GEOLOGIE • UMWELT • ROHSTOFFE • BAUGRUND

JENA GEOS® Ingenieurbüro GmbH

JENA-GEOS®-Ingenieurbüro GmbH · Saalbahnhofstraße 25 c · 07743 Jena

STRABAG Real Estate GmbH
Bereich Berlin
Bessemerstraße 42 b
12103 Berlin
z.H. Herr T. Barthel

Eingegangen
25. April 2022
STRABAG Real Estate GmbH Bereich Berlin

DAkkS Deutsche Akkreditierungsstelle D-PL-18426-01-00

INNOVATIV DURCH FORSCHUNG 2020 | 2021

Ihr Zeichen	Ihre Nachricht vom	Unser Zeichen	Telefon, Name	E-Mail	Datum
		8035.4	03641 4535-32	schmidt@jena-geos.de	2022-04-21

JEP – Übergabe – Bericht Hydrogeologische Modellierung, Abstromsicherung LHKW-Schaden „Brunnen Pulverturm“

Sehr geehrter Herr Barthel,

hiermit senden wir Ihnen den Bericht „Hydrogeologische Modellierung Abstromsicherung LHKW-Schaden ‚Brunnen Pulverturm‘“ als Printexemplar zu.

Mit freundlichen Grüßen

Jörg Schmidt
Geschäftsführer

Anlage

Bericht

GEOLOGIE • UMWELT • ROHSTOFFE • BAUGRUND

Auftraggeber:

STRABAG Real Estate GmbH
Bereich Berlin
Bessemerstr. 42b
12103 Berlin

DAkkS
Deutsche Akkreditierungsstelle
D-PL-18426-01-00

Projekt:

Jena, Eichplatz, Baufeld A

Objekt:

Hydrogeologische Modellierung Abstromsicherung LHKW-Schaden „Brunnen Pulverturm“

Projektnummer:

8035.4

Auftragnehmer:

JENA-GEOS®-Ingenieurbüro GmbH
Saalbahnhofstraße 25 c
07743 Jena

Bearbeiter:

Dipl.-Geol. Jörg Schmidt

Jena, 17.03.2022

J. Schmidt
Geschäftsführer

JENA-GEOS®-Ingenieurbüro GmbH · Saalbahnhofstraße 25 c · 07743 Jena
Telefon 03641 4535-0 · Fax 03641 442806 · info@jena-geos.de · www.jena-geos.de
Geschäftsführer: Dr. Kersten Roselt, Jörg Schmidt, Christoph Scheibert
Amtsgericht Jena HRB 204170 · USt-IdNr.DE158885 682 · St-Nr. 162/111/02008

Deutsche Bank AG Jena
BLZ 820 700 00 · Kto-Nr. 393 878 400
IBAN DE29 8207 0000 0393 8784 00
BIC (SWIFT) DEUTDE8E831

Sparkasse Jena-Saale-Holzland
BLZ 830 530 30 · Kto-Nr. 33 642
IBAN DE 24 8305 3030 0000 0336 42
BIC (SWIFT) HELA DEF1JEN

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis 2
Verwendete Unterlagen 3
1 Veranlassung, Aufgabenstellung und Zielsetzung 6
2 Der LHKW-Grundwasserschaden „Brunnen Pulverturm“ 7
3 Untersuchungskonzeption 9
4 Ergebnisse der Grundwassermodellierung 10
4.1 Betrieb der Abwehrgalerie ausschließlich über den Brunnen Pulverturm 12
4.2 Betrieb der Abwehrgalerie über zwei Abwehrbrunnen 13
4.3 Betrieb der Abwehrgalerie über mehr als zwei Abwehrbrunnen 15
5 Auswirkungen der Grundwasserabsenkung 15
5.1 Beeinträchtigung der Umgebungsbebauung 15
5.2 Beeinträchtigung der Vitalität und Gesundheit von Bäumen 16
6 Empfehlungen 17
6.1 Leistungspumpversuch Brunnen Pulverturm 17
6.1.1 Zielstellung 17
6.1.2 Konzeption des Pumpversuches 17
6.1.3 Erforderliche vorbereitende Arbeiten 18
6.1.4 Kosten 18
6.2 Konzeption und Planung der Abwehrgalerie 18
7 Zusammenfassung 19

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Verbreitung des LHKW-Schadens „Brunnen Pulverturm“, LHKW in µg/l; aktuelle Analysenwert vom Juni 2021 farblich hinterlegt, Altanalysen rot umrandet 7
Abbildung 2 Modellnetz mit Darstellung des Baufeldes A 10
Abbildung 3 Grundwassergleichen Buntsandstein; Ausgangszustand ohne Wasserhaltung 11
Abbildung 4 Grundwassergleichen Buntsandstein; Betrieb Brunnen Pulverturm mit 600 m³/d und gleichzeitige Bauwasserhaltung Baufeld A, Schadstofffahne rot 12
Abbildung 5 Brunnen Pulverturm (Abr 1) und Ansatzpunkt zweiter Abwehrbrunnen (Abr 2) 13
Abbildung 6 Grundwassergleichen Buntsandstein; Betrieb Abwehrbrunnen (Abr 1: 240 m³/d; Abr 2: 360 m³/d) und gleichzeitige Bauwasserhaltung 14
Abbildung 7 Grundwassergleichen Buntsandstein; Betrieb Abwehrbrunnen (Abr 1: 360 m³/d; Abr 2: 240 m³/d) und gleichzeitige Bauwasserhaltung 14

Verwendete Unterlagen

[1] Smoltczyk & Partner GmbH (1993): 93123 Jena, Carl-Zeiss-Straße: Mehrzweckgebäude FSU Jena Baugrund- und Gründungsgutachten. Stuttgart 25.11.1993

[2] BEB Jena Consult GmbH (1997): 5035/38/97 Jena, Holzmarkt/Teichgraben: Hotelneubau Geotechnischer Bericht, Baugrund-Hauptuntersuchung. Jena 13.08.1997

[3] BEB Jena Consult GmbH (2001): 5035/48/97/08 Jena, Klinikum FSU: Neubau Forschungsgebäude Theoretikum Aktennotiz und Hinweise zu technischen Fragen. Jena 11.01.2001

[4] BEB Jena Consult GmbH (2000): 5035/48/97/03Hy Jena, Klinikum FSU: Neubau Forschungsgebäude Theoretikum Baugrund- und Hydrogeologisches Gutachten, Gewässerschutz und Gewässerbenutzung. Jena 22.11.2000

[5] BEB Jena Consult GmbH (1997): 5035/48/97 Jena, Klinikum FSU: Neubau Forschungsgebäude Theoretikum Geotechnischer Bericht, Baugrund-Hauptuntersuchung. Jena 15.10.1997

[6] Smoltczyk & Partner GmbH (1993): 92107 Jena: Goethe-Galerie Baugrund- und Gründungsgutachten. Stuttgart 18.05.1993

[7] JENA-GEOS-Ingenieurbüro GmbH (1996): Stellungnahme und Ergänzungen zum Gutachten – Einfluss des geplanten Bauvorhabens Neubau Interhotel „Am Holzmarkt" in Jena auf den Grundwasserhaushalt der Umgebung, vom 29.02.1996. Jena 22.04.1996

[8] JENA-GEOS-Ingenieurbüro GmbH (1996): Gutachten zum Einfluss des geplanten Bauvorhabens Neubau Interhotel „Am Holzmarkt" in Jena auf den Grundwasserhaushalt der Umgebung. Jena 29.02.1996

[9] BEB Jena Consult GmbH (1998): 5035/20/97/13 Jena, Holzmarkt: Holzmarktpassage Pegelstände Nordwestseite Außenpegel Geotechnischer Bericht, Baubegleitende Untersuchung. Jena 20.03.1998

[10] BEB Jena Consult GmbH (1997): 5035/20/97/1 Jena, Holzmarkt: Neubebauung „Am Holzmarkt" Geotechnischer Bericht, Baugrund-Hauptuntersuchung mit hydrogeologischem Gutachten. Jena 30.04.1997

[11] BIP Beratende Ingenieure für das Bauwesen VBI GmbH (1997): 10858/3 Bauvorhaben Hotel- und Geschäftshaus, Holzmarkt 14-17/Teichgraben 1 in Jena Gutachten zur Einleitung eines Verfahrens nach den Wasserrechten. München 21.12.1997

[12] HGT Hydro-Geotechnik GmbH (2004): Wassergewinnung und Wasserableitung – Wasserrinne durch die Altstadt Jena Brunnen Pulvergasse - Dokumentation. Nordhausen 19.10.2004

[13] Geotechnik Dr. Nottrodt Weimar GmbH (2004): Eigenwasserversorgung für die „Wasserrinne" in der Johannisstraße Pulvergasse, Jena. Weimar 26.02.2004

[14] Smoltczyk & Partner GmbH (1994): 94134 Jena, Carl-Zeiss-Platz 1: Wohn- und Geschäftshaus Erläuterung zum Antrag auf wasserrechtliche Erlaubnis. Stuttgart 21.11.1994

[15] Smoltczyk & Partner GmbH (1994): 93237 Jena: Goethe-Galerie; Gebäude für die Friedrich-Schiller-Universität, Tiefgarage Erläuterung der Anträge auf wasserrechtliche Erlaubnis. Stuttgart 29.04.1994

[16] Geotechnisches Institut Prof. Dr. Mager + Partner (1999): 99017W Neubebauung Areal UNI-Turm, Jena Baugrundvorgutachten mit Vorläufigen Gründungsempfehlungen (1. Bericht). Weimar 26.04.1999

[17] Geotechnisches Institut Prof. Dr. Mager + Partner (1999): 99017W „Neue Mitte" Jena Neubebauung Areal Universitätshochhaus UHH Gründungsgutachten (2. Bericht). Weimar 19.11.1999

[18] Geotechnik Dr. Nottrodt Weimar GmbH (2000): 99091W Ergänzende Baugrunduntersuchung „Neue Mitte" Jena Abschlussdokumentation Grundwassermessstellen BK 14 bis BK 16. Weimar 07.02.2000

[19] Geotechnik Dr. Nottrodt Weimar GmbH (2004): 99053W Neubebauung Areal Uni-Turm, Jena Aktenzeichen 07/56372/16053000/gw01/02 Jahresbericht 2003 zur Überwachung des Grundwasserstandes. Weimar 03.02.2004

[20] Geotechnisches Institut Prof. Dr. Mager + Partner (1999): 99053W „Neue Mitte" Jena/Areal Uni-Turm Antrag auf Grundwasserhaltung und permanente Grundwassereinbindung. Weimar 01.09.1999

[21] Geotechnik Dr. Nottrodt Weimar GmbH (2000): 99091W „Neue Mitte" Jena hydrogeologische Stellungnahme zur Versickerung von Grund- und Schichtwässern in Schluckbrunnen. Weimar 14.02.2000

[22] Geotechnik Dr. Nottrodt Weimar GmbH (2002): Umbau Turmsockel Intershop-Tower (Provisorium), Neubau einer Tiefgarage - Geohydraulische Berechnung – Nachweis für den wirksamen hydraulischen Ausgleich. Weimar 27.02.2002

[23] BEB Jena Consult GmbH (2000): 5035/16/00 Jena, Holzmarkt 5/6: Neubau Wohn- und Geschäftshaus Geotechnischer Bericht, Baugrund-Hauptuntersuchung. Jena 27.06.2000

[24] Flügel, W.A., Michl, C., Mothes, D. (1997): Modellierung der Grundwasserdynamik im Innenstadtbereich der Stadt Jena unter Verwendung des Grundwassermodells MODFLOW, Abschlussbericht. Friedrich-Schiller-Universität Jena – Institut für Geographie. Jena 26.02.1997

[25] Flügel, W.A., Mothes, D., Patecki, M., Pechstedt, J. (2000): Erweiterung zur Modellierung der Grundwasserdynamik im Innenstadtbereich der Stadt Jena (Paradiesbahnhof, City, Damenviertel) unter Verwendung des Grundwassermodells MODFLOW, Abschlussbericht. Friedrich-Schiller-Universität Jena – Institut für Geographie. Jena 05.06.2000

[26] Flügel, W.A., Michl, C., Mothes, D., Knorr, D. (1999). Erweiterung und Optimierung des Grundwassermodells für den Innenstadtbereich der Stadt Jena mit dem Finiten Differenzmodell MODFLOW – Bereich Uni-Turm. Friedrich-Schiller-Universität Jena – Institut für Geographie. Jena 26.08.1999

[27] Geotechnik Dr. Nottrodt Weimar GmbH (2002): 99053W Neubebauung Areal Uniturm, Jena Aktenzeichen 07/56372/16053000/gw01/02 Jahresbericht 1999, 2000 und 2001 zur Überwachung des Grundwasserstandes. Weimar 19.04.2002

[28] BIP Bauträger – Projektentwicklung Jena GmbH (1997): Antrag auf Grundwasserhaltung und permanente Grundwassereinbindung BV Hotel- und Geschäftshaus Holzmarkt 14-17/Teichgraben 1 Jena. Jena 18.12.1997

[29] Rückert, H. (1997): Berechnung der Hebung des Grundwasserspiegels bei Anlagen zur Grundwasserdükerung. Die Bautechnik, Heft 5, S.282-292

[30] Schneider, G. (1995): Beeinflussung des Grundwasserstroms durch Bauwerke mit räumlicher Erstreckung. Die Bautechnik, Heft 5, S289-298

[31] Schneider, G. (1983): Grundwasseraufstau vor Bauwerken bei gleichzeitiger Unter- und Umströmungsmöglichkeit. Die Bautechnik, Heft 11, S.391-394

[32] Schneider, G. (1983): Beeinflussung des Grundwasserstromes durch Baumaßnahmen mit Grundwasserdurchleitungen bei gleichzeitiger Umströmungsmöglichkeit. Die Bautechnik, Heft 6, S.189-196

[33] Schneider, G. (1982): Möglichkeit zur Berechnung der Grundwasserspiegelbeeinflussung durch ein sehr langes Bauwerk mit abschnittsweisen Durchbrüchen. Die Bautechnik, Heft 10, S.332-337

[34] Schneider, G. (1981): Berechnung der Beeinflussung des Grundwasserstromes durch Baumaßnahmen. Die Bautechnik, Heft 2, S.67-69

[35] Dachler, R. (1936): Grundwasserströmung. Verlag Julius Springer Wien

[36] Ulrichs, K. R. (1978): Maßnahmen zur Erhaltung der Grundwasserströmung bei tiefreichenden und sperrenden Bauwerken. Grundbau und Bodenmechanik an der Universität GH Essen Forschungsberichte aus dem Fachbereich Bauwesen – Heft 4, S. 87-112

[37] Nendza, H. und Lehmann G. (1978): Untersuchungen über die Veränderung des Grundwasserverlaufes bei Behinderung des Durchflusses. Grundbau und Bodenmechanik an der Universität GH Essen Forschungsberichte aus dem Fachbereich Bauwesen – Heft 4, S. 74-86

[38] Köneman, Frank (1995): Beeinflussung des Grundwasserspiegels durch unterirdische Bauwerke. Verlag Glückauf GmbH Essen 1995

[39] Historischer Stadtplan (1758): „Grundriß der berühmte Thüringische Universitäts Stadt Jena an der Saale, mit anzeige ihrer vornehmen Gebäude in Kupfer gestochen u. verlegt durch M.Seutter"

[40] Dachroth, W. R. (2002) Handbuch Baugeologie. - 3. Auflage, Springer Verlag, Heidelberg

[41] JENA-GEOS-Ingenieurbüro GmbH (2021): JENA Eichplatz Baufeld A – Gebäudekomplex mit Tiefgarage – Gutachterliche Stellungnahme Hydrogeologie. Jena 10.06.2021

[42] JENA-GEOS-Ingenieurbüro GmbH (2021): JENA Eichplatz Baufeld A – Auswirkungen der Bauwasserhaltung auf Bäume. Jena 25.10.2021

1 Veranlassung, Aufgabenstellung und Zielsetzung

Das Bauvorhaben Jena, Eichplatz Baufeld A befindet sich im Randbereich der vom LHKW-Grundwasserschaden „Brunnen Pulverturm“ ausgehenden LHKW-Schadstofffahne. Die zur Trockenhaltung der Baugrube erforderliche Bauwasserhaltung wird temporär zu einer Änderung der Kontur der Schadstofffahne (siehe Abbildung 1) führen.

Auf Anregung des Fachdienstes Umweltschutz der Stadtverwaltung Jena soll die Möglichkeit einer baubegleitenden hydraulischen Sicherung des LHKW-Schadens geprüft werden, da die Gefahr einer Verlagerung der Schadstofffahne gesehen wird.

Aus gutachterlicher Sicht ist unter Berücksichtigung der Schadenssituation (matrixgebundene LHKW-Phasen im Buntsandstein als Sekundärquelle) und der Entfernung der Haltungsbrunnen vom Schadenszentrum davon auszugehen, dass die Bauwasserhaltung auf dem Baufeld A keine signifikante Änderung der Quelle des LHKW-Grundwasserschadends „Brunnen Pulverturm“ bewirkt und sich nach Ende der Bauwasserhaltung wieder die ursprüngliche Kontur der Schadstofffahne einstellen wird.

Mit Schreiben vom 03.01.2022 wurde die JENA-GEOS®-Ingenieurbüro GmbH von der STRABAG Real Estate GmbH mit der hydrogeologischen Modellierung und Variantenbetrachtung zur Abstromsicherung des LHKW Schadens „Brunnen Pulverturm“ beauftragt.

Zur Untersuchung der hydraulischen Auswirkungen einer Abstromsicherung und deren Wechselwirkung mit der Bauwasserhaltung des Baufeldes A ist eine Erweiterung des bereits vorhandenen Grundwasserströmungsmodels Eichplatz [41] vorzunehmen.

Folgende Varianten sind zu modellieren:

- Abstromsicherung ausschließlich über den Bestandsbrunnen am Pulverturm
- Brunnenabwehrgalerie bestehend aus Bestandsbrunnen und zusätzlichen Brunnen

Auf der Grundlage der Modellierungsergebnisse sind mögliche Risiken zu bewerten und Empfehlungen für die weitere Vorgehensweise zur Vorbereitung der planerischen Umsetzung abzuleiten.

Fragen der Ursachenermittlung des LHKW-Schadens einschließlich der sich daraus ergebenden rechtlichen Fragen (Verantwortlichkeiten, Haftungsrisiken, Kostenbeteiligung Sicherung/Sanierung) sind nicht Gegenstand des vorliegenden Berichtes.

2 Der LHKW-Grundwasserschaden „Brunnen Pulverturm“

Das geplante Baufeld A grenzt an den **LHKW-Grundwasserschaden „Brunnen Pulverturm“** (Abbildung 1). Der Grundwasserschaden umfasst sowohl die Leutraschotter als auch den Festgesteinsgrundwasserleiter bis in eine Tiefe von > 50 m. Im Schadenszentrum wurden im Jahr 2017 LHKW-Konzentrationen von > 4.000 µg/l nachgewiesen.

Beim Bau der Tiefgarage des Theoretikums (200 m südwestlich des Eichplatzes) im Jahr 2001 war bedingt durch die hohen LHKW-Konzentrationen eine Aufbereitung des in der Baugrube anfallenden Grundwassers erforderlich.

Zur Klärung der aktuellen Schadenssituation erfolgten im Juni 2021 Beprobungen der Bestandsmessstellen Johannistor, Eichplatz (GWM 1/10) und der neu errichteten Messstelle GWM 1/21.

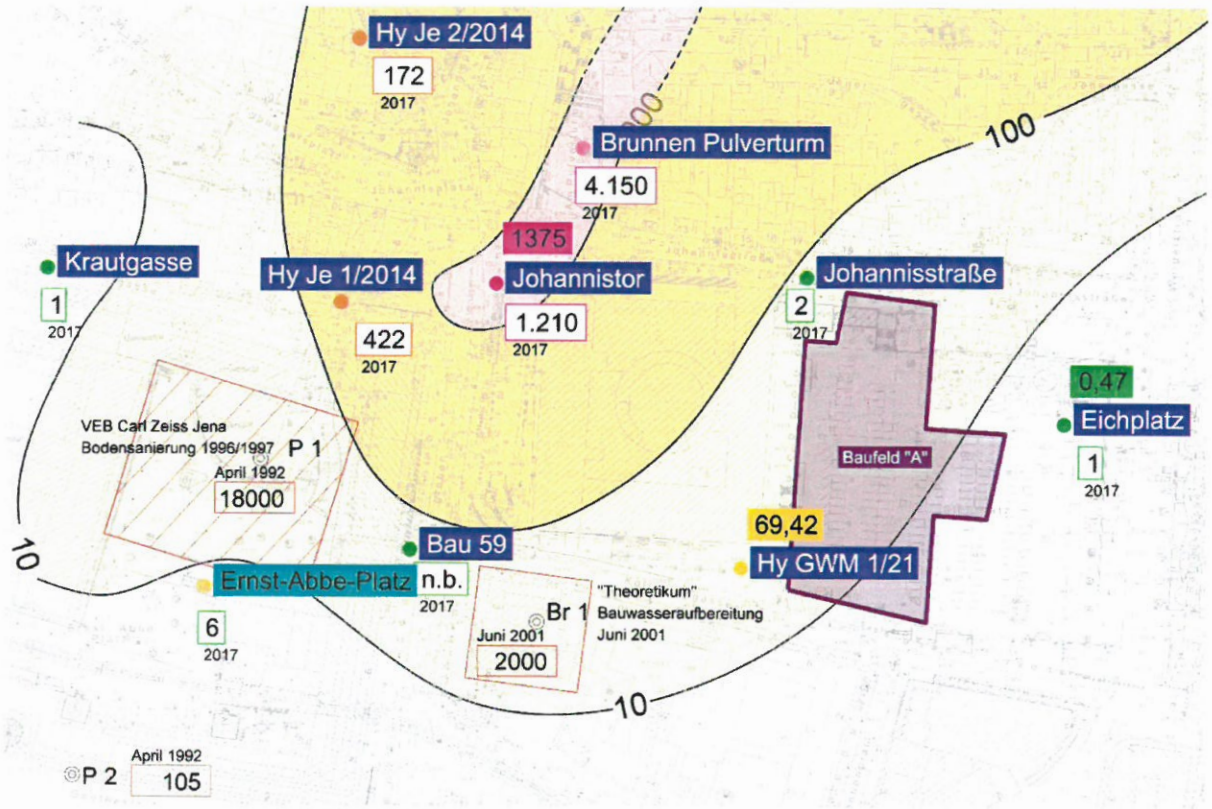

Abbildung 1 Verbreitung des LHKW-Schadens „Brunnen Pulverturm“, LHKW in µg/l; aktuelle Analysenwert vom Juni 2021 farblich hinterlegt, Altanalysen rot umrandet

Die aktuellen Analysen bestätigen die fortdauernde Belastung des Grundwassers mit LHKW und belegen, dass die Verbreitung der LHKW-Schadstofffahne bis in den Bereich des Baufeldes A reicht. Es handelt sich um einen mehrere Jahrzehnte alten Grundwasserschaden, der bereits einem intensiven mikrobiologischen Abbau unterliegt.

Die aktuelle LHKW-Konzentration in der im zentralen Bereich der Schadstofffahne gelegenen Messstelle Johannistor entspricht mit 1.375 µg/l der im Jahr 2017 in dieser Messstelle festgestellten Konzentration (1.210 µg/l). 54 % der Gesamtkonzentration entfallen auf die Abbauprodukte trans-Dichlorethen und cis-Dichlorethen. Die Konzentration des toxisch besonders relevanten Parameters Vinylchlorid liegt unter der Nachweisgrenze.

In der neu errichteten, im Buntsandstein ausgebauten, Messstelle GWM 1/21 wurde eine LHKW-Konzentration von 69,42 µg/l bestimmt. Entsprechend der weiteren Entfernung von der Emissionsquelle ist der mikrobiologische Abbau hier noch weiter vorangeschritten. Der Anteil der Abbauprodukte trans-Dichlorethen und cis-Dichlorethen beträgt 77%.

Auf der Grundlage des Analysenergebnisses der neu errichteten Messstelle GWM 1/21 (Summe LHKW 69 µg/l) ist definitiv davon auszugehen, dass bei der Grundwasserhaltung im Baufeld A LHKW-haltige Wässer anfallen. Die Rohwasserkonzentration wird voraussichtlich im Bereich von 100 µg/l bis 500 µg/l liegen.

Die genaue Lage der Quelle des Grundwasserschadens ist nicht bekannt. Sie lässt sich jedoch mit den bestehenden Grundwassermessstellen eingrenzen. Die höchsten Schadstoffkonzentrationen weist mit > 4.000 µg/l der Brunnen Pulverturm auf. Nach Westen lässt sich der Grundwasserschaden eindeutig mit den Messstellen Hy Je 1/2014 und Hy Je 2/2014 abgrenzen. Nach Süden ist die Abgrenzung unsicher. Wahrscheinlich reicht der Schaden bis zum Bau 59 (Betriebsgelände des ehemaliges VEB Carl Zeiss Jena). Hier wurden bei Sanierungsarbeiten im Jahr 1992 LHKW-Konzentrationen von 18.000 µg/l nachgewiesen. Die geringere LHKW-Konzentration der Messstelle Johannistor (1.375 µg/l) könnten auf deren geringe Tiefe und die Beeinflussung durch den Lockergesteinsgrundwasserleiter zurückzuführen sein.

Nach Osten kann der Grundwasserschaden mit der neu errichteten Messstelle Hy GWM 1/21 abgegrenzt werden.

Aussagen zur zeitlichen Entwicklung des Grundwasserschadens sind aufgrund der geringen Anzahl von Grundwasseranalysen nicht möglich. Die nachgewiesenen natürlichen Abbauprozesse können zu einer regressiven Entwicklung der Schadstofffahne führen. Aufgrund der Schadstoffkonzentrationen ist jedoch davon auszugehen, dass im Untergrund noch matrixgebundene LHKW-Phasen existieren. Diese stellen eine lösungs- bzw. desorptionslimitierte Langzeitquelle für das Grundwasser dar.

Die Defizite zur zeitlichen Entwicklung des Grundwasserschadens können nur durch ein mehrjähriges Monitoring der Grundwasserbeschaffenheit behoben werden, was jedoch nicht Aufgabe der STRABAG Real Estate GmbH ist.

3 Untersuchungskonzeption

Der geplante Betrieb der Bauwasserhaltung im Baufeld A führt zu einer Beeinflussung der räumlichen Konzentrationsentwicklung im angrenzenden LHKW Grundwasserschaden „Brunnen Pulverturm“. Aus gutachterlicher Sicht ist diese Beeinflussung nur temporär, da die für die Nachlieferung der LHKW verantwortlichen matrixgebundenen LHKW-Phasen von der Bauwasserhaltung in ihrer Lage nicht verändert werden. Unabhängig davon soll geprüft werden, ob auch bauzeitlich die Beeinflussung des LHKW Grundwasserschadens durch Errichtung und Betrieb anstromig des Baufeldes A im Schadenszentrum angeordneter Abwehrbrunnen minimiert werden kann.

Zur hydraulischen Modellierung der Abwehrbrunnen ist zunächst das bestehende Grundwassermodell insbesondere in nördliche und westliche Richtung zu erweitern.

Zielstellung der Modellierung ist die Prüfung ob und wenn ja mit welchen Fördermengen mit dem bestehenden Brunnen Pulverturm, gegebenenfalls in Ergänzung mit weiteren neu zu errichtenden Abwehrbrunnen, eine hydraulische Sicherung des LHKW-Schadens erfolgen kann.

Ausgehend vom bisher bekannten Schadensbild (Abbildung 1) waren die Abwehrbrunnen im zentralen Bereich des LHKW-Schadens anzuordnen.

4 Ergebnisse der Grundwassermodellierung

Im Rahmen der Gutachterlichen Stellungnahme Hydrogeologie [41] wurde mit der Software FEFLOW das Grundwasserströmungsmodell Eichplatz erstellt. Dieses wurde für die Modellierung der Abstromsicherung wesentlich in alle Richtungen erweitert (Abbildung 2). Es reicht jetzt vom Friedensberg im Westen bis zur Saale im Osten. Nach Norden wurde das Modell bis zum Fuß des Landgrafen erweitert. Der Magdelstieg und der alte Paradiesbahnhof bilden die südliche Begrenzung.

Netzverfeinerungen erfolgten im Umfeld des Eichplatzes sowie im Bereich des Saalewehres an der Paradiesbrücke.

Detaillierte Beschreibungen zum Grundwassermodell sind dem Bericht zur Hydrogeologie [41] zu entnehmen.

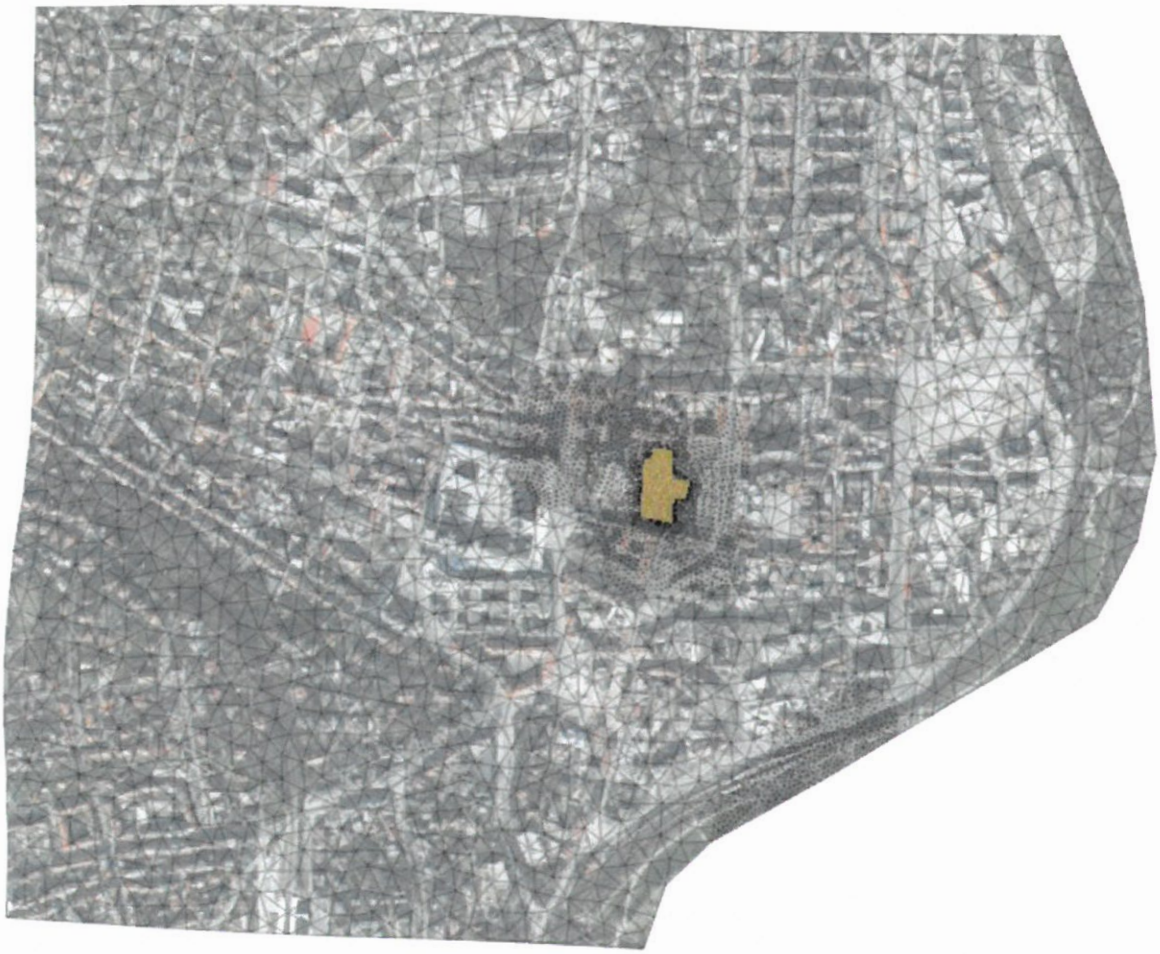

Abbildung 2 Modellnetz mit Darstellung des Baufeldes A

In Abbildung 3 ist der hydrodynamische Ausgangszustand des Grundwasserleiters Buntsandstein vor Inbetriebnahme von Wasserhaltungsmaßnahmen dargestellt. Das Grundwasser strömt mit einem hydraulischen Gradienten von 0,015 in östliche Richtung.

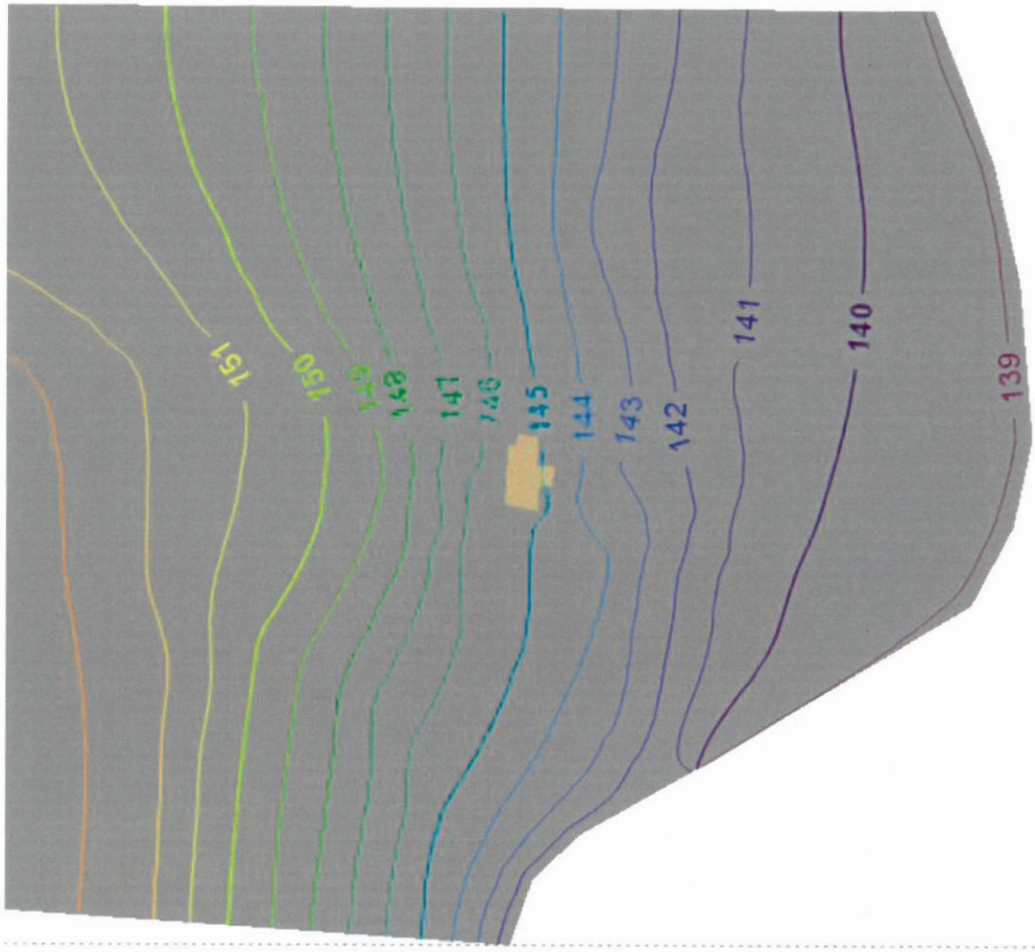

Abbildung 3 Grundwassergleichen Buntsandstein; Ausgangszustand ohne Wasserhaltung

4.1 Betrieb der Abwehrgalerie ausschließlich über den Brunnen Pulverturm

Zur hydraulischen Sicherung des LHKW-Schadens für den Zeitraum der Bauwasserhaltung ist im Brunnen Pulverturm eine permanente Förderung von mindestens 25 m³/h (600 m³/d) erforderlich.

Ab dieser Förderleistung verlagert sich die Wasserscheide zwischen dem Brunnen Pulverturm und dem Baufeld A soweit in östliche Richtung, dass eine hydraulische Sicherung des LHKW-Schadens (Ansatz zur Abgrenzung: ∑LHKW > 100 µg/l) erreicht wird.

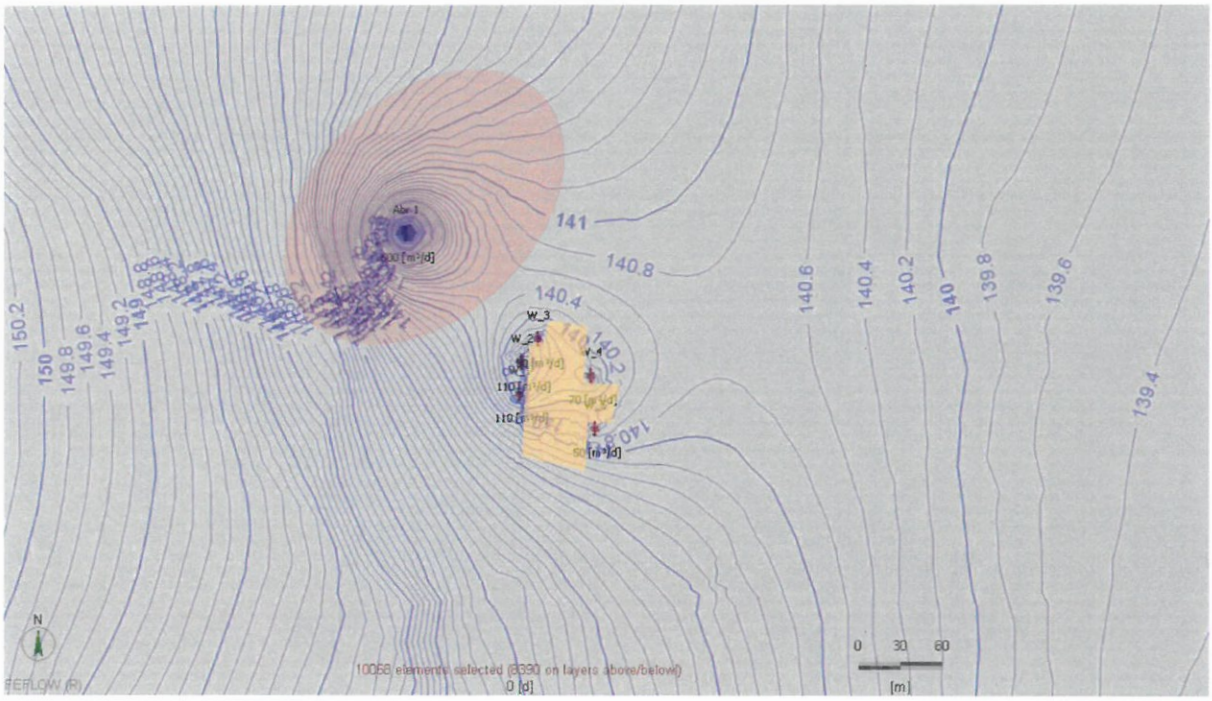

Abbildung 4 Grundwassergleichen Buntsandstein; Betrieb Brunnen Pulverturm mit 600 m³/d und gleichzeitige Bauwasserhaltung Baufeld A, Schadstofffahne rot

Da die räumliche Ausbildung des Absenktrichters wesentlich von den lokalen hydrogeologischen Verhältnissen (Klüftung, Mächtigkeit und fazielle Ausbildung der Zersatzzone, Wechselwirkung mit dem Lockergesteinsgrundwasserleiter) im Brunnenumfeld abhängen wird zur Verifizierung der Modellierungsergebnisse die Durchführung eines 72h-Leistungspumpversuches am Brunnen Pulverturm empfohlen.

Im Baufeld A würde der Betrieb des Brunnen Pulverturm zu einer etwas stärkeren Grundwasserabsenkung führen. Theoretisch könnte die Förderleistung der Bauwasserhaltung bei gleichzeitigem Betrieb des Brunnen Pulverturm um ca. 20 % reduziert werden.

Eine Bauwasserhaltung für das Baufeld A ausschließlich über den Brunnen Pulverturm ist nicht realisierbar.

4.2 Betrieb der Abwehrgalerie über zwei Abwehrbrunnen

Alternativ zum ausschließlichen Betrieb über den Abwehrbrunnen Pulverturm (Abr 1) bietet sich die Ergänzung um einen weiteren Brunnen an. Der zweite Brunnen (Abr 2) ist vorzugsweise 50 bis 70 m südsüdwestlich des Brunnen Pulverturm (im unmittelbaren Umfeld der Grundwassermessstelle Johannistor) einzurichten (Abbildung 5).

Abbildung 5 Brunnen Pulverturm (Abr 1) und Ansatzpunkt zweiter Abwehrbrunnen (Abr 2)

Die Modellierung mit zwei Abwehrbrunnen ergibt eine erforderliche Gesamtfördermenge von 25 m³/h. Die Verteilung der Förderung auf die Einzelbrunnen hat nur geringe Auswirkung auf die sich zwischen der Abwehrgalerie und der Bauwasserhaltung des Baufeldes A ausbildenden Wasserscheide. In Abbildung 6 und Abbildung 7 sind die Grundwassergleichen für die Varianten

- Abr 1: 10 m³/h (240 m³/d); Abr 2: 15 m³/h (360 m³/d)
- Abr 1: 15 m³/h (360 m³/d); Abr 2: 10 m³/h (240 m³/d)

dargestellt. Hier bietet sich die Möglichkeit der Anpassung der Förderleistung der Einzelbrunnen in Abhängigkeit von der Konzentrationsentwicklung im Rohwasser. Mit zwei Brunnen ist die hydraulische Sicherung des LHKW-Schadens sicher realisierbar.

Die Förderleistung der Bauwasserhaltung im Baufeld A kann bei gleichzeitigem Betrieb der Abwehrbrunnen theoretisch um ca. 20 % reduziert werden. Eine Bauwasserhaltung für das Baufeld A ausschließlich über die Abwehrbrunnen ist nicht realisierbar.

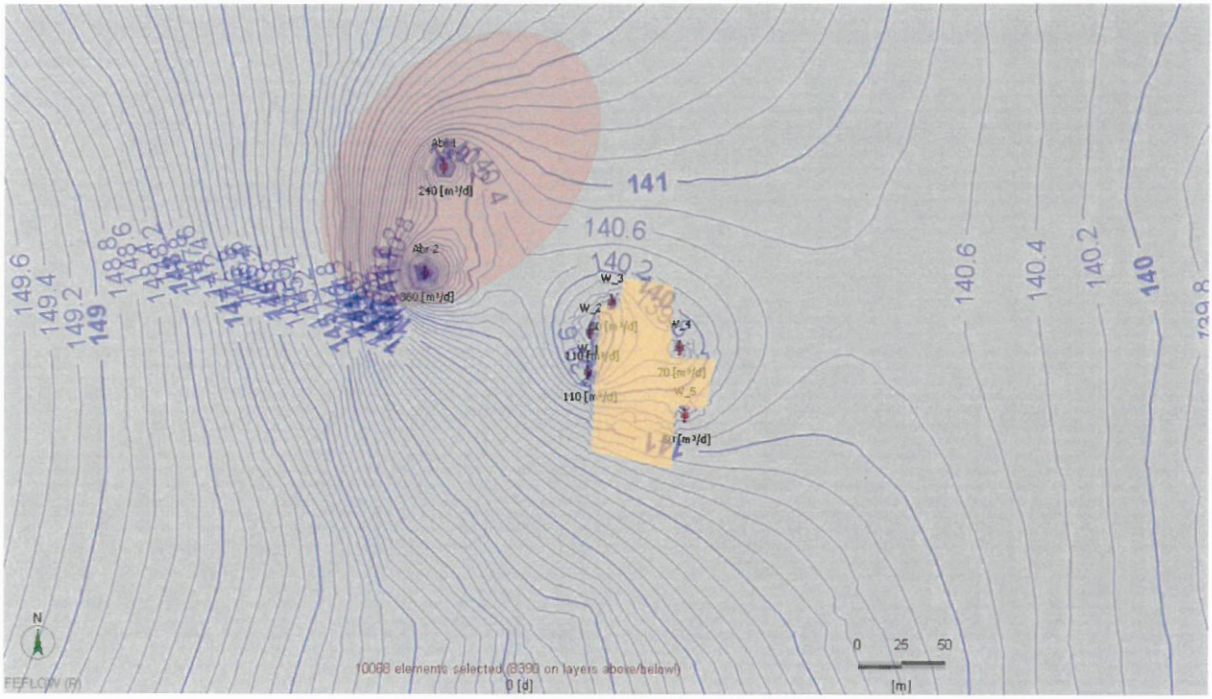

Abbildung 6 Grundwassergleichen Buntsandstein; Betrieb Abwehrbrunnen (Abr 1: 240 m³/d; Abr 2: 360 m³/d) und gleichzeitige Bauwasserhaltung

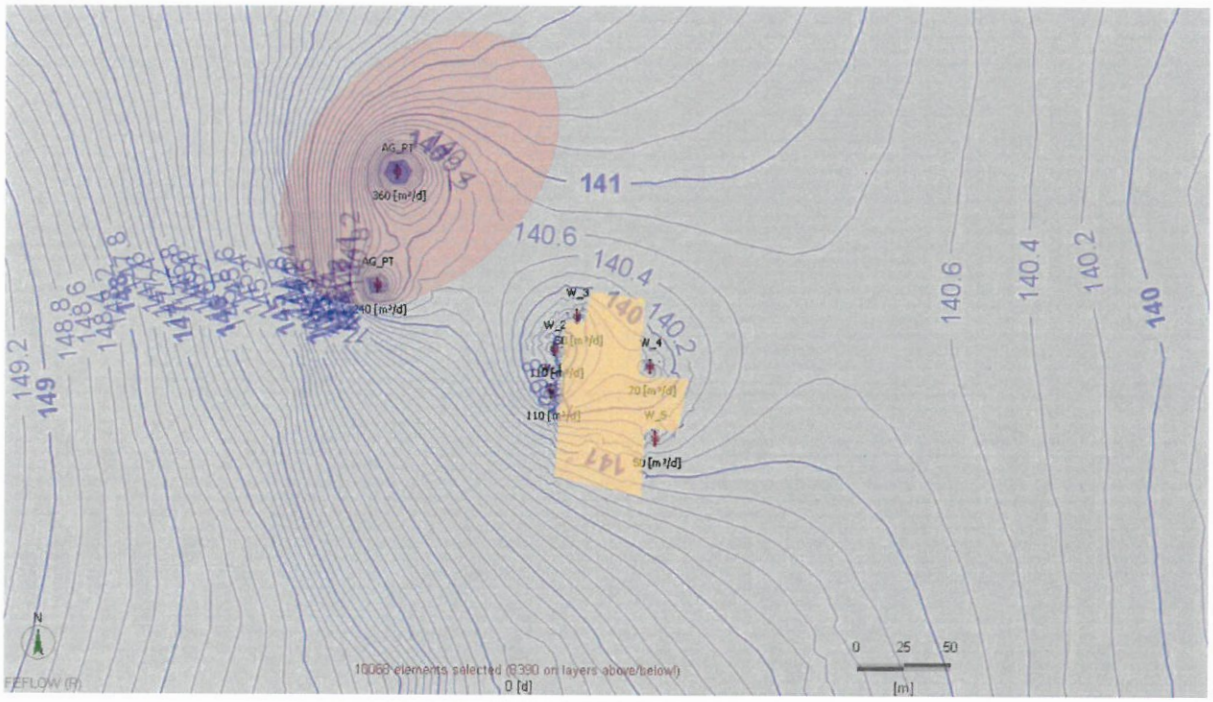

Abbildung 7 Grundwassergleichen Buntsandstein; Betrieb Abwehrbrunnen (Abr 1: 360 m³/d; Abr 2: 240 m³/d) und gleichzeitige Bauwasserhaltung

4.3 Betrieb der Abwehrgalerie über mehr als zwei Abwehrbrunnen

Der Betrieb der Abwehrgalerie über mehr als zwei Abwehrbrunnen wurde nicht weiter betrachtet, da die hydraulische Sicherung sowohl mit einem Brunnen als mit zwei Brunnen realisierbar ist.

Zudem ergeben sich aus der Bebauungssituation erhebliche Einschränkungen für die Neuerrichtung von Tiefbrunnen einschließlich deren Anbindung (Strom, Wasseraufbereitung, Abwasserleitung, MSR-Technik).

5 Auswirkungen der Grundwasserabsenkung

5.1 Beeinträchtigung der Umgebungsbebauung

Der Absenktrichter der/des Abwehrbrunnen/s reicht unter die angrenzende Bebauung. Im Bereich der nächstgelegenen Gebäude in der Johannisstraße ist mit einer Absenkung des Grundwasserstandes im Festgesteinsgrundwasserleiter von ca. 5 m zu rechnen. Die natürliche Schwankung des Grundwasserspiegels beträgt ca. 1,6 m.

Von Setzungen durch eine Grundwasserabsenkung im Rahmen von bauzeitlichen Wasserhaltungsmaßnahmen sind im Wesentlichen organische oder feinkörnige (Ton, Schluff), d. h. zusammendrückbare Böden betroffen ([40]). Im Untersuchungsgebiet wurden überwiegend Sande/Sandsteine und Kiese mit korngestütztem Gefüge erkundet. Feinkörnige Böden/Gesteine, die sich im Einflussbereich einer möglichen Grundwasserabsenkung befinden, treten nur untergeordnet auf. Im GW-Absenkungsniveau ist im Untersuchungsgebiet somit kaum mit Suffusions-/Zersetzungserscheinungen zu rechnen. Auftretende Setzungen an Nachbarbebauungen sollten infolge einer Grundwasserabsenkung daher einen Betrag von 1 cm nicht überschreiten. Nennenswerte Setzungsdifferenzen sind voraussichtlich ebenso nicht zu erwarten.

Hinzuweisen ist auf Setzungserscheinungen im Bereich des ca. 40 m nördlich des Brunnen Pulverturm gelegenen Pulverturms. Der Pulverturm neigte sich über Jahrzehnte kontinuierlich in Richtung des Fürstengrabens. Im Jahr 2011 konnte die Schiefstellung durch Kleinbohrpfähle gestoppt werden. Ein Zusammenhang mit dem Betrieb des Brunnen Pulverturm (Intervallbetrieb) wurde nach unserer Kenntnis nicht gesehen. Diesbezüglich könnte sich jedoch noch Diskussionsbedarf ergeben.

Als Grundlage für eine abschließende Bewertung möglicher Auswirkungen auf die Umgebungsbebauung wird die Durchführung eines Pumpversuches mit Ermittlung der tatsächlichen Reichweite und der Absenkungsbeträge im Fest- und Lockergestein empfohlen.

5.2 Beeinträchtigung der Vitalität und Gesundheit von Bäumen

Die Wasserhaltung der Abwehrbrunnen im Buntsandstein kann indirekt auch zu einer lokalen Absenkung des Wasserspiegels im Lockergesteinsgrundwasserleiter führen. Die tatsächliche Reichweite der hydraulischen Auswirkungen kann mit einem Pumpversuch ermittelt werden. In den Bereichen in denen die Absenkung mehr als 0,5 m beträgt kann es zur Beeinträchtigung der Vitalität und Gesundheit der Bäume kommen, wenn die Wasserhaltung in der Vegetationsphase mehr als einen Monat andauert[1]. Im Umfeld der Abwehrbrunnen könnten davon folgende Bäume betroffen sein:

- Leutragraben und Johannesplatz
- Umfeld des Pulverturms

Zur Verhinderung bzw. Begrenzung von Schäden an den Bäumen ist eine Bewässerung der Bäume zu empfehlen. Details sind in der RAS-LP 4 geregelt.

[1] Richtlinien für die Anlage von Straßen Teil: Landschaftspflege Abschnitt 4: Schutz von Bäumen, Vegetationsbeständen und Tieren bei Baumaßnahmen

RAS-LP 4 (Ausgabe 1999)

6 Empfehlungen

6.1 Leistungspumpversuch Brunnen Pulverturm

6.1.1 Zielstellung

- Verifizierung der Modellierungsergebnisse, insbesondere hinsichtlich der Reichweite des Absenkungstrichters in Abhängigkeit von der Fördermenge
- Prüfung der Funktions- und Leistungsfähigkeit des Brunnen Pulverturm
- Prognose der zeitlichen Entwicklung der Rohwasserbeschaffenheit

6.1.2 Konzeption des Pumpversuches

• Förderbrunnen:	- Brunnen Pulverturm
• Beobachtungsmessstellen:	- Hy Je 1/2014 - Hy Je 2/2014 - Hy Je 3/2014 - Eichplatz - Hy GWM 1/20 - Johannistor
Dauer des Pumpversuches	- 72 h
Leistungsstufen	- Phase 1 (24 h): 10 m³/h - Phase 2 (24 h): 20 m³/h - Phase 3 (24 h): 30 m³/h
Rohwasserbeprobung aus laufendem Förderstrom + Analytik auf LHKW	- Probe 1 nach 1 h - Probe 2 nach 3 h - Probe 3 nach 9 h - Probe 4 nach 24 h - Probe 5 nach 36 h - Probe 6 nach 48 h - Probe 7 nach 60 h - Probe 8 nach 72 h
Gesamtwassermenge	- 1.440 m³
Rohwasserkonzentration (LHKW)	- 5.000 µg/l
Masse LHKW	- 7 kg
Wasseraktivkohle für Wasseraufbereitung	- 1 t

6.1.3 Erforderliche vorbereitende Arbeiten

- Vorabstimmung mit Unterer Wasserbehörde, Brunneneigentümer und Brunnenbetreiber
- Wer betreibt den Brunnen im Versuchszeitraum?
- Kann der Pumpversuch mit der im Brunnen befindlichen Pumpe realisiert werden?
- Welche Kapazität hat die an den Brunnen angeschlossene Abwasserleitung?
- Welche Anforderungen werden an die Wasseraufbereitungsanlage (WBA) gestellt?
- Welche Umbaumaßnahmen sind zur Zwischenschaltung einer WBA erforderlich?
- Standplatz und Medienanschluss für WBA
- Wasserrechtliche Genehmigung des Pumpversuches
- Erforderliche Sondergenehmigungen (z.B. Verkehrsraumnutzung)

6.1.4 Kosten

In Abhängigkeit von der Nutzbarkeit vorhandener Technik, dem Aufwand erforderlicher Umbauarbeiten und den Anforderungen an die WBA werden die Kosten für den 72 h Leistungspumpversuch incl. fachtechnischer Begleitung auf netto **20.000 € bis 40.000 €** geschätzt.

6.2 Konzeption und Planung der Abwehrgalerie

Auf der Grundlage der Ergebnisse des Leistungspumpversuches ist eine Konzeption der Abwehrgalerie einschließlich Kostenschätzung zu erstellen.

Nach entsprechender Abstimmung mit Auftraggeber, Grundstückseigentümern, Brunnenbetreiber und Genehmigungsbehörden schließt sich die Anlagenplanung entsprechend den Leistungsphasen der HOAI an.

7 Zusammenfassung

- Bei der Bauwasserhaltung im Baufeld A ohne zusätzliche Abwehrbrunnen kommt es zu einer zeitlich begrenzten **Verlagerung der vom Grundwasserschaden „Brunnen Pulverturm“** ausgehenden LHKW Schadstofffahne, die sich nach Abschaltung der Brunnen wieder zurückbilden wird.
- Durch Betrieb des Bestandsbrunnen Pulverturm als Abwehrbrunnen kann ein Absenkungstrichter realisiert werden, der den zentralen Bereich des LHKW-Schadens (LHKW-Konzentration > 100 µg/l) vollständig erfasst und damit in der Betriebsphase der Bauwasserhaltung im Baufeld A eine Verlagerung des LHKW-Grundwasserschadens verhindert.
- Zur Sicherung des LHKW-Schadens ist eine permanente Förderleistung von 25 m³/h im Brunnen Pulverturm erforderlich.
- Das geförderte Rohwasser erfordert aufgrund seiner sehr hohen LHKW-Konzentration (ca. 5.000 µg/l) eine spezielle Wasseraufbereitungsanlage (z.B. Kombination von Strippanlage und Luftaktivkohlefilter bzw. katalytische Oxidation) die sich von der geplanten Aufbereitungstechnologie der Bauwasserhaltung im Baufeld A (Wasseraktivkohle) unterscheidet.
- Die Modellierungsergebnisse sind durch einen 72 h Pumpversuch am Brunnen Pulverturm zu verifizieren. Der Pumpversuch dient auch der Überprüfung der Leistungsfähigkeit und des Zustandes des Brunnens.
- Bei unzureichender Leistungsfähigkeit des Brunnen Pulverturm besteht die Möglichkeit die Sicherung alternativ über zwei Brunnen zu realisieren. Dazu müsste ca. 60 m südsüdwestlich des Brunnen Pulverturm ein neuer Brunnen mit einer Tiefe von ca. 40 m errichtet werden. Zur Schadenssicherung wäre auch in diesem Fall eine Gesamtförderung von ca. 25 m³/h erforderlich, wobei die Verteilung der Förderraten auf die Einzelbrunnen (z.B. 10 m³/h und 15 m³/h) in Abhängigkeit von den hydrodynamischen Randbedingungen, der Entwicklung des Grundwasserschadens und der Wechselwirkung mit der Bauwasserhaltung angepasst werden könnte.
- Unabhängig von der Betriebsweise der Abwehrbrunnen ist bei der Bauwasserhaltung des im Randbereich der LHKW-Schadstofffahne gelegenen Baufeldes A mit erhöhten LHKW-Konzentrationen (10 bis 100 µg/l) zu rechnen, die eine Aufbereitung des geförderten Wassers erforderlich machen. Langfristig führt der parallele Betrieb der Abwehrbrunnen zu einem Rückgang der LHKW-Konzentration im Rohwasser der Bauwasserhaltung.
- Die Entwicklung der Rohwasserkonzentration der/des Abwehrbrunnen/s ist abhängig vom nicht abschätzbaren Nachlieferungspotenzial der im Grundwasserleiter enthaltenden LHKW-Phasen und von der (nicht exakt bekannten) Lage der Schadstoffquelle. Im Ergebnis vorliegender Altanalysen ist von einer Rohwasserkonzentration von ca. 5.000 µg/l auszugehen. Anhaltspunkte für den zu

erwartenden Trend der Entwicklung der Rohwasserkonzentration könnten Beprobungen im Rahmen eines Pumpversuches liefern.

- Der Betrieb der/des Abwehrbrunnen/s reduziert die zur Bauwasserhaltung erforderliche Grundwasserförderung im Baufeld A um ca. 20 %. Eine Bauwasserhaltung des Baufeldes A allein über den/die 100 m entfernt gelegenen Abwehrbrunnen ist nicht realisierbar.

Aufgrund der bestehenden Kenntnisdefizite zur Schadensquelle des LHKW-Schadens Pulverturm (exakte Lage, Quellstärke), den damit verbundenen Risiken eines Eingriffes im unmittelbaren Schadensbereich, den nicht unerheblichen zusätzlich erforderlichen Betrachtungen bzgl. Risikoabschätzung/Beweissicherung der Auswirkung des Absenktrichters auf die unmittelbar angrenzende z.T. historische Bebauung, und den enormen Aufwendungen für die Wasseraufbereitung und Wasserableitung erscheint das Verhältnis zwischen Aufwand und Nutzen des Betriebes einer baubegleitenden Abwehrgalerie zur Verhinderung einer temporären Schadstoffverlagerung, welche sich nach Abschluss der Bauwasserhaltung wieder in den ursprünglichen Zustand zurückbilden wird, als unverhältnismäßig, so dass eine Umsetzung der Abwehrbrunnenanlage nicht empfohlen werden kann.