

ARCADIS DEUTSCHLAND GMBH
Schwieberdinger Straße 60
70435 Stuttgart

DB ProjektBau GmbH
Großprojekt Stuttgart 21 Wendlingen - Ulm
Räpplenstraße 17
70191 Stuttgart

Telefon: 0711 90681-0
Fax: 0711 90681-40
E-Mail: stuttgart@arcadis.de
Internet: www.arcadis.de

Stuttgart,
18. August 2011

Projekt:
Großprojekt Stuttgart 21, PFA 1.1 bis PFA 1.6b

Ansprechpartner:
Herr Ackermann
v.ackermann@arcadis.de

Bericht:
Modelltechnisch gestützte Prüfung auf Ersetzbarkeit der Notbrunnen N1 und N2 zur Vermeidung des Sulfatgesteinsauslaugungsrisikos

Unser Zeichen:
10.324040

Telefon-Durchwahl:
21

Auftraggeber:
DB ProjektBau GmbH

Telefax-Durchwahl:
40

Geschäftsführer:
Stephanie Hottenhuis (Vorsitz)
Jürgen Boenecke
Dr. Roland Damm
Adam Mahr
Thomas-M. Vogt

Amtsgericht Darmstadt
HRB 4537

INHALTSVERZEICHNIS

		Seite
I	Veranlassung	3
2	Verwendete Unterlagen	3
3	Aktuelle Situation, Alternativensuche	4
4	Modellgestützte Prüfung und Nachweis hydraulischer Ersatzmöglichkeiten im Vergleich zum bisherigen Notbrunnenkonzept	9

TABELLENVERZEICHNIS

		Seite
Tabelle 1:	Elektrische Leitfähigkeiten des Grundwasser im Übergangsbereich zum Grenzdolomit nach [U 3]	7
Tabelle 2:	Absenkungen durch Stresspumpversuch im mo [U8] und spezifische Ergiebigkeiten der Infiltrationsbrunnen in Auswertung von [U4]	7

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

		Seite
Abbildung 1:	Vergleich der Quellschüttungen für die Notbrunnenvarianten 1 und 2	11
Abbildung 2:	Spiegeländerung im mo durch zusätzlichen Betrieb der Notinfiltrationsbrunnen nach Variante 1 und 2	12

ARCADIS

1 **Veranlassung**

Die Landeshauptstadt Stuttgart fordert in Ihren Schreiben vom 31.05.2010 an die DB Projekt-Bau GmbH und 27.07.2011 an das EBA Stuttgart eine Einschätzung und Bewertung von Sulfatgesteinsauslaugungsrisiken, die im Gesamtkontext des Infiltrationskonzeptes Stuttgart 21 auch den Notbrunnen N1 berücksichtigen.

In einer Besprechung am 11.08.2011 wurde ARCADIS von der DB ProjektBau GmbH aufgefordert, unter Berücksichtigung bisher getroffener qualitativer Einschätzungen zum Sulfatauslaugungsrisiko am Notbrunnen N 1 eine zusätzliche modellgestützte Einschätzung der Ersetzbarkeit des Notinfiltrationsbrunnen 1 zur Absicherung des Notinfiltrationskonzeptes abzugeben.

2 **Verwendete Unterlagen**

- [U 1] ARCADIS Deutschland: Großprojekt Stuttgart 21, Wendlingen-Ulm, PFA 1.1, wasserwirtschaftliche Beratung, Stellungnahme zum Notinfiltrationsbrunnen N 1 - Aktualisierung unserer Stellungnahmen vom 21.06. und 12.07.2010, Stuttgart 17.01.2011
- [U 2] ARCADIS Deutschland: Großprojekt Stuttgart 21, Wendlingen-Ulm, PFA 1.1, wasserwirtschaftliche Beratung, Stellungnahme zum möglichen Ersatz des Notinfiltrationsbrunnens N 1 durch bestehende Infiltrationsbrunnen, Stuttgart 12.07.2010
- [U 3] ARCADIS Deutschland: Großprojekt Stuttgart 21, Wendlingen-Ulm, PFA 1.1, wasserwirtschaftliche Beratung, Stellungnahme zur möglichen Sulfatauslaugung durch den Notinfiltrationsbrunnen N 1, Stuttgart 21.06.2010
- [U 4] ARGE WUG: Übersichtslageplan mit den Bauzuständen für geänderte Bautaktabfolge im PFA 1.1 mit Vorabmaßnahmen, 12.02.2010
- [U 5] ARGE Wasser-Umwelt-Geotechnik: Großprojekt Stuttgart 21, PFA 1.1, 1.2, 1.5 und 1.6a/b, Aufbau, Eichung und Validierung des instationären Grundwasserströmungsmodells, Westheim, den 03.11.2010 (Fassung vom 21.04.2011)

- [U 6] ARGE Wasser-Umwelt-Geotechnik: Großprojekt Stuttgart 21, PFA 1.1, 1.2, 1.5 und 1.6a/b, Prognoserechnungen mit dem instationären Grundwasserströmungsmodell, Westheim, den 27.04.2011
- [U 7] ARGE Wasser-Umwelt-Geotechnik: Großprojekt 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 -, Westheim, den 30.07.2010
- [U 8] ARGE Wasser-Umwelt-Geotechnik: Großprojekt Stuttgart 21, Planfeststellungsabschnitt 1.1, Talquerung mit Hauptbahnhof, Geologische, hydrogeologische, geotechnische und wasserwirtschaftliche Stellungnahme, Teil 3 Wasserwirtschaft, Hydrogeologie, Wasserwirtschaft und Altlasten, Ordner 3.2, Anhang 1, Ordner 3.2.2, Teilbericht 2, Beilage 6: Vergleich von Prognoserechnungen zur Wirksamkeit der Grenzdolomitinfiltration (ku2GD) mit und ohne Berücksichtigung einer lokal erhöhten Leakage der Grundgipssschichten (km1GG) und der Grünen Mergel (ku2GM), Westheim, Januar 2002.
- [U 9] HNK, Ingenieurgesellschaft für Geotechnik und Hydrogeologie: Städtebauprojekt Stuttgart 21, Verbreitung der Schichten des Gips- und Unterkeupers unter quartärer Bedeckung sowie Verlauf von Störungen, 01.10.1996
- [U 10] Landeshauptstadt Stuttgart. Stellungnahme vom 27.07.2011 zum Schreiben des Eisenbahnbundesamtes (Az. 59160-591pä/006-2304#005) vom 04.07.2011 / Ergänzungunterlagen

3 Aktuelle Situation, Alternativensuche

Aktuelle Situation

Gemäß Notinfiltrationskonzept (Grenzdolomitinfiltrationskonzept) nach Planfeststellungsbeschuß wird über die Brunnen N1 bis N10 für den Fall des Eintretens flächenhafter Mineralwasseraufstiege hydraulisch für den Notfall vorgesorgt. Diese Brunnen sollen für den Fall hydraulischer Kurzschlüsse zum Mineralwasseraquifer - Oberer Muschelkalk (mo) - im Absenkungsbereich der Wasserhaltungen des PFA 1.1 den Druckspiegel im mo durch Infiltration in den ku2GD stützen, um ein übermäßiges Aufdringen von Mineralwasser zu verhindern und den

ARCADIS

Einfluss der Wasserhaltungen auf die Schüttung der Stuttgarter Mineral- und Heilwasserquellen zu minimieren.

Die Notinfiltrationsbrunnen N1 und N2 liegen hydrogeologisch gesehen in einem geringer durchlässigen Bereich am Rand des Nesenbachtals, in dessen westlichem Teil noch Gipse erhalten sind.

Der Notinfiltrationsbrunnen N1 ist im Grenzdolomit (ku2GD) verfiltert und erfasst ausbauseits jedoch auch einen Teil der Grundgipsschichten (km1GG) mit teilweiser Gipslagenführung.

Der Filterkiesbereich von N 1 liegt bei 30 – 32 m u. GOK. Innerhalb dieses Bereiches wurden 5 – 10 cm mächtige Gipslagen bei 30,7 – 30,8, 31,0 – 31,1 und 31,7 – 31,8 m u. GOK erbohrt. Diese Gipslagen sind bei Infiltration in N 1 direkt potentiell auslaugungsgefährdet. Eine Auslaugung ist vor allem im Bereich der konzentrierten Radialströmung in Brunnennähe zu erwarten

Daher wurde durch ARCADIS empfohlen, den Brunnen N 1 vorsorglich nicht für eine Infiltration zu verwenden [U 3] - [U 1].

Auf diese Besorgnis wies das AfU LHS in seinem Schreiben vom 31.05.2010 grundsätzlich hin und fragte die weitere Verfahrensweise mit N1 an.

Alternativensuche

In der Folge wurde anhand der gegebenen hydrogeologisch-hydraulischen Situation nach Möglichkeiten zum Ersatz von N 1 durch andere Notinfiltrationsbrunnen gesucht ([U 3] - [U 1]).

In [U 1] wurden in einer diesbezüglich vertieft geführten Betrachtung der Ergebnisse des Stress-Pumpversuchs im Oberen Muschelkalk [U 7] die hydraulischen Verbindungen zwischen mo und ku2GD sowie km1GG abgeleitet und in Beziehung zu den benachbarten Grundwasserhaltungen und zu den Notinfiltrationsbrunnen gestellt. Hieraus wurde geschlussfolgert, dass die Notinfiltrationsbrunnen N 1 und N 2 in Bezug auf mögliche Kurzschlussbereiche in einem ungünstigen und geringer durchlässigen Bereich mit teilweise auslaugungsgefährdeten Gipsen liegen. Dagegen bestehen nach den Ergebnissen des Stress-Pumpversuchs in Talmitte im Be-

ARCADIS

reich der Notinfiltrationsbrunnen N 4 – N 10 (mit Ausnahme N 8) signifikante hydraulische Verbindungen zwischen den Horizonten.

Unter Berücksichtigung dessen wurde in [U 1] eine Konzentration der Infiltration in den Grenzdolomit in die bereits ausgelaugten Bereiche in Talmitte empfohlen, z.B. durch Hinzuziehung der Notinfiltrationsbrunnen N 3 und N 6 (siehe bisheriges Notbrunnenkonzept unter 3.). Für die Vorhersage der hydraulischen Auswirkungen auf den zu stützenden Druckspiegel des Oberen Muschelkalks und auf die Stuttgarter Mineral- und Heilwasserquellen bedarf es jedoch eines modelltechnischen Nachweises.

Das Notbrunnenkonzept nach Planfeststellungsbeschluss geht davon aus, dass bei unvorhergesehenen Notfallsituationen mit hydraulischen „Kurzschlüssen“ zwischen Mittlerem Keuper und Oberem Muschelkalk durch eine direkte Infiltration in den Grenzdolomit des Unterkeuper der Druckspiegel im Unterkeuper und im Oberen Muschelkalk gestützt wird. Hierzu wurden unter anderem in [U 8] mögliche Kurzschlusszenarien gerechnet und die Wirkung der Notinfiltrationsbrunnen N 1, N 2 und N 4, N 5 sowie N 7 – N 10 simuliert.

Wie die Auswertungen in [U 3] - [U 1] zeigten, sind die Schichten zwischen Grenzdolomit und Oberem Muschelkalk am westlichen Talrand und speziell im Bereich von N 1 und N 2 jedoch vergleichsweise gering durchlässig, was die Wirksamkeit der Notinfiltrationsbrunnen N 1 und N 2 einschränkt.

Die in N 1 angetroffenen Gipslagen und das hier größere hydraulische Grundwassergefälle sind ein Zeichen für allgemein geringere Durchlässigkeiten in diesem Bereich.

Der Gipseinfluss am westlichen Talrand deutet sich nach [U 3] bereits durch erhöhte elektrische Leitfähigkeiten in N 1 und N 2 an. Dem gegenüber sind die elektrischen Leitfähigkeiten in den gipsfreien Bereichen in Talmitte in N 3 und N 6 deutlich geringer (Tabelle 1).

Tabelle 1: Elektrische Leitfähigkeiten des Grundwasser im Übergangsbereich zum Grenzdolomit nach [U 3]

Notinfiltrationsbrunnen	Elektrische Leitfähigkeit bei 1., 2. und 3. Probennahme 2008 - 2009 [$\mu\text{S}/\text{cm}$]
Brunnen Nähe Talrand/ Talrand	
N 1	1810 -> 2780 -> 2630
N 2	2000 -> 2930
Brunnen in Talmitte	
N 3	1380 -> 980
N 6	1668 -> 930

In [U 2], [U 1] wurden außerdem die spezifischen Brunnenergiebigkeiten der Notinfiltrationsbrunnen ermittelt und miteinander verglichen. Danach besitzen N 1 und N 2 vergleichsweise geringe Ergiebigkeiten, welche die infiltrierbare Wassermenge begrenzen (Tabelle 2).

Tabelle 2: Absenkungen durch Stresspumpversuch im mo [U 7] und spezifische Ergiebigkeiten der Infiltrationsbrunnen nach [U 3]

Infiltrationsbrunnen	Absenkung bei Stress-PV [U 7] [m]	Ruhewasserspiegel vor Einzel-PV	Förderrate [l/s]	Flurabstand/ Absenkung [m u. POK]		Spezifische Ergiebigkeit [l/(s*m Abs.)]	erforderliche mittlere Brunnenaufspiegelung [m] zur Erreichung der in [U 8] berechneten Infiltrationsraten [l/s]	
				von	auf		[l/s]	[m]
N1	0,02	238,8	0,5	7,0	8,3	0,38		
N2	0,05	237,5	0,3	7,7	9,8	0,14		
N3	0,40	235,66	0,4	2,47	4,24	0,23		
N4	0,40	235,94	0,19	4,29	7,88	0,04		
N5	0,36	235,93	0,5	9,94	12,2	0,27		
N6	0,38	235,97	0,29	3,78	4,38	0,48		
N7	0,40	235,10	1,0	13,87	15,07	0,83		
N8	0,05	235,92	0,2	3,31	3,66	0,57		
N9	0,35	235,75	1,1	3,02	3,7	1,61		
N10	0,38	235,75	0,7	3,7	5,92	0,31		
Ergiebigkeitssumme N1 und N2						0,52	4,5	8,7
Ergiebigkeitssumme aller Brunnen						4,86	11	2,3
Ergiebigkeitssumme ohne N3 und N6 (Modellierung Stützinfiltration [U 8])						4,15	11	2,7
Ergiebigkeitssumme ohne N1						4,48	11	2,5

W:\63\4_040_10_001_632413_ifd_VergleichsPFA_1\Notinfiltrationsbrunnen N1\20110818_Pruefung_Ergebnisbratet N1.docx

Bei alleinigem Betrieb von N 1 und N 2 wurde in [U 8] mit einer Infiltrationsrate von 4 – 4,5 l/s gerechnet, die nach Auswertung der Brunnenergiebigkeiten und unter Zugrundelegung der zulässigen Aufspiegelung jedoch praktisch nicht realisierbar ist.

In der vertiefenden Betrachtung der Ergebnisse des Stress-Pumpversuchs werden die festgestellten hydraulischen Verbindungen vom mo bis in den ku2GD/km1GG und bis in den km1BH/km1DRM beschrieben [U 1] .

Die hydraulischen Verbindungsbereiche werden im Folgenden kurz zusammengefasst und mit den geologischen Gegebenheiten verglichen:

- Lokale Verbindung abgeschwächt bis in den km1BH/km1DRM im Bereich der Teilbaugruben 9 und 10, nach [U4] potentiell wirksam ab Bauschritt 6,
- Verbindungsbereich bis in den ku2GD/km1GG südlich der Teilbaugruben 12 – 25, entlang der Verwerfung zwischen Hochscholle südlich und Tiefscholle nördlich, besonders im Bereich zwischen N 3, N 6 und N 4, nach [U4] potentiell wirksam ab Bauschritt 1,
- Begrenzter Verbindungsbereich bis in den ku2GD/km1GG zwischen N 10 und N 9 nördlich der Teilbaugruben 15 – 17, nach [U4] potentiell wirksam ab Bauschritt 1,
- Verbindungsbereich bis in den ku2GD/km1GG im Umfeld von N 7 nördlich der Teilbaugrube 25, nach [U4] potentiell wirksam ab Bauschritt 3.

Demnach bestehen vor allem in Talmitte potentielle hydraulische Verbindungen zwischen Einflussbereich der Bauwasserhaltungen und dem Mineralwasseraquifer, die bereits ab Bauschritt 1 wirksam werden.

Die relativ größte Beeinflussung der Mineral- und Heilquellen Stuttgart entsteht durch die Gesamtwirkung der Bauwasserhaltungen nach [U 6] bis zum Bauschritt 3c, wobei die größte Absenkung des Druckspiegels im mo in der Talmitte erfolgt. Im Bauschritt 6, ab dem eine Grundwasserhaltung direkt aus Teilbaugrube 9 und 10 mit lokaler hydraulischer Verbindung zum mo im Dolinenbereich erfolgt, ist die Gesamtbeeinflussung wesentlich geringer. Daher hat die Wasserhaltung in den Teilbaugruben 9 und 10 einen relativ geringen Einfluss auf den Mineralwasseraquifer und die Mineral- und Heilquellen.

Daher wurde in [U 1] entweder eine Grundwasserstützung im ku2GD/mo durch Erhöhung der Stützinfiltration im zentralen Bereich, z.B. durch Hinzuziehung von N3 und N6 (oder alternativ baugrubennah durch Bohrung eines Ersatzinfiltrationsbrunnens im ku2GD unmittelbar südlich und/oder nördlich der Baugruben 9 und 10) empfohlen und eine modelltechnische Prüfung für erforderlich gehalten.

4 Modellgestützte Prüfung und Nachweis hydraulischer Ersatzmöglichkeiten im Vergleich zum bisherigen Notbrunnenkonzept

Im aktuellen Grundwassermodell Stand 2011 sind die zuvor beschriebenen hydraulischen Verbindungen aufgrund der vorgenommenen vertiefenden Modellkalibrierung und -validierung unter Nachsimulation des Stress-Pumpversuches durchlässigkeitsseitig enthalten und berücksichtigt.

Der in [U 8] als ungünstig simulierter Fall der erhöhten vertikalen Durchlässigkeit (leakage) der Grundgipsschichten und der Grünen Mergel tritt im aktuellen GW-Modell als Realfall auf. Es ist somit für die modelltechnische Nachweisführung der Ersetzbarkeit von N1 und N2 lediglich erforderlich, für den Fall der nachgewiesenen erhöhten Durchlässigkeit den Wegfall der Brunnen N1 und N2 durch geeignete verfügbare Brunnen im Rahmen des Notinfiltrationsszenarios aufzuzeigen.

Zur Nachweisführung wurden im Vergleich zwei Szenarien gerechnet (instationäres Prognosemodell Stand April 2011 mit mittlerer Hydrologie, aktuelle Bautaktung):

- Variante 1: Zusätzliche Infiltration an 8 Notbrunnen mit Modelldaten 2011 (N1, N2, N4, N5, N7, N8, N9, N10)
- Variante 2: Zusätzliche Infiltration an 8 Notbrunnen bei Wegfall N1 und N2 mit Modelldaten 2011 (N3, N4, N5, N6, N7, N8, N9, N10)

Alle Infiltrationsbrunnen werden wie folgt definiert:

- max. Infiltrationsrate 1 l/s
- Mittelwasserstand + 2 m

ARCADIS

- Brunnenbetrieb zwischen Beginn Bauschritt 1 bis Ende Bauschritt 12 (in BS 13 sind alle Infiltrationsbrunnen außer Betrieb)
- Verfilterung im Grenzdolomit

Mit dem Modell wurde eine Prognosesimulation des gesamten Bauablaufs mit Wiederanstiegsphase unter Zugrundelegung mittlerer Verhältnisse für Grundwasserstände und Grundwasserneubildung durchgeführt. Der Bauablauf und die regulären Infiltrationsmaßnahmen wurden auf dem aktuellen Planungstand berücksichtigt.

Die sich ergebenden mittleren Infiltrationsraten für die Varianten 1 und 2 sind in **Tabelle 3** enthalten.

Tabelle 3: Mittlere Infiltrationsraten der Notbrunnen Variante 1 und 2

Notbrunnen	Mittlere Gesamtinfiltrationsrate [l/s]	Anmerkung
Variante 1	6,40	N3 und N6 nicht im Betrieb
Variante 2	7,34	N1 und N2 nicht im Betrieb

Die relativ größte Beeinflussung des Mineralwasseraquifers und der Mineral- und Heilquellen Stuttgart ergibt sich in den Bauschritten 1 - 3.

Die wesentlichen Ergebnisse der Modellierung zum Zeitpunkte Ende Bauschritt 3 C sind im Vergleichsdiagramm der Gesamtquellschüttung (**Abbildung 1**) und im Lageplan mit GW-Differenzen im Oberen Muschelkalk (**Abbildung 2**) enthalten. In diesem Zeitraum findet die stärkste prognostische Beeinflussung der Stuttgarter Mineral- und Heilquellen statt. (zur Vergleichsführung mit [U 8])

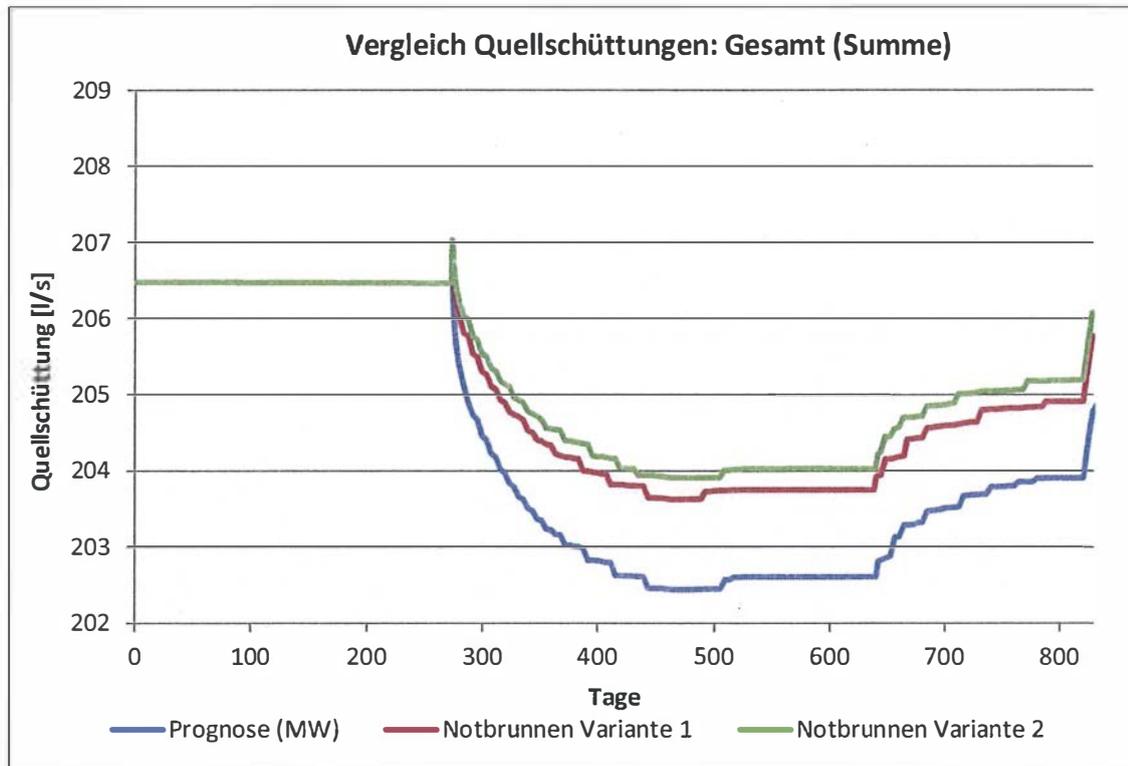


Abbildung 1: Vergleich der Quellschüttungen für die Notbrunnenvarianten 1 und 2

Die zusätzliche Notinfiltration nach Variante 1 mit den Notinfiltrationsbrunnen N 1 und N 2 (ohne N 3 und N 6) bewirkt gegenüber der Variante 0 ohne Notinfiltration einen Rückgang der Quellschüttungsminderung von max. 1,2 l/s.

Die zusätzliche Notinfiltration nach Variante 2 mit den Notinfiltrationsbrunnen N 3 und N 6 (ohne N 1 und N 2) bewirkt gegenüber der Variante 0 ohne Notinfiltration einen Rückgang der Quellschüttungsminderung von max. 1,5 l/s.

Danach ist die Notinfiltrationsvariante 2 (Einsatz von N3 und N6) diesbezüglich effektiver als die Notinfiltrationsvariante 1 (Einsatz von N1 und N2).

W:\632_040_10_001_632\613_1\1\Notinfiltrationsbrunnen N1\20110818_Praefung Ersatzbohrloch N1.docx

Noch deutlicher zeigt sich dieser Unterschied in der Stützwirkung des Druckwasserspiegels im Oberen Muschelkalk (mo), dargestellt als relative Spiegeländerung gegenüber der Variante 0 ohne Notinfiltration in **Abbildung 2**.



Legende

- Notinfiltrationsbrunnen PFA 1.1
- Baugrube PFA 1.1

Erhöhung des Grundwasserspiegels im mo, Ende BS 3c [m]

- Berechnung Variante 1 (N3 und N6 nicht im Betrieb)
- Berechnung Variante 2 (N1 und N2 nicht im Betrieb)

Abbildung 2: Spiegeländerung im mo durch zusätzlichen Betrieb der Notinfiltrationsbrunnen nach Variante 1 und 2

Grundsätzlich zeigt die **Abbildung 2**, dass sich die Stützwirkung im mo vom Infiltrationsbereich in der Talmitte nach Westen ausbreitet.

W:\6324_040_10_001_6324\13_jfd_Vorgaenge\PFA 1.1\Notinfiltrationsbrunnen N1\20110818_Pruefung Ersetzbarkeit N1.docx

ARCADIS

Die Ausbreitung erfolgt offenbar bevorzugt entlang durchlässiger Zonen parallel zur E-W streichende Verwerfung zwischen Hochscholle im Süden und Tiefscholle im Norden. Dies entspricht sinngemäß den grundsätzlichen geologischen Vorstellungen nach [U 9].

Da die Vertikaldurchlässigkeit im Bereich N 1 und N 2 geringer ist als in der Talmitte, können sie den Druckspiegel im mo an dieser Stelle weniger wirksam stützen, als die Brunnen N 3 und N 6 von der Talmitte aus.

Ergebnis

Auf der Grundlage des aktuellen GW-Strömungsmodelles konnte der modelltechnische Nachweis erbracht werden, dass die am Westrand des Nesenbachtals gelegenen Notbrunnen N 1 und N 2 durch die verfügbaren Notbrunnen N 3 und N 6 im Rahmen des Grenzdolomitinfiltrationskonzeptes ersetzt werden können und das Risiko der Sulfatauslaugung, wie am Notbrunnen N1 festgestellt, bei Brunnenbetrieb vermieden werden kann.

aufgestellt:

Dr. rer.nat. A. Kunz

gesehen

gez.

Dr.-Ing. K. Piroth

Dipl.-Hydrogeol. V. Ackermann

Verteiler

EBA Stuttgart
DB ProjektBau
ARCADIS

1 x Original, 2 x Kopie
1 x Kopie
1 x Kopie