

Dr. Josef Lueger

Ingenieurbüro für Technische Geologie

Allg. beeid. u. gerichtl. zertifizierter Sachverständiger

Eingetragener Mediator für Bau-Planung-Umwelt

Geigenberg 6

3243 St. Leonhard am Forst

Österreich

T+F: +43 2756 2249

E: buero@ingeo.at

www.ingeo.at

Bahn- und Immobilienprojekt Stuttgart 21, Planänderungsverfahren in den Planfest- stellungsabschnitten PFA 1.1, 1.5 und 1.6a

Kritische Analyse der Grundwasserströmungsmodelle und der Beweissicherungsgrenzen

Auftraggeber: BUND-Regionalverband Stuttgart
Rotebühlstraße 86/1
70178 Stuttgart

Bearbeiter: Dr. Josef Lueger

GZ. 321/12 St. Leonhard am Forst, 13.02.2013

Inhalt

1	GEGENSTAND UND AUFTRAG	6
2	VORBEMERKUNG	6
3	AUFGABENSTELLUNG	7
4	GRUNDWASSERSTRÖMUNGSMODELL DER KUP.....	8
4.1	Zweck des Modells.....	8
4.2	Modellgrundlagen.....	8
4.3	Vorgang der Modellerstellung	8
4.4	Genauigkeitsanforderungen	10
4.5	Qualitätssicherung des Modells.....	10
4.6	Modelleingangsdaten und Randbedingungen.....	12
4.6.1	Muschelkalkaquifer	12
4.6.2	Unterkeuper	12
4.6.3	Gipskeuper	13
4.6.4	Quartär	14
4.6.5	Oberflächengewässer als Leakagerandbedingung.....	14
4.6.6	Kanäle als Drainagerandbedingungen	15
4.6.7	Nichtberücksichtigung geologischer Störungen.....	15
4.7	Aquifereigenschaften nach dem Grundwassermodell Stuttgart - Bad Cannstatt aus der Planfeststellung.....	16
4.7.1	Durchlässigkeitsverteilungen	16
4.7.2	Speicherkoeffizienten	16
4.7.3	Grundwasserneubildung	17
4.7.4	Neckarwasserspiegel.....	17
4.8	Modellkalibrierung.....	18
4.8.1	Durchlässigkeitsverteilungen	18
4.8.1.1	Horizontale Durchlässigkeiten.....	18
4.8.1.1.1	Bleiglanzbank (km1BB).....	18
4.8.1.1.2	Dunkelrote Mergel (km1DRM)	19
4.8.1.1.3	Bochinger Horizont (km1BH)	19
4.8.1.1.4	Grundgipsschichten (km1GG)	19
4.8.1.1.5	Grüne Mergel (ku2GM).....	19
4.8.1.1.6	„Unterkeuper“	20
4.8.1.2	Vertikale Leakagekoeffizienten	20

4.8.1.3	Leakagekoeffizienten des Neckars, an den Heil- und Mineralquellen und an den Abwasserkanälen	23
4.8.2	Modellanpassung für stationäre Verhältnisse	25
4.9	Ergebnisse der instationären Modelleichung	27
4.9.1	Spezifische Speicherkoeffizienten.....	27
4.9.2	Speichernutzbarer Hohlraumanteil.....	27
4.9.3	Grundwasserstandsganglinien	27
4.9.3.1	Quartär	28
4.9.3.2	Mittlerer Gipshorizont + Bleiglanzbank.....	28
4.9.3.3	Dunkelrote Mergel	28
4.9.3.4	Bochinger Horizont.....	29
4.9.3.5	Grundgipsschichten	29
4.9.3.6	Grenzdolomit.....	29
4.9.3.7	Mittlerer Lettenkeuper.....	30
4.9.3.8	Oberer Muschelkalk	30
4.9.4	Quellschüttungen.....	31
4.9.5	Grundwasserbilanzen.....	33
4.10	Modellvalidierung für instationäre Verhältnisse auf Tagesbasis (2007- 2008)	33
4.10.1	Grundwasserstandsganglinien	36
4.10.2	Quellschüttungen.....	37
4.11	Simulation des Langzeitpumpversuchs im Januar 2010	38
4.11.1	Absenkungen.....	39
4.11.2	Quellschüttungsänderungen.....	42
4.12	Zusammenfassung	43
4.12.1	Zielerreichung.....	43
4.12.2	Zweckerfüllung.....	44
4.12.3	Erforderliche Maßnahmen	44
5	GRUNDWASSERSTRÖMUNGSMODELL DER ARGE WUG	46
5.1	Nicht näher spezifizierbare Modellfehler	47
5.2	Unrichtige Speicherkoeffizienten	47
5.3	Unrealistische Durchlässigkeitsbeiwerte	48
5.4	Nichtberücksichtigung geologischer Störungen	53
5.5	Nichterfüllung der Eich- und Validierungskriterien	54
5.5.1	Stationär geeichte Grundwasserströmungsverhältnisse	55
5.5.2	Instationär geeichte Grundwasserströmungsverhältnisse	57
5.5.2.1	Bilanzkomponenten Heil- und Mineralquellen	59

5.5.2.2	Bilanzkomponente Neckar	61
5.5.2.3	Vergleich der Eich- und Validierungsergebnisse	62
5.5.2.4	Instationäre Validierung auf Basis des Langzeitpumpversuchs im Januar 2010	64
5.6	Zusammenfassung	67
5.7	Vergleich der instationären Modelle	68
5.7.1	Modellkonzepte	68
5.7.2	Vergleich der modellierten Durchlässigkeitsbeiwerte	69
5.7.3	Vergleich der modellierten Quellschüttungs- und Grundwasserstandsganglinien	70
5.7.4	Maßnahmenbedingte Änderungen in der Wasserbilanz	70
5.7.5	Zusammenfassende Beurteilung der instationären Grundwassermodelle	73
6	ZU DEN BEWEISSICHERUNGSGRENZEN.....	74
6.1	Grundsätzliches.....	74
6.2	Zu den Bearbeitungen der Ingenieurgesellschaft Stuttgart 21 Geotechnik	77
6.3	Zum Gutachten von Prof. Wittke	82
6.4	Notwendige Maßnahmen.....	83
7	VERWENDETE UNTERLAGEN UND LITERATUR.....	85

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Bewertung von Validierungsergebnissen im Vergleich zum Eichzeitraum.....	63
Abbildung 2: Vergleich der gemessenen und berechneten Grundwasserganglinie der Messstelle P 177	65
Abbildung 3: Vergleich der gemessenen und berechneten Schüttungsraten der Berger Quellen gesamt.....	66
Abbildung 4: Definition der Winkelverdrehung β für eine Sattellage (entnommen aus [11], S. 127)	74

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Anteil der Eichmessstellen mit Überschreitungen der zulässigen Abweichungsgrenzen.....	26
Tabelle 2: Abweichungen zwischen gemessenen und berechneten Quellschüttungen (Jahre 1994 bis 2009; Überschreitungen der Abweichungsgrenzwerte fett gekennzeichnet).....	31
Tabelle 3: Abweichungen zwischen gemessenen und berechneten Schüttungen an Quellen mit MID-Durchflussmessungen (Überschreitung der Abweichungsgrenzwerte fett gekennzeichnet).....	33
Tabelle 4: Vergleich berechneter und gemessener Quellschüttungsmengen (Jahre 2007 – 2009)	37
Tabelle 5: Gemessene und berechnete maximale Absenkungen in den Förderbrunnen.....	39

Tabelle 6: Gemessene und berechnete maximale Absenkungen in den Grundwassermessstellen	40
Tabelle 7: Gemessene und berechnete Grundwasserstände während des Pumpversuchs zum Zeitpunkt des jeweils größten Unterschieds	42
Tabelle 8: Vergleich der kalibrierten horizontalen Durchlässigkeitsbeiwerte mit den Ergebnissen der geohydraulischen Bohrlochversuche	48
Tabelle 9: Vergleich der kalibrierten vertikalen Durchlässigkeitsbeiwerte mit harmonischen Mittelwerten der in geohydraulischen Versuchen festgestellten Durchlässigkeiten.....	49
Tabelle 10: Anteil der Eichmessstellen mit Überschreitungen der zulässigen Abweichungsgrenzen.....	56
Tabelle 11: Grundwasser-Eichmessstellen mit Abweichungen von den definierten Kriterien.....	57
Tabelle 12: Berechnete und gemessene Absenkungen in den Förderbrunnen im Zuge des Langzeitpumpversuchs	64
Tabelle 13: Wasserbilanzänderungen infolge Baumaßnahme bei stationärer Hydrologie: Effektive Grundwasserentnahme und Quellschüttungsänderung	71
Tabelle 14: Zulässige Setzungskriterien für Sattellagen aus der Literatur	75
Tabelle 15: Zusammenfassung der Grundannahmen von Prof. Wittke.....	82

Beilagenverzeichnis

Beilage 1: Durchlässigkeiten nach geohydraulischen Versuchen	
Beilage 2: Stationäres Modell kup: Vergleich zwischen berechneten und gemessenen Grundwasserständen	
Beilage 3: Grundwassermodell kup: Ergebnisse der instationären Modelleichung – Abweichungen an Grundwasserstandsganglinien	
Beilage 4: Grundwassermodell kup: Ergebnisse der Modell-„Validierung“ für instationäre Verhältnisse auf Tagesbasis (2007- 2008) – Abweichungen an Grundwasserstandsganglinien	
Beilage 5: Modell WUG: Grundwassermodelle u. Beweissicherungsgrenzen – Ergebnisse der stationären Eichung	
Beilage 6: Vergleich der Grundwasserströmungsmodelle von WUG und kup: Maximale Abweichungen der berechneten Grundwasserstandsganglinien in den Modellen von WUG und kup	
Beilage 7: Vergleich der Gebirgsdsdurchlässigkeiten	

1 GEGENSTAND UND AUFTRAG

Die DB ProjektBau hat ein instationäres Grundwasserströmungsmodell für das Bahn- und Immobilienprojekt „Stuttgart 21“ erarbeiten lassen, welches zur Planung und baubegleitenden Überwachung des Grundwassermanagements dienen soll. Die mit diesem Modell durchgeführten Prognoseberechnungen ergeben im Vergleich zum stationären Grundwasserströmungsmodell, auf denen die PF-Unterlagen beruhen, Abweichungen der Wasserandrangsraten und der Grundwasserabsenkungswerten. Prof. Wittke (WBI) hat im Auftrag der DB ProjektBau ein Gutachten zur Frage vorgelegt, ob auf Basis der Ergebnisse der instationären Berechnungen im Bereich der bergmännischen Tunnelstrecken eine Anpassung der Beweissicherungsgrenzen erforderlich wird. Der BUND-Regionalverband Stuttgart hat den Unterfertigten am 4.4.2012 beauftragt, dieses Gutachten und das ihm zugrunde liegende instationäre Grundwasserströmungsmodell der ARGE Wasser - Umwelt - Geotechnik aus ingenieurgeologischer Sicht zu prüfen und bis zum 18.5.2012 darüber zu berichten. Der Unterfertigte hat dazu am 18.5.2012 einen vorläufigen Bericht vorgelegt [22].

Weiters hat das Aktionsbündnis gegen Stuttgart 21 und der BUND-Regionalverband Stuttgart den Unterfertigten am 19.8.2012 beauftragt, im Planänderungsverfahren in den Planfeststellungsabschnitten 1.1, 1.5 und 1.6a zu diesem Thema Stellung zu nehmen und dabei auch das zweite instationäre Grundwasserströmungsmodell des Landesgutachters Prof. Kobus zu untersuchen.

Am 1.11.2012 wurde der Unterfertigte letztlich beauftragt, die Analyse der Beweissicherungsgrenzen unter Berücksichtigung des zwischenzeitlich zugänglich gemachten Ergebnisprotokolls Nr. 0043 über ein Aufklärungsgespräch mit Behörden im Zusammenhang mit dem 7. Planfeststellungsänderungsantrag PFA 1.1 vom 14.12.2011 sowie ein Gutachten vom 23.3.2012 der Ingenieurgesellschaft Stuttgart 21 Geotechnik über Auswirkungen der geplanten Grundwasserabsenkung und Wasserinfiltration auf Nachbarbauwerke zu vertiefen.

2 VORBEMERKUNG

Aufgrund des extremen Umfangs der Bezug habenden Unterlagen und der Nichtvorlage wichtiger Unterlagen sowie des großen Aufwandes, aus den zur Verfügung stehenden Dokumenten die wesentlichen zu identifizieren, steht dieser Bericht unter dem Vorbehalt, dass sich aufgrund bisher noch nicht bearbeiteter bzw. vorliegender Dokumente Änderungen oder Ergänzungen in der Beurteilung ergeben können.

3 AUFGABENSTELLUNG

Im Rahmen des Projekts Stuttgart 21 der DB ProjektBau GmbH wurden zur Begleitung der Baumaßnahmen, zur Beurteilung wasserwirtschaftlicher Auswirkungen und zur Prognose der zu erwartenden Grundwasserverhältnisse unabhängig voneinander zwei numerische Modelle auf derselben gemeinsamen Datenbasis entwickelt, und zwar

1. von der ARGE Wasser - Umwelt – Geotechnik (WUG) [4] sowie
2. von der Ingenieurgesellschaft Prof. Kobus und Partner GmbH (KUP) [16].

Die vom Arbeitskreis Grundwassererkundung und -modellierung (AK GWEM) erarbeitete gemeinsame Datenbasis bis Ende 2008 ist in einem Bericht des Arbeitskreises vom Mai 2010 dokumentiert [20]. Die vergleichende Darstellung der Modellergebnisse von WUG und KUP ist einem Bericht des AK GWEM zu entnehmen [21].

In der hier vorgelegten Analyse werden die beiden Grundwasserströmungsmodelle kritisch untersucht.

Die mit dem Modell der WUG durchgeführten Prognoseberechnungen ergeben im Vergleich zum stationären Grundwasserströmungsmodell, auf welchem die PF-Unterlagen basieren, bereichsweise Abweichungen hinsichtlich der Wasserandrangsraten und der Reichweite der Grundwasserabsenkungen. Die DB Projektbau GmbH hat die Professor Dr.-Ing. Wittke Beratende Ingenieure für Grundbau und Felsbau GmbH (WBI) beauftragt zu prüfen, ob auf Basis der Ergebnisse der instationären Berechnungen im Bereich der bergmännischen Tunnelstrecken eine Anpassung der Beweissicherungsgrenzen erforderlich wird. Weiters hat die Ingenieurgemeinschaft Stuttgart 21 Geotechnik im Auftrag der DB Projektbau GmbH eine gutachterliche Stellungnahme zu den zu erwartenden potentiellen Betroffenheiten geotechnischer Art infolge der geplanten bauzeitlichen Grundwasserabsenkung in den Planfeststellungsabschnitten PFA 1.1 und PFA 1.5 erstellt. Der Unterfertigte hat diese Bearbeitungen einer Prüfung unterzogen.

Die Gutachten und Berichte zu den Beweissicherungsgrenzen bzw. den Auswirkungen auf benachbarte Bauwerke ([37], [9], [13], [15]) beruhen auf den Ergebnissen der Grundwasserströmungsmodellierung ([4], [16]). Mängel dieser Modelle schlagen daher unmittelbar auf die Aussagekraft dieser Gutachten bzw. Berichte durch. Da deren Verfasser die Berechnungen nicht geprüft haben, hat der Unterfertigte diese Aufgabe übernommen, um zu untersuchen, ob die darauf aufbauenden Aussagen auf einem sicheren und vor allem richtigen Fundament ruhen. Die Ergebnisse dieser Prüfung werden hier ebenfalls dargestellt.

4 GRUNDWASSERSTRÖMUNGSMODELL DER KUP

4.1 Zweck des Modells

Mit dem baubegleitenden instationären Grundwassermodell Stuttgart - Bad Cannstatt sollen sowohl die hydrologischen Schwankungen als auch die instationären Veränderungen infolge der Baumaßnahme Stuttgart 21 nachgebildet werden. Das Grundwassermodell soll dazu dienen, die Auswirkungen durch die Baumaßnahme baubegleitend zu bewerten und die baumaßnahmenbedingten Änderungen auf das Grundwasserleitersystem von den natürlichen hydrologischen Schwankungen zu unterscheiden. Diese Aufgabenstellung ist nur mit einem instationären Modell möglich, in dem die Situation ohne Baumaßnahme mit den Verhältnissen mit der Baumaßnahme verglichen wird. Mit Hilfe des Modells lassen sich nach Ansicht der Modellersteller die Auswirkungen in Form von maßnahmenbedingten Absenkungen und Quellschüttungsminderungen bestimmen ([16], S. 2).

In der Modellbetrachtung für die Planfeststellung wurden stationäre mittlere hydrologische Verhältnisse angesetzt. Dieses Modell soll hingegen eine instationäre Betrachtung unter Berücksichtigung der hydrologischen Schwankungen ermöglichen ([16], S. 2).

4.2 Modellgrundlagen

Die wichtigste Grundlage der beiden Modelle ist die von allen Arbeitskreismitgliedern getragene „Gemeinsame Datenbasis, Datenbank und Anforderungen an die instationäre Modellierung“ mit Stand Mai 2010 [20]. Hierin sind die Modelleingangsdaten für den Aufbau und die Modellkalibrierung dokumentiert, die im Wesentlichen aus der Erkundung für das Projekt Stuttgart 21 stammen. Weitere wichtige Grundlagen für die Modellerstellung sind die hydrogeologischen Modelle des Amt für Umweltschutzes der Landeshauptstadt Stuttgart im Nesenbachtal, Neckartal und Feuerbacher Tal ([33], [32], [31] und [29]) sowie die Erkenntnisse aus den Auswertungen durch das Regierungspräsidium Freiburg Abt. 9-Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau (z.B. [25]) im Muschelkalkaquifer ([16], S. 77).

4.3 Vorgang der Modellerstellung

Aufbau und Modellentwicklung wurden im Arbeitskreis Grundwassererkundung und -modellierung unter der Leitung des Landesgutachters Wasserwirtschaft Prof. Kobus unter Beteiligung der zustän-

digen Fachbehörden und der Projektträgerin mit ihren Gutachtern diskutiert und begleitet. Fachleute anderer Parteien bzw. Verfahrensbeteiligter wurden nicht miteinbezogen.

Das entsprechend den hydrogeologischen Modellkonzepten aufgebaute Grundwassermodell Stuttgart - Bad Cannstatt wurde einer stationären und instationären Kalibrierung für den Zeitraum 1994 bis 2006 unterzogen. Bei der instationären Kalibrierung wurden die Randbedingungen auf Monatsbasis dynamisch vorgegeben. Zur Überprüfung der Kalibrierung wurden die in der Gemeinsamen Datenbasis festgelegten langjährigen Ganglinien aus den relevanten hydrogeologischen Einheiten Quartär, Gipskeuper, Unterkeuper und Muschelkalkaquifer sowie die Quellschüttungsmessungen aus MID-Werten¹ verwendet ([16], S. 77).

Variiert wurden im Rahmen der Kalibrierung

- die horizontalen Durchlässigkeiten
- die vertikalen Leakageschichten zwischen den hydrogeologischen Einheiten sowie
- die Leakagekoeffizienten an den Heil- und Mineralquellen, dem Neckar und den im Modell berücksichtigten Kanälen der Stadtentwässerung.

Über die instationäre Kalibrierung erfolgte eine Eingrenzung der spezifischen Speicherkoeffizienten und der speichernutzbaren Hohlraumanteile.

Eine Sensitivitätsanalyse als weiterer Schritt der notwendigen Qualitätssicherung wurde nicht durchgeführt. Siehe dazu die näheren Ausführungen im Kapitel 4.5 auf S. 10 dieser Analyse.

Das entwickelte und kalibrierte instationäre Grundwasserströmungsmodell wurde einer sogenannten „Validierung“ unterzogen, indem der für die Kalibrierung verwendete Betrachtungszeitraum um zwei Jahre bis Anfang 2009 verlängert und tagesdifferenziert betrachtet wurde ([16], S. 78). Wie im Kapitel 4.10 dieser Analyse ab S. 33 näher begründet wird, handelt es sich dabei nicht um eine Validierung nach allgemein anerkannten Grundsätzen.

Getestet wurde das kalibrierte und „validierte“ Grundwassermodell anhand eines im Januar 2010 durchgeführten Langzeitpumpversuchs. Dabei sollte geprüft werden, ob die durch den Pumpversuch verursachten Änderungen mit dem Modell nachvollzogen werden können. Die Auswertung erfolgte anhand Luftdruck-korrigierter Messdaten. Für die Nachbildung des Langzeitpumpversuchs wurden stationäre mittlere hydrologische Verhältnisse entsprechend dem Ergebnis der stationären Kalibrierung zum Stichtag Mai 1994 verwendet. D.h., mit dem Modell wurden nur die Absenkungen an den

¹ Magnetisch induktive Durchflussmesser, kurz MID, verwenden eine Messmethode, die auf dem Faraday'schen Gesetz der elektromagnetischen Induktion beruht. Der Messaufnehmer erzeugt aus dem Durchfluss ein elektrisch nutzbares Signal.

Grundwassermessstellen und die Quellschüttungsminderungen als Relativwerte ausgewertet und nicht die berechneten Absolutwerte mit den gemessenen verglichen ([16], S. 78).

Der Langzeitpumpversuch wurde in die Kalibrierung einbezogen ([15], S. 25), d.h., die Modellbearbeiter haben die Modelleingangsparameter verändert, um eine nach ihrer Ansicht zufriedenstellende Annäherung von berechneten und gemessenen Grundwasserständen bzw. Quellschüttungen zu bewerkstelligen. Demnach erfüllt auch dieser „Test“ nicht das Erfordernis einer Validierung nach allgemein anerkannten Grundsätzen.

4.4 Genauigkeitsanforderungen

Die Anforderungen an die Genauigkeit des Modells wurden vom Arbeitskreis Grundwassererkundung und -modellierung erstmals in [19] festgelegt und später abgemildert [20], offenbar weil die Modellbearbeiter erkannt haben, dass sie mit den vorliegenden Grundlagen und Methoden kein entsprechend qualitätshaltiges Modell erstellen können. Die aktuell gültigen Genauigkeitsanforderungen sind in [20], S. 26-27 wiedergegeben.

4.5 Qualitätssicherung des Modells

Modellkalibrierung, Sensitivitätsanalyse und Modellvalidierung sind essenzielle Bestandteile einer Modellierung und werden deshalb im Merkblatt Nr. 3.8/3 des Bayerischen Landesamtes für Wasserwirtschaft [6] im Anhang 1 auf S. 16-17 als Bestandteile der Qualitätssicherung wie folgt erläutert:

„Kalibrierung

Die Güte eines Modells wird durch den Vergleich modellierter und tatsächlicher Daten (z. B. Standrohrspiegelhöhen) erkennbar. Im Rahmen der Kalibrierung (d. h. der Modellanpassung) wird geprüft, ob das Modell mit seinen Eingangsparametern (wie z. B. kf-Werte), dazu in der Lage ist, konkrete Messwerte (z.B. Standrohrspiegelhöhen) abzubilden. Hierbei können die Modelleingangsparameter in bestimmten Grenzen variiert werden, bis eine ausreichende Übereinstimmung vorliegt. Dies ist in der Dokumentation der Modellierung detailliert zu beschreiben.

Sensitivitätsanalyse

Die Sensitivitätsanalyse (d. h. Test auf „Empfindlichkeit“) zeigt auf, welche Änderungen der einzelnen Parameter im Modell einen großen oder geringen Einfluss auf das Simulationsergebnis haben. Hydraulische und bio-/geochemische Parameter (...) bzw. Rahmenbedingungen (...) werden innerhalb der Schwankungsbreite (Berücksichtigung von Messfehlern bzw. Inhomogenitäten) jeweils einzeln vari-

iert. Dabei werden die Auswirkungen der einzelnen Variation auf das Simulationsergebnis (...) untersucht.

Das Ergebnis der Sensitivitätsanalyse gibt Aufschluss darüber, welche Parameter und Messgrößen mit hoher Genauigkeit bestimmt werden müssen, was bereits bei deren Ermittlung hilfreich sein kann. In Abhängigkeit vom Ergebnis der Sensitivitätsanalyse müssen ggf. einzelne Parameter durch zusätzliche Experimente und Messungen gestützt werden, um zu aussagefähigen Simulationsergebnissen zu kommen.

Validierung

Die Validierung (d. h. Test auf „Funktionalität“) wird mit einem sogenannten „unabhängigen“ Datensatz durchgeführt. Bei diesem Datensatz handelt es sich um Messgrößen und weitere Eingangsdaten, die nicht für die Kalibrierung verwendet wurden (...). Die Validierung ist erfolgreich, wenn die „unabhängig“ gemessenen Daten mit dem entsprechenden Simulationsergebnis ohne weitere Änderungen am Modell übereinstimmen.

Die Validierung kann auch in Form einer „Epignose“ erfolgen, d. h. es wird (...) ein Zustand in der Vergangenheit herangezogen, dessen zeitlicher Verlauf bis in die Gegenwart simuliert und dieses Ergebnis mit dem Ist-Zustand verglichen.“

Dieses Zitat aus dem Merkblatt des Bayerischen Landesamtes für Wasserwirtschaft gibt in knappen Worten den Stand der Technik wieder und wird hier nur als ein Beispiel für den unter Fachleuten geltenden Konsens angeführt.

Das hier gegenständliche Modell erfüllt die genannten Qualitätsanforderungen in mehrfacher Hinsicht nicht:

- Modellerte und tatsächliche Daten stimmen vielfach nicht überein. Dies gilt nicht nur für die berechneten Grundwasserstands- und Quellschüttungswerte, welche oftmals die festgelegten Abweichungsgrenzwerte überschreiten. Vielmehr entsprechen schon die Modelleingangsparameter häufig nicht der Realität, wie im Weiteren noch dargelegt wird.
- Eine Sensitivitätsanalyse wurde nicht durchgeführt (oder jedenfalls nicht dokumentiert). Das Modell kann daher schon vom Ansatz her nicht zu aussagefähigen Simulationsergebnissen kommen.
- Auch eine Validierung des Modells liegt nicht vor, weil die im Zuge der „Validierung“ verwendeten Modelleingangsdaten verändert wurden und die sogenannte „Validierung“ daher einen Teil der Modelleichung (Kalibrierung) darstellt. Es wurde nicht geprüft, ob „unabhängig“

gemessene Daten ohne weitere Änderungen mit dem entsprechenden Simulationsergebnis übereinstimmen. Auch dieser Mangel wird nachstehend noch eingehend belegt.

Aufgrund der aufgezeigten Mängel entspricht das Modell nicht dem Stand der Technik und kann seinen Zweck nicht erfüllen.

4.6 Modelleingangsdaten und Randbedingungen

4.6.1 Muschelkalkaquifer

Die Modellränder, 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 lässt sich ein Zu- oder Abfluss q einstellen, der dem aus der Festpotenzialrandbedingung entspricht. Der Grundwasserzufluss Q ist dabei wie folgt definiert:

$$Q = C \cdot (h_L - h) \quad (\text{siehe [16], S. 14})$$

Dazu ist festzuhalten, dass die hier angenommenen Leakagekoeffizienten C und Leakagehöhen h_L in der Natur keine Entsprechung haben. Welche Bedeutung der Begriff „Leakagehöhe“ hat, wird im Modellbericht nicht dargelegt. Beide Größen entziehen sich einer Überprüfung und sind undefiniert. Sie sind daher in wissenschaftstheoretischer Hinsicht „metaphysische“ Fiktionen. Siehe dazu auch Kapitel 4.8.1.2 ab S. 18 dieses Berichts.

4.6.2 Unterkeuper

Siehe dazu ([16], 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.

4.6.3 Gipskeuper

Siehe dazu [16], 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 in [16] 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 [16], 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 schema-

tischen Abbildung 3.3 in [16] 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 [16], 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.

4.6.4 Quartär

Siehe dazu [16], 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.

4.6.5 Oberflächengewässer als Leakagerandbedingung

Siehe dazu [16], S. 19.

Im Modellraum liegen der Neckar und der Feuerbach als oberirdische Gewässer vor, die mit dem obersten Grundwasserleiter in direktem Kontakt stehen. Diese beiden Gewässer wurden als Leakagerandbedingung in der obersten Modellschicht definiert. Die Grundwasseraufstiege aus dem Muschelkalkaquifer in den Neckar wurden als zusätzliche Leakagerandbedingung implementiert.

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

4.6.6 Kanäle als Drainagerandbedingungen

Siehe dazu [16], 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 Kanalsohle an. Der bilanzmäßige Abfluss wurde über einen Leakagefaktor eingestellt. Der Leakagefaktor wurde im Rahmen der instationären Modellkalibrierung „eingegrenzt“.

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 somit ein Modellergebnis und 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 [16], 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.

4.6.7 Nichtberücksichtigung geologischer Störungen

Im Untersuchungsraum liegen zahlreiche Störungszonen und Verwerfungen vor, die insbesondere für den vertikalen Austausch zwischen den Grundwasserleitern eine wichtige Rolle spielen ([28], S. 22). 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. Auch im Modell sind diese Störungen nicht direkt nachgebildet.

Auch wenn dazu wenigstens eine oberflächliche Erkundung der geohydraulischen Wirkungen Voraussetzung ist, erscheint eine Abbildung geologischer Störungen im Grundwassermodell unverzichtbar.

Technisch ist diese Modellierung möglich, indem die Störungen als geologische Schichten nachgebildet werden, welche die sedimentäre Schichtfolge kreuzen. Die jeweilige Wasserleitfähigkeit muss dabei abschnittsweise mit plausiblen Werten zugewiesen und kalibriert werden.

Die weitgehende Vernachlässigung geologischer Störungen im Modell führt mit hoher Wahrscheinlichkeit zu erheblichen Fehlern in der modellinternen Grundwasserbilanz. Offenbar liegt darin eine der Ursachen für die Notwendigkeit, „geisterhafte“ Parameter, wie die 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 Kap. 4.8.2, 4.10 und 4.11).

4.7 Aquifereigenschaften nach dem Grundwassermodell Stuttgart - Bad Cannstatt aus der Planfeststellung

4.7.1 Durchlässigkeitsverteilungen

Nach Angabe der Modellbearbeiter ([16], 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 [2] sind jedoch derart große Durchlässigkeiten nicht verzeichnet. Möglicherweise handelt es sich hier um einen Irrtum, der gegebenenfalls in das Modell eingeflossen sein könnte.

4.7.2 Speicherkoefizienten

Nach Angabe der Modellbearbeiter ([16], S. 24) liegen die spezifischen Speicherkoefizienten bei gespannten Grundwasserverhältnissen 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 [2] zeigt jedoch, dass diese Angabe von den Pump- bzw. Bohrlochversuchen in vielen Fällen abweicht. Dort sind z.B. für den Bochinger Horizont Speichkoeffizienten bis $5E-3$ m/s dokumentiert, wobei man hier von gespannten Verhältnissen ausgehen kann. Bezieht man diese auf die im Modell angenommene Schichtmächtigkeit von 5 m ([16], Tab. 3.2 auf S. 12), kommt man zu spezifischen Speicherkoefizienten von bis zu $1E-3$ 1/m. In den Dunkelroten Mergeln wiederum ist ein minimaler Speicherkoefizient von $1,2E-06$ dokumentiert. Bezieht man diesen auf die im Modell angenommene Schichtmächtigkeit von

16 m ([16], 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.

4.7.3 Grundwasserneubildung

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“ entwickelt, das die Versickerung in Abhängigkeit von der Mächtigkeit der ungesättigten Zone verzögert (siehe [16], 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 in [16] 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.

4.7.4 Neckarwasserspiegel

Für die Modellkalibrierung auf Tagesbasis sind die Schwankungen des Neckarwasserspiegels von Bedeutung. Wie die Modellbearbeiter in [16] auf S. 55 erklären, liegen jedoch keine Wasserspiegeldaten aus den Stauhaltungen im Modellgebiet vor, was mit modernen Standards des Fließgewässermanagements kaum in Einklang zu bringen ist. Sie behelfen sich daher damit, dass sie aus der Korrelation der Grundwasserspiegelganglinie der Messstelle B 351 und des Neckarpegels Wendlingen, welcher oberstrom des Modellgebietes situiert ist, eine Ganglinie des Neckarwasserspiegels unterhalb der Stauhaltungen konstruieren.

Für die Herleitung des Neckarwasserspiegels geben die Modellbearbeiter keinen Rechengang oder Algorithmus an. Sie erklären auch nicht, auf welche Stauhaltungen sich ihre Berechnung bezieht. Jedenfalls ist das ihrer Abbildung 6.8 in [16] auf S. 56 nicht zu entnehmen. Das Modell ist daher in dieser Hinsicht weder nachvollziehbar noch überprüfbar.

4.8 Modellkalibrierung

Die Modellkalibrierung wurde für stationäre und instationäre Verhältnisse parallel durchgeführt.

Dabei wurden folgende Parameter variiert ([16], S. 25, 57):

- horizontale Durchlässigkeiten
- vertikale Durchlässigkeiten (Leakagekoeffizienten)
- Speicherkoeffizienten
- speichernutzbare Hohlraumanteile

Überprüft wurde die Kalibrierung anhand folgender gemessener und berechneter Daten:

- Grundwasserstandsganglinien an den in der Gemeinsamen Datenbasis festgelegten Messstellen
- Quellschüttungen
- Anhaltswerte für die Aufstiege in den Neckar aus dem Muschelkalkaquifer an den bekannten Anomalien
- Langzeitpumpversuch vom Januar 2010

4.8.1 Durchlässigkeitsverteilungen

4.8.1.1 Horizontale Durchlässigkeiten

Zur Überprüfung der kalibrierten Durchlässigkeitsverteilungen hat der Unterfertigte die Angaben in [16], S. 40-43 mit den Ergebnissen der Gemeinsamen Datenbasis [2] verglichen. Wesentliche Abweichungen sind nachstehend beschrieben und in Beilage 7 dieses Berichts dargestellt.

4.8.1.1.1 Bleiglanzbank (km1BB)

In der Gemeinsamen Datenbasis sind Durchlässigkeitsbeiwerte von $3,3E-12$ bis $4,0E-03$ m/s dokumentiert. Die mittels Log-Standardabweichung ermittelte Bandbreite liegt zwischen $1,2E-08$ und $7,9E-05$ m/s (siehe Beilage 1). Im Bereich des vergipften Gebirges im Neckartal setzt das KUP-Modell eine Durchlässigkeit von $8E-11$ m/s an. Dieser Wert liegt fast um mehr als 2 Zehnerpotenzen unter

dem kleinsten Wert der statistischen Bandbreite. Diese Modellannahme hat daher nur eine geringe statistische Wahrscheinlichkeit.

4.8.1.1.2 Dunkelrote Mergel (km1DRM)

Den vergipsten Bereich im Neckartal haben die Modellbearbeiter wie in der Bleiglanzbank mit einem Wert von $8E-11$ m/s belegt. Die mittels Log-Standardabweichung ermittelte Bandbreite liegt zwischen $7,5E-09$ und $2,0E-05$ m/s (siehe Beilage 1). Auch dieser Wert liegt um 2 Zehnerpotenzen unter dem kleinsten Wert der statistischen Bandbreite. Die Modellannahme hat daher nur eine geringe statistische Wahrscheinlichkeit.

4.8.1.1.3 Bochinger Horizont (km1BH)

Im Text nicht erwähnt und nicht erklärt haben die Modellbearbeiter, dass sie im Nahbereich des Neckars minimale Durchlässigkeiten von $8,0E-11$ m/s angenommen haben. Die mittels Log-Standardabweichung ermittelte Bandbreite liegt zwischen $2,3E-07$ und $2,5E-04$ m/s (siehe Beilage 1). Im Nahbereich des Neckars liegen die Mindestwerte um $4E-8$ m/s. Die angenommenen Werte liegen somit mehr als 2 Zehnerpotenzen unter den kleinsten beobachteten Werten.

4.8.1.1.4 Grundgipsschichten (km1GG)

Die mittels Log-Standardabweichung aus der Gemeinsamen Datenbasis ermittelte Bandbreite liegt zwischen $3,7E-08$ und $2,5E-04$ m/s (siehe Beilage 1). Im Bereich des vergipsten Gebirges im Neckartal setzt das KUP-Modell wie in den anderen Gipskeuperschichten eine Durchlässigkeit von $8E-11$ m/s an. Die empirisch gefundenen Werte im Neckarbereich liegen demgegenüber bei mindestens $2,4E-09$ m/s. Die Modellannahme beträgt also nur ein Dreißigstel dieses Minimalwertes. Nicht berücksichtigt wurden auch in Versuchen festgestellte hohe Durchlässigkeiten über $1E-4$ m/s im Bereich der Messstellen B 213, B 224, B 225, BK 11/14, BK 11/81, BK 11/99 GM, BK 11/100 und BK 11/129 GM. Die Modellannahmen entsprechen somit nicht den festgestellten Tatsachen.

4.8.1.1.5 Grüne Mergel (ku2GM)

Die Grünen Mergel sind in der Gemeinsamen Datenbasis nur durch wenige geohydraulische Versuche repräsentiert, welche zumeist auch den Linguladolomit einschließen. Die mittels Log-Standardabweichung aus der Gemeinsamen Datenbasis ermittelte Bandbreite liegt zwischen $4,2E-07$ und $7,4E-04$ m/s (siehe Beilage 1). Die Modellbearbeiter gehen demgegenüber von einer „Staufunktion“ aus und nehmen an, dass die horizontale Durchlässigkeit nur eine untergeordnete Rolle für die Grundwasserströmung spielt. Demzufolge setzen sie Durchlässigkeiten zwischen $1E-10$ und $1,4E-06$

m/s an. Im Text erklären sie auch nicht, warum sie im Neckartal bei Untertürkheim einen sehr niedrigen Wert von $1E-10$ m/s annehmen. Ihre Annahmen liegen jedenfalls deutlich unter den empirischen Werten, welche wegen ihrer geringen Anzahl jedoch für eine flächendeckende Aussage in keiner Weise ausreichen. Jedenfalls sind die Modellannahmen nicht nachvollziehbar und empirisch belegt.

4.8.1.1.6 „Unterkeuper“

Dieser Begriff ist im Modell offenbar unscharf definiert, da von ihm andere Schichtglieder unterschieden werden, die ebenfalls dem Unterkeuper angehören. Vermutlich (aber nicht sicher) ist damit der obere Unterkeuper bzw. Mittlere Lettenkeuper mit den Lingulaschichten gemeint. (Zur Gliederung des Unterkeupers im Stuttgarter Raum siehe z.B. [26], S. 40, Abb. 5).

Pump- bzw. Bohrlochversuche ergaben in diesem Schichtenbereich sehr unterschiedliche Durchlässigkeiten von $1,0E-11$ bis $2,8E-02$ m/s. Diese sind in der Gemeinsamen Datenbasis [2] dokumentiert. Die mittels Log-Standardabweichung aus der Gemeinsamen Datenbasis ermittelte Bandbreite liegt zwischen $4,1E-06$ und $2,0E-03$ m/s (siehe Beilage 1). Die Modellbearbeiter nennen eine Spannbreite von $8E-7$ m/s bis $2E-4$ m/s und liegen daher etwa eine Zehnerpotenz unter der statistischen Spannweite. Die kalibrierten Durchlässigkeiten stehen also statistisch gesehen mit den empirisch festgestellten nicht im Einklang.

4.8.1.2 Vertikale Leakagekoeffizienten

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:

$$C = \frac{k_{f,v}}{d} \quad (\text{siehe [16], S. 25})$$

wobei

$k_{f,v}$ vertikale Durchlässigkeit

d Dicke der hydraulisch wirksamen Schicht

Modelltechnisch gehen die Bearbeiter von der Fiktion aus, dass zwischen den aneinander grenzenden Gesteinsschichten eine (gedachte) Membran liegt, die den Grundwasseraustausch zwischen den Schichten entsprechend dem Potenzialunterschied der beiden Gesteinsschichten einschränkt. Nach

dieser Modellvorstellung hat die Schichtstärke den Wert null. Demnach ist der Quotient nicht eindeutig definiert und daher unbestimmt. Er kann sohin jeden beliebigen Wert annehmen.

Im Modell wird der Grundwasserzu- bzw. -abfluss Q nach folgender Beziehung kalibriert:

$$Q = C \cdot \Delta h$$

wobei

Q Grundwasserzu- bzw. -abfluss

Δh Potenzialunterschied zwischen den Gesteinsschichten

Dies ermöglicht eine Kalibrierung der vertikalen unabhängig von der horizontalen Durchlässigkeit. Da jedoch der Leakagekoeffizient C grundsätzlich unbestimmt ist, kann er beliebig verändert werden. Das eröffnet dem Modell unbegrenzte Freiheitsgrade. NÄDELIN weist auf dieses Problem hin und nennt die Folgen, wenn er schreibt: „Geht der Leakagekoeffizient als Kalibrierparameter in das Grundwassermodell ein, so besteht die Gefahr der Überkalibrierung, wodurch das Modellergebnis an Aussagekraft verliert“ ([23], S. 72). Das gegenständliche Modell ist dafür ein typisches Beispiel.

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.

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 in wissenschaftstheoretischer Hinsicht 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 heißt natürlich nicht, dass sie tatsächlich widerlegt werden können 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 in [24], u.a. S. 15). Genau diesem Anspruch entsprechen die Leakagekoeffizienten nicht. Als metaphysische Größen können sie ohne Begrenzung durch reale Tatsachen willkürlich bzw. nach subjektiven Glaubensmaßstäben festgesetzt werden.

Wie ungeeignet die im Zuge der Kalibrierung festgesetzten Leakagekoeffizienten sind, lässt sich eindrucksvoll an den Beispielen Grenzdolomit und Mittlerer Lettenkeuper zeigen:

Zweck des Leakage-Ansatzes ist es, den Widerstand, den eine Gesteinsschicht dem Eindringen von Wasser entgegensetzt, zu quantifizieren. Wenn Wasser aus den darüber liegenden Grundgipsschichten in den Grenzdolomit dringt, setzt es diesem Eindringen einen Widerstand entgegen, der als Durchlässigkeitsbeiwert quantifizierbar ist. Für die Wasserbewegung von den Grundgipsschichten in den Grenzdolomit wurden Leakagekoeffizienten zwischen $2\text{E-}10$ und $1\text{E-}6$ $1/\text{s}$ definiert ([16], S. 44). Wohlgermerkt beziehen sich diese Werte auf eine fiktive Trennschicht mit der Schichtstärke null. Hat diese Schicht eine Mächtigkeit von $h = 2$ m, wie im Modell für den Grenzdolomit angenommen, ergeben sich daraus durchschnittliche vertikale Durchlässigkeiten von $k_{f,v} = C \cdot h = 4\text{E-}10$ bis $2\text{E-}6$ m/s.

Die aus der Log-Normalverteilung abgeleitete Durchlässigkeitsspannweite (Log-Standardabweichung) beträgt $4,6\text{E-}07$ bis $2,8\text{E-}03$ m/s (siehe Beilage 1) und liegt somit ca. drei Zehnerpotenzen unter den Modellannahmen.

Da es sich beim Grenzdolomit um einen Grundwasserleiter handelt, bei dem die Wasserbewegung vorwiegend in Klüften von statten geht, die auch eine vertikale Wasserbewegung begünstigen, erscheint es höchst unplausibel, dass die modellierte vertikale Durchlässigkeit um ca. drei Zehnerpotenzen kleiner sein soll als die horizontale.

Nach KINZELBACH [17], S. 35, ist das harmonische Mittel der vorgefundenen Durchlässigkeitsbeiwerte der vertikalen Durchlässigkeit annähernd gleichzusetzen. Für den Grenzdolomit beträgt dieser Wert $k_{f,v} = 2,9\text{E-}10$ m/s (siehe Beilage 1). Er entspricht also ungefähr dem unteren Ende der aus den Leakagekoeffizienten abgeleiteten Bandbreite. Der Wert am oberen Ende ist mit $2\text{E-}6$ m/s jedoch 6.800-mal, also ebenfalls um 3 bis 4 Zehnerpotenzen größer als die empirisch gefundene vertikale Durchlässigkeit.

Für die Wasserbewegung von den Grünen Mergeln in den Mittleren Lettenkeuper wurden Leakagekoeffizienten um $5\text{E-}10$ $1/\text{s}$ definiert ([16], S. 45). Hat diese Schicht eine Mächtigkeit von $h = 10$ m, wie im Modell für den Mittleren Lettenkeuper angenommen, ergibt sich daraus eine durchschnittliche vertikale Durchlässigkeit von $k_{f,v} = C \cdot h = 5\text{E-}9$ m/s.

Nach vorliegenden Pump- bzw. Bohrlochversuchsergebnissen [2] hat der Mittlere Lettenkeuper eine statistische Bandbreite der horizontalen Durchlässigkeit ($k_{f,h}$) zwischen $4,1\text{E-}06$ und $2,0\text{E-}03$ m/s (siehe Beilage 1). Diese Werte sind 820- bis 400.000-mal größer als die aus den modellierten Leakagekoeffizienten abgeleiteten vertikalen Durchlässigkeiten.

Für den Mittleren Lettenkeuper beträgt das harmonische Mittel der in geohydraulischen Versuchen ermittelten Durchlässigkeitsbeiwerte $k_{f,v} = 8,43\text{E-}10$ m/s (siehe Beilage 1). Dieser Wert ist nach KINZEL-

BACH [17], S. 35, annähernd der vertikalen Durchlässigkeit gleichzusetzen. Er beträgt daher nur etwa ein Sechstel der aus dem modellierten Leakagekoeffizienten abgeleiteten vertikalen Durchlässigkeit.

Mithilfe höchst dubioser Leakagekoeffizienten wollen die Modellbearbeiter ihre völlige Unkenntnis der vertikalen Durchlässigkeitsbeiwerte umschiffen (so liegt z.B. von den Estheriensichten des Unterkeupers kein einziger empirischer Durchlässigkeitsbeiwert vor). Die vorstehenden Beispiele zeigen, dass dieser Kunstgriff nicht gelingen kann und die angenommenen Leakagekoeffizienten mit den festgestellten Gebirgsdurchlässigkeiten nicht kompatibel sind.

Falls die Modellbearbeiter dessen ungeachtet an Ihrem Leakage-Ansatz festhalten, sind sie aufgefordert, dazu empirische Beweise vorzulegen. Dazu ist auch auf die Arbeit von NÄDELIN [23] zu verweisen. Er warnt auf S. 72 ausdrücklich vor der „Gefahr der Überkalibrierung, wodurch das Modellergebnis an Aussagekraft verliert“ und weist auf die Notwendigkeit der empirischen Überprüfung oder zumindest Eingrenzung der kalibrierten Leakagekoeffizienten hin.

Das im Modell gewählte Leakage-Konzept krankt noch an einem weiteren Problem: Stoßen zwei Gesteinsschichten mit deutlich abweichenden Durchlässigkeiten aneinander, setzt das weniger durchlässige Gestein der Wasserbewegung einen entsprechend größeren Widerstand entgegen als das durchlässigere, welches als Drainage wirkt. Der Leakagekoeffizient müsste demnach richtungsabhängig konzipiert werden, je nachdem, ob das Wasser vom durchlässigen in das weniger durchlässige Gestein fließt oder umgekehrt. Auch darüber setzt sich das Modell hinweg und kann daher die Wirklichkeit nicht einmal in grober Näherung nachbilden.

4.8.1.3 Leakagekoeffizienten des Neckars, an den Heil- und Mineralquellen und an den Abwasserkanälen

Im Rahmen der Modellkalibrierung wurden auch die Leakagekoeffizienten am Neckar, den Heil- und Mineralquellen sowie an den Kanälen der Stadtentwässerung bestimmt. Abweichend zu [16], S. 25 definieren die Modellbearbeiter auf S. 46 den Leakagekoeffizienten flächenbezogen wie folgt:

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

wobei

A Austauschfläche

$k_{f,d}$ Durchlässigkeit der Leakageschicht

d Dicke der Leakageschicht

Die Modellbearbeiter schreiben dazu:

„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.“ ([16], S. 46)

Somit verpacken die Modellverfasser in der Blackbox „Leakagekoeffizient“ alle Wirkungsfaktoren, die sie nicht kennen. Sie lassen aber 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.²

Es gibt nichts, was an diesen frei erfundenen Leakagekoeffizienten überprüft werden kann. Sie sind damit nach allgemein herrschender Wissenschaftstheorie unwissenschaftliche und metaphysische Größen. Diesbezüglich sei auf die grundlegenden Ausführungen POPPER's verwiesen [24]. 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 wir rechnen können!), gibt es dagegen ein probates Mittel: Man ändert flugs die Leakagekoeffizienten, und schon ist die Welt wieder in Ordnung. So geschehen bei der Simulation des Langzeitpumpversuchs (siehe Kapitel 4.11 ab S. 38 dieses Berichts), die dann als Teil der „Validierung“ ausgegeben wurde.

Eine solche Vorgangsweise spricht jeder Wissenschaftlichkeit Hohn. Sie ist in wesentlichen Teilen irrational und entzieht sich dem naturwissenschaftlichen Diskurs. Darüber hinaus erscheint sie aber auch pseudowissenschaftlich, weil sie mit kompliziert klingenden Fachausdrücken, wie etwa „Leakagekoeffizient“, eine Illusion von „Wissenschaftlichkeit“ vorgaukelt und damit selbst gebildete Fachfremde hinters Licht führt. Aber auch Fachleute unkritischen Gemüts mögen sich wohl durch solche Spiegelfechtereien blenden lassen.

² Prokrustes betrieb eine Herberge im sonnigen Griechenland. Von der Reise müde, legten sich die Wanderer 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, „modellierte“ 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. ([35], [36])

4.8.2 Modellanpassung für stationäre Verhältnisse

Die Kalibrierungsergebnisse für stationäre mittlere Strömungsverhältnisse zum Stichzeitpunkt Mai 1994 sind in [16], 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 ([19], S. 32). Weiters wurde eine Liste der für die Eichung des numerischen Modells heranzuziehenden Messstellen festgelegt. Für die Überwachung der Baumaßnahme Stuttgart 21 wurden Warn- und Einstellwertmessstellen definiert.

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 ([20]).

In 11 Quartärmessstellen werden die Abweichungsgrenzwerte nach [20] an 2 (18%) und jene nach [19] an 4 (36%) überschritten. Die durchschnittliche Abweichung in den Eichmessstellen beträgt 0,11 m. Details siehe Beilage 2.

Im modelltechnisch gekoppelten Grundwasserleiter Mittlerer Gipshorizont und Bleiglanzbankschichten (km1MGH/BB) werden die Kriterien nach [20] an 3 von 4 (75%) und jene nach [19] an allen Messstellen (100%) überschritten. Die durchschnittliche Abweichung in den Eichmessstellen beträgt 3,31 m. Details siehe Beilage 2.

In 5 Messstellen im Dunkelroten Mergel (km1DRM) werden die Abweichungsgrenzwerte nach [20] an einer (20%) und nach [19] in 3 Messstellen (60%) überschritten. Die durchschnittliche Abweichung in den Eichmessstellen beträgt 0,41 m. Details siehe Beilage 2.

In den 16 Messstellen des Bochinger Horizontes (km1BH) werden die Abweichungsgrenzwerte nach [20] an 4 (25%) und jene nach [19] an 8 (50%) überschritten. Die durchschnittliche Abweichung in den Eichmessstellen beträgt 1,36 m mit einem Maximum von 7,58 m. Details siehe Beilage 2.

In 3 von 4 Messstellen der Grundgipsschichten (km1GG) werden die Abweichungsgrenzwerte nach [20] und [19] überschritten (75%). Die durchschnittliche Abweichung in den Eichmessstellen beträgt 0,65 m. Details siehe Beilage 2.

In den 4 Messstellen im Grenzdolomit (ku2GD) werden die Abweichungsgrenzwerte nach [20] in einer (25%) und nach [19] in allen (100%) überschritten. Für 2 Messstellen wurde im letztgültigen Kriterienkatalog [20] wegen des „Potenzialsprungs“ erst gar keine maximal zulässige Abweichung

festgelegt. In diesen Messstellen wurden Abweichungen von 2,18 m und 3,24 m konstatiert. Die durchschnittliche Abweichung in den Eichmessstellen beträgt 1,46 m. Details siehe Beilage 2.

In den 15 Messstellen des mittleren Lettenkeupers werden die Abweichungsgrenzwerte nach [20] an 5 (33%) und jene nach [19] an 9 (60%) überschritten. Die durchschnittliche Abweichung in den Eichmessstellen beträgt 0,25 m. Details siehe Beilage 2.

Zusätzlich zu den in der Gemeinsamen Datenbasis ([20], S. 38) definierten 14 Messstellen im Muschelkalk wurden für die Kalibrierung noch 4 weitere Messstellen herangezogen. Diese Vergleichswerte entstammen jedoch nicht der Stichtagsmessung vom Mai 1994. Um eine Vergleichbarkeit zu gewährleisten, werden in der hier vorgelegten Analyse nur die 14 Messstellen der Gemeinsamen Datenbasis berücksichtigt. In 2 (14%) davon werden die zulässigen Grenzen nach [20] und in 6 (43%) nach [19] überschritten. Die durchschnittliche Abweichung in diesen Eichmessstellen beträgt 0,33 m. Details siehe Beilage 2 und Tabelle 1.

Tabelle 1: Anteil der Eichmessstellen mit Überschreitungen der zulässigen Abweichungsgrenzen

Stratigraphische Einheit	Grenzüberschreitungen nach	
	[20]	[19]
	(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%)

4.9 Ergebnisse der instationären Modelleichung

4.9.1 Spezifische Speicherkoeffizienten

Der spezifische Speicherkoeffizient für den gespannten Speicher wurde von den Modellbearbeitern im gesamten Festgestein mit $1E-6$ angenommen ([16], S. 64). Wie schon im Kapitel 4.7.2 auf S. 16 begründet, deckt diese Annahme die Spannweite der spezifischen Speicherkoeffizienten bei weitem nicht ab.

4.9.2 Speichernutzbarer Hohlraumanteil

Die Modellbearbeiter haben für die ungespannten Grundwasservorkommen im Muschelkalkaquifer einen speichernutzbaren Hohlraumanteil von 1% und in den restlichen hydrogeologischen Einheiten des Festgesteinsgrundwasserleiters im Gipskeuper und Unterkeuper von 5% angenommen ([16], S. 64).

Während die Annahmen für den Gipskeuper und Unterkeuper nicht unplausibel erscheinen, ist es schwer vorstellbar, dass der Muschelkalk, welcher in der Regel durchlässiger ist als die vorgenannten Schichtglieder, einen wesentlich kleineren speichernutzbaren Hohlraumanteil haben soll als diese. Jedenfalls ist diese Annahme nicht nachvollziehbar und ohne empirischen Beleg.

4.9.3 Grundwasserstandsganglinien

Siehe dazu [16] (S. 57-61 und Anlage 7).

Die berechneten Ganglinien aller Messstellen weichen von den gemessenen Ganglinien teilweise stark ab. An 51 von 58 Messstellen (88%) überschreiten die berechneten Grundwasserstände die in der Gemeinsamen Datenbasis festgelegten zulässigen Grenzwerte [20] 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 ([16], 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 vorgegebene Modellqualität verfehlt wurde.

Nach THEIS ([30], S. 13), der sich in seiner Dissertation intensiv mit der Unsicherheit in den Ergebnissen von Grundwassermodellen auseinandergesetzt hat, können streng genommen keine Unsicherheiten in den Modellprognosen ermittelt werden, sondern nur die Unsicherheiten, die bei der Kalib-

rierung und „Validierung“ des Modells ermittelt wurden, auf die Prognoserechnungen transferiert werden. Nach diesem Maßstab sind also für die Prognosen ähnliche Abweichungen anzunehmen wie im Zuge der Modellkalibrierung bzw. -„validierung“. Da die Kalibrierung aber nur den „natürlichen“ Zustand nachbildet, nicht jedoch künftige Baumaßnahmen, sind für letztere noch größere Abweichungen zu erwarten. Eine Validierung nach allgemein anerkannten Grundsätzen wurde nicht durchgeführt, sodass die Prognoseunsicherheit nicht einmal annähernd abgeschätzt werden kann.

Das Modell kann daher Verlauf und Höhen der Grundwasserstände nur unzureichend nachbilden. Eine ausreichende Prognosesicherheit ist nicht einmal annähernd gewährleistet.

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

4.9.3.1 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.

4.9.3.2 Mittlerer Gipshorizont + Bleiglanzbank

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

4.9.3.3 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.

4.9.3.4 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.

4.9.3.5 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 ([16], S. 29, 70, Anl. 7.4, Anl. 8.4; [20], S. 7, 35).

4.9.3.6 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.

4.9.3.7 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.

4.9.3.8 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 die Modellbearbeiter in [16], S. 61, behaupten, dass „GWM 8108 eine ausreichend gute Anpassung“ zeige, kann das als Hinweis gewertet werden, dass sie die in der Gemeinsamen Datenbasis [20] selbst festgelegten Qualitätskriterien des Modells als unerreichbar aufgegeben haben.

4.9.4 Quellschüttungen

Der Vergleich der gemessenen und berechneten Quellschüttungsganglinien ist in [16] (S. 62-63 und Anlage 7) enthalten. Bei der Darstellung und Auswertung der Quellschüttungsganglinien wurde zwischen den so genannten Handmessungen und den kontinuierlichen MID-Messungen³ 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 ist festgelegt, dass für die Modelleichung die berechneten von den gemessenen Quellschüttungen höchsten um 2 l/s abweichen sollen ([20], S. 31).

Zur Überprüfung der Einhaltung dieses Qualitätskriteriums wurden die Abweichungen zwischen gemessenen und berechneten Quellschüttungen aus [16], Anlage 7.7, Seiten 22 bis 27 aus Messschriften abgegriffen. Wegen schlechter Scans des zur Verfügung stehenden Dokuments³ waren die Messwertverläufe in den Diagrammen schwer, teilweise auch gar nicht erkennbar, sodass die abgegriffenen Werte in der Tabelle 2 unten nicht in jedem Fall exakt sein müssen. In der Tabelle 2 fett gekennzeichnete Werte zeigen die Überschreitung der angestrebten Anpassungsgenauigkeit von ± 2 l/s.

Tabelle 2: Abweichungen zwischen gemessenen und berechneten Quellschüttungen (Jahre 1994 bis 2009; Überschreitungen der Abweichungsgrenzwerte **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			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
Inselquelle	26	40	31	41	8

³ Magnetisch induktive Durchflussmesser, kurz MID, verwenden eine Messmethode, die auf dem Faraday'schen Gesetz der elektromagnetischen Induktion beruht. Der Messaufnehmer erzeugt aus dem Durchfluss ein elektrisch nutzbares Signal.

Quelle	Schüttung gemessen [l/s]		berechnet [l/s]		Max. Abweichung [l/s]
	Min.	Max.	Min.	Max.	
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 ([16], 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 Schüttungsmin- derung 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 3).

Tabelle 3: Abweichungen zwischen gemessenen und berechneten Schüttungen an Quellen mit MID-Durchflussmessungen (Überschreitung der Abweichungsgrenzwerte **fett** gekennzeichnet)

Quelle (Zeitraum 2004-2008)	Schüttung gemessen [l/s]		berechnet [l/s]		Max. Ab- weichung [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

4.9.5 Grundwasserbilanzen

In [16], Anlage 7.8 wird der modellierte Zu- und Abfluss im Muschelkalk und Festpotenzial Feuerbach grafisch dargestellt. Auffällig daran 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 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.

4.10 Modellvalidierung für instationäre Verhältnisse auf Tagesbasis (2007- 2008)

Das Modell wurde für die Grundwasserstands- und Schüttungsmesswerte auf Tagesbasis für den Zeitraum 2007 bis Anfang 2009 „validiert“. Dazu wurde die auf Monatsbasis berechnete Piezometerhöhenverteilung am 31.12.2006 als Startbedingung für die weitere Simulation mit Tagesschritten verwendet. Als instationäre Randbedingungen auf Tagesbasis wurden die Grundwasserneubildung aus Niederschlag, die Randzuflüsse im Gipskeuper, die Festpotenzialhöhen im Muschelkalkaquifer und der Neckarwasserspiegel variiert. Ausgewertet wurden die Grundwasserstandsganglinien, die Quellschüttungen und die Wasserbilanzen des instationären Systems ([16], S. 65).

Die hier beschriebene Vorgangsweise offenbart, dass die Modellbearbeiter unter dem Begriff „Validierung“ nicht das verstehen, was nach herrschender Fachmeinung gilt. Im Leitfaden Nr. 26 der Gemeinsamen Umsetzungsrichtlinie zur Wasserrahmenrichtlinie ([12], S. 60-61) ist der Vorgang der Validierung festgelegt. Wesentliche Kernpunkte sind:

„Der Hauptunterschied zwischen Kalibrierung und Validierung ist der Zeitpunkt, zu dem diese Prozesse stattfinden:

- *Die Kalibrierung wird durchgeführt, bevor das konzeptionelle Modell⁴ als abgeschlossen betrachtet werden kann: Bei diesem Prozess wurden die Werte aller variablen Parameter so gewählt, dass die berechneten Grundwasserspiegel, Geschwindigkeiten, Konzentrationen usw. möglichst genau der Realität entsprechen.*
- *Die Validierung erfolgt nach Abschluss des konzeptionellen Modells, wenn eine signifikante Menge neuer Daten erhoben wurde; in dieser Phase kann überprüft werden, ob die neuen Daten korrekt vorhergesagt wurden; falls nicht, sollte der Kalibrierungsprozess neu begonnen werden.*

(...) Allgemein gilt, dass die auszuführenden Validierungsschritte genau geplant und aufgezeichnet werden müssen. Dabei sind Aspekte wie die Verfügbarkeit von Daten und der Abstand zum Ziel zu berücksichtigen.“

Das gegenständliche Modell genügt diesen Anforderungen nicht. Die Modellbearbeiter haben in der Validierungsphase unverdrossen weiter diverse Modellparameter verändert. Damit haben sie implizit den Beweis erbracht, dass ihr kalibriertes Modell den Anforderungen nicht genügt. Ihre „Validierung“ wird somit zu einer Fortsetzung bzw. Wiederholung der Kalibrierung, freilich ohne diese Neukalibrierung einer weiteren Validierung zu unterziehen. Diese neue Validierung hätte nämlich anhand von Daten vorgenommen werden müssen, die nicht in Kalibrierung eingeflossen sind. Erst danach hätte die Gültigkeit (Validität) des Modells beurteilt werden können. Da also eine Validierung entsprechend den allgemein anerkannten Grundsätzen nicht vorliegt, steht die Gültigkeit des Modells jedenfalls in Zweifel.

Wikipedia definiert den Begriff Validierung so [36]:

„Validierung oder Validation (...) ist der Nachweis der Reproduzierbarkeit eines Ergebnisses aus einer beschriebenen Vorgehensweise unter definierten Bedingungen. Je exakter eine Vorgehensweise beschrieben ist (weniger bestehende Freiheitsgrade), desto sicherer ist es, übereinstimmende Resultate zu erzeugen. Für eine Validierung benötigt man die Beschreibung des Zieles und des Weges. Valide bedeutet in diesem Zusammenhang, dass der Weg wiederholbar zum Ziel führt.“

Auch diesen Erfordernissen entspricht die sogenannte „Validierung“ des gegenständlichen Modells nicht. Definierte Bedingungen lagen nämlich nicht vor. Modelleingangsparameter wurden beliebig verändert und das Modell während des Prozesses angepasst. Nach dieser Definition ist die Validie-

⁴ Ein konzeptionelles Modell bildet die Grundlage für verlässliche Entscheidungen in Bezug auf Grundwasserrisikobeurteilung und -management. ([10], S. 17)

rung gescheitert, weil eine Wiederholbarkeit nicht gegeben ist und das Modell je nach Datenlage verändert werden musste.

Auch BRAUN befasst sich in seiner Habilitationsschrift ausführlich mit dem Begriff „Validierung“ [7]. Er tut das im Zusammenhang mit quantitativen Modellen von Pflanzengemeinschaften, jedoch können seine Aussagen für jede Art numerischer Modelle Geltung beanspruchen. Auf S. 14 seiner Arbeit schreibt er (Literaturzitate weggelassen):

„Der Nachweis der Gültigkeit eines Modells wird anhand der Validierung geführt. Mit ihrer Hilfe läßt sich beurteilen, inwieweit ein Modell bzw. Konzept für den intendierten Zweck geeignet ist. Außerhalb der Systemanalyse werden Validierungen ebenfalls vorgenommen. Dort steht die Validierung für die Überprüfung eines Resultats an der Realität oder inwieweit ein Testverfahren sich eignet, um bestimmte Zusammenhänge zu finden.

Für die praktische Anwendung ist ein Modell dann nützlich, wenn es sich als vertrauenswürdige Abbild realer Vorgänge erweist. Dazu muß quantifiziert werden, wie genau eine Modellprognose ist. Aussagen sollten daher nicht nur treffgenau (Akkuranz, Validität), sondern auch wiederholt gut sein (Präzision, Reliabilität).“

Auch hier zeigt sich, dass das gegenständliche Modell nicht treffgenau (valide) ist, weil es nämlich verändert werden musste, um (nach Ansicht der Modellbearbeiter) passende Ergebnisse zu liefern. Es ist daher davon auszugehen, dass neue Vergleichsdaten wiederum Modelländerungen erforderlich machen, weil gemessene und berechnete Werte nicht hinreichend übereinstimmen. Aus diesem Grund kann von einer Prognosesicherheit keine Rede sein.

Zusammenfassend ist festzustellen,

- dass keine Validierung im Sinne allgemein anerkannter Grundsätze durchgeführt wurde,
- dass die durchgeführte „Validierung“ die Notwendigkeit von Modelländerungen erwiesen hat, um eine (nach Ansicht der Modellbearbeiter zufriedenstellende) Annäherung an die Wirklichkeit zu erreichen und
- dass das „validierte“ (tatsächlich veränderte) Modell keine Prognosesicherheit gewährleistet, weil seine Wiederholbarkeit (ohne weitere Veränderungen!) nicht überprüft wurde.

Dass selbst das (angeblich) „validierte“ Modell weit von den in der Gemeinsamen Datenbasis definierten Qualitätskriterien abweicht, zeigen die nachstehenden Ausführungen.

4.10.1 Grundwasserstandsganglinien

Die Unterschiede zwischen berechneten und gemessenen Werten werden in [16] 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 in Beilage 4 zu dieser Analyse dargestellt und nachstehend 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.

4.10.2 Quellschüttungen

Die Unterschiede zwischen berechneten und gemessenen Werten werden in [16] auf Seite 66 beschrieben sowie in der Anlage 8.7, Seiten 22 bis 27 als Messschriebe wiedergegeben. Die Ergebnisse werden in nachstehender Tabelle 4 kurz zusammengefasst (**Fett**: Überschreitung des angestrebten Abweichungsgrenzwertes von ± 2 l/s):

Tabelle 4: Vergleich berechneter und gemessener Quellschüttungsmengen (Jahre 2007 – 2009)

Quelle	Max. Abweichung [l/s] (abgegriffen)		Ganglinienverlauf	Bemerkung
	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	
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%) den in der Gemeinsamen Datenbasis ([20], S. 31) angestrebten Abweichungsgrenzwert von ± 2 l/s.

An 6 Quellen liegen Ganglinien aufgrund von MID-Messungen vor. Davon überschreiten 3 (50%) den in der Gemeinsamen Datenbasis ([20], S. 31) angestrebten Abweichungsgrenzwert von ± 2 l/s.

4.11 Simulation des Langzeitpumpversuchs im Januar 2010

Im Zuge der Modellkalibrierung wurden die Ergebnisse eines Langzeitpumpversuchs ([16], S. 25, 57) verwendet, der vom 25. bis 30.1.2010 im Bereich des PFA 1.1 durchgeführt wurde. Ausführung und Ergebnisse des Pumpversuchs sind in [16], S. 68-76, sowie in [3] beschrieben.

Die Interpretation des Pumpversuchs erfolgte auf Basis des stationären Strömungsmodells. Dabei wurden stationäre mittlere hydrologische Verhältnisse angesetzt. Da allerdings die hydrologischen Verhältnisse nicht direkt mittleren hydrologischen Verhältnissen im Januar 2010 entsprachen, lassen sich mit dem Grundwassermodell nur die pumpbedingten Auswirkungen in Form von Absenkungen und Quellschüttungsminderungen auswerten. Die Modellsimulation erfolgte instationär, wobei nur die Pumpraten an den o.g. Brunnen und Messstellen entsprechend dem Pumpregime verändert wurden. Der Vergleich mit gemessenen Daten erfolgte mit Luftdruck-bereinigten Daten, da der Luftdruck in diesem Zeitraum nach Angabe der Modellbearbeiter extrem schwankte und einen entscheidenden Einfluss auf die Strömungsreaktionen im Muschelkalkaquifer gehabt habe ([16], S. 68-69).

Hier stellt sich natürlich die Frage, warum die Modellbearbeiter nicht den instationären Strömungszustand während des Pumpversuchs herangezogen haben. Dies wäre anhand der vorliegenden Daten durchaus möglich gewesen. Mindestens von den meisten, wenn nicht von allen Messstellen lagen Messwerte vor. Damit wäre es möglich gewesen, über die Auswirkungen des Pumpversuchs Vorhersagen zu treffen und mit den Messwerten zu vergleichen. Dies hätte auch die Möglichkeit gegeben, nicht nur die Veränderungen, sondern auch gemessene und berechnete Absolutwerte der Grundwasser- und Quellschüttungsganglinien miteinander zu vergleichen. Auf diese Weise hätte die Verwendbarkeit des Modells für Prognosen über die Auswirkungen der geplanten Baumaßnahmen sowie für das Grundwassermanagement geprüft und das Modell einer Validierung unterzogen werden können.

Es ist unverständlich, warum die Modellbearbeiter diese Chance zur Modellprüfung nicht wahrgenommen und stattdessen für den Versuchszeitraum unzutreffende stationäre Verhältnisse angesetzt haben. Ein naheliegendes Motiv für die gewählte Vorgangsweise könnte sein, dass die Modellbear-

beiter selbst kein Vertrauen in die Aussagesicherheit ihres Modells hatten und erhebliche Abweichungen der gemessenen von den berechneten Absolutwerten befürchteten.

Bezeichnend ist auch, dass die Modellbearbeiter den Pumpversuch zur Modellkalibrierung und nicht zur Validierung verwendet haben. Offenbar war es notwendig, Modellparameter zu verändern, um die berechneten relativen Ganglinienverläufe an die gemessenen anzupassen. An eine Annäherung der Absolutwerte war bei der gewählten Vorgangsweise ohnehin nicht zu denken, und sie konnte naturgemäß auch nicht erreicht werden.

4.11.1 Absenkungen

Die gemessenen und berechneten maximalen Absenkungen während des Pumpversuchs können Tab. 9.1 in [16] ab S. 69 entnommen werden.

Erwartungsgemäß waren die gemessenen Absenkungen in den Förderbrunnen Dinkelacker Br. 4 u. 7, BK 11/16 GM und P 174 in dieser Reihenfolge am größten. Der fünfte Förderbrunnen GWM B 3 folgt erst an 8. Stelle.

Nach der Berechnung sind die Absenkungen in den Förderbrunnen GWM B 3, Dinkelacker Br.7, BK 11/16 GM und Dinkelacker Br.4 in dieser Reihenfolge am größten, wobei P 174 erst an 6. Stelle liegt.

Ein Vergleich der gemessenen und berechneten Absenkungen in den Förderbrunnen zeigt folgende Tabelle 5:

Tabelle 5: Gemessene und berechnete maximale Absenkungen in den Förderbrunnen

Förderbrunnen	Hydro-geologische Einheit	max. Absenkung gemessen [m]	max. Absenkung berechnet [m]	gemessen - berechnet [m]	gemessen - berechnet absolut [m]
Dinkelacker Br.7	mo	2,00	0,42	1,58	1,58
Dinkelacker Br.4	mo	1,80	0,39	1,41	1,41
BK 11/16 GM	mo2	1,00	0,40	0,60	0,60
P 174	mo	0,72	0,37	0,35	0,35
GWM B 3	mo	0,40	0,47	-0,07	0,07

Daran ist zu erkennen, dass zwischen gemessenen und berechneten Absenkungen erhebliche Differenzen bestehen.

Nach Ansicht der Modellbearbeiter sei dabei zu beachten, dass an den Entnahmebrunnen aufgrund der Modelldiskretisierung von lokal 5x5 m die berechneten Absenkungen sich nicht direkt mit den gemessenen vergleichen lassen ([16], S. 71).

Dieses Argument ist zwar auf den ersten Blick nicht von der Hand zu weisen, es wäre aber modelltechnisch ein Leichtes gewesen, dieses Problem zu beheben. Dazu hätte nur die räumliche Diskretisierung verfeinert werden müssen. Es erklärt auch nicht die Tatsache, dass an etlichen anderen Messstellen der Gemeinsamen Datenbasis die dort festgelegten Abweichungsgrenzwerte überschritten wurden. Dieses Ergebnis wiegt umso schwerer, als der Vergleich nur die Veränderungen des Grundwasserspiegels betrifft. Ein Vergleich der berechneten und gemessenen Piezometerhöhen des Grundwasserspiegels wurde ja erst gar nicht durchgeführt, weil wegen des gewählten Modellierungsansatzes von vornherein keine Übereinstimmung zu erwarten war.

In den folgenden Messstellen der Gemeinsamen Datenbasis überschreiten die Abweichungen die zulässigen Grenzwerte (Fett: Überschreitung der zulässigen Abweichung nach [20]) (siehe Tabelle 6):

Tabelle 6: Gemessene und berechnete maximale Absenkungen in den Grundwassermessstellen

Bezeichnung	Hydrogeologische Einheit	zul. Abweichung [m]	gemessen - berechnet [m]
B 11	q	0,2	0,08
B 13	q	0,2	0,06
BK 11/3 GM	km1 DRM	0,2	0,10
B 9	km1BH	0,2	0,05
BK 11/1 GM	km1BH	0,2	0,11
Notbrunnen 2	km1DRM-GG	0,2	0,04
BK11/14 GM	km1GG	0,2	0,40
BK 11/99 GM	km1GG	0,2	0,39
B 213	km1 GG/ku2GD	0,2	0,03
B 225	km1 GG/ku2GD	0,2	0,05
Notbrunnen 9	ku	2	-0,07
P 171	ku	0,2	-0,10
P 173	ku	0,2	0,05
P 176	ku	0,2	0,04
Notbrunnen 3	ku(+km1GG)	0,2	-0,18
BK 11/135 GM	ku2	0,2	0,00

Bezeichnung	Hydrogeologische Einheit	zul. Abweichung [m]	gemessen - berechnet [m]
B 224	ku2A-ku2GM	0,2	-0,07
B 214	ku2LD/ku2GM	0,2	-0,01
BK 11/15 GM	ku2LD-ku2AB	0,2	-0,01
Brunnen Statistisches Landesamt	mo	0,2	-0,03
GWM 8108	mo	0,5	-0,08
GWM 840	mo	0,5	-0,06
Leonhardsbrunnen	mo	0,2	-0,17
Notbrunnen 41	mo	0,2	0,16
P 172	mo	0,2	-0,14
P 174	mo	0,2	0,35
P 177	mo	0,2	-0,05
BK 11/16 GM	mo2	0,2	0,60
B4a PM	mo2D	0,2	0,25
BK 17.1/4 PM	mo2D	0,5	-0,05

Die vorstehende Liste zeigt, dass an 5 von 30 Messstellen der Gemeinsamen Datenbasis (17%) die festgelegten Abweichungsgrenzwerte überschritten wurden. Hier sei nochmals betont, dass nicht die gemessenen und berechneten Absoluthöhen des Grundwasserspiegels verglichen wurden, sondern lediglich die relativen Absenkungen.

In welchem Ausmaß gemessene und berechnete Absoluthöhen differieren, lässt sich an den Abbildungen 9.1 bis 9.4 in [16] ungefähr abschätzen. Dort sind 4 Ganglinien an Messstellen abgebildet, wobei die Größenskalen für gemessene und berechnete Ganglinien in den Diagrammen gegeneinander verschoben sind. Aus der nachstehenden Tabelle 7 (Werte aus Abbildungen 9.1 bis 9.4 in [16] abgegriffen) lässt sich Folgendes ablesen:

Tabelle 7: Gemessene und berechnete Grundwasserstände während des Pumpversuchs zum Zeitpunkt des jeweils größten Unterschieds

Messstelle	gemessen [müA]	berechnet [müA] (Luftdruck korrigiert)	max. absolute Abweichung gemessen - berechnet [m]	Skalendifferenz gemessen - berechnet [m]	max. relative Abweichung gemessen - berechnet [m]
P177	233,56	232,34	1,22	1,3	0,08
Statistisches Landesamt	240,48	238,52	1,96	1,93	-0,03
Brunnen 224	235,96	234,74	1,22	1,37	0,15
BK 11/14	236	234,86	1,14	1,26	-0,12

Die Tabelle zeigt, dass in den vier Messstellen die gemessenen Grundwasserstände um ca. 1-2 m höher liegen als berechnet.

Aus den Abbildungen lassen sich aber noch weitere interessante Detail ablesen:

- Die gemessenen Ganglinien zeigen, dass bei allen 4 Messstellen bereits am 28.1.2010 die Absenkung zum Stillstand kam und sich ein quasistationärer Strömungszustand einstellte. Dies wird von den modellierten Ganglinien nicht nachgebildet, welche bis zum Ende des Pumpversuchs eine fallende Tendenz zeigen.
- In [16], 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.

Somit lassen sich bei der Hälfte der 4 Messstellen Dokumentationsfehler nachweisen. Diese mögen für sich genommen unerheblich erscheinen. Sie zwingen jedoch zur Vermutung, dass in der Dokumentation noch weitere Fehler enthalten sind, die in Summe zu einer wesentlich unrichtigen Darstellung und Interpretation der Ergebnisse führen können.

Die Modellbearbeiter sind aufgefordert, diese Diskrepanzen aufzuklären und richtigzustellen.

4.11.2 Quellschüttungsänderungen

Auch hier gilt das für die Grundwasserstände Gesagte, nämlich dass das Modell wegen des gewählten Modellierungsansatzes nicht in der Lage ist, absolute Schüttungsmengen zu prognostizieren, sondern lediglich relative Schüttungsänderungen vorherzusagen.

Festzuhalten ist, dass in der übergebenen Datei des Modellberichts [16] die Seite 76 fehlt. Offenbar ist auf dieser Seite die Liste der maximalen gemessenen und vom Modell berechneten Quellschüttungsänderungen (Tabelle 9.2) enthalten. Die Modellautoren sind aufgefordert, diese Liste zur Prüfung vorzulegen.

Wie bei den Grundwasserstandsganglinien sind auch bei den Quellschüttungsganglinien ([16], Abb. 9,5-9.6, ev. noch weitere auf der fehlenden S. 76) die Größenskalen für gemessene und berechnete Ganglinien in den Diagrammen gegeneinander verschoben. Aus dieser Verschiebung lassen sich die Unterschiede der Absolutwerte der gemessenen und berechneten Schüttungen ablesen. Demnach liegen bei der Inselquelle die berechneten Schüttungen ungefähr 6,6 l/s unter den gemessenen. Bei den Berger Quellen (gesamt) wurden im Schnitt ca. 7,4 l/s zu geringe Schüttungen berechnet.

Während die Schüttungsminderung bei der Inselquelle im Wesentlichen zutreffend berechnet wurde, liegt die Berechnung bei den Bergerquellen bei Pumpversuchsende um ca. 2 l/s zu hoch.

Zur Prüfung der weiteren Ergebnisse wird die Vorlage der fehlenden S. 76 des Modellberichts und der Tabelle 9.2 verlangt.

4.12 Zusammenfassung

4.12.1 Zielerreichung

Die Ziele der Modellierung sind in ([16], S. 2) wie folgt definiert (*kursiv*):

„Mit dem baubegleitenden instationären Grundwassermodell Stuttgart-Bad Cannstatt sollen sowohl die hydrologischen Schwankungen als auch die instationären Veränderungen infolge der Baumaßnahme Stuttgart 21 nachgebildet werden.“

Wie die hier vorgelegte Analyse zeigt, widersprechen zahlreiche Modellannahmen den empirisch festgestellten Größen, weitere Annahmen sind gänzlich unbelegt. Kriterium für die Erreichung dieses Ziels ist die Einhaltung der Grenzwerte für die Unterschiede zwischen gemessenen und berechneten Ganglinien der Grundwasserstände und der Quellschüttungen, so wie sie in der Gemeinsamen Datenbasis [20] festgelegt wurden. Diese Abweichungsgrenzwerte wurden vielfach überschritten. Das Modell bildet daher die Wirklichkeit nicht hinreichend genau ab. Mithin wurde das Ziel verfehlt.

„Das Grundwassermodell soll dazu dienen, die Auswirkungen durch die Baumaßnahme baubegleitend zu bewerten und die baumaßnahmenbedingten Änderungen auf das Grundwasserleitersystem von den natürlichen hydrologischen Schwankungen zu unterscheiden. Diese Aufgabenstellung ist nur mit

„einem instationären Modell möglich, in dem die Situation ohne Baumaßnahme mit den Verhältnissen mit der Baumaßnahme verglichen wird. Mit Hilfe des Modells lassen sich damit die Auswirkungen in Form von maßnahmenbedingten Absenkungen und Quellschüttungsminderungen bestimmen.“

Wie vorstehend dargelegt, bildet das Modell die Wirklichkeit nicht hinreichend genau ab. Es beinhaltet zudem nicht nachprüfbare metaphysische Elemente (siehe dazu die Kapitel 4.8.1.2 auf S. 18 und 4.8.1.2 auf S. 19 und 20). Eine Modellvalidierung nach allgemein anerkannten Grundsätzen wurde nicht durchgeführt. Die Prognoseunsicherheit hinsichtlich der geplanten Baumaßnahmen liegt daher mindestens in der Größenordnung der im Zuge der Kalibrierung festgestellten Abweichungen und ist wegen fehlender Modellvalidierung nach oben nicht einmal annähernd abschätzbar. Auch dieses Teilziel kann vom vorliegenden Modell nicht erreicht werden.

4.12.2 Zweckerfüllung

„Für die Beurteilung der Auswirkungen durch das Bahnprojekt Stuttgart 21 ist der Einsatz von baubegleitenden instationären Modellen zwingend erforderlich. Um hierfür ein prognosefähiges Modellinstrumentarium bereit stellen zu können, ist es notwendig, dieses mit allen verfügbaren Daten und Informationen aufzubauen, anhand historischer Informationen zu kalibrieren und im Hinblick auf die Prognose von baumaßnahmenbedingten Auswirkungen zu testen“ ([16], S. 77).

Das vorliegende Modell erreicht die gesteckten Ziele nicht. Eine erfolgreiche Testung im Hinblick auf die Prognose von baumaßnahmenbedingten Auswirkungen liegt nicht vor. Das Modell kann daher in seiner gegenwärtigen Form seinen Zweck nicht erfüllen.

4.12.3 Erforderliche Maßnahmen

1. Die fehlende S. 76 der Modelldokumentation ist zur Überprüfung vorzulegen.
2. Das gegenständliche Modell ist grundlegend zu überarbeiten und in allen Belangen nachvollziehbar bzw. überprüfbar zu dokumentieren. Dies betrifft insbesondere die Randbedingungen.
3. Nicht mit den empirisch festgestellten Daten übereinstimmende Eingangswerte dürfen im Modell nicht verwendet werden. Das betrifft in erster Linie die Gebirgsdurchlässigkeiten und Speicherkoeffizienten. Diese müssen zumindest in ihrer Größenordnung mit den Versuchsergebnissen in Einklang gebracht werden. Wo zu wenig empirische Daten vorliegen, sind weitere Untersuchungen durchzuführen.

4. Die Randbedingungen dürfen nicht anhand metaphysischer Größen (Leakagekoeffizienten) definiert werden und sind konkret zu beschreiben bzw. zu beziffern.
5. Die Kanalabflüsse sind empirisch zu erheben 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.)
6. Der Rechengang oder Algorithmus für die Herleitung des Neckarwasserspiegels ist anzugeben. Alternativ dazu sind die maßgeblichen Wasserspiegeldaten aus den Stauhaltungen im Modellgebiet empirisch zu erheben und in das Modell zu implementieren.
7. Die Verteilung der vertikalen Gebirgsdurchlässigkeiten darf nicht anhand unüberprüfbarer (metaphysischer) Leakagekoeffizienten simuliert werden. Sie hat sich an empirisch gewonnenen oder zumindest plausiblen Werten zu orientieren.
8. Die Gegenläufigkeit der modellierten Zu- und Abflüsse im Muschelkalk und Festpotenzial Feuerbach ist zu erklären und zu begründen.
9. Die Dokumentationsfehler im Modellbericht [16], Tabelle 9.1 sind richtigzustellen.
10. Eine Sensitivitätsanalyse ist durchzuführen. Abhängig von deren Ergebnissen müssen gegebenenfalls einzelne Parameter durch zusätzliche Experimente und Messungen gestützt werden, um zu aussagefähigen Simulationsergebnissen zu kommen.
11. Der durchgeführte Langzeitpumpversuch ist auf instationärer Basis zu modellieren und im Hinblick auf Absolutwerte der Grundwasserhöhen sowie Quellschüttungen auszuwerten. Dazu kann auf vorhandene Grundwasserstands- und Quellschüttungsdaten im Zeitraum des Pumpversuchs zurückgegriffen werden.
12. Das Modell ist einer Validierung nach dem Stand der Technik zu unterziehen. Dabei sind Messgrößen bzw. Eingangsdaten heranzuziehen, die nicht für die Kalibrierung verwendet wurden.
13. Nach erfolgreicher Validierung muss das System einem Praxistest unterworfen werden. Dazu sind die vom Amt für Umweltschutz definierten Testszenarien heranzuziehen, in denen „Störfälle“ auf der Basis der instationären Hydrologie betrachtet werden sollen (siehe [19], S. 79).
14. Die Prognosesicherheit ist im Hinblick auf das geplante Grundwassermanagement nachvollziehbar zu evaluieren.

15. Zur Gewährleistung einer belastbaren Modellqualität und Prognosesicherheit sowie zur Vermeidung weiterer Modellmängel sind vom Bund für Umwelt- und Natur Deutschland benannte Fachleute in die Modellentwicklung und -überprüfung einzubeziehen.

5 GRUNDWASSERSTRÖMUNGSMODELL DER ARGE WUG

Zweck und Aufgabe des Grundwasserströmungsmodells ist es, die hydrogeologischen und geohydraulischen Verhältnisse so realitätsnah nachzubilden, dass zur Realisierung des Vorhabens „Stuttgart 21“

1. annähernd richtige Vorhersagen über die Auswirkungen der geplanten Eingriffe in das Grundwasser getroffen werden können und
2. Grundlagen für ein Grundwassermanagement (GWM) geschaffen werden, die es ermöglichen, die Eingriffe in den Grundwasserhaushalt (vorwiegend Grundwasserentnahmen und -umleitungen) mittels Kompensationsmaßnahmen (insbesondere Wiedereinspeisung entnommenen Grundwassers) soweit zu minimieren, dass erhebliche Schäden ausbleiben.

Im Zuge der Modelleichung wurden für den Zeitraum 1994-2006 Randbedingungen festgelegt und Modellparameter so variiert, dass eine möglichst weitgehende Annäherung der damit berechneten Grundwasserstands- und Schüttungsmengen an die gemessenen Werte erreicht wird. In der nachfolgenden Validierungsphase wurde für den Zeitraum 2007-2008 überprüft, ob die Modelleingangsdaten eine weitgehende Übereinstimmung der berechneten Grundwasserstands- und Schüttungsmengen mit den gemessenen Werten erbringen.

Erfolgsmaßstab für die Modelleichung und -validierung waren vorgegebene Maximalwerte für die Differenz zwischen Mess- und Rechenwerten an vorher definierten Messstellen. Die ursprünglichen Vorgaben [19] wurden später abgemildert ([20]), als sich im Zuge der Bearbeitung herausstellte, dass sie nur teilweise erreichbar waren. Später hat die ARGE WASSER - UMWELT – GEOTECHNIK diese Qualitätsanforderungen nochmals herabgesetzt ([4]). Selbst anhand dieser „entschärften“ Kriterien konnte keine weitgehende Annäherung des Modells an die Wirklichkeit gezeigt werden (siehe Kap. 5.5).

Bei der Eichung eines Grundwasserströmungsmodells dürfen die eingegebenen Materialeigenschaften nur im Rahmen plausibler Grenzen variiert werden. Das vorliegende Modell erfüllt dieses Qualitätskriterium nur unvollständig, wie in den Kapiteln 5.2 und 5.3 gezeigt wird. Wenn diese Voraussetzung nicht erfüllt ist, muss bei späteren Eingriffen, die in vergleichbarer Form im Eichungszeitraum nicht vorgekommen sind, mit erheblichen Fehlprognosen gerechnet werden. Bei dem geplanten

Bauvorhaben, einschließlich dem Grundwassermanagement, handelt es sich um einen solchen Eingriff.

5.1 Nicht näher spezifizierbare Modellfehler

Nach [4], S. 19, weist das Flächennetz des IGWSM 63.303 Elemente und 31.758 Knoten pro Modellebene auf. In [4], S. 38, werden für das 3-dimensionale Modellnetz 1.392.666 prismatische Elemente und 730.434 Knoten angegeben.

Diese Angaben sind nicht nachvollziehbar und sehr wahrscheinlich unrichtig. Sie widersprechen der geometrischen Tatsache, dass die Anzahl der Knoten niemals kleiner sein kann als jene der Elemente.

Diese Fehlangaben beweisen zwar nicht unmittelbar die Unbrauchbarkeit des Modells; sie zeigen aber dessen Mangelhaftigkeit und lassen weitere (noch verborgene) Fehler und Mängel vermuten. Das Modell leidet daher an grundsätzlicher Unglaubwürdigkeit. Alle Daten sind zur vollständigen Überprüfung offen zu legen.

5.2 Unrichtige Speicherkoeffizienten

Das Modell nimmt für die Schichten des Quartärs (i.W. jüngste Ablagerungen, z.B. Flusssedimente) spezifische Speicherkoeffizienten zwischen 10^{-6} und $5 \cdot 10^{-3} \text{ m}^{-1}$ an (Anlagen 5.1 und 5.2 zu 0). Diese Modellannahmen sind völlig unrealistisch und widersprechen allen Erfahrungen.

Der spezifische Speicherkoeffizient gibt an, wie viel Kubikmeter Wasser ein Kubikmeter Gestein bei Absenkung bzw. Aufhöhung des Grundwasserdruckspiegels um 1 m abgibt bzw. aufnimmt. Der Speicherkoeffizient (ohne den Zusatz „spezifisch“) ist das Integral des spezifischen Speicherkoeffizienten über die Mächtigkeit der wasserführenden Schicht.

Bei freiem Grundwasserspiegel (also „ungespannten“ Grundwasserverhältnissen) entspricht der Speicherkoeffizient annähernd dem effektiven (nutzbaren oder wirksamen) Porenvolumen. Dieses liegt bei Lockergesteinen (Tonen, Schluffen, Sanden, Kiesen, Steinen und deren Gemischen) ca. zwischen 3 und 50 Prozent des Gesamtvolumens ([14], S.77, Abb. 32). Bei einer ungefähren Durchschnittsmächtigkeit des Quartärs im Modellgebiet von 10 m entspricht dies spezifischen Speicherkoeffizienten von ca. $3 \cdot 10^{-3}$ bis $5 \cdot 10^{-2} \text{ m}^{-1}$. In Anlage 4.1 und 4.2 zu [4] wird die nutzbare Porosität mit bis zu 25% beziffert, was zwar realistisch erscheint, jedoch mit den Modellannahmen zum spezifischen Speicherkoeffizienten bei freiem Grundwasserspiegel absolut unvereinbar ist.

Bei den Schichten des Quartärs im Modellgebiet handelt es sich wohl größtenteils um Lockersedimente. Es ist dort auch weitaus überwiegend mit einem freien Grundwasserspiegel zu rechnen. Die Modellannahmen liegen somit um Zehnerpotenzen zu tief. Das Modell ist also in seinen Grundannahmen falsch.

Wenn ein Modell auf falschen Modellannahmen beruht, kann es zwar in Teilbereichen (scheinbar) „richtige“ Ergebnisse produzieren, diese gelten aber nur für die untersuchten Zustände. Aus der Basis wirklichkeitsfremder Modellannahmen können für Modellzustände, die von den untersuchten abweichen (wie z.B. die geplanten Baumaßnahmen samt Grundwassermanagement), keine zuverlässigen Prognosen getroffen werden. Das trifft auf das gegenständliche Modell zu.

5.3 Unrealistische Durchlässigkeitsbeiwerte

Die kalibrierten horizontalen Durchlässigkeiten der einzelnen Schichtglieder ([4], Anlage 3) stehen mit den geohydraulischen Versuchsergebnissen der Gemeinsamen Datenbasis [2] nicht im Einklang. Das zeigen die Vergleiche in Beilage 7 sowie die nachstehende Tabelle 8:

Tabelle 8: Vergleich der kalibrierten horizontalen Durchlässigkeitsbeiwerte mit den Ergebnissen der geohydraulischen Bohrlochversuche

Kalibrierte horizontale Durchlässigkeit				Ergebnisse der geohydraulischen Bohrlochversuche				
Schichtglied	Min.	Max.	Schichtglied (Vergleich)	kleinster Wert	Stabw. log. unten	Geometrisches Mittel	Stabw. log. oben	größter Wert
q	5E-07	1E-02	q	1,31E-08	9,44E-06	2,48E-04	6,51E-03	5,31E-01
km2S/ km1ES-ko	1E-09	>1E-02	km1ES	9,91E-13	7,87E-11	9,04E-08	1,04E-04	2,68E-03
km1MGH	1E-09	1E-02	km1MGH	1,69E-12	8,16E-10	7,68E-08	7,24E-06	5,30E-04
km1BB	1E-09	1E-02	km1BB	3,31E-12	1,21E-08	9,80E-07	7,93E-05	4,00E-03
km1DRM	1E-09	1E-02	km1DRM	8,40E-13	7,53E-09	3,86E-07	1,98E-05	1,41E-04
km1BH	1E-09	1E-02	km1BH	2,01E-13	2,33E-07	7,60E-06	2,48E-04	1,90E-02
km1GG	1E-09	5E-05	km1GG	4,10E-11	3,74E-08	3,03E-06	2,46E-04	3,71E-03
ku2GD	1E-09	1E-03	ku2GD	1,00E-11	4,59E-07	3,57E-05	2,77E-03	2,80E-02
ku2GM	1E-09	1E-04	ku2GM	3,20E-09	4,21E-07	1,76E-05	7,38E-04	2,00E-04
ku2LD-ku1F	1E-06	5E-04	ku2LD/ ku2AD	1,11E-05	1,51E-05	2,97E-05	5,84E-05	4,81E-05
ku2	5E-07	5E-04	ku2	1,00E-11	4,05E-06	8,89E-05	1,95E-03	2,80E-02
mo1	1E-05	5E-03	mo	3,20E-05	6,37E-05	1,99E-04	6,23E-04	4,69E-03
mo2	1E-06	5E-04	mo2	3,20E-05	6,86E-05	1,69E-04	4,19E-04	2,10E-03

Legende zur Tabelle 8:

fett	Werte außerhalb der Bandbreite der geohydraulischen Versuchsergebnisse
q	Quartär
km2S/km1ES-ko	Schilfsandstein/Estheriensichten bis oberer Keuper
km1ES	Estheriensichten (Mittelkeuper)
km1MGH	Mittlerer Gipshorizont
km1BB	Bleiglanzbank
km1DRM	Dunkelrote Mergel
km1BH	Bochinger Horizont
km1GG	Grundgipsschichten
ku2GD	Grenzdolomit
ku2GM	Grüne Mergel
ku2LD-ku1F	Linguladolomit – Sandstein-Flutfazies
ku2LD/ku2AD	Linguladolomit + Anoplophoradolomit
ku2	Mittlerer Lettenkeuper (gesamt)
mo	Oberer Muschelkalk (gesamt)
mo1	Oberer Muschelkalk (höherer Abschnitt)
mo2	Oberer Muschelkalk (tieferer Abschnitt)

An den kalibrierten Werten fällt auf, dass die Durchlässigkeiten der höheren Schichtglieder (bis einschließlich der Dunkelroten Mergel) generell zu hoch angesetzt wurden, während die Modellannahmen für die tieferen Schichten (ab einschließlich den Grünen Mergeln) tendenziell zu niedrig liegen.

Die kalibrierten vertikalen Durchlässigkeiten der einzelnen Schichtglieder ([4], Anlage 3) widersprechen auch den harmonischen Mittelwerten der in der Gemeinsamen Datenbasis [2] dokumentierten Durchlässigkeitsbeiwerten, welche nach KINZELBACH ([17], S. 35) annähernd der vertikalen Durchlässigkeit gleichzusetzen sind. Das zeigt die nachstehende Tabelle 9 (**fett**: Werte außerhalb der kalibrierten Bandbreite):

Tabelle 9: Vergleich der kalibrierten vertikalen Durchlässigkeitsbeiwerte mit harmonischen Mittelwerten der in geohydraulischen Versuchen festgestellten Durchlässigkeiten

Kalibrierte vertikale Durchlässigkeitsbeiwerte Modell WUG				Vergleichswerte aus der Gemeinsamen Datenbasis	
Kurzbezeichnung	Schichtglied	Minimum	Maximum	Harmonisches Mittel* (Anhalt für vertikale Durchlässigkeit)	
q	Quartär	1,00E-06	>1,00E-02	2,25E-06	n = 382
km2S / km1ES-ko	Schilfsandstein/Estheriensichten bis oberer Keuper	1,00E-09	>1,00E-02	2,20E-11	Estheriensichten (Mittelkeuper), n = 43
km1MGH	Mittlerer Gipshorizont	1,00E-12	1,00E-02	1,20E-10	n = 202
km1BB	Bleiglanzbankschichten	1,00E-12	1,00E-02	3,01E-10	n = 138
km1DRM	Dunkelrote Mergel	1,00E-09	1,00E-02	1,33E-10	n = 256

Kalibrierte vertikale Durchlässigkeitsbeiwerte Modell WUG				Vergleichswerte aus der Gemeinsamen Datenbasis	
Kurzbezeichnung	Schichtglied	Minimum	Maximum	Harmonisches Mittel* (Anhalt für vertikale Durchlässigkeit)	
km1BH	Bochinger Horizont	1,00E-12	1,00E-02	8,87E-11	n = 462
km1GG	Grundgipsschichten	1,00E-12	5,00E-03	2,01E-09	n = 102
ku2GD	Grenzdolomit	1,00E-09	1,00E-04	2,92E-10	n = 50
ku2GM	Grüne Mergel	1,00E-12	5,00E-05	4,45E-09	n = 2
ku2LD-ku1F	Linguladolomit – Sandstein-Flutfazies	1,00E-07	5,00E-05	2,44E-05	Linguladolomit + Anoplophoradolomit, n = 4
ku1ES	Estheriensschichten (Unterkeuper)	1,00E-12	5,00E-06	–	keine Werte in gemeinsamer Datenbasis
mo1	Oberer Muschelkalk (höherer Bereich)	1,00E-06	5,00E-04	1,26E-04	Oberer Muschelkalk gesamt, n = 41
mo2	Oberer Muschelkalk (unterer Bereich)	1,00E-07	5,00E-05	1,20E-04	Oberer Muschelkalk (mo2), n = 39

* Siehe Beilage 1

Im Quartär sind vertikale Durchlässigkeiten $>1E-2$ m/s schlechthin unvorstellbar. Sehr wahrscheinlich sind sie um einige Zehnerpotenzen kleiner.

In den oberen Schichten des Mittelkeupers bis zum Oberkeuper liegen die Modellannahmen weit über den vergleichsweise herangezogenen Werten der Estheriensschichten des Mittelkeupers. Unter den 43 dokumentierten Werten der Gemeinsamen Datenbasis weisen letztere einen Maximalwert von $2,68E-03$ m/s für die schichtparallele Durchlässigkeit auf (siehe Beilage 1). Noch größere Annahmen für die schichtnormale Durchlässigkeit sind völlig unrealistisch.

Testläufe des Modells zeigten, dass die in den westlichen und südlichen, primär vergipsten Außenbereichen Niederschlagswässer aufgrund der dort vorkommenden geringen Durchlässigkeiten von $1E-12$ m/s nicht vollständig den Grundwasserleitern zugeführt werden kann. Daraus resultierend wurden zu hohe, teilweise über Geländeniveau liegende Grundwasserspiegel berechnet. Statt ein realistisches Abbild der Oberflächengewässer in das Modell zu implementieren, haben sich die Bearbeiter damit beholfen, dass sie der hangenden Schicht des Horizontes km2S/km1Es-ko (Schilfsandstein, Estheriensschichten des Mittelkeupers bis oberer Keuper) in den vergipsten Bereichen eine höhere horizontale und vertikale Durchlässigkeit von $1E-6$ m/s zugewiesen haben ([4], S. 40). In den beiden liegenden Schichten des Horizontes km2S/km1Es-ko wurde die erhöhte vertikale Durchlässigkeit von $1E-6$ m/s in den vergipsten Bereichen beibehalten und nur die horizontale Durchlässigkeit

auf den Wert von $1\text{E-}12$ m/s zurückgesetzt. D.h., es wurde angenommen, dass die vertikale Grundwasserbewegung eine Million mal leichter vonstattengeht als in seitliche Richtungen.

Diese Annahmen sind empirisch unbelegt und völlig unrealistisch. In aller Regel ist die horizontale Durchlässigkeit gleich groß oder größer als die vertikale. Davon sind die Modellbearbeiter auch bei allen anderen Schichten ausgegangen, indem sie so genannte Anisotropiefaktoren eingeführt haben ([4], S. 39, 89, Tab. 2.1).

Ebenso unrealistisch sind die kalibrierten Höchstwerte für den Mittleren Gipshorizont. Der in der Gemeinsamen Datenbasis dokumentierte Höchstwert für die schichtparallele Durchlässigkeit liegt bei $5,30\text{E-}04$ m/s (siehe Beilage 1). Die teils noch höheren Annahmen für die vertikale Durchlässigkeit sind absolut wirklichkeitsfremd.

Dasselbe gilt für die Bleiglanzbankschichten, deren Höchstwert für die horizontale Durchlässigkeit unter 138 geohydraulischen Versuchsergebnissen bei $4,00\text{E-}03$ m/s liegt (siehe Beilage 1).

Bei den Dunkelroten Mergeln weichen die kalibrierten Werte noch krasser von den in der Gemeinsamen Datenbasis dokumentierten Versuchsergebnissen ab. In 256 geohydraulischen Versuchen wurde ein Maximalwert von $1,41\text{E-}04$ m/s für die horizontale Durchlässigkeit ermittelt. Angesichts dessen sind die Modellannahmen von bis zu $1\text{E-}02$ m/s für die vertikale Durchlässigkeit jenseits aller Vorstellbarkeit.

Auch im Bochinger Horizont nehmen die Modellbearbeiter Durchlässigkeitsbeiwerte von bis zu $1\text{E-}02$ m/s an. In 462 geohydraulischen Versuchen wurde für die schichtparallele Durchlässigkeit ein Maximalwert von $1,9\text{E-}02$ m/s ermittelt, der wahrscheinlich als „Ausreißer“ anzusehen ist. Die vertikale Durchlässigkeit ist wahrscheinlich um Zehnerpotenzen kleiner, wie auch das harmonische Mittel der Versuchswerte andeutet (siehe Beilage 1).

In den Grundgipsschichten setzen die Modellbearbeiter die vertikale Durchlässigkeit mit bis zu $5\text{E-}03$ m/s an. Sie überschreiten damit den empirisch gefundenen Versuchswert für die horizontale Durchlässigkeit von $3,71\text{E-}03$ m/s (siehe Beilage 1). Angesichts der Tatsache, dass die vertikalen Durchlässigkeiten so gut wie immer kleiner sind als die horizontalen, ist auch diese Modellannahme realitätsfremd.

Wie unrealistisch die Modellannahmen für vergipste Formationen sind, zeigen neue Versuchsergebnisse im Bereich der Nesenbachtalquerung für die Grundgipsschichten. Dort wurden lokal horizontale Durchlässigkeiten von bis zu $5 \cdot 10^{-4}$ m/s festgestellt ([4], S. 89), wobei noch größere vertikale Durchlässigkeiten schlechthin undenkbar sind.

Für den Grenzdolomit liegen die Modellannahmen der vertikalen Durchlässigkeit mit $1\text{E-}09$ bis $1\text{E-}04$ m/s innerhalb des empirisch festgestellten Wertebereichs für die horizontale Durchlässigkeit (siehe Beilage 1). Die in geohydraulischen Versuchen bestimmte Werteverteilung ergibt jedoch ein harmonisches Mittel von $2,92\text{E-}10$ m/s, welches die untere Grenze der Modellannahmen noch unterschreitet. In Verbindung mit der Tatsache, dass die vertikalen Durchlässigkeiten fast immer kleiner sind als die horizontalen, ist daher davon auszugehen, dass die kalibrierten vertikalen Durchlässigkeitsbeiwerte in weiten Bereichen zu hoch angesetzt wurden.

Bei den Grünen Mergeln gehen die Modellbearbeiter von einer Bandbreite der vertikalen Durchlässigkeit von $1\text{E-}12$ bis $5\text{E-}05$ m/s aus. Dieser weitgespannten Annahme stehen lediglich zwei in der Gemeinsamen Datenbasis dokumentierte Versuchsergebnisse für die horizontale Durchlässigkeit ($3,2\text{E-}09$ und $7,3\text{E-}09$ m/s) gegenüber. Einige weitere Versuche umfassen zwar auch die Grünen Mergel, erstrecken sich aber zusätzlich auf andere Schichtglieder. Den Modellannahmen fehlt daher eine gesicherte empirische Grundlage.

Eine gesicherte empirische Grundlage fehlt auch den Modellannahmen für den Schichtbereich Linguladolomit bis Sandstein-Flutfazies. Anhand von 4 Werten aus der Gemeinsamen Datenbasis kann ein Vergleich mit geohydraulischen Versuchen gezogen werden, die im Lingula- und Anoplophoradolomit durchgeführt werden. Die dabei ermittelten Werte liegen zwar innerhalb der Modellannahmen, von einer gesicherten empirischen Basis kann jedoch nicht gesprochen werden.

Völlig ohne empirische Grundlage sind die Modellannahmen zu den Estherienschiefern des Unterkeupers. In der Gemeinsamen Datenbasis sind dazu keine Versuchsergebnisse enthalten. Die kalibrierten Werte beruhen auf reiner Spekulation.

Im Oberen Muschelkalk unterscheiden die Modellbearbeiter zwischen einem höheren und einem tieferen Bereich. Für ersteren gehen sie von vertikalen Durchlässigkeiten zwischen $1\text{E-}06$ und $5\text{E-}04$ m/s aus, für letzteren setzen sie den Durchlässigkeitsbereich um eine Zehnerpotenz geringer an. In der Gemeinsamen Datenbasis sind die Ergebnisse von 41 geohydraulischen Versuchen dokumentiert, von denen 39 auf den unteren Bereich (m_02) entfallen (siehe Beilage 1). Bei den beiden anderen Versuchsergebnissen ist fraglich, ob sie dem höheren oder tieferen Horizont zuzurechnen sind, oder ob die Versuchsdurchführung beide Horizonte umfasste. Festzustellen ist, dass diese beiden Versuche Durchlässigkeitsbeiwerte von $4,64\text{E-}03$ und $4,69\text{E-}03$ m/s erbrachten, was nur wenig mehr ist, als der Höchstwert im tieferen Abschnitt ($2,10\text{E-}03$ m/s). Die Modellannahme, dass der höhere Abschnitt zehnmal durchlässiger sei, als der tiefere, kann daher bestenfalls als Vermutung angesehen werden.

Weiters ist festzuhalten, dass die empirisch gefundene Durchlässigkeitsverteilung relativ ähnliche geometrische und harmonische Mittelwerte zwischen $1\text{E-}4$ und $1\text{E-}3$ m/s ergibt. Daraus kann geschlossen werden, dass die vertikalen Durchlässigkeiten nur wenig kleiner sind als die horizontalen. Angesichts des in den Versuchen bestimmten kleinsten Durchlässigkeitswerts von $3,20\text{E-}05$ m/s ist davon auszugehen, dass die Modellannahmen für die vertikale Durchlässigkeit von $1\text{E-}06$ bis $5\text{E-}04$ m/s für den oberen und $1\text{E-}07$ bis $5\text{E-}05$ m/s für den unteren Abschnitt um etwa eine Zehnerpotenz zu gering bemessen sind.

Völlig unbegründet und empirisch unbelegt ist auch die Modellannahme, dass der Durchlässigkeitsbeiwert der Kolmationsschicht des Neckars $1\text{E-}7$ m/s und deren Mächtigkeit 1 m beträgt ([4], S. 52). Noch spekulativer und unrealistischer ist die zusätzliche Annahme, dass diese Durchlässigkeit nur für den Zustrom von Grundwasser in den Neckar gelten soll und die Durchlässigkeit dieser Kolmationsschicht für den Abstrom in das Grundwasser nur ein Viertel davon ($2,5\text{E-}8$ m/s) beträgt. Damit modellieren die Bearbeiter die Kolmationsschicht als eine Art „Rückschlagventil“, das für den Abstrom aus dem Grundwasser in den Fluss viermal durchgängiger ist als umgekehrt.

Die genannten Durchlässigkeiten betrachten die Modellbearbeiter als Initialwerte, die im Verlauf der stationären und instationären Eichung weiter angepasst werden sollen. Dem Bericht ist aber nicht zu entnehmen, zu welchen Werten weitere Anpassungen geführt haben. Gemäß Angabe der Modellierer [[4], S. 86-87] wurden die Initialwerte nahezu beibehalten..

Auch am Beispiel der Durchlässigkeiten zeigt sich, dass das instationäre Modell nur unter unrealistischen und wahrscheinlich unzutreffenden Annahmen zu Ergebnissen führt, die den Bearbeitern brauchbar erscheinen. Es modelliert also nicht annähernd die Wirklichkeit, sondern eine realitätsferne Illusion. Das hat nachteilige Auswirkungen auf seine Aussagekraft und Prognosesicherheit, welche beide für zukünftige (von den bisherigen abweichende) Modellzustände unzulänglich sind.

5.4 Nichtberücksichtigung geologischer Störungen

Geologische Störungen können in geohydraulischer Hinsicht in unterschiedlicher Weise wirksam werden. 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. Viele Mineral- und Thermalwasserquellen verdanken diesem Umstand ihre Existenz.

Störungen wurden sowohl bei der Erarbeitung des Superelemente-Netzes als auch dementsprechend bei dem daraus resultierenden Finite-Elemente-Netz nicht berücksichtigt ([4], S. 18). Begründet wird

das ausdrücklich mit ihrer „nicht bekannten hydraulischen Wirkungsweise“. Dies ist schon deshalb als Mangel zu betrachten, weil im Bereich von Störungszonen Mineralwasseraufstiege aus dem Oberen Muschelkalk existieren ([4], S. 52), welche dem oberflächennahen Grundwasser erhebliche Wassermengen zuführen und auch tiefere Grundwasserstockwerke alimentieren. Soweit aus den bisher vorliegenden Unterlagen hervorgeht, sind diese Komponenten der Grundwasserbilanz empirisch kaum bekannt.

Auch wenn dazu wenigstens eine oberflächliche Erkundung der geohydraulischen Wirkungen Voraussetzung ist, erscheint eine Abbildung geologischer Störungen unverzichtbar. Technisch ist diese Modellierung möglich, indem die Störungen als geologische Schichten nachgebildet werden, welche die sedimentäre Schichtfolge kreuzen. Die jeweilige Wasserleitfähigkeit muss dabei abschnittsweise mit plausiblen Werten zugewiesen und kalibriert werden.

Die weitgehende Vernachlässigung geologischer Störungen führt mit hoher Wahrscheinlichkeit zu erheblichen Fehlern in der modellinternen Grundwasserbilanz. Offenbar liegt darin eine der Ursachen für die Notwendigkeit, modellrelevanten Materialeigenschaften (Speicherkoeffizient, Wasserdurchlässigkeit etc.) 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 Validierungsergebnissen (siehe Kap. 5.5).

5.5 Nichterfüllung der Eich- und Validierungskriterien

Die Modellzielsetzung wurde wie folgt definiert:

„Ziel der Modellierung ist eine hinreichend genaue Erfassung und Nachbildung der natürlichen Grundwasserverhältnisse im Zentrum des Einzugsgebiets der Heil- und Mineralquellen mit besonderem Augenmerk auf die Verhältnisse in den mineralwasserführenden Schichten und Reaktionen an den Heilquellen.“ ([20], S. 30)

Für die Modelleichung hat der Arbeitskreis Grundwassererkundung und -modellierung Kriterien für die Beurteilung der Übereinstimmung der Grundwasserstands- und Schüttungsmessdaten mit den berechneten Werten definiert ([19], S. 32). Weiters wurde eine Liste der für die Eichung des numerischen Modells heranzuziehenden Messstellen festgelegt. Für die Überwachung der Baumaßnahme Stuttgart 21 wurden Warn- und Einstellwertmessstellen definiert.

Im Zuge der Modelleichung hat sich herausgestellt, dass die zulässigen Abweichungen der Rechenwerte von den Messdaten vielfach nicht eingehalten werden konnten. Darauf wurde nicht mit einer Modellverbesserung reagiert, sondern mit einer Herabsetzung der Qualitätskriterien ([20], S. 32). Da auch diese Anforderungen nicht durchgehend erfüllt werden konnten, hat die ARGE WUG die zulässigen Abweichungen weiter erhöht (Beilagen 1.2.1-1.2.8 zu [4]).

5.5.1 Stationär geeichte Grundwasserströmungsverhältnisse

Siehe dazu [4], Kap. 4.2.1. Bei den folgenden Betrachtungen werden nur die in [20], S. 35ff, genannten Eichmessstellen berücksichtigt.

Zusammengefasst zeigen sich in den Grundwassermessstellen folgende Überschreitungen der festgelegten Abweichungsgrenzen:

In 11 Quartäreichmessstellen werden die zulässigen Grenzen nach [4] eingehalten. Die Kriterien nach [20] werden an 3 von 12 (25%) und jene nach [19] an 6 von 12 Eichmessstellen (50%) überschritten. Die durchschnittliche Abweichung sämtlicher Messstellen (nicht nur Eichmessstellen) beträgt 0,68 m. Details siehe Beilage 5.

Im modelltechnisch gekoppelten Grundwasserleiter Mittlerer Gipshorizont und Bleiglanzbankschichten (km1MGH/BB) sind nach [4] keine Eichmessstellen ausgewiesen. Die Kriterien nach [20] werden an 1 von 4 (25%) und jene nach [19] an 3 von 4 (75%) Messstellen überschritten. Die durchschnittliche Abweichung sämtlicher Messstellen beträgt 1,03 m. Details siehe Beilage 5.

In 3 Eichmessstellen im Dunkelroten Mergel (km1DRM) werden die zulässigen Grenzen nach [4] eingehalten. Die Kriterien nach [20] werden an allen 5 Messstellen eingehalten und in einer davon (20%) nach [19] überschritten. Die durchschnittliche Abweichung sämtlicher Messstellen (nicht nur Eichmessstellen) beträgt 0,82 m. Details siehe Beilage 5.

In 2 von 9 Eichmessstellen des Bochinger Horizontes (km1BH) werden die zulässigen Grenzen nach [4] überschritten (22%). Die Kriterien nach [20] werden an 4 von 13 (31%) und jene nach [19] an 7 von 16 Messstellen (44%) überschritten. Die durchschnittliche Abweichung sämtlicher Messstellen (nicht nur Eichmessstellen) beträgt 0,73 m. Details siehe Beilage 5.

In 3 von 7 Eichmessstellen der Grundgipsschichten einschließlich des Grenzdolomits (km1GG/ku2GD) werden die zulässigen Grenzen nach [4] überschritten (43%). Die Kriterien nach [20] werden ebenfalls an 3 von 7 (43%) und jene nach [19] an 5 von 8 Messstellen (63%) überschritten. Die durchschnittliche Abweichung sämtlicher Messstellen (nicht nur Eichmessstellen) beträgt 0,74 m. Details siehe Beilage 5.

In 4 von 15 Eichmessstellen des mittleren Lettenkeupers (ku2) werden die zulässigen Grenzen nach [4] überschritten (27%). Die Kriterien nach [20] werden an 5 von 16 (31%) und jene nach [19] an 7 von 15 Eichmessstellen (47%) überschritten. Die durchschnittliche Abweichung sämtlicher Messstellen (nicht nur Eichmessstellen) beträgt 0,54 m. Details siehe Beilage 5.

In 8 von 13 Eichmessstellen des Muschelkalks (mo) werden die zulässigen Grenzen nach [4], [20] und [19] überschritten (62%). Die durchschnittliche Abweichung sämtlicher Messstellen (nicht nur Eichmessstellen) beträgt 0,46 m. Details siehe Beilage 5.

Eine Zusammenstellung der in Beilage 5 aufgelisteten Überschreitungen der zulässigen Abweichung zeigt Tabelle 10.

Tabelle 10: Anteil der Eichmessstellen mit Überschreitungen der zulässigen Abweichungsgrenzen

Stratigraphische Einheit	Grenzüberschreitungen nach		
	[4]	[20]	[19]
	(Überschreitungsanzahl / Messstellenanzahl)		
Quartär	0 / 11 (0%)	3 / 12 (25%)	6 / 12 (50%)
Mittl. Gipshorizont und Bleiglanzbankschicht	-	1 / 4 (25%)	3 / 4 (75%)
Dunkelrote Mergel	0 / 3 (0%)	0 / 5 (0%)	1 / 5 (20%)
Bochinger Horizont	2 / 9 (22%)	4 / 13 (31%)	7 / 16 (44%)
Grundgipsschichten + Grenzdolomit	3 / 7 (43%)	3 / 7 (43%)	5 / 8 (63%)
Mittlerer Lettenkeuper	4 / 15 (27%)	5 / 16 (31%)	7 / 15 (47%)
Muschelkalk	8 / 13 (62%)	8 / 13 (62%)	8 / 13 (62%)
Alle stratigraphischen Einheiten	17 / 58 (29%)	24 / 70 (34%)	37 / 73 (51%)

Die Ergebnisse der stationären Eichung erfüllen bei der Hälfte der maßgeblichen Messstellen die ursprünglich definierten Anforderungen nicht. Auch die abgemilderten Kriterien werden bei einem Drittel der Messstellen verfehlt. Sogar nach einer weiteren Entschärfung der Übereinstimmungskriterien überschreiten noch 29 Prozent der Messstellen die Grenzen der zulässigen Abweichungen. Besonders gravierend fällt ins Gewicht, dass mehr als die Hälfte der Messstellen im Muschelkalk die Zielkriterien verfehlen.

Ziel der stationären Eichung war die aufgabenadäquate Abbildung der hydrogeologischen Systemvorstellung unter Berücksichtigung der neuen Erkenntnisse aus den Erkundungsprogrammen. Letzteren ist eine besondere Gewichtung zu geben, da die numerische Abbildung der Durchlässigkeiten bzw.

Transmissivitäten im trassennahen Bereich für die Reproduktion der bauzeitlichen Wasserhaltung und Infiltration während der späteren Baubegleitung zwingend erforderlich ist ([4], S. 68). Anhand der vorliegenden Eichergebnisse ist augenfällig erkennbar, dass dieses Ziel nicht erreicht wurde. Unzulässige Grenzwertüberschreitungen an 29 Prozent der maßgeblichen Grundwassermessstellen sogar nach zweimaliger Herabsetzung der Qualitätsanforderungen sprechen eine eindeutige Sprache.

5.5.2 Instationär geeichte Grundwasserströmungsverhältnisse

Die instationäre Modellierung stellt den Schritt von der Betrachtung eines einzelnen Systemzustandes (stationäres Modell) hin zu der Betrachtung der zeitlichen Entwicklung des Potentialfeldes in Abhängigkeit von den sich zeitlich ändernden hydrologischen Bedingungen dar. Sie wurde für den Zeitraum Mai 1994 bis Dezember 2006 durchgeführt. Die in [4], S. 76ff vorgestellten Ergebnisse werden nachfolgend in Tabelle 11 kurz zusammengefasst und interpretiert. Dabei werden auch solche Abweichungen von den abgemilderten Grenzkriterien nach [4] erfasst, die nach Ansicht der Modellbearbeiter durch besondere lokale Gegebenheiten erklärbar oder unbedeutend sind.

Tabelle 11: Grundwasser-Eichmessstellen mit Abweichungen von den definierten Kriterien

Stratigraphische Einheit	Anzahl Messstellen	Abweichende Amplitudenschwankung	(Zeitweilige) Überschreitung der Abweichungsgrenzwerte
Quartär	11	Alle <i>11 (100%)</i>	B 403 B 404 B 405 (nur Validierung) B 235 BK 18.1/4 GM B 309 B 13 BK 16/1 GM B 20 B 222 <i>9 (82%)</i>
Dunkelrote Mergel	3	BK 16/7 GM BK 11/3 GM <i>2 (67%)</i>	BK 15.2/10 GM <i>1 (33%)</i>

Stratigraphische Einheit	Anzahl Messstellen	Abweichende Amplitudenschwankung	(Zeitweilige) Überschreitung der Abweichungsgrenzwerte
Bochinger Horizont	9	B 242 B 241 B 9 B 211 B 212 BK 11/1 B 306 B 305/2 <i>8 (89%)</i>	B 242 B 241 B 9 B 211 B 212 BK 11/1 B 306 B 305/2 <i>8 (89%)</i>
Grundgipsschichten + Grenzdolomit	7	B 213 B 225 BK 16/3 GM BK 15.2/7 GM <i>4 (57%)</i>	BK 11/14 GM BK 11/99 GM Notbr. 2 B 213 B 225 BK 16/3 GM BK 15.2/7 GM <i>7 (100%)</i>
Lettenkeuper	15	B 352 B 350 B 351 P 171 B 301 Notbr. 9 <i>6 (40%)</i>	B 352 B 350 B 351 P 171 BK 11/15 GM Notbr. 3 B 214 P 173 P 176 B 224 (vorwiegend Validierung) BK 11 von 135 GM B 310 (Einzelfälle) <i>6 (40%)</i>
Oberer Muschelkalk	13	P 172 P 174 P 177 B 4a PM Br. Stat. LA Notbr. 41 BK 11/16 GM GWM 343 <i>8 (62%)</i>	P 172 P 174 P 177 B 4a PM Leonhardsbr. Br. Stat. LA Notbr. 41 (Einzelfälle) BK 11 von 16 GM GWM 343 BK17.1 von 4 PM (nur Jänner 1999) BK17.4 von 3 PM (durchgehend) <i>11 (85%)</i>
Alle	58	<i>39 (67%)</i>	<i>42 (72%)</i>

Zwei Drittel der Grundwasser-Eichmessstellen zeigen in den modellierten stratigraphischen Einheiten erhebliche Unterschiede zwischen gemessenen und berechneten Amplitudenschwankungen. In 72 Prozent der Messstellen waren Überschreitungen der Abweichungsgrenzwerte zu konstatieren. Die größten Abweichungen der Amplitudenschwankungen treten in den Quartärschichten auf, wo sämtliche gemessenen Ganglinien im Modell nicht nachgebildet werden konnten. In den Grundgipsschichten einschließlich Grendolomit zeigten alle Messstellen Überschreitungen der Abweichungsgrenzwerte. Die beste Annäherung des Modells an die Wirklichkeit wurde in den Messstellen des Lettenkeupers erreicht, wo „nur“ 40 Prozent abweichende Amplitudenschwankungen und Grenzwertüberschreitungen aufwiesen.

Auch wenn manche dieser Mängel von den Modellbearbeitern mehr oder weniger plausibel erklärt werden, vermag das Modell die tatsächlichen Gegebenheiten nicht wirklichkeitsnah nachzubilden. Im Fall von außergewöhnlichen Eingriffen, wie sie das Bauvorhaben Stuttgart 21 mit sich bringt, sind anhand dieses Modells erhebliche Fehlprognosen vorgezeichnet. Auf dieser Grundlage ist das geplante Grundwassermanagement nicht mit hinreichender Zuverlässigkeit durchführbar.

An den vorliegenden Ergebnissen ist noch deutlicher als an der stationären Modelleichung erkennbar, dass die Ziele des IGWSM nicht erreicht werden konnten. Unzulässige Abweichungen bzw. Grenzwertüberschreitungen an zwei Drittel und mehr der maßgeblichen Grundwassermessstellen zeigen das augenfällig.

5.5.2.1 Bilanzkomponenten Heil- und Mineralquellen

Die Zielsetzung für die Übereinstimmung zwischen den gemessenen und berechneten Schüttungen an Heil- und Mineralquellen ist in [20], S. 31, mit ± 2 l/s je Quelle festgelegt:

Gemessen an dieser Vorgabe lassen sich die Kalibrierungs- und Validierungsergebnisse, die in [4], Anlage 2.7, Blatt 2 bis Blatt 5 als Messschriebe für die Jahre 1995 bis 2009 dargestellt sind und vom Berichtsersteller abgegriffen wurden, wie folgt beurteilen:

Auquelle:

Quellschüttung gemessen: ca. 22-32 l/s

Quellschüttung berechnet: ca. 18-25 l/s

Max. Abweichung: ca. 10 l/s

Anmerkung: Starke Abweichungen im Kalibrierungszeitraum stehen in auffälligem Kontrast zu einer guten Übereinstimmung in der Validierung.

Berger Quellen:

Quellschüttung gemessen:	ca. 52-71 l/s
Quellschüttung berechnet:	ca. 53-68 l/s
Max. Abweichung:	ca. 5 l/s
Anmerkung:	Starke Abweichungen im Kalibrierungszeitraum stehen in auffälligem Kontrast zu einer deutlich besseren Übereinstimmung in der Validierung.

Inselquelle:

Quellschüttung gemessen:	ca. 26-40 l/s
Quellschüttung berechnet:	ca. 32-38 l/s
Max. Abweichung:	ca. 8 l/s
Amplitudenschwankung:	stark gedämpft im Vergleich zu den Messwerten
Anmerkung:	Starke Abweichungen im Kalibrierungszeitraum stehen in auffälligem Kontrast zu einer guten Übereinstimmung in der Validierung.

Kellerbrunnen alt + neu:

Quellschüttung gemessen:	ca. 24-32 l/s
Quellschüttung berechnet:	durchgehend ca. 8 l/s
Max. Abweichung:	durchgehend ca. 15-24 l/s
Amplitudenschwankung:	stark gedämpft im Vergleich zu den Messwerten

Leuzequelle:

Quellschüttung gemessen:	ca. 30-43 l/s
Quellschüttung berechnet:	ca. 33-37 l/s
Max. Abweichung:	ca. 7 l/s
Amplitudenschwankung:	stark gedämpft im Vergleich zu den Messwerten
Anmerkung:	Starke Abweichungen im Kalibrierungszeitraum stehen in auffälligem Kontrast zu einer guten Übereinstimmung in der Validierung.

Br. Maurischer Garten:

Quellschüttung gemessen:	ca. 13,3-16,5 l/s
Quellschüttung berechnet:	ca. 13,1-14,8 l/s
Max. Abweichung:	ca. 1,9 l/s
Amplitudenschwankung:	deutlich gedämpft im Vergleich zu den Messwerten

Anmerkung: Deutliche Abweichungen im Kalibrierungszeitraum stehen in auffälligem Kontrast zu einer sehr guten Übereinstimmung in der Validierung.

Schiffmannbrunnen:

Quellschüttung gemessen: ca. 0,1-0,3 l/s
Quellschüttung berechnet: ca. 0,17-0,19 l/s
Max. Abweichung: ca. 0,2 l/s
Amplitudenschwankung: deutlich gedämpft im Vergleich zu den Messwerten

Veielquelle:

Quellschüttung gemessen: ca. 1,7-2,4 l/s
Quellschüttung berechnet: ca. 0,6-0,7 l/s
Max. Abweichung: durchgehend ca. 1,0-1,7 l/s
Amplitudenschwankung: gedämpft im Vergleich zu den Messwerten

Wilhelmsbrunnen I+II:

Quellschüttung gemessen: ca. 16-31 l/s
Quellschüttung berechnet: durchgehend ca. 7-8 l/s
Max. Abweichung: durchgehend ca. 10-24 l/s
Amplitudenschwankung: deutlich gedämpft im Vergleich zu den Messwerten

Von diesen 9 Quellen überschreiten 6 (67%) die vorgegebene Abweichungszielgröße, 2 davon (22%) permanent (Kellerbrunnen, Wilhelmsbrunnen). Die meisten berechneten Schüttungsganglinien sind im Vergleich zu den Messwerten mehr oder weniger auffällig gedämpft.

Auch anhand der Heil- und Mineralquellen zeigt sich eindrücklich, dass das Modell die realen Verhältnisse nicht hinreichend korrekt wiedergibt und die Zielsetzung der Modellierung nicht erreicht werden konnte.

5.5.2.2 Bilanzkomponente Neckar

Empirische Durchflussmengen des Neckars als regionalem Hauptvorfluter wurden nicht in das Modell implementiert. Die derzeit unzureichende Datengrundlage (siehe [20], S. 14) kann diesen Mangel keinesfalls entschuldigen oder gar beheben.

5.5.2.3 Vergleich der Eich- und Validierungsergebnisse

Ziel der Validierung war es, ohne Veränderung der Parameter des instationär geeichten Modells die Grundwasserganglinien und Bilanzkomponenten des genannten Zeitraumes in Monats- und Tagesauflösung weitestgehend zu reproduzieren ([4], S. 90).

Anhand der Heil-/Mineralquellen sowie der Grundwasser-Eichmessstellen hat der Unterfertigte die Reproduktionsgüte des Modells im Validierungszeitraum mit jener im Eichungszeitraum verglichen. Eine statistische Analyse war dabei wegen fehlender Zahlenwerte nicht möglich. Es wurde daher die Reproduktionsgüte der Validierung verglichen mit den Eichergebnissen anhand den grafischen Darstellungen in Anlage 2 zu [4] intuitiv bewertet und in folgende Kategorien eingeteilt:

- signifikant besser
- tendenziell besser
- +/- gleich
- tendenziell schlechter
- signifikant schlechter.

Diese Vorgangsweise führte zu folgenden Ergebnissen:

Bei 4 von den 9 Heil-/Mineralquellen waren die Validierungsergebnisse „signifikant besser“ als die Eichergebnisse (Auquelle, Inselquelle, Leuzequelle, Br. Maurischer Garten). Das entspricht einem Anteil von 44%. Bei einer Quelle (11%) war das Ergebnis „tendenziell besser“ (Kellerbrunnen). Bei drei Quellen (Berger Quellen, Schiffmannbrunnen, Veielquelle) und waren die Ergebnisse „+/- gleich“ (33%) und bei einer Quelle (Wilhelmsbrunnen) „tendenziell schlechter“ (11%). Bei keiner der Quellen waren die Validierungsergebnisse „signifikant schlechter“ als die Eichresultate.

Von den insgesamt 58 für die Eichung und Validierung herangezogenen Grundwassermessstellen entfielen auf die Kategorien:

signifikant besser:	0 (0%)
tendenziell besser:	9 (16%); BK 11/1, Notbr. 3, BK 16/3 GM, BK 15.2/7 GM, Sarweybr., P 177, Br.Stat.LA, BK 11/16 GM, GWM 840
+/- gleich:	45 (78%)
tendenziell schlechter:	4 (7%); B 405, BK 18.1/4 GM, B 242, B 242
signifikant schlechter:	0 (0%)

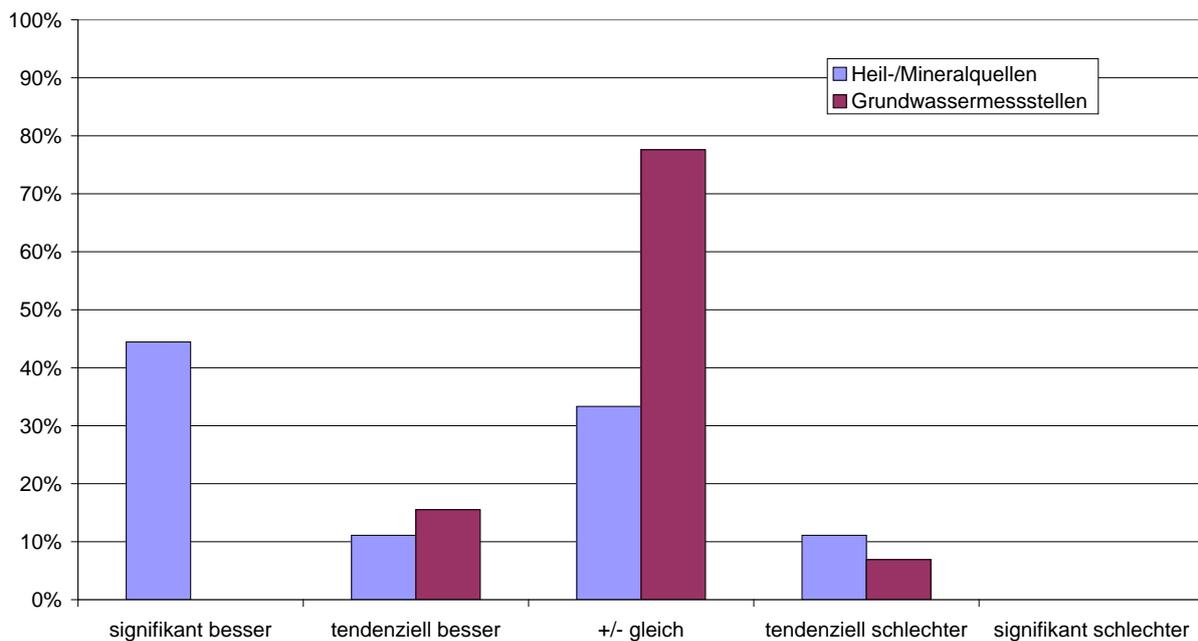


Abbildung 1: Bewertung von Validierungsergebnissen im Vergleich zum Eichzeitraum

Es fällt auf, dass die Validierungsergebnisse in keinem Fall „signifikant schlechter“ sind als die Eichergebnisse. Bei den Grundwassermessstellen übertrifft die Reproduktionsgüte leicht die Ergebnisse im Eichungszeitraum. Hoch auffällig ausgeprägt ist die deutliche Ergebnisverbesserung in der Validierung bei den Heil- und Mineralquellen.

In der Validierungsphase eines Modells können Verbesserungen nur im Bereich der Zufallserwartung eintreten, weil Optimierungen an den Eichparametern nicht zulässig sind. Die vorliegenden Ergebnisse sind bei ordnungsgemäßer Vorgangsweise extrem unwahrscheinlich; eine rein zufällige Verbesserung ist praktisch auszuschließen.

Das lässt den Verdacht aufkommen, dass die Eichparameter anhand der Validierungsergebnisse nachträglich verändert wurden, um die Prognosesicherheit des Modells besser erscheinen zu lassen, als sie ist. Sollte das der Fall sein, wurden die ursprünglich mehr oder weniger „optimalen“ Eichwerte zugunsten eines verbesserten Validierungsergebnisses verändert und damit die Reproduktionsgüte des Modells vermindert.

Dem Verdacht einer nachträglichen Manipulation der Eichwerte muss im Rahmen einer unabhängigen Prüfung des gesamten Modellzahlenwerks nachgegangen werden. Bis zum Abschluss dieser Prüfung darf den Modellbearbeitern kein Vorwurf gemacht werden; eine Anwendung des Modells ist bis dahin aber keineswegs ratsam.

5.5.2.4 Instationäre Validierung auf Basis des Langzeitpumpversuchs im Januar 2010

Die Durchführung des Pumpversuches und seine Ergebnisse werden in [4], S. 93ff, dargestellt und interpretiert.

Zunächst ist auf einen Fehler in der Pumpversuchsauswertung hinzuweisen: In [4], Tab. 4-8 auf S. 98, wird für die Beobachtungsmessstelle P 177 die maximal gemessene Absenkung im Verlauf des Pumpversuches mit 0,18 m angeführt. In der Abbildung 4-2 auf S. 99 dieses Berichts ist hingegen die maximale gemessene Absenkung mit 233,75 - 233,53 mNN = 0,22 m eingetragen. Dieser Unterschied von 4 cm mag zwar unbedeutend erscheinen, ist aber als Indiz für die Fehlerhaftigkeit der Dokumentation zu werten.

Die durchschnittlichen Förderraten und Absenkungen wurden wie folgt in Tabelle 12 angegeben ([4], S. 93 u. 98):

Tabelle 12: Berechnete und gemessene Absenkungen in den Förderbrunnen im Zuge des Langzeitpumpversuchs

Förderbrunnen	Mittlere Förderrate [l/s]	Max. gemessene Absenkung [m]	Max. berechnete Absenkung [m]	Differenz (abs.) [m]	Differenz (abs.) [% von berechnet]
GWM B3 (Hbf)	4,97	0,40	0,42	0,02	5%
P 174	4,99	0,72	0,63	0,09	14%
BK 11/16 GM	5,02	1,00	0,44	0,56	127%
Brunnen 4 Dinkelacker	7,35	1,80	1,00	0,80	80%
Brunnen 7 Dinkelacker	8,33	2,00	1,00	1,00	100%

An vorstehender Zusammenstellung fällt auf, dass die gemessenen Absenkungsbeträge bis zu über 100% über den berechneten liegen. Bei allen versuchsbedingten und lokalgeologischen Unwägbarkeiten spricht dies nicht gerade für die Prognosesicherheit des Modells, insbesondere im Hinblick auf die geplanten Grundwasserabsenkungen in den Bauabschnitten.

Es verwundert, dass die Modellbearbeiter den Gründen dieser Abweichungen nicht weiter nachgegangen sind. Hier wäre eine analytische Berechnung der Durchlässigkeitsbeiwerte bzw. Transmissivitäten und Speicherkoeffizienten anhand der Pumpversuchsdaten geboten. Die berechneten hydrogeologischen Kennwerte hätten mit den Modellannahmen verglichen und diese erforderlichenfalls korrigiert werden müssen. Dem Bericht ist über solche Bemühungen nichts zu entnehmen.

In [4], S. 99, Abb. 4-2, findet sich ein Diagramm, das in Abb. 2 dieses Berichts wiedergegeben wird. Es zeigt den gemessenen und berechneten Ganglinienverlauf der Beobachtungsmessstelle P 177 während des Pumpversuchs. Die Modellbearbeiter erkennen daran eine gute Reproduktion der Messergebnisse durch das Modell. Den durch die Berechnungen nicht wiedergegebenen Grundwasseranstieg am 28.1.2010 begründen sie mit „natürlichen hydrologischen Schwankungen“ ([4], S. 100). Faktum ist, dass ab diesem Zeitpunkt bis zum Ende der Wasserförderung keine Übereinstimmung mit den Modellberechnungen vorliegt. Ab dem Nachmittag des 29.1.2010, also noch vor Ende der Wasserförderung, steigt der Wasserspiegel unerwartet an, obwohl er theoretisch eine schwach fallende oder gleich bleibende Tendenz aufweisen müsste. Tatsächlich setzt sich dieser Anstieg fast kontinuierlich in den Wiederanstieg nach Pumpende fort. Der Wasserspiegel in der Messstelle verhält sich so, als hätte er „gewusst“, dass der Pumpversuch bald zu Ende geht, und sich in „vorausgehendem Gehorsam“ schon darauf eingerichtet. Eine solche Erklärung ist nicht unsinniger als jene der Modellbearbeiter. Denn das Modell soll ja – neben den Auswirkungen des Pumpversuchs – gerade jene „natürlichen hydrologischen Schwankungen“ nachbilden, welche sie hier als „Ausrede“ für die fehlende Repräsentation der Wirklichkeit ins Treffen führen.

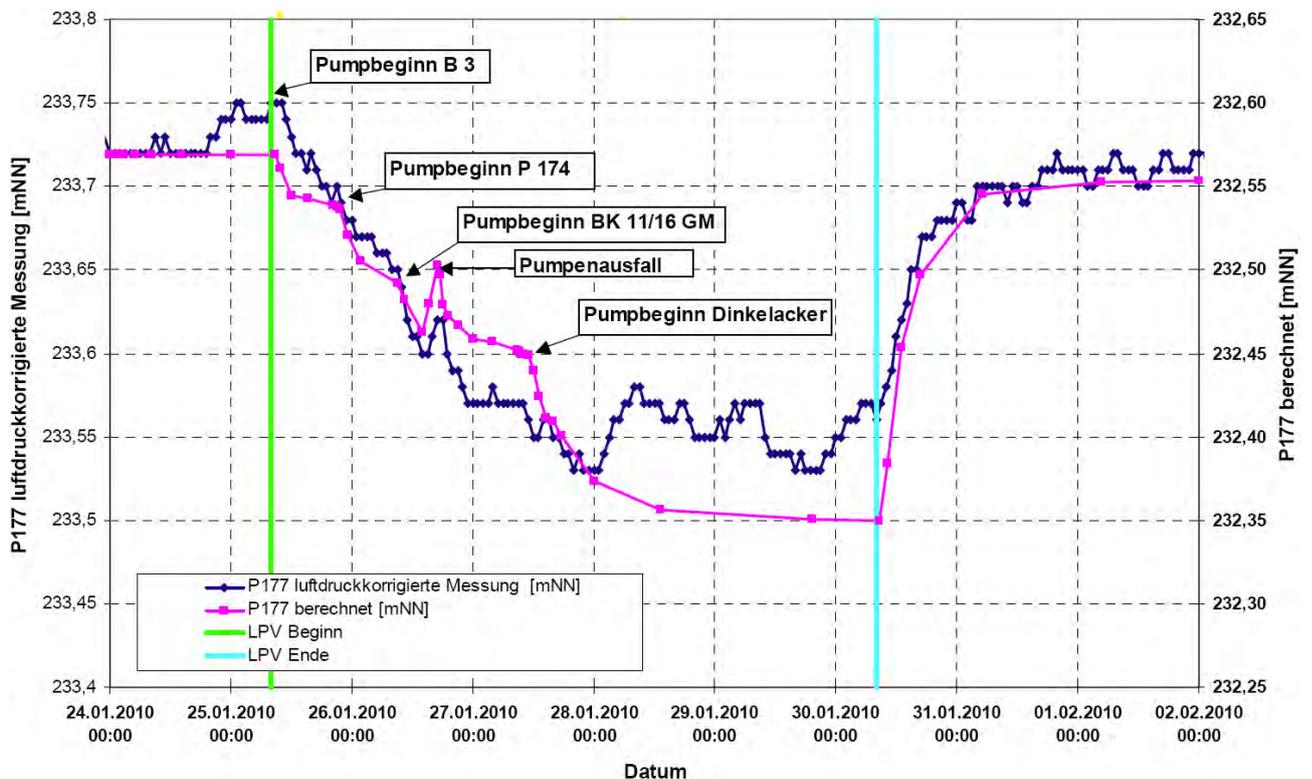


Abbildung 2: Vergleich der gemessenen und berechneten Grundwasserganglinie der Messstelle P 177

Ein ähnliches Bild zeigen die Berger Quellen, welche ebenfalls als Beobachtungsmessstellen herangezogen wurden und deren Schüttungsverlauf ab der zweiten Tageshälfte des 29.1.2010 bis zum Pumpende nicht mit der Modellberechnung übereinstimmt (siehe Abb. 3 des hier vorgelegten Berichts, entnommen aus [4], Abb. 4-3 auf S. 101). Auch dort ist schon vor der Pumpenabschaltung ein markanter Wiederanstieg zu beobachten, und zwar noch bevor sich ein quasi-stationärer Strömungszustand eingestellt hat. Dies wird von den Modellbearbeitern nicht erkannt und ohne nähere Erklärung mit „nicht pumpversuchsbedingten“ Effekten begründet. Dass genau in diesem kritischen Zeitraum und auch nach Ende des Pumpversuchs Dokumentationslücken über die Quellschüttungen bestehen, stellt die Sorgfalt bei der Versuchsdurchführung in Frage.

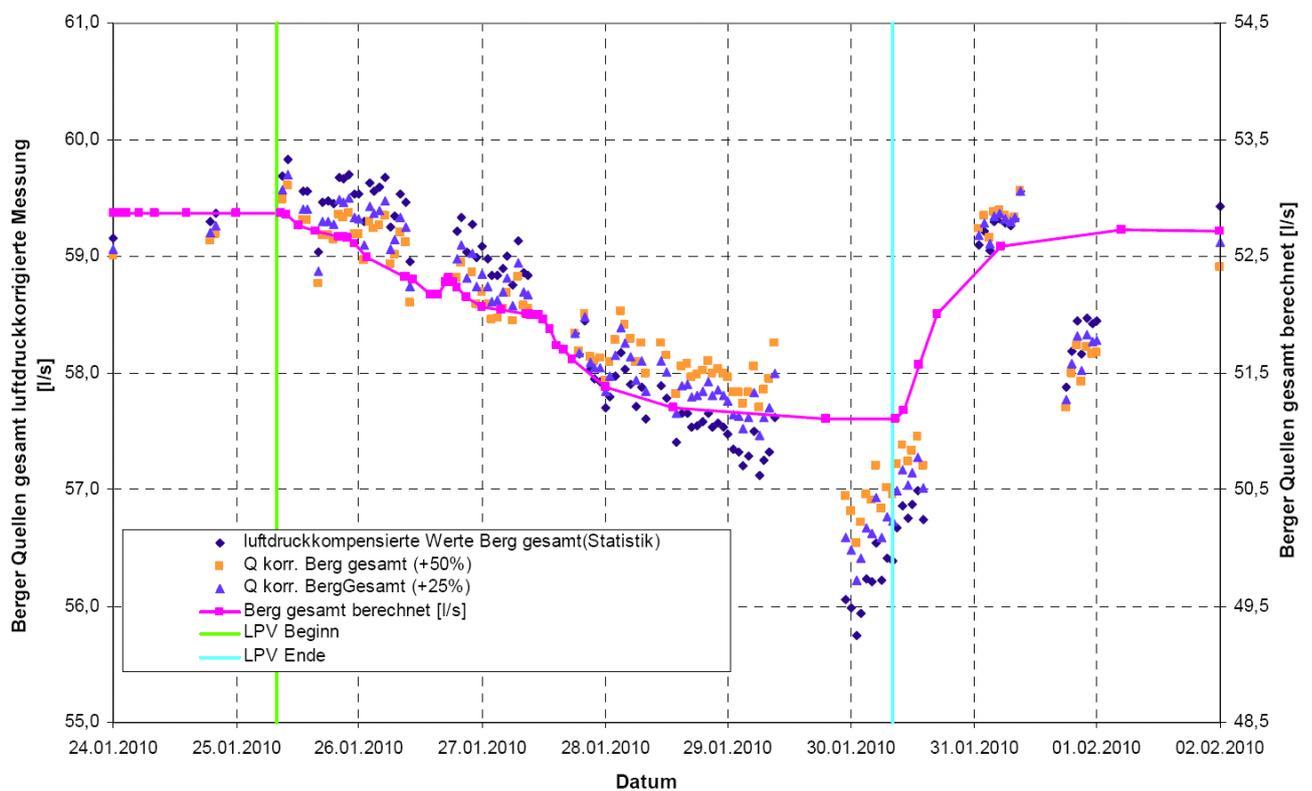


Abbildung 3: Vergleich der gemessenen und berechneten Schüttungsraten der Berger Quellen gesamt

Bei der vorstehenden Abbildung ist Folgendes zu beachten: Die Werte auf der rechten Größenachse, der die Berechnungswerte zugeordnet sind, liegen durchwegs um 6,5 l/s tiefer als jene der linken, welcher die Messwerte zugeordnet sind.

Die gemessenen Schüttungen sind der linken Größenachse zugeordnet, die berechneten der rechten. Die Skalenwerte auf der rechten Achse liegen durchgehend um 6,5 l/s tiefer als jene auf der linken.

Die berechnete Schüttungsganglinie müsste, bezogen auf die linke Achse, um 6,5 l/s nach unten verschoben werden und läge somit außerhalb des Diagramms. Um etwa denselben Betrag liegen auch die Mess- und Rechenwerte auseinander. Eine ähnliche Skalenverschiebung wurde auch bei der Abbildung 4-2 auf S. 99 zur Messstelle P 177, dort jedoch nur um 1,15 m, vorgenommen (siehe Abbildung 2 dieses Berichts).

Die irreführende Verwendung unterschiedlicher Größenskalen in den Grafiken ist inakzeptabel. Falls es sich hier nicht um eine unbeabsichtigte Fehlleistung handelt, haben sich die Modellbearbeiter große Mühe gegeben, diese durchgehend markanten Abweichungen elegant zu verschleiern. Die gegenständliche Darstellung ist von unabhängiger Stelle anhand der Mess-Urlisten und der Originalberechnungen zu überprüfen. Sollte sich dabei eine Täuschungsabsicht herausstellen (die derzeit nicht erwiesen ist), muss das gesamte Modell wegen Unzuverlässigkeit der dafür verantwortlichen Bearbeiter verworfen werden.

Zusammenfassend kommen die Modellbearbeiter zum Schluss, „dass ggf. durch die Baumaßnahmen im PFA 1.1 induzierte Potentialabsenkungen im Oberen Muschelkalk und die daraus resultierenden Potentialabsenkungen im oberstromigen Bereich der Heil- und Mineralquellen vom numerischen Modell exakt reproduziert werden können“ ([4], S. 100). Aufgrund der vorstehenden Analysen ist genau das Gegenteil zutreffend.

5.6 Zusammenfassung

Im Rahmen der Planfeststellungsbeschlüsse ist eine baubegleitende Grundwassermodellierung seitens des Vorhabensträgers zugesagt worden, welches die Abbildung natürlicher Schwankungen des Grundwassersystems und die Nachbildung und Prognose der bauzeitlichen Eingriffe und Auswirkungen gewährleisten muss ([4], S. 103).

Das vorliegende instationäre Grundwasserströmungsmodell bietet kein brauchbares Werkzeug, das die natürlichen von den baumaßnahmeninduzierten Schwankungen der Grundwasserpotenzialverhältnisse sowie die daraus resultierenden Bilanzgrößenvariationen adäquat reproduzieren kann.

Aufgrund der bisher durchgeführten Analysen des Modells sind dafür in erster Linie folgende Gründe maßgeblich:

- Das Modell enthält grundlegende mathematisch-geometrische Fehler.
- Das Modell beruht auf unrichtigen bzw. unrealistischen Grundannahmen (Speicherkoeffizienten, Durchlässigkeitsbeiwerte, Kolmation des Neckars).

- Geologische Störungen werden im Modell nicht berücksichtigt und durch fragwürdige Hilfskonstruktionen ersatzweise nachgebildet.
- Empirische Durchflussmengen des Neckars als regionalem Hauptvorfluter wurden nicht in das Modell implementiert.
- Die festgelegten Kriterien für die Übereinstimmung des Grundwasserströmungsmodells mit den Messwerten wurden in vielen Fällen nicht erreicht. Das Modell bildet die Wirklichkeit nicht in der geforderten Qualität ab. Eine hinreichende Prognosesicherheit ist nicht gewährleistet.
- Die Ergebnisse der Validierung lassen begründet vermuten, dass die Eichparameter anhand der Validierungsergebnisse nachträglich verändert wurden, um die Prognosesicherheit des Modells besser erscheinen zu lassen, als sie ist.
- Der Langzeitpumpversuch im Januar 2010 erbrachte insbesondere in den Förderbrunnen und zumindest in den Berger Quellen (Heil- und Mineralquellen) gravierende Unterschiede zwischen gemessenen und berechneten Werten bzw. Ganglinien. Dokumentationslücken lassen an einer sorgfältigen Versuchsdurchführung zweifeln. Die Ergebnisse (z.B. in den Berger Quellen) sind grob irreführend dargestellt.

Indizien für eine nachträgliche Änderung der Eichparameter zur Verbesserung der Validierungsergebnisse sowie die irreführende Darstellung der Schüttungsganglinien in den Berger Quellen im Zuge des Langzeitpumpversuchs lassen eine umfassende Aufklärung für notwendig erscheinen.

Bis zur Beseitigung der aufgezeigten Mängel des Modells und Aufklärung sämtlicher Ungereimtheiten ist eine zuverlässige Nachbildung und Prognose der bauzeitlichen Eingriffe und Auswirkungen nicht gewährleistet und ein Einsatz im Rahmen des Grundwassermanagements nicht zu verantworten.

5.7 Vergleich der instationären Modelle

Der Arbeitskreis Grundwassererkundung und -modellierung hat einen Vergleich der instationären Modelle vorgenommen und in [21] darüber berichtet. Festzuhalten ist, dass in diesem Arbeitskreis keine projektkritischen Gruppierungen zugelassen sind.

5.7.1 Modellkonzepte

Als wesentliche Unterschiede zwischen den beiden Modellbetrachtungen hat der Arbeitskreis folgende Punkte festgehalten ([21], S. 3):

Numerisches Modellkonzept

- WUG: Finite-Elemente
- kup: Finite-Differenzen

Modellausdehnung im Muschelkalk:

- WUG: Modellrand auf Isolinie 250 m+NN
- kup: Modellrand auf Isolinie 260 m+NN

Berücksichtigung der vergipsten Bereiche:

- WUG: Bereiche mit sehr geringer Durchlässigkeit
- kup: Bereiche außerhalb Modellgebiet, entsprechende Grundwasserneubildung aus den vergipsten Bereichen berücksichtigt als Randzustrom

Berücksichtigung der ungesättigten Zone:

- WUG: ungesättigte Strömung in den Bereichen oberhalb des Wasserspiegels
- kup: durch Speicherzellenmodell

Aus Sicht des Unterfertigten ist noch folgender wesentlicher Unterschied hinzuzufügen:

Vertikale Grundwasserbewegung:

- WUG: Modellierung des Grundwasseraustausches zwischen den Gesteinsschichten aufgrund einer Abschätzung der vertikalen Gebirgsdurchlässigkeit mit ca. 1/10 der horizontalen Durchlässigkeit
- kup: Modellierung des Grundwasseraustausches zwischen den Gesteinsschichten aufgrund der Einführung von Leakagekoeffizienten

5.7.2 Vergleich der modellierten Durchlässigkeitsbeiwerte

Die Spanne der modellierten horizontalen Durchlässigkeiten der beiden Modelle weicht einerseits voneinander, andererseits auch von den Ergebnissen der Pump- bzw. Bohrlochversuche teilweise um Zehnerpotenzen ab. Das zeigen die Abbildungen in Beilage 7.

Daraus wird deutlich, dass die Modelle zum Teil erheblich von den empirischen Werten abweichen.

5.7.3 Vergleich der modellierten Quellschüttungs- und Grundwasserstandsganglinien

[21] enthält eine vergleichende Darstellung der Quellschüttungs- und Grundwasserstandsganglinien. Darin sind in Anlage 1 die berechneten Quellschüttungsverläufe und in Anlage 3 die berechneten Ganglinien in den Grundwassermessstellen dargestellt.

Ein Vergleich der berechneten Quellschüttungsverläufe zeigt folgende maximalen Differenzen zwischen den beiden Modellen:

Quelle	Max. Differenz WUG-kup (aus Diagrammen abgegriffen)
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

Der Vergleich der berechneten Grundwasserstandsganglinien von 43 dargestellten Messstellen zeigt folgendes Bild (Werte aus 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

Die absoluten Maximalabweichungen betragen somit im Schnitt ca. 0,75 m bis hin zu mehr als 4 m. Die Abweichungen sind breit gestreut, wie die Standardabweichung von mehr als einem Meter (nach oben und unten) beweist. Eine Liste aller Abweichungen der Modelle voneinander enthält Beilage 6 dieses Berichts.

5.7.4 Maßnahmenbedingte Änderungen in der Wasserbilanz

Die Bearbeiter haben aufgrund ihrer Modelle die Wasserbilanzänderungen aufgrund der geplanten Baumaßnahmen prognostiziert. Diesbezüglich sei auf die „Analytische Beschreibung der Grundwasserneubildungsabhängigen Schwankungen in den bauzeitlichen Grundwasserandrangsraten und wasserrechtliche Würdigung“ der WUG verwiesen [5]. Die Prognoserechnungen von kup liegen dem Unterfertigten nicht vor.

Die Prognosen der WUG stehen zahlreichen fachlich begründeten Kritikpunkten gegenüber. Da jedoch die Prognosen selbst auf einem nicht prognosefähigen Modell beruhen, erübrigt sich ein näheres Eingehen darauf.

Die aus dem jeweiligen Modell abgeleiteten Wasserbilanzänderungen der geplanten Baumaßnahmen sind vergleichend in [21], Anlage 4, tabellarisch zusammengefasst und werden in folgender Tabelle 13 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 13 beziffern nicht die gleichzeitig entnommene Wassermenge, sondern sollen nur die Unterschiede der Modellprognosen in ihrem Gesamtausmaß verdeutlichen.

Tabelle 13: Wasserbilanzänderungen infolge Baumaßnahme bei stationärer Hydrologie: Effektive Grundwasserentnahme und Quellschüttungsänderung

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.

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.

5.7.5 Zusammenfassende Beurteilung der instationären Grundwassermodelle

Beide Modelle lassen grundlegende und allgemein anerkannte Regeln der Qualitätssicherung außer Acht. Eine Sensitivitätsprüfung fehlt bei beiden. Beim kup-Modell wurde keine Validierung nach dem Stand der Technik durchgeführt, beim WUG-Modell wahrscheinlich ebenfalls.

Beide Modelle beruhen auf unrichtigen bzw. unrealistischen Grundannahmen. Besonders gravierend beim kup-Modell ist, dass es auf metaphysischen Vorstellungen über die Leakagekoeffizienten aufbaut.

In wesentlichen Belangen (z.B. tektonische Störungen, Kolmation des Neckars) wurde die Wirklichkeit nicht bzw. unrichtig nachgebildet.

Beide Modelle sind in wesentlichen Belangen nicht nachvollziehbar und nicht überprüfbar.

Beide Modelle enthalten Dokumentationsfehler bzw. -lücken. Das WUG-Modell enthält grundlegende mathematisch-geometrische Fehler.

Beide Modelle überschreiten vielfach die definierten Abweichungsgrenzwerte zwischen berechneten und gemessenen Grundwasserständen sowie Quellschüttungen.

Die beiden Modelle weisen in ihren Prognosen für die baubedingten Grundwasserentnahmen und deren Auswirkungen auf die Quellschüttungen markante Unterschiede auf. Die Vorhersagen sind nicht zuverlässig und können keinesfalls als Grundlage für das geplante Grundwassermanagement verwendet werden.

Beide Modelle sind grundlegend zu überarbeiten und richtigzustellen. Auf dieser Basis ist das Grundwassermanagement neu zu konzipieren.

6 ZU DEN BEWEISSICHERUNGSGRENZEN

6.1 Grundsätzliches

Zur Abgrenzung der Beweissicherungsgrenzen in den gegenständlichen PFA 1.1, 1.5 und 1.6a liegen dem Unterfertigten keine Begründungen vor. Auch die hier behandelten Gutachten und Berichte enthalten keine Angaben, auf welche Unterlagen sie sich konkret beziehen.

Im Einflussbereich der Grundwasserabsenkungen ist grundsätzlich mit Setzungen zu rechnen, welche die Gebrauchstauglichkeit davon betroffener Bauwerke beeinträchtigen können. Auch kleine Schäden, wie etwa „Schönheitsrisse“ sind zu berücksichtigen, weil sie Eingriffe in das Eigentumsrecht darstellen. Maßgebend für die zulässigen Setzungsunterschiede ist die Winkelverdrehung bzw. Krümmung zwischen einzelnen Gründungsteilen eines Bauwerks, die über eine Starrkörperverdrehung hinausgehen ([10], S. 18). Häufig wird eine Winkelverdrehung $< 1:1000$ als generell unbedenklich angesehen. Eine differenzierte Zusammenstellung zulässiger Setzungskriterien gibt Tabelle 14 (entnommen aus [10], S. 26).

Hier ist zu beachten, dass für Winkelverdrehungen in Grundwasserabsenkungsgebieten die Werte für Sattellagen gelten, weil sich dort aus einem ursprünglich mehr oder weniger flachen Grundwasserspiegel Absenktrichter mit einer konvexen Grundwasseroberfläche ausbilden. Die Setzungsbeträge an der Geländeoberfläche zeichnen diese nach oben gekrümmte Fläche nach. Die Definition der Winkelverdrehung in Sattellage zeigt die Abbildung 4.

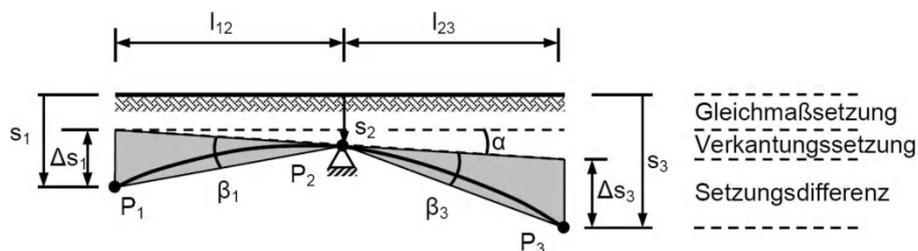


Abbildung 4: Definition der Winkelverdrehung β für eine Sattellage (entnommen aus [10], S. 127)

Tabelle 14: Zulässige Setzungskriterien für Sattellagen aus der Literatur

Sattellagerungen				Setzungsdifferenz Δs [cm]; L in [m]	Winkelverdrehung $\tan \beta$ [-]	Radius [km]
<i>Schulze / Horn, (1990)</i> (abg. v. Bjerrum)	Schadensgrenze	Bauwerke allgemein			1 / 300	
		Wände			1 / 600	
		Rahmen mit Ausfachung			1 / 1200	
	Sicherheitsgrenze	Vermeidung jeglicher Risse			1 / 1000	
		Ziegelwände $h/l < 1/4$			1 / 300	
setzungsempfindliche Maschinen				1 / 1500		
<i>Burland et al., (1977)</i>	Wandscheibe			< 1 / 1000		
<i>Rybicki, (1978)</i>	Bergbau				2,0	
<i>MacLeod, et al. (1980)</i>	inh. Boden, L/H=2, Gleichlast für Mauerwerk $f_{bt} = 1,5N/mm^2$		0,06-L	1 / 7143 bis 1 / 4762		
	homog. Boden L/H=5	L/H=2	Einzellast für Mauerwerk $f_{bt} = 1,5N/mm^2$	0,01-L bis 0,013-L	1 / 2380 bis 1 / 2000	
				0,006-L bis 0,017-L	1 / 2000 bis 1 / 1205	
<i>Nendza, (1982)</i>					2,0	
<i>Dulácska, (1992)</i>				1 / 1000		
<i>Raile, (1999), Wandscheiben aus Mauerwerk auf Streifenfundament gegr.; SLS, Rissweite 0,4 mm</i>		ohne Baugrund	mit Decke		1 / 530 bis 1 / 460	
			ohne Decke		1 / 1010 bis 1 / 910	
	Mauerziegel Mz 1,8/28/III			1		1 / 3290 bis 1 / 3100
				2		1 / 3240 bis 1 / 3000
				3		1 / 3250 bis 1 / 2980
				4		1 / 3180 bis 1 / 2890
	KS 1,8/28/III			2		1 / 3210 bis 1 / 2780
	Mz 1,8/28/III					1 / 2550 bis 1 / 2100
	Mauerziegel KS 1,8/28/III	4		ohne Öffnung		1 / 2160 bis 1 / 1870
				mit Öffnung		1 / 3450 bis 1 / 1990
Bem.: Kombination von Naturschotter mit 1 mitteldichtem Sand, 2 lockerer Sand, 3 halbfester Lehm, 4 Schluff; Schlankheit Mauerwerksscheibe: $L_w/h_w = 3,33 = \text{konst.}$; Schlankheit Fundament: $10 \leq L_f/h_f \leq 25$ (siehe auch Tabelle 2.3)						

Zur Abgrenzung von Beweissicherungszonen ist ein Einflussbereich festzulegen, innerhalb dessen nach Plausibilitätskriterien (insbesondere Art- und Setzungsempfindlichkeit des Baubestands, erwar-

tete Grundwasserspiegelabsenkungen) die Gebrauchstauglichkeit beeinträchtigt werden und ästhetische Beeinträchtigungen auftreten können. Wie gezeigt, sind die Grundwasserabsenkungen anhand der instationären Grundwasserströmungsmodelle nicht zuverlässig vorhersagbar. Eine Begründung der aktuell festgelegten Beweissicherungsgrenzen liegt dem Unterfertigten nicht vor.

Die Beurteilung von Gefährdungen durch neu hinzukommende Einwirkungen muss die schon bisher bestehenden Einwirkungen auf den Baubestand miteinbeziehen. Die bauwerkseigenen und alle nach Errichtung hinzugekommenen äußeren Einwirkungen sind kumulativ zu betrachten. Das ist schon deshalb erforderlich, weil manche Bauwerke von vornherein geringe Sicherheitsreserven aufweisen und frühere Baumaßnahmen in der Nähe von Bauwerken die bestehenden Sicherheiten vermindert haben können. Von besonderer Bedeutung ist dies bei der Beurteilung der Trag- und Grundbruchsicherheiten. Schon geringfügige Verkipnungen können zu außerordentlichen Fundamentbelastungen führen und die Tragfähigkeit davon betroffener Gründungen kritisch beeinträchtigen. Besonders bei älteren oder hohen Gebäuden ist dieses Risiko relevant.

In diesem Zusammenhang ist auf die Stellungnahme des Landesamts für Geologie, Rohstoffe und Bergbau vom 22.10.2012 zum Thema „Setzungen“ zu verweisen ([26], S. 2-3). Das Landesamt nimmt dort Bezug auf die jungen Talablagerungen (Altwassersedimente) des Nesenbaches. Sie stellen namentlich im Planfeststellungsbereich 1.1 auf größerer Fläche den oberflächennahen Baugrund dar und weisen einen vergleichsweise hohen organischen Gehalt auf. Dieser verleiht den Altwassersedimenten einen hohen Wassergehalt, der im Einzelfall größer als deren Feststoffanteil sein kann. Der hohe Wassergehalt bedingt entsprechend niedrige Konsistenzen (häufig breiig und weich) sowie geringe Steifemoduln, Reibungswinkel und Kohäsionswerte. Aufgrund dieser bekannten Eigenschaften reagieren die wenig tragfähigen Altwassersedimente äußerst empfindlich auf Veränderungen des natürlichen Wassergehaltes und auf schwankende Grundwasserstände. Sie neigen zu saisonalem Schrumpfen (nach Austrocknung) und Quellen (nach Wiederbefeuchtung). Zu berücksichtigen ist ferner ihr Langzeitsetzungsverhalten. Eine Grundwasserhaltung kann Auswirkungen auf das Setzungsverhalten des Untergrundes haben. Es ist davon auszugehen, dass der Grundwasserstand im Quartär durch das Grundwasserdruckpotenzial im Gipskeuper hydraulisch gestützt ist und nach Wegfall dieser Stützung im Einflussbereich der Grundwasserabsenkung Setzungen durch zusätzlich auftretende bodenmechanische Spannungen (Boden ohne Auftrieb) auftreten können. Daneben ist langfristig eine Schrumpfsetzung der organischen Talablagerungen im Einflussbereich der Grundwasserhaltung nicht auszuschließen. Die Altwassersedimente wurden von mäandrierenden Flüssen abgelagert. Dadurch ist die Möglichkeit gegeben, dass hydraulisch induzierte Setzungen auch abseits der eigentlichen Baumaßnahme auftreten können. Inwieweit Gebäude oder sonstige bauliche Ein-

richtungen im Ausstrich der Nesenbachablagerungen tatsächlich alle in/auf Talschottern bzw. Festgestein gegründet sind, kann vom Landesamt nicht beurteilt werden – offenbar, weil ihm keine ausreichenden Unterlagen zur Verfügung gestellt wurden. Das Landesamt bemängelt auch, dass zur Subrosionsgefährdung ebenfalls keine aussagekräftigen Schnitte und Diagramme zur Verdeutlichung des Sachverhaltes vorliegen.

6.2 Zu den Bearbeitungen der Ingenieurgesellschaft Stuttgart 21 Geotechnik

Im Erläuterungsbericht zur 7. Planänderung ([1], S. 6, Pkt. 3d) ist festgehalten:

„Die LH Stuttgart sieht in Ihrem Schreiben vom 27.07.2011 an das EBA Stuttgart einen Präzisionsbedarf zum Thema der zu erwartenden potentiellen Betroffenheiten geotechnischer Art infolge der Auswirkungen der geplanten bauzeitlichen Grundwasserabsenkung (offene Bauweisen) in den Planfeststellungsabschnitten PFA 1.1 und PFA 1.5.

Hierzu nimmt die Ingenieurgesellschaft Stuttgart 21 Geotechnik mit Schreiben vom 23.03.2012 (...) Stellung und kommt zum Ergebnis, dass u.a. wegen bereits erfolgter Grundwasserabsenkungen, wegen des felsartigen Charakters der Gründungsböden und wegen der guten Bausubstanz der betroffenen Gebäude nur geringe zusätzliche und zulässige Baugrundverformungen und keine Bauwerksschäden zu erwarten sind.“

Bei dem zitierten Schreiben der Ingenieurgesellschaft Stuttgart 21 Geotechnik handelt es sich um die Unterlage [15]. Dazu ist festzuhalten:

- Die Grundlage der im Planfeststellungsbeschluss von 2005 festgelegten Beweissicherungsgrenzen beruhen auf dem digitalen Grundwassermodell der ARGE WUG, welches dafür untauglich ist (siehe Kapitel 5 dieser Analyse).
- Nach Angabe der Ingenieurgesellschaft wurden in der Zwischenzeit zahlreiche Infiltrationsbrunnen und Grundwasserkontrollmessstellen hergestellt. Mit den dabei gewonnenen ergänzenden Baugrunderkenntnissen wurden von der ARGE WUG weitere Berechnungen durchgeführt und im Februar 2011 die Ergebnisse vorgelegt. Offenbar handelt es sich dabei um die im Kapitel „Unterlagen“ von der Ingenieurgesellschaft genannte Unterlage U3. Diese ist jedoch nicht öffentlich zugänglich. Die „weiteren Berechnungen“, auf die sich die Ingenieurgesellschaft bezieht, können daher nicht nachvollzogen werden. Sie beruhen außerdem auf dem unbrauchbaren digitalen Grundwassermodell.

- Den Genehmigungsbehörden wurden daraufhin entsprechende Ergänzungsunterlagen vorgelegt. Anscheinend handelt es sich dabei um die von der Ingenieurgemeinschaft im Kapitel „Unterlagen“ genannten Unterlagen U1 und U6. Auch diese Unterlagen sind nicht öffentlich zugänglich. Sie können daher ebenfalls nicht nachvollzogen werden.
- In einem Gespräch am 14.12.2011 mit der DB ProjektBau GmbH, dem Amt für Umwelt der Stadt Stuttgart, dem Eisenbahnbundesamt, dem Regierungspräsidium und den Fachgutachtern wurden die Stellungnahmen vorgetragen und diskutiert. Dazu liegen ein Bericht von DREES & SOMMER sowie Präsentationsfolien vor ([9], [13]).

In [15], Kapitel „Planfeststellungsabschnitt PFA 1.1“, behandelt die Ingenieurgemeinschaft das Thema „Schädigung von Gebäuden und sonstigen baulichen Anlagen“ am Arnulf-Klett-Platz/Friedrichstraße und am John-Cranko-Weg. Als maßgebend sieht sie dabei folgende Randbedingungen an:

- Die berechneten Grundwasserabsenkungen bewegen sich im Bereich von in den vergangenen Jahrzehnten gemessenen Grundwasserschwankungen.
- Insbesondere beim Bau der S-Bahnbauwerke in den 70-Jahren wurden noch größere Grundwasserabsenkungen als jetzt geplant erreicht.
- Die Gründungen der betroffenen Gebäude liegen tief in den felsartigen Schichten des Gipskeupers und des Lettenkeupers.
- Wie eine Begehung dieser Gebäude ergeben habe, befinden sie sich in einem guten baulichen Zustand.

Dazu ist festzustellen:

- Die maßgeblichen Grundwasserabsenkungen wurden anhand des ungeeigneten digitalen Grundwasserströmungsmodells der ARGE WUG berechnet. Sie sind daher zur Festlegung von Beweissicherungsgrenzen nicht verwendbar.
- Die „noch größeren Grundwasserabsenkungen“ beim Bau der S-Bahnbauwerke in den 70-Jahren haben höchstwahrscheinlich zu einer Verminderung der Sicherheitsreserven des Baubestands geführt.
- Die Behauptung, dass die betroffenen Gebäude sich in einem „guten baulichen Zustand“ befinden, beruht möglicherweise auf der von der Ingenieurgemeinschaft genannten Unterlage U8 („verschiedene Baugrund- und Gründungsgutachten zum PFA 1.5, Lose 1 bis 4“). Diese

Unterlage sowie wie möglicherweise andere relevante Unterlagen sind nicht öffentlich zugänglich und können daher nicht nachvollzogen werden.

Nach Angabe der Ingenieurgemeinschaft wurden für die oben genannten Bereiche maximale Setzungen von rd. 1,5 cm bis 2,0 cm und daraus Winkelverdrehungen von maximal 1:4000 berechnet. Worauf diese Zahlen beruhen, lässt die Ingenieurgemeinschaft offen, ein Rechengang fehlt. Die Angaben sind somit nicht nachvollziehbar. Wegen bereits eingetretener Vorbelastungen wie z.B. durch den Bau der S-Bahnbauwerke in den 1970-Jahren kann eine Überschreitung der bereits verminderten Sicherheitsreserven betroffener Bauwerke und somit das Auftreten von Bauschäden auch innerhalb der festgelegten Beweissicherungsgrenzen nicht ausgeschlossen werden.

Im Planfeststellungsabschnitt PFA 1.5 seien nach Ansicht der Ingenieurgemeinschaft ebenfalls keine zusätzlichen Risiken für Gebäude und bauliche Anlagen zu befürchten. Insbesondere seien keine Bauwerksschäden zu erwarten. Diese Behauptung begründet die Ingenieurgemeinschaft allein damit, dass die in den aktuellen Grundwasserberechnungen bestimmten Grundwasserabsenkmaße für die offenen Baugruben geringer seien als für den PFA 1.1. Weitere Gründe nennt sie nicht.

Dieser Argumentation ist Folgendes entgegenzuhalten:

- Die berechneten Grundwasserabsenkmaße beruhen auf dem unbrauchbaren numerischen Grundwasserströmungsmodell der ARGE WUG. Sie sind daher zur Risikoabschätzung ebenso ungeeignet wie dieses.
- Bei der Beurteilung von Risiken für Gebäude kommt es außerdem nicht nur auf die Grundwasserabsenkmaße an. Ebenso maßgeblich sind die Bodeneigenschaften und der Bauzustand. Dazu macht die Ingenieurgemeinschaft jedoch keine Aussagen.

Die Aussage, dass für den Baubestand im PFA 1.5 keine zusätzlichen Risiken den Baubestand zu befürchten sein, ist daher nicht nachvollziehbar und unbegründet.

Im Ergebnisprotokoll Nr. 0043 zum Aufklärungsgespräch mit Behörden im Zusammenhang mit dem 7. Planfeststellungsänderungsantrag PFA 1.1 vom 14.12.2011 werden unter Pkt. 3 „3.1 Schädigungen von Gebäuden / sonstigen Anlagen infolge Setzungen (PFA 1.1, PFA 1.5)“ folgende Ergebnisse formuliert (wörtlich aus [9], S. 2-3):

- *„dass aufgrund der Grundwasserabsenkung keine Setzungsschäden entstehen. Dieses Ergebnis ist von der DB PB im Antrag klar herauszuarbeiten. Es muss deutlich werden, dass es keine Schäden aufgrund der Grundwasserabsenkung geben wird.“*

Kommentar: Dieser Nachweis wurde nicht nachvollziehbar erbracht.

- *„dass die durch frühere Entwässerungen bereits erfolgten Vorkonsolidierungen des Gründungshorizontes der Gebäude in die Betrachtungen / Stellungnahme von Herrn Gilbert mit aufzunehmen sind.“*

Kommentar: Im Bericht der Ingenieurgesellschaft werden zwar Vorkonsolidierungen durch frühere Entwässerungen allgemein erwähnt, es fehlt aber jede Konkretisierung im Hinblick auf absenkungsbedingte Risiken für den Baubestand.

- *„eine explizite Erwähnung der Bereiche innerhalb der Beweissicherungsgrenzen erforderlich ist.“*

Kommentar: Dazu führt die Ingenieurgesellschaft lediglich aus, dass die S-Bahnbauwerke in den 1970-Jahren noch größere Grundwasserabsenkungen als jetzt geplant zur Folge hatten. Es wird nicht dargestellt, ob bzw. in welcher Form diese Vorbelastungen in die Risikobeurteilung eingeflossen sind.

- *„der Gebäudezustand berücksichtigt werden soll, ebenso auch mögliche Vorbelastungen durch natürliche Grundwasserschwankungen und bereits ausgeführte Baumaßnahmen. Alle Gebäude sind im Gipskeuper gegründet.“*

Kommentar: Die Ingenieurgesellschaft verweist dazu lediglich pauschal auf Vorbelastungen durch natürliche Grundwasserschwankungen und bereits ausgeführte Baumaßnahmen. Weiters gibt sie an, dass alle Gebäude im Gipskeuper gegründet seien.

- *„in der Stellungnahme von CDM, Herrn Gilbert, herauszuarbeiten ist, ob Setzungen gänzlich ausgeschlossen sind. Der Gutachter hat den aktuellen Sachstand in den Antrag aufzunehmen. Es ist dabei anzugeben, warum nach näherer Untersuchung der Gebäude und speziell der Gründungsverhältnisse (z.B. Gründung im Festgestein etc.) eine Schädigung ausgeschlossen werden kann.“*

Kommentar: Setzungen werden von der Ingenieurgesellschaft nicht gänzlich ausgeschlossen. Die Angaben, warum nach näherer Untersuchung der Gebäude und speziell der Gründungsverhältnisse eine Schädigung ausgeschlossen werden kann, sind unsubstanziert und nicht nachvollziehbar.

In Anlage 3 zu diesem Ergebnisprotokoll [13] führt der zuständige Bearbeiter, Dipl.-Ing. K.-F. Gilbert von CDM-Consult, seine Ergebnisse näher aus.

Dazu ist festzustellen:

- Die Ausführungen beruhen allesamt auf dem unbrauchbaren Grundwasserströmungsmodell der ARGE WUG. Dies betrifft insbesondere die Beträge und Reichweiten der Grundwasserab-

senkungen. Sämtliche darauf aufbauenden Berechnungen stützen sich daher auf eine unrichtige Grundlage.

- In Blatt 6 dieser Anlage wird die Berechnungsweise der Setzungen infolge der Grundwasserabsenkungen vorgestellt. Diese Berechnungen sind im Einzelnen nicht nachvollziehbar, weil die Recheneingangswerte nur teilweise angegeben werden.
- Die Berechnungen in Blatt 7 der Anlage ermitteln eine durchschnittliche Winkelverdrehung über die Strecke vom Zentrum bis zum Rand der Grundwasserabsenkung, wobei diese Strecke ohne nähere Begründung mit 100 m angesetzt wurde. Dabei berücksichtigen die Bearbeiter nicht, dass die Steilheit der Setzungsmulde und damit die Winkelverdrehung umso größer wird, je näher der betrachtete Bereich zum Zentrum der Absenkung liegt. Im Nahbereich des Absenkungszentrums können die Winkelverdrehungen daher etwa doppelt so groß oder noch größer werden wie die durchschnittlich berechneten Werte.
- In Blatt 8 der Anlage wird die Sicherheitsgrenze zur Vermeidung jeglicher Risse bei einer Winkelverdrehung von $\leq 1:500$ hervorgehoben. Nicht erwähnt wird, dass dieser Wert nur für Muldenlagen gilt. Im Absenktrichter von Grundwasserabsenkungen bildet sich allerdings eine nach oben gewölbte (konvexe) Grundwasserspiegelfläche aus. Dies führt zu ebenfalls konvexen Setzungsverläufen, welche jenen in Sattellagen entsprechen. Für Sattellagen sind jedoch nur die halben Winkelverdrehungen von Muldenlagen zulässig. Die maximal zulässige Winkelverdrehung für Grundwasserabsenkungen beträgt demnach 1:1000. Bei bestimmten baulichen Gegebenheiten können auch noch kleinere Winkelverdrehungen Bauschäden verursachen (siehe Tabelle 14 auf S. 75).

Zu den vorgenannten Unterlagen ist zusammenfassend festzustellen:

- Die Berechnungen der zu erwartenden Setzungen und Winkelverdrehungen beruhen auf dem unbrauchbaren Grundwasserströmungsmodell der ARGE WUG und sind daher von vornherein unglaubwürdig.
- Die im Aufklärungsgespräch zum 7. Planfeststellungsänderungsantrag vom 14.12.2011 formulierten Forderungen im Ergebnisprotokoll Nr. 0043 wurden nicht erfüllt.
- In den Grundwasserabsenkungsbereichen sind daher auch außerhalb der Beweissicherungsflächen Bauschäden nicht auszuschließen.

Diese Feststellungen sind sehr ernst zu nehmen, weil Fehlprognosen bei Großprojekten keine Einzelfälle sind. So wurden z.B. beim viergleisigen Ausbau der Eisenbahnstrecke Karlsruhe-Basel die vor-

triebsbedingten Setzungen im Katzenbergtunnel infolge unerwartet starker Grundwasserabsenkungen deutlich zu gering prognostiziert ([18], S. 164).

6.3 Zum Gutachten von Prof. Wittke

Das Gutachten von Prof. Wittke [37] enthält keine Angaben, auf welche Unterlagen es sich konkret bezieht.

Prof. Wittke geht in seiner Beurteilung von folgenden Grundannahmen aus ([37]):

Tabelle 15: Zusammenfassung der Grundannahmen von Prof. Wittke

Abschnitt:	PFA 1.2	PFA 1.5	PFA 1.6a
Gestein:	ausgelaugter Gipskeuper		vorwiegend unausgelaugter Gipskeuper mit „mürben“ Zonen
Erwartete Grundwasserabsenkung:	9 m im Anfahrbereich des Fildertunnels, 5 m bis zu Entfernungen von 80 m neben den Tunneln	≤ 20 m S-Bahntunnel: ca. 8 m	10 m bis ca. 70 m seitlich der Tunnel 5 m bis ca. 100 m seitlich der Tunnel
Erwartete Absenkungreichweite:	≤ 300 m	≤ 500 m	nicht angegeben
Erwartete Setzungen:	ca. 3-6 mm	5-8 mm	keine außerhalb der bestehenden Beweissicherungsgrenzen
Beweissicherungsgrenzen:	50 m seitlich der Tunnelröhren, 30 m seitlich der Rettungszufahrt	50 m	W Neckar: 50 m O Neckar: 30 m unter Gablenberg: -

Die Grundwasserabsenkungen in den unmittelbaren Baubereichen sind durch die Bauplanung vorgegeben. Die Form und Reichweite der Grundwasserabsenkung wurde instationär modelliert. Wie in den Kapiteln 4 und 5 nachgewiesen wurde, entsprechen die Berechnungen und Prognosen der Modelle nicht den definierten Qualitätsanforderungen. Sie können nicht als Grundlage für die Beurteilung von Beweissicherungsgrenzen herangezogen werden, weil sie keine zuverlässigen Vorhersagen ermöglichen.

Da die Beurteilung der Beweissicherungsgrenzen durch Prof. Wittke maßgeblich auf den unzuverlässig modellierten Grundwasserabsenkungen und Absenkungreichweiten beruht, ist ihre Aussagekraft

schon von vornherein eingeschränkt. Prof. Wittke vertritt auf S. 4 seines Gutachtens [37] selbst die Meinung, dass die instationäre Prognoserechnung die tatsächlichen Verhältnisse nicht immer korrekt abbildet.

Die Beurteilung von Prof. Wittke geht auf Vorbelastungen nicht ein. Dies widerspricht dem Grundsatz der kumulativen Betrachtung der Einwirkung auf Bauwerke. Man muss davon ausgehen, dass insbesondere ältere Bauwerke im Zuge früherer Baumaßnahmen und anderer Bodenbewegungen schon Schiefstellungen erfahren haben. Kommen noch Winkelverdrehungen durch das neue Bauvorhaben dazu, kann das besonders bei höheren oder unzureichend gegründeten Bauwerken zu Kumulationseffekten führen. Dadurch kann es auch außerhalb der bestehenden Beweissicherungsgrenzen zu Belastungen kommen, die Setzungsschäden verursachen. Unter bestimmten Voraussetzungen kann auch die Tragfähigkeit von Fundamenten überschritten werden.

Die von Prof. Wittke erwarteten Setzungsbeträge sind zwar grundsätzlich plausibel, jedoch nicht anhand von Berechnungen bzw. rechnerischen Abschätzungen nachvollziehbar. Solche Nachweise sind zur Prüfung ihrer Richtigkeit vorzulegen. Bis dahin fehlt dem Gutachten die Beweiskraft.

6.4 Notwendige Maßnahmen

- Die Beweissicherungsgrenzen sind anhand zuverlässiger Vorhersagen über die baubedingten Grundwasserabsenkungen neu zu beurteilen. Voraussetzung dafür ist eine weitgehende Überarbeitung des instationären Grundwasserströmungsmodells.
- Die Abschätzung der baubedingten Setzungsbeträge ist durch nachvollziehbare Berechnungen nachzuweisen. Die Berechnungsgrundlagen sind so vollständig anzugeben, dass eine Nachrechnung möglich ist.
- Der Bauzustand möglicherweise betroffener Objekte in den Absenkungsbereichen ist zu erheben und nachvollziehbar zu dokumentieren.
- Bestehende Einwirkungen aus früheren Baumaßnahmen sind hinsichtlich ihrer Einwirkungen auf den Baubestand festzustellen und zu dokumentieren.
- Bei der Festlegung bzw. Beurteilung der Beweissicherungsgrenzen sind bestehende Vorbelastungen des Baubestandes zu berücksichtigen.
- Bis zur Erfüllung dieser Anforderungen müssen die Beweissicherungsgrenzen sicherheitshalber auf eine Entfernung von mindestens 200 m von den Baumaßnahmen ausgedehnt werden.

Diesbezüglich wird auch auf die Forderungen des Regierungspräsidiums Freiburg verwiesen ([26], S. 4). Dort wird verlangt:

- *„die hydro- und ingenieurgeologisch-geotechnischen Verhältnisse in aussagekräftigen Schnitten (Baugrundmodell, Grundwasserstände, Auslaugungszone, Gips- und Anhydritspiegel) und Abbildungen darzustellen,*
- *die in Gutachten zu Grunde gelegten Höhenkoten, Raumlagenabgrenzungen und Berechnungsangaben (z.B. Absenk- und Infiltrationswasserstände, charakteristische Grundwasserstandsganglinien, Gipsführungen, Gleitflächenlagen, Inklinometermessungen, charakteristische Kornverteilungskurven bezüglich der Suffosionsstabilität, Berechnungsergebnisse charakteristischer Setzungsberechnungen und daraus resultierenden Winkelverdrehungen etc.) einzuarbeiten*
- *und dadurch ein eigenständiges und gesamthaft prüfbares Dokument zu schaffen, das der Beantwortung der aufgeworfenen geotechnischen Fragestellungen dient und sicherstellt, dass jeweils von denselben hydro- und ingenieurgeologischen Grundannahmen, Erkundungsständen und Bemaßungen ausgegangen wird.“*

In Übereinstimmung mit dem Regierungspräsidium Freiburg wird festgestellt, dass der vorliegende Erläuterungsbericht zur Anpassung des Grundwassermanagements infolge höheren Grundwasserandrangs diese Forderungen nicht erfüllt.

7 VERWENDETE UNTERLAGEN UND LITERATUR

- [1] ANONYM undat.: Antrag auf Änderung der Planfeststellung 1.1, 1.5 und 1.6a. 7. Planänderung - Anpassung des Grundwassermanagements infolge höheren GW-Andrangs. Erläuterungsbericht.
- [2] ARGE WASSER - UMWELT - GEOTECHNIK 6.2002: 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.
- [3] ARGE WASSER - UMWELT - GEOTECHNIK 30.7.2010: ABS / NBS Stuttgart – Augsburg. Projekt Stuttgart 21, PFA 1.1, 1.2, 1.5 und 1.6. Langzeitpumpversuch im Oberen Muschelkalk im Zeitraum 25.01.2010 – 30.01.2010. Dokumentation. – Ber. im Auftr. DBProjektBau GmbH; Westheim.
- [4] ARGE WASSER - UMWELT - GEOTECHNIK 3.11.2010: 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.
- [5] ARGE WASSER - UMWELT - GEOTECHNIK 29.3.2012: Analytische Beschreibung der Grundwasserneubildungsabhängigen Schwankungen in den bauzeitlichen Grundwasserandrangsraten und wasserrechtliche Würdigung. – Ber. im Auftr. DB ProjektBau; Westheim, Stuttgart, Dresden.
- [6] BAYERISCHES LANDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT 2004: Natürliche Schadstoffminderung bei Grundwasserverunreinigungen durch Altlasten und schädliche Bodenveränderungen - Natural Attenuation. – Merkblatt Nr. 3.8/3; München.
- [7] BRAUN P. 2000: Die vergleichende Validierung quantitativer Modelle von Pflanzengemeinschaften. – Habil.Schr.; Giessen (Justus-Liebig-Universität).
- [8] CDM CONSULT GMBH 17.5.2011: Stuttgart 21, PFA 1.1, Talquerung. – Plan 1:5000, Projekt-Nr. 74454 im Auftr. DB ProjektBau GmbH; Stuttgart.
- [9] DREES & SOMMER INFRA CONSULT UND ENTWICKLUNGSMANAGEMENT GMBH 14.12.2011: Ergebnisprotokoll Nr. 0043. Projekt Stuttgart 21, Aufklärungsgespräch mit Behörden im Zusammenhang

- mit dem 7. Planfeststellungsänderungsantrag PFA 1.1 vom 14.12.2011. – Ber. im Auftr. DB ProjektBau GmbH; Stuttgart.
- [10] FISCHER D. 2009: Interaktion zwischen Baugrund und Bauwerk. Zulässige Setzungsdifferenzen sowie Beanspruchung von Bauwerk und Gründung. – Schriftenr. Geotechnik 21; Universität Kassel.
- [11] FRANK H. undat.: Grundbau 1. – Vorlesungsskriptum Fachbereich Bauwesen, Studienrichtung Bauingenieurwesen; Giessen (Fachhochschule Giessen Friedberg).
- [12] FRITSCHKE J.-G., MARSLAND T., VARELA M., VERWEIJ W., WOLTER R. u. WUIJTS S. 2011: Leitfaden zur Risikobeurteilung und der Anwendung von konzeptionellen Modellen für Grundwasser(körper). (Englische Originalfassung: Guidance Document No. 26. Guidance on Risk Assessment and the Use of Conceptual Models for Groundwater). – Gemeinsame Umsetzungsrichtlinie zur Wasserrahmenrichtlinie (2000/60/EG), Leitfaden Nr. 26 (Englische Originalfassung: Technical Report 2010-042); Wien (Umweltbundesamt).
- [13] GILBERT K.-F. 23.3.2012: Großprojekt Stuttgart 21 - PFA 1.1. – Präsentationsfolien im Auftr. DB ProjektBau GmbH; Stuttgart (Ingenieurgesellschaft Stuttgart 21 Geotechnik CDM Dr. Spang u. WBI Wittke Geotechnical Consultants). [Beilage 3 zu [9]]
- [14] HÖLTING B. 1989: Hydrogeologie. Einführung in die Allgemeine und Angewandte Hydrogeologie. 3 Aufl. Stuttgart (Enke).
- [15] INGENIEURGEMEINSCHAFT STUTTGART 21 GEOTECHNIK CDM DR. SPANG 23.3.2012: Großprojekt Stuttgart 21 - Wendlingen - Ulm. S21, PFA 1.1 /Talquerung, PFA 1.5. Auswirkungen der geplanten Grundwasserabsenkung und Wasserinfiltration auf Nachbarbauwerke. – Schr. an DB ProjektBau GmbH; Stuttgart.
- [16] INGENIEURGESELLSCHAFT PROF. KOBUS UND PARTNER GMBH 4.2011: Grundwassermodell Stuttgart-Bad Cannstatt. Modellaufbau, Modellkalibrierung und Validierung. – Ber.Nr. A 376-1 im Auftr. Regierungspräsidium Stuttgart; Stuttgart (KUP).
- [17] KINZELBACH W. 2005: Grundwasser I. – Vorlesungsskriptum; Zürich (Eidg. Techn. Hochschule, Inst. f. Hydromechanik u. Wasserwirtschaft).
- [18] KIRSCHKE D. u. HOLZHÄUSER J. 2008: Schildvortrieb unter einem Kriechhang mit Wohnbebauung im Zuge des Katzenbergtunnels. - Beitr. Z. 7. Geotechnik-Tag in München 15.02.2008: 147-168; München (TU, Lehrstuhl u. Prüfamf. f. Grundbau, Bodenmechanik, Felsmechanik u. Tunnelbau).

- [19] 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).
- [20] KOBUS H. 26.5.2010: 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).
- [21] KOBUS H. 4.2011: Grundwassermodelle Stuttgart - Bad Cannstatt: Vergleich instationäre Modelle Stand April 2011 (auf Datenbasis bis 2008). – Ber. 2011/89 Arbeitskreis Grundwassererkundung und -modellierung; Stuttgart (Inst. F. Wasserbau, Universität Stuttgart).
- [22] LUEGER J. 18.5.2012: Vorläufige Stellungnahme zum Gutachten von Prof. Dr.-Ing. W. Wittke (WBI) vom 22.6.2011 „Stuttgart 21 – PFA 1.2/1.5/1.6 – Grundwassermanagement. Bewertung der Ergebnisse der Prognoseberechnungen mit dem instationären Grundwassermodell im Hinblick auf Beweissicherungsgrenzen.“ – Stellungnahme GZ. 312/12 im Auftr. BUND-Regionalverband Stuttgart; St. Leonhard/F. (InGEO Dr. Lueger).
- [23] NÄDELIN U. S. 2003: GIS gestütztes Pre- und Postprocessing für die numerische Grundwassermodellierung. Objekt orientiertes Konzept und beispielhafte Umsetzung. – Dipl.Arb.; Freiburg i.Br. (Albert-Ludwigs-Universität, Institut für Hydrologie).
- [24] POPPER K. R. 1989: Logik der Forschung. 9. Aufl. Tübingen (Mohr).
- [25] PRESTEL R. u. SCHLOZ W. 2009: Die hydrogeologischen Ergebnisse der Thermalwasserbohrung in den Oberen Muschelkalk für das Merke'sche Bad in Esslingen am Neckar. – Jh. Ges. Naturkunde, Württemberg, 165/1, S. 13-39; Stuttgart.
- [26] REGIERUNGSPRÄSIDIUM FREIBURG, LANDESAMT FÜR GEOLOGIE, ROHSTOFFE UND BERGBAU 22.10.2012: Projekt "Umgestaltung des Bahnknotens Stuttgart - ABS/NBS Stuttgart-Augsburg" im Bereich Stuttgart-Wendlingen mit Flughafenbindung (Stuttgart 21) der DB Netz AG, vertreten durch die DB ProjektBau GmbH; Planänderungsverfahren (PÄV) für das Grundwassermanagement in den Planfeststellungsabschnitten PFA 1.1 ("Talquerung mit Hauptbahnhof", 7. PÄV), PFA 1.5 ("Zuführung Feuerbach und Bad Cannstatt", 6. PÄV) und PFA 1.6a ("Zuführung Ober- und Untertürkheim", 2. PÄV) auf der Gemarkung der Landeshauptstadt Stuttgart (TK 25: 7121 Stuttgart-Nordost, 7220 Stuttgart-Südwest, 7221 Stuttgart-Südost). – Stellungnahme; Freiburg i. Br.

- [27] RICKMANN T. 2003: Erläuterungen zum Blatt 6626 Schrozberg-Ost. (Geologische Karte von Baden-Württemberg, 1 : 25 000). – Diss.; Stuttgart (Inst. F. Geologie und Paläontologie, Universität Stuttgart).
- [28] SPITZBERG S. 2012: MAGPlan. Sauberes Grundwasser für Stuttgart. – Abschlussbericht WP1 (Kurzfassung); Stuttgart (BoSS Consult GmbH).
- [29] SPITZBERG S. u. UFRECHT W. 2006: Hydrogeologisches Modell Stuttgart-Feuerbach, Abschlussbericht. – Interreg IIIB-Projekt „Management of Groundwater at Industrially Contaminated Sites“.
- [30] THEIS H.-J. 2005: Quantifizierung der Prognoseunsicherheiten bei der praktischen Anwendung numerischer Grundwassermodelle. – Diss.; Kaiserslautern (Universität, Fachber. Architektur / Raum- und Umweltplanung / Bauingenieurwesen).
- [31] UFRECHT W. 2005: Fortschreibung des Hydrogeologischen Modells Stuttgarter Talkessel. – Gutachten Nr. 41/05-1 im Auftr. Amt für Umweltschutz der Landeshauptstadt Stuttgart; Stuttgart.
- [32] UFRECHT W. u. HARLACHER C. 1998: Hydrogeologisches Systemmodell Stuttgart - Feuerbacher Tal, Stuttgarter Talkessel, Neckartal. – Gutachten Nr. 41/98-1 im Auftr. Amt für Umweltschutz der Landeshauptstadt Stuttgart; Stuttgart.
- [33] UFRECHT W. u. RENNER S. 1996: Hydrogeologisches Modell Stuttgarter Talkessel (Nesenbachtal). – Gutachten Nr. 41/95-4 im Auftr. Amt für Umweltschutz der Landeshauptstadt Stuttgart; Stuttgart.
- [34] WIKIMANNIA 11.10.2012 (Abfrage): Das Bett des Prokrustes. – http://wikimannia.org/Das_Bett_des_Prokrustes.
- [35] WIKIPEDIA 11.10.2012 (Abfrage): Prokrustes. – <http://de.wikipedia.org/wiki/Prokrustes>.
- [36] WIKIPEDIA 13.10.2012 (Abfrage): Validierung. – <http://de.wikipedia.org/wiki/Validierung>.
- [37] WITTKÉ W. 22.6.2011: Stuttgart 21 – PFA 1.2/1.5/1.6 – Grundwassermanagement. Bewertung der Ergebnisse der Prognoseberechnungen mit dem instationären Grundwassermodell im Hinblick auf Beweissicherungsgrenzen. – Gutachten im Auftr. DB ProjektBau; Aachen (Prof. Dr. W. Wittke, Beratende Ingenieure für Grundbau und Felsbau GmbH).

Durchlässigkeiten nach geohydraulischen Versuchen

In den folgenden Tabellen werden die für diese Analyse verwendeten Durchlässigkeitsbeiwerte aufgrund geohydraulischer Versuche nach stratigraphischen Einheiten zusammengefasst. Quelle ist die Zusammenstellung in der Gemeinsamen Datenbasis in ARGE Wasser - Umwelt - Geotechnik 6.2002 ([2], Anlage 1.6.2). Nicht übernommen wurden Daten aus Versuchen, die nicht eindeutig auswertbar waren sowie Ergebnisse aus Versuchen, die sich über mehr als eine stratigraphische Einheit erstreckten.

Abkürzungen:

PFA	Planfeststellungsabschnitt
EKP	Erkundungsprogramm
K_f	Durchlässigkeitsbeiwert
A	Auffüllung
q	Quartär (ungegliedert)
q gg	Quartär / Neckarkies
qst	Quartär Wanderschutt
km1ES	Esteriensschichten (mittlerer Keuper)
km1MGH	Mittlerer Gipshorizont
km1BB	Bleiglanzbankschichten
km1DRM	Dunkelrote Mergel
km1BH	Bochinger Horizont
km1GG	Grundgipsschichten
ku2	Mittlerer Lettenkeuper
ku2GD	Grenzdolomit
ku2GM	Grüne Mergel
ku2LD	Linguladolomit
ku2AD	Anoplophoradolomit
mo	Oberer Muschelkalk
mo1	Oberer Muschelkalk, höherer Abschnitt
Mo2	Oberer Muschelkalk, tieferer Abschnitt
mo2D	Trigonodusdolomit
mo2K	Künzelsauer Schichten

Quartär

Az.	PFA	Blatt	EKP	Bohrung	Stratigraphie	K_f [m/s]	$\ln(K_f)$
A0005	1.1	2	1	B 11	q	3,80E-08	-17,08567968
A0005	1.1	2	1	B 11	q	5,40E-07	-14,4316967
A0005	1.1	2	1	B 11	q	1,20E-06	-13,633189
A0005	1.1	2	1	B 13	q	6,10E-06	-12,00722179
A0005	1.1	2	1	B 13	q	5,40E-06	-12,1291116
A0005	1.1	2	1	B 13	q	6,50E-06	-11,94370838
A0005	1.1	2	1	B 20	q	1,90E-06	-13,17365667
A0005	1.1	2	1	B 20	q	1,80E-06	-13,22772389
A0005	1.1	2	1	B 20	q	4,10E-06	-12,40452358
A0005	1.1	7	2	B 211	q	6,00E-06	-12,02375109
A0005	1.1	7	2	B 211	q	9,50E-06	-11,56421876
A0005	1.1	7	2	B 211	q	5,80E-06	-12,05765264
A0005	1.1	7	2	B 211	q	6,10E-06	-12,00722179

Az.	PFA	Blatt	EKP	Bohrung	Stratigraphie	K _f [m/s]	Ln(K _f)
A0005	1.1	7	2	B 211	q	7,30E-06	-11,82763621
A0005	1.1	7	2	B 212	q	1,70E-05	-10,98229721
A0005	1.1	7	2	B 212	q	1,40E-05	-11,17645323
A0005	1.1	7	2	B 212	q	1,70E-05	-10,98229721
A0005	1.1	7	2	B 212	q	1,70E-05	-10,98229721
A0005	1.1	7	2	B 212	q	1,80E-05	-10,9251388
A0005	1.1	7	2	B 213	q	1,20E-05	-11,33060391
A0005	1.1	7	2	B 213	q	7,50E-06	-11,80060754
A0005	1.1	7	2	B 213	q	5,80E-06	-12,05765264
A0005	1.1	7	2	B 213	q	1,00E-05	-11,51292546
A0005	1.1	7	2	B 213	q	8,50E-06	-11,67544439
A0005	1.1	8	2	B 220	q	3,60E-06	-12,53457671
A0005	1.1	8	2	B 220	q	3,60E-06	-12,53457671
A0005	1.1	8	2	B 220	q	3,70E-06	-12,50717774
A0005	1.1	8	2	B 220	q	5,60E-06	-12,09274396
A0005	1.1	8	2	B 220	q	4,80E-06	-12,24689464
A0005	1.1	8	2	B 222	q	6,70E-05	-9,610817939
A0005	1.1	8	2	B 222	q	5,20E-05	-9,864266839
A0005	1.1	8	2	B 222	q	3,70E-05	-10,20459265
A0005	1.1	8	2	B 222	q	4,70E-05	-9,965362956
A0005	1.1	8	2	B 222	q	5,40E-05	-9,826526511
A0005	1.1	9	2	B 234	q	2,30E-04	-8,377431249
A0005	1.1	9	2	B 234	q	2,40E-04	-8,334871635
A0005	1.1	9	2	B 234	q	2,20E-04	-8,421883012
A0005	1.1	9	2	B 234	q	1,90E-04	-8,568486486
A0005	1.1	9	2	B 234	q	2,20E-04	-8,421883012
A0005	1.1	9	2	B 241	q	9,00E-03	-4,710530702
A0005	1.1	9	2	B 241	q	1,00E-02	-4,605170186
A0005	1.1	9	2	B 241	q	5,90E-03	-5,132802928
A0005	1.1	9	2	B 241	q	1,50E-02	-4,199705078
A0005	1.1	9	2	B 241	q	2,00E-02	-3,912023005
A0005	1.1	9	2	B 242	q	8,10E-04	-7,11847631
A0005	1.1	9	2	B 242	q	9,00E-04	-7,013115795
A0005	1.1	9	2	B 242	q	1,70E-03	-6,377127028
A0005	1.1	9	2	B 242	q	1,80E-03	-6,319968614
A0005	1.1	9	2	B 242	q	1,80E-03	-6,319968614
A0005	1.1	10	2	B 222	q	3,90E-05	-10,15194891
A0005	1.1	10	2	B 222	q	4,00E-05	-10,1266311
A0005	1.1	10	2	B 222	q	2,40E-05	-10,63745673
A0005	1.1	10	2	B 222	q	2,00E-05	-10,81977828
A0005	1.1	10	2	B 222	q	3,00E-05	-10,41431318
A0005	1.1	13	3	B 350	q	7,60E-03	-4,879607032
A0005	1.1	13	3	B 350	q	8,10E-03	-4,815891217
A0005	1.1	13	3	B 350	q	6,40E-03	-5,051457289
A0005	1.1	13	3	B 350	q	6,90E-03	-4,976233867
A0005	1.1	13	3	B 350	q	5,50E-03	-5,203007187
A0005	1.1	13	3	B 352	q	2,50E-03	-5,991464547

Az.	PFA	Blatt	EKP	Bohrung	Stratigraphie	K _f [m/s]	Ln(K _f)
A0005	1.1	13	3	B 352	q	2,50E-03	-5,991464547
A0005	1.1	13	3	B 352	q	2,40E-03	-6,032286542
A0005	1.1	27	4	BK 11/4	q (Doline)	1,40E-05	-11,17645323
A0005	1.1	27	4	BK 11/4	q (Doline)	1,30E-05	-11,2505612
A0005	1.1	27	4	BK 11/4	q (Doline)	1,90E-05	-10,87107158
A0005	1.1	29	4	BK 11/15	q	1,20E-05	-11,33060391
A0005	1.1	29	4	BK 11/15	q	1,40E-05	-11,17645323
A0005	1.1	30	4	BK 11/54	q	2,10E-05	-10,77098812
A0005	1.1	30	4	BK 11/54	q	3,50E-05	-10,2601625
A0005	1.1	30	4	BK 11/54	q	3,80E-05	-10,1779244
A0005	1.1	30	4	BK 11/58	q	6,50E-05	-9,641123288
A0005	1.1	30	4	BK 11/58	q	3,60E-05	-10,23199162
A0005	1.1	30	4	BK 11/58	q	2,80E-05	-10,48330605
A0005	1.1	31	4	BK 11/59	q	1,60E-05	-11,04292184
A0005	1.1	31	4	BK 11/59	q	1,30E-05	-11,2505612
A0005	1.1	31	4	BK 11/59	q	1,40E-05	-11,17645323
A0005	1.1	31	4	BK 11/59	q	1,40E-04	-8,873868135
A0005	1.1	31	4	BK 11/59	q	1,40E-04	-8,873868135
A0005	1.1	31	4	BK 11/59	q	1,50E-05	-11,10746036
A0005	1.1	31	4	BK 11/63	q	1,30E-04	-8,947976108
A0005	1.1	31	4	BK 11/63	q	8,50E-05	-9,372859301
A0005	1.1	31	4	BK 11/63	q	6,80E-05	-9,596002853
A0005	1.1	31	4	BK 11/64	q	1,20E-04	-9,028018815
A0005	1.1	31	4	BK 11/64	q	6,00E-05	-9,721165996
A0005	1.1	31	4	BK 11/64	q	2,50E-05	-10,59663473
A0005	1.1	32	4	BK 11/69	q	3,70E-04	-7,902007552
A0005	1.1	32	4	BK 11/69	q	7,40E-04	-7,208860372
A0005	1.1	32	4	BK 11/69	q	6,80E-04	-7,29341776
A0005	1.1	32	4	BK 11/69	q	1,60E-05	-11,04292184
A0005	1.1	32	4	BK 11/73	q	4,20E-04	-7,775255847
A0005	1.1	32	4	BK 11/73	q	3,50E-04	-7,957577403
A0005	1.1	32	4	BK 11/73	q	1,90E-04	-8,568486486
A0005	1.1	32	4	BK 11/73	q	2,20E-04	-8,421883012
A0005	1.1	32	4	BK 11/76	q	5,60E-06	-12,09274396
A0005	1.1	32	4	BK 11/76	q	1,00E-05	-11,51292546
A0005	1.1	32	4	BK 11/79	q	9,00E-06	-11,61828598
A0005	1.1	32	4	BK 11/79	q	1,40E-05	-11,17645323
A0005	1.1	34	4	BK 11/130	qst	3,10E-05	-10,38152335
A0005	1.1	34	4	BK 11/130	qst	6,70E-05	-9,610817939
A0005	1.1	34	4	BK 11/130	qst	3,40E-05	-10,28915003
A0005	1.1	34	4	BK 11/130	qst	2,30E-05	-10,68001634
A0005	1.1	35	4	BK 11/132	q	1,40E-04	-8,873868135
A0005	1.1	35	4	BK 11/132	q	1,50E-04	-8,804875264
A0005	1.1	35	4	BK 11/132	q	1,10E-04	-9,115030192
A0005	1.1	35	4	BK 11/132	q	1,00E-04	-9,210340372
A0005	1.1	37	4	B 222	q	7,00E-06	-11,86960041
A0005	1.1	37	4	B 222	q	5,20E-05	-9,864266839

Az.	PFA	Blatt	EKP	Bohrung	Stratigraphie	K _f [m/s]	Ln(K _f)
A0005	1.1	37	4	B 222	q	1,00E-04	-9,210340372
A0011	1.1	38	5	BK 11/16GM	q	3,52E-05	-10,25446448
A0011	1.1	38	5	BK 11/16GM	q	3,56E-05	-10,24316492
A0011	1.1	38	5	BK 11/41	q	1,86E-06	-13,19493407
A0011	1.1	38	5	BK 11/41	q	2,00E-06	-13,12236338
A0011	1.1	38	5	BK 11/41	q	7,30E-06	-11,82763621
A0011	1.1	38	5	BK 11/42	q	6,00E-04	-7,418580903
A0011	1.1	38	5	BK 11/42	q	4,94E-04	-7,612975041
A0011	1.1	38	5	BK 11/46	q	2,92E-04	-8,138756756
A0011	1.1	38	5	BK 11/46	q	2,91E-04	-8,142187291
A0011	1.1	38	5	BK 11/48	q	2,11E-05	-10,76623752
A0011	1.1	38	5	BK 11/48	q	2,11E-05	-10,76623752
A0011	1.1	39	5	BK 11/49	q	1,04E-06	-13,77628984
A0011	1.1	39	5	BK 11/49	q	1,10E-06	-13,72020038
A0011	1.1	39	5	BK 11/52	q	8,12E-05	-9,418595311
A0011	1.1	39	5	BK 11/52	q	7,97E-05	-9,437240972
A0011	1.1	39	5	BK 11/91	q	3,88E-06	-12,4596754
A0011	1.1	39	5	BK 11/91	q	4,02E-06	-12,42422866
A0011	1.1	39	5	BK 11/152	q	3,27E-06	-12,63072057
A0011	1.1	39	5	BK 11/152	q	3,17E-06	-12,66177897
A0011	1.1	39	5	BK 11/152	q	2,42E-06	-12,93174302
A0011	1.1	40	5	B 11	q	5,90E-07	-14,3431433
A0011	1.1	40		B 13	q	6,00E-06	-12,02375109
A0011	1.1	40		B 20	q	2,60E-06	-12,85999911
A0011	1.1	40		B 211	q	6,90E-06	-11,88398915
A0011	1.1	40		B 212	q	1,70E-05	-10,98229721
A0011	1.1	40		B 213	q	8,80E-06	-11,64075884
A0011	1.1	40		B 222	q	5,10E-05	-9,883684925
A0011	1.1	40		B 222	q	9,60E-05	-9,251162366
A0011	1.1	40		B 222	q	3,30E-05	-10,319003
A0011	1.1	40		BK 11/2	q	1,50E-05	-11,10746036
A0011	1.1	40		BK 11/4	q	1,50E-05	-11,10746036
A0011	1.1	40		BK 11/15	q	1,30E-05	-11,2505612
A0011	1.1	40		BK 11/16 GM	q	3,50E-05	-10,2601625
A0011	1.1	40		BK 11/41	q	3,00E-06	-12,71689827
A0011	1.1	40		BK 11/42	q	5,40E-04	-7,523941418
A0011	1.1	40		BK 11/46	q	2,90E-04	-8,145629635
A0011	1.1	40		BK 11/48 GM	q	2,10E-05	-10,77098812
A0011	1.1	40		BK 11/49	q	1,10E-06	-13,72020038
A0011	1.1	40		BK 11/52	q	8,00E-05	-9,433483923
A0011	1.1	40		BK 11/54	q	3,10E-05	-10,38152335
A0011	1.1	41		BK 11/58	q	4,00E-05	-10,1266311
A0011	1.1	41		BK 11/61	q	2,60E-05	-10,55741402
A0011	1.1	41		BK 11/63	q	9,10E-05	-9,304651051
A0011	1.1	41		BK 11/64	q	5,60E-05	-9,790158867
A0011	1.1	41		BK11/66	q	2,20E-05	-10,7244681
A0011	1.1	41		BK 11/69	q	4,00E-04	-7,824046011

Az.	PFA	Blatt	EKP	Bohrung	Stratigraphie	K_f [m/s]	$\ln(K_f)$
A0011	1.1	41		BK 11/73	q	3,20E-04	-8,047189562
A0011	1.1	41		BK 11/85	q	1,40E-05	-11,17645323
A0011	1.1	41		BK 11/91	q	3,90E-06	-12,454534
A0011	1.1	42		BK 11/98	q	8,20E-04	-7,106206218
A0011	1.1	42		BK 11/130	q	3,40E-05	-10,28915003
A0011	1.1	42		BK 11/130	q	2,10E-05	-10,77098812
A0011	1.1	42		BK 11 /132 VB	q	1,30E-04	-8,947976108
A0011	1.1	42		BK 11 /132 VB	q	5,80E-05	-9,755067547
A0011	1.1	42		BK 11/152	q	2,90E-06	-12,75079982
82705	1.5	27	4	BK 15.1/6	q	2,10E-05	-10,77098812
82705	1.5	27	4	BK 15.1/6	q	2,40E-05	-10,63745673
82705	1.5	28	4	BK 15.2/6	q	9,50E-07	-13,86680385
82705	1.5	28	4	BK 15.2/6	q	3,90E-06	-12,454534
82705	1.5	28	4	BK 15.2/7	q	2,00E-05	-10,81977828
82705	1.5	28	4	BK 15.2/7	q	4,30E-05	-10,05431044
82705	1.5	28	4	BK 15.2/7	q	2,40E-05	-10,63745673
82705	1.5	28	4	BK 15.2/9	q	3,30E-03	-5,713832811
82705	1.5	28	4	BK 15.2/9	q	9,50E-03	-4,65646348
82705	1.5	28	4	BK 16/1	q	1,00E-06	-13,81551056
A0011	1.5	3	5	BK 5.5 / 23	q	1,04E-05	-11,47370475
A0011	1.5	3	5	BK 5.5 / 24	q	3,59E-05	-10,23477326
A0011	1.5	3	5	BK 5.5 / 25	q	2,46E-07	-15,2179343
A0011	1.5	3	5	BK 5.5/26 GM	q	3,17E-06	-12,66177897
A0011	1.5	3	5	BK 5.5/26 GM	q	2,69E-06	-12,82596936
A0011	1.5	5	5	BK 5.5 / 40	q	4,59E-08	-16,89680072
A0011	1.5	5	5	BK 5.5 / 40	q	1,31E-08	-18,15065361
A0011	1.5	6	5	BK 5.5 / 42	q	1,38E-07	-15,79601215
A0011	1.5	6	5	BK 5.5 / 44	q	6,49E-03	-5,037492748
A0011	1.5	6	5	BK 5.5 / 45	q	5,59E-03	-5,186775992
A0011	1.5	6	5	BK 5.5 / 46	q	2,39E-02	-3,73387682
A0011	1.5	6	5	BK 5.5 / 46	q	4,34E-03	-5,439880931
A0011	1.5	6	5	BK 5.5 / 47	q	6,79E-03	-4,992304337
A0011	1.5	6	5	BK 5.5 / 47	q	3,44E-02	-3,369698715
A0011	1.5	6	5	BK 5.5 / 48	q	1,66E-02	-4,098352584
A0011	1.5	6	5	BK 5.5 / 48	q	3,37E-03	-5,692842535
A0011	1.5	6	5	BK 5.5 / 49	q	1,12E-02	-4,491841501
A0011	1.5	6	5	BK 5.5 / 49	q	1,04E-04	-9,171119659
A0011	1.5	6	5	BK 5.5 / 50	q	5,08E-04	-7,58502911
A0011	1.5	6	5	BK 5.5 / 50	q	1,13E-05	-11,39070783
A0011	1.5	6	5	BK 5.5 / 51	q	4,15E-04	-7,787232038
A0011	1.5	6	5	BK 5.5 / 52	q	1,77E-03	-6,336775732
A0011	1.5	6	5	BK 5.5 / 53	q	1,06E-03	-6,849486371
A0011	1.5	7	5	BK 5.5 / 73	q	2,48E-06	-12,907252
A0011	1.5	8	5	BK 5.5 / 74	q	4,71E-06	-12,26582265
A0011	1.5	8	5	BK 5.5 / 75	q	1,36E-05	-11,20544077
A0011	1.5	8	5	BK 5.5 / 76	q	5,02E-07	-14,50466572
A0011	1.5	8	5	BK 5.5 / 79	q	7,68E-06	-11,77689101

Az.	PFA	Blatt	EKP	Bohrung	Stratigraphie	K_f [m/s]	$\ln(K_f)$
A0011	1.5	8	5	BK 5.5/80 GM	q	5,58E-06	-12,09632178
A0011	1.5	8	5	BK 5.5/81	q	3,13E-07	-14,97706265
A0011	1.5	9	5	BK 5.5/88	q	6,00E-06	-12,02375109
A0011	1.5	9	5	BK 5.5/92 GM	q	5,94E-03	-5,126046146
A0011	1.5	9	5	BK 5.5/92 GM	q	1,83E-03	-6,303439312
A0011	1.5	10	5	BK 5.5/102 (1)	q	6,04E-06	-12,01710655
A0011	1.5	10	5	BK 5.5/103	q	8,35E-06	-11,69324902
A0011	1.5	10	5	BK 5.5/113 GM	q	7,75E-06	-11,76781771
A0011	1.5	10	5	BK 5.5/114 GM	q	4,75E-06	-12,25736594
A0011	1.5	11	5	BK 5.5/114 GM	q	7,39E-06	-11,81538282
A0011	1.5	12	5	B 309	q	1,91E-03	-6,260652037
82705	1.6	27	4	BK 17.2/1	q	1,40E-03	-6,571283042
82705	1.6	27	4	BK 17.2/1	q	1,10E-03	-6,812445099
82705	1.6	27	4	BK 17.2/2	q	1,20E-04	-9,028018815
82705	1.6	27	4	BK 17.2/2	q	6,50E-05	-9,641123288
82705	1.6	27	4	BK 17.2/2	q	1,90E-04	-8,568486486
82705	1.6	27	4	BK 17.2/2	q	5,80E-05	-9,755067547
82705	1.6	27	4	BK 17.2/3	q	3,40E-03	-5,683979847
82705	1.6	27	4	BK 17.2/3	q	3,40E-03	-5,683979847
82705	1.6	27	4	BK 17.2/4	q	8,10E-03	-4,815891217
82705	1.6	27	4	BK 17.2/4	q	5,50E-03	-5,203007187
82705	1.6	27	4	BK 17.2/4	q	3,70E-03	-5,599422459
82705	1.6	27	4	BK 17.2/5	q	7,10E-03	-4,947660495
82705	1.6	27	4	BK 17.2/6	q(A)	7,50E-03	-4,892852258
82705	1.6	27	4	BK 17.2/6	q(A)	6,40E-03	-5,051457289
82705	1.6	27	4	BK 17.2/6	q(A)	7,30E-06	-11,82763621
82705	1.6	27	4	BK 17.2/8	q	3,80E-04	-7,875339305
82705	1.6	27	4	BK 17.2/8	q	4,20E-04	-7,775255847
82705	1.6	27	4	BK 17.2/10	q	3,80E-03	-5,572754212
82705	1.6	27	4	BK 17.2/12	q(A)	7,20E-05	-9,538844439
82705	1.6	27	4	BK 17.2/12	q(A)	9,40E-05	-9,272215776
82705	1.6	27	4	BK 17.2/12	q(A)	1,50E-04	-8,804875264
82705	1.6	28	4	BK 17.2/13	q(A)	3,10E-03	-5,776353167
82705	1.6	28	4	BK 17.2/13	q(A)	2,30E-03	-6,074846156
82705	1.6	28	4	BK 17.2/15	q	1,40E-02	-4,268697949
82705	1.6	28	4	BK 17.2/15	q	1,50E-02	-4,199705078
82705	1.6	28	4	BK 17.2/16	q	1,60E-04	-8,740336743
82705	1.6	28	4	BK 17.2/16	q	7,60E-04	-7,182192125
82705	1.6	28	4	BK 17.2/17	q	7,10E-03	-4,947660495
82705	1.6	28	4	BK 17.2/17	q	1,70E-03	-6,377127028
82705	1.6	28	4	BK 17.2/18	q	1,30E-02	-4,342805922
82705	1.6	28	4	BK 17.2/18	q	1,00E-02	-4,605170186
82705	1.6	28	4	BK 17.2/18	q	9,30E-03	-4,677740879
82705	1.6	28	4	BK 17.2/18	q	7,90E-03	-4,84089252
82705	1.6	28	4	BK 17.2/19	q	2,80E-03	-5,878135862
82705	1.6	28	4	BK 17.2/19	q	9,70E-04	-6,938214486
82705	1.6	28	4	BK 17.2/20	q	3,70E-04	-7,902007552

Az.	PFA	Blatt	EKP	Bohrung	Stratigraphie	K_f [m/s]	$\ln(K_f)$
82705	1.6	28	4	BK 17.2/20	q	6,90E-04	-7,27881896
82705	1.6	28	4	BK 17.2/20	q	2,50E-03	-5,991464547
82705	1.6	28	4	BK 17.2/21	q	1,80E-02	-4,017383521
82705	1.6	28	4	BK 17.2/21	q	1,70E-02	-4,074541935
82705	1.6	28	4	BK 17.2/22	q	2,20E-02	-3,816712826
82705	1.6	28	4	BK 17.2/22	q	1,80E-02	-4,017383521
82705	1.6	28	4	BK 17.2/22	q	2,10E-02	-3,863232841
82705	1.6	28	4	BK 17.2/22	q	1,70E-02	-4,074541935
82705	1.6	28	4	BK 17.2/23	q	3,10E-03	-5,776353167
82705	1.6	28	4	BK 17.2/24	q	3,70E-02	-3,296837366
82705	1.6	28	4	BK 17.2/24	q	1,00E-02	-4,605170186
82705	1.6	28	4	BK 17.2/24	q	4,80E-04	-7,641724454
82705	1.6	28	4	BK 17.2/24	q	3,40E-04	-7,98656494
82705	1.6	28	4	BK 17.2/25	q(A)	9,20E-04	-6,991136888
82705	1.6	28	4	BK 17.2/25	q(A)	9,20E-04	-6,991136888
82705	1.6	28	4	BK 17.2/27	q	5,90E-03	-5,132802928
82705	1.6	28	4	BK 17.2/27	q	1,20E-02	-4,422848629
82705	1.6	28	4	BK 17.3/1	q(A)	5,60E-05	-9,790158867
82705	1.6	28	4	BK 17.3/1	q(A)	6,20E-05	-9,688376173
82705	1.6	28	4	BK 17.3/2	q	7,00E-03	-4,96184513
82705	1.6	29	4	BK 17.3/3	q	2,40E-02	-3,729701449
82705	1.6	29	4	BK 17.3/3	q	1,60E-02	-4,135166557
82705	1.6	29	4	BK 17.3/5	q	6,20E-03	-5,083205987
82705	1.6	29	4	BK 17.3/5	q	2,60E-03	-5,952243834
82705	1.6	29	4	BK 17.3/5	q	1,10E-03	-6,812445099
82705	1.6	29	4	BK 17.3/5	q	1,10E-03	-6,812445099
82705	1.6	29	4	BK 17.3/5	q	1,30E-03	-6,645391015
82705	1.6	29	4	BK 17.3/6	q	1,20E-03	-6,725433722
82705	1.6	29	4	BK 17.3/6	q	2,00E-02	-3,912023005
82705	1.6	29	4	BK 17.3/8	q	4,40E-03	-5,426150738
82705	1.6	29	4	BK 17.3/8	q	3,00E-03	-5,80914299
82705	1.6	29	4	BK 17.3/8	q	4,30E-03	-5,449140256
82705	1.6	29	4	BK 17.3/8	q	3,00E-03	-5,80914299
82705	1.6	29	4	BK 17.3/10	q	1,70E-03	-6,377127028
82705	1.6	30	4	BK 17.4/4	q	1,00E-02	-4,605170186
82705	1.6	30	4	BK 17.4/4	q	2,50E-02	-3,688879454
82705	1.6	30	4	BK 17.4/6	q	1,70E-02	-4,074541935
82705	1.6	30	4	BK 17.4/8	q	3,20E-02	-3,442019376
82705	1.6	30	4	BK 17.4/9	q	3,00E-02	-3,506557897
82705	1.6	30	4	BK 17.4/9	q	2,90E-02	-3,540459449
82705	1.6	30	4	BK 17.4/10	q	7,70E-03	-4,86653495
82705	1.6	30	4	BK 17.4/10	q	6,60E-03	-5,02068563
82705	1.6	30	4	BK 17.4/11	q(A)	4,70E-06	-12,26794805
82705	1.6	30	4	BK 17.4/11	q(A)	3,90E-06	-12,454534
82705	1.6	30	4	BK 17.4/12	q	7,30E-03	-4,919880931
82705	1.6	30	4	BK 17.4/12	q	5,10E-05	-9,883684925
82705	1.6	31	4	BK 17.4/16	q	5,30E-02	-2,937463365

Az.	PFA	Blatt	EKP	Bohrung	Stratigraphie	K_f [m/s]	$\ln(K_f)$
82705	1.6	31	4	BK 17.4/16	q	4,30E-02	-3,146555163
82705	1.6	31	4	BK 17.4/17	q	7,90E-03	-4,84089252
82705	1.6	31	4	BK 17.4/17	q	5,80E-03	-5,149897361
82705	1.6	31	4	BK 17.4/18	q	6,20E-03	-5,083205987
82705	1.6	31	4	BK 17.4/18	q	9,30E-03	-4,677740879
82705	1.6	31	4	BK 17.4/19	q	5,20E-03	-5,259096653
82705	1.6	31	4	BK 17.4/19	q	1,70E-02	-4,074541935
82705	1.6	32	4	BK 17.4/20	q	3,30E-03	-5,713832811
82705	1.6	32	4	BK 17.4/20	q	2,20E-03	-6,119297919
82705	1.6	32	4	BK 18.1/1	q	1,40E-03	-6,571283042
82705	1.6	32	4	BK 18.1/4	q	4,40E-03	-5,426150738
82705	1.6	32	4	BK 18.1/4	q	7,90E-03	-4,84089252
82705	1.6	32	4	BK 18.1/5	q	1,20E-02	-4,422848629
82705	1.6	32	4	BK 18.2/1	q	5,00E-05	-9,903487553
A0011	1.6	2	5	BK 5.6 / 20	q	2,23E-05	-10,71092388
A0011	1.6	2	5	BK 5.6 / 21	q	2,98E-02	-3,513246885
A0011	1.6	2	5	BK 5.6 / 22 GM	q	3,08E-03	-5,782825682
A0011	1.6	3	5	BK 5.6 / 23	q	7,75E-03	-4,860062436
A0011	1.6	3	5	BK 5.6 / 24	q	8,26E-03	-4,796330691
A0011	1.6	3	5	BK 5.6 / 25	q	1,32E-03	-6,630123542
A0011	1.6	3	5	BK 5.6 / 26	q	1,71E-02	-4,068676815
A0011	1.6	3	5	BK 5.6 / 26	q	8,61E-07	-13,96517133
A0011	1.6	3	5	BK 5.6 / 27	q	7,97E-03	-4,832070786
A0011	1.6	3	5	BK 5.6 / 28	q	1,23E-03	-6,70074111
A0011	1.6	3	5	BK 5.6 / 30	q	1,35E-02	-4,305065594
A0011	1.6	3	5	BK 5.6 / 31	q	7,54E-04	-7,19011819
A0011	1.6	3	5	BK 5.6 / 33	q	7,08E-04	-7,253066464
A0011	1.6	3	5	BK 5.6 / 38	q	2,28E-06	-12,99133511
A0011	1.6	3	5	BK 5.6 / 38	q gg	5,63E-03	-5,179645837
A0011	1.6	3	5	BK 5.6 / 39	q	3,37E-06	-12,60059781
A0011	1.6	4	5	BK 5.6 / 43	q	3,09E-05	-10,38475437
A0011	1.6	4	5	BK 5.6 / 45	q gg	2,25E-02	-3,79423997
A0011	1.6	4	5	BK 5.6 / 46	q gg	1,46E-03	-6,529318843
A0011	1.6	4	5	BK 5.6 / 47	q	2,48E-04	-8,302081812
A0011	1.6	4	5	BK 5.6 / 49	q	9,81E-04	-6,926938098
A0011	1.6	4	5	BK 5.6 / 51	q	1,01E-05	-11,50297513
A0011	1.6	4	5	BK 5.6 / 52	q	9,36E-04	-6,973895081
A0011	1.6	4	5	BK 5.6 / 53	q	3,09E-03	-5,779584188
A0011	1.6	4	5	BK 5.6 / 54	q	2,95E-03	-5,825950109
A0011	1.6	4	5	BK 5.6 / 55	q	2,89E-05	-10,45166896
A0011	1.6	4	5	BK 5.6 / 57 GM	q	2,98E-02	-3,513246885
A0011	1.6	4	5	BK 5.6 / 58	q	3,88E-02	-3,249335032
A0011	1.6	4	5	BK 5.6 / 59	q	2,11E-01	-1,555897146
A0011	1.6	5	5	BK 5.6 / 61	q	3,31E-02	-3,408221997
A0011	1.6	5	5	BK 5.6 / 62	q	1,38E-02	-4,283086687
A0011	1.6	5	5	BK 5.6 / 63	q	4,85E-05	-9,93394676
A0011	1.6	5	5	BK 5.6 / 64	q	8,37E-02	-2,480516301

Az.	PFA	Blatt	EKP	Bohrung	Stratigraphie	K _f [m/s]	Ln(K _f)
A0011	1.6	5	5	BK 5.6 / 65	q	1,30E-03	-6,645391015
A0011	1.6	5	5	BK 5.6 / 66	q	8,73E-04	-7,043575002
A0011	1.6	5	5	BK 5.6 / 67	q	1,35E-02	-4,305065594
A0011	1.6	5	5	BK 5.6 / 68	q	2,89E-03	-5,846498777
A0011	1.6	5	5	BK 5.6 / 69 GM	q	5,63E-03	-5,179645837
A0011	1.6	6	5	BK 5.6 / 71	q	2,27E-02	-3,785390354
A0011	1.6	6	5	BK 5.6 / 72 GM	q	8,94E-02	-2,414634597
A0011	1.6	6	5	BK 5.6 / 75 GM	q	5,06E-02	-2,983803703
A0011	1.6	6	5	BK 5.6 / 75 GM	q	3,42E-02	-3,375529635
A0011	1.6	6	5	BK 5.6 / 77 GM	q	3,74E-04	-7,891254761
A0011	1.6	6	5	BK 5.6 / 78 GM	q	1,96E-02	-3,932225713
A0011	1.6	6	5	BK 5.6 / 78 GM	q	9,75E-03	-4,630487994
A0011	1.6	6	5	BK 5.6 / 79 GM	q	1,49E-02	-4,206394066
A0011	1.6	6	5	BK 5.6 / 79 GM	q	1,21E-02	-4,414549826
A0011	1.6	6	5	BK 5.6 / 81 GM	q	5,31E-01	-0,632993258
A0011	1.6	7	5	BK 5.6 / 81 GM	q	4,72E-04	-7,658531572
A0011	1.6	7	5	BK 5.6 / 82 GM	q	2,24E-03	-6,101279413
A0011	1.6	7	5	BK 5.6 / 83 GM	q	1,13E-04	-9,088122739
A0011	1.6	7	5	BK 5.6 / 83 GM	q	5,31E-04	-7,540748537
A0011	1.6	7	5	BK 5.6 / 83 GM	q	4,32E-04	-7,74708497
A0011	1.6	7	5	BK 5.6 / 84 GM	q	1,66E-06	-13,30869296
A0011	1.6	7	5	BK 5.6 / 84 GM	q	1,78E-02	-4,028556822
A0011	1.6	7	5	BK 5.6 / 84 GM	q	4,87E-03	-5,324661342
A0011	1.6	7	5	BK 5.6 / 85 GM	q	3,54E-03	-5,643628552
A0011	1.6	7	5	BK 5.6 / 85 GM	q	2,56E-02	-3,665162927
A0011	1.6	7	5	BK 5.6 / 86 GM	q	3,32E-04	-8,010375589
A0011	1.6	7	5	BK 5.6 / 86 GM	q	4,11E-04	-7,796917343
A0011	1.6	7	5	BK 5.6 / 87 GM	q	8,90E-03	-4,721704002
A0011	1.6	7	5	BK 5.6 / 87 GM	q	1,57E-02	-4,154094567
A0011	1.6	7	5	BK 5.6 / 88 GM	q	1,37E-03	-6,592944539
A0011	1.6	7	5	BK 5.6 / 88 GM	q	1,03E-03	-6,878196477
A0011	1.6	7	5	BK 5.6 / 89 GM	q	6,26E-04	-7,376160187
A0011	1.6	7	5	BK 5.6 / 89 GM	q	4,54E-03	-5,394828267
A0011	1.6	7	5	BK 5.6 / 90 GM	q	6,29E-04	-7,371379301
A0011	1.6	7	5	BK 5.6 / 90 GM	q	8,33E-04	-7,090476916
A0011	1.6	8	5	BK 5.6 / 91 GM	q	4,68E-02	-3,061872076
A0011	1.6	8	5	BK 5.6 / 92	q	5,74E-03	-5,160296069
A0011	1.6	8	5	BK 5.6 / 93	q	8,02E-03	-4,825816857
A0011	1.6	8	5	BK 5.6 / 94	q	1,97E-06	-13,13747702
A0011	1.6	8	5	BK 5.6 / 94	q	5,75E-04	-7,461140517

Az.	PFA	Blatt	EKP	Bohrung	Stratigraphie	K _f [m/s]	Ln(K _f)
Anzahl						382	
Mindestwert						1,31E-08	-18,15065361
Höchstwert						5,31E-01	-0,632993258
Arithmetisches Mittel						6,62E-03	-8,302704734
Standardabweichung (arithmetisch)						3,07E-02	3,267814864
Geometrisches Mittel						2,48E-04	
Stabw. log. unten						9,44E-06	
Stabw. log. oben						6,51E-03	
Harmonisches Mittel						2,25E-06	

Estheriensichten (Mittelkeuper)

Az.	PFA	Blatt	EKP	Bohrung	Stratigraphie	K _f [m/s]	Ln(K _f)
A0011	1.2	34	5	BK 12/12	km1ES	1,08E-08	-18,3437197
A0011	1.2	34	5	BK 12/12	km1ES	2,55E-09	-19,78717248
A0011	1.2	34	5	BK 12/12	km1ES	3,64E-07	-14,82611197
A0011	1.2	34	5	BK 12/12	km1ES	3,71E-07	-14,80706377
A0011	1.2	35	5	BK 5.2/11	km1ES	4,57E-11	-23,80892282
A0011	1.2	35	5	BK 5.2/11	km1ES	1,97E-11	-24,65040248
A0011	1.2	35	5	BK 5.2/12 GM	km1ES	4,21E-11	-23,89097338
A0011	1.2	35	5	BK 5.2/12 GM	km1ES	1,84E-11	-24,71867045
A0011	1.2	35	5	BK 5.2/12 GM	km1ES	2,43E-11	-24,44054477
A0011	1.2	35	5	BK 5.2/12 GM	km1ES	2,20E-11	-24,53997866
A0011	1.2	36	5	BK 5.2/12 GM	km1ES	5,98E-11	-23,54001545
A0011	1.2	36	5	BK 5.2/12 GM	km1ES	3,45E-11	-24,09006179
A0011	1.2	36	5	BK 5.2/14 GM fverf.)	km1ES	2,30E-10	-22,19294181
A0011	1.2	36	5	BK 5.2/14 GM (verf.)	km1ES	7,98E-11	-23,25149761
A0011	1.2	36	5	BK 5.2/14 GM (verf.)	km1ES	1,79E-12	-27,0488055
A0011	1.2	36	5	BK 5.2/14 GM fverf.)	km1ES	9,91E-13	-27,64006186
A0011	1.2	36	5	BK 5.2/15	km1ES	2,37E-09	-19,86037588
A0011	1.2	36	5	BK 5.2/15	km1ES	6,65E-09	-18,82864898
A0011	1.2	36	5	BK 5.2/15	km1ES	4,96E-06	-12,21410482
A0011	1.2	36	5	BK 5.2/15	km1ES	1,71E-06	-13,27901719
A0011	1.2	36	5	BK 5.2/16 GM	km1ES	2,47E-11	-24,42421787
A0011	1.2	36	5	BK 5.2/16 GM	km1ES	2,48E-11	-24,42017746
82705	1.6	27	4	BK 17.1/1	km1ES	4,60E-10	-21,49979463
82705	1.6	27	4	BK 17.1/1	km1ES	1,20E-09	-20,54094428
82705	1.6	28	4	BK 17.2/27	km1ES	1,10E-05	-11,41761529
82705	1.6	28	4	BK 17.2/27	km1ES	4,20E-05	-10,07784094
82705	1.6	29	4	BK 17.4/2	km1ES	1,70E-07	-15,5874674
82705	1.6	29	4	BK 17.4/2	km1ES	1,50E-07	-15,71263054
82705	1.6	30	4	BK 17.4/6	km1ES	6,90E-06	-11,88398915
82705	1.6	30	4	BK 17.4/6	km1ES	5,50E-06	-12,11076247
A0011	1.6	4	5	BK 5.6 / 58	km1ES	1,23E-04	-9,003326203
A0011	1.6	5	5	BK 5.6 / 60	km1ES	1,19E-03	-6,733801972
A0011	1.6	5	5	BK 5.6 / 61	km1ES	6,17E-04	-7,390641534
A0011	1.6	5	5	BK 5.6 / 62	km1ES	4,26E-04	-7,761071212
A0011	1.6	5	5	BK 5.6 / 64	km1ES	2,68E-03	-5,921938484

Az.	PFA	Blatt	EKP	Bohrung	Stratigraphie	K_f [m/s]	$\ln(K_f)$
A0011	1.6	5	5	BK 5.6 / 65	km1ES	1,84E-04	-8,6005748
A0011	1.6	5	5	BK 5.6 / 66	km1ES	2,23E-05	-10,71092388
A0011	1.6	6	5	BK 5.6 / 70	km1ES	3,48E-04	-7,963308078
A0011	1.6	6	5	BK 5.6 / 71	km1ES	4,71E-04	-7,660652464
A0011	1.6	6	5	BK 5.6 / 72 GM	km1ES	6,42E-04	-7,350922254
A0011	1.6	6	5	BK 5.6 / 74 GM	km1ES	1,81E-04	-8,617013527
A0011	1.6	6	5	BK 5.6 / 74 GM	km1ES	1,18E-04	-9,044825933
A0011	1.6	6	5	BK 5.6 / 75 GM	km1ES	7,37E-04	-7,212922666
Anzahl						43	
Mindestwert						9,91E-13	-27,64006186
Höchstwert						2,68E-03	-5,921938484
Arithmetisches Mittel						1,82E-04	-16,21875475
Standardabweichung (arithmetisch)						4,66E-04	7,04671602
Geometrisches Mittel						9,04E-08	
Stabw. log. unten						7,87E-11	
Stabw. log. oben						1,04E-04	
Harmonisches Mittel						2,20E-11	

Mittlerer Gipshorizont

Az.	PFA	Blatt	EKP	Bohrung	Stratigraphie	K_f [m/s]	$\ln(K_f)$
A0005	1.1	3	2	B 221	km1MGH	2,40E-06	-12,94004182
A0005	1.1	4	2	B 231	km1MGH	2,10E-07	-15,37615831
A0005	1.1	6	2	B 240	km1MGH	3,40E-10	-21,8020755
A0005	1.1	6	2	B 240	km1MGH	1,10E-08	-18,32537056
A0005	1.1	6	2	B 240	km1MGH	1,20E-08	-18,23835919
A0005	1.1	6	2	B 240	km1MGH	4,30E-08	-16,96206572
A0005	1.1	6	2	B 240	km1MGH	3,90E-09	-19,36228928
A0005	1.1	6	2	B 241	km1MGH	1,20E-08	-18,23835919
A0005	1.1	6	2	B 241	km1MGH	3,00E-08	-17,32206846
A0005	1.1	6	2	B 241	km1MGH	5,80E-09	-18,96540792
A0005	1.1	6	2	B 241	km1MGH	5,60E-09	-19,00049924
A0005	1.1	16	3	B 229	km1MGH	5,80E-09	-18,96540792
A0005	1.1	16	3	B 229	km1MGH	7,50E-09	-18,70836282
A0005	1.1	16	3	B 229	km1MGH	4,80E-09	-19,15464992
A0005	1.1	18	3	B 252	km1MGH	1,40E-08	-18,08420851
A0005	1.1	18	3	B 252	km1MGH	8,60E-08	-16,26891854
A0005	1.1	18	3	B 252	km1MGH	7,00E-08	-16,47477059
A0005	1.1	18	3	B 252	km1MGH	4,70E-08	-16,87311824
A0005	1.1	18	3	B 252	km1MGH	6,90E-08	-16,48915933
A0005	1.1	18	3	B 252	km1MGH	3,00E-08	-17,32206846
A0005	1.1	21	3	B 502	km1MGH	1,60E-10	-22,5558473
A0005	1.1	21	3	B 502	km1MGH	1,50E-10	-22,62038582
A0005	1.1	28	4	BK 11/8	km1MGH	5,20E-08	-16,77202212
A0011	1.1	38	5	BK 11/32 (2)	km1MGH	3,80E-06	-12,48050949
A0011	1.1	38	5	BK 11/32 (2)	km1MGH	4,16E-06	-12,38999548
A0011	1.1	43		BK 11/6	km1MGH	4,90E-09	-19,13403063
A0011	1.1	43		BK 11/8	km1MGH	5,20E-08	-16,77202212

Az.	PFA	Blatt	EKP	Bohrung	Stratigraphie	K _f [m/s]	Ln(K _f)
A0011	1.1	43		BK 11/32 (2)	km1MGH	4,00E-06	-12,4292162
A0011	1.2	27	4	BK 12/2	km1MGH	1,80E-10	-22,43806427
A0011	1.2	27	4	BK 12/2	km1MGH	4,70E-11	-23,78087351
A0011	1.2	29	4	BK 12/3	km1MGH	3,10E-10	-21,89444882
A0011	1.2	29	4	BK 12/3	km1MGH	4,70E-10	-21,47828842
A0011	1.2	32	4	BK 12/13	km1MGH	8,30E-09	-18,60701032
A0011	1.2	32	4	BK 12/15	km1MGH	4,20E-11	-23,8933515
A0011	1.2	32	4	BK 12/15	km1MGH	3,40E-11	-24,10466059
A0011	1.2	34	5	BK 12/12	km1MGH	3,45E-10	-21,7874767
A0011	1.2	34	5	BK 12/12	km1MGH	1,09E-10	-22,93967323
A0011	1.2	34	5	BK 5.2/05	km1MGH	2,67E-07	-15,13601718
A0011	1.2	34	5	BK 5.2/05	km1MGH	2,88E-07	-15,06030536
A0011	1.2	35	5	BK 5.2/06	km1MGH	6,17E-11	-23,50873719
A0011	1.2	35	5	BK 5.2/06	km1MGH	4,40E-11	-23,84683148
A0011	1.2	35	5	BK 5.2/08	km1MGH	2,81E-12	-26,59783663
A0011	1.2	35	5	BK 5.2/08	km1MGH	1,07E-11	-25,26077737
A0011	1.2	35	5	BK 5.2/10	km1MGH	2,62E-12	-26,6678468
A0011	1.2	35	5	BK 5.2/11	km1MGH	1,69E-12	-27,10629259
A0011	1.5	1	5	BK 5.5/9 (2) GM	km1MGH	3,33E-06	-12,61253825
A0011	1.5	2	5	BK 5.5 / 11	km1MGH	2,93E-11	-24,2534336
A0011	1.5	2	5	BK 5.5 / 13	km1MGH	3,05E-06	-12,70036897
A0011	1.5	2	5	BK 5.5 / 13	km1MGH	1,72E-07	-15,57577136
A0011	1.5	3	5	BK 5.5 / 17 GM	km1MGH	5,96E-08	-16,63561026
A0011	1.5	4	5	BK 5.5 / 34 GM	km1MGH	8,01E-06	-11,7348198
A0011	1.5	9	5	BK 5.5 / 89 GM	km1MGH	9,12E-09	-18,51279603
A0011	1.5	10	5	BK 5.5 / 111	km1MGH	1,91E-06	-13,16840732
A0011	1.5	10	5	BK 5.5 / 112	km1MGH	1,10E-06	-13,72020038
82705	1.6	27	4	BK 17.1/1	km1MGH	4,80E-10	-21,45723501
82705	1.6	27	4	BK 17.1/1	km1MGH	1,20E-09	-20,54094428
82705	1.6	27	4	BK 17.1/2	km1MGH	4,50E-08	-16,91660335
82705	1.6	27	4	BK 17.1/2	km1MGH	1,00E-07	-16,11809565
82705	1.6	27	4	BK 17.1/2	km1MGH	4,10E-08	-17,00969377
82705	1.6	27	4	BK 17.1/2	km1MGH	5,80E-08	-16,66282283
82705	1.6	27	4	BK 17.1/2	km1MGH	2,40E-08	-17,54521201
82705	1.6	27	4	BK 17.1/2	km1MGH	8,30E-07	-14,00184014
82705	1.6	27	4	BK 17.1/2	km1MGH	2,00E-06	-13,12236338
82705	1.6	27	4	BK 17.1/3	km1MGH	1,50E-07	-15,71263054
82705	1.6	27	4	BK 17.1/3	km1MGH	1,00E-07	-16,11809565
82705	1.6	27	4	BK 17.1/3	km1MGH	1,00E-07	-16,11809565
82705	1.6	27	4	BK 17.1/3	km1MGH	1,20E-07	-15,93577409
82705	1.6	27	4	BK 17.1/3	km1MGH	6,20E-08	-16,59613145
82705	1.6	27	4	BK 17.1/3	km1MGH	1,90E-07	-15,47624176
82705	1.6	27	4	BK 17.1/3	km1MGH	1,60E-07	-15,64809202
82705	1.6	27	4	BK 17.1/3	km1MGH	6,10E-08	-16,61239197
82705	1.6	27	4	BK 17.1/3	km1MGH	1,80E-07	-15,53030899
82705	1.6	27	4	BK 17.1/3	km1MGH	1,70E-07	-15,5874674
82705	1.6	28	4	BK 17.2/17	km1MGH	1,30E-05	-11,2505612

Az.	PFA	Blatt	EKP	Bohrung	Stratigraphie	K _f [m/s]	Ln(K _f)
82705	1.6	28	4	BK 17.2/17	km1MGH	5,70E-05	-9,77245929
82705	1.6	28	4	BK 17.2/19	km1MGH	1,90E-06	-13,17365667
82705	1.6	28	4	BK 17.2/19	km1MGH	9,10E-06	-11,60723614
82705	1.6	28	4	BK 17.2/20	km1MGH	9,10E-10	-20,81757652
82705	1.6	28	4	BK 17.2/20	km1MGH	6,60E-10	-21,13878128
82705	1.6	28	4	BK 17.2/20	km1MGH	1,10E-08	-18,32537056
82705	1.6	28	4	BK 17.2/20	km1MGH	1,40E-08	-18,08420851
82705	1.6	28	4	BK 17.2/22	km1MGH	6,40E-06	-11,95921257
82705	1.6	28	4	BK 17.2/22	km1MGH	1,70E-05	-10,98229721
82705	1.6	28	4	BK 17.2/22	km1MGH	1,90E-09	-20,08141195
82705	1.6	28	4	BK 17.2/22	km1MGH	2,60E-09	-19,76775439
82705	1.6	28	4	BK 17.2/25	km1MGH	2,90E-05	-10,44821473
82705	1.6	28	4	BK 17.2/25	km1MGH	3,00E-05	-10,41431318
82705	1.6	28	4	BK 17.2/26	km1MGH	5,70E-05	-9,77245929
82705	1.6	28	4	BK 17.2/26	km1MGH	1,00E-04	-9,210340372
82705	1.6	28	4	BK 17.3/1	km1MGH	4,80E-10	-21,45723501
82705	1.6	28	4	BK 17.3/1	km1MGH	3,10E-10	-21,89444882
82705	1.6	28	4	BK 17.3/2	km1MGH	4,00E-09	-19,33697148
82705	1.6	28	4	BK 17.3/2	km1MGH	3,40E-10	-21,8020755
82705	1.6	28	4	BK 17.3/2	km1MGH	1,30E-09	-20,46090157
82705	1.6	28	4	BK 17.3/2	km1MGH	8,10E-09	-18,63140178
82705	1.6	28	4	BK 17.3/2	km1MGH	3,90E-08	-17,05970419
82705	1.6	28	4	BK 17.3/2	km1MGH	7,60E-09	-18,69511759
82705	1.6	28	4	BK 17.3/2	km1MGH	5,70E-09	-18,98279966
82705	1.6	29	4	BK 17.3/3	km1MGH	1,40E-09	-20,3867936
82705	1.6	29	4	BK 17.3/3	km1MGH	2,90E-09	-19,65855551
82705	1.6	29	4	BK 17.3/6	km1MGH	1,20E-09	-20,54094428
82705	1.6	29	4	BK 17.3/6	km1MGH	4,60E-09	-19,19720953
82705	1.6	29	4	BK 17.3/9	km1MGH	9,40E-10	-20,78514124
82705	1.6	29	4	BK 17.3/9	km1MGH	2,10E-09	-19,98132849
82705	1.6	29	4	BK 17.3/9	km1MGH	2,70E-08	-17,42742897
82705	1.6	29	4	BK 17.4/1	km1MGH	1,70E-07	-15,5874674
82705	1.6	29	4	BK 17.4/1	km1MGH	2,80E-07	-15,08847623
82705	1.6	29	4	BK 17.4/1	km1MGH	1,20E-09	-20,54094428
82705	1.6	29	4	BK 17.4/1	km1MGH	1,70E-09	-20,19263759
82705	1.6	29	4	BK 17.4/1	km1MGH	1,20E-08	-18,23835919
82705	1.6	29	4	BK 17.4/1	km1MGH	2,60E-08	-17,4651693
82705	1.6	29	4	BK 17.4/2	km1MGH	9,60E-08	-16,15891765
82705	1.6	29	4	BK 17.4/2	km1MGH	6,20E-08	-16,59613145
82705	1.6	29	4	BK 17.4/2	km1MGH	3,50E-08	-17,16791778
82705	1.6	29	4	BK 17.4/2	km1MGH	2,60E-08	-17,4651693
82705	1.6	29	4	BK 17.4/2	km1MGH	5,80E-08	-16,66282283
82705	1.6	29	4	BK 17.4/2	km1MGH	2,20E-08	-17,63222338
82705	1.6	29	4	BK 17.4/2	km1MGH	2,50E-10	-22,1095602
82705	1.6	29	4	BK 17.4/2	km1MGH	7,40E-10	-21,02437093
82705	1.6	30	4	BK 17.4/4	km1MGH	1,40E-05	-11,17645323
82705	1.6	30	4	BK 17.4/4	km1MGH	6,60E-05	-9,625855816

Az.	PFA	Blatt	EKP	Bohrung	Stratigraphie	K _f [m/s]	Ln(K _f)
82705	1.6	30	4	BK 17.4/5	km1MGH	3,80E-09	-19,38826477
82705	1.6	30	4	BK 17.4/5	km1MGH	7,70E-09	-18,68204551
82705	1.6	30	4	BK 17.4/6	km1MGH	5,20E-10	-21,3771923
82705	1.6	30	4	BK 17.4/6	km1MGH	6,00E-10	-21,23409146
82705	1.6	30	4	BK 17.4/8	km1MGH	2,00E-05	-10,81977828
82705	1.6	30	4	BK 17.4/8	km1MGH	1,90E-05	-10,87107158
82705	1.6	30	4	BK 17.4/10	km1MGH	1,10E-05	-11,41761529
82705	1.6	30	4	BK 17.4/10	km1MGH	3,90E-05	-10,15194891
82705	1.6	30	4	BK 17.4/10	km1MGH	9,40E-06	-11,57480087
82705	1.6	30	4	BK 17.4/10	km1MGH	3,00E-05	-10,41431318
82705	1.6	30	4	BK 17.4/11	km1MGH	1,40E-04	-8,873868135
82705	1.6	30	4	BK 17.4/11	km1MGH	1,30E-04	-8,947976108
82705	1.6	30	4	BK 17.4/11	km1MGH	1,00E-04	-9,210340372
82705	1.6	30	4	BK 17.4/11	km1MGH	1,10E-04	-9,115030192
82705	1.6	30	4	BK 17.4/11	km1MGH	5,90E-09	-18,94831349
82705	1.6	30	4	BK 17.4/11	km1MGH	1,40E-08	-18,08420851
82705	1.6	30	4	BK 17.4/12	km1MGH	3,30E-05	-10,319003
82705	1.6	30	4	BK 17.4/12	km1MGH	2,70E-05	-10,51967369
82705	1.6	30	4	BK 17.4/12	km1MGH	3,20E-05	-10,34977466
82705	1.6	30	4	BK 17.4/12	km1MGH	2,30E-09	-19,89035671
82705	1.6	31	4	BK 17.4/13	km1MGH	1,20E-08	-18,23835919
82705	1.6	31	4	BK 17.4/13	km1MGH	7,10E-09	-18,76317105
82705	1.6	31	4	BK 17.4/13	km1MGH	1,20E-08	-18,23835919
82705	1.6	31	4	BK 17.4/16	km1MGH	4,50E-08	-16,91660335
82705	1.6	31	4	BK 17.4/17	km1MGH	1,70E-09	-20,19263759
82705	1.6	31	4	BK 17.4/17	km1MGH	3,30E-09	-19,52934337
82705	1.6	31	4	BK 17.4/17	km1MGH	5,90E-07	-14,3431433
82705	1.6	31	4	BK 17.4/17	km1MGH	1,60E-06	-13,34550693
82705	1.6	31	4	BK 17.4/17	km1MGH	4,00E-07	-14,73180129
82705	1.6	31	4	BK 17.4/17	km1MGH	1,50E-06	-13,41004545
82705	1.6	31	4	BK 17.4/18	km1MGH	1,50E-09	-20,31780073
82705	1.6	31	4	BK 17.4/18	km1MGH	1,50E-09	-20,31780073
82705	1.6	31	4	BK 17.4/19	km1MGH	5,20E-04	-7,561681746
82705	1.6	31	4	BK 17.4/19	km1MGH	5,30E-04	-7,542633551
82705	1.6	31	4	BK 17.4/19	km1MGH	4,80E-04	-7,641724454
82705	1.6	31	4	BK 17.4/19	km1MGH	3,80E-04	-7,875339305
82705	1.6	31	4	BK 17.4/19	km1MGH	1,60E-09	-20,25326221
82705	1.6	31	4	BK 17.4/19	km1MGH	1,20E-09	-20,54094428
82705	1.6	31	4	BK 17.4/19	km1MGH	3,20E-10	-21,86270012
82705	1.6	31	4	BK 17.4/19	km1MGH	4,40E-10	-21,54424639
82705	1.6	32	4	BK 17.4/20	km1MGH	2,70E-09	-19,73001406
82705	1.6	32	4	BK 18.1/1	km1MGH	1,50E-07	-15,71263054
82705	1.6	32	4	BK 18.1/1	km1MGH	1,80E-07	-15,53030899
82705	1.6	32	4	BK 18.1/3	km1MGH	1,80E-05	-10,9251388
82705	1.6	32	4	BK 18.1/3	km1MGH	1,90E-05	-10,87107158
82705	1.6	32	4	BK 18.1/3	km1MGH	1,70E-05	-10,98229721
82705	1.6	32	4	BK 18.1/6	km1MGH	1,10E-05	-11,41761529

Az.	PFA	Blatt	EKP	Bohrung	Stratigraphie	K_f [m/s]	$\ln(K_f)$
82705	1.6	32	4	BK 18.1/6	km1MGH	1,60E-05	-11,04292184
82705	1.6	32	4	BK 18.1/6	km1MGH	4,40E-05	-10,03132092
82705	1.6	32	4	BK 18.1/6	km1MGH	1,60E-05	-11,04292184
82705	1.6	32	4	BK 18.1/6	km1MGH	1,90E-06	-13,17365667
82705	1.6	32	4	BK 18.1/6	km1MGH	4,80E-06	-12,24689464
A0011	1.6	1	5	BK 5.6 / 12	km1MGH	2,50E-09	-19,80697511
A0011	1.6	2	5	BK 5.6 / 14	km1MGH	2,63E-10	-22,05886708
A0011	1.6	2	5	BK 5.6 / 15	km1MGH	5,65E-10	-21,29419538
A0011	1.6	2	5	BK 5.6 / 16	km1MGH	2,90E-08	-17,35597001
A0011	1.6	2	5	BK 5.6 / 21	km1MGH	1,30E-09	-20,46090157
A0011	1.6	2	5	BK 5.6 / 21	km1MGH	1,72E-08	-17,87835645
A0011	1.6	2	5	BK 5.6 / 22 GM	km1MGH	3,35E-09	-19,51430549
A0011	1.6	2	5	BK 5.6 / 22 GM	km1MGH	6,60E-10	-21,13878128
A0011	1.6	3	5	BK 5.6 / 23	km1MGH	1,17E-08	-18,263677
A0011	1.6	3	5	BK 5.6 / 24	km1MGH	1,83E-04	-8,606024405
A0011	1.6	3	5	BK 5.6 / 28	km1MGH	3,92E-05	-10,14683381
A0011	1.6	3	5	BK 5.6 / 29	km1MGH	3,18E-05	-10,35604427
A0011	1.6	3	5	BK 5.6 / 32 GM	km1MGH	4,50E-06	-12,31143316
A0011	1.6	3	5	BK 5.6 / 32 GM	km1MGH	8,05E-06	-11,72983847
A0011	1.6	3	5	BK 5.6 / 37	km1MGH	3,37E-06	-12,60059781
A0011	1.6	4	5	BK 5.6 / 56	km1MGH	2,14E-04	-8,449534543
A0011	1.6	4	5	BK 5.6 / 58	km1MGH	6,39E-05	-9,658191197
A0011	1.6	5	5	BK 5.6 / 67	km1MGH	6,49E-05	-9,642662934
A0011	1.6	5	5	BK 5.6 / 67	km1MGH	6,21E-08	-16,59451985
A0011	1.6	5	5	BK 5.6 / 68	km1MGH	2,77E-09	-19,70441852
A0011	1.6	6	5	BK 5.6 / 76 GM	km1MGH	1,05E-05	-11,4641353
A0011	1.6	6	5	BK 5.6 / 76 GM	km1MGH	4,52E-05	-10,00441347
A0011	1.6	6	5	BK 5.6 / 76 GM	km1MGH	4,85E-11	-23,74945732
A0011	1.6	6	5	BK 5.6 / 77 GM	km1MGH	2,20E-05	-10,7244681
A0011	1.6	6	5	BK 5.6 / 77 GM	km1MGH	2,44E-05	-10,62092743
A0011	1.6	7	5	BK 5.6 / 82 GM	km1MGH	1,27E-05	-11,27390856
A0011	1.6	7	5	BK 5.6 / 82 GM	km1MGH	9,22E-06	-11,59413552
A0011	1.6	8	5	BK 5.6 / 92	km1MGH	9,39E-05	-9,273280172
A0011	1.6	8	5	BK 5.6 / 94	km1MGH	2,51E-07	-15,1978129
Anzahl						202	
Mindestwert						1,69E-12	-27,10629259
Höchstwert						5,30E-04	-7,542633551
Arithmetisches Mittel						2,00E-05	-16,38185388
Standardabweichung (arithmetisch)						7,19E-05	4,545304596
Geometrisches Mittel						7,68E-08	
Stabw. log. unten						8,16E-10	
Stabw. log. oben						7,24E-06	
Harmonisches Mittel						1,20E-10	

Bleiglanzbankschichten

Az.	PFA	Blatt	EKP	Bohrung	Stratigraphie	K _f [m/s]	Ln(K _f)
A0005	1.1	3	2	B 221	km1BB	4,00E-09	-19,33697148
A0005	1.1	15	3	B 226	km1BB	3,20E-06	-12,65235975
A0005	1.1	15	3	B 226	km1BB	2,00E-06	-13,12236338
A0005	1.1	15	3	B 226	km1BB	3,50E-06	-12,56274759
A0005	1.1	15	3	B 226	km1BB	3,70E-06	-12,50717774
A0005	1.1	15	3	B 226	km1BB	1,80E-06	-13,22772389
A0005	1.1	16	3	B 229	km1BB	2,50E-09	-19,80697511
A0005	1.1	16	3	B 229	km1BB	4,40E-09	-19,2416613
A0005	1.1	17	3	B 251	km1BB	5,80E-08	-16,66282283
A0005	1.1	17	3	B 251	km1BB	1,70E-07	-15,5874674
A0005	1.1	17	3	B 251	km1BB	1,60E-05	-11,04292184
A0005	1.1	17	3	B 251	km1BB	1,40E-05	-11,17645323
A0005	1.1	17	3	B 251	km1BB	1,40E-05	-11,17645323
A0005	1.1	17	3	B 251	km1BB	1,20E-05	-11,33060391
A0005	1.1	17	3	B 251	km1BB	8,70E-06	-11,65218753
A0005	1.1	19	3	B 312	km1BB	1,60E-06	-13,34550693
A0005	1.1	19	3	B 312	km1BB	1,90E-06	-13,17365667
A0005	1.1	19	3	B 312	km1BB	1,30E-06	-13,55314629
A0005	1.1	19	3	B 312	km1BB	1,60E-06	-13,34550693
A0005	1.1	19	3	B 312	km1BB	1,10E-06	-13,72020038
A0005	1.1	28	4	BK 11/7	km1BB	4,90E-08	-16,83144554
A0005	1.1	32	4	BK 11/70	km1BB	2,90E-04	-8,145629635
A0005	1.1	32	4	BK 11/70	km1BB	2,40E-04	-8,334871635
A0005	1.1	32	4	BK 11/70	km1BB	1,90E-04	-8,568486486
A0011	1.1	38	5	BK 11/47	km1BB	2,71E-04	-8,213391737
A0011	1.1	38	5	BK 11/47	km1BB	3,56E-04	-7,940579827
A0011	1.1	39	5	BK 11/92(2)	km1BB	2,92E-04	-8,138756756
A0011	1.1	39	5	BK 11/92(2)	km1BB	3,03E-04	-8,101777752
A0011	1.1	43		BK 11/6	km1BB	1,00E-07	-16,11809565
A0011	1.1	43		BK 11/9	km1BB	5,00E-06	-12,20607265
A0011	1.2	35	5	BK 5.2/09	km1BB	1,36E-10	-22,71836623
A0011	1.2	35	5	BK 5.2/09	km1BB	4,89E-11	-23,74124372
82705	1.5	27	4	BK 15.1/1	km1BB	1,80E-06	-13,22772389
82705	1.5	27	4	BK 15.1/2	km1BB	1,70E-06	-13,28488231
82705	1.5	27	4	BK 15.1/4	km1BB	4,00E-05	-10,1266311
82705	1.5	27	4	BK 15.1/4	km1BB	5,50E-05	-9,808177373
82705	1.5	27	4	BK 15.1/4	km1BB	5,00E-05	-9,903487553
82705	1.5	27	4	BK 15.1/4	km1BB	2,30E-05	-10,68001634
82705	1.5	27	4	BK 15.1/5	km1BB	7,40E-04	-7,208860372
82705	1.5	27	4	BK 15.1/5	km1BB	1,10E-03	-6,812445099
82705	1.5	27	4	BK 15.1/5	km1BB	4,00E-03	-5,521460918
82705	1.5	27	4	BK 15.1/5	km1BB	1,30E-03	-6,645391015
82705	1.5	27	4	BK 15.1/5	km1BB	2,90E-03	-5,843044542
82705	1.5	27	4	BK 15.1/5	km1BB	2,20E-03	-6,119297919
82705	1.5	27	4	BK 15.1/7	km1BB	1,00E-04	-9,210340372
82705	1.5	27	4	BK 15.1/7	km1BB	1,20E-04	-9,028018815

Az.	PFA	Blatt	EKP	Bohrung	Stratigraphie	K _f [m/s]	Ln(K _f)
82705	1.5	27	4	BK 15.1/7	km1BB	1,20E-04	-9,028018815
82705	1.5	27	4	BK 15.1/7	km1BB	1,10E-04	-9,115030192
82705	1.5	27	4	BK 15.1/7	km1BB	2,10E-03	-6,165817934
82705	1.5	27	4	BK 15.1/7	km1BB	1,80E-04	-8,622553707
82705	1.5	27	4	BK 15.1/7	km1BB	1,50E-04	-8,804875264
82705	1.5	27	4	BK 15.2/2	km1BB	1,20E-06	-13,633189
82705	1.5	27	4	BK 15.2/2	km1BB	5,20E-06	-12,16685193
A0011	1.5	1	5	BK 5.5 / 1 T	km1BB	5,62E-07	-14,39176399
A0011	1.5	1	5	BK 5.5 / 4 GM	km1BB	9,22E-09	-18,5018908
A0011	1.5	1	5	BK 5.5 / 4 GM	km1BB	1,09E-06	-13,72933286
A0011	1.5	1	5	BK 5.5 / 5	km1BB	1,58E-07	-15,6606708
A0011	1.5	1	5	BK 5.5 / 6	km1BB	3,31E-05	-10,31597728
A0011	1.5	1	5	BK 5.5 / 7 GM	km1BB	2,75E-05	-10,50132455
A0011	1.5	1	5	BK 5.5 / 8	km1BB	4,55E-06	-12,30038333
A0011	1.5	2	5	BK 5.5/9 (2) GM	km1BB	3,89E-08	-17,06227159
A0011	1.5	2	5	BK 5.5 / 11	km1BB	2,63E-10	-22,05886708
A0011	1.5	2	5	BK 5.5 / 12 GM	km1BB	5,57E-09	-19,00587078
A0011	1.5	2	5	BK 5.5 / 12 GM	km1BB	9,27E-08	-16,19389736
A0011	1.5	2	5	BK 5.5 / 13	km1BB	6,94E-06	-11,87820878
A0011	1.5	2	5	BK 5.5 / 14 GM	km1BB	5,50E-08	-16,71593265
A0011	1.5	2	5	BK 5.5 / 14 GM	km1BB	8,10E-07	-14,02623159
A0011	1.5	2	5	BK 5.5 / 15 GM	km1BB	4,65E-06	-12,27864334
A0011	1.5	3	5	BK 5.5 / 16 GM	km1BB	4,48E-08	-16,9210577
A0011	1.5	3	5	BK 5.5 / 17 GM	km1BB	6,42E-08	-16,56126263
A0011	1.5	3	5	BK 5.5 / 17 GM	km1BB	5,45E-06	-12,11989495
A0011	1.5	3	5	BK 5.5 / 18	km1BB	9,23E-08	-16,1982217
A0011	1.5	3	5	BK 5.5 / 19 GM	km1BB	4,30E-09	-19,26465081
A0011	1.5	3	5	BK 5.5 / 19 GM	km1BB	3,23E-06	-12,64302842
A0011	1.5	3	5	BK 5.5 / 20	km1BB	3,59E-04	-7,932188169
A0011	1.5	3	5	BK 5.5 / 21	km1BB	1,83E-06	-13,21119459
A0011	1.5	4	5	BK 5.5 / 30 T	km1BB	4,14E-06	-12,39481477
A0011	1.5	4	5	BK 5.5 / 31 T	km1BB	2,21E-07	-15,32510314
A0011	1.5	4	5	BK 5.5 / 32 GM	km1BB	1,21E-05	-11,32230511
A0011	1.5	4	5	BK 5.5 / 33 GM	km1BB	1,24E-05	-11,29781409
A0011	1.5	5	5	BK 5.5 / 34 GM	km1BB	2,41E-08	-17,541054
A0011	1.5	5	5	BK 5.5 / 34 GM	km1BB	1,50E-06	-13,41004545
A0011	1.5	5	5	BK 5.5 / 35	km1BB	8,81E-07	-13,94220821
A0011	1.5	8	5	BK 5.5 / 85	km1BB	2,38E-06	-12,94841007
A0011	1.5	9	5	BK 5.5 / 89 GM	km1BB	5,11E-07	-14,48689625
A0011	1.5	9	5	BK 5.5 / 89 GM	km1BB	9,23E-08	-16,1982217
A0011	1.5	9	5	BK 5.5 / 93	km1BB	3,70E-05	-10,20459265
A0011	1.5	9	5	BK 5.5 / 94	km1BB	2,45E-06	-12,91942253
A0011	1.5	9	5	BK 5.5 / 95 GM	km1BB	1,64E-05	-11,01822922
A0011	1.5	10	5	BK 5.5 / 96	km1BB	9,07E-09	-18,51829357
A0011	1.5	10	5	BK 5.5 / 97 GM	km1BB	2,23E-05	-10,71092388
A0011	1.5	10	5	BK 5.5 / 110	km1BB	8,55E-05	-9,366994182
A0011	1.5	11	5	BK 5.5 / 116 (2)	km1BB	4,36E-05	-10,04045341

Az.	PFA	Blatt	EKP	Bohrung	Stratigraphie	K_f [m/s]	$\ln(K_f)$
A0011	1.5	11	5	BK 5.5 / 116 (1)	km1BB	2,15E-05	-10,74745762
A0011	1.5	11	5	BK 5.5 / 119	km1BB	3,81E-08	-17,08305155
A0011	1.5	11	5	BK 5.5 / 120	km1BB	7,12E-09	-18,76035811
A0011	1.5	11	5	BK 5.5 / 121	km1BB	5,46E-05	-9,815476675
82705	1.6	27	4	BK 17.1/1	km1BB	5,90E-09	-18,94831349
82705	1.6	27	4	BK 17.1/3	km1BB	3,90E-06	-12,454534
82705	1.6	27	4	BK 17.1/3	km1BB	7,10E-06	-11,85541577
82705	1.6	27	4	BK 17.2/10	km1BB	7,10E-08	-16,46058596
82705	1.6	27	4	BK 17.2/10	km1BB	2,70E-05	-10,51967369
82705	1.6	27	4	BK 17.2/10	km1BB	5,50E-06	-12,11076247
82705	1.6	29	4	BK 17.3/9	km1BB	4,80E-06	-12,24689464
82705	1.6	29	4	BK 17.3/9	km1BB	1,40E-05	-11,17645323
82705	1.6	29	4	BK 17.4/1	km1BB	1,40E-08	-18,08420851
82705	1.6	29	4	BK 17.4/1	km1BB	1,40E-08	-18,08420851
82705	1.6	29	4	BK 17.4/2	km1BB	2,90E-08	-17,35597001
82705	1.6	29	4	BK 17.4/2	km1BB	6,00E-08	-16,62892127
82705	1.6	29	4	BK 17.4/2	km1BB	2,70E-08	-17,42742897
82705	1.6	30	4	BK 17.4/4	km1BB	3,10E-06	-12,68410845
82705	1.6	30	4	BK 17.4/4	km1BB	1,10E-05	-11,41761529
82705	1.6	30	4	BK 17.4/9	km1BB	1,20E-05	-11,33060391
82705	1.6	30	4	BK 17.4/9	km1BB	4,00E-05	-10,1266311
82705	1.6	30	4	BK 17.4/10	km1BB	2,80E-09	-19,69364642
82705	1.6	30	4	BK 17.4/10	km1BB	2,60E-09	-19,76775439
82705	1.6	31	4	BK 17.4/14	km1BB	2,00E-08	-17,72753356
82705	1.6	31	4	BK 17.4/16	km1BB	2,80E-07	-15,08847623
82705	1.6	31	4	BK 17.4/16	km1BB	5,70E-08	-16,68021457
82705	1.6	31	4	BK 17.4/16	km1BB	2,00E-08	-17,72753356
82705	1.6	31	4	BK 17.4/16	km1BB	2,00E-07	-15,42494847
82705	1.6	31	4	BK 17.4/17	km1BB	4,30E-08	-16,96206572
82705	1.6	31	4	BK 17.4/17	km1BB	4,80E-07	-14,54947973
82705	1.6	31	4	BK 17.4/17	km1BB	3,50E-08	-17,16791778
82705	1.6	31	4	BK 17.4/17	km1BB	2,70E-07	-15,12484388
A0011	1.6	1	5	BK 17.5	km1BB	1,01E-07	-16,10814532
A0011	1.6	1	5	BK 17.5 / 6	km1BB	1,27E-11	-25,08941912
A0011	1.6	1	5	BK 5.6 / 11	km1BB	5,03E-08	-16,80526076
A0011	1.6	1	5	BK 5.6 / 13	km1BB	1,97E-09	-20,04523229
A0011	1.6	2	5	BK 5.6 / 14	km1BB	1,45E-09	-20,35170228
A0011	1.6	2	5	BK 5.6 / 15	km1BB	3,31E-12	-26,43407293
A0011	1.6	2	5	BK 5.6 / 16	km1BB	6,74E-11	-23,4203761
A0011	1.6	2	5	BK 5.6 / 19 T	km1BB	4,83E-11	-23,75358956
A0011	1.6	2	5	BK 5.6 / 21	km1BB	1,76E-10	-22,46053712
A0011	1.6	2	5	BK 5.6 / 22 GM	km1BB	2,06E-09	-20,00055985
A0011	1.6	5	5	BK 5.6 / 67	km1BB	8,10E-08	-16,32881668
A0011	1.6	5	5	BK 5.6 / 69 GM	km1BB	2,27E-04	-8,39056054
A0011	1.6	8	5	BK 5.6 / 91 GM	km1BB	6,81E-05	-9,594533345

Az.	PFA	Blatt	EKP	Bohrung	Stratigraphie	K _f [m/s]	Ln(K _f)
					Anzahl	138	
					Mindestwert	3,31E-12	-26,43407293
					Höchstwert	4,00E-03	-5,521460918
					Arithmetisches Mittel	1,34E-04	-13,83604479
					Standardabweichung (arithmetisch)	5,09E-04	4,393273523
					Geometrisches Mittel	9,80E-07	
					Stabw. log. unten	1,21E-08	
					Stabw. log. oben	7,93E-05	
					Harmonisches Mittel	3,01E-10	

Dunkelrote Mergel

Az.	PFA	Blatt	EKP	Bohrung	Stratigraphie	K _f [m/s]	Ln(K _f)
A0005	1.1	1	1	B 9	km1DRM	8,10E-07	-14,02623159
A0005	1.1	1	1	B 9	km1DRM	5,50E-06	-12,11076247
A0005	1.1	1	1	B 11	km1DRM	6,60E-07	-14,231026
A0005	1.1	1	1	B 11	km1DRM	2,70E-07	-15,12484388
A0005	1.1	1	1	B 13	km1DRM	1,10E-06	-13,72020038
A0005	1.1	1	1	B 13	km1DRM	7,10E-07	-14,15800087
A0005	1.1	3	2	B 224	km1DRM	4,20E-07	-14,68301113
A0005	1.1	3	2	B 224	km1DRM	3,40E-06	-12,59173513
A0005	1.1	4	2	B 231	km1DRM	4,50E-10	-21,52177353
A0005	1.1	4	2	B 231	km1DRM	1,60E-09	-20,25326221
A0005	1.1	5	2	B 232	km1DRM	1,50E-10	-22,62038582
A0005	1.1	5	2	B 232	km1DRM	6,60E-09	-18,83619619
A0005	1.1	5	2	B 232	km1DRM	2,00E-08	-17,72753356
A0005	1.1	5	2	B 232	km1DRM	4,30E-09	-19,26465081
A0005	1.1	5	2	B 232	km1DRM	1,60E-08	-17,95067711
A0005	1.1	5	2	B 233	km1DRM	2,70E-09	-19,73001406
A0005	1.1	5	2	B 233	km1DRM	1,60E-10	-22,5558473
A0005	1.1	5	2	B 233	km1DRM	7,30E-10	-21,03797658
A0005	1.1	6	2	B 242	km1DRM	3,40E-09	-19,49949041
A0005	1.1	6	2	B 242	km1DRM	4,10E-09	-19,31227886
A0005	1.1	6	2	B 242	km1DRM	3,00E-09	-19,62465355
A0005	1.1	6	2	B 242	km1DRM	3,30E-09	-19,52934337
A0005	1.1	12	2	B 235	km1DRM	2,70E-06	-12,82225878
A0005	1.1	16	3	B 229	km1DRM	1,70E-08	-17,89005249
A0005	1.1	16	3	B 229	km1DRM	2,00E-08	-17,72753356
A0005	1.1	16	3	B 229	km1DRM	2,20E-08	-17,63222338
A0005	1.1	17	3	B 251	km1DRM	3,20E-06	-12,65235975
A0005	1.1	17	3	B 251	km1DRM	3,90E-06	-12,454534
A0005	1.1	17	3	B 251	km1DRM	4,20E-06	-12,38042603
A0005	1.1	18	3	B 252	km1DRM	9,20E-08	-16,20147726
A0005	1.1	19	3	B 311	km1DRM	2,10E-05	-10,77098812
A0005	1.1	19	3	B 311	km1DRM	1,20E-05	-11,33060391
A0005	1.1	20	3	EBW 1	km1DRM	3,20E-09	-19,56011503
A0005	1.1	27	4	BK 11/5	km1DRM	3,70E-05	-10,20459265
A0005	1.1	27	4	BK 11/5	km1DRM	3,50E-05	-10,2601625

Az.	PFA	Blatt	EKP	Bohrung	Stratigraphie	K_f [m/s]	$\ln(K_f)$
A0005	1.1	27	4	BK 11/5	km1DRM	3,00E-05	-10,41431318
A0005	1.1	27	4	BK 11/5	km1DRM	1,40E-05	-11,17645323
A0005	1.1	27	4	BK 11/6	km1DRM	1,20E-08	-18,23835919
A0005	1.1	27	4	BK 11/6	km1DRM	1,20E-08	-18,23835919
A0005	1.1	27	4	BK 11/6	km1DRM	1,30E-08	-18,15831648
A0005	1.1	27	4	BK 11/6	km1DRM	3,50E-06	-12,56274759
A0005	1.1	27	4	BK 11/6	km1DRM	3,00E-06	-12,71689827
A0005	1.1	27	4	BK 11/6	km1DRM	4,30E-06	-12,35689554
A0005	1.1	27	4	BK 11/6	km1DRM	2,90E-06	-12,75079982
A0005	1.1	28	4	BK 11/7	km1DRM	4,80E-06	-12,24689464
A0005	1.1	28	4	BK 11/7	km1DRM	4,20E-06	-12,38042603
A0005	1.1	28	4	BK 11/7	km1DRM	3,40E-06	-12,59173513
A0005	1.1	28	4	BK 11/7	km1DRM	4,20E-06	-12,38042603
A0005	1.1	30	4	BK 11/22	km1DRM	4,70E-06	-12,26794805
A0005	1.1	30	4	BK 11/22	km1DRM	4,40E-06	-12,33390602
A0005	1.1	30	4	BK 11/22	km1DRM	3,80E-06	-12,48050949
A0005	1.1	30	4	BK 11/24	km1DRM	3,60E-06	-12,53457671
A0005	1.1	30	4	BK 11/24	km1DRM	4,70E-06	-12,26794805
A0005	1.1	30	4	BK 11/24	km1DRM	3,20E-06	-12,65235975
A0005	1.1	30	4	BK 11/30	km1DRM	4,80E-05	-9,944309547
A0005	1.1	30	4	BK 11/30	km1DRM	5,00E-05	-9,903487553
A0005	1.1	30	4	BK 11/30	km1DRM	3,00E-05	-10,41431318
A0005	1.1	31	4	BK 11/61	km1DRM	2,60E-05	-10,55741402
A0005	1.1	31	4	BK 11/61	km1DRM	3,50E-05	-10,2601625
A0005	1.1	31	4	BK 11/61	km1DRM	2,00E-05	-10,81977828
A0005	1.1	31	4	BK 11/61	km1DRM	4,00E-05	-10,1266311
A0005	1.1	31	4	BK 11/61	km1DRM	5,30E-05	-9,845218644
A0005	1.1	31	4	BK 11/61	km1DRM	2,70E-05	-10,51967369
A0005	1.1	31	4	BK 11/61	km1DRM	5,30E-05	-9,845218644
A0005	1.1	33	4	BK 11/86	km1DRM	7,50E-08	-16,40577772
A0005	1.1	33	4	BK 11/86	km1DRM	2,30E-08	-17,58777162
A0005	1.1	33	4	BK 11/95	km1DRM	3,90E-06	-12,454534
A0005	1.1	33	4	BK 11/95	km1DRM	5,40E-06	-12,1291116
A0005	1.1	33	4	BK 11/95	km1DRM	5,60E-06	-12,09274396
A0005	1.1	34	4	BK 11/125	km1DRM	5,00E-05	-9,903487553
A0005	1.1	34	4	BK 11/128	km1DRM	1,10E-05	-11,41761529
A0005	1.1	34	4	BK 11/128	km1DRM	3,10E-05	-10,38152335
A0005	1.1	34	4	BK 11/128	km1DRM	2,20E-05	-10,7244681
A0005	1.1	34	4	BK 11/128	km1DRM	3,00E-05	-10,41431318
A0005	1.1	36	4	BK 11/133	km1DRM	7,20E-06	-11,84142953
A0005	1.1	36	4	BK 11/133	km1DRM	2,20E-05	-10,7244681
A0005	1.1	36	4	BK 11/133	km1DRM	1,50E-05	-11,10746036
A0005	1.1	36	4	BK 11/133	km1DRM	1,90E-05	-10,87107158
A0005	1.1	36	4	BK 11/133	km1DRM	1,50E-05	-11,10746036
A0005	1.1	36	4	BK 11/133	km1DRM	8,20E-06	-11,7113764
A0011	1.1	38	5	BK 11/44	km1DRM	1,18E-06	-13,64999612
A0011	1.1	38	5	BK 11/44	km1DRM	8,39E-07	-13,99105513

Az.	PFA	Blatt	EKP	Bohrung	Stratigraphie	K _f [m/s]	Ln(K _f)
A0011	1.1	39	5	BK 11/51	km1DRM	3,62E-06	-12,52903653
A0011	1.1	39	5	BK 11/51	km1DRM	3,77E-06	-12,48843556
A0011	1.1	39	5	BK 11/51	km1DRM	2,13E-06	-13,05938858
A0011	1.1	39	5	BK 11/97	km1DRM	3,37E-05	-10,29801272
A0011	1.1	39	5	BK 11/97	km1DRM	3,36E-05	-10,30098449
A0011	1.1	39	5	BK 11/97	km1DRM	1,13E-05	-11,39070783
A0011	1.1	39	5	BK 11/112	km1DRM	5,53E-08	-16,71049293
A0011	1.1	39	5	BK 11/113	km1DRM	1,31E-05	-11,24289833
A0011	1.1	39	5	BK 11/113	km1DRM	1,30E-05	-11,2505612
A0011	1.1	39	5	BK 11/114	km1DRM	7,99E-06	-11,7373198
A0011	1.1	39	5	BK 11/114	km1DRM	7,90E-06	-11,7486478
A0011	1.1	39	5	BK 11/114	km1DRM	2,31E-06	-12,97826303
A0011	1.1	45		B9	km1DRM	3,20E-06	-12,65235975
A0011	1.1	45		B 11	km1DRM	4,70E-07	-14,57053314
A0011	1.1	45		B 13	km1DRM	9,10E-07	-13,90982124
A0011	1.1	45		B 16	km1DRM	7,40E-08	-16,41920074
A0011	1.1	45		B 224	km1DRM	6,30E-07	-14,27754602
A0011	1.1	45		BK 11/5	km1DRM	2,70E-05	-10,51967369
A0011	1.1	45		BK 11/6	km1DRM	1,20E-08	-18,23835919
A0011	1.1	45		BK 11/6	km1DRM	3,40E-06	-12,59173513
A0011	1.1	45		BK 11/7	km1DRM	7,80E-08	-16,36655701
A0011	1.1	45		BK 11/7	km1DRM	4,20E-06	-12,38042603
A0011	1.1	45		BK 11/8	km1DRM	1,90E-07	-15,47624176
A0011	1.1	45		BK 11/9	km1DRM	4,20E-08	-16,98559622
A0011	1.1	45		BK 11/9	km1DRM	1,70E-08	-17,89005249
A0011	1.1	45		BK 11/10	km1DRM	4,30E-08	-16,96206572
A0011	1.1	45		BK 11/22	km1DRM	4,30E-06	-12,35689554
A0011	1.1	45		BK 11/24	km1DRM	3,80E-06	-12,48050949
A0011	1.1	45		BK 11/30	km1DRM	4,10E-05	-10,10193849
A0011	1.1	45		BK 11/44	km1DRM	9,90E-07	-13,82556089
A0011	1.1	45		BK 11/51	km1DRM	3,10E-06	-12,68410845
A0011	1.1	46		BK11/93	km1DRM	1,40E-05	-11,17645323
A0011	1.1	46		BK 11/94	km1DRM	1,90E-06	-13,17365667
A0011	1.1	46		BK 11/95	km1DRM	4,90E-06	-12,22627535
A0011	1.1	46		BK 11/97	km1DRM	2,30E-05	-10,68001634
A0011	1.1	46		BK 11/112	km1DRM	5,50E-08	-16,71593265
A0011	1.1	46		BK 11/113	km1DRM	1,30E-05	-11,2505612
A0011	1.1	46		BK 11/114	km1DRM	5,30E-06	-12,14780374
A0011	1.1	46		BK 11/125	km1DRM	7,20E-05	-9,538844439
A0011	1.1	46		BK 11/128	km1DRM	2,20E-05	-10,7244681
A0011	1.1	46		BK 11/133 VB	km1DRM	1,30E-05	-11,2505612
A0011	1.2	33	4	BK 5.6/1T	km1DRM	1,70E-06	-13,28488231
A0011	1.2	33	4	BK 5.6/1T	km1DRM	5,20E-05	-9,864266839
A0011	1.2	33	4	BK 5.6/1T	km1DRM	2,60E-05	-10,55741402
A0011	1.2	34	5	BK 5.2/1	km1DRM	1,30E-09	-20,46090157
A0011	1.2	34	5	BK 5.2/1	km1DRM	6,80E-10	-21,10892832
A0011	1.2	34	5	BK 5.2/1	km1DRM	1,14E-07	-15,98706739

Az.	PFA	Blatt	EKP	Bohrung	Stratigraphie	K _f [m/s]	Ln(K _f)
A0011	1.2	34	5	BK 5.2/2 GM	km1DRM	1,68E-08	-17,90188695
A0011	1.2	34	5	BK 5.2/2 GM	km1DRM	6,23E-06	-11,98613423
A0011	1.2	34	5	BK 5.2/03 GM	km1DRM	1,32E-09	-20,4456341
A0011	1.2	34	5	BK 5.2/03 GM	km1DRM	2,27E-10	-22,2060711
A0011	1.2	34	5	BK 5.2/03 GM	km1DRM	2,13E-08	-17,66455876
A0011	1.2	34	5	BK 5.2/04 GM	km1DRM	1,64E-06	-13,32081432
A0011	1.2	34	5	BK 5.2/05	km1DRM	4,56E-09	-19,20594321
A0011	1.2	34	5	BK 5.2/05	km1DRM	1,75E-09	-20,16365005
A0011	1.2	35	5	BK 5.2/06	km1DRM	3,61E-08	-17,13697297
82705	1.5	27	4	BK 15.1/1	km1DRM	6,30E-08	-16,58013111
82705	1.5	27	4	BK 15.1/1	km1DRM	3,40E-08	-17,19690531
82705	1.5	27	4	BK 15.1/2	km1DRM	5,40E-06	-12,1291116
82705	1.5	27	4	BK 15.1/2	km1DRM	3,20E-06	-12,65235975
82705	1.5	27	4	BK 15.1/2	km1DRM	7,00E-06	-11,86960041
82705	1.5	27	4	BK 15.1/3	km1DRM	6,20E-11	-23,50388673
82705	1.5	27	4	BK 15.1/3	km1DRM	5,00E-11	-23,71899811
82705	1.5	27	4	BK 15.1/4	km1DRM	1,00E-06	-13,81551056
82705	1.5	27	4	BK 15.1/4	km1DRM	1,10E-08	-18,32537056
82705	1.5	27	4	BK 15.1/4	km1DRM	1,50E-08	-18,01521564
82705	1.5	27	4	BK 15.1/5	km1DRM	3,70E-07	-14,80976283
82705	1.5	27	4	BK 15.1/5	km1DRM	5,00E-07	-14,50865774
82705	1.5	27	4	BK 15.1/5	km1DRM	1,30E-07	-15,85573139
82705	1.5	27	4	BK 15.2/2	km1DRM	5,50E-08	-16,71593265
82705	1.5	27	4	BK 15.2/2	km1DRM	1,30E-07	-15,85573139
82705	1.5	27	4	BK 15.2/2	km1DRM	4,10E-07	-14,70710868
82705	1.5	28	4	BK 15.2/3	km1DRM	3,10E-08	-17,28927863
82705	1.5	28	4	BK 15.2/3	km1DRM	5,20E-08	-16,77202212
82705	1.5	28	4	BK 15.2/4	km1DRM	2,00E-05	-10,81977828
82705	1.5	28	4	BK 15.2/4	km1DRM	2,60E-05	-10,55741402
82705	1.5	28	4	BK 15.2/4	km1DRM	4,10E-06	-12,40452358
82705	1.5	28	4	BK 15.2/10	km1DRM	2,00E-05	-10,81977828
82705	1.5	28	4	BK 15.2/10	km1DRM	1,90E-05	-10,87107158
82705	1.5	28	4	BK 15.2/10	km1DRM	1,90E-05	-10,87107158
82705	1.5	28	4	BK 15.2/10	km1DRM	1,40E-05	-11,17645323
82705	1.5	29	4	BK 16/11	km1DRM	2,40E-05	-10,63745673
82705	1.5	29	4	BK 16/11	km1DRM	3,30E-05	-10,319003
82705	1.5	29	4	BK 16/11	km1DRM	1,60E-05	-11,04292184
82705	1.5	29	4	BK 11/95	km1DRM	3,90E-06	-12,454534
82705	1.5	29	4	BK 11/95	km1DRM	5,40E-06	-12,1291116
82705	1.5	29	4	BK 11/95	km1DRM	5,60E-06	-12,09274396
A0011	1.5	1	5	BK 5.5 / 1 T	km1DRM	3,03E-07	-15,00953303
A0011	1.5	1	5	BK 5.5 / 2 T	km1DRM	2,23E-08	-17,61867916
A0011	1.5	1	5	BK 5.5 / 5	km1DRM	6,35E-08	-16,57222593
A0011	1.5	1	5	BK 5.5 / 8	km1DRM	1,22E-08	-18,22182989
A0011	1.5	2	5	BK 5.5 / 10 GM	km1DRM	5,25E-11	-23,67020795
A0011	1.5	2	5	BK 5.5 / 12 GM	km1DRM	3,74E-07	-14,79901004
A0011	1.5	3	5	BK 5.5 / 16 GM	km1DRM	1,15E-08	-18,2809188

Az.	PFA	Blatt	EKP	Bohrung	Stratigraphie	K_f [m/s]	$\ln(K_f)$
A0011	1.5	3	5	BK 5.5 / 21	km1DRM	8,18E-06	-11,71381841
A0011	1.5	3	5	BK 5.5 / 25	km1DRM	1,02E-07	-16,09829302
A0011	1.5	4	5	BK 5.5 / 33 GM	km1DRM	4,52E-09	-19,21475384
A0011	1.5	5	5	BK 5.5 / 34 GM	km1DRM	3,21E-08	-17,25440981
A0011	1.5	5	5	BK 5.5 / 36 GM	km1DRM	8,67E-07	-13,95822686
A0011	1.5	5	5	BK 5.5 / 37 (2) GM	km1DRM	7,99E-07	-14,03990489
A0011	1.5	5	5	BK 5.5 / 37 (2) GM	km1DRM	2,54E-06	-12,88334648
A0011	1.5	5	5	BK 5.5 / 38	km1DRM	2,52E-06	-12,89125166
A0011	1.5	5	5	BK 5.5 / 39	km1DRM	2,14E-07	-15,35728982
A0011	1.5	7	5	BK 5.5 / 59	km1DRM	4,95E-06	-12,21612298
A0011	1.5	7	5	BK 5.5 / 61	km1DRM	1,78E-06	-13,23889719
A0011	1.5	7	5	BK 5.5 / 62	km1DRM	1,55E-06	-13,37725563
A0011	1.5	7	5	BK 5.5 / 66	km1DRM	1,41E-04	-8,866750668
A0011	1.5	7	5	BK 5.5 / 70 GM	km1DRM	1,59E-05	-11,04919145
A0011	1.5	7	5	BK 5.5 / 70 GM	km1DRM	4,08E-06	-12,40941357
A0011	1.5	7	5	BK 5.5 / 71	km1DRM	1,97E-06	-13,13747702
A0011	1.5	7	5	BK 5.5 / 72	km1DRM	1,06E-05	-11,45465656
A0011	1.5	7	5	BK 5.5 / 73	km1DRM	3,26E-05	-10,33119827
A0011	1.5	7	5	BK 5.5 / 74	km1DRM	2,62E-06	-12,85233624
A0011	1.5	8	5	BK 5.5 / 75	km1DRM	8,04E-06	-11,73108147
A0011	1.5	8	5	BK 5.5 / 76	km1DRM	1,57E-06	-13,36443494
A0011	1.5	8	5	BK 5.5 / 77	km1DRM	4,23E-07	-14,67589366
A0011	1.5	8	5	BK 5.5 / 78	km1DRM	7,40E-07	-14,11661565
A0011	1.5	8	5	BK 5.5 / 80 GM	km1DRM	1,47E-05	-11,12766306
A0011	1.5	8	5	BK 5.5 / 80 GM	km1DRM	2,73E-07	-15,11379404
A0011	1.5	8	5	BK 5.5 / 82	km1DRM	6,02E-07	-14,32300839
A0011	1.5	8	5	BK 5.5 / 83	km1DRM	4,56E-07	-14,60077303
A0011	1.5	8	5	BK 5.5 / 84	km1DRM	9,64E-07	-13,85217454
A0011	1.5	8	5	BK 5.5 / 86 GM	km1DRM	6,72E-07	-14,2130075
A0011	1.5	8	5	BK 5.5 / 86 GM	km1DRM	1,65E-06	-13,31473527
A0011	1.5	9	5	BK 5.5 / 87	km1DRM	6,46E-06	-11,94988124
A0011	1.5	9	5	BK 5.5 / 89 GM	km1DRM	6,14E-09	-18,90844109
A0011	1.5	9	5	BK 5.5 / 90 GM	km1DRM	1,15E-07	-15,97833371
A0011	1.5	9	5	BK 5.5 / 90 GM	km1DRM	4,95E-07	-14,51870807
A0011	1.5	9	5	BK 5.5 / 91 GM	km1DRM	2,15E-05	-10,74745762
A0011	1.5	9	5	BK 5.5 / 94	km1DRM	7,79E-09	-18,67042498
A0011	1.5	10	5	BK 5.5 / 98	km1DRM	1,55E-07	-15,67984072
A0011	1.5	10	5	BK 5.5 / 102 (1)	km1DRM	2,44E-05	-10,62092743
A0011	1.5	10	5	BK 5.5 / 103	km1DRM	1,73E-05	-10,96480406
A0011	1.5	10	5	BK 5.5 / 110	km1DRM	1,79E-05	-10,93070985
A0011	1.5	10	5	BK 5.5 / 113 GM	km1DRM	2,34E-06	-12,96535963
A0011	1.5	11	5	BK 5.5 / 115 GM	km1DRM	8,39E-07	-13,99105513
A0011	1.5	11	5	BK 5.5 / 115 GM	km1DRM	2,98E-06	-12,72358726
A0011	1.5	11	5	BK 5.5 / 117 GM	km1DRM	6,92E-06	-11,88109479
A0011	1.5	11	5	BK 5.5 / 119	km1DRM	6,86E-09	-18,7975584
A0011	1.5	11	5	BK 5.5 / 121	km1DRM	4,92E-11	-23,73512749
A0011	1.5	12	5	BK 5.5 / 122	km1DRM	2,63E-06	-12,84852671

Az.	PFA	Blatt	EKP	Bohrung	Stratigraphie	K_f [m/s]	$\ln(K_f)$
A0011	1.5	12	5	BK 5.5 / 123	km1DRM	8,47E-05	-9,376394956
82705	1.6	27	4	BK 17.1/3	km1DRM	7,20E-09	-18,74918481
82705	1.6	27	4	BK 17.1/3	km1DRM	4,80E-09	-19,15464992
82705	1.6	27	4	BK 17.2/1	km1DRM	1,30E-05	-11,2505612
82705	1.6	27	4	BK 17.2/10	km1DRM	6,40E-09	-18,86696785
82705	1.6	27	4	BK 17.2/10	km1DRM	7,30E-08	-16,4328064
82705	1.6	27	4	BK 17.2/10	km1DRM	6,50E-08	-16,54887857
82705	1.6	28	4	BK 17.3/1	km1DRM	3,50E-09	-19,47050287
82705	1.6	28	4	BK 17.3/1	km1DRM	1,20E-08	-18,23835919
82705	1.6	29	4	BK 17.4/3	km1DRM	1,70E-09	-20,19263759
82705	1.6	29	4	BK 17.4/3	km1DRM	2,90E-09	-19,6585551
82705	1.6	30	4	BK 17.4/4	km1DRM	2,00E-10	-22,33270375
82705	1.6	30	4	BK 17.4/4	km1DRM	1,40E-10	-22,68937869
82705	1.6	30	4	BK 17.4/10	km1DRM	1,60E-09	-20,25326221
82705	1.6	30	4	BK 17.4/10	km1DRM	1,40E-09	-20,3867936
82705	1.6	31	4	BK 17.4/12	km1DRM	1,60E-10	-22,5558473
82705	1.6	31	4	BK 17.4/12	km1DRM	2,20E-10	-22,23739357
82705	1.6	32	4	BK 18.2/2	km1DRM	2,70E-07	-15,12484388
82705	1.6	32	4	BK 18.2/2	km1DRM	2,90E-07	-15,05338491
82705	1.6	32	4	BK 18.2/4	km1DRM	1,60E-06	-13,34550693
82705	1.6	32	4	BK 18.2/4	km1DRM	2,00E-06	-13,12236338
A0011	1.6	1	5	BK 17.5 / 6	km1DRM	8,40E-13	-27,8053745
A0011	1.6	1	5	BK 5.6 / 7	km1DRM	3,40E-11	-24,10466059
A0011	1.6	1	5	BK 5.6 / 8	km1DRM	2,43E-12	-26,74312986
A0011	1.6	1	5	BK 5.6 / 10	km1DRM	8,87E-11	-23,14576123
A0011	1.6	1	5	BK 5.6 / 11	km1DRM	2,98E-08	-17,32875744
A0011	1.6	1	5	BK 5.6 / 12	km1DRM	2,60E-08	-17,4651693
A0011	1.6	2	5	BK 5.6 / 14	km1DRM	2,33E-11	-24,48256776
A0011	1.6	2	5	BK 5.6 / 16	km1DRM	6,76E-11	-23,41741313
A0011	1.6	2	5	BK 5.6 / 19 T	km1DRM	1,00E-08	-18,42068074
A0011	1.6	2	5	BK 5.6 / 22 GM	km1DRM	1,14E-11	-25,19740776
A0011	1.6	4	5	BK 5.6 / 52	km1DRM	3,28E-06	-12,62766714
A0011	1.6	8	5	BK 5.6 / 91 GM	km1DRM	7,26E-10	-21,0434711
Anzahl						256	
Mindestwert						8,40E-13	-27,8053745
Höchstwert						1,41E-04	-8,866750668
Arithmetisches Mittel						7,98E-06	-14,76681573
Standardabweichung (arithmetisch)						1,56E-05	3,938159512
Geometrisches Mittel						3,86E-07	
Stabw. log. unten						7,53E-09	
Stabw. log. oben						1,98E-05	
Harmonisches Mittel						1,33E-10	

Bochinger Horizont

Az.	PFA	Blatt	EKP	Bohrung	Stratigraphie	K _f [m/s]	Ln(K _f)
A0005	1.1	1	1	B 9	km1BH	3,20E-06	-12,65235975
A0005	1.1	1	1	B 9	km1BH	1,40E-05	-11,17645323
A0005	1.1	1	1	B 13	km1BH	1,00E-05	-11,51292546
A0005	1.1	1	1	B 13	km1BH	1,60E-05	-11,04292184
A0005	1.1	2	1	B 4	km1BH	1,00E-05	-11,51292546
A0005	1.1	2	1	B 4	km1BH	6,60E-06	-11,92844091
A0005	1.1	2	1	B 4	km1BH	8,20E-06	-11,7113764
A0005	1.1	2	1	B 9	km1BH	4,90E-05	-9,92369026
A0005	1.1	2	1	B 9	km1BH	1,40E-04	-8,873868135
A0005	1.1	2	1	B 9	km1BH	7,40E-05	-9,511445465
A0005	1.1	3	2	B 220	km1BH	2,30E-06	-12,98260144
A0005	1.1	3	2	B 220	km1BH	2,30E-06	-12,98260144
A0005	1.1	4	2	B 230	km1BH	1,30E-06	-13,55314629
A0005	1.1	4	2	B 230	km1BH	1,60E-07	-15,64809202
A0005	1.1	4	2	B 230	km1BH	6,10E-09	-18,91497707
A0005	1.1	4	2	B 230	km1BH	7,60E-09	-18,69511759
A0005	1.1	4	2	B 231	km1BH	4,20E-06	-12,38042603
A0005	1.1	4	2	B 231	km1BH	1,60E-05	-11,04292184
A0005	1.1	5	2	B 233	km1BH	4,20E-08	-16,98559622
A0005	1.1	5	2	B 233	km1BH	1,10E-07	-16,02278547
A0005	1.1	5	2	B 233	km1BH	1,70E-07	-15,5874674
A0005	1.1	5	2	B 233	km1BH	3,80E-07	-14,78309458
A0005	1.1	5	2	B 233	km1BH	1,60E-07	-15,64809202
A0005	1.1	5	2	B 233	km1BH	4,10E-07	-14,70710868
A0005	1.1	5	2	B 233	km1BH	5,30E-08	-16,75297392
A0005	1.1	5	2	B 233	km1BH	8,70E-08	-16,25735772
A0005	1.1	6	2	B 241	km1BH	1,80E-07	-15,53030899
A0005	1.1	6	2	B 241	km1BH	6,80E-07	-14,20117304
A0005	1.1	6	2	B 241	km1BH	9,20E-08	-16,20147726
A0005	1.1	6	2	B 241	km1BH	8,00E-08	-16,3412392
A0005	1.1	7	2	B 210	km1BH	3,20E-05	-10,34977466
A0005	1.1	7	2	B 210	km1BH	3,00E-05	-10,41431318
A0005	1.1	7	2	B 211	km1BH	8,30E-05	-9,39666995
A0005	1.1	7	2	B 211	km1BH	6,40E-05	-9,656627475
A0005	1.1	7	2	B 211	km1BH	6,20E-05	-9,688376173
A0005	1.1	7	2	B 211	km1BH	1,10E-04	-9,115030192
A0005	1.1	7	2	B 211	km1BH	9,50E-04	-6,959048573
A0005	1.1	7	2	B 212	km1BH	9,40E-05	-9,272215776
A0005	1.1	7	2	B 212	km1BH	7,90E-05	-9,446062705
A0005	1.1	7	2	B 212	km1BH	7,70E-05	-9,471705136
A0005	1.1	7	2	B 212	km1BH	9,30E-05	-9,282911065
A0005	1.1	7	2	B 212	km1BH	9,00E-05	-9,315700888
A0005	1.1	7	2	B 213	km1BH	9,60E-05	-9,251162366
A0005	1.1	7	2	B 213	km1BH	9,90E-05	-9,220390708
A0005	1.1	7	2	B 213	km1BH	4,50E-05	-10,00884807
A0005	1.1	7	2	B 213	km1BH	4,80E-05	-9,944309547

Az.	PFA	Blatt	EKP	Bohrung	Stratigraphie	K _f [m/s]	Ln(K _f)
A0005	1.1	7	2	B 213	km1BH	4,90E-05	-9,92369026
A0005	1.1	8	2	B 214	km1BH	1,90E-05	-10,87107158
A0005	1.1	8	2	B 214	km1BH	1,60E-05	-11,04292184
A0005	1.1	8	2	B 214	km1BH	1,20E-05	-11,33060391
A0005	1.1	8	2	B 214	km1BH	1,90E-05	-10,87107158
A0005	1.1	8	2	B 214	km1BH	1,90E-05	-10,87107158
A0005	1.1	8	2	B 221	km1BH	1,20E-05	-11,33060391
A0005	1.1	8	2	B 221	km1BH	1,30E-05	-11,2505612
A0005	1.1	8	2	B 221	km1BH	1,50E-05	-11,10746036
A0005	1.1	8	2	B 224	km1BH	1,10E-05	-11,41761529
A0005	1.1	8	2	B 224	km1BH	2,30E-05	-10,68001634
A0005	1.1	8	2	B 224	km1BH	2,00E-05	-10,81977828
A0005	1.1	9	2	B 234	km1BH	2,30E-03	-6,074846156
A0005	1.1	9	2	B 234	km1BH	2,10E-03	-6,165817934
A0005	1.1	9	2	B 234	km1BH	1,90E-02	-3,9633163
A0005	1.1	9	2	B 234	km1BH	2,30E-03	-6,074846156
A0005	1.1	9	2	B 234	km1BH	2,10E-03	-6,165817934
A0005	1.1	10	2	B 210	km1BH	7,80E-05	-9,458801731
A0005	1.1	10	2	B 210	km1BH	8,10E-05	-9,421061403
A0005	1.1	10	2	B 210	km1BH	7,50E-05	-9,498022444
A0005	1.1	10	2	B 210	km1BH	1,10E-04	-9,115030192
A0005	1.1	10	2	B 210	km1BH	7,60E-05	-9,484777218
A0005	1.1	10	2	B 211	km1BH	6,50E-05	-9,641123288
A0005	1.1	10	2	B 211	km1BH	5,70E-05	-9,77245929
A0005	1.1	10	2	B 211	km1BH	5,40E-05	-9,826526511
A0005	1.1	10	2	B 211	km1BH	1,00E-04	-9,210340372
A0005	1.1	10	2	B 211	km1BH	7,50E-05	-9,498022444
A0005	1.1	10	2	B 212	km1BH	1,30E-04	-8,947976108
A0005	1.1	10	2	B 212	km1BH	1,10E-04	-9,115030192
A0005	1.1	10	2	B 212	km1BH	1,20E-04	-9,028018815
A0005	1.1	10	2	B 212	km1BH	1,50E-04	-8,804875264
A0005	1.1	10	2	B 212	km1BH	1,20E-04	-9,028018815
A0005	1.1	10	2	B 227	km1BH	7,70E-06	-11,77429023
A0005	1.1	10	2	B 227	km1BH	7,80E-06	-11,76138682
A0005	1.1	10	2	B 227	km1BH	9,60E-06	-11,55374746
A0005	1.1	10	2	B 227	km1BH	1,40E-05	-11,17645323
A0005	1.1	10	2	B 227	km1BH	1,20E-05	-11,33060391
A0005	1.1	10	2	B 227	km1BH	1,50E-05	-11,10746036
A0005	1.1	10	2	B 227	km1BH	1,40E-05	-11,17645323
A0005	1.1	10	2	B 227	km1BH	1,30E-05	-11,2505612
A0005	1.1	10	2	B 227	km1BH	1,40E-05	-11,17645323
A0005	1.1	10	2	B 227	km1BH	1,40E-05	-11,17645323
A0005	1.1	10	2	B 9	km1BH	5,20E-05	-9,864266839
A0005	1.1	10	2	B 9	km1BH	5,10E-05	-9,883684925
A0005	1.1	10	2	B 9	km1BH	7,30E-05	-9,525051117
A0005	1.1	10	2	B 9	km1BH	5,30E-05	-9,845218644
A0005	1.1	10	2	B 9	km1BH	5,30E-05	-9,845218644

Az.	PFA	Blatt	EKP	Bohrung	Stratigraphie	K _f [m/s]	Ln(K _f)
A0005	1.1	12	2	B 235	km1BH	1,10E-05	-11,41761529
A0005	1.1	15	3	B 226	km1BH	2,70E-05	-10,51967369
A0005	1.1	15	3	B 226	km1BH	2,80E-05	-10,48330605
A0005	1.1	15	3	B 226	km1BH	2,20E-05	-10,72444681
A0005	1.1	16	3	B 229	km1BH	1,20E-10	-22,84352937
A0005	1.1	16	3	B 229	km1BH	2,00E-10	-22,33270375
A0005	1.1	17	3	B 251	km1BH	3,70E-07	-14,80976283
A0005	1.1	18	3	B 252	km1BH	7,40E-06	-11,81403056
A0005	1.1	18	3	B 252	km1BH	9,90E-06	-11,5229758
A0005	1.1	18	3	B 252	km1BH	7,70E-06	-11,77429023
A0005	1.1	18	3	B 252	km1BH	1,10E-05	-11,41761529
A0005	1.1	18	3	B 252	km1BH	1,70E-05	-10,98229721
A0005	1.1	18	3	B 252	km1BH	1,70E-06	-13,28488231
A0005	1.1	18	3	B 252	km1BH	2,50E-06	-12,89921983
A0005	1.1	18	3	B 252	km1BH	9,90E-07	-13,82556089
A0005	1.1	18	3	B 252	km1BH	1,10E-07	-16,02278547
A0005	1.1	18	3	B 252	km1BH	1,10E-07	-16,02278547
A0005	1.1	19	3	B 310	km1BH	5,60E-06	-12,09274396
A0005	1.1	19	3	B 310	km1BH	1,10E-06	-13,72020038
A0005	1.1	19	3	B 312	km1BH	1,60E-04	-8,740336743
A0005	1.1	19	3	B 312	km1BH	1,90E-04	-8,568486486
A0005	1.1	19	3	B 312	km1BH	1,50E-04	-8,804875264
A0005	1.1	19	3	B 312	km1BH	1,80E-04	-8,622553707
A0005	1.1	19	3	B 312	km1BH	2,00E-04	-8,517193191
A0005	1.1	26	4	BK 11/1	km1BH	3,10E-05	-10,38152335
A0005	1.1	26	4	BK 11/1	km1BH	3,20E-05	-10,34977466
A0005	1.1	26	4	BK 11/1	km1BH	4,40E-05	-10,03132092
A0005	1.1	26	4	BK 11/1	km1BH	3,00E-05	-10,41431318
A0005	1.1	26	4	BK 11/1	km1BH	3,10E-05	-10,38152335
A0005	1.1	26	4	BK 11/1	km1BH	3,60E-05	-10,23199162
A0005	1.1	26	4	BK 11/1	km1BH	6,50E-05	-9,641123288
A0005	1.1	26	4	BK 11/1	km1BH	1,10E-05	-11,41761529
A0005	1.1	26	4	BK 11/1	km1BH	2,70E-05	-10,51967369
A0005	1.1	26	4	BK 11/1	km1BH	3,20E-05	-10,34977466
A0005	1.1	26	4	BK 11/1	km1BH	1,40E-05	-11,17645323
A0005	1.1	26	4	BK 11/2	km1BH	7,80E-06	-11,76138682
A0005	1.1	26	4	BK 11/2	km1BH	1,60E-05	-11,04292184
A0005	1.1	26	4	BK 11/2	km1BH	1,70E-05	-10,98229721
A0005	1.1	26	4	BK 11/2	km1BH	4,70E-06	-12,26794805
A0005	1.1	26	4	BK 11/2	km1BH	1,50E-05	-11,10746036
A0005	1.1	27	4	BK 11/5	km1BH	2,40E-05	-10,63745673
A0005	1.1	27	4	BK 11/5	km1BH	3,30E-05	-10,319003
A0005	1.1	27	4	BK 11/5	km1BH	3,20E-05	-10,34977466
A0005	1.1	27	4	BK 11/5	km1BH	2,00E-05	-10,81977828
A0005	1.1	27	4	BK 11/5	km1BH	5,60E-05	-9,790158867
A0005	1.1	27	4	BK 11/5	km1BH	4,80E-05	-9,944309547
A0005	1.1	27	4	BK 11/5	km1BH	6,10E-05	-9,704636694

Az.	PFA	Blatt	EKP	Bohrung	Stratigraphie	K _f [m/s]	Ln(K _f)
A0005	1.1	27	4	BK 11/5	km1BH	4,80E-05	-9,944309547
A0005	1.1	27	4	BK 11/6	km1BH	1,10E-08	-18,32537056
A0005	1.1	27	4	BK 11/6	km1BH	3,20E-08	-17,25752993
A0005	1.1	28	4	BK 11/8	km1BH	7,40E-06	-11,81403056
A0005	1.1	28	4	BK 11/8	km1BH	2,00E-05	-10,81977828
A0005	1.1	28	4	BK 11/8	km1BH	1,20E-04	-9,028018815
A0005	1.1	28	4	BK 11/8	km1BH	9,10E-05	-9,304651051
A0005	1.1	28	4	BK 11/8	km1BH	7,90E-05	-9,446062705
A0005	1.1	28	4	BK 11/8	km1BH	8,40E-05	-9,384693759
A0005	1.1	28	4	BK 11/12	km1BH	9,90E-05	-9,220390708
A0005	1.1	28	4	BK 11/12	km1BH	9,80E-05	-9,230543079
A0005	1.1	28	4	BK 11/12	km1BH	4,70E-05	-9,965362956
A0005	1.1	28	4	BK 11/14	km1BH	3,70E-05	-10,20459265
A0005	1.1	28	4	BK 11/14	km1BH	4,60E-05	-9,986869161
A0005	1.1	28	4	BK 11/14	km1BH	2,60E-05	-10,55741402
A0005	1.1	30	4	BK 11/53	km1BH	1,00E-04	-9,210340372
A0005	1.1	30	4	BK 11/53	km1BH	5,50E-05	-9,808177373
A0005	1.1	30	4	BK 11/53	km1BH	3,20E-05	-10,34977466
A0005	1.1	31	4	BK 11/58	km1BH	5,80E-05	-9,755067547
A0005	1.1	31	4	BK 11/58	km1BH	5,40E-05	-9,826526511
A0005	1.1	33	4	BK 11/99	km1BH	2,00E-04	-8,517193191
A0005	1.1	33	4	BK 11/99	km1BH	1,00E-04	-9,210340372
A0005	1.1	33	4	BK 11/99	km1BH	1,60E-04	-8,740336743
A0005	1.1	33	4	BK 11/99	km1BH	1,60E-04	-8,740336743
A0005	1.1	33	4	BK 11/99	km1BH	8,60E-05	-9,361163262
A0005	1.1	35	4	BK 11/131	km1BH	2,60E-05	-10,55741402
A0005	1.1	35	4	BK 11/131	km1BH	3,20E-05	-10,34977466
A0005	1.1	35	4	BK 11/131	km1BH	7,40E-05	-9,511445465
A0005	1.1	35	4	BK 11/132	km1BH	3,40E-05	-10,28915003
A0005	1.1	35	4	BK 11/132	km1BH	3,70E-05	-10,20459265
A0005	1.1	35	4	BK 11/132	km1BH	3,40E-05	-10,28915003
A0005	1.1	35	4	BK 11/132	km1BH	1,40E-05	-11,17645323
A0005	1.1	35	4	BK 11/132	km1BH	3,90E-05	-10,15194891
A0005	1.1	35	4	BK 11/132	km1BH	9,10E-05	-9,304651051
A0005	1.1	35	4	BK 11/132	km1BH	1,30E-04	-8,947976108
A0005	1.1	35	4	BK 11/132	km1BH	6,90E-05	-9,581404053
A0005	1.1	36	4	BK 11/133	km1BH	2,90E-05	-10,44821473
A0005	1.1	36	4	BK 11/133	km1BH	2,70E-05	-10,51967369
A0005	1.1	36	4	BK 11/133	km1BH	1,50E-05	-11,10746036
A0005	1.1	36	4	BK 11/133	km1BH	1,80E-05	-10,9251388
A0005	1.1	36	4	BK 11/133	km1BH	3,10E-05	-10,38152335
A0005	1.1	36	4	BK 11/133	km1BH	4,20E-05	-10,07784094
A0005	1.1	36	4	BK 11/133	km1BH	4,80E-05	-9,944309547
A0005	1.1	36	4	BK 11/133	km1BH	7,70E-05	-9,471705136
A0005	1.1	36	4	BK 11/133	km1BH	8,30E-05	-9,39666995
A0005	1.1	36	4	BK 11/133	km1BH	6,10E-05	-9,704636694
A0005	1.1	36	4	BK 11/135	km1BH	1,80E-05	-10,9251388

Az.	PFA	Blatt	EKP	Bohrung	Stratigraphie	K _f [m/s]	Ln(K _f)
A0005	1.1	36	4	BK 11/135	km1BH	6,40E-06	-11,95921257
A0005	1.1	37	4	BK 11/136	km1BH	1,80E-05	-10,9251388
A0005	1.1	37	4	BK 11/136	km1BH	9,50E-06	-11,56421876
A0005	1.1	37	4	B 9	km1BH	3,10E-05	-10,38152335
A0005	1.1	37	4	B 9	km1BH	3,10E-05	-10,38152335
A0005	1.1	37	4	B 9	km1BH	4,40E-05	-10,03132092
A0005	1.1	37	4	B 211	km1BH	4,90E-05	-9,92369026
A0005	1.1	37	4	B 212	km1BH	1,00E-05	-11,51292546
A0005	1.1	37	4	B 212	km1BH	4,50E-05	-10,00884807
A0005	1.1	37	4	B 212	km1BH	1,80E-05	-10,9251388
A0005	1.1	37	4	B 227	km1BH	9,10E-06	-11,60723614
A0005	1.1	37	4	B 227	km1BH	5,70E-06	-12,07504438
A0005	1.1	37	4	B 227	km1BH	1,90E-05	-10,87107158
A0011	1.1	38	5	BK 11/36	km1BH	8,78E-08	-16,24820434
A0011	1.1	38	5	BK 11/36	km1BH	2,19E-07	-15,33419411
A0011	1.1	38	5	BK 11/36	km1BH	3,66E-07	-14,8206325
A0011	1.1	38	5	BK 11/36	km1BH	1,13E-06	-13,69329293
A0011	1.1	38	5	BK 11/36	km1BH	5,75E-06	-12,0663107
A0011	1.1	38	5	BK 11/44	km1BH	2,00E-06	-13,12236338
A0011	1.1	38	5	BK 11/44	km1BH	1,97E-06	-13,13747702
A0011	1.1	38	5	BK 11/44	km1BH	1,14E-06	-13,6844823
A0011	1.1	38	5	BK 11/45	km1BH	3,62E-06	-12,52903653
A0011	1.1	38	5	BK 11/45	km1BH	4,07E-06	-12,41186756
A0011	1.1	38	5	BK 11/45	km1BH	1,17E-05	-11,35592172
A0011	1.1	38	5	BK 11/47	km1BH	3,39E-07	-14,89726573
A0011	1.1	38	5	BK 11/47	km1BH	2,47E-07	-15,2138775
A0011	1.1	38	5	BK 11/47	km1BH	2,34E-07	-15,26794472
A0011	1.1	38	5	BK 11/48	km1BH	7,91E-04	-7,14221259
A0011	1.1	38	5	BK 11/48	km1BH	8,19E-04	-7,107426474
A0011	1.1	39	5	BK 11/49	km1BH	1,02E-05	-11,49312284
A0011	1.1	39	5	BK 11/49	km1BH	1,05E-05	-11,4641353
A0011	1.1	39	5	BK 11/50	km1BH	3,70E-06	-12,50717774
A0011	1.1	39	5	BK 11/50	km1BH	4,03E-06	-12,42174418
A0011	1.1	39	5	BK 11/51	km1BH	8,96E-07	-13,92532542
A0011	1.1	39	5	BK 11/51	km1BH	1,54E-06	-13,38372814
A0011	1.1	39	5	BK 11/51	km1BH	6,19E-07	-14,29516056
A0011	1.1	39	5	BK 11/52	km1BH	9,32E-06	-11,58334793
A0011	1.1	39	5	BK 11/52	km1BH	9,56E-06	-11,55792283
A0011	1.1	39	5	BK 11/52	km1BH	1,68E-05	-10,99413167
A0011	1.1	39	5	BK 11/112	km1BH	3,89E-05	-10,15451631
A0011	1.1	39	5	BK 11/112	km1BH	3,88E-05	-10,15709031
A0011	1.1	39	5	BK 11/114	km1BH	2,55E-05	-10,57683211
A0011	1.1	39	5	BK 11/114	km1BH	2,55E-05	-10,57683211
A0011	1.1	39	5	BK 11/129GM	km1BH	7,15E-04	-7,243228015
A0011	1.1	39	5	BK 11/129GM	km1BH	7,14E-04	-7,244627596
A0011	1.1	47		B9	km1BH	8,60E-06	-11,66374835
A0011	1.1	47		B9	km1BH	8,80E-05	-9,338173743

Az.	PFA	Blatt	EKP	Bohrung	Stratigraphie	K _f [m/s]	Ln(K _f)
A0011	1.1	47		B9	km1BH	5,60E-05	-9,790158867
A0011	1.1	47		B9	km1BH	3,50E-05	-10,2601625
A0011	1.1	47		B 11	km1BH	4,70E-06	-12,26794805
A0011	1.1	47		B 16	km1BH	4,00E-07	-14,73180129
A0011	1.1	47		B 210	km1BH	4,00E-05	-10,1266311
A0011	1.1	47		B 210	km1BH	8,40E-05	-9,384693759
A0011	1.1	47		B 211	km1BH	8,40E-05	-9,384693759
A0011	1.1	47		B 211	km1BH	1,00E-04	-9,210340372
A0011	1.1	47		B 211	km1BH	4,90E-05	-9,92369026
A0011	1.1	47		B 212	km1BH	8,70E-05	-9,349602439
A0011	1.1	47		B 212	km1BH	2,20E-04	-8,421883012
A0011	1.1	47		B 212	km1BH	4,30E-05	-10,05431044
A0011	1.1	47		B 213	km1BH	7,00E-05	-9,567015316
A0011	1.1	47		B 214	km1BH	1,70E-05	-10,98229721
A0011	1.1	47		B 224	km1BH	1,80E-05	-10,9251388
A0011	1.1	47		B 227	km1BH	1,00E-05	-11,51292546
A0011	1.1	47		B 227	km1BH	2,00E-05	-10,81977828
A0011	1.1	47		B 227	km1BH	1,00E-05	-11,51292546
A0011	1.1	48		BK 11/1	km1BH	2,10E-05	-10,77098812
A0011	1.1	48		BK 11/1	km1BH	3,80E-05	-10,1779244
A0011	1.1	48		BK 11/1	km1BH	2,30E-05	-10,68001634
A0011	1.1	48		BK 11/2	km1BH	1,20E-05	-11,33060391
A0011	1.1	48		BK 11/5	km1BH	2,60E-05	-10,55741402
A0011	1.1	48		BK 11/6	km1BH	1,80E-08	-17,83289408
A0011	1.1	48		BK 11/8	km1BH	9,30E-05	-9,282911065
A0011	1.1	48		BK 11/12	km1BH	7,70E-05	-9,471705136
A0011	1.1	48		BK11/14	km1BH	3,60E-05	-10,23199162
A0011	1.1	48		BK 11/44	km1BH	1,70E-06	-13,28488231
A0011	1.1	49		BK 11/48 GM	km1BH	8,00E-04	-7,13089883
A0011	1.1	49		BK 11/49	km1BH	1,00E-05	-11,51292546
A0011	1.1	49		BK 11/51	km1BH	9,50E-07	-13,86680385
A0011	1.1	49		BK 11/52	km1BH	1,10E-05	-11,41761529
A0011	1.1	49		BK 11/53	km1BH	5,00E-05	-9,903487553
A0011	1.1	49		BK 11/58	km1BH	5,60E-05	-9,790158867
A0011	1.1	50		BK 11/99	km1BH	1,40E-04	-8,873868135
A0011	1.1	50		BK 11/112	km1BH	3,90E-05	-10,15194891
A0011	1.1	50		BK 11/114	km1BH	2,60E-05	-10,55741402
A0011	1.1	50		BK 11/129 GM	km1BH	7,10E-04	-7,250245588
A0011	1.1	50		BK 11/131 GM	km1BH	3,90E-05	-10,15194891
A0011	1.1	50		BK 11/132 VB	km1BH	4,30E-05	-10,05431044
A0011	1.1	50		BK 11/133 VB	km1BH	3,70E-05	-10,20459265
A0011	1.1	50		BK11/135	km1BH	1,10E-05	-11,41761529
A0011	1.1	50		BK 11/136 GM	km1BH	1,30E-05	-11,2505612
A0011	1.2	33	4	BK 17.5/3	km1BH	1,50E-08	-18,01521564
A0011	1.2	33	4	BK 17.5/12	km1BH	4,10E-04	-7,799353398
A0011	1.2	33	4	BK 17.5/12	km1BH	3,30E-04	-8,016417904
A0011	1.2	33	4	BK 17.5/12	km1BH	2,70E-04	-8,217088599

Az.	PFA	Blatt	EKP	Bohrung	Stratigraphie	K _f [m/s]	Ln(K _f)
A0011	1.2	33	4	BK 17.5/12	km1BH	3,80E-04	-7,875339305
A0011	1.2	33	4	BK 17.5/12	km1BH	3,30E-04	-8,016417904
A0011	1.2	33	4	BK 17.5/12	km1BH	3,20E-04	-8,047189562
A0011	1.2	33	4	BK 5.6/1T	km1BH	1,90E-05	-10,87107158
A0011	1.2	33	4	BK 5.6/1T	km1BH	2,50E-05	-10,59663473
A0011	1.2	33	4	BK 5.6/1T	km1BH	3,60E-05	-10,23199162
A0011	1.2	33	4	BK 5.6/2T	km1BH	1,60E-07	-15,64809202
A0011	1.2	33	4	BK 5.6/2T	km1BH	3,70E-07	-14,80976283
A0011	1.2	33	4	BK 5.6/2T	km1BH	1,30E-06	-13,55314629
A0011	1.2	33	4	BK 5.6/2T	km1BH	5,00E-07	-14,50865774
A0011	1.2	33	4	BK 5.6/2T	km1BH	1,00E-06	-13,81551056
A0011	1.2	34	5	BK 5.2/1	km1BH	1,79E-05	-10,93070985
A0011	1.2	34	5	BK 5.2/2 GM	km1BH	5,55E-06	-12,10171263
A0011	1.2	34	5	BK 5.2/03 GM	km1BH	7,10E-05	-9,552830681
A0011	1.2	34	5	BK 5.2/03 GM	km1BH	5,14E-06	-12,17845748
A0011	1.2	34	5	BK 5.2/03 GM	km1BH	5,55E-06	-12,10171263
A0011	1.2	34	5	BK 5.2/04 GM	km1BH	3,64E-05	-10,22094178
A0011	1.2	34	5	BK 5.2/04 GM	km1BH	1,39E-05	-11,18362172
A0011	1.2	34	5	BK 5.2/05	km1BH	2,01E-13	-29,23547149
82705	1.5	27	4	BK 15.1/1	km1BH	2,50E-06	-12,89921983
82705	1.5	27	4	BK 15.1/1	km1BH	4,40E-06	-12,33390602
82705	1.5	27	4	BK 15.1/2	km1BH	4,20E-07	-14,68301113
82705	1.5	27	4	BK 15.1/2	km1BH	7,30E-07	-14,1302213
82705	1.5	27	4	BK 15.1/2	km1BH	1,30E-05	-11,2505612
82705	1.5	27	4	BK 15.1/2	km1BH	4,70E-06	-12,26794805
82705	1.5	27	4	BK 15.1/4	km1BH	7,90E-06	-11,7486478
82705	1.5	27	4	BK 15.1/4	km1BH	8,20E-06	-11,7113764
82705	1.5	27	4	BK 15.1/4	km1BH	7,30E-06	-11,82763621
82705	1.5	27	4	BK 15.1/4	km1BH	1,80E-06	-13,22772389
82705	1.5	27	4	BK 15.1/4	km1BH	1,10E-05	-11,41761529
82705	1.5	28	4	BK 15.2/3	km1BH	7,40E-08	-16,41920074
82705	1.5	28	4	BK 15.2/3	km1BH	1,40E-07	-15,78162341
82705	1.5	28	4	BK 15.2/4	km1BH	3,20E-05	-10,34977466
82705	1.5	28	4	BK 15.2/4	km1BH	2,70E-05	-10,51967369
82705	1.5	28	4	BK 15.2/4	km1BH	3,00E-05	-10,41431318
82705	1.5	28	4	BK 15.2/6	km1BH	9,10E-05	-9,304651051
82705	1.5	28	4	BK 15.2/6	km1BH	1,30E-04	-8,947976108
82705	1.5	28	4	BK 15.2/6	km1BH	1,50E-04	-8,804875264
82705	1.5	28	4	BK 15.2/6	km1BH	1,20E-04	-9,028018815
82705	1.5	28	4	BK 15.2/8	km1BH	1,70E-05	-10,98229721
82705	1.5	28	4	BK 15.2/8	km1BH	6,00E-05	-9,721165996
82705	1.5	28	4	BK 15.2/8	km1BH	6,30E-05	-9,672375832
82705	1.5	28	4	BK 15.2/8	km1BH	2,70E-05	-10,51967369
82705	1.5	28	4	BK 15.2/8	km1BH	4,00E-05	-10,1266311
82705	1.5	28	4	BK 15.2/8	km1BH	6,10E-05	-9,704636694
82705	1.5	28	4	BK 15.2/8	km1BH	6,40E-05	-9,656627475
82705	1.5	28	4	BK 15.2/10	km1BH	1,70E-06	-13,28488231

Az.	PFA	Blatt	EKP	Bohrung	Stratigraphie	K _f [m/s]	Ln(K _f)
82705	1.5	28	4	BK 15.2/10	km1BH	2,10E-06	-13,07357321
82705	1.5	28	4	BK 15.2/10	km1BH	1,70E-05	-10,98229721
82705	1.5	28	4	BK 15.2/10	km1BH	1,70E-06	-13,28488231
82705	1.5	28	4	BK 16/2	km1BH	1,80E-05	-10,9251388
82705	1.5	28	4	BK 16/2	km1BH	2,50E-05	-10,59663473
82705	1.5	28	4	BK 16/2	km1BH	2,40E-05	-10,63745673
82705	1.5	28	4	BK 16/2	km1BH	2,00E-05	-10,81977828
82705	1.5	29	4	BK 16/5	km1BH	1,10E-05	-11,41761529
82705	1.5	29	4	BK 16/5	km1BH	8,90E-06	-11,62945928
82705	1.5	29	4	BK 16/5	km1BH	8,50E-06	-11,67544439
82705	1.5	29	4	BK 16/11	km1BH	2,60E-05	-10,55741402
82705	1.5	29	4	BK 16/11	km1BH	3,60E-05	-10,23199162
82705	1.5	29	4	BK 16/11	km1BH	1,60E-05	-11,04292184
82705	1.5	29	4	BK 16/13	km1BH	1,30E-04	-8,947976108
82705	1.5	29	4	BK 16/13	km1BH	1,80E-04	-8,622553707
82705	1.5	29	4	BK 16/13	km1BH	1,50E-04	-8,804875264
82705	1.5	29	4	BK 11/131 GM	km1BH	2,60E-05	-10,55741402
82705	1.5	29	4	BK 11/131 GM	km1BH	3,20E-05	-10,34977466
82705	1.5	29	4	BK 11/131 GM	km1BH	7,40E-05	-9,511445465
A0011	1.5	1	5	BK 5.5 / 1 T	km1BH	6,42E-07	-14,25867753
A0011	1.5	1	5	BK 5.5 / 2 T	km1BH	1,33E-08	-18,1355018
A0011	1.5	1	5	BK 5.5 / 4 GM	km1BH	2,11E-06	-13,06882261
A0011	1.5	1	5	BK 5.5 / 5	km1BH	5,64E-08	-16,69079668
A0011	1.5	1	5	BK 5.5 / 6	km1BH	1,18E-04	-9,044825933
A0011	1.5	1	5	BK 5.5 / 7 GM	km1BH	8,26E-08	-16,30925616
A0011	1.5	1	5	BK 5.5 / 7 GM	km1BH	3,32E-08	-17,22071596
A0011	1.5	1	5	BK 5.5 / 8	km1BH	1,54E-05	-11,08114305
A0011	1.5	2	5	BK 5.5/9 (2) GM	km1BH	3,20E-07	-14,95494484
A0011	1.5	2	5	BK 5.5/9 (2) GM	km1BH	5,99E-07	-14,32800424
A0011	1.5	2	5	BK 5.5 / 10 GM	km1BH	1,31E-07	-15,84806851
A0011	1.5	2	5	BK 5.5 / 10 GM	km1BH	2,10E-08	-17,6787434
A0011	1.5	2	5	BK 5.5 / 11	km1BH	8,21E-07	-14,01274273
A0011	1.5	2	5	BK 5.5 / 12 GM	km1BH	4,82E-09	-19,15049191
A0011	1.5	2	5	BK 5.5 / 13	km1BH	5,39E-04	-7,525794987
A0011	1.5	2	5	BK 5.5 / 14 GM	km1BH	5,95E-08	-16,63728952
A0011	1.5	2	5	BK 5.5 / 15 GM	km1BH	1,66E-03	-6,400937677
A0011	1.5	3	5	BK 5.5 / 15 GM	km1BH	8,80E-04	-7,03558865
A0011	1.5	3	5	BK 5.5 / 16 GM	km1BH	1,75E-05	-10,95330968
A0011	1.5	3	5	BK 5.5 / 16 GM	km1BH	3,74E-05	-10,19383985
A0011	1.5	3	5	BK 5.5 / 17 GM	km1BH	3,83E-06	-12,47264575
A0011	1.5	3	5	BK 5.5 / 27 GM	km1BH	2,79E-03	-5,881713683
A0011	1.5	4	5	BK 5.5 / 28 GM	km1BH	1,24E-06	-13,60039918
A0011	1.5	4	5	BK 5.5 / 28 GM	km1BH	4,80E-05	-9,944309547
A0011	1.5	4	5	BK 5.5 / 30 T	km1BH	2,94E-07	-15,03968607
A0011	1.5	4	5	BK 5.5 / 31 T	km1BH	3,06E-04	-8,091925456
A0011	1.5	4	5	BK 5.5 / 32 GM	km1BH	2,46E-06	-12,91534921
A0011	1.5	4	5	BK 5.5 / 32 GM	km1BH	6,23E-04	-7,380964039

Az.	PFA	Blatt	EKP	Bohrung	Stratigraphie	K_f [m/s]	$\ln(K_f)$
A0011	1.5	4	5	BK 5.5 / 33 GM	km1BH	2,57E-06	-12,87160466
A0011	1.5	4	5	BK 5.5 / 33 GM	km1BH	2,23E-07	-15,31609407
A0011	1.5	5	5	BK 5.5 / 34 GM	km1BH	4,84E-06	-12,23859584
A0011	1.5	5	5	BK 5.5 / 35	km1BH	7,08E-06	-11,85823665
A0011	1.5	5	5	BK 5.5 / 36 GM	km1BH	1,16E-06	-13,66709055
A0011	1.5	5	5	BK 5.5 / 37 (2) GM	km1BH	8,99E-05	-9,316812616
A0011	1.5	5	5	BK 5.5 / 38	km1BH	2,11E-06	-13,06882261
A0011	1.5	5	5	BK 5.5 / 39	km1BH	5,17E-07	-14,47522296
A0011	1.5	5	5	BK 5.5 / 40	km1BH	8,69E-04	-7,048167433
A0011	1.5	5	5	BK 5.5 / 41 GM	km1BH	7,43E-06	-11,8099847
A0011	1.5	6	5	BK 5.5 / 41 GM	km1BH	1,67E-05	-11,00010184
A0011	1.5	6	5	BK 5.5 / 42	km1BH	2,53E-08	-17,49246144
A0011	1.5	6	5	BK 5.5 / 55	km1BH	4,41E-07	-14,63422096
A0011	1.5	7	5	BK 5.5 / 58	km1BH	1,16E-06	-13,66709055
A0011	1.5	7	5	BK 5.5 / 59	km1BH	2,50E-05	-10,59663473
A0011	1.5	7	5	BK 5.5 / 60	km1BH	6,13E-04	-7,397145622
A0011	1.5	7	5	BK 5.5 / 61	km1BH	9,85E-03	-4,620283824
A0011	1.5	7	5	BK 5.5 / 62	km1BH	5,72E-07	-14,37412685
A0011	1.5	7	5	BK 5.5 / 63	km1BH	4,35E-03	-5,437579434
A0011	1.5	7	5	BK 5.5 / 64	km1BH	2,28E-03	-6,083579836
A0011	1.5	7	5	BK 5.5 / 65	km1BH	2,42E-03	-6,023987739
A0011	1.5	7	5	BK 5.5 / 67 GM	km1BH	7,00E-09	-18,77735569
A0011	1.5	8	5	BK 5.5 / 80 GM	km1BH	4,93E-05	-9,917586477
A0011	1.5	8	5	BK 5.5 / 86 GM	km1BH	4,27E-05	-10,06131164
A0011	1.5	9	5	BK 5.5 / 87	km1BH	1,38E-05	-11,19084197
A0011	1.5	9	5	BK 5.5 / 88	km1BH	1,02E-04	-9,190537745
A0011	1.5	9	5	BK 5.5 / 89 GM	km1BH	3,90E-08	-17,05970419
A0011	1.5	9	5	BK 5.5 / 90 GM	km1BH	5,01E-10	-21,41441501
A0011	1.5	9	5	BK 5.5 / 91 GM	km1BH	2,48E-07	-15,20983709
A0011	1.5	9	5	BK 5.5 / 91 GM	km1BH	2,11E-05	-10,76623752
A0011	1.5	9	5	BK 5.5 / 93	km1BH	1,07E-04	-9,142681724
A0011	1.5	9	5	BK 5.5 / 94	km1BH	2,04E-05	-10,79997566
A0011	1.5	9	5	BK 5.5 / 95 GM	km1BH	9,95E-06	-11,51793801
A0011	1.5	10	5	BK 5.5 / 95 GM	km1BH	7,40E-07	-14,11661565
A0011	1.5	10	5	BK 5.5 / 96	km1BH	2,31E-06	-12,97826303
A0011	1.5	10	5	BK 5.5 / 97 GM	km1BH	4,56E-06	-12,29818793
A0011	1.5	10	5	BK 5.5 / 97 GM	km1BH	5,78E-06	-12,06110688
A0011	1.5	10	5	BK 5.5 / 98	km1BH	8,05E-06	-11,72983847
A0011	1.5	10	5	BK 5.5 / 110	km1BH	1,22E-05	-11,31407461
A0011	1.5	10	5	BK 5.5 / 113 GM	km1BH	1,46E-05	-11,13448903
A0011	1.5	10	5	BK 5.5 / 113 GM	km1BH	3,25E-05	-10,33427047
A0011	1.5	11	5	BK 5.5 / 114 GM	km1BH	7,77E-05	-9,462655301
A0011	1.5	11	5	BK 5.5 / 117 GM	km1BH	8,52E-05	-9,370509124
A0011	1.5	11	5	BK 5.5 / 117 GM	km1BH	2,21E-05	-10,71993295
A0011	1.5	11	5	BK 5.5 / 119	km1BH	1,44E-08	-18,05603763
A0011	1.5	11	5	BK 5.5 / 120	km1BH	3,72E-07	-14,80437198
A0011	1.5	11	5	BK 5.5 / 121	km1BH	3,82E-08	-17,08043032

Az.	PFA	Blatt	EKP	Bohrung	Stratigraphie	K _f [m/s]	Ln(K _f)
A0011	1.5	12	5	BK 5.5 / 122	km1BH	4,17E-05	-10,08500943
A0011	1.5	12	5	BK 5.5 / 123	km1BH	5,57E-05	-9,795530411
82705	1.6	27	4	BK 17.2/3	km1BH	9,00E-03	-4,710530702
82705	1.6	27	4	BK 17.2/3	km1BH	1,20E-04	-9,028018815
82705	1.6	27	4	BK 17.2/3	km1BH	9,70E-05	-9,240799579
82705	1.6	27	4	BK 17.2/8	km1BH	9,40E-05	-9,272215776
82705	1.6	27	4	BK 17.2/8	km1BH	1,30E-04	-8,947976108
82705	1.6	27	4	BK 17.2/8	km1BH	2,60E-04	-8,254828927
82705	1.6	27	4	BK 17.2/8	km1BH	1,50E-04	-8,804875264
82705	1.6	27	4	BK 17.2/10	km1BH	8,20E-07	-14,0139615
82705	1.6	27	4	BK 17.2/10	km1BH	1,10E-06	-13,72020038
82705	1.6	27	4	BK 17.2/10	km1BH	1,00E-06	-13,81551056
82705	1.6	29	4	BK 17.4/3	km1BH	1,90E-07	-15,47624176
82705	1.6	29	4	BK 17.4/3	km1BH	8,80E-08	-16,24592902
82705	1.6	30	4	BK 17.4/4	km1BH	1,00E-09	-20,72326584
82705	1.6	30	4	BK 17.4/4	km1BH	3,00E-09	-19,62465355
82705	1.6	30	4	BK 17.4/8	km1BH	4,00E-09	-19,33697148
82705	1.6	30	4	BK 17.4/8	km1BH	1,10E-08	-18,32537056
82705	1.6	31	4	BK 17.4/12	km1BH	3,30E-10	-21,83192846
82705	1.6	31	4	BK 17.4/12	km1BH	1,40E-10	-22,68937869
82705	1.6	31	4	BK 17.4/19	km1BH	8,10E-10	-20,93398687
82705	1.6	31	4	BK 17.4/19	km1BH	1,60E-09	-20,25326221
82705	1.6	32	4	BK 5.6/4	km1BH	5,00E-10	-21,41641302
82705	1.6	32	4	BK 5.6/4	km1BH	5,00E-10	-21,41641302
82705	1.6	32	4	BK 5.6/5	km1BH	8,70E-09	-18,55994281
82705	1.6	32	4	BK 5.6/5	km1BH	2,90E-08	-17,35597001
A0011	1.6	1	5	BK 17.5 / 6	km1BH	1,45E-09	-20,35170228
A0011	1.6	1	5	BK 5.6 / 7	km1BH	3,97E-11	-23,94966993
A0011	1.6	1	5	BK 5.6 / 8	km1BH	1,17E-11	-25,17143227
A0011	1.6	1	5	BK 5.6 / 9 GM	km1BH	8,80E-06	-11,64075884
A0011	1.6	1	5	BK 5.6 / 10	km1BH	5,22E-11	-23,67593862
A0011	1.6	1	5	BK 5.6 / 11	km1BH	1,59E-10	-22,56211691
A0011	1.6	1	5	BK 5.6 / 12	km1BH	1,68E-09	-20,20447204
A0011	1.6	2	5	BK 5.6 / 14	km1BH	1,91E-11	-24,68133278
A0011	1.6	2	5	BK 5.6 / 15	km1BH	6,23E-08	-16,59130441
A0011	1.6	2	5	BK 5.6 / 20	km1BH	1,04E-10	-22,98663022
A0011	1.6	5	5	BK 5.6 / 69 GM	km1BH	1,59E-06	-13,35177654
A0011	1.6	5	5	BK 5.6 / 69 GM	km1BH	6,86E-07	-14,19238821
A0011	1.6	8	5	BK 5.6 / 91 GM	km1BH	1,03E-06	-13,78595176
A0011	1.6	8	5	BK 5.6 / 91 GM	km1BH	7,99E-08	-16,34248998

Az.	PFA	Blatt	EKP	Bohrung	Stratigraphie	K _f [m/s]	Ln(K _f)
Anzahl						462	
Mindestwert						2,01E-13	-29,23547149
Höchstwert						1,90E-02	-3,9633163
Arithmetisches Mittel						1,86E-04	-11,78701902
Standardabweichung (arithmetisch)						1,13E-03	3,48343515
Geometrisches Mittel						7,60E-06	
Stabw. log. unten						2,33E-07	
Stabw. log. oben						2,48E-04	
Harmonisches Mittel						8,87E-11	

Grundgipsschichten

Az.	PFA	Blatt	EKP	Bohrung	Stratigraphie	K _f [m/s]	Ln(K _f)
A0005	1.1	1	1	B 4	km1GG	6,50E-06	-11,94370838
A0005	1.1	1	1	B 4	km1GG	1,20E-07	-15,93577409
A0005	1.1	1	1	B 4	km1GG	1,70E-06	-13,28488231
A0005	1.1	1	1	B 4	km1GG	2,80E-08	-17,39106133
A0005	1.1	3	2	B 211	km1GG	3,20E-07	-14,95494484
A0005	1.1	3	2	B 211	km1GG	3,60E-07	-14,83716181
A0005	1.1	3	2	B 212	km1GG	3,70E-08	-17,11234792
A0005	1.1	3	2	B 212	km1GG	1,10E-07	-16,02278547
A0005	1.1	3	2	B 213	km1GG	8,80E-07	-13,94334393
A0005	1.1	3	2	B 213	km1GG	3,90E-06	-12,454534
A0005	1.1	3	2	B 213	km1GG	9,20E-07	-13,89889217
A0005	1.1	3	2	B 213	km1GG	4,80E-06	-12,24689464
A0005	1.1	3	2	B 213	km1GG	8,30E-07	-14,00184014
A0005	1.1	3	2	B 213	km1GG	4,30E-06	-12,35689554
A0005	1.1	4	2	B 230	km1GG	6,90E-08	-16,48915933
A0005	1.1	4	2	B 230	km1GG	6,10E-07	-14,30980688
A0005	1.1	4	2	B 230	km1GG	1,30E-08	-18,15831648
A0005	1.1	4	2	B 230	km1GG	4,40E-08	-16,9390762
A0005	1.1	4	2	B 230	km1GG	5,00E-09	-19,11382792
A0005	1.1	4	2	B 230	km1GG	1,50E-08	-18,01521564
A0005	1.1	4	2	B 231	km1GG	1,20E-08	-18,23835919
A0005	1.1	4	2	B 231	km1GG	8,70E-09	-18,55994281
A0005	1.1	4	2	B 231	km1GG	2,20E-08	-17,63222338
A0005	1.1	4	2	B 231	km1GG	4,40E-08	-16,9390762
A0005	1.1	4	2	B 231	km1GG	5,00E-08	-16,81124283
A0005	1.1	5	2	B 234	km1GG	1,20E-07	-15,93577409
A0005	1.1	6	2	B 241	km1GG	2,40E-09	-19,8477971
A0005	1.1	6	2	B 241	km1GG	7,70E-09	-18,68204551
A0005	1.1	6	2	B 241	km1GG	6,00E-09	-18,93150637
A0005	1.1	6	2	B 242	km1GG	2,10E-07	-15,37615831
A0005	1.1	6	2	B 242	km1GG	4,00E-07	-14,73180129
A0005	1.1	10	2	B 221	km1GG	7,00E-07	-14,1721855
A0005	1.1	10	2	B 221	km1GG	3,60E-05	-10,23199162
A0005	1.1	10	2	B 221	km1GG	3,50E-06	-12,56274759
A0005	1.1	16	3	B 229	km1GG	3,20E-10	-21,86270012

Az.	PFA	Blatt	EKP	Bohrung	Stratigraphie	K _f [m/s]	Ln(K _f)
A0005	1.1	17	3	B 251	km1GG	3,90E-08	-17,05970419
A0005	1.1	17	3	B 251	km1GG	5,60E-09	-19,00049924
A0005	1.1	18	3	B 252	km1GG	5,90E-07	-14,3431433
A0005	1.1	18	3	B 252	km1GG	5,30E-07	-14,45038883
A0005	1.1	18	3	B 252	km1GG	5,20E-07	-14,46943703
A0005	1.1	18	3	B 252	km1GG	4,90E-07	-14,52886045
A0005	1.1	18	3	B 252	km1GG	3,80E-07	-14,78309458
A0005	1.1	29	4	BK 11/14	km1GG	2,70E-04	-8,217088599
A0005	1.1	29	4	BK 11/14	km1GG	2,60E-04	-8,254828927
A0005	1.1	29	4	BK 11/14	km1GG	1,40E-04	-8,873868135
A0005	1.1	29	4	BK 11/14	km1GG	1,10E-04	-9,115030192
A0005	1.1	29	4	BK 11/14	km1GG	1,10E-04	-9,115030192
A0005	1.1	29	4	BK 11/14	km1GG	1,10E-04	-9,115030192
A0005	1.1	29	4	BK 11/14	km1GG	8,20E-05	-9,408791311
A0005	1.1	29	4	BK 11/14	km1GG	1,40E-04	-8,873868135
A0005	1.1	29	4	BK 11/14	km1GG	1,30E-04	-8,947976108
A0005	1.1	29	4	BK 11/14	km1GG	1,30E-04	-8,947976108
A0005	1.1	29	4	BK 11/14	km1GG	1,60E-04	-8,740336743
A0005	1.1	29	4	BK 11/14	km1GG	1,80E-04	-8,622553707
A0005	1.1	29	4	BK 11/14	km1GG	2,70E-04	-8,217088599
A0005	1.1	29	4	BK 11/15	km1GG	9,50E-04	-6,959048573
A0005	1.1	29	4	BK 11/15	km1GG	9,00E-04	-7,013115795
A0005	1.1	29	4	BK 11/15	km1GG	7,70E-04	-7,169120043
A0005	1.1	29	4	BK 11/15	km1GG	4,50E-04	-7,706262975
A0005	1.1	32	4	BK 11/81	km1GG	2,30E-04	-8,377431249
A0005	1.1	32	4	BK 11/81	km1GG	3,10E-04	-8,07893826
A0005	1.1	32	4	BK 11/81	km1GG	1,80E-04	-8,622553707
A0005	1.1	32	4	BK 11/81	km1GG	3,80E-04	-7,875339305
A0011	1.1	39	5	BK 11/48GM	km1GG	9,56E-04	-6,952752645
A0011	1.1	39	5	BK 11/48GM	km1GG	9,56E-04	-6,952752645
A0011	1.1	39	5	BK 11/129	km1GG	2,25E-05	-10,70199525
A0011	1.1	39	5	BK 11/129	km1GG	2,25E-05	-10,70199525
A0011	1.1	51		B 9	km1GG	6,80E-06	-11,89858795
A0011	1.1	51		B 13	km1GG	1,70E-06	-13,28488231
A0011	1.1	51		B 213	km1GG	2,60E-06	-12,85999911
A0011	1.1	51		BK 11/14	km1GG	2,20E-04	-8,421883012
A0011	1.1	51		BK 11/14	km1GG	1,10E-04	-9,115030192
A0011	1.1	51		BK 11/14	km1GG	1,50E-04	-8,804875264
A0011	1.1	51		BK 11/15	km1GG	8,70E-04	-7,047017346
A0011	1.1	51		BK 11/48 GM	km1GG	9,60E-04	-6,948577274
A0011	1.1	52		BK 11/81	km1GG	2,50E-04	-8,29404964
A0011	1.1	52		BK 11/99 GM	km1GG	1,40E-04	-8,873868135
A0011	1.1	52		BK 11/129 GM	km1GG	2,30E-05	-10,68001634
A0011	1.1	52		BK 11/135 GM	km1GG	2,40E-07	-15,24262691
82705	1.5	27	4	BK 15.1/1	km1GG	8,30E-10	-20,90959542
82705	1.5	27	4	BK 15.1/1	km1GG	2,60E-09	-19,76775439
82705	1.5	27	4	BK 15.1/3	km1GG	5,60E-11	-23,60566943

Az.	PFA	Blatt	EKP	Bohrung	Stratigraphie	K _f [m/s]	Ln(K _f)
82705	1.5	27	4	BK 15.1/3	km1GG	4,10E-11	-23,91744905
82705	1.5	28	4	BK 15.2/3	km1GG	9,10E-10	-20,81757652
82705	1.5	28	4	BK 15.2/3	km1GG	9,70E-10	-20,75372504
82705	1.5	28	4	BK 15.2/7	km1GG	6,20E-05	-9,688376173
82705	1.5	28	4	BK 15.2/7	km1GG	5,90E-05	-9,737973114
82705	1.5	28	4	BK 15.2/7	km1GG	5,60E-05	-9,790158867
82705	1.5	28	4	BK 15.2/7	km1GG	1,50E-05	-11,10746036
82705	1.5	28	4	BK 15.2/7	km1GG	1,00E-05	-11,51292546
82705	1.5	28	4	BK 15.2/7	km1GG	1,10E-05	-11,41761529
82705	1.5	28	4	BK 15.2/7	km1GG	4,70E-06	-12,26794805
82705	1.5	29	4	BK 16/3	km1GG	1,40E-05	-11,17645323
82705	1.5	29	4	BK 16/3	km1GG	1,50E-05	-11,10746036
82705	1.5	29	4	BK 16/3	km1GG	1,50E-04	-8,804875264
82705	1.5	29	4	BK 16/3	km1GG	1,80E-05	-10,9251388
A0011	1.5	4	5	BK 5.5 / 30 T	km1GG	3,63E-03	-5,618522631
A0011	1.5	6	5	BK 5.5 / 43	km1GG	3,71E-03	-5,596723402
82705	1.6	32	4	BK 18.2/3	km1GG	2,50E-05	-10,59663473
82705	1.6	32	4	BK 18.2/3	km1GG	2,30E-05	-10,68001634
82705	1.6	32	4	BK 18.2/3	km1GG	4,10E-05	-10,10193849
82705	1.6	32	4	BK 18.2/3	km1GG	2,40E-05	-10,63745673
Anzahl						102	
Mindestwert						4,10E-11	-23,91744905
Höchstwert						3,71E-03	-5,596723402
Arithmetisches Mittel						1,85E-04	-12,70718414
Standardabweichung (arithmetisch)						5,48E-04	4,395110523
Geometrisches Mittel						3,03E-06	
Stabw. log. unten						3,74E-08	
Stabw. log. oben						2,46E-04	
Harmonisches Mittel						2,01E-09	

Grenzdolomit

Az.	PFA	Blatt	EKP	Bohrung	Stratigraphie	K _f [m/s]	Ln(K _f)
A0005	1.1	13	3	B 350	ku2GD	2,80E-02	-3,575550769
A0005	1.1	13	3	B 350	ku2GD	2,80E-02	-3,575550769
A0005	1.1	13	3	B 350	ku2GD	1,20E-02	-4,422848629
A0005	1.1	16	3	B 229	ku2GD	6,10E-06	-12,00722179
A0005	1.1	16	3	B 229	ku2GD	4,80E-06	-12,24689464
A0005	1.1	16	3	B 229	ku2GD	5,70E-06	-12,07504438
A0005	1.1	16	3	B 229	ku2GD	4,90E-06	-12,22627535
A0005	1.1	16	3	B 229	ku2GD	8,90E-06	-11,62945928
A0005	1.1	36	4	BK 11/135	ku2GD	3,90E-07	-14,7571191
A0005	1.1	36	4	BK 11/135	ku2GD	1,40E-07	-15,78162341
A0005	1.1	37	4	B 213	ku2GD	4,00E-04	-7,824046011
A0005	1.1	37	4	B 213	ku2GD	5,00E-04	-7,60090246
A0005	1.1	37	4	B 213	ku2GD	1,30E-04	-8,947976108
A0005	1.1	37	4	B 225	ku2GD	2,10E-04	-8,468403027
A0005	1.1	37	4	B 225	ku2GD	1,80E-04	-8,622553707

Az.	PFA	Blatt	EKP	Bohrung	Stratigraphie	K _f [m/s]	Ln(K _f)
A0005	1.1	37	4	B 225	ku2GD	7,90E-04	-7,143477613
A0011	1.1	51		B 211	ku2GD	3,40E-07	-14,89432022
A0011	1.1	53		BK 11/135	ku2GD	2,40E-07	-15,24262691
A0011	1.2	34	5	BK 5.2/2 GM	ku2GD	2,64E-04	-8,239561455
A0011	1.2	34	5	BK 5.2/2 GM	ku2GD	1,30E-04	-8,947976108
82705	1.5	27	4	BK 15.1/1	ku2GD	3,60E-05	-10,23199162
82705	1.5	27	4	BK 15.1/1	ku2GD	3,00E-05	-10,41431318
82705	1.5	27	4	BK 15.1/1	ku2GD	1,20E-05	-11,33060391
82705	1.5	27	4	BK 15.1/1	ku2GD	2,30E-05	-10,68001634
82705	1.5	27	4	BK 15.1/3	ku2GD	1,40E-11	-24,99196379
82705	1.5	27	4	BK 15.1/3	ku2GD	1,00E-11	-25,32843602
82705	1.5	28	4	BK 15.2/3	ku2GD	5,30E-06	-12,14780374
82705	1.5	28	4	BK 15.2/3	ku2GD	5,80E-06	-12,05765264
82705	1.5	28	4	BK 15.2/3	ku2GD	4,70E-06	-12,26794805
82705	1.5	28	4	BK 15.2/3	ku2GD	2,10E-06	-13,07357321
82705	1.5	28	4	BK 15.2/7	ku2GD	2,90E-05	-10,44821473
82705	1.5	28	4	BK 15.2/7	ku2GD	5,50E-05	-9,808177373
82705	1.5	28	4	BK 15.2/7	ku2GD	2,40E-05	-10,63745673
82705	1.5	28	4	BK 15.2/8	ku2GD	1,30E-03	-6,645391015
82705	1.5	28	4	BK 15.2/8	ku2GD	3,50E-03	-5,65499231
82705	1.5	28	4	BK 15.2/8	ku2GD	8,70E-04	-7,047017346
82705	1.5	28	4	BK 15.2/8	ku2GD	2,10E-03	-6,165817934
82705	1.5	28	4	BK 15.2/9	ku2GD	2,10E-03	-6,165817934
82705	1.5	28	4	BK 15.2/9	ku2GD	2,90E-03	-5,843044542
82705	1.5	28	4	BK 15.2/9	ku2GD	3,00E-03	-5,80914299
82705	1.5	28	4	BK 15.2/9	ku2GD	2,20E-03	-6,119297919
A0011	1.5	2	5	BK 5.5 / 12 GM	ku2GD	9,98E-07	-13,81751256
A0011	1.5	4	5	BK 5.5 / 28 GM	ku2GD	1,32E-04	-8,932708635
A0011	1.5	4	5	BK 5.5 / 30 T	ku2ku2GD	3,76E-03	-5,583336322
A0011	1.5	4	5	BK 5.5 / 31 T	ku2ku2GD	6,24E-07	-14,28711547
A0011	1.5	4	5	BK 5.5 / 32 GM	ku2GD	1,92E-05	-10,86060028
A0011	1.5	6	5	BK 5.5 / 56	ku2GD	1,18E-04	-9,044825933
A0011	1.5	6	5	BK 5.5 / 57	ku2GD	6,23E-05	-9,683549132
A0011	1.5	7	5	BK 5.5 / 57	ku2GD	7,87E-05	-9,449867403
A0011	1.5	11	5	BK 5.5 / 117 GM	ku2GD	9,05E-05	-9,310160707
Anzahl						50	
Mindestwert						1,00E-11	-25,32843602
Höchstwert						2,80E-02	-3,575550769
Arithmetisches Mittel						1,86E-03	-10,24135563
Standardabweichung (arithmetisch)						5,71E-03	4,35183472
Geometrisches Mittel						3,57E-05	
Stabw. log. unten						4,59E-07	
Stabw. log. oben						2,77E-03	
Harmonisches Mittel						2,92E-10	

Linguladolomit/Anoplophoradolomit

Az.	PFA	Blatt	EKP	Bohrung	Stratigraphie	K _f [m/s]	Ln(K _f)
A0011	1.5	3	5	BK 5.5 / 27 GM	ku2LD	3,25E-05	-10,33427047
A0011	1.5	3	5	BK 5.5 / 27 GM	ku2AD	1,11E-05	-11,40856545
A0011	1.5	4	5	BK 5.5 / 27 GM	ku2LD	4,81E-05	-9,942228381
A0011	1.5	4	5	BK 5.5 / 31 T	ku2LD/AD	4,46E-05	-10,0177767
Anzahl						4	
Mindestwert						1,11E-05	-11,40856545
Höchstwert						4,81E-05	-9,942228381
Arithmetisches Mittel						3,41E-05	-10,42571025
Standardabweichung (arithmetisch)						1,67E-05	0,676887503
Geometrisches Mittel						2,97E-05	
Stabw. log. unten						1,51E-05	
Stabw. log. oben						5,84E-05	
Harmonisches Mittel						2,44E-05	

Grüne Mergel + Linguladolomit

Az.	PFA	Blatt	EKP	Bohrung	Stratigraphie	K _f [m/s]	Ln(K _f)
A0005	1.1	10	2	B 214	ku2GM/ku2LD	2,00E-04	-8,517193191
A0005	1.1	10	2	B 214	ku2GM/ku2LD	1,80E-04	-8,622553707
A0005	1.1	14	3	B 4a	ku2GM/LD	1,10E-04	-9,115030192
A0005	1.1	14	3	B 4a	ku2GM/ku2LD	1,10E-04	-9,115030192
A0005	1.1	14	3	B 4a	ku2GM/ku2LD	7,50E-05	-9,498022444
A0005	1.1	14	3	B 4a	ku2GM/ku2LD	1,40E-04	-8,873868135
A0011	1.1	53		B 214	ku2GM/ku2LD	1,90E-04	-8,568486486
82705	1.5	29	4	BK 16/3	ku2GM	3,20E-09	-19,56011503
82705	1.5	29	4	BK 16/3	ku2GM	7,30E-09	-18,73539149
A0011	1.5	3	5	BK 5.5 / 27 GM	ku2LD	3,25E-05	-10,33427047
A0011	1.5	3	5	BK 5.5 / 27 GM	ku2AD	1,11E-05	-11,40856545
A0011	1.5	4	5	BK 5.5 / 27 GM	ku2LD	4,81E-05	-9,942228381
A0011	1.5	4	5	BK 5.5 / 31 T	ku2LD/ku2AD	4,46E-05	-10,0177767
Anzahl						13	
Mindestwert						3,20E-09	-19,56011503
Höchstwert						2,00E-04	-8,517193191
Arithmetisches Mittel						8,78E-05	-10,94681014
Standardabweichung (arithmetisch)						7,26E-05	3,734749777
Geometrisches Mittel						1,76E-05	
Stabw. log. unten						4,21E-07	
Stabw. log. oben						7,38E-04	
Harmonisches Mittel						2,89E-08	

Mittlerer Lettenkeuper (gesamt)

Az.	PFA	Blatt	EKP	Bohrung	Stratigraphie	K _f [m/s]	Ln(K _f)
A0005	1.1	8	2	B 224	ku2	1,20E-03	-6,725433722
A0005	1.1	8	2	B 224	ku2	1,10E-03	-6,812445099
A0005	1.1	8	2	B 224	ku2	7,70E-04	-7,169120043
A0005	1.1	8	2	B 224	ku2	1,00E-03	-6,907755279

Az.	PFA	Blatt	EKP	Bohrung	Stratigraphie	K _f [m/s]	Ln(K _f)
A0005	1.1	8	2	B 224	ku2	1,40E-03	-6,571283042
A0005	1.1	10	2	B 214	ku2GM/ ku2LD	2,00E-04	-8,517193191
A0005	1.1	10	2	B 214	ku2GM/ ku2LD	1,80E-04	-8,622553707
A0005	1.1	10	2	B 224	ku2	1,90E-04	-8,568486486
A0005	1.1	10	2	B 224	ku2	1,40E-04	-8,873868135
A0005	1.1	10	2	B 224	ku2	1,00E-03	-6,907755279
A0005	1.1	10	2	B 224	ku2	2,40E-04	-8,334871635
A0005	1.1	10	2	B 224	ku2	3,50E-04	-7,957577403
A0005	1.1	10	2	B 224	ku2	1,40E-04	-8,873868135
A0005	1.1	10	2	B 224	ku2	1,30E-04	-8,947976108
A0005	1.1	10	2	B 224	ku2	1,30E-03	-6,645391015
A0005	1.1	10	2	B 224	ku2	1,80E-04	-8,622553707
A0005	1.1	10	2	B 224	ku2	2,70E-04	-8,217088599
A0005	1.1	13	3	B 350	ku2GD	2,80E-02	-3,575550769
A0005	1.1	13	3	B 350	ku2GD	2,80E-02	-3,575550769
A0005	1.1	13	3	B 350	ku2GD	1,20E-02	-4,422848629
A0005	1.1	13	3	B 350	ku2	2,10E-04	-8,468403027
A0005	1.1	13	3	B 350	ku2	1,80E-04	-8,622553707
A0005	1.1	13	3	B 350	ku2	1,10E-04	-9,115030192
A0005	1.1	13	3	B 350	ku2	1,10E-04	-9,115030192
A0005	1.1	13	3	B 350	ku2	9,70E-05	-9,240799579
A0005	1.1	13	3	B 351	ku2	6,20E-04	-7,38579108
A0005	1.1	13	3	B 351	ku2	5,30E-04	-7,542633551
A0005	1.1	13	3	B 351	ku2	5,20E-04	-7,561681746
A0005	1.1	13	3	B 352	ku2	1,40E-04	-8,873868135
A0005	1.1	13	3	B 352	ku2	1,10E-04	-9,115030192
A0005	1.1	13	3	B 352	ku2	9,40E-05	-9,272215776
A0005	1.1	13	3	B 352	ku2	9,90E-05	-9,220390708
A0005	1.1	13	3	B 352	ku2	7,40E-05	-9,511445465
A0005	1.1	14	3	B 4a	ku2GM/ ku2LD	1,10E-04	-9,115030192
A0005	1.1	14	3	B 4a	ku2GM/ ku2LD	1,10E-04	-9,115030192
A0005	1.1	14	3	B 4a	ku2GM/ ku2LD	7,50E-05	-9,498022444
A0005	1.1	14	3	B 4a	ku2GM/ ku2LD	1,40E-04	-8,873868135
A0005	1.1	14	3	B 4a	ku2	5,80E-05	-9,755067547
A0005	1.1	14	3	B 4a	ku2	6,10E-05	-9,704636694
A0005	1.1	14	3	B 4a	ku2	4,20E-05	-10,07784094
A0005	1.1	16	3	B 229	ku2GD	6,10E-06	-12,00722179
A0005	1.1	16	3	B 229	ku2GD	4,80E-06	-12,24689464
A0005	1.1	16	3	B 229	ku2GD	5,70E-06	-12,07504438
A0005	1.1	16	3	B 229	ku2GD	4,90E-06	-12,22627535
A0005	1.1	16	3	B 229	ku2GD	8,90E-06	-11,62945928
A0005	1.1	16	3	B 229	ku	6,20E-05	-9,688376173
A0005	1.1	16	3	B 229	ku	6,40E-05	-9,656627475
A0005	1.1	16	3	B 229	ku	2,80E-05	-10,48330605
A0005	1.1	19	3	B 310	ku2	8,40E-05	-9,384693759
A0005	1.1	19	3	B 310	ku2	7,40E-05	-9,511445465
A0005	1.1	19	3	B 310	ku2	8,70E-05	-9,349602439

Az.	PFA	Blatt	EKP	Bohrung	Stratigraphie	K _f [m/s]	Ln(K _f)
A0005	1.1	19	3	B 310	ku2	9,00E-05	-9,315700888
A0005	1.1	19	3	B 310	ku2	9,70E-05	-9,240799579
A0005	1.1	29	4	BK 11/15	ku2	4,30E-04	-7,751725349
A0005	1.1	29	4	BK 11/15	ku2	6,80E-04	-7,29341776
A0005	1.1	29	4	BK 11/15	ku2	3,90E-04	-7,849363819
A0005	1.1	29	4	BK 11/15	ku2	3,70E-04	-7,902007552
A0005	1.1	29	4	BK 11/15	ku2	7,00E-04	-7,264430223
A0005	1.1	29	4	BK 11/15	ku2	4,80E-04	-7,641724454
A0005	1.1	29	4	BK 11/15	ku2	4,50E-04	-7,706262975
A0005	1.1	29	4	BK 11/15	ku2	8,70E-04	-7,047017346
A0005	1.1	29	4	BK 11/15	ku2	4,80E-04	-7,641724454
A0005	1.1	29	4	BK 11/15	ku2	2,20E-04	-8,421883012
A0005	1.1	29	4	BK 11/15	ku2	1,20E-04	-9,028018815
A0005	1.1	29	4	BK 11/15	ku2	1,70E-04	-8,679712121
A0005	1.1	29	4	BK 11/15	ku2	1,40E-04	-8,873868135
A0005	1.1	29	4	BK 11/15	ku2	2,70E-04	-8,217088599
A0005	1.1	29	4	BK 11/15	ku2	3,60E-04	-7,929406527
A0005	1.1	29	4	BK 11/15	ku2	3,90E-04	-7,849363819
A0005	1.1	30	4	BK 11/15	ku2	5,20E-04	-7,561681746
A0005	1.1	30	4	BK 11/15	ku2	3,60E-04	-7,929406527
A0005	1.1	30	4	BK 11/15	ku2	4,80E-04	-7,641724454
A0005	1.1	30	4	BK 11/15	ku2	1,00E-03	-6,907755279
A0005	1.1	30	4	BK 11/15	ku2	1,60E-04	-8,740336743
A0005	1.1	30	4	BK 11/15	ku2	5,10E-04	-7,581099832
A0005	1.1	36	4	BK 11/135	ku2GD	3,90E-07	-14,7571191
A0005	1.1	36	4	BK 11/135	ku2GD	1,40E-07	-15,78162341
A0005	1.1	37	4	B 213	ku2GD	4,00E-04	-7,824046011
A0005	1.1	37	4	B 213	ku2GD	5,00E-04	-7,60090246
A0005	1.1	37	4	B 213	ku2GD	1,30E-04	-8,947976108
A0005	1.1	37	4	B 225	ku2GD	2,10E-04	-8,468403027
A0005	1.1	37	4	B 225	ku2GD	1,80E-04	-8,622553707
A0005	1.1	37	4	B 225	ku2GD	7,90E-04	-7,143477613
A0011	1.1	53		B 213	ku2	3,00E-04	-8,111728083
A0011	1.1	53		B 214	ku2	1,90E-04	-8,568486486
A0011	1.1	53		B 224	ku2	1,10E-03	-6,812445099
A0011	1.1	53		B 224	ku2	3,80E-04	-7,875339305
A0011	1.1	53		B 224	ku2	4,00E-04	-7,824046011
A0011	1.1	53		B 225	ku2	3,10E-04	-8,07893826
A0011	1.1	53		BK 11/15	ku2	5,20E-04	-7,561681746
A0011	1.1	53		BK 11/15	ku2	4,60E-04	-7,684284068
A0011	1.1	53		BK 11/15	ku2	5,70E-04	-7,469874197
A0011	1.1	53		BK 11/15	ku2	3,00E-04	-8,111728083
A0011	1.1	53		BK 11/15	ku2	3,40E-04	-7,98656494
A0011	1.1	53		BK 11/135	ku2	2,40E-07	-15,24262691
A0011	1.1	53		BK 11/135	ku2	9,80E-05	-9,230543079
A0011	1.1	53		BK 11/135	ku2	1,50E-04	-8,804875264
A0011	1.1	53		BK 11/135	ku2	1,70E-04	-8,679712121

Az.	PFA	Blatt	EKP	Bohrung	Stratigraphie	K _f [m/s]	Ln(K _f)
A0011	1.1	51		B 211	ku2GD	3,40E-07	-14,89432022
A0011	1.1	53		BK 11/135	ku2GD	2,40E-07	-15,24262691
A0011	1.1	53		B 214	ku2GM/ku2LD	1,90E-04	-8,568486486
A0011	1.2	34	5	BK 5.2/2 GM	ku2GD	2,64E-04	-8,239561455
A0011	1.2	34	5	BK 5.2/2 GM	ku2GD	1,30E-04	-8,947976108
82705	1.5	27	4	BK 15.1/1	ku2GD	3,60E-05	-10,23199162
82705	1.5	27	4	BK 15.1/1	ku2GD	3,00E-05	-10,41431318
82705	1.5	27	4	BK 15.1/1	ku2GD	1,20E-05	-11,33060391
82705	1.5	27	4	BK 15.1/1	ku2GD	2,30E-05	-10,68001634
82705	1.5	27	4	BK 15.1/3	ku2GD	1,40E-11	-24,99196379
82705	1.5	27	4	BK 15.1/3	ku2GD	1,00E-11	-25,32843602
82705	1.5	28	4	BK 15.2/3	ku2GD	5,30E-06	-12,14780374
82705	1.5	28	4	BK 15.2/3	ku2GD	5,80E-06	-12,05765264
82705	1.5	28	4	BK 15.2/3	ku2GD	4,70E-06	-12,26794805
82705	1.5	28	4	BK 15.2/3	ku2GD	2,10E-06	-13,07357321
82705	1.5	28	4	BK 15.2/7	ku2GD	2,90E-05	-10,44821473
82705	1.5	28	4	BK 15.2/7	ku2GD	5,50E-05	-9,808177373
82705	1.5	28	4	BK 15.2/7	ku2GD	2,40E-05	-10,63745673
82705	1.5	28	4	BK 15.2/8	ku2GD	1,30E-03	-6,645391015
82705	1.5	28	4	BK 15.2/8	ku2GD	3,50E-03	-5,65499231
82705	1.5	28	4	BK 15.2/8	ku2GD	8,70E-04	-7,047017346
82705	1.5	28	4	BK 15.2/8	ku2GD	2,10E-03	-6,165817934
82705	1.5	28	4	BK 15.2/9	ku2GD	2,10E-03	-6,165817934
82705	1.5	28	4	BK 15.2/9	ku2GD	2,90E-03	-5,843044542
82705	1.5	28	4	BK 15.2/9	ku2GD	3,00E-03	-5,80914299
82705	1.5	28	4	BK 15.2/9	ku2GD	2,20E-03	-6,119297919
82705	1.5	29	4	BK 16/3	ku2GM	3,20E-09	-19,56011503
82705	1.5	29	4	BK 16/3	ku2GM	7,30E-09	-18,73539149
A0011	1.5	2	5	BK 5.5 / 12 GM	ku2GD	9,98E-07	-13,81751256
A0011	1.5	3	5	BK 5.5 / 27 GM	ku2LD	3,25E-05	-10,33427047
A0011	1.5	3	5	BK 5.5 / 27 GM	ku2AD	1,11E-05	-11,40856545
A0011	1.5	4	5	BK 5.5 / 27 GM	ku2LD	4,81E-05	-9,942228381
A0011	1.5	4	5	BK 5.5 / 28 GM	ku2GD	1,32E-04	-8,932708635
A0011	1.5	4	5	BK 5.5 / 30 T	ku2GD	3,76E-03	-5,583336322
A0011	1.5	4	5	BK 5.5 / 31 T	ku2GD	6,24E-07	-14,28711547
A0011	1.5	4	5	BK 5.5 / 31 T	ku2LD/ku2AD	4,46E-05	-10,0177767
A0011	1.5	4	5	BK 5.5 / 32 GM	ku2GD	1,92E-05	-10,86060028
A0011	1.5	6	5	BK 5.5 / 56	ku2GD	1,18E-04	-9,044825933
A0011	1.5	6	5	BK 5.5 / 57	ku2GD	6,23E-05	-9,683549132
A0011	1.5	7	5	BK 5.5 / 57	ku2GD	7,87E-05	-9,449867403
A0011	1.5	11	5	BK 5.5 / 117 GM	ku2GD	9,05E-05	-9,310160707
A0011	1.5	12	5	B 351	ku2	4,75E-04	-7,652195754
A0011	1.5	12	5	B 352	ku2	8,55E-05	-9,366994182
A0011	1.5	12	5	B 350	ku2	1,29E-04	-8,955698154
82705	1.6	27	4	BK 17.1/4	ku2	7,50E-06	-11,80060754
82705	1.6	27	4	BK 17.1/4	ku2	2,50E-06	-12,89921983
82705	1.6	27	4	BK 17.1/4	ku2	2,20E-05	-10,7244681

Az.	PFA	Blatt	EKP	Bohrung	Stratigraphie	K _f [m/s]	Ln(K _f)
Anzahl						145	
Mindestwert						1,00E-11	-25,32843602
Höchstwert						2,80E-02	-3,575550769
Arithmetisches Mittel						8,47E-04	-9,328454029
Standardabweichung (arithmetisch)						3,42E-03	3,089404965
Geometrisches Mittel						8,89E-05	
Stabw. log. unten						4,05E-06	
Stabw. log. oben						1,95E-03	
Harmonisches Mittel						8,43E-10	

Oberer Muschelkalk gesamt (mo1 + mo2)

Az.	PFA	Blatt	EKP	Bohrung	Stratigraphie	K _f [m/s]	Ln(K _f)
A0005	1.1	14	3	B 4a	mo2	2,10E-03	-6,165817934
A0005	1.1	14	3	B 4a	mo2	2,10E-03	-6,165817934
A0011	1.1	38	5	BK 11/16	mo	4,64E-03	-5,373040913
A0011	1.1	38	5	BK 11/16	mo	4,69E-03	-5,362322697
82705	1.6	27	4	BK 17.1/4	mo2	2,30E-04	-8,377431249
82705	1.6	27	4	BK 17.1/4	mo2	1,70E-04	-8,679712121
82705	1.6	27	4	BK 17.1/4	mo2	2,20E-04	-8,421883012
82705	1.6	29	4	BK 17.4/3	mo2D/K	3,40E-05	-10,28915003
82705	1.6	29	4	BK 17.4/3	mo2D/K	3,20E-05	-10,34977466
82705	1.6	29	4	BK 17.4/3	mo2D/K	3,40E-05	-10,28915003
82705	1.6	29	4	BK 17.4/3	mo2D/K	2,60E-04	-8,254828927
82705	1.6	29	4	BK 17.4/3	mo2D/K	3,60E-04	-7,929406527
82705	1.6	29	4	BK 17.4/3	mo2D/K	2,30E-04	-8,377431249
82705	1.6	29	4	BK 17.4/3	mo2D/K	7,30E-05	-9,525051117
82705	1.6	29	4	BK 17.4/3	mo2D/K	1,30E-04	-8,947976108
82705	1.6	29	4	BK 17.4/3	mo2D/K	1,50E-04	-8,804875264
82705	1.6	29	4	BK 17.4/3	mo2D/K	2,50E-04	-8,29404964
82705	1.6	29	4	BK 17.4/3	mo2D/K	3,00E-04	-8,111728083
82705	1.6	29	4	BK 17.4/3	mo2D/K	1,40E-04	-8,873868135
82705	1.6	29	4	BK 17.4/3	mo2D/K	7,20E-05	-9,538844439
82705	1.6	29	4	BK 17.4/3	mo2D/K	9,80E-05	-9,230543079
82705	1.6	29	4	BK 17.4/3	mo2D/K	8,30E-05	-9,39666995
82705	1.6	29	4	BK 17.4/3	mo2D/K	2,20E-04	-8,421883012
82705	1.6	29	4	BK 17.4/3	mo2D/K	1,80E-04	-8,622553707
82705	1.6	29	4	BK 17.4/3	mo2D/K	1,80E-04	-8,622553707
82705	1.6	30	4	BK 17.4/3	mo2D/K	7,50E-05	-9,498022444
82705	1.6	30	4	BK 17.4/3	mo2D/K	6,60E-05	-9,625855816
82705	1.6	30	4	BK 17.4/3	mo2D/K	7,50E-05	-9,498022444
82705	1.6	30	4	BK 17.4/3	mo2D/K	3,50E-04	-7,957577403
82705	1.6	30	4	BK 17.4/3	mo2D/K	3,30E-04	-8,016417904
82705	1.6	30	4	BK 17.4/3	mo2D/K	1,80E-04	-8,622553707
82705	1.6	30	4	BK 17.4/3	mo2D/K	1,10E-04	-9,115030192
82705	1.6	30	4	BK 17.4/3	mo2D/K	1,10E-04	-9,115030192
82705	1.6	30	4	BK 17.4/3	mo2D/K	4,00E-04	-7,824046011
82705	1.6	30	4	BK 17.4/3	mo2D/K	3,80E-04	-7,875339305

Az.	PFA	Blatt	EKP	Bohrung	Stratigraphie	K _f [m/s]	Ln(K _f)
82705	1.6	30	4	BK 17.4/3	mo2D/K	1,80E-04	-8,622553707
82705	1.6	30	4	BK 17.4/3	mo2D/K	1,00E-04	-9,210340372
82705	1.6	30	4	BK 17.4/3	mo2D/K	8,60E-05	-9,361163262
82705	1.6	30	4	BK 17.4/3	mo2D/K	3,20E-04	-8,047189562
82705	1.6	30	4	BK 17.4/3	mo2D/K	3,10E-04	-8,07893826
82705	1.6	30	4	BK 17.4/3	mo2D/K	2,10E-04	-8,468403027
Anzahl						41	
Mindestwert						3,20E-05	-10,34977466
Höchstwert						4,69E-03	-5,362322697
Arithmetisches Mittel						4,94E-04	-8,521045052
Standardabweichung (arithmetisch)						1,05E-03	1,13974483
Geometrisches Mittel						1,99E-04	
Stabw. log. unten						6,37E-05	
Stabw. log. oben						6,23E-04	
Harmonisches Mittel						1,26E-04	

Oberer Muschelkalk, tiefer Abschnitt (mo2)

Az.	PFA	Blatt	EKP	Bohrung	Stratigraphie	K _f [m/s]	Ln(K _f)
A0005	1.1	14	3	B 4a	mo2	2,10E-03	-6,165817934
A0005	1.1	14	3	B 4a	mo2	2,10E-03	-6,165817934
82705	1.6	27	4	BK 17.1/4	mo2	2,30E-04	-8,377431249
82705	1.6	27	4	BK 17.1/4	mo2	1,70E-04	-8,679712121
82705	1.6	27	4	BK 17.1/4	mo2	2,20E-04	-8,421883012
82705	1.6	29	4	BK 17.4/3	mo2D/K	3,40E-05	-10,28915003
82705	1.6	29	4	BK 17.4/3	mo2D/K	3,20E-05	-10,34977466
82705	1.6	29	4	BK 17.4/3	mo2D/K	3,40E-05	-10,28915003
82705	1.6	29	4	BK 17.4/3	mo2D/K	2,60E-04	-8,254828927
82705	1.6	29	4	BK 17.4/3	mo2D/K	3,60E-04	-7,929406527
82705	1.6	29	4	BK 17.4/3	mo2D/K	2,30E-04	-8,377431249
82705	1.6	29	4	BK 17.4/3	mo2D/K	7,30E-05	-9,525051117
82705	1.6	29	4	BK 17.4/3	mo2D/K	1,30E-04	-8,947976108
82705	1.6	29	4	BK 17.4/3	mo2D/K	1,50E-04	-8,804875264
82705	1.6	29	4	BK 17.4/3	mo2D/K	2,50E-04	-8,29404964
82705	1.6	29	4	BK 17.4/3	mo2D/K	3,00E-04	-8,111728083
82705	1.6	29	4	BK 17.4/3	mo2D/K	1,40E-04	-8,873868135
82705	1.6	29	4	BK 17.4/3	mo2D/K	7,20E-05	-9,538844439
82705	1.6	29	4	BK 17.4/3	mo2D/K	9,80E-05	-9,230543079
82705	1.6	29	4	BK 17.4/3	mo2D/K	8,30E-05	-9,39666995
82705	1.6	29	4	BK 17.4/3	mo2D/K	2,20E-04	-8,421883012
82705	1.6	29	4	BK 17.4/3	mo2D/K	1,80E-04	-8,622553707
82705	1.6	29	4	BK 17.4/3	mo2D/K	1,80E-04	-8,622553707
82705	1.6	30	4	BK 17.4/3	mo2D/K	7,50E-05	-9,498022444
82705	1.6	30	4	BK 17.4/3	mo2D/K	6,60E-05	-9,625855816
82705	1.6	30	4	BK 17.4/3	mo2D/K	7,50E-05	-9,498022444
82705	1.6	30	4	BK 17.4/3	mo2D/K	3,50E-04	-7,957577403
82705	1.6	30	4	BK 17.4/3	mo2D/K	3,30E-04	-8,016417904
82705	1.6	30	4	BK 17.4/3	mo2D/K	1,80E-04	-8,622553707

Az.	PFA	Blatt	EKP	Bohrung	Stratigraphie	K_f [m/s]	$\ln(K_f)$
82705	1.6	30	4	BK 17.4/3	mo2D/K	1,10E-04	-9,115030192
82705	1.6	30	4	BK 17.4/3	mo2D/K	1,10E-04	-9,115030192
82705	1.6	30	4	BK 17.4/3	mo2D/K	4,00E-04	-7,824046011
82705	1.6	30	4	BK 17.4/3	mo2D/K	3,80E-04	-7,875339305
82705	1.6	30	4	BK 17.4/3	mo2D/K	1,80E-04	-8,622553707
82705	1.6	30	4	BK 17.4/3	mo2D/K	1,00E-04	-9,210340372
82705	1.6	30	4	BK 17.4/3	mo2D/K	8,60E-05	-9,361163262
82705	1.6	30	4	BK 17.4/3	mo2D/K	3,20E-04	-8,047189562
82705	1.6	30	4	BK 17.4/3	mo2D/K	3,10E-04	-8,07893826
82705	1.6	30	4	BK 17.4/3	mo2D/K	2,10E-04	-8,468403027
Anzahl						39	
Mindestwert						3,20E-05	-10,34977466
Höchstwert						2,10E-03	-6,165817934
Arithmetisches Mittel						2,80E-04	-8,682755988
Standardabweichung (arithmetisch)						4,41E-04	0,903988349
Geometrisches Mittel						1,69E-04	
Stabw. log. unten						6,86E-05	
Stabw. log. oben						4,19E-04	
Harmonisches Mittel						1,20E-04	

Stationäres Modell kup Vergleich zwischen berechneten und gemessenen Grundwasserständen

Quartär (Stichtag Mai 1994)							
Bezeichnung	Messung [m NN]	Rechnung [m NN]	Differenz (Rechnung - Messung) [m]	Differenz (Rechnung - Messung) abs. [m]	zul. Abw. [m] (Kobus 2010)	zul. Abw. [m] (Kobus 2009)	
B 309	214,00	214,16	0,16	0,16	0,20	0,10	
B 11	235,20	235,20	0,00	0,00	0,20	0,10	
B 20	236,00	236,25	0,25	0,25	0,20	0,10	
B 13	235,60	235,68	0,08	0,08	0,20	0,10	
B 235	218,78	218,81	0,03	0,03	0,20	0,10	
B 403	219,49	219,46	-0,03	0,03	0,20	0,10	
B 404	219,00	219,23	0,23	0,23	0,20	0,10	
B 222	235,90	235,86	-0,04	0,04	0,20	0,10	
BK 16/1	235,74	235,72	-0,02	0,02	0,20	0,10	
B 405	220,61	220,60	-0,01	0,01	0,20	0,10	
BK 18.1/4 GM	218,40	218,74	0,34	0,34	0,20	0,10	
		Anzahl	11	11	11	11	
		Min.	-0,04	0,00			
		Mittelwert	0,09	0,11			
		Max.	0,34	0,34			
		Standardabw.	0,13	0,12			
		Anz. d. Überschreitungen			2	4	
					18%	36%	
fett	Überschreitung der zulässigen Abweichung						

km1MGH/BB (Stichtag Mai 1994) Mittlerer Gipshorizont/Bleiglanzbankschichten							
Bezeichnung	Messung [m NN]	Rechnung [m NN]	Differenz (Rechnung - Messung) [m]	Differenz (Rechnung - Messung) abs. [m]	zul. Abw. [m] (Kobus 2010)	zul. Abw. [m] (Kobus 2009)	
B 255	274,00	277,70	3,70	3,70	2,00	1,00	
BK 15.1/7 GM	271,00	275,79	4,79	4,79	2,00	1,00	
BK 15.1/5 GM	267,00	270,02	3,02	3,02	2,00	1,00	
B 251/1	266,50	264,77	-1,73	1,73	2,00	1,00	
		Anzahl	4	4			
		Min.	-1,73	1,73			
		Mittelwert	2,44	3,31			
		Max.	4,79	4,79			
		Standardabw.	2,88	1,28			
		Anz. d. Überschreitungen			3	4	
					75%	100%	
fett	Überschreitung der zulässigen Abweichung						

km1DRM (Stichtag Mai 1994) Dunkelrote Mergel							
Bezeichnung	Messung [m NN]	Rechnung [m NN]	Differenz (Rechnung - Messung) [m]	Differenz (Rechnung - Messung) abs. [m]	zul. Abw. [m] (Kobus 2010)	zul. Abw. [m] (Kobus 2009)	
BK 11/3 GM	234,97	234,74	-0,23	0,23	0,20	0,10	
BK 11/6 GM	238,75	237,85	-0,90	0,90	2,00	1,00	
BK 15.2/10 GM	244,60	243,84	-0,76	0,76	1,00	0,50	
BK 16/7 GM	246,28	246,27	-0,01	0,01	1,00	0,50	
Notbr.2	235,20	235,37	0,17	0,17	0,20	0,10	
		Anzahl	5	5			
		Min.	-0,90	0,01			
		Mittelwert	-0,35	0,41			
		Max.	0,17	0,90			
		Standardabw.	0,47	0,39			
		Anz. d. Überschreitungen			1	3	
					20%	60%	
fett	Überschreitung der zulässigen Abweichung						

km1BH (Stichtag Mai 1994) Bochinger Horizont							
Bezeichnung	Messung [m NN]	Rechnung [m NN]	Differenz (Rechnung - Messung) [m]	Differenz (Rechnung - Messung) abs. [m]	zul. Abw. [m] (Kobus 2010)	zul. Abw. [m] (Kobus 2009)	
B 252	252,00	253,32	1,32	1,32	2,00	1,00	
B 305/2	252,50	252,71	0,21	0,21	1,00	0,50	
B 307	224,37	223,02	-1,35	1,35	1,00	0,50	
B 306	237,00	237,12	0,12	0,12	1,00	0,50	
B 304	247,10	248,19	1,09	1,09	2,00	1,00	
B 210	238,20	237,96	-0,24	0,24	2,00	1,00	
BK 11/1	236,11	236,76	0,65	0,65	0,20	0,10	
B 211	235,46	235,45	-0,01	0,01	0,20	0,10	
B 9	235,60	235,59	-0,01	0,01	0,20	0,10	
B 212	235,85	235,83	-0,02	0,02	0,20	0,10	
B 227	233,80	234,83	1,03	1,03	-	1,00	
B 4	228,80	233,13	4,33	4,33	-	1,00	
B 241	220,80	220,91	0,11	0,11	0,20	-	
B 242	220,00	220,68	0,68	0,68	0,20	0,10	
B 303	243,00	246,07	3,07	3,07	2,00	1,00	
B 254	259,00	266,58	7,58	7,58	2,00	1,00	
		Anzahl	16	16	14	15	
		Min.	-1,35	0,01			
		Mittelwert	1,16	1,36			
		Max.	7,58	7,58			
		Standardabw.	2,17	2,04			
		Anz. d. Überschreitungen			4	8	
					25%	50%	
fett	Überschreitung der zulässigen Abweichung						

km1GG (Stichtag Mai 1994) Grundgipsschichten							
Bezeichnung	Messung [m NN]	Rechnung [m NN]	Differenz (Rechnung - Messung) [m]	Differenz (Rechnung - Messung) abs. [m]	zul. Abw. [m] (Kobus 2010)	zul. Abw. [m] (Kobus 2009)	
BK 16.3	237,40	237,66	0,26	0,26	0,20	0,10	
BK 11/14	235,00	236,13	1,13	1,13	0,20	0,10	
BK 11/99	235,00	234,92	-0,08	0,08	0,20	0,10	
BK 15.2/7	230,00	231,12	1,12	1,12	1,00	1,00	
		Anzahl	4	4	4	4	
		Min.	-0,08	0,08			
		Mittelwert	0,61	0,65			
		Max.	1,13	1,13			
		Standardabw.	0,61	0,56			
		Anz. d. Überschreitungen			3	3	
					75%	75%	
fett	Überschreitung der zulässigen Abweichung						

ku2GD (Stichtag Mai 1994) Grenzdolomit							
Bezeichnung	Messung [m NN]	Rechnung [m NN]	Differenz (Rechnung - Messung) [m]	Differenz (Rechnung - Messung) abs. [m]	zul. Abw. [m] (Kobus 2010)	zul. Abw. [m] (Kobus 2009)	
B 213	235,10	234,86	-0,24	0,24	0,20	0,10	
B 225	235,06	234,87	-0,19	0,19	0,20	0,10	
B 221	229,80	233,04	3,24	3,24	-	1,00	
B 220	238,00	235,82	-2,18	2,18	-	1,00	
		Anzahl	4	4			
		Min.	-2,18	0,19			
		Mittelwert	0,16	1,46			
		Max.	3,24	3,24			
		Standardabw.	2,25	1,50			
		Anz. d. Überschreitungen			1	4	
					25%	100%	
fett	Überschreitung der zulässigen Abweichung						

Mittlerer Lettenkeuper (Stichtag Mai 1994)							
Bezeichnung	Messung [m NN]	Rechnung [m NN]	Differenz (Rechnung - Messung) [m]	Differenz (Rechnung - Messung) abs. [m]	zul. Abw. [m] (Kobus 2010)	zul. Abw. [m] (Kobus 2009)	
Sarweybr.	239,51	239,15	-0,36	0,36	2,00	1,00	
B 352	214,15	214,03	-0,12	0,12	0,20	0,10	
B 350	214,10	213,97	-0,13	0,13	0,20	0,10	
B 351/1	213,90	213,87	-0,03	0,03	0,20	0,10	
B 310	236,60	236,59	-0,01	0,01	2,00	1,00	
NWB9	237,00	236,75	-0,25	0,25	2,00	1,00	
GWM176	232,10	232,43	0,33	0,33	0,20	0,10	
B 301	238,40	237,93	-0,47	0,47	2,00	1,00	
P 173	234,60	234,97	0,37	0,37	0,20	0,10	
B 224	234,50	234,96	0,46	0,46	0,20	0,10	
GWM171	237,10	237,24	0,14	0,14	0,20	0,10	
NWB3	237,05	237,17	0,12	0,12	0,20	0,10	
BK 11/15 GM	234,60	235,11	0,51	0,51	0,20	0,10	
B 214	234,90	235,00	0,10	0,10	0,20	0,10	
BK 11/135	235,80	235,47	-0,33	0,33	0,20	0,10	
		Anzahl	15	15			
		Min.	-0,47	0,01			
		Mittelwert	0,02	0,25			
		Max.	0,51	0,51			
		Standardabw.	0,31	0,17			
		Anz. d. Überschreitungen			5	9	
					33%	60%	
fett	Überschreitung der zulässigen Abweichung						

Oberer Muschelkalk (Stichtag Mai 1994)							
Bezeichnung	Messung [m NN]	Rechnung [m NN]	Differenz (Rechnung - Messung) [m]	Differenz (Rechnung - Messung) abs. [m]	zul. Abw. [m] (Kobus 2010)	zul. Abw. [m] (Kobus 2009)	
B 343	231,40	231,32	-0,08	0,08	0,50	0,50	
TWSNWB 63	235,50	237,45	1,95	1,95	-	-	
P 177	232,30	232,44	0,14	0,14	0,20	0,10	
P 174	234,60	234,87	0,27	0,27	0,20	0,10	
GMW172	237,00	237,00	0,00	0,00	0,20	0,10	
Leonhardsbr.	237,80	237,69	-0,11	0,11	0,20	0,10	
TWSNWB 41	238,30	238,22	-0,08	0,08	0,20	0,10	
Br.Stat.LA	238,60	238,79	0,19	0,19	0,20	0,10	
BK 17.1/4 GM	231,74	231,38	-0,36	0,36	0,50	0,50	
Afu5007 (B4a PM)	234,50	234,67	0,17	0,17	0,20	0,10	
Afu5007 (GWM 8108)	224,80	225,30	0,50	0,50	0,50	0,50	
Afu5007 (GWM 840)	224,50	224,67	0,17	0,17	0,50	0,50	
BK 17.4/3 GM	231,40	231,57	0,17	0,17	0,50	0,50	
BK 11/16 GM	234,60	235,02	0,42	0,42	0,20	0,10	
		Anzahl	14	14			
		Min.	-0,36	0,00			
		Mittelwert	0,24	0,33			
		Max.	1,95	1,95			
		Standardabw.	0,54	0,49			
		Anz. d. Überschreitungen			2	6	
					14%	43%	
fett	Überschreitung der zulässigen Abweichung						

Grundwassermodell kup
Ergebnisse der instationären Modelleichung

Abweichungen an Grundwasserstandsganglinien

Grundwasser-Messstelle	Stratigr. Einheit	Abweichungen	Verlauf	Bemerkung
B 403	Quartär	vereinzelt	stark gedämpft	
B 404	Quartär		gedämpft	ca. 1 m höher
B 405	Quartär	vereinzelt	gedämpft	
BK 18.1 /4	Quartär	stark	gedämpft	ca. 0,5 m höher
B 235	Quartär		stark gedämpft	
B 309	Quartär		sehr stark gedämpft	
BK 16/1	Quartär	tw. > 2 m	gedämpft	unerklärlicher Anstieg ab 2009, ähnlich Ende 1998
B 11	Quartär	vereinzelt	gedämpft	2003-2008 ca. 0,3 m zu hoch
B 13	Quartär	vereinzelt	gedämpft	Validierung besser
B 222	Quartär	vereinzelt	gedämpft	Validierung besser
B 20	Quartär	vereinzelt	gedämpft	
BK 16/7	Dunkelrote Mergel	tw. stark	etwas gedämpft	ab 2003 recht gute Übereinstimmung
BK 15_2/10	Dunkelrote Mergel	teilweise	etwas gedämpft	
BK 11 /3	Dunkelrote Mergel	vereinzelt	etwas gedämpft	Spitzen nicht nachgebildet
B 242	Bochinger Horizont	zeitweise stark	stark gedämpft	Abweichungen wegen sehr starker Dämpfung
B 307	Bochinger Horizont	fast durchgehend	Modell produziert nicht vorhandene Schwankungen	generell 1-2 m zu tief
B 241	Bochinger Horizont	zeitweise stark	stark gedämpft	
B 212	Bochinger Horizont	vereinzelt	gedämpft	
B 9	Bochinger Horizont	vereinzelt	gedämpft	
B 211	Bochinger Horizont	vereinzelt	gedämpft	
B 305/2	Bochinger Horizont	zeitweise stark	etwas gedämpft	
B 306	Bochinger Horizont	zeitweise	etwas gedämpft	
BK 11/1	Bochinger Horizont	fast durchgehend	gedämpft	

Grundwasser-Messstelle	Stratigr. Einheit	Abweichungen	Verlauf	Bemerkung
Notbr. 2	Grundgips	zeitweise	etwas gedämpft	
BK 11/14	Grundgips	zeitweise	etwas gedämpft	
BK 11/99	Grundgips	zeitweise	gedämpft	
BK 16/3	Grundgips	zeitweise stark, insb. 1998-1999 u. 2002-2004	stark abweichend, berechnete Schwankungen deutlich stärker als gemessene	berechnete Spitze Anfang 2003 real nicht existent
BK 15.2/7	Grundgips	2002-2003 starke Abweichungen bis 5 m	stark abweichend, berechnete Schwankungen deutlich stärker als gemessene	
B 213	Grenzdolomit	vereinzelt	gedämpft	
B 225	Grenzdolomit	zeitweise	gedämpft	
B 350	mittl. Lettenkeuper	vereinzelt	extrem gedämpft	berechnete Ganglinie +/- gerade Linie
B 351	mittl. Lettenkeuper	vereinzelt	extrem gedämpft	berechnete Ganglinie +/- gerade Linie
B 352	mittl. Lettenkeuper	vereinzelt	extrem gedämpft	berechnete Ganglinie +/- gerade Linie
Notbr. 3	mittl. Lettenkeuper	zeitweise, insb. 2003, 2004 und 2008	gedämpft	
P171	mittl. Lettenkeuper	zeitweise, insb. 2003, 2004 und 2008	gedämpft	
BK 11/15	mittl. Lettenkeuper	zeitweise, insb. 2002-2005	gedämpft	
P176	mittl. Lettenkeuper	zeitweise, insb. 2002-2005	gedämpft	
B 214	mittl. Lettenkeuper	zeitweise	deutlich gedämpft	
P173	mittl. Lettenkeuper	zeitweise, insb. 2002-2005	deutlich gedämpft	
Sarweybrunnen	mittl. Lettenkeuper	zeitweise	berechnete Schwankungen deutlich stärker als gemessene	berechnete Spitze Anfang 2003 real nicht existent
B 224	mittl. Lettenkeuper	zeitweise, insb. 2003-2004	deutlich gedämpft	
BK 11 /135	mittl. Lettenkeuper	fast durchgehend 0,5 m über oberer Abweichungsgrenze	gedämpft	Validierung etwas besser
B 310	mittl. Lettenkeuper		berechneter Ganglinienverlauf tw. gegenläufig zu gemessenem	
Notbr. 9	mittl. Lettenkeuper		berechneter Ganglinienverlauf tw. gegenläufig zu gemessenem	Validierung etwas besser

Grundwasser-Messstelle	Stratigr. Einheit	Abweichungen	Verlauf	Bemerkung
B 301	mittl. Lettenkeuper		berechneter Ganglinienverlauf tw. gegenläufig zu gemessenem	Validierung besser
P177	Oberer Muschelkalk	zeitweise, insb. 2002-2003	gedämpft	
P172	Oberer Muschelkalk	zeitweise, insb. 1995-2000 und 2008	gedämpft	
P174	Oberer Muschelkalk	zeitweise, insb. 2002-2004	gedämpft	
Statistisches Landesamt	Oberer Muschelkalk	zeitweise, insb. 2003 und 2008	gedämpft	
B4a PM	Oberer Muschelkalk	vereinzelt	gedämpft	
Leonhardsbr.	Oberer Muschelkalk	zeitweise, insb. 1995-1999 und 2006-2008	gedämpft	
GWM 343	Oberer Muschelkalk	vereinzelt	deutlich gedämpft	
Notbr. 41	Oberer Muschelkalk	vereinzelt	deutlich gedämpft	
GWM 11/16	Oberer Muschelkalk	zeitweise, insb. 2003-2007	gedämpft	
GWM 8108	Oberer Muschelkalk	fast durchgehend zu hoch	etwas gedämpft	
BK 17.1/4 PM	Oberer Muschelkalk	vereinzelt	etwas gedämpft	
BK 17.4/3 PM	Oberer Muschelkalk		etwas gedämpft	
GWM 840	Oberer Muschelkalk		gedämpft	

Grundwassermodell kup

Ergebnisse der Modell-„Validierung“ für instationäre Verhältnisse auf Tagesbasis (2007- 2008)

Abweichungen an Grundwasserstandsganglinien

Grundwasser-Messstelle	Stratigraphische Einheit	Max. Abweichung [m] (abgegriffen)	zul. Abweichung [m]	Ganglinienverlauf	Bemerkung
B 403	Quartär	0,25	0,2	stark gedämpft	
B 404	Quartär	0,4	0,2		
B 405	Quartär	0,25	0,2	etwas gedämpft	
BK 18.1 /4	Quartär	0,9	0,2	leicht überhöht	
B 235	Quartär	–	0,2		keine Messdaten
B 309	Quartär	0,15	0,2	gedämpft	
BK 16/1	Quartär	0,9	0,2	stark gedämpft	
B 11	Quartär	1,15	0,2	gedämpft	
B 13	Quartär	1,2	0,2	gedämpft	
B 222	Quartär	0,8	0,2	stark gedämpft	
B 20	Quartär	1,6	0,2	stark gedämpft	
BK 16/7	Dunkelrote Mergel	0,8	1	überhöht	
BK 15_ 2/10	Dunkelrote Mergel	4	1	stark gedämpft	
BK 11 /3	Dunkelrote Mergel	1,5	0,2	tw. gedämpft, tw. überhöht	
B 242	Bochinger Horizont	0,3	0,2	stark gedämpft	größtenteils über Abweichungsgrenze
B 307	Bochinger Horizont	2	1	überhöht	durchgehend unter Abweichungsgrenze
B 241	Bochinger Horizont	0,25	0,2	stark gedämpft	größtenteils über Abweichungsgrenze
B 212	Bochinger Horizont	0,4	0,2	tw. gedämpft, tw. überhöht	
B 9	Bochinger Horizont	1,2	0,2	tw. gedämpft, tw. überhöht	
B 211	Bochinger Horizont	0,5	0,2	tw. gedämpft, tw. überhöht	
B 305/2	Bochinger Horizont	1	1	tw. gedämpft, tw. überhöht	
B 306	Bochinger Horizont	0,8	1	gedämpft	
BK 11/1	Bochinger Horizont	1,1	0,2	gedämpft	durchgehend über Abweichungsgrenze
Notbr. 2	Grundgips	0,6	0,2	gedämpft	
BK 11/14	Grundgips	0,4	0,2	gedämpft	
BK 11/99	Grundgips	0,2	0,2	stark gedämpft	

Grundwasser-Messstelle	Stratigraphische Einheit	Max. Abweichung [m] (abgegriffen)	zul. Abweichung [m]	Ganglinienverlauf	Bemerkung
BK 16/3	Grundgips	0,4	0,2	stark gedämpft	
BK 15.2/7	Grundgips	1,1	1		
B 213	Grenzdolomit	0,3	0,2	stark gedämpft	
B 225	Grenzdolomit	0,4	0,2	stark gedämpft	
B 350	mittl. Lettenkeuper	0,6	0,2	gedämpft	
B 351	mittl. Lettenkeuper	0,3	0,2	gedämpft	
B 352	mittl. Lettenkeuper	0,7	0,2	stark gedämpft	
Notbr. 3	mittl. Lettenkeuper	0,5	0,2	stark gedämpft	
P171	mittl. Lettenkeuper	0,5	0,2	stark gedämpft	
BK 11/15	mittl. Lettenkeuper	0,6	0,2	stark gedämpft	2007 fast durchgehend über Abweichungsgrenze
P176	mittl. Lettenkeuper	0,3	0,2	stark gedämpft	
B 214	mittl. Lettenkeuper	0,3	0,2	stark gedämpft	
P173	mittl. Lettenkeuper	0,5	0,2	stark gedämpft	
Sarweybrunnen	mittl. Lettenkeuper	4,8	2	stark überhöht	
B 224	mittl. Lettenkeuper	0,5	0,2	gedämpft	
BK 11 /135	mittl. Lettenkeuper	0,8	0,2	gedämpft	durchgehend über Abweichungsgrenze
B 310	mittl. Lettenkeuper	2,2	2	überhöht	
Notbr. 9	mittl. Lettenkeuper	1,6	2	überhöht	
B 301	mittl. Lettenkeuper	1,4	2	stark überhöht	
P177	Ob. Muschelkalk	0,2	0,2	gedämpft	
P172	Ob. Muschelkalk	0,55	0,2	gedämpft	größtenteils unterhalb Abweichungsgrenze
P174	Ob. Muschelkalk	0,3	0,2	stark gedämpft	
Statistisches Landesamt	Ob. Muschelkalk	0,7	0,2	stark gedämpft	
B4a PM	Ob. Muschelkalk	0,3	0,2	gedämpft	

Grundwasser-Messstelle	Stratigraphische Einheit	Max. Abweichung [m] (abgegriffen)	zul. Abweichung [m]	Ganglinienverlauf	Bemerkung
Leonhardsbrunnen	Ob. Muschelkalk	0,5	0,2	gedämpft	größtenteils unterhalb Abweichungsgrenze
GWM 343	Ob. Muschelkalk	1,2	0,5	stark gedämpft	
Notbrunnen 41	Ob. Muschelkalk	0,8	0,2	stark gedämpft	größtenteils unterhalb Abweichungsgrenze
GWM 11/16	Ob. Muschelkalk	1	0,2	stark gedämpft	
GWM 8108	Ob. Muschelkalk	0,8	0,5	gedämpft	durchgehend über Abweichungsgrenze
BK 17.1/4 PM	Ob. Muschelkalk	0,9	0,5	gedämpft	größtenteils unterhalb Abweichungsgrenze
BK 17.4/3 PM	Ob. Muschelkalk	0,3	0,5	gedämpft	
GWM 840	Ob. Muschelkalk	0,3	0,5	gedämpft	

Fett: Überschreitung der zulässigen Abweichung

Vergleich zwischen berechneten und gemessenen Grundwasserständen im km1MGH/BB (Stichtag Mai 1994)								Mittlerer Giphshprizont, Bleiglanzbanksch.		
ID	Bezeichnung	Hochwert	Rechtswert	Messung [m NN]	Rechnung [m NN]	Diff. (Rechnung - Messung) [m]	Diff. (Rechnung - Messung) abs. [m]	zul. Abw. [m] (ARGE WUG 2010)	zul. Abw. [m] (Kobus 2010)	zul. Abw. [m] (Kobus 2009)
55	GW 4 (Alte)	3512918	5408710	267,16	266,84	-0,32	0,32			
56	B 91 (Bosch)	3512099	5408653	266,30	266,63	0,33	0,33			
57	B 7 (Wold)	3512250	5408570	268,05	266,20	-1,85	1,85			
58	B 37 (Bosch)	3511948	5408568	269,43	268,90	-0,53	0,53			
59	P 905 (Fa.)	3512197	5408558	268,43	266,77	-1,66	1,66			
60	B 39 (Bosch)	3511885	5408523	271,40	270,02	-1,38	1,38			
61	B 10 (Wold)	3512216	5408514	268,02	266,97	-1,05	1,05			
62	B 933 (Wiener)	3512432	5408450	267,95	266,09	-1,86	1,86			
63	B 9114 (BGU)	3512507	5408423	267,72	266,47	-1,25	1,25			
64	P 9046 (Stuttg.10)	3512492	5408371	268,15	266,95	-1,20	1,20			
65	P 9050 (Stuttg.10)	3512474	5408304	268,57	267,60	-0,97	0,97			
66	B 1 (Pragsto.)	3514250	5408160	271,76	270,09	-1,67	1,67			
67	B 255	3512837	5408157	273,75	270,95	-2,80	2,80		2,00	2,00
68	P 6	3516448	5407630	213,42	214,48	1,06	1,06			
69	Nt 71	3516456	5405876	217,85	218,01	0,16	0,16			
70	Nt 72	3516918	5405826	217,99	218,19	0,20	0,20			
71	G 2	3513460	5405585	238,27	237,08	-1,19	1,19			
72	GWM 2 (Kraftwerk)	3516975	5405117	218,96	218,64	-0,32	0,32			
73	B 232	3516041	5404798	234,94	235,47	0,53	0,53			
74	GWM 17.4.1122	3517886	5404525	219,22	219,44	0,22	0,22			
75	B 401	3516963	5404392	228,70	230,15	1,45	1,45			
76	172.19	3518566	5404173	220,46	221,12	0,66	0,66			
77	P 22	3518314	5403375	220,69	221,69	1,00	1,00			
78	P 24	3518193	5403366	221,63	221,60	-0,03	0,03			
79	P 19 (Kodak)	3518369	5403288	220,91	221,86	0,95	0,95			
80	GWM 31 (Zellerstr.)	3512573	5402829	266,86	266,26	-0,60	0,60			
81	17.2.26	3519294	5403712	222,08	222,41	0,33	0,33			
82	242	3512419	5409786	266,49	265,53	-0,96	0,96			
83	B 11 (Bosch)	3511882	5409487	271,00	269,54	-1,46	1,46			
84	B 12	3514224	5406499	249,99	248,23	-1,76	1,76			
85	GWM 5B	3517284	5404590	219,60	219,66	0,06	0,06			
86	GWM 169 (Mathae.)	3511926	5402746	263,74	265,60	1,86	1,86			
87	B 6 (Domhaldens.)	3511995	5402536	268,81	266,91	-1,90	1,90			
88	BK 15.1/7 GM	3512585	5408267	269,96	268,40	-1,56	1,56		2,00	1,00
89	BK 15.1/5 GM	3512613,05	5408412,72	266,69	266,88	0,19	0,19		2,00	1,00
90	B 251/1	3513013	5406611	266,50	264,77	-1,73	1,73		2,00	1,00
	Anzahl					22	22			
	Min.					-2,80	0,16			
	Mittelwert					-0,61	1,03			
	Max.					1,45	2,80			
	Standardabw.					1,09	0,69			
	Anzahl					0	0	0	4	4
	Anz. d. Überschreitungen							0	1	3
								0%	25%	75%
	den in KOBUS (2009, S. 29) genannten Räumen nicht eindeutig zuzuordnen									
	Eichmessstellen nach KOBUS (2010, S. 35ff)									
	fett Überschreitung der zulässigen Abweichung									

Vergleich zwischen berechneten und gemessenen Grundwasserständen im km1DRM (Stichtag Mai 1994)								Dunkelrote Mergel		
ID	Bezeichnung	Hochwert	Rechtswert	Messung [m NN]	Rechnung [m NN]	Diff. (Rechnung - Messung) [m]	Diff. (Rechnung - Messung) abs. [m]	zul. Abw. [m] (ARGE WUG 2010)	zul. Abw. [m] (Kobus 2010)	zul. Abw. [m] (Kobus 2009)
91	GWM (Auf der Steig)	3514835	5408598	254,60	253,61	-0,99	0,99			
92	B 903 (Stadtbahn)	3512340	5408560	267,15	265,59	-1,56	1,56			
93	B 9007	3511858	5408524	271,10	270,40	-0,70	0,70			
94	B 77 (Bosch)	3511973	5408488	268,32	269,11	0,79	0,79			
95	B 2 (Fa.Asperg)	3511777	5408485	273,18	271,87	-1,31	1,31			
96	B 68 (Bosch)	3511951	5408459	269,10	269,51	0,41	0,41			
97	B 62 (Bosch)	3511926	5408458	269,86	269,76	-0,10	0,10			
98	B 929 (Fa.Schoch)	3512350	5408448	265,94	266,42	0,48	0,48			
99	902 (9.Streck.)	3512515	5408425	268,17	266,47	-1,70	1,70			
100	P 9120 (Kremsler)	3512462	5408365	268,24	266,98	-1,26	1,26			
101	P 9049 (Stgter.)	3512523	5408363	267,88	267,09	-0,79	0,79			
102	P 945 (Stgter.)	3512555	5408337	267,79	267,48	-0,31	0,31			
103	P 9019	3511185	5408195	282,34	283,99	1,65	1,65			
104	GWM (Zuerucher)	3515291	5408007	221,28	220,05	-1,23	1,23			
105	B 33	3514244	5407398	254,20	255,48	1,28	1,28			
106	B 5 (2)	3514069	5407373	257,06	258,47	1,41	1,41			
107	B 4	3514216	5407322	254,15	253,57	-0,58	0,58			
108	B 6	3514177	5407320	254,65	254,55	-0,10	0,10			
109	GWM 8130	3514803	5407312	233,60	232,06	-1,54	1,54			
110	B 2	3514393	5407296	248,41	248,00	-0,41	0,41			
111	B 1A	3514402	5407202	246,12	246,99	0,87	0,87			
112	GWM 11 (Trafo)	3516292	5407172	215,80	215,84	0,04	0,04			
113	BK 15.2/6	3514702	5407125	230,41	231,24	0,83	0,83			
114	GWM 33 (Trafo)	3516458	5407075	217,99	216,56	-1,43	1,43			
115	B 8	3514568	5406830	239,48	240,14	0,66	0,66			
116	P 47	3514975	5406742	228,14	228,28	0,14	0,14			
117	T 11	3514277	5406718	247,45	248,31	0,86	0,86			
118	B 2 (II)	3514178	5406208	238,32	239,49	1,17	1,17			
119	GWM 247	3513566	5406129	245,07	244,14	-0,93	0,93			
120	P 37	3513605	5406126	244,48	244,21	-0,27	0,27			
121	GWM 189	3513810	5405932	236,05	237,37	1,32	1,32			
122	B 10.1 (Kraftwerk)	3516736	5405467	219,25	218,39	-0,86	0,86			
123	GWM 239	3513292	5405412	238,53	237,67	-0,86	0,86			
124	B 10/55-4-2085	3513427	5405409	238,40	236,69	-1,71	1,71			
125	B 15 (Omnibus)	3516365	5405360	218,41	218,98	0,57	0,57			
126	G 7	3513330	5405332	237,82	236,67	-1,15	1,15			
127	B 19 (Omnibus)	3516412	5405298	218,75	219,19	0,44	0,44			
128	B 25 (Omnibus)	3516440	5405191	218,60	219,54	0,94	0,94			
129	B 3 (4)	3513149	5404803	236,99	237,88	0,89	0,89			
130	B 582 (Koenigs.)	3513285	5404764	236,09	236,56	0,47	0,47			
131	B 584 (Bolz)	3513219	5404688	236,61	236,77	0,16	0,16			
132	B 302	3513322	5404480	237,69	237,02	-0,67	0,67			
133	B 303 (Neues-Schlu.)	3513406	5404442	237,46	237,06	-0,40	0,40	2,00	1,00	
134	B 7	3513182	5403753	240,04	240,93	0,89	0,89			
135	Z 2	3512765	5403485	246,90	248,17	1,27	1,27			
136	GWM 51 (Marienplatz)	3512382	5402966	257,46	258,70	1,24	1,24			
137	BK 11/3 GM	3513921	5405200	234,97	234,91	-0,06	0,06	0,50	0,10	0,10
138	BK 11/6 GM	3513285	5405532	238,75	238,31	-0,44	0,44	2,00	2,00	1,00
139	BK 15.2/10 GM	3514470	5407164	243,67	243,16	-0,51	0,51	1,00	1,00	0,50
140	BK 16/7 GM	3514390,77	5406857,57	246,28	246,68	0,40	0,40	1,00	1,00	0,50
				Anzahl		50	50			
				Min.		-1,71	0,04			
				Mittelwert		-0,05	0,82			
				Max.		1,65	1,71			
				Standardabw.		0,95	0,47			
				Anzahl		3,00	3,00	3	5	5
				Min.		-0,51	0,06			
				Mittelwert		-0,06	0,32			
				Max.		0,40	0,51			
				Standardabw.		0,46	0,23			
				Anz. d. Überschreitungen				0	0	1
								0%	0%	20%
	den in KOBUS (2009, S. 29) genannten Räumen nicht eindeutig zuzuordnen									
	Eichmessstellen nach KOBUS (2010, S. 35ff)									
	fett Überschreitung der zulässigen Abweichung									

Vergleich zwischen berechneten und gemessenen Grundwasserständen im ku2LD-ku1F (Stichtag Mai 1994)										
ID	Bezeichnung	Hochwert	Rechtswert	Messung [m NN]	Rechnung [m NN]	Diff. (Rechnung - Messung) [m]	Diff. (Rechnung - Messung) abs. [m]	zul. Abw. [m] (ARGE WUG 2010)	zul. Abw. [m] (Kobus 2010)	Unterkeuper zul. Abw. [m] (Kobus 2009)
219	B 23 (B.)	3511952	5408739	245,67	247,10	1,43	1,43			
220	GWM (Auf der Steig)	3514835	5408598	231,20	231,48	0,28	0,28			
221	GWM 835 (E.+C9)	3515258	5407958	220,84	219,40	-1,44	1,44			
222	Sarweybr.	3513674	5407557	239,51	239,09	-0,42	0,42	2,00	2,00	1,00
223	B 352	3515554	5407206	214,06	214,08	0,02	0,02	0,20	0,20	0,10
224	B 350	3515376	5407201	214,00	214,08	0,08	0,08	0,20	0,20	0,10
225	B 351/1	3515478	5407165	213,67	213,86	0,19	0,19	0,20	0,20	0,10
226	B 310	3513224	5406291	236,45	237,01	0,56	0,56	2,00	2,00	1,00
227	Notbrunnen 9	3513225	5406100	236,16	237,14	0,98	0,98	2,00	2,00	1,00
228	B 308	3512942	5405857	237,67	239,04	1,37	1,37			
229	Raitelsberg	3515760	5405800	227,70	226,89	-0,81	0,81			
230	P 176	3514033	5405791	232,65	232,55	-0,10	0,10	0,20	0,20	0,10
231	B 301	3512947	5405694	238,78	238,58	-0,20	0,20	2,00	2,00	1,00
232	P 173	3513692	5405036	235,49	235,06	-0,43	0,43	0,20	0,20	0,10
233	B 224	3513926	5405000	235,06	234,78	-0,28	0,28	0,20	0,20	0,10
234	GWM 201	3512965	5404841	236,75	237,32	0,57	0,57			
235	GWM 180	3512577	5404681	238,15	237,96	-0,19	0,19			
236	B 229	3514259	5404634	235,75	235,34	-0,41	0,41			
237	BK 17.4/3 PM	3516816	5404584	231,10	232,00	0,90	0,90		0,50	
238	B 16 (Schl.)	3513153	5404458	237,28	237,17	-0,11	0,11			
239	P 171	3513310	5404430	237,21	237,08	-0,13	0,13	0,20	0,20	0,10
240	Notbrunnen 3	3512865	5404429	237,17	237,36	0,19	0,19	0,20	0,20	0,10
241	P 1 (K.)	3513411	5404343	237,15	237,19	0,04	0,04			
242	Br. 1	3513240	5404330	237,25	237,35	0,10	0,10			
243	B 23 (B.)	3513610	5404210	239,18	237,73	-1,45	1,45			
244	B 25 (Allianz)	3513725	5404180	239,24	237,89	-1,35	1,35			
245	GWM 192 (M.)	3512773	5403950	238,04	238,30	0,26	0,26			
246	GWM 432 (H.)	3513190	5403936	237,57	238,64	1,07	1,07			
247	BK 25 (N.)	3513055	5403884	237,98	238,94	0,96	0,96			
248	GWM 89 (K.)	3513470	5403836	239,34	238,76	-0,58	0,58			
249	B 8 (Eierstr.)	3512031	5402594	249,86	249,53	-0,33	0,33			
250	BK 11/15 GM	3513671	5404902	235,43	235,15	-0,28	0,28	0,20	0,20	0,10
251	B 214	3513868	5404924	235,62	234,99	-0,63	0,63	0,20	0,20	0,10
252	BK 11/135	3513350,66	5405225,14	235,53	235,46	-0,07	0,07	0,20	0,20	0,10
					Anzahl	34,00	34,00			
					Min.	-1,45	0,02			
					Mittelwert	-0,01	0,54			
					Max.	1,43	1,45			
					Standardabw.	0,72	0,47			
					Anzahl	15	15	15	16	15
					Min.	-0,63	0,02			
					Mittelwert	-0,03	0,30			
					Max.	0,98	0,98			
					Standardabw.	0,41	0,26			
					Anz. d. Überschreitungen			4	5	7
								27%	31%	47%
	den in KOBUS (2009, S. 29) genannten Räumen nicht eindeutig zuzuordnen									
	Eichmessstellen nach KOBUS (2010, S. 35ff)									
	fett Überschreitung der zulässigen Abweichung									

Vergleich der Grundwasserströmungsmodelle von WUG und kup
Maximale Abweichungen der berechneten Grundwasserstandsganglinien
in den Modellen von WUG und kup
 (abgegriffen aus [21])

GW-Messstelle	Stratigraphische Einheit	Max. Abweichungen [m]		Bemerkung
			absolut	
BK 11 /200	Quartär	-1,10	1,10	
BK 11 /201	Quartär	-4,20	4,20	1/03, meist -0,5 bis -1 m
BK 11/202	Quartär	-1,00	1,00	
BK 11 /204	Quartär	-1,40	1,40	
BK 11/205	Quartär	0,90	0,90	
BK 11/207	Quartär	-0,50	0,50	
BK 11/208	Quartär	1,00	1,00	
BK 11 /203	Bochinger Horizont	-2,00	2,00	1/03, meist um -0,5 m
BK 11 /206	Bochinger Horizont	1,80	1,80	3-5 m über MID-Ganglinie ab 1/09
BK 11 /209	Bochinger Horizont	-0,40	0,40	
BK 11 /14	Grundgips	0,40	0,40	
BK 11/99	Grundgips	0,30	0,30	
N 1	Grenzdolomit	0,70	0,70	> 1 m unter MID-Ganglinie ab 1/09
N 2	Grenzdolomit	0,50	0,50	ca. 1 m unter MID-Ganglinie ab 1/09
N 3	Grenzdolomit	0,30	0,30	
N 4	Grenzdolomit	0,30	0,30	
N 5	Grenzdolomit	0,50	0,50	
N 6	Grenzdolomit	0,30	0,30	
N 7	Grenzdolomit	-0,30	0,30	
N 8	Grenzdolomit	0,30	0,30	
N 9	Grenzdolomit	-0,30	0,30	
N 10	Grenzdolomit	0,40	0,40	
B 213	Grenzdolomit	0,40	0,40	
8 225	Grenzdolomit	-0,50	0,50	
BK 5.2/2	Grenzdolomit	0,40	0,40	
BK 11/210	Mittlerer Lettenkeuper	1,30	1,30	
BK 11/211	Mittlerer Lettenkeuper	-1,00	1,00	> 1 m unter MID-Ganglinie ab 1/09
BK 11/212	Mittlerer Lettenkeuper	0,50	0,50	
P 171	Mittlerer Lettenkeuper	-0,60	0,60	
BK 11/15	Mittlerer Lettenkeuper	0,30	0,30	
B 214	Mittlerer Lettenkeuper	-0,30	0,30	
B 224	Mittlerer Lettenkeuper	-0,60	0,60	1/03, sonst < -0,5 m

GW-Messstelle	Stratigraphische Einheit	Max. Abweichungen [m]		Bemerkung
			absolut	
BK 11 /135	Mittlerer Lettenkeuper	-0,50	0,50	1/03
B 350	Mittlerer Lettenkeuper	0,20	0,20	
B 351	Mittlerer Lettenkeuper	0,00	0,00	
B 352	Mittlerer Lettenkeuper	0,10	0,10	
BK 5.5/201	Mittlerer Lettenkeuper	-2,90	2,90	1/03, sonst ca. -1,5 bis -2 m
BK 5.5/202	Mittlerer Lettenkeuper	0,90	0,90	
P 173	Mittlerer Lettenkeuper	0,40	0,40	
B 4a	Muschelkalk	-0,40	0,40	1/03
P 174	Muschelkalk	0,40	0,40	
P 177	Muschelkalk	0,50	0,50	
BK 11/16	Muschelkalk	0,40	0,40	
Anzahl		43		
Minimum		-4,20	0,00	
Mittelwert		-0,10	0,73	
Standardabweichung		1,06	0,77	
Maximum		1,80	4,20	

Erklärung zum vorstehenden Diagramm

Grundlage des Diagramms sind die in der Gemeinsamen Datenbasis ([2], Anlage 1.6.2) dokumentierten geohydraulischen Versuche. Die verwendeten Durchlässigkeitsdaten sind in Beilage 1 aufgelistet.

Bei der Darstellung der Durchlässigkeitsbandbreite wurde davon ausgegangen, dass die horizontalen Durchlässigkeiten log-normalverteilt sind, was bei natürlichen Gesteinsformationen die Regel ist (KINZELBACH [17], S. 36). Für die empirisch ermittelten Durchlässigkeitsbeiwerte wurde daher für jedes Schichtglied das geometrische Mittel (nicht der arithmetische Mittelwert) berechnet und im Diagramm dargestellt. Die schwarzen Zahlen geben das Geometrische Mittel sowie die obere und untere Standardabweichung der Log-Normalverteilung an.

Die „Bandbreite“ der horizontalen Durchlässigkeitsverteilung wurde folgendermaßen ermittelt: Zunächst wurde für jedes Schichtglied aus den empirisch festgestellten Durchlässigkeitsbeiwerten der entsprechende natürliche Logarithmus berechnet. Aus den natürlichen Logarithmen wurde deren Standardabweichung ermittelt. Das obere Ende der „Bandbreite“ wurde mit dem natürlichen Logarithmus des geometrischen Mittelwerts vermehrt um die Standardabweichung der natürlichen Logarithmen der empirischen Werte als Exponent zur Basis e (Euler'sche Zahl) definiert und im Diagramm dargestellt. Das untere Ende der „Bandbreite“ wurde mit dem natürlichen Logarithmus des geometrischen Mittelwerts vermindert um die Standardabweichung der natürlichen Logarithmen der empirischen Werte als Exponent zur Basis e definiert und im Diagramm dargestellt.

Als Anhalt für die vertikale Durchlässigkeit wurde nach KINZELBACH ([17], S. 34-35) das harmonische Mittel betrachtet (rote Zahlenwerte).

Erklärung zum nachfolgenden Diagramm

Die **blauen Balken** zeigen für jedes Schichtglied die Bandbreite (Mindest- bis Höchstwerte) der kali-brierten horizontalen Durchlässigkeiten aus den von der ARGE WUG in [4] (Text und Beilage 3) dokumentierten Angaben. Die außergewöhnlich hoch angenommenen Durchlässigkeiten der Grundgips-schichten 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 kali-brierten horizontalen Durchlässigkeiten aus den von der Ingenieurgesellschaft Prof. Kobus und Partner GmbH (kup) in [16] (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 in der Gemeinsamen Datenbasis [2] 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 [17], S. 36). Sie entsprechen den Darstellungen im ersten Diagramm dieser Beilage.

