ausmaß der Prognoseunsicherheiten („degree of uncertainty in the model predictions“) wird im Modellbericht nicht angegeben und ist daraus auch nicht indirekt ableitbar. Das Modell kann wegen fehlender Validierung und Sensitivitätsanalyse überhaupt nicht für Vorhersagen verwendet werden. Siehe Kapitel Zu „12 Validierung“ (S. 45) und Zu „11 Sensitivitätsstudie“(S. 40).

Umweltbezogene Entscheidungen zum Grundwassermanagement („environmental resource management decisions“) können auf Grundlage dieses Modells nicht getroffen werden. Es ist daher auch zur Prüfung des Grundwasserströmungsmodells des Vorhabenträgers unbrauchbar.

Fazit

Das Modell beruht auf unrichtigen Modellannahmen und Eingangsdaten sowie unüberprüfbaren metaphysischen Größen.

Entsprechend dem Stand der Technik wurden Genauigkeitsanforderungen („criteria for an acceptable calibration“) festgelegt. Diese werden weithin verfehlt.

Eine Validierung („verification“) im Sinne Bezug habender Normen wurde nicht durchgeführt.

Das nicht validierte Modell wurde keiner Sensitivitätsanalyse oder einer anderen gleichwertigen Prüfung unterzogen.

Prognoserechnungen („predictive simulations“) sind daher mit diesem Modell unzulässig.

Das Modell ist wissenschaftlich unhaltbar, für Prognosen ungeeignet und zur Beurteilung des Modells des Vorhabenträgers unbrauchbar.

Zu „15 Modellvergleiche von Herrn Dr. Lueger“

Modell des Vorhabenträgers und Behördenmodell nicht unabhängig erstellt

Im Rahmen dieses Arbeitskreises Grundwassererkundung und -modellierung (AK GWEM) wurden wesentliche Grundlagen für die beiden Grundwasserströmungsmodelle erarbeitet, zusammengetragen und die Zwischenergebnisse der Modellierungen in etwa halbjährlichen Zusammenkünften diskutiert. Alle Mitglieder des Arbeitskreises haben in unterschiedlicher Weise auf die Erstellung beider Modelle Einfluss genommen. Im Modellbericht des Vorhabenträgers ist mehrfach dokumentiert, dass die Modellierungen im Arbeitskreis abgestimmt wurden (ARGE WUG 2010, S. 12, 21-22, 82, 88-89). Dort ist in Kapitel „4.3.3. Geeichte laterale und vertikale Durchlässigkeitsverteilungen“ auf S. 88-89 zu lesen:

„Da die sehr deutliche innerjährliche Amplitudenschwankung der Messstelle Sarweybrunnen flach nicht ausschließlich durch die modellinternen Grundwasserneubildungsschwankungen reproduziert werden konnte, wurde in Abstimmung mit den Mitgliedern des Arbeitskreises die schichtparallele Durchlässigkeit in diesem Bereich auf $3 \cdot 10^{-5}$ m/s erhöht.“ (Hervorhebung durch den Unterfertigten)

Die Abstimmung der Modelle erstreckt sich demnach auch auf die Kalibrierung.

Auch aus den Sitzungsprotokollen des Arbeitskreises lässt sich erschließen, dass von einer „unabhängigen“ Modellerstellung nicht gesprochen werden kann. Beide Modellierungen sind in Wirklichkeit ein Gemeinschaftsprodukt aus der über viele Jahre bestehenden Zusammenarbeit interessengeleiteter Vertreter von Projektinteressenten, in die auch entscheidende Behörden eingebunden sind. Beiträge von unabhängiger oder projektkritischer Seite aus der Zivilgesellschaft können und konnten zu keiner Zeit in die Modellerstellung einfließen.

Der Landesgutachter Wasserwirtschaft und Vorsitzender des Arbeitskreises, Herr Prof. Dr. Helmut Kobus, hat offenbar selbst das Modell des Vorhabenträgers mitgestaltet. Die am Zustandekommen der beiden

Modelle mitwirkenden Behördenvertreter sind befangen, insoweit sie im Behördenauftrag an der Beurteilung der von ihnen mitgestalteten Modelle teilnehmen. Das betrifft auch den Landesgutachter Prof. Kobus, welcher für die Erstellung des hier gegenständlichen „Behördenmodells“ verantwortlich zeichnet. Schon allein weil Prof. Kobus das Modell des Vorhabenträgers unmittelbar beeinflusst hat, ist sein Modell als „Prüfmodell“ ungeeignet.

Befangenheit

Gem. § 20 Abs. 1 Z. 5 Verwaltungsverfahrensgesetz (Bund) darf für eine Behörde nicht tätig werden, wer außerhalb seiner amtlichen Eigenschaft in der Angelegenheit ein Gutachten abgegeben hat oder sonst tätig geworden ist. Die Behördenvertreter im AK GWEM haben an der Erstellung des Grundwasserströmungsmodells des Vorhabenträgers teilgenommen. Diese Tätigkeit haben sie außerhalb eines konkreten Verfahrens aus bloßem „Interesse“ der von Ihnen vertretenen Körperschaft entfaltet. Das schließt sie im gegenständlichen Planänderungsverfahren von einer Mitwirkung am Zustandekommen der behördlichen Entscheidung aus, weil sie außerhalb ihrer amtlichen Eigenschaft in der Angelegenheit tätig geworden sind.

Mit Befangenheit wird der Zustand eingeschränkten (das heißt nicht unabhängigen) Urteilsvermögens einer Person aufgrund einer im Speziellen vorliegenden persönlichen Motiv- oder Sachlage oder eingeschränkten Urteilsvermögens auf Grund von einseitig bewerteter, das heißt nicht in ausgewogenem Verhältnis vorliegenden Informationen bezeichnet. Eine befangene Person entscheidet damit auf der Grundlage eines Vorurteils (WIKIPEDIA, Befangenheit).

Das betrifft insbesondere – aber nicht nur – den Landesgutachter Wasserwirtschaft, Prof. Kobus, welcher die Aufgabe übernommen hat, das Grundwasserströmungsmodell des Vorhabenträgers („Bahnmodell“) mit einem eigenen „Behördenmodell“ zu prüfen. Da Prof. Kobus an der Erstellung des Bahnmodells selbst mitgewirkt hat, prüft er „in eigener Sache“ und hat ein persönliches Interesse am positiven Ausgang dieser Prüfung. Es liegt daher ein Grund vor, an der unparteiischen Amtsausübung zu zweifeln.

Liegt ein Grund vor, der geeignet ist, Misstrauen gegen eine unparteiische Amtsausübung zu rechtfertigen, oder wird von einem Beteiligten das Vorliegen eines solchen Grundes behauptet, so hat, wer in einem Verwaltungsverfahren für eine Behörde tätig werden soll, den Leiter der Behörde oder den von diesem Beauftragten zu unterrichten und sich auf dessen Anordnung der Mitwirkung zu enthalten (§ 21 Abs. 1 Verwaltungsverfahrensgesetz).

Prof. Kobus und die anderen Behördenvertreter im AK GWEM haben dieser Bestimmung Folge zu leisten, also den Leiter der Behörde oder den von diesem Beauftragten zu unterrichten und sich auf dessen Anordnung der Mitwirkung zu enthalten. Die betroffenen Behörden werden bei rechtskonformer Anwendung dieser Bestimmung wohl kaum umhin können, die im AK GWEM vertretenen Amtswalter von einer weiteren Mitwirkung am gegenständlichen Planfeststellungsverfahren zu entbinden. Siehe dazu auch STUER U. HÖNIG (2004).

Zur Stellungnahme der kup

Die Verfasser der kup-Stellungnahme deuten den Sinn der doppelten Modellanwendung dahingehend, *„dass aus den unterschiedlichen Modellansätzen jeweils Modellierungen (= Annäherungen an die Realität) entstehen, die mit Messdaten verglichen werden, um die Sensitivität der Modellannäherung aufzuzeigen.“* Auf Grund der Anwendung von zwei unabhängigen Modellen sei es möglich, eine Bandbreite der Auswirkungen durch die geplante Baumaßnahme im Sinne einer Sensitivitätsstudie anzugeben. Die Unterschiede der kalibrierten Grundwasserstände und Quellschüttungen seien gering. In beiden Modellen werde eine Beeinflussung der Quellen von wenigen l/s prognostiziert, die einer mittleren Gesamtschüttung von ca. 220 l/s gegenüberstehe. Die Bandbreite der baumaßnahmenbedingten Quellschüttungsänderungen sei marginal gegenüber den natürlichen Schwankungen. Diese geringe Bandbreite sei ein deutliches Indiz für die Sicherheit der Modellaussagen sind. Je enger die Bandbreite ist, desto sicherer sei die Modellaussage.

Dem ist entgegenzuhalten:

Der in die doppelte Modellierung erstmalig und eigenmächtig hineininterpretierte „Sinn“ soll offenbar nachträglich die abweichenden Ergebnisse der beiden Modelle rechtfertigen. Der Arbeitskreis Grundwassererkundung und -modellierung hat in seinen Zielsetzungen (Kobus 2009, Kobus 2010) für die zweifache Modellierung keine derartige Sinnggebung formuliert.

Dass es möglich sei, mit zwei (angeblich) „unabhängigen“ Modellen eine „Bandbreite“ der baubedingten Auswirkungen abzuschätzen, ist schon vom Grundsatz her unrichtig. Jedes der beiden Modelle weist schon für sich allein genommen eine Bandbreite der Prognoseunsicherheit auf. Wenn die Verfasser der kup-Stellungnahme von einer „Bandbreite“ sprechen, meinen sie offenbar, dass die tatsächlichen Modell-ergebnisse zwischen den Ergebnissen der beiden Modellierungen liegen. In Wirklichkeit können die tatsächlich eintretenden Auswirkungen auch weit außerhalb dieser „Bandbreite“ liegen, weil in keinem der beiden Modelle ihre inhärente Prognoseunsicherheit zahlenmäßig angegeben wurde. Die (vorgeblich) enge „Bandbreite“ macht sohin die Modellaussagen keineswegs sicherer.

Wenn die Verfasser der kup-Stellungnahme ihren Vergleich der beiden Modellergebnisse als „Sensitivitätsstudie“ ausgeben, ist diese Ansicht mit anerkannten Fachmeinungen und technischen Regeln (z.B. DVGW-Arbeitsblatt W 107) nicht vereinbar. Sie dazu ausführlich im Kapitel Zu „11 Sensitivitätsstudie“ (S. 40).

Die Behauptung, die Unterschiede der kalibrierten Grundwasserstände und Quellschüttungen seien gering, kann als klassisches „Understatement“ gewertet werden. Das zeigen nachstehende Tabelle 9 und Tabelle 10 eindrücklich.

Tabelle 9: Vergleich der berechneten Grundwasserstandsganglinien von 43 dargestellten Messstellen (nach Kobus 2011, Diagrammen abgegriffen)

	Differenz WUG-kup	Differenz WUG-kup (Absolutwerte)
Minimum	-4,20 m	0,00 m
Mittelwert	-0,10 m	0,73 m
Standardabweichung	1,06m	–
Maximum	1,80 m	4,20 m

Tabelle 10: Vergleich der berechneten Quellschüttungsverläufe (nach Kobus 2011, aus Diagrammen abgegriffen)

Quelle	Max. Differenz WUG-kup
Inselquelle	-3,7 l/s
Leuzequelle	-1,5 l/s
Auquelle	-7,2 l/s
Maurischer Garten	-0,6 l/s
Gesamtablauf Berg	4,6 l/s

Die Prognosen der beiden Modelle differieren bis zu über tausend Prozent der vorhergesagten Grundwasserentnahmen und Quellschüttungsrückgängen (siehe Tabelle 11).

Gemessen an der Aussage in der kup-Stellungnahme „Je enger die Bandbreite ist, desto sicherer ist die Modellaussage“ führt der Vergleich der beiden Modellergebnisse zu einem vernichtenden Ergebnis: Beide Modelle können keine belastbaren Prognosen liefern. Abgesehen davon wurden beide Modelle nicht nach dem Stand der Technik erstellt, was sie a priori für Vorhersagen unbrauchbar macht.

Die weitere Argumentation in der kup-Stellungnahme, die vorhergesagten Quellschüttungsrückgänge seien „marginal“ im Verhältnis zur Gesamtschüttung und zu den natürlichen Schüttungsschwankungen, betrifft die Wertfrage, welche Beeinträchtigungen der Mineralquellen noch hinnehmbar sind. Die Argumente stehen in keinem Zusammenhang mit dem Vergleich und der Qualität der Modelle. Sie bezwecken

offenbar nur, die baubedingten Beeinträchtigungen der Mineralquellen zu bagatellisieren. Da es hier um Wert- und nicht um Sachfragen geht, erübrigt sich dazu eine fachliche Erwiderung.

Fazit

Der Vergleich der beiden Modelle ist keine „Sensitivitätsstudie“ im Sinne der anerkannten technischen Regeln für Grundwassermodellierungen. Er erlaubt keine Ermittlung der „Bandbreite“ der Modellergebnisse und verbessert die Vorhersagesicherheit nicht.

Die Prognosen der beiden Modelle über die effektiven Grundwasserentnahmen in den einzelnen Bauschritten und die dadurch bewirkten Quellschüttungsrückgänge zeigen sehr große Unterschiede. Beide Modelle ermöglichen keine zuverlässigen Vorhersagen über die Auswirkungen der geplanten Baumaßnahmen.

Modellvergleich: Vorhersagen über baumaßnahmenbedingte Grundwasserentnahmen und damit verbundene Quellschüttungsänderungen

Die aus dem jeweiligen Modell abgeleiteten Wasserbilanzänderungen der geplanten Baumaßnahmen sind im Bericht 2011/89 des Arbeitskreises Grundwassererkundung und -modellierung (KOBUS 2011) in Anlage 4 tabellarisch zusammengefasst und werden in folgender Tabelle 11 hier umgestellt und ergänzt wiedergegeben.

Unter „effektiven“ Grundwasserentnahmen ist die Differenz zwischen den entnommenen und wieder eingespeisten Grundwassermengen zu verstehen.

Die Summen in der unten stehenden Tabelle 11 beziffern nicht eine gleichzeitig entnommene Wassermenge, sondern verdeutlichen die Unterschiede der Modellprognosen in ihrem Gesamtausmaß. Um Missverständnisse zu vermeiden, sind die entsprechenden Summenwerte in Klammern angeführt.

Tabelle 11: Prognosen der effektiven Grundwasserentnahmen und Quellschüttungsänderungen infolge der Baumaßnahmen bei stationärer Hydrologie

Bauschritt	Effektive Grundwasserentnahme (gesamt) [l/s]				
	WUG	kup	Abweichung		
			(WUG-kup)/kup	(kup-WUG)/WUG	Differenz WUG-kup
0	0,1	0,1	0,0%	0,0%	0
1	21,9	24	-8,8%	-9,6%	-2,1
2	20,8	27,2	-23,5%	-30,8%	-6,4
3a	8,4	25	-66,4%	-197,6%	-16,6
3b	18,6	23,3	-20,2%	-25,3%	-4,7
3c	23,3	32,7	-28,7%	-40,3%	-9,4
4a	13	29,2	-55,5%	-124,6%	-16,2
4b	15,3	29,7	-48,5%	-94,1%	-14,4
5	17,5	30,3	-42,2%	-73,1%	-12,8
6	20,9	28,1	-25,6%	-34,4%	-7,2
7	17,1	23	-25,7%	-34,5%	-5,9
8	9,1	23,1	-60,6%	-153,8%	-14
9	5,7	11,5	-50,4%	-101,8%	-5,8
10	-9	-1,6	462,5%	82,2%	-7,4
11	-14,8	-10	48,0%	32,4%	-4,8
12	-14,3	-9,3	53,8%	35,0%	-5
(Summe)	(153,6)	(286,3)	-46,3%	-86,4%	-132,7

Bauschritt	Effektive Grundwasserentnahme (PFA 1.1) [l/s]				
	WUG	kup	Abweichung		
			(WUG-kup)/kup	(kup-WUG)/WUG	Differenz WUG-kup
0	0,1	0,1	0,0%	0,0%	0
1	21,5	12,9	66,7%	40,0%	8,6
2	17,3	8,6	101,2%	50,3%	8,7
3a	4,3	6	-28,3%	-39,5%	-1,7
3b	9,1	2,9	213,8%	68,1%	6,2
3c	9,4	7,1	32,4%	24,5%	2,3
4a	-5,6	0,2	-2900,0%	103,6%	-5,8
4b	-5,2	0	–	-100,0%	-5,2
5	0,5	-1,1	-145,5%	320,0%	1,6
6	8	1,9	321,1%	76,3%	6,1
7	12,4	4	210,0%	67,7%	8,4
8	6,9	6	15,0%	13,0%	0,9
9	2,5	5,8	-56,9%	-132,0%	-3,3
10	-7	4,6	-252,2%	165,7%	-11,6
11	-13,7	-5,1	168,6%	62,8%	-8,6
12	-13,4	-5	168,0%	62,7%	-8,4
(Summe)	(47,1)	(48,9)	-3,7%	-3,8%	-1,8
Bauschritt	Quellschüttungsänderung [l/s]				
	WUG	kup	Abweichung		
			(WUG-kup)/kup	(kup-WUG)/WUG	Differenz WUG-kup
0	0	0	–	–	0
1	-3,8	-1,5	153,3%	60,5%	-2,3
2	-3,8	-3,5	8,6%	7,9%	-0,3
3a	-3	-3,7	-18,9%	-23,3%	0,7
3b	-2,5	-4	-37,5%	-60,0%	1,5
3c	-2,5	-4,1	-39,0%	-64,0%	1,6
4a	-0,6	-4,2	-85,7%	-600,0%	3,6
4b	-0,4	-4,5	-91,1%	-1025,0%	4,1
5	-0,8	-4,9	-83,7%	-512,5%	4,1
6	-1,9	-5,3	-64,2%	-178,9%	3,4
7	-2,7	-5	-46,0%	-85,2%	2,3
8	-2	-5	-60,0%	-150,0%	3
9	-1,6	-4,2	-61,9%	-162,5%	2,6
10	0,3	-3,1	-109,7%	1133,3%	3,4
11	1,4	-1,5	-193,3%	207,1%	2,9
12	1,5	-0,4	-475,0%	126,7%	1,9
(Summe)	(-22,4)	(-54,9)	-59,2%	-145,1%	32,5

Die Tabelle zeigt, dass die WUG insgesamt kleinere effektive Grundwasserentnahmen prognostiziert als das kup-Modell.

Insgesamt weichen die Prognosen hinsichtlich der Auswirkungen der baubedingten Wasserhaltungen erheblich voneinander ab. Gesamthaft betrachtet sind die Unterschiede bei den vorhergesagten effektiven Grundwasserentnahmen im PFA 1.1 mit ca. 4% am kleinsten. In den einzelnen Bauabschnitten treten jedoch sehr große Differenzen auf.

Die gesamten effektiven Grundwasserentnahmen werden von WUG fast durchgehend optimistischer prognostiziert als vom kup-Modell. Dasselbe gilt für die Auswirkungen auf die Quellen. So ist die Differenz zwischen den beiden Prognosen größer als die Summe aller Quellschüttungsänderungen, die von WUG vorhergesagt wurden.

Fazit: Angesichts dieser Diskrepanzen zwischen den beiden Modellen steht die Aussagekraft der Prognosen insgesamt in Frage. Sie können keinesfalls als belastbare Grundlage für das geplante Grundwassermanagement angesehen werden.

Zusammenfassung

Der Landesgutachter Prof. Dr. Hemlut Kobus hat im Rahmen des Arbeitskreises Grundwassererkundung und -modellierung auf die Erstellung des Grundwasserströmungsmodells des Vorhabenträgers direkt und unmittelbar Einfluss genommen. Sein hier gegenständliches „Behördenmodell“ prüft also in eigener Sache und ist zur „Prüfung“ des Modells des Vorhabenträgers ungeeignet. Der Landesgutachter ist befangen. Dasselbe gilt für alle anderen Behördenvertreter im Arbeitskreis.

Die Behördenvertreter im AK GWEM – einschließlich des Landesgutachters Prof. Kobus – haben außerhalb ihrer amtlichen Eigenschaft in der Angelegenheit (im hier gegenständlichen Planänderungsverfahren) an der Entwicklung des Grundwasserströmungsmodells des Vorhabenträgers teilgenommen. Sie sind daher befangen und dürfen an der behördlichen Entscheidung über die Planänderung nicht mitwirken.

Die Herleitung des Einflusses von Hochwässern auf den Neckarwasserspiegel im Modell ist nicht nachvollziehbar und nicht überprüfbar.

Die Vorgangsweise bei der Modellierung des Austauschs zwischen Grund- und Oberflächenwasser mittels Leakagekoeffizienten führt zu Werten, welche grundsätzlich nicht nachvollzogen oder überprüft werden können. Sie haben keine Entsprechung in der Wirklichkeit, sind frei erfunden und in wissenschaftstheoretischer Hinsicht metaphysisch. Diese Aussage gilt auch für den ohne Bezug auf Messungen modellierten Zufluss aus dem Grundwasser in die Kanäle.

Der als „Drainagerandbedingung“ modellierte Grundwasserzufluss zu den Kanälen beruht auf einem logischen Fehler (Zirkelschluss!) und auf Leakagefaktoren, die in der angewendeten Form metaphysisch sind.

Die instationären Wasserbilanzen für den Muschelkalk und das Festpotenzial Feuerbach zeigen nahezu durchgehend gegenläufige Zu- und Abflüsse. Ein solches Fließverhalten erscheint unplausibel und ist möglicherweise ein Artefakt der Modellierung.

Eine Kalibrierung oder Überprüfung der Grundwasserneubildung ist aufgrund der angewendeten Methodik („Speicherzellenmodell“) nicht möglich.

Die Nachbildung der vertikalen Grundwasserbewegungen erfolgt anhand von „Leakagefaktoren“, welche in der modellierten Form grundsätzlich nicht nachvollzogen oder überprüft werden können. Sie haben keine Entsprechung in der Wirklichkeit und sind in wissenschaftstheoretischer Hinsicht metaphysisch.

Der sogenannte Langzeitpumpversuch wurde vor Erreichen eines stationären Strömungszustandes beendet. Er fand unter irregulären Bedingungen (starke Luftdruckschwankungen, nicht näher beschriebene „Sekundärbeeinflussungen“) statt, was eine regelrechte Auswertung verhinderte. Der Versuch wurde vor Erreichen aussagekräftiger Ergebnisse abgebrochen. Die modelltechnische Nachbildung des Langzeitpumpversuchs erfolgte anhand stationärer mittlerer hydrologischer Verhältnisse, obwohl aktuelle Daten über den instationären Systemzustand zur Verfügung standen. Aus diesem Grund konnten nur die Veränderungen der Grundwasserstände und Quellschüttungen, nicht aber deren Absolutwerte beurteilt werden. Eine nachträgliche Nachbildung des Pumpversuchs ist möglich und zu fordern, weil die Daten des instationären Systemzustands vorliegen. Die berechneten Grundwasserstandsänderungen weichen an den Messstellen der Gemeinsamen Datenbasis um durchschnittlich 91% von den gemessenen ab. An den Berger Quellen wurden die definierten Genauigkeitsanforderungen verfehlt. Die Quellschüttungsrückgänge wurden unter „Berücksichtigung einer Sekundärbeeinflussung“ kleiner angegeben, als tatsächlich

gemessen. Rückschlüsse auf die baubedingten Quellschüttungsminderungen sind aufgrund dieser Pumpversuchsergebnisse nicht möglich.

Dem Modell liegen auf allen Ebenen zahlreiche tatsachenwidrige und unrealistische Eingangsdaten zugrunde. Schon allein aus diesem Grund ist das Modell unbrauchbar und nicht in der Lage, die Auswirkungen der baubedingten Maßnahmen zutreffend vorherzusagen.

Die hydrologischen Eigenschaften der geologischen Störungen sind den Modellbearbeitern bisher nicht bekannt und haben in das Modell keinen Eingang gefunden. Störungen und Dolinen wurden im Modell nicht adäquat berücksichtigt.

Die Verfasser der kup-Stellungnahme verstehen offenbar unter den Begriffen „Sensitivitätsanalyse“, „Sensitivitätsstudie“ etc. etwas anderes als das DVGW-Arbeitsblatt W 107. Die angeführten Maßnahmen erfüllen nicht die im DVGW-Arbeitsblatt W 107, Pkt. 7.2.5 Verifikation (Validierung) gestellten Anforderungen.

Das Behördenmodell ist nicht nach dem Stand der Technik validiert. Die Voraussetzungen für einen Verzicht auf eine Validierung gemäß DVGW-Arbeitsblatt W 107, Pkt. 7.2.5, sind nicht gegeben.

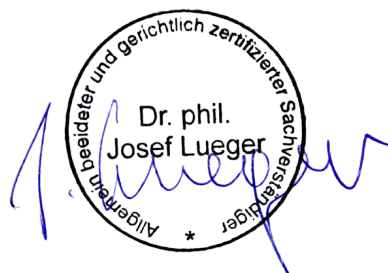
An einer überwiegenden Anzahl der Grundwassermessstellen und Quellen im gesamten Modellgebiet erfüllen die Modellergebnisse die geltenden Genauigkeitsanforderungen nicht. Der Versuch der Verfasser der kup-Stellungnahme, die definierten Genauigkeitsanforderungen nachträglich zu relativieren und durch andere, nicht näher bezeichnete Qualitätsmaßstäbe zu ersetzen, ist als Eingeständnis des Scheiterns zu werten.

Aufgrund unrichtiger Modellannahmen und Eingangsdaten sowie der daraus resultierenden vielfachen Nicht-Erfüllung der Genauigkeitsanforderungen ist auch die Prognosefähigkeit des Modells nicht gegeben.

Angesichts der teils massiven Diskrepanzen zwischen dem Modell des Vorhabenträgers und dem „Behördenmodell“ steht die Aussagekraft der Prognosen insgesamt in Frage. Sie können keinesfalls als belastbare Grundlage für das geplante Grundwassermanagement angesehen werden.

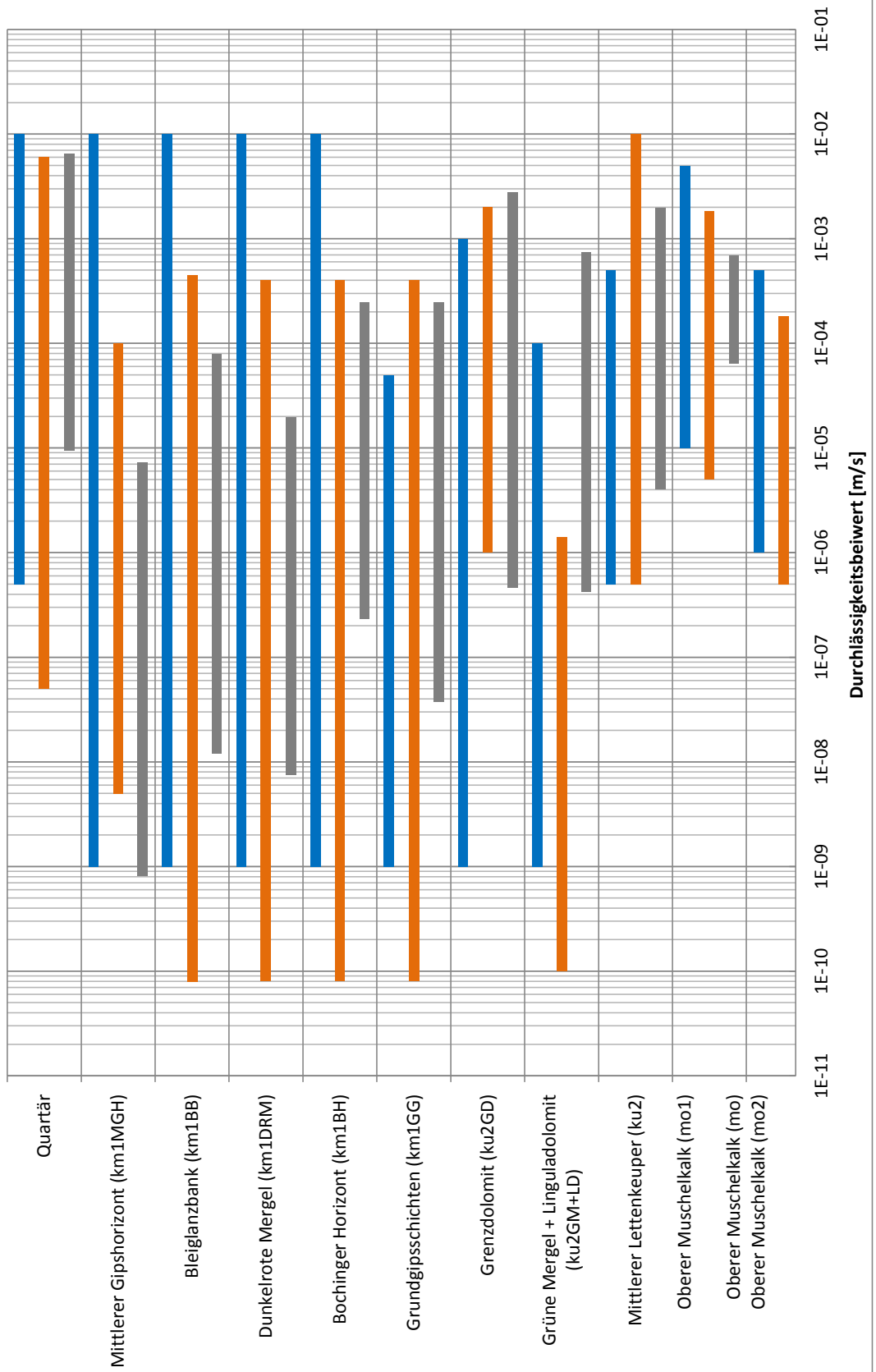
Das Behördenmodell ist zur Prüfung des Modells des Vorhabenträgers unbrauchbar.

Alle vorgebrachten Kritikpunkte sind von bisher unbeteiligter, unbefangener und fachlich qualifizierter Seite im Rahmen eines „Obergutachtens“ eingehend zu prüfen. Diese Prüfung hat in allen Schritten transparent und für die Öffentlichkeit nachvollziehbar zu erfolgen.



A circular stamp with the text "Allgemein beiderer und gerichtlich zertifizierter Sachverständiger" around the perimeter and a small asterisk at the bottom. In the center, it reads "Dr. phil. Josef Lueger". A blue ink signature is written over the stamp.

**Spanne der kalibrierten horizontalen Durchlässigkeiten
 von ARGE WUG und KUP im Vergleich zu durchgeführten
 Pump- und Bohrlochversuchen**



Erklärung zum Diagramm

Die **blauen Balken** zeigen für jedes Schichtglied die Bandbreite (Mindest- bis Höchstwerte) der kalibrierten horizontalen Durchlässigkeiten aus dem Modellbericht der ARGE WUG (Text und Beilage 3) dokumentierten Angaben. Die außergewöhnlich hoch angenommenen Durchlässigkeiten der Grundgipsschichten im Bereich der Abtragsflächen wurden wegen der sehr geringen Flächenausdehnung im Diagramm nicht berücksichtigt.

Die **orangenen Balken** zeigen für jedes Schichtglied die Bandbreite (Mindest- bis Höchstwerte) der kalibrierten horizontalen Durchlässigkeiten aus den im Modellbericht der Ingenieurgesellschaft Prof. Kobus und Partner GmbH (kup) (S. 40-43 und Anlagen 5.15-5.27) dokumentierten Angaben.

Die **grauen Balken** zeigen für jedes Schichtglied die „Bandbreite“ der empirisch ermittelten horizontalen Durchlässigkeiten aus den von der ARGE WUG (2002) in der Gemeinsamen Datenbasis dokumentierten geohydraulischen Versuche. Die oberen und unteren Enden der „Bandbreiten“ sind durch die Standardabweichung der natürlichen Logarithmen der aus geohydraulischen Versuchen ermittelten Durchlässigkeitsbeiwerte als Exponenten zur Basis e (Euler'sche Zahl) definiert und beruhen auf der Annahme einer Log-Normalverteilung (siehe KINZELBACH 2005, S. 36). Sie entsprechen den Darstellungen im ersten Diagramm dieser Beilage.