

Auftraggeber:

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



Objekt:

JENA Eichplatz Baufeld A

Projekt:

Gutachterliche Stellungnahme Hydrogeologie

Projektnummer:

8035.1

Auftragnehmer:

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

Bearbeiter:

Dipl.-Geol. J. Schmidt
M. Sc. Umwelt Ing. T. Männel
Dipl.-Geol. S. Richling

Jena, 10.06.2021

J. Schmidt
Geschäftsführer

S. Richling
Bearbeiter



Inhaltsverzeichnis

Tabellenverzeichnis	3
Abbildungsverzeichnis	3
Anlagenverzeichnis.....	4
Verwendete Unterlagen	5
1 Veranlassung, Aufgabenstellung und Zielsetzung	8
2 Standortrelevante Grundwasserleiter	9
2.1 Lockergesteinsgrundwasserleiter Leutraschotter.....	9
2.2 Festgesteinsgrundwasserleiter Chirotheriensandstein	9
3 Grundwassermessnetz.....	10
4 Hydrodynamik	12
4.1 Lockergesteinsgrundwasserleiter Leutraschotter.....	12
4.2 Festgesteinsgrundwasserleiter Buntsandstein	12
4.3 Anthropogene Beeinflussung der hydrodynamischen Verhältnisse	13
4.4 Beeinflussung des Grundwasserstandes durch Hochwasserereignisse	14
4.5 Bemessungswasserstand	15
4.6 Hydrogeologische Kennwerte.....	16
5 Grundwasserbeschaffenheit.....	17
5.1 Beurteilung betonangreifender Wässer nach DIN 4030-1.....	17
5.1.1 Lockergesteinsgrundwasserleiter Leutraschotter	17
5.1.2 Festgesteinsgrundwasserleiter Buntsandstein.....	18
5.2 Schadstoffbelastung des Grundwassers mit LHKW	19
5.3 Sonstige Parameter	21
6 Grundwassermodellierung zur Bauwasserhaltung.....	22
6.1 Grundwassermodell	22
6.2 Modellierung der Bauwasserhaltung	23
6.3 Auswirkungen der Grundwasserhaltung auf das weitere Umfeld.....	25
7 Bleibender Einfluss des Bauwerkes auf das Grundwasser	26
7.1 Vorbemerkung	26
7.2 Hydrodynamische und bautechnische Randbedingungen	26
7.2.1 Durchlässigkeitsbeiwert.....	26
7.2.2 Hydraulischer Gradient.....	27
7.2.3 Grundwasserfließrichtung, Anströmrichtung	28
7.2.4 Grundwasserflurabstand	29
7.2.5 Geometrie des geplanten Baukörpers	29
7.2.6 Mächtigkeit des Grundwasserleiters	29
7.3 Hydraulische Berechnung des Aufstaus.....	30
7.3.1 Maximaler Aufstau nach SCHNEIDER.....	30
7.3.2 Ausschließliche Umströmung	30
7.3.3 Ausschließliche Unterströmung	32
7.3.4 Resultierende Grundwasserbeeinflussung	34

7.4	Bewertung der Berechnungsergebnisse.....	34
8	Empfehlungen zur Bauausführung	35
8.1	Baugrubenumschließung	35
8.2	Bauwasserhaltung.....	35
8.3	Bauwasseraufbereitung.....	35
8.4	Betonarbeiten.....	36
8.5	Bemessungswasserstand	36
8.6	Kompensationsmaßnahmen zur Aufstau­reduzierung	36
9	Weiterer Untersuchungsbedarf.....	37
9.1	Grundwasserbeschaffenheit.....	Fehler! Textmarke nicht definiert.
9.2	Hydrodynamik	37

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1	Ergebnisse der Stichtagsmessungen vom 09.04.2021 und 07.05.2021	10
Tabelle 2	Bauwerke, die die Grundwasserdynamik beeinflussen	13
Tabelle 3	Hydrogeologische Kennwerte	16
Tabelle 4	Grundwasseranalysen Leutraschotter (Altanalysen)	17
Tabelle 5	Grundwasseranalysen Buntsandstein (Analysen Juni 2021).....	18
Tabelle 6	Grundwasseranalysen Buntsandstein (Altanalysen)	18
Tabelle 7	LHKW-Analyse Bauwasserhaltung Theoretikum vom 13.06.2001 [3].....	20
Tabelle 8	LHKW-Analyse der Beprobung im Umfeld des Baufeldes A vom Juni 2021.....	20
Tabelle 9	Berechnungsansatz maximaler Aufstau nach Schneider.....	30
Tabelle 10	Berechnungsansatz „Ausschließliche Umströmung“	31
Tabelle 11	Ergebnisse Aufstau bei ausschließlicher Umströmung für ausgewählte Punkte	31
Tabelle 12	Berechnungsansatz „Ausschließliche Unterströmung“	33
Tabelle 13	Ergebnisse Aufstau bei ausschließlicher Unterströmung.....	33
Tabelle 14	Resultierende Grundwasserbeeinflussung	34

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1	Grundwasserstände zum Jahrhunderthochwasser der Saale	14
Abbildung 2	Ganglinie Messstelle Johannisstraße.....	15

Abbildung 3	Verbreitung des LHKW-Schadens „Brunnen Pulverturm“, LHKW in $\mu\text{g/l}$; aktuelle Analysenwert vom Juni 2021 farblich hinterlegt, Altanalysen rot umrandet	19
Abbildung 4	Planung Baugrubensohle; Planungsstand 16.04.2021	23
Abbildung 5	Entwicklung des hydraulischen Gradienten im Zeitraum 2005 bis 2010 im hydrogeologischen Dreieck der Messstellen „McDonald“, „Johannisstraße“ und „Holzmarkt“	27
Abbildung 6	Entwicklung der Grundwasserfließrichtung im Zeitraum 2005 bis 2010 im hydrogeologischen Dreieck der Messstellen „McDonald“, „Johannisstraße“ und „Holzmarkt“	28

Anlagenverzeichnis

Anlage 1	Grundwassermessnetz
Anlage 2	Grundwasserisohypsen Lockergestein Leutraschotter
Anlage 3	Grundwasserisohypsen Festgestein Buntsandstein
Anlage 4	Grundwassermodell – Istzustand ohne Förderung
Anlage 5	Grundwassermodell – Variante 1: Brunnen außen, 16,3 m^3/h
Anlage 6	Grundwassermodell – Variante 2: Brunnen innen, 15,0 m^3/h

Verwendete Unterlagen

- [1] Smolczyk & 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] Smolczyk & 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] Smolczyk & Partner GmbH (1994): 94134 Jena, Carl-Zeiss-Platz 1: Wohn- und Geschäftshaus Erläuterung zum Antrag auf wasserrechtliche Erlaubnis. Stuttgart 21.11.1994
- [15] Smolczyk & 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, S.289-298
- [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 abschnittswisen 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 Iena 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

1 **Veranlassung, Aufgabenstellung und Zielsetzung**

Mit Schreiben vom 18.03.2021 wurde die JENA-GEOS®-Ingenieurbüro GmbH von der STRABAG Real Estate GmbH mit der Erbringung von Planungs-, Beratungs- und Gutachterleistungen zu den Themen Baugrund, Altlasten und Hydrologie im Vorfeld der Entwicklung des Projektes „Eichplatz Areal, Baufeld A“ beauftragt.

Vorliegendes Dokument beinhaltet die gutachterliche Stellungnahme zum Thema Hydrogeologie im Bereich des geplanten Baufeldes A auf Grundlage aller zur Verfügung stehenden Unterlagen und Informationen zum Bewertungsstichtag 10.06.2021.

2 Standortrelevante Grundwasserleiter

Für den Bereich des Eichplatzes sind folgende zwei Grundwasserleiter relevant:

- Lockergesteinsgrundwasserleiter Leutraschotter
- Festgesteinsgrundwasserleiter Buntsandstein

2.1 Lockergesteinsgrundwasserleiter Leutraschotter

Im Bereich des Baufeldes A beschränkt sich die Verbreitung der Leutraschotter auf den westlichen und nördlichen Randbereich. Lokal können sie eine Mächtigkeit bis 2,5 m aufweisen. Es handelt sich um grobsandige zum Teil auch schluffige Fein- bis Mittelkiese. In Teilbereichen wurde die Mächtigkeit der Leutraschotter durch Tiefbaumaßnahmen in der Mächtigkeit reduziert bzw. vollständig entfernt (z.B. Jentower).

2.2 Festgesteinsgrundwasserleiter Chirotheriensandstein

Der Buntsandstein bildet den standortrelevanten Hauptgrundwasserleiter. Es handelt sich um einen im Untersuchungsgebiet flächendeckend verbreiteten Kluftgrundwasserleiter.

Die Grundwasserführung des Sandsteins ist fast ausschließlich an größere und kleinere Klüfte sowie offene Schichtenfugen gebunden. Ein hydraulisch wirksames und großflächig zusammenhängendes Porenvolumen ist nur vereinzelt anzunehmen. Die in die vorwiegend mäßig geklüfteten Sandsteinserien eingeschalteten Ton- bzw. Schluffsteinbänke können in Abhängigkeit vom Verwitterungsgrad lokal als Zwischenstauer wirken.

3 Grundwassermessnetz

Am 04.03.2021 erfolgte eine Befahrung und Eignungsprüfung der verfügbaren Grundwassermessstellen im Umfeld des Eichplatzes einschließlich der neu errichteten Messstelle GWM 1/21 stehen insgesamt 15 Grundwassermessstellen zur Verfügung. Alle Messstellen sind frei zugänglich und für die Wasserstandserfassung geeignet. In Anlage 1 ist das Grundwassermessnetz einschließlich der installierten Datenlogger sowie die Lage der neu Grundwassermessstelle GWM 1/21 dargestellt.

In der nachfolgenden Tabelle sind die Ergebnisse der Stichtagsmessung des Grundwasserstandes vom 09.04.2021 und 07.05.2021 zusammengestellt:

Tabelle 1 Ergebnisse der Stichtagsmessungen vom 09.04.2021 und 07.05.2021

Messstelle	Messpunkt-Höhe mNHN	Teufe in m	Grundwasserleiter	Wsp. 09.04.2021 mNHN	Wsp. 07.05.2021 mNHN
Eichplatz GWM 1/2010	149.08	15.9	Buntsandstein	145.11	145.01
BR Markt	146.98	6.9	Buntsandstein	143.10	143.03
City Carré	148.16	5.9	Leutraschotter	143.59	143.66
Holzmarkt	148.73	4.8	Leutraschotter	144.57	144.58
Teichgraben	149.36	5.4	Leutraschotter	145.80	145.80
Bau 59	152.49	6.0	Leutraschotter	147.84	147.97
Carl-Zeiss-Str.	153.88	6.0	Leutraschotter	150.02	150.01
Bachstraße	155.22	5.6	Leutraschotter	152.38	152.36
Krautgasse	154.12	5.5	Leutraschotter	149.68	149.72
Hy Je 1/2014	154.25	31.1	Buntsandstein	146.21	146.19
Johannistor	154.66	14.9	Buntsandstein/ Leutraschotter	146.77	146.72
Hy Je 2/2014	161.80	31.3	Buntsandstein	146.52	146.46
Hy Je 3/2014	167.70	42.7	Buntsandstein	145.99	145.92
Johannisstraße	152.56	7.0	Leutraschotter	146.76	146.69
GWM 1/2021	149.52		Buntsandstein		145.73

Die grundwasserleiterübergreifend verfilterte Messstelle Johannistor erfasst einen Mischwasserstand zwischen Leutraschotter und Buntsandstein. Der Messwert ist in den Anlagen 2 und 3 mit angegeben, wurde jedoch nicht in die Konstruktion der Grundwasserisohypsen einbezogen.

In den Messstellen **Eichplatz (GWM 1/10)** und der neu errichteten Messstelle **GWM 1/21** wurden am 09.04.2021 bzw. 10.05.2021 durch JENA-GEOS® **Datenlogger zur automatischen Erfassung des Grundwasserstandes installiert.**

In den Messstellen Hy Je 1/2014, Hy Je 2/2014 und Hy Je 3/2014 befinden sich Datenlogger der Unteren Wasserbehörde der Stadt Jena.

Als Grundlage für die hydrogeologische Beweissicherung wird empfohlen beginnend im Sommer 2021 folgende Messstellen mit Datenlogger auszurüsten und die Wasserstandsentwicklung kontinuierlich sowohl vorlaufend als auch baubegleitend zu erfassen:

- Eichplatz (GWM 1/10)
- GWM 1/21
- Johannistor
- Johannisstraße

Weiterhin sollte halbjährlich eine Stichtagsmessung der Wasserstände der 15 in Tabelle 1 aufgeführten Messstellen durchgeführt werden.

4 Hydrodynamik

4.1 Lockergesteinsgrundwasserleiter Leutraschotter

Die Leutraschotter weisen im Bereich des Baufeldes A nur eine temporäre Grundwasserführung auf. Große Bedeutung besitzen die Leutraschotter im weiteren Umfeld. Verwiesen sei hier auf die in der Tiefgarage der Goethegalerie erforderliche Wasserhaltung von durchschnittlich 20 m³/h. Die Wasserführung der Leutraschotter wird maßgeblich durch folgende Faktoren bestimmt:

- Niederschläge/Grundwasserneubildung
- Wasserstand der Leutra
- Wasserhaltungsmaßnahmen
- Wechselwirkung mit dem unterlagernden Festgesteinsgrundwasserleiter

Die Leutraschotter stehen in hydraulischer Verbindung mit dem unterlagernden Buntsandstein und bewirken bei Hochwasser der Leutra eine entsprechende Speisung des Festgesteinsgrundwasserleiters. Bedingt durch die niveaugesteuerten hydraulischen Maßnahmen an den anstromig gelegenen Gebäuden werden Grundwasserstandsschwankungen stark gedämpft. Generell weisen die Leutraschotter im Untersuchungsgebiet eine östliche Grundwasserfließrichtung auf.

Im Stadtgebiet existierten früher zahlreiche, künstlich angelegte, von der Leutra gespeiste Gräben. Die Verfüllung der Gräben erfolgte im 18. und 19. Jahrhundert. Wurde als Verfüllmaterial grobkörniges Material (Bauschutt, Kies, Muschelkalkschutt) verwendet, können sie durch die erhöhte Wasserwegsamkeit lokal die Hydrodynamik beeinflussen.

Die Stichtagsmessung vom 07.05.2021 (Tabelle 1) ergibt für das Untersuchungsgebiet eine ost-südöstliche Fließrichtung und einen hydraulischen Gradienten (Grundwassergefälle) von 0,015. Die Grundwasserisohypsen sind in Anlage 2 dargestellt.

4.2 Festgesteinsgrundwasserleiter Buntsandstein

Der Festgesteinsgrundwasserleiter weist im Untersuchungsgebiet eine ost-südöstliche Grundwasserfließrichtung auf (Anlage 3). In Bereichen mit hydraulischen Verbindungen zum Lockergesteinsgrundwasserleiter kann es in Abhängigkeit von der Wasserführung temporär zu abweichenden Fließrichtungen (Südost bis Nord) kommen. Der hydraulische Gradient (Grundwassergefälle) beträgt 0,015.

In Auswertung der historischen und der aktuellen Wasserstandsmessungen ist von folgenden Grundwasserständen im Bereich des Baufeldes A auszugehen:

- | | |
|-------------------------------|------------|
| • Maximaler Grundwasserstand | 147,2 mNHN |
| • Mittlerer Grundwasserstand: | 146,4 mNHN |
| • Minimaler Grundwasserstand: | 145,5 mNHN |

4.3 Anthropogene Beeinflussung der hydrodynamischen Verhältnisse

Die ursprüngliche natürliche Hydrodynamik wurde durch bis in das Grundwasser reichende Tiefbauten nachhaltig verändert. Folgende Bauwerke führten zu einer signifikanten Beeinflussung der hydrodynamischen Verhältnisse im Umfeld des Eichplatzes:

- Tiefgarage Goethegalerie
- Tiefgarage des Campusgeländes
- Tiefgarage JENA-Mitte
- Tiefgarage Theoretikum
- Tiefgarage C&A und City Carré

Tabelle 2 Bauwerke, die die Grundwasserdynamik beeinflussen

Bauwerk Infoquelle	Art der hydraulischen Maßnahme	Bemessungs- wasserstand	Monitoring
Institutsgebäude FSU/FH mit Jenoptik Tiefgarage [1]	Pfahlfenster, Dränagerohre permanente niveaugesteuerte Wasserhaltung mittels Pumpen in zentralem Pumpensumpf durchschnittlich geförderte Wassermenge: 0,6 m³/h	nördlicher Teil: 150,0 mNN südlicher Teil: 149,2 mNN	monatliche Messung der Messstellen: • Leutrageraben • Krautgasse • Carl-Zeiss-Str.
Anatomie Befahrung 9.9.2010	temporäre niveaugesteuerte Wasserhaltung über in den Kellerboden eingelassene Pumpenschächte zur Trockenhaltung der Keller	kein Bemessungs- wasserstand	keine Dokumentation von Fördermengen und Wasserständen
Theoretikum [3], [4]; [5]	Wandsicker, Planumsdrainage keine aktive Wasserhaltung	148,20 mNN	
Jentower [16], [18], [21], [22], [27]	keine aktive Wasserhaltung, Tiefgarage JENA-Mitte bindet nur gering in Grundwasser ein, Bauausführung gewährleistet Um- bzw. Unterströmung	148,74 mNN	
Goethe-Galerie [1], [6], [15]	Weißer Wanne, Sicherung des Bemessungswasserstandes durch Drainage, anfallendes Wasser wird über drei Pumpen in Vorfluter gefördert. durchschnittliche Gesamt- fördermenge: 19,6 m³/h	149,5 mNN	jährliche Ablesung Pumpenlaufzeit und Pumpenförderung
C&A / City Carré	keine aktive Wasserhaltung		

4.4 Beeinflussung des Grundwasserstandes durch Hochwasserereignisse

Extreme Niederschläge und das **Jahrhunderthochwasser der Saale** haben im **Juni 2013** innerhalb von wenigen Tagen im Bereich des Eichplatzes zu einem Anstieg des Grundwasserspiegels um ca. 0,5 m geführt. In der 20 m anstromig des geplanten Baufeldes gelegenen Messstelle Johannesstraße stieg der Grundwasserspiegel kurzzeitig bis 147,24 mNHN und bestätigte damit den für das Baufeld im Jahr 2010 abgeleiteten Bemessungswasserstand von 147,2 mNHN (Abschnitt 4.5). In der unmittelbar abstromig des Baufeldes gelegenen Messstelle Eichplatz lag der Höchstwasserstand bei 145,67 mNHN.

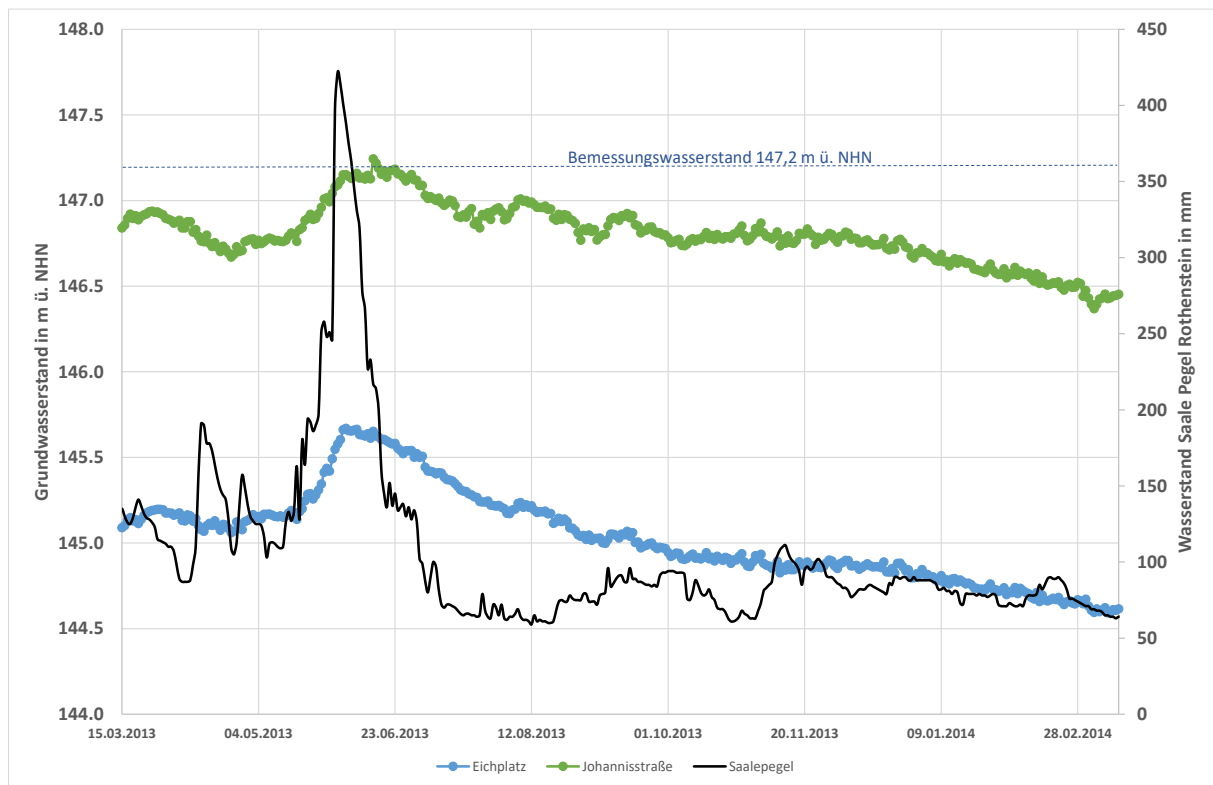


Abbildung 1 Grundwasserstände zum Jahrhunderthochwasser der Saale im Jahr 2013

4.5 Bemessungswasserstand

Zur Ableitung des Bemessungswasserstandes wird die Ganglinie der an der Nordwestecke des Eichplatzes gelegenen Messstelle Johannesstraße herangezogen (Abbildung 2). Aufgrund Ihrer anstromigen Lage ist diese Messstelle repräsentativ zur Ableitung von Bemessungswasserständen für den Eichplatz geeignet.

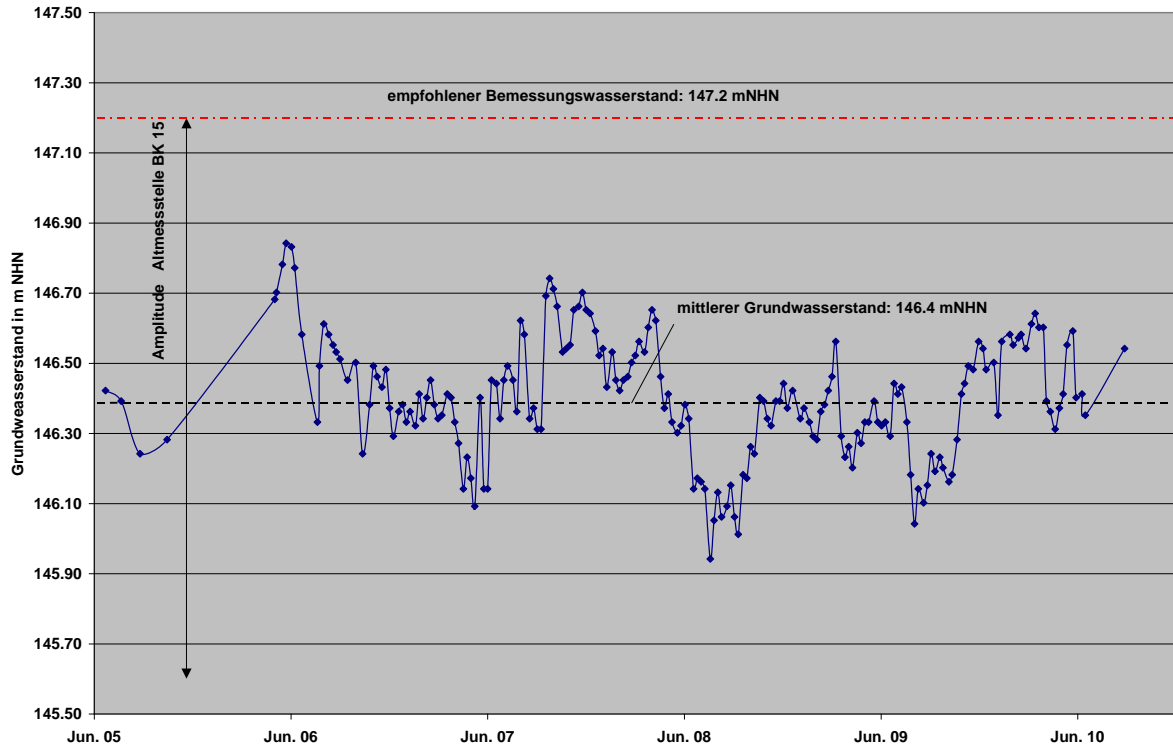


Abbildung 2 Ganglinie Messstelle Johannesstraße

Die Messstelle Johannesstraße wurde im Jahr 2005 als Ersatz für die ca. 30 m westlich gelegene Altmessstelle BK 15 (Baujahr 2001) errichtet. Sie weist im Zeitraum 2005 bis 2010 einen mittleren Grundwasserstand von 146,40 mNHN und einen maximalen Grundwasserstand von 146,84 mNHN auf. Die Werte der Altmessstelle BK 15 sind aufgrund der abweichenden Lage nicht direkt mit der neuen Messstelle Johannesstraße zu vergleichen. Zur Ableitung des Bezugswasserstandes kann jedoch die Amplitude der Wasserstandsschwankungen der Altmessstelle von 1,6 m herangezogen werden.

Unter dem Ansatz Mittlerer Wasserstand Johannesstraße + halbe Amplitude der Altmessstelle BK 15

$$146,4mNHN + \frac{1,6m}{2} = 147,2mNHN$$

wird ein **Bemessungswasserstand von 147,2 mNHN** abgeleitet.

4.6 Hydrogeologische Kennwerte

In Auswertung von Altunterlagen und der aktuellen Untersuchungsergebnisse werden für den Standort des Baufeldes A folgende Kennwerte abgeleitet.

Tabelle 3 Hydrogeologische Kennwerte

Parameter	Wertebereich
Horizontale Durchlässigkeitsbeiwert	0,00002 m/s bis 0,0001 m/s
Vertikaler Durchlässigkeitsbeiwert	0,000002 m/s bis 0,00001 m/s
mittlere Grundwasserfließrichtung	120° (ESE)
mittlerer hydraulischer Gradient:	0,015

5 Grundwasserbeschaffenheit

5.1 Beurteilung betonangreifender Wässer nach DIN 4030-1

Die Beurteilung betonangreifender Wässer nach DIN 4030-1 erfolgt getrennt für die Grundwasserleiter Leutraschotter und Buntsandstein.

Die Analysenwerte sind farblich wie folgt gekennzeichnet:

- XA1 (schwach betonangreifend)
- XA2 (stark betonangreifend)
- XA3 (sehr stark betonangreifend)

5.1.1 Lockergesteinsgrundwasserleiter Leutraschotter

Vom oberen Grundwasserleiter (Leutraschotter) liegen im Umfeld des Eichplatzes mehrere Grundwasseranalysen vor. Das Grundwasser ist generell neutral bis schwach alkalisch und weist keine kalklösende Kohlensäure auf. Die Sulfatkonzentration wird sowohl durch im Kontakt mit dem Grundwasser stehenden Bauschutt als auch durch Wechselwirkungen mit dem Festgesteinsgrundwasserleiter beeinflusst und weist räumlich starke Schwankungen auf.

Das Grundwasser des Oberen Grundwasserleiters ist aufgrund lokal erhöhter Sulfatkonzentrationen hinsichtlich der betonangreifenden Wirkung nach DIN 4030-1 als **XA2 (stark betonangreifend)** einzustufen.

Tabelle 4 Grundwasseranalysen Leutraschotter (Altanalysen)

Parameter	Probe 1	Probe 2	Probe 3	Probe 4	Probe 5
Messstelle	SBr04	BK 7/92	BK 9/92	BK 1/97	BK 1a/93
Lage	Jentower	Ernst-Abbe-Platz	Ernst-Abbe-Platz	Holzmarkt	Rathaus
Literatur/Quelle	Bohrarchiv TLUG	[6]	[6]	[2]	Bauaktenarchiv Stadtverwaltung Jena
Labor	GFE	BEB ¹	BEB	BEB	BEB
Datum	26.07.1984	1993	1993	23.04.1997	26.02.1993
pH	7,4	7,5	7	7	7,5
CO ₂ [mg/l]	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Mg ²⁺ [mg/l]	22,4	0	0	<0,1	100
NH ₄ ⁺ [mg/l]	0,6	0	0	<0,1	<0,1
SO ₄ ²⁻ [mg/l]	245	604	674	300	320

¹ BEB Jena Consult GmbH, Jena

5.1.2 Festgesteinsgrundwasserleiter Buntsandstein

Das Grundwasser des Buntsandsteins ist im Untersuchungsgebiet durch neutrale bis schwach alkalische Verhältnisse gekennzeichnet. Freie kalklösende Kohlensäure ist nur in geringen Konzentrationen nachweisbar.

Für die Beurteilung der Betonaggressivität ist der Parameter Sulfat maßgebend. Erhöhte Sulfatgehalte sind auf Gipsauslaugungen im Buntsandstein selbst als auch auf den Aufstieg mineralisierter Wässer aus dem Zechstein zurückzuführen.

Das Grundwasser des unteren Grundwasserleiters ist unter Berücksichtigung der Altanalysen aufgrund erhöhter Sulfatkonzentrationen hinsichtlich der betonangreifenden Wirkung nach DIN 4030-1 **als XA2 (stark betonangreifend)** einzustufen.

Tabelle 5 Grundwasseranalysen Buntsandstein (Analysen Juni 2021)

	Eichplatz (GWM 1/10)	GWM 1/21
Lage	Eichplatz	Eichplatz
Labor	AGROLAB	AGROLAB
Datum	03.06.2021	03.06.2021
pH	7,2	7,2
CO ₂ [mg/l]	5,9	1,98
Mg ²⁺ [mg/l]	33,6	26,5
NH ₄ ⁺ [mg/l]	< 0,1	7,7
SO ₄ ²⁻ [mg/l]	268	449

Tabelle 6 Grundwasseranalysen Buntsandstein (Altanalysen)

	Eichplatz	BR 1	BK 3	BK12	BK 10
Lage	Eichplatz	Pulvergasse	Carl-Zeiss- Straße	Eichplatz	Johannistor/ Leutragraben
Literatur/Quelle		[12]	[1]	[17]	[17]
Labor	EUROFINS ²	KUTEC ³	laC ⁴	ThU ⁵	ThU
Datum	03.11.2010	23.04.2004	23.07.1993	31.03.1999	12.04.1999
pH	7,1	7,07	7,2	7,8	7,1
CO ₂ [mg/l]	< 3	0	0	<2,2	<2,2
Mg ²⁺ [mg/l]	40	86	53,3	17	26
NH ₄ ⁺ [mg/l]	0,49	0	0,21	4,96	0,92
SO ₄ ²⁻ [mg/l]	444	784	1647	241	291

² EUROFINS Umwelt Ost GmbH, Jena

³ Kali-Umwelttechnik Sondershausen GmbH, Sondershausen

⁴ Institut für angewandte Chemie Mikroskopie und biologische Untersuchungen Prof. Ing. Chem. H. Gockel & K.u.G. Weischedel & Co GmbH, Feuerbach

⁵ Thüringer Umweltinstitut Dipl. Chemiker Norbert Henterich, Pferdsdorf-Spichra

5.2 Schadstoffbelastung des Grundwassers mit LHKW

Das geplante Baufeld grenzt an den **LHKW-Grundwasserschaden „Brunnen Pulverturm“** (Abbildung 3). 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 > 3000 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 (Tabelle 7).

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. Die in den Leutraschottern ausgebaute Messstelle Johannisstraße konnte aufgrund zu geringer Wasserführung nicht beprobt werden.

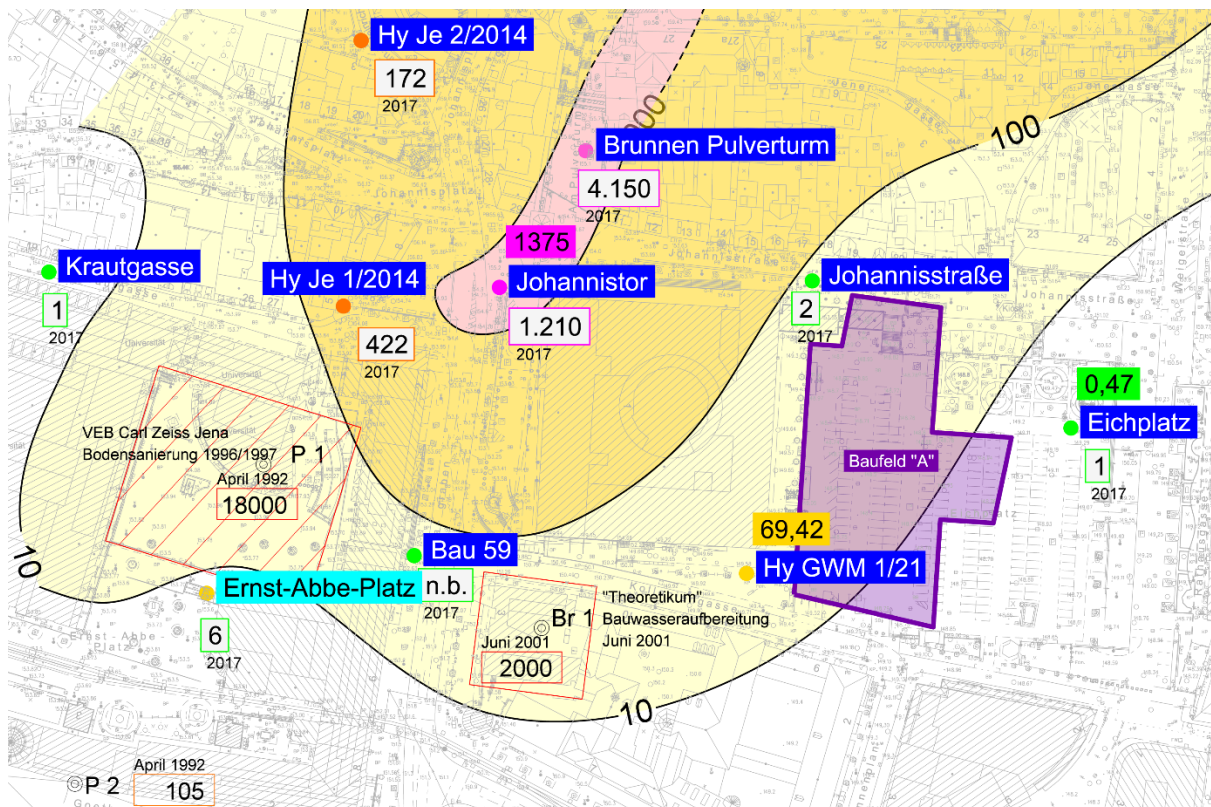


Abbildung 3 Verbreitung des LHKW-Schadens „Brunnen Pulverturm“, LHKW in µg/l; aktuelle Analysenwert vom Juni 2021 farblich hinterlegt, Altanalysen rot umrandet

Tabelle 7 LHKW-Analyse Bauwasserhaltung Theoretikum vom 13.06.2001 [3]

	Einheit	GFS ⁶	Brunnen 1	Brunnen 2	Zulauf Aufbereitung
Vinylchlorid	µg/l	0,5	34	0,93	21
Dichlormethan	µg/l		< 0,2	< 0,2	< 0,2
trans-Dichlorethen	µg/l		28	0,5	16
cis-Dichlorethen	µg/l		1200	25	570
Trichlormethan	µg/l		< 0,1	0,11	< 0,1
1,1,1-Trichlorethan	µg/l		< 0,1	< 0,1	< 0,1
Trichlorethen	µg/l		330	3,3	160
Bromdichlormethan	µg/l		< 0,3	< 0,3	< 0,3
Tetrachlorethen	µg/l		390	2,1	180
Dibromchlormethan	µg/l		< 0,2	< 0,2	< 0,2
Tribrommethan	µg/l		< 0,3	< 0,3	< 0,3
Tetrachlormethan	µg/l		< 0,2	< 0,2	< 0,2
Summe LHKW	µg/l	20	2000	32	940

Tabelle 8 LHKW-Analyse der Beprobung im Umfeld des Baufeldes A vom Juni 2021

	Einheit	GFS	Johannistor	Eichplatz (GWM 1/10)	GWM 1/21
Vinylchlorid	µg/l	0,5	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Dichlormethan	µg/l		< 0,1	< 0,1	< 0,1
trans-Dichlorethen	µg/l		21,7	< 0,1	2,8
cis-Dichlorethen	µg/l		722	< 0,1	50,7
Trichlormethan	µg/l		< 0,1	< 0,1	0,27
1,1,1-Trichlorethan	µg/l		< 0,1	< 0,1	< 0,1
Trichlorethen	µg/l		454	< 0,1	7,03
Bromdichlormethan	µg/l		< 0,1	< 0,1	< 0,1
Tetrachlorethen	µg/l		177	0,474	8,62
Dibromchlormethan	µg/l		< 0,1	< 0,1	< 0,1
Tribrommethan	µg/l		< 0,1	< 0,1	< 0,1
Tetrachlormethan	µg/l		< 0,1	< 0,2	< 0,1
Summe LHKW	µg/l	20	1375	0,474	69,42

Die aktuellen Analysen bestätigen die fortdauernde Belastung des Grundwassers mit LHKW und belegt, 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 1375 µg/l der im Jahr 2017 in dieser

⁶ Geringfügigkeitsschwellenwert zur Beurteilung lokal begrenzter Grundwasserverunreinigungen [LAWA Dezember 2004]

Messstelle festgestellte Konzentration (1210 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 bis 500 µg/l liegen.**

Unabhängig von der Art der Abwasserableitung (Kanal, Vorfluter) ist eine **Aufbereitung des Grundwassers erforderlich**. Für die Einleitung in die Saale ist für die Summe LHKW ein Grenzwert von 10 µg/l einzuhalten.

Für die Aufbereitung der Wässer können Wasseraktivkohlefilter bzw. Stripanlagen mit nachgeschaltetem Luftaktivkohlefilter genutzt werden.

5.3 Sonstige Parameter

Die erhöhte Chloridkonzentration (577 mg/l) in der auf dem Parkplatz gelegen Messstelle GWM 1/2010 ist mit hoher Wahrscheinlichkeit auf den Einsatz von Tausalz im Winterdienst zurückzuführen. Die Chloridkonzentration kann durch eine Wasseraufbereitung nicht reduziert werden.

Aus den im Jahr 2010 und aktuell im Mai 2021 durchgeführten Bodenuntersuchungen nach LAGA leitet sich kein Verdacht für sonstige Schadstoffbelastungen des Grundwassers ab.

6 Grundwassermodellierung zur Bauwasserhaltung

6.1 Grundwassermodell

Zur Modellierung der Grundwasserströmung wurde die Software FeFlow sowie FePest in der Version 7.4 genutzt. Typische Anwendungen dieser Simulationssoftware sind u.a. Grundwassermanagement im Bau und Tunnelbau, Grubenwassermanagement sowie die Bewertung von Grundwasser – Oberflächenwasser Interaktionen. Die Software verwendet dabei eine Finite-Elemente-Lösung, um eine Vielzahl dynamischer, physikalischer Prozesse zur Simulation unterirdischer Strömungen verarbeiten zu können. Die Quantifizierung der zum Modell zugehörigen Parameter wie die Durchlässigkeit des Untergrundes erfolgte mit der Software FePest.

Datengrundlage für die Modellierung:

- 237 Schichtenverzeichnisse von Bohraufschlüssen
- Geologische Schnitte und geologische Karte
- digitales Höhenmodell Thüringen
- digitale Stadtkarte Jena
- Grundwasserstandsmessungen von 15 Messstellen

Modellgrenzen (Eckpunkte)

- Nordosten: 681961; 5645142
- Südosten: 681799; 5644791
- Südwesten: 681310; 5644978
- Nordwesten: 681503; 5645300

Modellaufbau

- Gesamtfläche des Modells: ca. 200.000 m²
- Teufenbereich des Modells: 120 m NHN bis 169 m NHN
- Modellzellen: ca. 4000 (Zellverdichtung im Bereich des Baufeldes)

Zur Modellkalibrierung wurde die Stichtagsmessung von 15 Grundwassermessstellen vom 07.05.2021 verwendet.

6.2 Modellierung der Bauwasserhaltung

Die Modellierung der Bauwasserhaltung erfolgte unter dem Ansatz einer geschlossenen Bauwasserhaltung für folgende Varianten:

- Variante: 1 Bauwasserhaltung über **außerhalb** der Baugrube liegende Brunnen
- Variante: 2 Bauwasserhaltung über **innerhalb** der Baugrube liegende Brunnen

Aus den übergebenen Planungsunterlagen (Abbildung 4) ergeben sich unter Berücksichtigung der erforderlichen flächenhaften Absenkung bis 0,5 m unter Baugrubensohle für die bauzeitliche Wasserhaltung im Buntsandstein folgende Zielwerte:

- Gebäude A: 142,9 m NHN
- Gebäude B: 143,4 m NHN
- Gebäude C: 144,0 m NHN
- Baugrube außerhalb der Gebäude: 144,4 m NHN

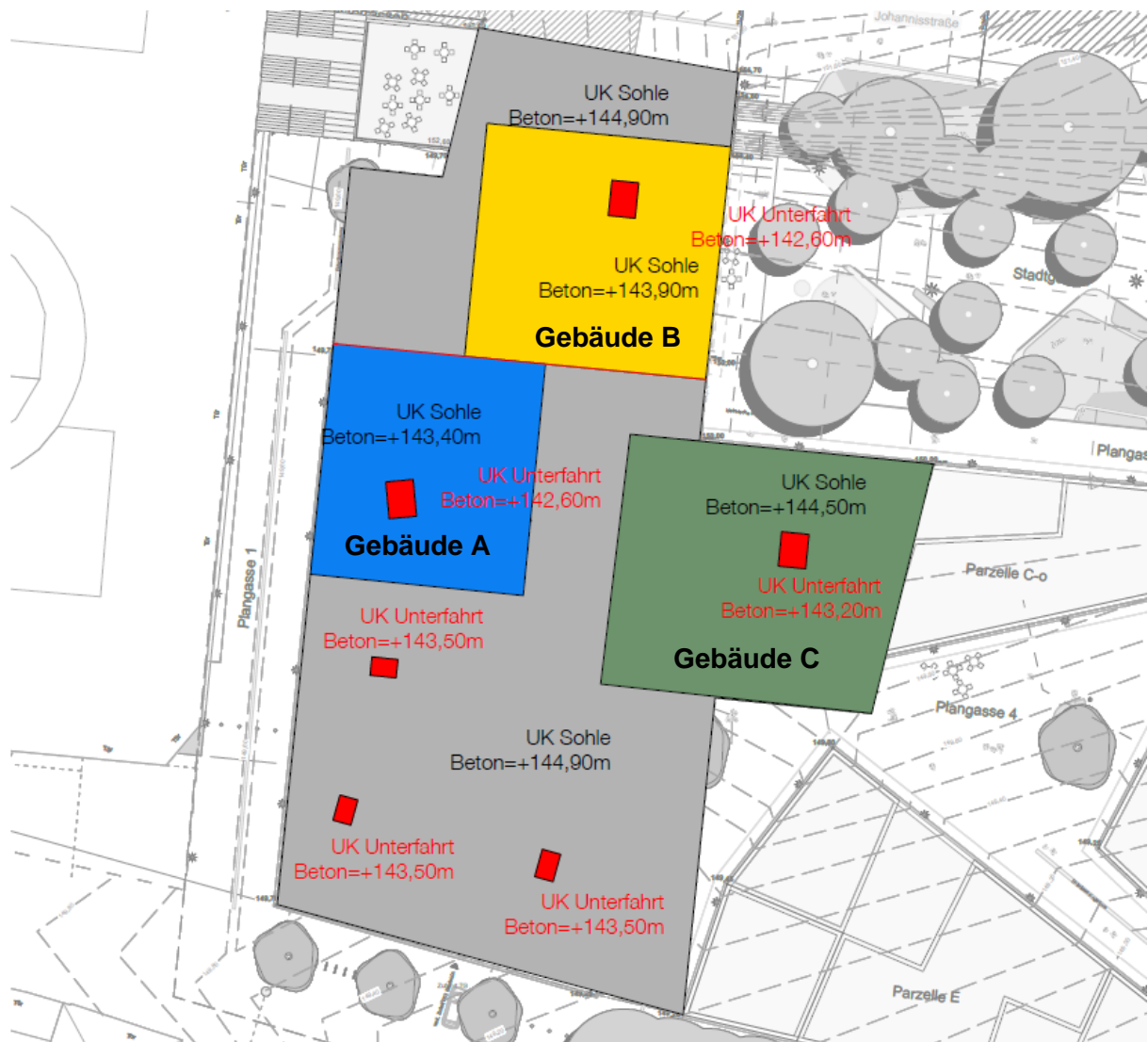


Abbildung 4 Planung Baugrubensohle; Planungsstand 16.04.2021

Für jede Variante wurden die Anzahl, Anordnung und Förderrate der Einzelbrunnen mit dem Ziel der Optimierung der Wasserhaltung mehrfach simuliert.

Die Unterfahrten wurden bei der Modellierung der flächenhaften Absenkung unter der Baugrube zunächst nicht berücksichtigt. In einem zweiten Schritt erfolgte dann beispielhaft die Berechnung der Wasserhaltung für die tiefste im Bereich des Gebäudes A gelegene Unterfahrt (Absenkziel: 142,1 mNHN).

Ergebnisse Variante 1 – Brunnen außerhalb der Baugrube angeordnet:

Für die Variante 1 (außenliegenden Brunnen) ist zur Gewährleistung der Absenkziele eine **Gesamtförderung von ca. 16,3 m³/h über 4 Brunnen** erforderlich. Die Förderrate der Einzelbrunnen liegt zwischen 2,1 m³/h und 4,6 m³/h. Die temporär zusätzlich im Bereich der Unterfahrten erforderliche tiefere Absenkung sollte in Form einer Offenen Wasserhaltung bzw. mit einem unmittelbar neben der Unterfahrt angeordneten Brunnen erfolgen. Je Unterfahrt ist eine zusätzliche Wasserhaltung von 0,5 bis 1,0 m³/h erforderlich.

Die Förderbrunnen sind wie folgt auszulegen:

- Bohrdurchmesser: 500 mm
- Brunnendurchmesser: 300 mm
- Brunnentiefe: ca. 20 m

Die Ergebnisse der Modellierung der Variante 1 sind in der Anlage 5 dargestellt.

Ergebnisse Variante 2 – Brunnen innerhalb der Baugrube angeordnet:

Für die Variante 2 (innenliegende Brunnen) ist zur Gewährleistung der Absenkziele eine **Gesamtförderung von ca. 15 m³/h über 4 Brunnen** erforderlich. Die Förderrate der Einzelbrunnen liegt zwischen 2,1 m³/h und 4,6 m³/h. Die temporär zusätzlich im Bereich der Unterfahrten erforderliche tiefere Absenkung sollte in Form einer Offenen Wasserhaltung bzw. mit einem unmittelbar neben der Unterfahrt angeordneten Brunnen erfolgen. Je Unterfahrt ist eine zusätzliche Wasserhaltung von 0,5 bis 1,0 m³/h erforderlich.

Die Förderbrunnen sind wie folgt auszulegen:

- Bohrdurchmesser: 500 mm
- Brunnendurchmesser: 300 mm
- Brunnentiefe: ca. 20 m

Die Ergebnisse der Modellierung der Variante 2 sind in der Anlage 6 dargestellt.

Auch im Falle einer offenen Wasserhaltung ist mit einem Wasseranfall in der Größenordnung von 15 m³/h zu rechnen. Die tatsächliche Wassermenge ist dann maßgeblich von der Anordnung und Tiefenlage der Dränageelemente bzw. Fassungsanlagen abhängig.

6.3 Auswirkungen der Grundwasserhaltung auf das weitere Umfeld

Da über dem Festgesteinsgrundwasserleiter kein flächendeckend verbreiteter Grundwasserstauer existiert, führt die Bauwasserhaltung unabhängig von der Anordnung der Brunnen (außerhalb oder innerhalb der Baugrube) zur Ausbildung eines über die Baugrube hinaus reichenden Absenktrichters.

Im Bereich der nächstgelegenen Gebäude in der Johannisstraße ist je nach Variante der Bauwasserhaltung (siehe Abschnitt 6.2) mit einer bauzeitlichen Absenkung des Grundwasserstandes im Festgesteinsgrundwasserleiter von maximal 2,0 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/Sandstein 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.

7 Bleibender Einfluss des Bauwerkes auf das Grundwasser

7.1 Vorbemerkung

Die Sohle der der Tiefgarage liegt unterhalb des derzeitigen Grundwasserspiegels.

Die Tiefgarage und im Boden verbleibende Elemente des Baugrubenverbau (z. B. Bohrpfahlwand) stellen dauerhaft ein Strömungshindernis im Grundwasser dar.

Durch das eintauchende Bauwerk wird der für das Grundwasser verbleibende Durchflussquerschnitt eingeengt und der Durchfluss behindert. Die Größe des damit verbundenen anstromigen Aufstaus, der abstromigen Spiegelabsenkung und der Veränderung der Grundwasserfließrichtung sind abhängig von der Geometrie des Bauwerkes, der unter dem Bauwerk verbleibenden Restmächtigkeit des Grundwasserleiters und den lokalen hydrogeologischen und hydrodynamischen Randbedingungen.

In den nachfolgenden Abschnitten wird die zu erwartende Beeinflussung für den Grundwasserleiter Buntsandstein quantifiziert. Auf die Betrachtung des oberen Grundwasserleiters Leutraschotter kann verzichtet werden, da dieser im gesamten Baugebiet keine relevante Grundwasserführung aufweist.

7.2 Hydrodynamische und bautechnische Randbedingungen

7.2.1 Durchlässigkeitsbeiwert

In den Baugrundgutachten der verschiedenen Objekte im Umfeld des Eichplatzes finden sich nur wenige belastbare Durchlässigkeitsbeiwerte für den Buntsandstein bzw. für die Verwitterungszone des Buntsandsteins. Die Angaben variieren zwischen $1 \cdot 10^{-7}$ m/s und $1 \cdot 10^{-3}$ m/s. An mehreren Objekten (z. B. Tiefbrunnen Pulverturm) wurden Pumpversuche durchgeführt ohne diese hinsichtlich der hydraulischen Kennwerte auszuwerten.

In [24] wird für die Modellierung auf der Grundlage einer umfangreichen Auswertung von Altgutachten für den Sandstein ein k_f -Wert von $1 \cdot 10^{-5}$ m/s angesetzt und die Spannweite mit $1 \cdot 10^{-6}$ m/s bis $5 \cdot 10^{-4}$ m/s angegeben.

Eigene Auswertungen der in verschiedenen Gutachten angegebenen Pumpversuche ergeben für den Buntsandstein im Umfeld des Eichplatzes Durchlässigkeitsbeiwerte zwischen $3 \cdot 10^{-6}$ m/s und $3 \cdot 10^{-5}$ m/s.

Im Bereich der Verwitterungszone ist die vertikale Durchlässigkeit bedingt durch die entfestigten Ton- und Schluffsteinlagen wesentlich geringer als die horizontale Durchlässigkeit. Als konservativer Ansatz wird die vertikale Durchlässigkeit mit dem 0,1-fachen der horizontalen Durchlässigkeit angesetzt.

Für die hydraulischen Berechnungen wird angesetzt:

- **Horizontale Durchlässigkeitsbeiwert:** 0,00002 m/s bis 0,0001 m/s
- **Vertikaler Durchlässigkeitsbeiwert:** 0,000002 m/s bis 0,00001 m/s

7.2.4 Grundwasserflurabstand

Aus der Geländemorphologie und dem Gefälle des Grundwasserspiegels leiten sich für das Baufeld A im Bereich des Eichplatzes Grundwasserflurabstände zwischen 2,5 m und 4,0 m ab.

Für die höher gelegene Johannisstraße ergeben sich aktuell Grundwasserflurabstände zwischen 5 m und 6 m.

In Auswertung der Ganglinien der Grundwassermessstellen „Johannisstraße“ und „Bau 59“ ist mit zeitlichen Schwankungen des Grundwasserstandes mit einer Amplitude von bis zu 1,6 m zu rechnen.

7.2.5 Geometrie des geplanten Baukörpers

Entsprechend den vorliegenden Planungsunterlagen wird für die hydraulischen Berechnungen von folgenden maximalen Ausmaßen ausgegangen:

- Länge der Tiefgarage in EW-Richtung: 45 m
- Richtung der EW-Achse des Bauwerkes in Bezug auf Nord: 100°
- Breite der Tiefgarage in NS-Richtung: 105 m
- Bauwerkssohle: 1-geschossige Tiefgarage: 144,90 mNHN
- Bemessungswasserstand: 147,2 mNHN

7.2.6 Mächtigkeit des Grundwasserleiters

Der für die hydraulischen Berechnungen relevante mittlere Buntsandstein weist im Untersuchungsgebiet eine Mächtigkeit von > 50 m auf. Die Hydrodynamik im Einflussbereich der Bauwerke wird wesentlich von der Ausbildung der Verwitterungszone geprägt.

Als konservativer Ansatz wird für die Prognose der Aufhöhung von einer hydraulisch wirksamen Grundwasserleitermächtigkeit von 10 m ausgegangen.

7.3 Hydraulische Berechnung des Aufstaus

In Abschnitt 7.3.1 erfolgt zunächst eine Abschätzung der maximalen Aufhöhung auf der Basis der Bauwerksabmessungen und des hydraulischen Gradienten.

Die detaillierte Berechnung des Aufstaus gliedert sich in drei Schritte:

1. Berechnung der Aufhöhung durch ausschließliche Umströmung (Abschnitt 7.3.2)
2. Berechnung der Aufhöhung durch ausschließliche Unterströmung (Abschnitt 7.3.3)
3. Ermittlung der Gesamtaufhöhung Abschnitt (7.3.4)

Im Abschnitt 7.4 erfolgt eine Kurzbewertung der Berechnungsergebnisse.

7.3.1 Maximaler Aufstau nach SCHNEIDER

SCHNEIDER gibt in [30] folgende Formel zur überschlägigen Berechnung des maximalen Aufstaus (ausschließliche Umströmung, senkrechte Anströmung) von Bauwerken mit annähernd quadratischen Grundrissform an:

$$(Gleichung 1) \quad \Delta h = i \cdot \frac{a}{\sqrt{\pi}}$$

Tabelle 9 Berechnungsansatz maximaler Aufstau nach Schneider

Parameter	Symbol	Einheit	Wert	Quelle / Begründung
hydraulischer Gradient	i	-	0,015	siehe Kap. 7.2.2
Bauwerkslänge	a	m	115	siehe Kap. 7.2.5

$$\Delta h = i \cdot \frac{a}{\sqrt{\pi}} = 0,015 \cdot \frac{115}{\sqrt{\pi}} = 0,89m$$

Aus dem Ansatz gemäß Tabelle 9 ergibt sich für durchschnittliche hydrodynamische Verhältnisse anstromig in Bauwerksmitte ein maximaler Aufstau von 0,93 m.

Nach extremen Niederschlagsereignissen ist durch entsprechende Erhöhung des hydraulischen Gradienten auf 0,025 mit einer maximal zu erwartende Beeinflussung in Höhe von 1,48 m zu rechnen.

7.3.2 Ausschließliche Umströmung

SCHNEIDER [31] entwickelte eine analytische Lösung mit der die auf ausschließliche Umströmung zurückzuführende Aufhöhung des Grundwasserspiegels für einen Punkt P_{xy} bei beliebiger Anströmrichtung ϑ berechnet werden kann:

$$(Gleichung 2)$$

$$\Delta h_{um} = \pm \frac{i \cdot \cos \vartheta \cdot \sqrt{2}}{2} \cdot \sqrt{\sqrt{(x^2 - y^2 + t^2)^2 + 4 \cdot x^2 \cdot y^2} + x^2 - y^2 + t^2} - i \cdot x \cdot \cos \vartheta$$

Das Koordinatensystem ist wie folgt definiert:

- Der Koordinatenursprung liegt in der Mitte des westlichen Randes der Tiefgarage
- Die westliche Seite der Tiefgarage bildet die Y-Achse. Sie ist 10° gegen Nord geneigt
- Die X-Achse bildet die Ost-West verlaufende Bauwerkslängsachse. Sie ist 100° gegen Nord geneigt.

Tabelle 10 Berechnungsansatz „Ausschließliche Umströmung“

Parameter	Symbol	Einheit	Wert	Quelle / Begründung
hydraulischer Gradient	i	-	0,010 bis 0,025	siehe Kap. 7.2.2
Anströmrichtung	ϑ	°	20	siehe Kap. 0
Halbe Bauwerksbreite quer zur Fließrichtung	t	M	52,5	siehe Kap. 7.2.5

Tabelle 11 Ergebnisse Aufstau bei ausschließlicher Umströmung für ausgewählte Punkte

Lage des Berechnungspunktes	Δh_{um} in m			Bemerkung
	Ansatz i=0,01	Ansatz i=0,015	Ansatz i=0,025	
Mitte anstromige Bauwerkseite, 0 m vom Bauwerk entfernt (x=0; y=0)	0,49	0,74	1,23	max. Aufstauhöhe
Mitte anstromige Bauwerkseite, 10 m vom Bauwerk entfernt (x=10; y=0)	0,41	0,61	1,02	Ostseite „Neue Mitte“
Mitte anstromige Bauwerkseite, 50 m vom Bauwerk entfernt (x=50; y=0)	0,21	0,32	0,53	Jentower
Mitte anstromige Bauwerkseite, 100 m vom Bauwerk entfernt (x=100; y=0)	0,12	0,18	0,30	Westseite „Neue Mitte“
direkt an anstromiger Bauwerkseite, 10 m nördl. bzw. südl. der X-Achse (x=0; y=10)	0,48	0,73	1,21	
direkt an anstromiger Bauwerkseite, 20 m nördl. bzw. südl. der X-Achse (x=0; y=10)	0,46	0,68	1,14	
direkt an anstromiger Bauwerkseite, 30 m nördl. bzw. südl. der X-Achse (x=0; y=30)	0,40	0,61	1,01	
direkt an anstromiger Bauwerkseite, 40 m nördl. bzw. südl. der X-Achse (x=0; y=40)	0,32	0,48	0,80	
direkt an anstromiger Bauwerkseite, 50 m nördl. bzw. südl. der X-Achse (x=0; y=50)	0,15	0,23	0,38	

Die Berechnungsergebnisse sind anzusetzen, wenn das Grundwasser das Bauwerkshindernis ausschließlich umströmen kann und keine Möglichkeit der Unterströmung besteht. Am Eichplatz wird die Aufhöhung geringer ausfallen, da ein Teil des anströmenden Grundwassers unter dem Bauwerk hindurch strömen kann.

7.3.3 Ausschließliche Unterströmung

Der standortrelevante Grundwasserleiter Mittlerer Buntsandstein besitzt eine Mächtigkeit von > 50 m. Unabhängig von der Tiefe der Einbindung der Tiefgarage wird noch eine ausreichende Mächtigkeit des Grundwasserleiters unter dem ganzen Bauwerk verbleiben, so dass in dieser Restschicht eine entsprechende Unterströmung möglich ist.

Nach Schneider [31] berechnet sich die ausschließliche Unterströmung wie folgt:

$$(Gleichung 3) \quad \Delta h_{\text{unter}} = \pm \frac{i \cdot \cos \vartheta \cdot 2 \cdot H \cdot k}{\pi k_0} \cdot \ln \sin \frac{\pi f}{2(H + \Delta h_{0,B} + \Delta h_B)} + \Delta h_B$$

Der zusätzliche Druckhöhenverlust Δh_B der unter dem Bauwerk entsteht ist abhängig von der Länge B des Gebäudes in Grundwasserflussrichtung:

$$(Gleichung 4) \quad \Delta h_B = i \cdot \cos \vartheta \left(\frac{H \cdot k}{f \cdot k_B} - 1 \right) \cdot \frac{B}{2}$$

Die Anhebung $\Delta h_{0,B}$ des Wasserspiegels über den ungestörten Wasserspiegel kann iterativ (mit dem Startwert $\Delta h_{0,B} = 0$) aus der Gleichung

$$(Gleichung 5) \quad \Delta h_{0,B} = \pm \frac{i \cdot \cos \vartheta \cdot 2 \cdot H \cdot k}{\pi \cdot k_0} \ln \frac{1 + \cos \frac{\pi \cdot f}{2(H + \Delta h_{0,B} + \Delta h_B)}}{\sin \frac{\pi \cdot f}{2(H + \Delta h_{0,B} + \Delta h_B)}}$$

ermittelt werden.

Tabelle 12 Berechnungsansatz „Ausschließliche Unterströmung“

Parameter	Symbol	Einheit	Wert	Quelle / Begründung
Hydraulischer Gradient	i	-	0,010 bis 0,025	siehe Kap. 7.2.2
Anströmrichtung	ϑ	°	20	siehe Kap. 0
Halbe Bauwerksbreite quer zur Fließrichtung	t	m	52,5	siehe Kap. 7.2.5
Bauwerkslänge in Fließrichtung	B	m	45	siehe Kap. 7.2.5
Wassererfüllte Mächtigkeit des Grundwasserleiters	H	m	10	siehe Kap. 7.2.6
Restmächtigkeit des GWL unter dem Bauwerk	f	m	7,7	siehe Kap. 7.2.5 und 7.2.6
Durchlässigkeitsbeiwert GWL horizontal	k	m/s	0,00002 bis 0,0001	siehe Kap. 7.2.1
Durchlässigkeitsbeiwert GWL vertikal	k_0	m/s	0,000002 bis 0,00001	siehe Kap. 7.2.1
Durchlässigkeitsbeiwert unter Bauwerk (GWL bzw. Dränage)	k_B	m/s	0,00002 bis 0,00001	siehe Kap. 7.2.1

Tabelle 13 Ergebnisse Aufstau bei ausschließlicher Unterströmung

Ansatz	Δh_{unter} in m
Ansatz Minimum (k und k_B : $2 \cdot 10^{-5}$ m/s; k_0 : $2 \cdot 10^{-6}$ m/s; i: 0,01)	0,09
Ansatz Maximum (k und k_B : $1 \cdot 10^{-4}$ m/s; k_0 : $1 \cdot 10^{-5}$ m/s; i: 0,025)	0,24

Aus dem Ansatz Tabelle 12 ergibt sich für die **ausschließliche Unterströmung** ein Aufstau **zwischen 0,09 m und 0,24 m**.

7.3.4 Resultierende Grundwasserbeeinflussung

Analog der Addition von Widerständen ergibt sich die Gesamtaufhöhung aus den Einzelwerten der ausschließlichen Umströmung und der ausschließlichen Unterströmung wie folgt:

$$(Gleichung 6) \quad \Delta h_{ges} = \frac{1}{\frac{1}{\Delta h_{um}} + \frac{1}{\Delta h_{unter}}}$$

Tabelle 14 Resultierende Grundwasserbeeinflussung

Ansatz	Δh_{um} in m	Δh_{unter} in m	Δh_{ges} in m
Ansatz Minimum (k und k_B : $2 \cdot 10^{-5}$ m/s; k_0 : $2 \cdot 10^{-6}$ m/s; i: 0,01)	0,49	0,09	0,08
Ansatz Maximum (k und k_B : $1 \cdot 10^{-4}$ m/s; k_0 : $1 \cdot 10^{-5}$ m/s; i: 0,025)	1,23	0,24	0,20

Die Berechnungen ergeben, dass bei Errichtung einer **1-geschossigen Tiefgarage** mit Gründungssohle bei 144,9 mNHN **unmittelbar anstromig in Bauwerksmitte** mit einer dauerhaften **Gesamtaufhöhung zwischen 0,08 m und 0,20 m** und eine äquivalenten abstromigen Grundwasserabsenkung zu rechnen ist.

Für die 65 m nördlich der Bauwerksmitte gelegene Umgebungsbebauung der Johannisstraße ergeben sich Aufhöhungsbeträge unter 0,05 m.

Die lokal tiefer reichenden Gründungssohlen unter den Gebäuden A. B und C einschließlich der Unterfahrungen führt zu keiner signifikanten Änderung der Aufhöhung.

7.4 Bewertung der Berechnungsergebnisse

Die **dauerhafte Aufhöhung von 0,08 m bis 0,20 m unmittelbar anstromig der Bauwerksmitte ist als unerheblich** einzuschätzen.

Diese geringfügige Aufhöhung ist unter Berücksichtigung der natürlichen Grundwasserstandsschwankung als unbedenklich für die Umgebungsbebauung anzusehen.

Hydraulische Maßnahmen zur Kompensation der Aufhöhung sind aus gutachterlicher Sicht bei einer Gründungssohle von 144.9 mNHN nicht erforderlich.

8 Empfehlungen zur Bauausführung

8.1 Baugrubenumschließung

Zur Unterbindung des Zuflusses von Grundwasser aus dem Lockergesteinsgrundwasserleiter wird eine **wasserdichte Baugrubenumschließung** empfohlen. Aus hydrogeologischer Sicht sollte die Umschließung bis mindestens 1 m unter die Basis der Leutraschotter bzw. 1 m unter die Basis der Auffüllung reichen.

8.2 Bauwasserhaltung

Da im Baufeld kein wirksamer Grundwasserstauer zwischen der Lockergesteinsdecke und dem Festgestein ausgebildet ist ergibt sich unabhängig von der Ausführung der Baugrubenumschließung die **Notwendigkeit einer bauzeitlich permanenten Wasserhaltung**.

Unter Berücksichtigung der erforderlichen Wasseraufbereitung (siehe Abschnitt 8.3) wird eine **geschlossene Bauwasserhaltung** empfohlen. Die geschlossene Wasserhaltung weist gegenüber der offenen Wasserhaltung Vorteile hinsichtlich der hydraulischen Steuerbarkeit und der Rohwassergüte (weniger Feinkornanteil) auf.

Der Grundwasserspiegel des Festgesteinsgrundwasserleiters ist mittels Brunnen flächeneckend soweit abzusenken, dass der Wasserspiegel 0,5 m unter Baugrubensohle (differenziert nach den Höhen im Bereich der Bodenplatte und der drei Gebäude) liegt. Für den Bereich der Unterfahrten sind temporär ergänzende Wasserhaltungsmaßnahmen erforderlich.

Die Brunnen können sowohl außerhalb als auch innerhalb der Baugrube abgeordnet werden.

Entsprechend der Modellierung kann von folgendem Ansatz für die Bauwasserhaltung ausgegangen werden:

- Brunnenanzahl: 4 (+ ggf. Zusatzbrunnen im Bereich der Unterfahrten)
- Bohrdurchmesser: 500 mm
- Brunnendurchmesser: 300 mm
- Brunnentiefe: ca. 20 m
- Einzelförderleistung der 4 Hauptbrunnen: 2,1 bis 4,6 m³/h
- Je Unterfahrt ist eine zusätzliche Wasserhaltung von 0,5 bis 1,0 m³/h erforderlich.
- **Gesamtförderung einschließlich Wasserhaltung Unterfahrten: ca. 20 m³/h**

8.3 Bauwasseraufbereitung

Bei der Bauwasserhaltung im Buntsandstein fallen LHKW-haltige Wässer an. **Die Rohwasserkonzentration wird voraussichtlich im Bereich von 100 bis 500 µg/l liegen.**

Unabhängig von der Art der Abwasserableitung (Kanal, Vorfluter) ist eine **Aufbereitung des Grundwassers erforderlich**. Für die Einleitung in die Saale ist für die Summe LHKW ein Grenzwert von 10 µg/l einzuhalten.

Für die Aufbereitung der Wässer können **Wasseraktivkohlefilter** bzw. **Stripanlagen mit nachgeschaltetem Luftaktivkohlefilter** genutzt werden.

Die Bauwasseraufbereitung sollte auf einen **Durchsatz von 25 m³/h** ausgelegt werden.

8.4 Betonarbeiten

Das Grundwasser im Bereich des Baufeldes A ist aufgrund lokal erhöhter Sulfatkonzentrationen hinsichtlich der betonangreifenden Wirkung nach DIN 4030-1 als **XA2 (stark betonangreifend)** einzustufen.

8.5 Bemessungswasserstand

Für den Bereich des Baufeldes A wird folgender Bemessungswasserstand empfohlen:

- **Bemessungswasserstand: 147,2 mNHN**

Unterhalb des Bemessungswasserstandes sind alle Bauteile wasserdicht und auftriebssicher herzustellen und auf einen Wasserstand von 147,2 mNHN zu bemessen.

8.6 Kompensationsmaßnahmen zur Aufstaureduzierung

Maßnahmen zur Reduzierung des anstromigen Aufstaus des fertigen Bauwerkes sind aus gutachterlicher Sicht nicht erforderlich.

9 Weiterer Untersuchungsbedarf

9.1 Hydrodynamik

Als Grundlage für die hydrogeologische Beweissicherung wird empfohlen beginnend im Sommer 2021 folgende Messstellen mit Datenlogger auszurüsten und die Wasserstandsentwicklung kontinuierlich sowohl vorlaufend als auch baubegleitend zu erfassen:

- Eichplatz 1/2010
- GWM 1/2021
- Johannistor
- Johannisstraße

Weiterhin sollte halbjährlich eine Stichtagsmessung der Wasserstände der 15 in Tabelle 1 aufgeführten Messstellen durchgeführt werden.

In die Ganglinienauswertung sind die Messwerte der Datenlogger der Stadt Jena (Messstelle 1/14, 2/14 und 3/14) einzubeziehen.

