

Auftraggeber:

**Kommunale Immobilien Jena
Paradiesstraße 6
07703 Jena**



Objekt:

Jena Eichplatz

Projekt:

**Hydrogeologisches Gutachten und
Baugrundgutachten**

Projektnummer:

5791

Auftragnehmer:

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

Bearbeiter:

Dipl.-Geol. J. Schmidt
Dipl.-Ing. C. Borrmann
Dipl.-Ing. T. Leyendecker
Dipl.-Ing. C. Engelhardt

Jena, den 19.11.2010

A. Schaub
Geschäftsführer

Dipl. Geol. J. Schmidt
Bereichsleiter Hydrogeologie

Inhaltsverzeichnis

| | |
|---|----|
| Inhaltsverzeichnis | 2 |
| Tabellenverzeichnis | 3 |
| Abbildungsverzeichnis | 4 |
| Anlagenverzeichnis..... | 5 |
| Verwendete Unterlagen | 6 |
| Normenverzeichnis | 8 |
| 1 Bauvorhaben..... | 9 |
| 2 Baugrund | 9 |
| 2.1 Allgemeine geologische Situation | 9 |
| 2.2 Umgebungsbebauung | 9 |
| 2.3 Erkundung des Baugrunds | 13 |
| 2.4 Baugrundsichten | 14 |
| 2.5 Geotechnische und bodenmechanische Kennwerte | 17 |
| 2.6 Grundwasserverhältnisse | 21 |
| 3 Hydrogeologie | 22 |
| 3.1 Standortrelevante Grundwasserleiter und Oberflächengewässer | 22 |
| 3.2 Anthropogene Beeinflussung der hydrodynamischen Verhältnisse | 24 |
| 3.2.1 Beeinflussung der Hydrodynamik durch die umliegende Bebauung | 24 |
| 3.2.2 Beeinflussung der Hydrodynamik durch sonstige Wasserhaltungen | 26 |
| 3.3 Bemessungswasserstand | 28 |
| 3.3.1 Bisher gemessene Grundwasserstände | 28 |
| 3.3.2 Ableitung des Bemessungswasserstandes | 29 |
| 3.3.3 Bemessungswasserstand | 30 |
| 3.4 Beurteilung betonangreifender Wässer nach DIN 4030-1 | 31 |
| 3.4.1 Oberer Grundwasserleiter – Leutraschotter..... | 31 |
| 3.4.2 Unterer Grundwasserleiter – Buntsandstein | 33 |
| 3.5 Belastung des Grundwassers mit Schadstoffen | 35 |
| 4 Bleibender Einfluss des fertigen Bauwerkes auf das Grundwasser..... | 36 |
| 4.1 Vorbemerkung | 36 |
| 4.2 Hydrodynamische und bautechnische Randbedingungen | 36 |
| 4.2.1 Durchlässigkeitsbeiwert | 36 |
| 4.2.2 Hydraulischer Gradient | 37 |
| 4.2.3 Grundwasserfließrichtung, Anströmrichtung | 38 |
| 4.2.4 Grundwasserflurabstand | 39 |
| 4.2.5 Geometrie des geplanten Baukörpers | 39 |
| 4.2.6 Mächtigkeit des Grundwasserleiters | 39 |
| 4.3 Hydraulische Berechnung des Aufstaus | 40 |
| 4.3.1 Maximaler Aufstau nach SCHNEIDER..... | 40 |
| 4.3.2 Ausschließliche Umströmung | 40 |

| | | |
|---------|---|----|
| 4.3.3 | Ausschließliche Unterströmung | 42 |
| 4.3.4 | Resultierende Grundwasserbeeinflussung | 44 |
| 4.4 | Bewertung der Berechnungsergebnisse..... | 45 |
| 4.4.1 | 1-geschossige Tiefgarage mit einer Sohltiefe von 146 mNHN | 45 |
| 4.4.2 | 2-geschossige Tiefgarage mit einer Sohltiefe von 143 mNHN | 45 |
| 4.5 | Abzuleitender Grundwasserstrom | 46 |
| 5 | Abfallrechtliche Einstufung der voraussichtlich anfallenden Aushubmassen..... | 47 |
| 6 | Geotechnische Beratung | 48 |
| 6.1 | Allgemeine Baugrundsituation | 48 |
| 6.2 | Gründungsberatung – Tiefgarage..... | 48 |
| 6.2.1 | 1-geschossige Tiefgarage..... | 48 |
| 6.2.2 | 2-geschossige Tiefgarage..... | 49 |
| 6.3 | Gründungsberatung – Wohn-/ Bürogebäude..... | 50 |
| 6.4 | Ausbildung Baugruben | 51 |
| 6.5 | Maßnahmen zum Erhalt der Grundwasserströmung | 53 |
| 6.5.1 | 1-geschossige Tiefgarage..... | 53 |
| 6.5.2 | 2-geschossige Tiefgarage..... | 53 |
| 6.5.2.1 | Tiefgarage mit durchströmbaren Baulücken | 54 |
| 6.5.2.2 | Künstliche Erhöhung der Durchlässigkeit unter und neben dem Bauwerk | 54 |
| 6.5.2.3 | Anstromige Absenkung und abstromige Versickerung mit Brunnen..... | 55 |
| 6.6 | Empfehlungen für weitere Untersuchungen | 56 |
| 6.6.1 | Untersuchung der Grundwasserbeschaffenheit..... | 56 |
| 6.6.2 | Monitoring Hydrodynamik | 56 |
| 6.6.3 | Monitoring Grundwasserförderung Anatomie | 56 |
| 6.6.4 | Bautechnische Beratung..... | 57 |

Tabellenverzeichnis

| | | |
|------------|---|----|
| Tabelle 1 | Umgebungsbebauung..... | 10 |
| Tabelle 2 | Umgebungsbebauungen mit Unterkellerung..... | 11 |
| Tabelle 3 | Übersicht der durchgeführten Sondierungen | 13 |
| Tabelle 4 | Unterkante der Baugrundsichten und Grundwasserspiegel an den jeweiligen Aufschlusspunkten (AP) [m unter GOK] | 14 |
| Tabelle 5 | Geotechn. und bodenmechan. Kennwerte der BGS 1 – 3..... | 18 |
| Tabelle 6 | Geotechn. und bodenmechan. Kennwerte der BGS 4 – 5..... | 19 |
| Tabelle 7 | Geotechn. und bodenmechan. Kennwerte der BGS 6..... | 20 |
| Tabelle 8 | Bauwerke, die die Grundwasserdynamik beeinflussen..... | 24 |
| Tabelle 9 | Messdaten Wasserstand aus dem FIS-Gewässer..... | 28 |
| Tabelle 10 | Grundwasserstandsdaten, Höhenangaben in mNHN | 28 |

| | | |
|------------|---|----|
| Tabelle 11 | Grundwasseranalysen Leutraschotter (Altanalysen)..... | 31 |
| Tabelle 12 | Grundwasseranalysen Buntsandstein (aktuelle Altanalyse) | 33 |
| Tabelle 13 | Grundwasseranalysen Buntsandstein (Altanalysen)..... | 33 |
| Tabelle 14 | LHKW-Analyse Bauwasserhaltung Neubau Forschungsgebäude Theoretikum vom 13.06.2001 aus [3], GFS-Überschreitungen sind farblich gekennzeichnet..... | 35 |
| Tabelle 15 | Berechnungsansatz maximaler Aufstau nach Schneider..... | 40 |
| Tabelle 16 | Berechnungsansatz „Ausschließliche Umströmung“ | 41 |
| Tabelle 17 | Ergebnisse Aufstau bei ausschließlicher Umströmung für ausgewählte Punkte | 41 |
| Tabelle 18 | Berechnungsansatz „Ausschließliche Unterströmung“ | 43 |
| Tabelle 19 | Ergebnisse Aufstau bei ausschließlicher Unterströmung..... | 43 |
| Tabelle 20 | Resultierende Grundwasserbeeinflussung..... | 44 |
| Tabelle 21 | Berechnungsansatz abzuleitender Grundwasserstrom..... | 46 |
| Tabelle 22 | Setzungswerte für 1-geschossige Tiefgarage [cm] | 49 |
| Tabelle 23 | Setzungswerte für 2-geschossige Tiefgarage [cm] | 50 |
| Tabelle 24 | Charakteristische Kennwerte der Pfahlwiderstände | 51 |

Abbildungsverzeichnis

| | | |
|--------------|--|----|
| Abbildung 1 | Oberflächengewässer im Umfeld des Untersuchungsgebietes; TK 25 | 22 |
| Abbildung 2 | Oberflächengewässer im Umfeld des Untersuchungsgebietes Stand 1758 [39] | 23 |
| Abbildung 3 | Grundwassermessstelle Johannistor, Beeinflussung des Grundwasserspiegels durch Förderung des 67 m entfernt gelegenen Brunnen Pulverturm | 26 |
| Abbildung 4 | Grundwassermessstelle Johannistor, Ganglinie nach Einstellung des Pumpbetriebes im 70 m entfernt gelegenen Brunnen Pulverturm..... | 27 |
| Abbildung 5: | Ganglinie Messstelle Johannisstraße..... | 29 |
| Abbildung 6 | Oberer Grundwasserleiter (Leutraschotter): Wasseruntersuchung mit Bewertung nach DIN 4030 T1 (Grenzwerte zur Beurteilung der Betonaggressivität)..... | 32 |
| Abbildung 7 | Unterer Grundwasserleiter (Buntsandstein): Wasseruntersuchung mit Bewertung nach DIN 4030 T1 (Grenzwerte zur Beurteilung der Betonaggressivität)..... | 34 |
| Abbildung 8 | Entwicklung des hydraulischen Gradienten im Zeitraum 2005 bis 2010 im hydrogeologischen Dreieck der Messstellen „McDonald“, „Johannisstraße“ und „Holzmarkt“ | 37 |

Abbildung 9 Entwicklung der Grundwasserfließrichtung im Zeitraum 2005 bis 2010
im hydrogeologischen Dreieck der Messstellen „McDonald“,
„Johannisstraße“ und „Holzmarkt“38

Anlagenverzeichnis

| | |
|------------|---|
| Anlage 1 | Lagepläne |
| Anlage 1.1 | Übersichtslageplan Untersuchungsgebiet, Luftbild Maßstab 1:1000 |
| Anlage 1.2 | Lageplan Baugrunduntersuchung |
| Anlage 2 | Bohrdokumentation |
| Anlage 2.1 | Schichtenverzeichnisse Rammkernsondierungen |
| Anlage 2.2 | Bohrprofile Rammkernsondierungen |
| Anlage 2.3 | Rammsondierdiagramme |
| Anlage 2.4 | Schichtenverzeichnis Kernbohrung |
| Anlage 2.5 | Bohrprofil und Ausbauplan Grundwassermessstelle BK 1/2010 |
| Anlage 3 | Grundbruch- und Setzungsberechnungen, Blatt 1 – 2 |
| Anlage 4 | Geotechnische Laborversuche |
| Anlage 4.1 | Ergebnis Rahmenscherversuch |
| Anlage 4.2 | Ergebnis einaxialer Druckversuch |
| Anlage 5 | Baugrundschnitte, Blatt 1 - 5 |
| Anlage 6 | Hydrodynamik |
| Anlage 6.1 | Einmessprotokoll Grundwassermessstellen |
| Anlage 6.2 | Protokoll Stichtagsmessungen |
| Anlage 6.3 | Grundwassergleichenplan Messung 09.09.2010 |
| Anlage 6.4 | Grundwassergleichenplan Messung 15.11.2010 |
| Anlage 7 | Grundwasserbeschaffenheit |
| Anlage 7.1 | Probenahmeprotokoll |
| Anlage 7.2 | Prüfbericht Grundwasser |
| Anlage 8 | Altlastenuntersuchung |
| Anlage 8.1 | Prüfbericht Bodenanalytik nach LAGA Boden |

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, 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“

Normenverzeichnis

- DIN 1055-2 (01/2007): Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 2: Bodenkenngrößen
- DIN 4020 (09/2003): Geotechnische Untersuchungen für bautechnische Zwecke
- DIN 4022-1 (09/1987): Baugrund und Grundwasser - Benennen und Beschreiben von Boden und Fels - Schichtenverzeichnisse für Bohrungen ohne durchgehende Gewinnung von gekernten Proben im Boden und im Fels
- DIN 4030-1 (06/2008): Beurteilung betonangreifender Wässer, Böden und Gase - Teil 1: Grundlagen und Grenzwerte
- DIN 18196 (06/2006): Erd- und Grundbau - Bodenklassifikation für bautechnische Zwecke
- DIN EN ISO
14688-1 (01/2003): Geotechnische Erkundung und Untersuchung - Benennung, Beschreibung und Klassifizierung von Boden - Teil 1: Benennung und Beschreibung
- DIN EN ISO
14688-2 (11/2004): Geotechnische Erkundung und Untersuchung - Benennung, Beschreibung und Klassifizierung von Boden - Teil 2: Grundlagen für Bodenklassifizierungen
- DIN EN ISO
14689-1 (04/2004): Geotechnische Erkundung und Untersuchung - Benennung, Beschreibung und Klassifizierung von Fels - Teil 1: Benennung und Beschreibung
- DIN EN ISO
22475-1 (01/2007): Geotechnische Erkundung und Untersuchung - Probenentnahmeverfahren und Grundwassermessungen - Teil 1: Technische Grundlagen der Ausführung
- DIN EN ISO
22476-2 (04/2005): Geotechnische Erkundung und Untersuchung - Felduntersuchungen - Teil 2: Rammsondierungen

1 Bauvorhaben

Die Stadt Jena bereitet derzeit die Bebauung des Eichplatzes vor. Dabei wird u. a. die Errichtung einer bis zu zweigeschossigen Tiefgarage geplant. Auf Grundlage ihres Angebotes vom 03.08.2010 wurde die JENA-GEOS®-Ingenieurbüro GmbH durch die Stadtverwaltung Jena mit dem Schreiben vom 25.08.2010 mit der Durchführung der Baugrunderkundung und der Erstellung eines Baugrundgutachten mit integriertem Hydrogeologischen Gutachten beauftragt. Neben den grundsätzlichen Aussagen zum Baugrund und der Gründungssituation wird insbesondere eine abfallrechtliche Einstufung der voraussichtlich anfallenden Aushubmassen benötigt.

2 Baugrund

2.1 Allgemeine geologische Situation

Der Festgesteinuntergrund wird im Bereich des Eichplatzes überwiegend von den Schichtenfolgen des Mittleren Buntsandsteins, welche im oberflächennahen Bereich häufig tonig-schluffige Zersatzzonen besitzen, gebildet. Grundsätzlich ist der beschriebene Festgesteinuntergrund oberflächennah infolge der fortschreitenden Verwitterung zersetzt bis entfestigt anstehend und geht mit zunehmender Tiefe in einen unverwitterten Zustand über.

Auf dem zersetzten bzw. entfestigten Festgesteinuntergrund stehen pleistozäne Lockergesteine an. Dabei handelt es sich neben fluviatilen Terrassenablagerungen der Leutra um Hangschuttablagerungen der benachbarten Muschelkalktalflanken. Diese werden wiederum von holozänen Lehmen / Schluffen mit sandigen bzw. kiesigen Anteilen überlagert.

Im Untersuchungsgebiet sind i. d. R. die obersten Lagen der natürlichen Lockergesteine durch anthropogene Auffüllungen ersetzt oder überschüttet. Eine klare Abgrenzung zwischen dem eingebrachten Auffüllmaterial und dem natürlichen anstehenden Lehm / Schluff bzw. Terrassenkies/-sand ist nicht immer eindeutig möglich.

Das Untersuchungsgebiet liegt nach der Karte der Forsteinwirkungszonen Thüringens in der Frosteinwirkungszone 2.

2.2 Umgebungsbebauung

Der Eichplatz wird allseits von dichter Bebauung umgeben. Im Norden grenzt die Johannisstraße mit Wohnbebauung und Ladenstraße an. Im Osten befindet sich die Rathausgasse mit Wohn- und Geschäftsbebauung sowie dem Rathaus. Südlich des Eichplatzes schließt sich das „City-Carré“, bestehend aus Geschäftshäusern und Ladenstraße, sowie die Kollegiengasse mit Gebäuden der Friedrich-Schiller-Universität an. Die westliche Begrenzung erfolgt durch den JenTower und dem Einkaufszentrum „Neue Mitte“.

Weiterhin sind aufgrund ihrer in das Grundwasser reichenden Tiefgaragen die westlich bzw. südwestlich des Eichplatzes gelegenen Institutsgebäude der FSU/FH einschließlich Jenoptik und der Komplex Goethegalerie relevant.

In der nachfolgenden Tabelle sind die an den Eichplatz angrenzenden Gebäude der Gemarkung Jena, Flur 1 flurstücksbezogen zusammengestellt.

Tabelle 1 Umgebungsbebauung

| Richtung in Bezug auf den Eichplatz | Straße | Nr. | Flur | Flurstück | Art der Bebauung | Bemerkung |
|-------------------------------------|----------------|------|------|-------------------------------|-------------------------------|--------------------------|
| Norden | Jenergasse | 1 | 1 | 24 | Wohnhaus | Café Quirinus |
| Norden | Jenergasse | 1a | 1 | 82 | Wohnhaus | Werner's Head Shop |
| Norden | Johannisstraße | 11 | 1 | 94 | Wohnhaus | |
| Norden | Johannisstraße | 12 | 1 | 93 | Wohnhaus | |
| Norden | Johannisstraße | 13 | 1 | 92 | Wohnhaus | Rosenkeller |
| Norden | Johannisstraße | 14 | 1 | 91 | Wohnhaus | Reisebüro |
| Norden | Johannisstraße | 15 | 1 | 90 | Wohnhaus | |
| Norden | Johannisstraße | 16 | 1 | 89/1 | Wohnhaus | Fielmann |
| Norden | Johannisstraße | 17 | 1 | 88 | Wohnhaus | Milchmix |
| Norden | Johannisstraße | 18 | 1 | 87/2 | Wohnhaus | Lo studente |
| Norden | Johannisstraße | 19 | 1 | 86 | Wohnhaus | Werkzeugladen |
| Norden | Johannisstraße | 20 | 1 | 85 | Wohnhaus | |
| Norden | Johannisstraße | 21 | 1 | 84 | Wohnhaus | Maklerbüro |
| Norden | Johannisstraße | 22 | 1 | 83 | Wohnhaus | |
| Norden | Johannisstraße | 23 | 1 | 80/2 | Wohnhaus | |
| Norden | Johannisstraße | 24 | 1 | 80/2 | Wohnhaus | |
| Norden | Johannisstraße | 25 | 1 | 80/2 | Wohnhaus | |
| Süden | Kollegiengasse | 9 | 1 | 255, 243 | Universität | Institut für Immunologie |
| Südwesten | Kollegiengasse | 10 | 1 | 243 | Universität | Collegium Jenense |
| Westen | Leutragraben | 1 | 1 | 198/18 | Einkaufszentrum, Bürohochhaus | "Neue Mitte", "JenTower" |
| Westen | Leutragraben | 3 | 1 | 243 | Universität | Theoretikum |
| Südosten | Löbderstraße | 1, 3 | 1 | 288/2, 287, 289/2, 286/2, 284 | Kaufhaus | H&M |
| Osten | Markt | 1 | 1 | 290 | Rathaus | |
| Osten | Markt | 2 | 1 | 198/14 | Wohn- und Geschäftshaus | |
| Süden | Nonnenplan | 1 | 1 | 260/5 | Kaufhaus | C&A |
| Süden | Nonnenplan | 2 | 1 | 255, 246 | Universität | Institut für Biochemie |
| Süden | Nonnenplan | 3 | 1 | 272/4 | Wohn- und Geschäftshaus | Pianelli Music Store |
| Osten | Rathausgasse | 2 | 1 | 198/14 | Wohn- und Geschäftshaus | |
| Osten | Rathausgasse | 4 | 1 | 198/14 | Wohn- und Geschäftshaus | |

| Richtung in Bezug auf den Eichplatz | Straße | Nr. | Flur | Flurstück | Art der Bebauung | Bemerkung |
|-------------------------------------|--------------|-----|------|-----------|------------------|-----------------|
| Nordosten | Weigelstraße | 2 | 1 | 80/2 | Wohnhaus | |
| Nordosten | Weigelstraße | 3 | 1 | 72/10 | Wohnhaus | |
| Nordosten | Weigelstraße | 4 | 1 | 80/2 | Wohnhaus | Bike & Snow |
| Nordosten | Weigelstraße | 5 | 1 | 72/10 | Wohnhaus | Bike & Snow |
| Nordosten | Weigelstraße | 6 | 1 | 80/2 | Wohnhaus | Bike & Snow |
| Nordosten | Weigelstraße | 7 | 1 | 72/10 | Wohnhaus | Goethe Apotheke |

Aus den im Bauaktenarchiv recherchierten Bauplänen und Skizzen wurden die Niveaus der Kellersohle der umgebenden Gebäude ermittelt:

Tabelle 2 Umgebungsbebauungen mit Unterkellerung

| Richtung in Bezug auf den Eichplatz | Straße | Nr. | Kellerbasis [mNN] | Anzahl Unterkellerung | Bemerkung |
|-------------------------------------|----------------|------|-------------------|-----------------------|------------------------------|
| Norden | Jenergasse | 1 | 149,50 | 1 | Gewölbekeller |
| Norden | Jenergasse | 1a | 149,30 | 1 | Gewölbekeller |
| Norden | Johannisstraße | 11 | 151,30 | 1 | Gewölbekeller |
| Norden | Johannisstraße | 12 | 150,32 | 1 | Gewölbekeller |
| Norden | Johannisstraße | 13 | 146,60 | 1 | Gewölbekeller, „Rosenkeller“ |
| Norden | Johannisstraße | 14 | 150,50 | 1 | Gewölbekeller |
| Norden | Johannisstraße | 15 | 150,50 | 1 | Gewölbekeller |
| Norden | Johannisstraße | 16 | 150,20 | 1 | Gewölbekeller |
| Norden | Johannisstraße | 17 | 150,00 | 1 | Gewölbekeller |
| Norden | Johannisstraße | 18 | - | - | - |
| Norden | Johannisstraße | 19 | 150,10 | 1 | Gewölbekeller |
| Norden | Johannisstraße | 20 | 149,30 | 1 | Gewölbekeller |
| Norden | Johannisstraße | 21 | 149,30 | 1 | Gewölbekeller |
| Norden | Johannisstraße | 22 | 149,10 | 1 | Gewölbekeller |
| Norden | Johannisstraße | 23 | 147,28 | 2 | Heizungskeller |
| Norden | Johannisstraße | 24 | 149,70 | 1 | |
| Norden | Johannisstraße | 25 | 149,70 | 1 | |
| Süden | Kollegiengasse | 9 | 147,20 | 1 | Gewölbekeller |
| Westen | Leutrgraben | 1 | ? | 2 | Tiefgarage |
| Westen | Leutrgraben | 3 | 148,4 | 1 | Tiefgarage |
| Südosten | Löbderstraße | 1, 3 | 145,3 | 1 | Tiefgarage |
| Osten | Markt | 1 | 145,70 | 1 | Gewölbekeller, „Ratskeller“ |

| Richtung in Bezug auf den Eichplatz | Straße | Nr. | Kellerbasis [mNN] | Anzahl Unterkellerung | Bemerkung |
|-------------------------------------|--------------|-----|-------------------|-----------------------|------------|
| Osten | Markt | 2 | 144,54 | 1 | Tiefgarage |
| Süden | Nonnenplan | 1 | 145,40 | 1 | Tiefgarage |
| Süden | Nonnenplan | 2 | 145,40 | 1 | Tiefgarage |
| Süden | Nonnenplan | 3 | 145,40 | 1 | Tiefgarage |
| Osten | Rathausgasse | 2 | 144,54 | 1 | Tiefgarage |
| Osten | Rathausgasse | 4 | 145,79 | 1 | Tiefgarage |
| Nordosten | Weigelstraße | 2 | 149,70 | 1 | |
| Nordosten | Weigelstraße | 3 | 148,85 | 1 | |
| Nordosten | Weigelstraße | 4 | 149,70 | 1 | |
| Nordosten | Weigelstraße | 5 | 148,85 | 1 | |
| Nordosten | Weigelstraße | 6 | 149,70 | 1 | |
| Nordosten | Weigelstraße | 7 | 148,05 | 1 | |

2.3 Erkundung des Baugrunds

Zur Erkundung des Baugrunds wurden am 04.10.2010 durch die JENA-GEOS®-Ingenieurbüro GmbH an insgesamt fünf Aufschlusspunkten innerhalb des Untersuchungsgebiets je eine Rammkernsondierung (RKS) bis zu 5,7 m unter GOK abgeteuft. Anschließend wurde am 05.10.2010 je Aufschlusspunkt eine schwere Rammsondierung (DPH) bis zu 5,7 m unter GOK ausgeführt. Darüber hinaus wurde eine Kernbohrung (BK 1/10) durch die Brunnenbau Conrad GmbH bis 17,0 m unter GOK abgeteuft (vgl. Tabelle 3). Bei jedem Aufschlusspunkte musste zunächst die vorhandene Asphaltdeckschicht mittels Kernbohrung geöffnet werden. Im Zuge der Sondierarbeiten wurden je Aufschlusspunkt Bodenproben von jeder angetroffenen Baugrundsicht entnommen und separat aufbewahrt. Die gewonnenen Asphaltbohrkerne wurden ebenfalls als Probenmaterial erfasst. Zur Entnahme von Grundwasserproben und Beobachtung des GW-Pegels wurde das Bohrloch der BK 1/10 zu einem dauerhaften Grundwassermesspegel GWM 1/2010 ausgebaut (vgl. Anlage 2).

Am 03.11.2010 erfolgte die Beprobung der Grundwassermessstelle zur Bestimmung der Betonaggressivität des Grundwassers. Angaben zur Probenahme sind dem Probenahmeprotokoll Anlage 7.1 zu entnehmen.

Tabelle 3 Übersicht der durchgeführten Sondierungen

| Rammkernsondierungen (RKS) | Tiefe [m] | Rammsondierungen (DPH) | Tiefe [m] | Kernbohrung (BK) | Tiefe [m] |
|----------------------------|-----------|------------------------|-----------|------------------|-----------|
| RKS 1/10 | 1,95 | DPH 1/10 | 1,70 | BK 1/10 | 17,0 |
| RKS 2/10 | 3,80 | DPH 2/10 | 3,20 | | |
| RKS 3/10 | 5,70 | DPH 3/10 | 5,70 | | |
| RKS 4/10 | 3,80 | DPH 4/10 | 3,40 | | |
| RKS 5/10 | 2,10 | DPH 5/10 | 2,10 | | |
| Summe | 17,35 | Summe | 16,10 | Summe | 17,0 |

Die gewählten Aufschlusspunkte wurden nach Lage und Höhe ein gemessen und sind in der Anlage 1.2 abgebildet. Die Schichtenverzeichnisse der durchgeführten Rammkernsondierungen sind in der Anlage 2.1 enthalten. Der Aufbau des Baugrunds ist in Form von Bohrprofilen und Baugrundschnitten in den Anlagen 2.2, 2.5 und 5 dargestellt. Die Rammsondierdiagramme der durchgeführten schweren Rammsondierungen sind in der Anlage 2.3 enthalten. Durch die GLU GmbH Jena wurden die erforderlichen Laboruntersuchungen an den gewonnen Boden- bzw. Festgesteinsproben vorgenommen. Die Protokolle der Untersuchungen sind diesem Bericht als Anlage 4 beigefügt.

2.4 Baugrundsichten

Nach der oben beschriebenen geologischen Situation und den Ergebnissen der durchgeführten Untersuchungen kann der angetroffene Baugrund in folgende Baugrundsichten (BGS) gegliedert werden:

- a) BGS 1: Auffüllung
- b) BGS 2: Holozäne Auelehme/-sande
- c) BGS 3: umgelagerter Hangschutt
- d) BGS 4: Pleistozäne Terrassenkiese/-sande
- e) BGS 5: Röt VZ (Residualton)
- f) BGS 6A: Mittlerer Buntsandstein (VZ)
- g) BGS 6B: Mittlerer Buntsandstein (VE / VA)

Die durchgängig vorhandene Asphaltdeckschicht wird nicht als separate Baugrundsicht ausgehalten. Zusammenfassend sind die jeweiligen Tiefenlagen der einzelnen Baugrundsichten, die absolute Höhe der Aufschlusspunkte und der Grundwasserspiegel je RKS und BK bezogen auf die Geländeoberkante in der Tabelle 4 aufgelistet.

Tabelle 4 Unterkante der Baugrundsichten und Grundwasserspiegel an den jeweiligen Aufschlusspunkten (AP) [m unter GOK]

| | RKS 1/10 | RKS 2/10 | RKS 3/10 | RKS 4/10 | RKS 5/10 | BK 1/10 |
|--|----------|----------|----------|----------|----------|---------|
| BGS 1 Auffüllung | 0,8 | 0,8 | 1,4 | 0,7 | 1,8 | 0,9 |
| BGS 2 Auelehm /-sand | 1,0 | 1,3 | 1,5 | - | - | - |
| BGS 3 umgelagerter Hangschutt | 1,7 | 2,1 | 2,9 | - | - | 2,8 |
| BGS 4 Terrassenmaterial | - | - | - | 2,3 | - | 3,1 |
| BGS 5 Röt VZ (Residualton) | - | - | - | - | - | 4,4 |
| BGS 6A Mittlerer Buntsand- stein (VZ) | > 1,95 | > 3,8 | 5,6 | > 3,8 | > 2,1 | 5,3 |
| BGS 6B Mittlerer Buntsand- stein (VE / VA) | - | - | > 5,7 | - | - | > 17,0 |
| Grundwasserspiegel | - | ± 3,1 | ± 3,2 | ± 2,2 | - | ± 3,8 |

Im Einzelnen lassen sich die Baugrundsichten wie folgt beschreiben:

BGS 1: Auffüllung

Das bis zu 1,8 m mächtige, hellbraune bis graubraune grobkörnige Auffüllmaterial besteht aus einem weitgestuften, schwach schluffigen, ± bauschutthaltigem Kies-Sand-Stein-Gemisch. Das Brockenmaterial besteht zum Großteil aus Ziegel- und Betonbruch, Quarz, Porphyr sowie Kalkstein. Lagenweise können die Anteile der einzelnen Kornfraktionen variieren.

Insgesamt ist die stark heterogen ausgebildete Auffüllung als nicht bis gering frostempfindlich einzustufen. Das Gefüge ist korngestützt. Das Auffüllmaterial wurde in unterschiedlicher Mächtigkeit bei jeder Rammkernsondierung angetroffen (vgl. Tabelle 3).

Die Schlagzahlen der schweren Rammsonde mit Durchschnittswerten von $N_{10H} = 6 - 20$ deuten auf eine mitteldichte bis dichte Lagerung hin. Auf Grund des verfüllten groben Betonbruchs wurden bereichsweise Schlagzahlen von bis zu 133 erreicht. Das Auffüllmaterial ist als mittel bis stark kalkhaltig und wasserdurchlässig zu deklarieren.

BGS 2: Holozäne Auelehme/-sande

Der braune bis graubraune Auelehm bzw. –sand besteht aus fein- bis gemischtkörnigen Bestandteilen. Er kann als schwach kiesiger und lagenweise stark feinsandiger Schluff bzw. als stark schluffiger Feinsand bezeichnet werden. Insgesamt wird dieser vorwiegend homogene Auelehm bzw. –sand als stark frostempfindlich deklariert.

Der Auelehm bzw. –sand wurde im Untersuchungsgebiet bei der RKS 1/10, 2/10 und 3/10 in lediglich geringer Mächtigkeit angetroffen (vgl. Tabelle 4). Es ist denkbar, dass die BGS 2 bereichsweise im Zuge von Bauarbeiten durch das Auffüllmaterial (BGS 1) ausgetauscht wurde.

Die Schlagzahlen der schweren Rammsonde mit Durchschnittswerten von $N_{10H} = 4 - 6$ deuten auf eine vorrangig steife Konsistenz. Der Auelehm bzw. –sand ist als ± kalkhaltig und als kaum wasserdurchlässig einzustufen.

BGS 3: umgelagerter Hangschutt

Bei dem teilweise gelblich grauen bis hell grauen Hangschutt handelt es sich um einen mittel- bis grobkiesigen Schluff. Das Brockenmaterial besteht aus gut gerundetem Muschelkalkschutt. Daraus ergibt sich ein sehr hoher Kalkgehalt für die Schluff-Kalkschlamm-Matrix. Weiterhin ist der Hangschutt als stark frostempfindlich einzustufen.

Die BGS 3 wurde bei der RKS 1/10, 2/10 und 3/10 sowie bei der BK 1/10 in einer Mächtigkeit von bis zu 1,9 m (vgl. Tabelle 4) angetroffen. Das Gefüge ist überwiegend korngestützt ausgebildet. Dieser heterogene Hangschutt muss als gering wasserdurchlässig deklariert werden.

Die relativ hohen Schlagzahlen der schweren Rammsonde mit Durchschnittswerten von $N_{10H} = 15 - 25$ deuten für die vorrangig bindigen Bereiche auf eine halbfeste Konsistenz und für die vorrangig nichtbindigen Abschnitte auf eine dichte Lagerung.

BGS 4: Pleistozäne Terrassenkiese/-sande

Hierbei handelt es sich um ein bis zu 1,6 m mächtiges, dunkelgraues bis graubraunes Kies-Sand-Gemisch mit einem erheblichen stark schluffigen Feinkornanteil. Bei dem Brockenmaterial handelt es sich im Wesentlichen um Quarz, Porphy und Kalkstein. Das Gefüge kann grundsätzlich als korngestützt beschrieben werden. Insgesamt können die stark verlehnten Terrassenkiese bzw. -sande als stark frostempfindlich und gering wasserdurchlässig beschrieben werden.

Die Schlagzahlen der schweren Rammsonde mit Durchschnittswerten von $N_{10H} = 6 - 13$ lassen auf eine mitteldichte Lagerung schließen. Während der Bohrgutansprache konnte ein mittlerer Kalkgehalt nachgewiesen werden. Die BGS 4 wurde bei der RKS 4/10 und bei der BK 1/10 angetroffen (vgl. Tabelle 4).

BGS 5: Röt VZ (Residualton)

Der angetroffene Residualton (Röt VZ) kann als schwach sandiger, mergeliger Ton bzw. Schluff mit einer steifen bis halbfesten Konsistenz bezeichnet werden.

Die BGS 5 wurde hinsichtlich der Scherfestigkeit labortechnisch mittels Rahmenscher-
versuch untersucht (vgl. Anlage 3 Grundbruch- und
Setzungsberechnungen, Blatt 1 – 2

Anlage 4 Geotechnische Laborversuche

Anlage 4.1). Daraus ergab sich ein charakteristischer effektiver Reibungswinkel φ_k von ca. $23,5^\circ$ und eine charakteristische effektive Kohäsion c_k von ca. $33,8 \text{ kN/m}^2$. Ergänzend wurden die Zustandsgrenzen des Residualtons bei einem Wassergehalt von 21,8 % bestimmt. Die Fließgrenze w_L liegt bei 43 %, die Ausrollgrenze w_P bei 22 %, die Plastizitätszahl I_P bei 21 % und die Konsistenzzahl I_C bei 1,01 (Bodengruppe TM). Die Konsistenz ist somit als halbfest einzustufen.

Im Rahmen der durchgeführten Erkundungsmaßnahmen wurde die BGS 5 lediglich bei der BK 1/10 in geringer Mächtigkeit angetroffen ($\pm 0,5 \text{ m}$). Auf Grundlage von Erkundungsergebnissen aus dem Umfeld des Untersuchungsgebiets ist bekannt, dass die Mächtigkeit des Residualtons bis zu 6 m betragen kann. Im Bereich des Eichplatzes ist dieser auf Grund des vorgenommenen Geländeabtrags entfernt bzw. durch Auffüllmaterial ersetzt worden.

BGS 6A: Mittlerer Buntsandstein (VZ)

Bei der BGS 6A handelt es sich um die zersetzten Sand-, Ton- und Schluffsteine des Mittleren Buntsandsteins. Diese lockergesteinsartige natürlich anstehende Festgesteinschicht kann als enggestufter Fein- bis Grobsand mit teilweise schwach tonigen bzw. schluffigen Feinkornanteil bezeichnet werden. Hinzu treten in Wechsellagerung mit den zersetzten Sandsteinen ebenfalls komplett zersetzte Ton- bzw. Schluffsteine auf. Diese Tone bzw. Schluffe sind mit unter stark feinsandig.

Der zersetzte Sandstein ist als gut wasserdurchlässig, gering frostempfindlich und lediglich im oberen Bereich leicht kalkhaltig zu deklarieren. Im Gegensatz weisen die zersetzten Ton- und Schluffsteine eine geringe Wasserdurchlässigkeit, eine starke Frostepfindlichkeit und keinen nachweisbaren Kalkhalt auf.

Die Schlagzahlen der schweren Rammsonde mit Durchschnittswerten von $N_{10H} = 10 - 30$ lassen auf eine dichte Lagerung (Sst VZ) bzw. halbfeste Konsistenz (Ust/Tst VZ) schließen. Die BGS 6A wurde bei jedem Aufschlusspunkt bei einer Tiefe zwischen 1,7 bis 3,1 m unter GOK angetroffen (vgl. Tabelle 4).

BGS 6B: Mittlerer Buntsandstein (VE / VA)

Die BGS 6B repräsentiert die nur mäßig entfestigten, relativ intakten, teilweise tonigen/schluffigen, meist mittelkörnigen, bankigen grün- bis rotgrauen Sandsteine des mittleren Buntsandsteins. Untergeordnet sind dünne, blättrig-dünnpaltige, krümelige und meist stark glimmerige Tonstein- bzw. Schluffsteinschichten zwischengeschaltet. Der entfestigt bis angewitterte Sandstein (VE-VA) ist mäßig mürb bis hart, die Tonstein- bzw. Schluffsteinlagen sind sehr mürb bis mürb.

Die mittleren einaxialen Druckfestigkeiten des Sandsteins in dieser Tiefenlage liegen erfahrungsgemäß zwischen 5 und 20 MN/m². Der zwischengelagerte Ton- bzw. Schluffstein, der als schwach gebundenes Festgestein der Felsgruppe 4 gemäß DIN 1054 zuzuordnen ist, wirkt sich abmindernd auf die Gesamtfestigkeit des Festgesteins aus. Die reinen Ton- bzw. Schluffsteinschichten können eine Mächtigkeit von bis zu 1,0 m erreichen. Im Vergleich zu den Sandsteinschichten beträgt der Anteil der feinkörnigen Sedimentgesteine etwa 25 %.

Um die einaxiale Druckfestigkeit des Sandsteins im gründungsrelevanten Bereich für eine 2-geschossige Tiefgarage genauer eingrenzen zu können, wurde eine Gesteinsprobe (BK 1/10 P 2) labortechnisch untersucht (vgl. Anlage 4.2). Der einaxiale Druckversuch weist eine Festigkeit der Gesteinsprobe von ca. 10,7 MN/m² aus. Der ermittelte E-Modul liegt bei etwa 3.000 MN/m² (Spannungsbereich 4,2 bis 6,5 MN/m²).

2.5 Geotechnische und bodenmechanische Kennwerte

Nach den Ergebnissen der durchgeführten Untersuchungen, unter Berücksichtigung der vorhandene Kenntnisse und Erfahrungen zu Aufbau und Eigenschaften der anstehenden Schichtenfolge und unter Beachtung der DIN 1055-2 werden den einzelnen Baugrundsichten folgende geotechnische und bodenmechanische Kennwerte zugeordnet (vgl. Tabelle 5, Tabelle 6, Tabelle 7).

Tabelle 5 Geotechn. und bodenmechan. Kennwerte der BGS 1 – 3

| Parameter | BGS 1 | BGS 2 | BGS 3 |
|---|--|---|---------------------------------|
| Übliche Benennung | Auffüllung | Holozäne Auelehme/-sande | umgelagerter Hangschutt |
| Ausbildung | Mittel- bis Grobkies, Sand, steinig, schwach schluffig, ±bauschutthaltig | Schluff, schwach feinsandig, schwach kiesig | Schluff, mittel- bis grobkiesig |
| Mächtigkeit [m] | ca. 0,5 – 1,6 | ca. 0,0 – 0,5 | ca. 0,0 – 1,4 |
| Lagerungsdichte/ Konsistenz | mitteldicht – dicht | (weich –) steif | (steif –) halbfest / dicht |
| Bodengruppe gem. DIN 18196 | A [GW, SW, (GU, SU)] | UL / UM, (SU*) | UL / GU* |
| Bodengruppe gem. DIN 18300 | 3 (leicht lösbarer Boden) | 3 (leicht lösbarer Boden) | 4 (mittelschwer lösbarer Boden) |
| Frostgefährdung | F1 – F2 | F3 | F3 |
| Wichten γ_k (γ'_k) [kN/m ³] | 18 – 20 (10,5 – 12) | 17,5 – 18,5 (9 – 10) | 19,5 – 21 (11 – 13,5) |
| effektiver Reibungswinkel ϕ'_k [°] | 32,5 – 35 | 22,5 – 27,5 | 27,5 – (30) |
| effektive Kohäsion c'_k [kN/m ²] | 0 | 0 – 4 | 5 – 10 |
| Steifemodul $E_{s,k}$ [MN/m ²] | 50 – 80 | 5 – 10 | 20 – 50 |

Tabelle 6 Geotechn. und bodenmechan. Kennwerte der BGS 4 – 5

| Parameter | BGS 4 | BGS 5 |
|---|---|--|
| Übliche Benennung | Pleistozäne Terrassenkiese/-sande | Röt VZ (Residualton) |
| Ausbildung | Fein- bis Grobkies, grobsandig, schluffig | Ton(-stein), Schluff, schwach sandig, mergelig |
| Mächtigkeit [m] | ca. 0,0 – 1,6 | ca. 0,0 – 1,5 |
| Lagerungsdichte/ Konsistenz | mitteldicht | steif (– halbfest) |
| Bodengruppe gem. DIN 18196 | GU*, SU* | TM / TL, (UM / UL) |
| Bodengruppe gem. DIN 18300 | 4 (mittelschwer lösbar Boden) | 4 (mittelschwer lösbar Boden) |
| Frostgefährdung | F3 | F3 |
| Wichten γ_k (γ'_k) [kN/m ³] | 21 (13,5) | 19 – 20 (10 – 11) |
| effektiver Reibungswinkel φ'_k [°] | 32,5 – 35 | 22,5 – 25 |
| effektive Kohäsion c'_k [kN/m ²] | 0 | 15 – 30 |
| Steifemodul $E_{s,k}$ [MN/m ²] | 50 – 80 | 10 – 15 |

Tabelle 7 Geotechn. und bodenmechan. Kennwerte der BGS 6

| Parameter | BGS 6A | BGS 6B |
|---|---|---|
| Übliche Benennung | Mittlerer Buntsandstein (VZ) | Mittlerer Buntsandstein (VE / VA) |
| Ausbildung | Fein- bis Grobsand, schwach kiesig / Schluff, tonig, stark feinsandig | Sandstein-/ Tonstein-Wechselagerung (70/30), söhlig |
| Mächtigkeit [m] | ca. 3,0 | ≥ 12,0 |
| Lagerungsdichte/ Konsistenz | dicht / (steif –) halbfest | mürbe – mäßig hart |
| Bodengruppe gem. DIN 18196 | SE, UL / TL, (SU* / ST*) | SF / SG |
| Bodengruppe gem. DIN 18300 | 5 – 6 (schwer lösbarer Boden – leicht lösbarer Fels) | 6 (– 7) (leicht bis schwer lösbarer Fels) |
| Frostgefährdung | F1 – F3 | F3, (F2) |
| Wichten γ_k (γ'_k) [kN/m ³] | 19,5 – 21 (11 – 13,5) | 22 – 23 (13) |
| effektiver Reibungswinkel ϕ'_k [°] | 25 – 32,5 | 35 – 40 |
| effektive Kohäsion c'_k [kN/m ²] | 0 – 7 | 10 – 20 |
| Steifemodul $E_{S,k}$ [MN/m ²] | 5 – 20 Schluff / Ton 50 – 80 Sand | 10 – 30 Ust, Tst (VE / VA) 100 – 140 Sst (VE / VA) |

2.6 Grundwasserverhältnisse

Das am Untersuchungsstandort angetroffene Auffüllmaterial ist relativ gut wasser-durchlässig. Im Gegensatz dazu ist der vorhandene Auelehm bzw.- sand (BGS 2), der umgelagerte Hangschutt (BGS 3), das verlehnte Terrassenmaterial (BGS 4) sowie der Residualton (BGS 5) als kaum wasserdurchlässig einzustufen. Die darunter anstehenden wechselnden Schichtenfolgen des Mittleren Buntsandsteins (BGS 6A und 6B) sind im Bereich der Sandsteine \pm wasserdurchlässig. Die eingelagerten Ton- bzw. Schluffstein-schichten sind wiederum als wasserstauend zu deklarieren und können, vor allem nach starken Niederschlägen, ein Aufstauen von Schichtenwasser verursachen.

Bei den durchgeführten Rammkernsondierungen wurde teilweise nasses bis sehr nasses Bohrgut im Bereich der BGS 6A angetroffen. Die darüber liegenden Baugrundsichten sind i. d. R. als trocken bis erdfeucht einzustufen. In den Bohrlöchern der RKS 2/10, 3/10 und 4/10 sowie der DPH 4/10 und BK 1/10 konnte ein Wasserstand zwischen 2,2 und 3,8 m unter GOK mittels Lichtlot erfasst werden (vgl. Tabelle 4). Hierbei könnte es sich um vorhandenes Schichtwasser bzw. anstehendes Grundwasser handeln. Die Bohrlöcher der anderen Sondierungen fielen direkt nach dem Ziehen des Bohrgestänges zu. Im Bereich des Eichplatzes ist mit einem mittleren Wasserstand bei 3,0 m unter GOK zu rechnen.

Die Grundwasserführung in den überwiegend sandig ausgebildeten Sedimentgesteinen der BGS 6B 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 wirken bei größeren Mächtigkeiten als Grundwasserstauer. Dadurch wird der Hauptgrundwasserkomplex in einzelne Grundwasserstockwerke mit unterschiedlichen hydraulischen und hydrochemischen Bedingungen gegliedert.

Auf eine weiterführende Beschreibung der Grundwasserverhältnisse wird hier zunächst verzichtet. Eine ausführliche Analyse auch hinsichtlich des Einflusses einer weiteren Bebauung im Untersuchungsgebiet befindet sich im zugehörigen hydrologischen Gutachten.

3 Hydrogeologie

3.1 Standortrelevante Grundwasserleiter und Oberflächengewässer

Für den Bereich des Eichplatzes ist der Mittlere Buntsandstein (BGS 6) der maßgebliche Grundwasserleiter. Beschreibungen der Hydrodynamik und hydrogeologische Kennwerte sind dem Abschnitt 4.2 zu entnehmen. Ein auf der Basis der Stichtagsmessung vom 09.09.2010 konstruierter Grundwassergleichenplan ist als Anlage 6.3 beigefügt.

Die lokal ausgebildeten Leutraschotter (BGS 4) können bei den hydrogeologischen Betrachtungen zum Baugrund vernachlässigt werden, da sie im Bereich des Eichplatzes keine nennenswerte Grundwasserführung aufweisen (siehe Anlage 5). 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.

400 m südwestlich des Eichplatzes verläuft die Leutra. Sie führte durch ihre Hochwässer bereits mehrfach zu Problemen bei Tiefbaumaßnahmen. Die 400 m südöstlich verlaufende Saale ist aufgrund des Höhenunterschiedes zwischen dem Grundwasserstand im Bereich Eichplatz und dem Wasserstand der Saale für die vorliegende Betrachtung nicht relevant.

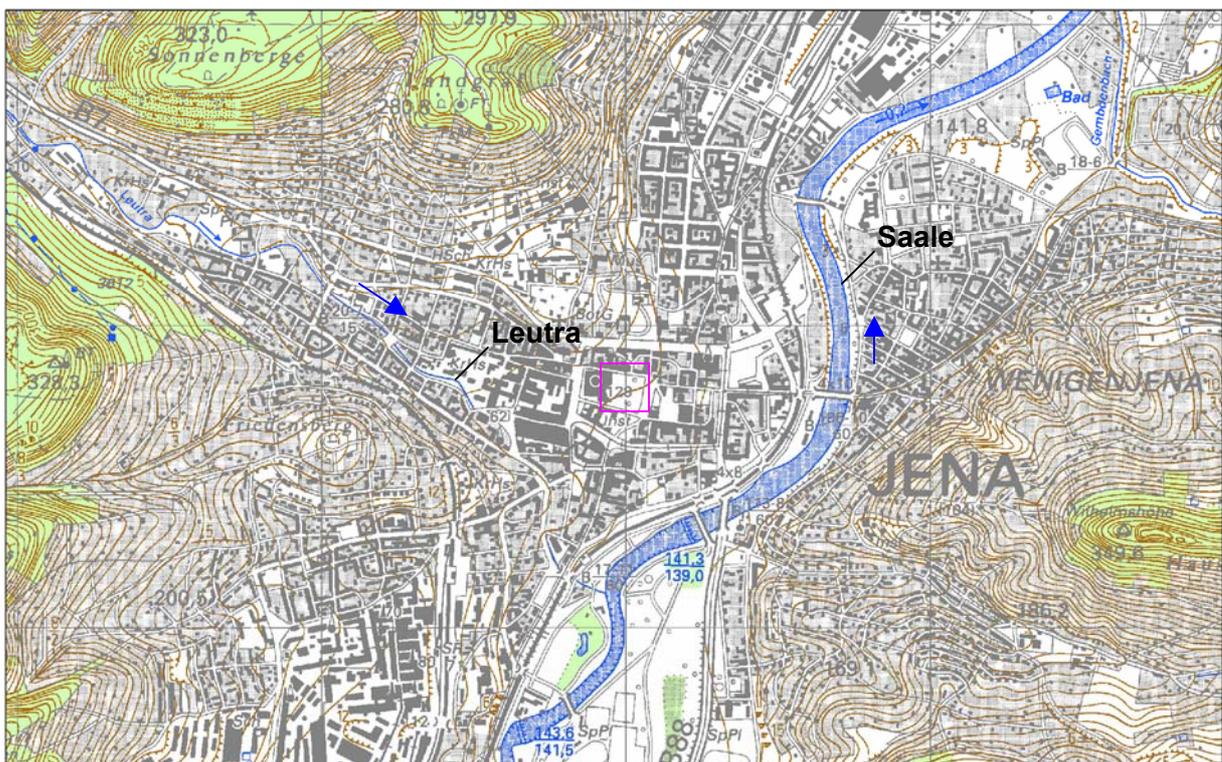


Abbildung 1 Oberflächengewässer im Umfeld des Untersuchungsgebietes; TK 25

Im Grundwasseranstrom stehen die Leutraschotter in hydraulischer Verbindung mit dem Buntsandstein und bewirken bei Hochwasser der Leutra eine entsprechende Speisung des Festgesteinsgrundwasserleiters. Bedingt durch die niveaugesteuerte hydraulischen Maßnahmen an den anstromig gelegenen Gebäuden werden Grundwasserstandsschwankungen stark gedämpft.

Im Stadtgebiet existierten früher zahlreiche künstlich angelegte von der Leutra gespeiste Gräben. Heute sind diese Gräben verfüllt. Wurde als Verfüllmaterial grobkörniges Material (Bauschutt, Kies, Muschelkalkschutt) verwendet, können sie durch die erhöhte Wasserwegsamkeit lokal die Hydrodynamik beeinflussen.

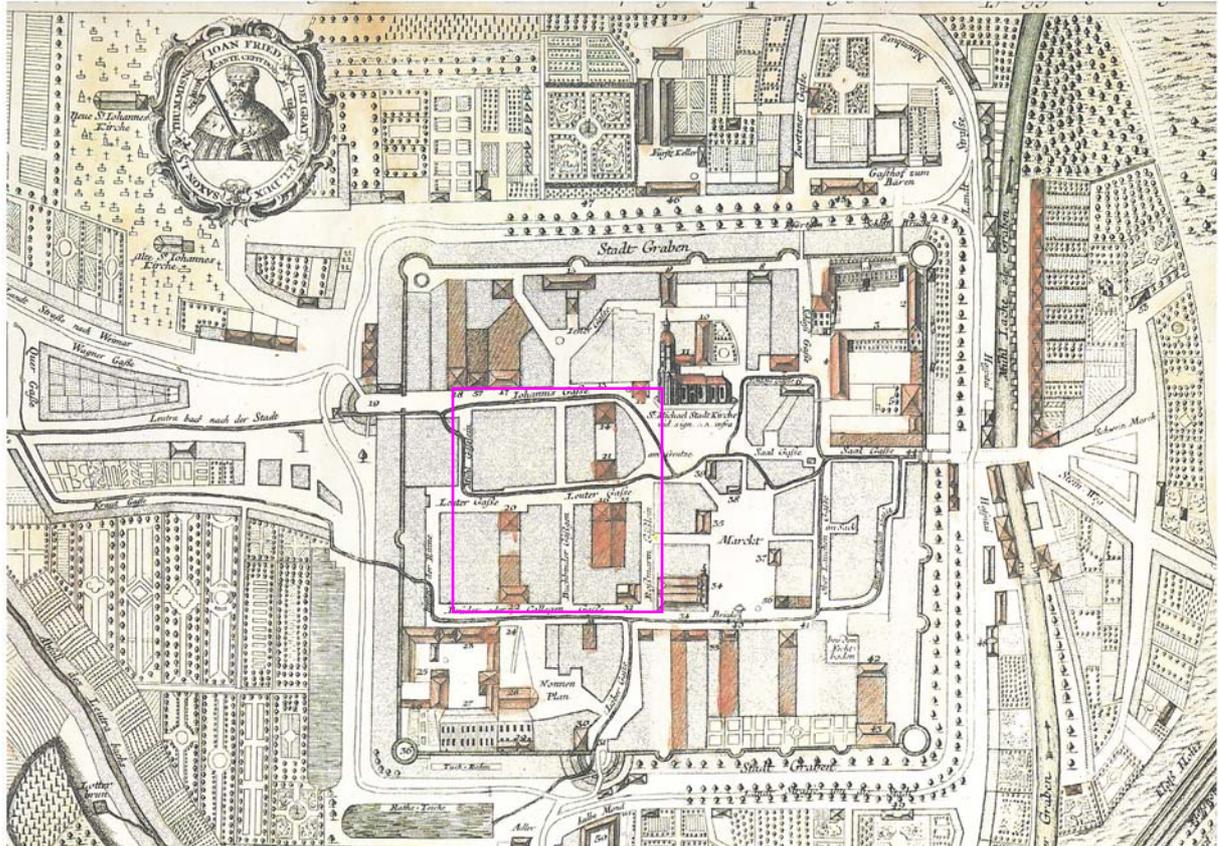


Abbildung 2 Oberflächengewässer im Umfeld des Untersuchungsgebietes Stand 1758 [39]

3.2 Anthropogene Beeinflussung der hydrodynamischen Verhältnisse

3.2.1 Beeinflussung der Hydrodynamik durch die umliegende Bebauung

Die ursprüngliche natürliche Hydrodynamik wurde durch bis in das Grundwasser reichende Tiefbauten nachhaltig verändert. In neuerer Zeit kam es unter anderem durch folgende Baumaßnahmen im Umfeld des Eichplatzes zu einer signifikanten Beeinflussung der hydrodynamischen Verhältnisse:

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

Tabelle 8 Bauwerke, die die Grundwasserdynamik beeinflussen

| Bauwerk Infoquelle | Art der hydraulischen Maßnahme | Bemessungs- wasserstand | Monitoring |
|---|--|---|--|
| Institutsgebäude FSU/FH mit Mensa und Jenoptik Tiefgarage [1], mündl. Info ¹ | Pfahlfenster Dränagegräben/-rohre 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: <ul style="list-style-type: none"> • Leutrageraben • Krautgasse • Carl-Zeiss-Str. |
| Anatomie Befahrung 9.9.2010 | temporäre niveaugesteuerte Wasserhaltung über provisorische in den Kellerboden eingelassene Pumpenschächte zur Trockenhaltung der Keller | kein Bemessungs- wasserstand | keine Dokumentation von Fördermengen und Wasserständen |
| Brunnen Pulverturm [12], [13], mündl. Info ² , Befahrung 05.10. 2010 | diskontinuierliche mengen- gesteuerte Grundwasser- förderung zur Versorgung der „Wasserrinne“ in der Johannisstraße Förderung: ca. 4 m ³ /h Förderzeiten im Sommer- halbjahr: täglich 8:00 - 20:00 Uhr | kein Bemessungs- wasserstand vorgegeben | diskontinuierliche Ableseung des Wasserzählers keine Dokumentation der Entwicklung des Grundwasserspiegels |

¹ Angaben von Herrn Rothe, Jenoptik

² Informationen von Herrn Weinsheimer, KSJ

| Bauwerk Infoquelle | Art der hydraulischen Maßnahme | Bemessungs- wasserstand | Monitoring |
|---|---|----------------------------|---|
| Theoretikum [3], [4]; [5], mündl. Info ³ | Wandsicker, Planumsdrainage keine aktive Wasserhaltung | 148,20 mNN | |
| Jentower [16], [18], [21], [22], [27], mündl. Info ⁴ | keine aktive Wasserhaltung, Tiefgarage JENA-Mitte bindet nur gering in Grundwasser ein, Bauausführung gewährleistet hinreichende Um- und Unterströmung | 148,74 mNN | |
| Goethe-Galerie [1], [6], [15] mündl. Info ⁵ | 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 keine Dokumentation der Entwicklung des Grundwasserspiegels im Umfeld |
| C&A und City Carré | keine aktive Wasserhaltung | | |

³ Information von Herrn Franz, FSU Jena

⁴ Information von Herrn Schlegel, City & Centermanagement Weimar GmbH

⁵ Information von Herrn Koblenz, Centermanagement Goethegalerie

3.2.2 Beeinflussung der Hydrodynamik durch sonstige Wasserhaltungen

Zur Versorgung der „Wasserrinne“ der Johannisstraße wird nordwestlich des Eichplatzes (ca. 30 m südlich des Pulverturmes) ein 65 m tiefer Tiefbrunnen betrieben. Der Betrieb erfolgt im Sommerhalbjahr jeweils von 8:00 Uhr bis 20:00 mit einer Fördermenge von ca. 4 m³/h. Der alternierende Förderbetrieb beeinflusst die Hydrodynamik im Festgesteinsgrundwasserleiter.

Die von JENA-GEOS® durchgeführte Datenloggeraufzeichnung des Wasserstandes in der 67 m vom Brunnen entfernten Messstelle „Johannistor“ belegt mit täglichen Schwankungen des Grundwasserspiegels von 0,3 m die Reichweite des Brunnens (Abbildung 3). Bei Pumpversuchen mit höheren Förderraten (18 m³/h) wurde im Jahr 2004 in der gleichen Kontrollmessstelle eine Absenkung des Wasserspiegels um 1,35 m registriert [13].

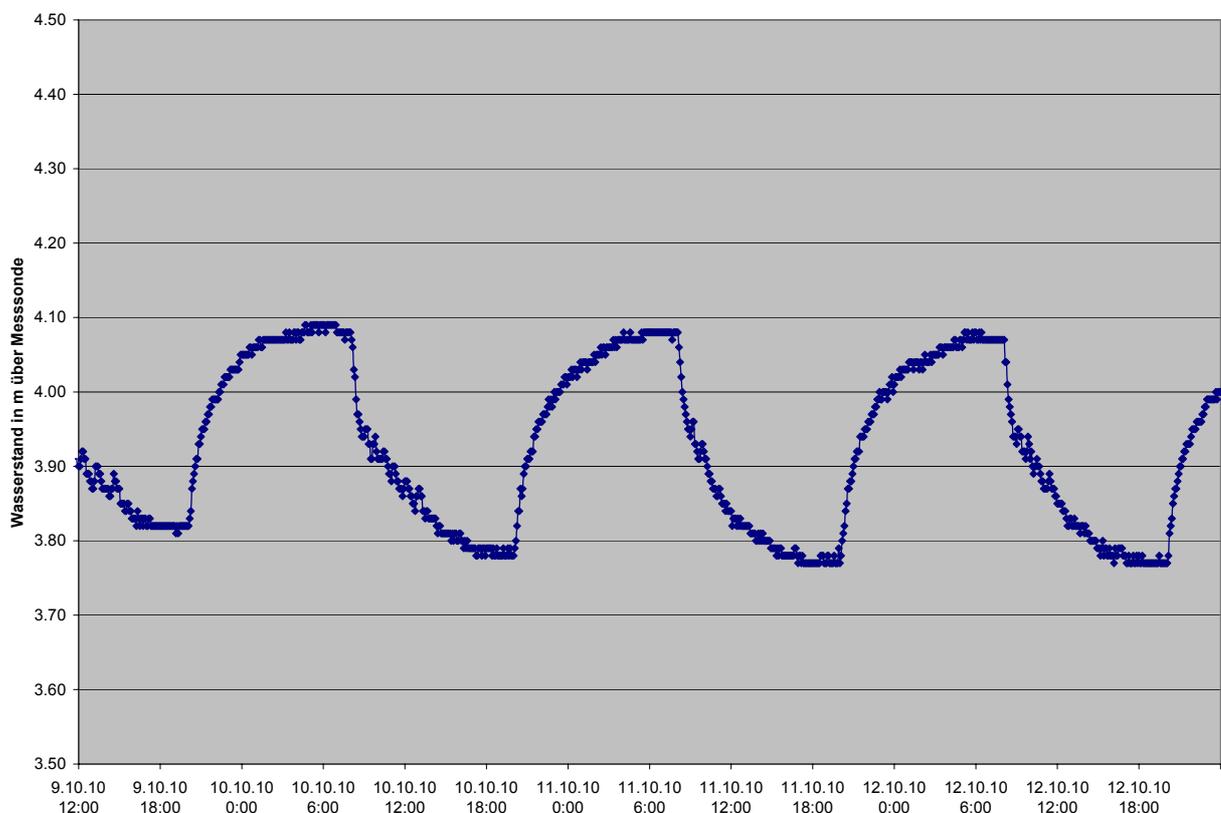


Abbildung 3 Grundwassermessstelle Johannistor, Beeinflussung des Grundwasserspiegels durch Förderung des 67 m entfernt gelegenen Brunnens Pulverturm

Nach Abschaltung des Brunnens am 28.10.2010 um 20:00 Uhr (Beginn der Winterruhe des Brunnens) war kein zusätzlicher Anstieg des Grundwasserspiegels in der Messstelle Johannistor zu beobachten. Der Ruhewasserspiegel stellte sich innerhalb von 12 Stunden nach Abschalten des Brunnens ein (Abbildung 4). Der weitere Anstieg des Grundwasserspiegels wird offensichtlich durch die aktiven und passiven hydraulischen Maßnahmen der umgebenden Gebäude beschränkt.

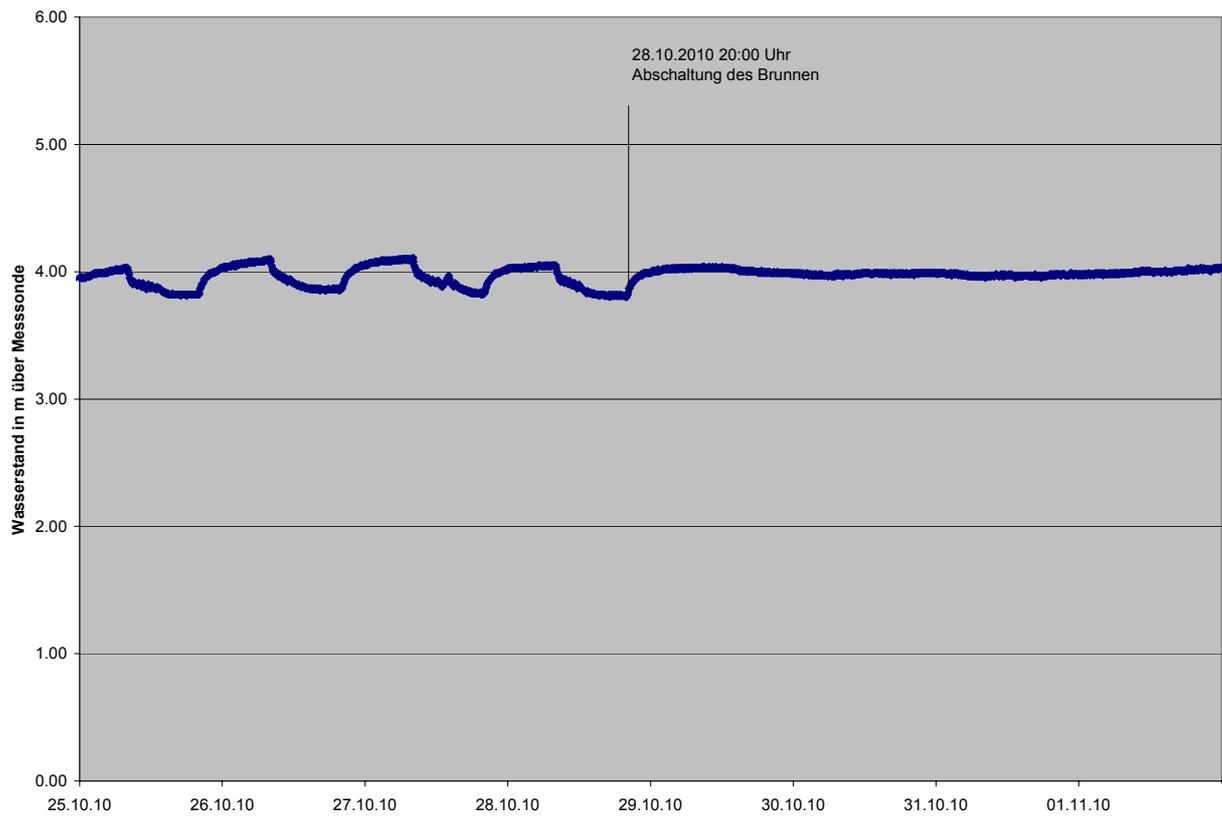


Abbildung 4 Grundwassermessstelle Johannistor, Ganglinie nach Einstellung des Pumpbetriebes im 70 m entfernt gelegenen Brunnen Pulverturm

Entsprechend den durchgeführten Pumpversuchen ist davon auszugehen, dass sich die hydrodynamische Auswirkung des Brunnenbetriebes bis in den nordwestlichen Bereich des Eichplatzes erstreckt.

3.3 Bemessungswasserstand

3.3.1 Bislang gemessene Grundwasserstände

Im Rahmen der Baugrunduntersuchung wurde im nordöstlichen Teil des Untersuchungsobjektes die Grundwassermessstelle GWM 1/2010 errichtet. Folgende Messungen liegen vor:

- 03.11.2010: 145,21 mNHN
- 15.11.2010: 145,08 mNHN

Die Thüringer Landesanstalt für Umwelt und Geologie stellte aus dem Fachinformationssystem Gewässer (FIS-Gewässer) Stammdaten und Wasserstandsdaten der im Landesmessnetz enthaltenen Messstellen „Holzmarkt“ und „Johannisstraße“ zur Verfügung. Alle Messwerte sind in „m u. MP“ (Meter unter Messpunkt) angegeben. Die Höhe der Messpunkte (in mNN bzw. mNHN) ist unbekannt.

Tabelle 9 Messdaten Wasserstand aus dem FIS-Gewässer

| Messstelle | TLUG_Nr | Beginn Messung | Ende Messung | Anzahl Messung |
|------------------------|------------|----------------|--------------|----------------|
| Holzmarkt (BK 11) | 5035000185 | 01.11.2006 | 28.06.2010 | 176 |
| Johannisstraße (BK 15) | 5035000197 | 08.11.2006 | 28.06.2010 | 175 |

Weitere Grundwasserstandsdaten wurden aus verschiedenen Gutachten, aus Unterlagen des Bauaktenarchives sowie bei Betreibern von Grundwassermessnetzen recherchiert. Eigene Wasserstandsmessungen an ausgewählten Messstellen erfolgten am 09.09.2010 und 15.11.2010.

Auf Grundlage der am 09.-11.11.2010 durch die Stadtverwaltung Jena durchgeführten Einmessung der Grundwassermessstellen im Innenstadtbereich war eine Umrechnung der verschiedenen Daten auf das einheitliche Höhen Bezugssystem NHN möglich. Die nachfolgende Tabelle gibt einen Überblick über die nunmehr vorliegenden Daten.

Tabelle 10 Grundwasserstandsdaten, Höhenangaben in mNHN

| Messstelle | Messung von | Messung bis | Anzahl | Max | Min | Mittelwert |
|---------------------|-------------|-------------|--------|---------------|---------------|---------------|
| Johannistor | 19.01.2000 | 12.11.2010 | 74 | 150,06 | 146,07 | 147,95 |
| Krautgasse | 09.09.1998 | 14.09.2010 | 97 | 150,84 | 149,21 | 149,85 |
| Carl-Zeiss-Straße | 09.09.1998 | 14.09.2010 | 113 | 150,28 | 149,57 | 150,03 |
| McDonalds | 09.09.1998 | 14.09.2010 | 135 | 148,61 | 145,61 | 147,50 |
| Holzmarkt | 23.04.1997 | 09.09.2010 | 255 | 145,45 | 143,18 | 144,33 |
| Teichgraben | 12.10.1999 | 09.09.2010 | 44 | 145,96 | 144,96 | 145,68 |
| Theoretikum | 18.07.2001 | 09.09.2010 | 21 | 147,45 | 145,92 | 147,05 |
| City Carré | 23.04.1997 | 09.09.2010 | 71 | 144,49 | 141,34 | 143,34 |
| Johannisgasse alt | 28.03.2001 | 10.04.2003 | 47 | 3,49 u. MP | 5,11 u. MP | 4,65 u. MP |
| Johannisgasse neu | 06.07.2005 | 09.09.2010 | 194 | 146,84 | 145,94 | 146,40 |
| Klinik (Bachstraße) | 27.02.2002 | 09.09.2010 | 36 | 152,58 | 151,77 | 152,30 |
| Pharmakologie | 01.02.2002 | 09.09.2010 | 30 | 146,30 | 145,78 | 146,13 |
| Eichplatz | 03.11.2010 | 15.11.2010 | 2 | 145,21 | 145,08 | |

3.3.2 Ableitung des Bemessungswasserstandes

Zur Ableitung des Bemessungswasserstandes wird die Ganglinie der an der Nordostecke des Eichplatzes gelegenen Messstelle Johannesstraße herangezogen (Abbildung 5). Aufgrund Ihrer anstromigen Lage ist diese Messstelle repräsentativ zur Ableitung von Bemessungswasserständen für den Eichplatz geeignet.

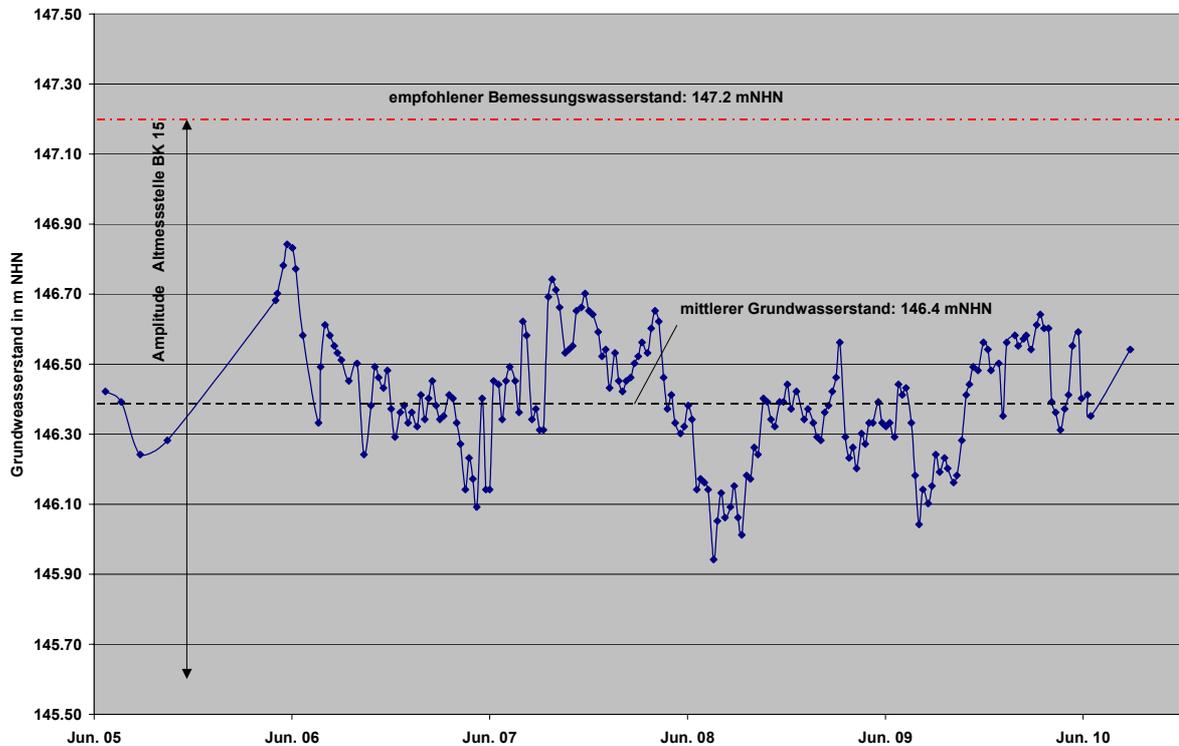


Abbildung 5: Ganglinie Messstelle Johannesstraße

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.

3.3.3 Bemessungswasserstand

Vorbehaltlich der weiteren Beobachtung der vorhanden und eventuell weiteren Messstellen wird für den Grundwasserleiter Buntsandstein unter Berücksichtigung der natürlichen Grundwasserstandsschwankungen folgender Bemessungswasserstand für das Objekt Eichplatz 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.

3.4 Beurteilung betonangreifender Wässer nach DIN 4030-1

Die Beurteilung betonangreifender Wässer nach DIN 4030-1 erfolgt getrennt für die Grundwasserleiter Leutraschotter und Buntsandstein auf der Grundlage von Altanalysen und einer im Rahmen der vorliegenden Untersuchung analysierten Probe des Festgesteinsgrundwasserleiters.

Die Analysenwerte sind farblich wie folgt gekennzeichnet:

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

3.4.1 Oberer Grundwasserleiter – Leutraschotter

Vom oberen Grundwasserleiter 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 als XA2 (stark betonangreifend) einzustufen.

Tabelle 11 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 ⁶ | 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 |

⁶ BEB Jena Consult GmbH, Jena

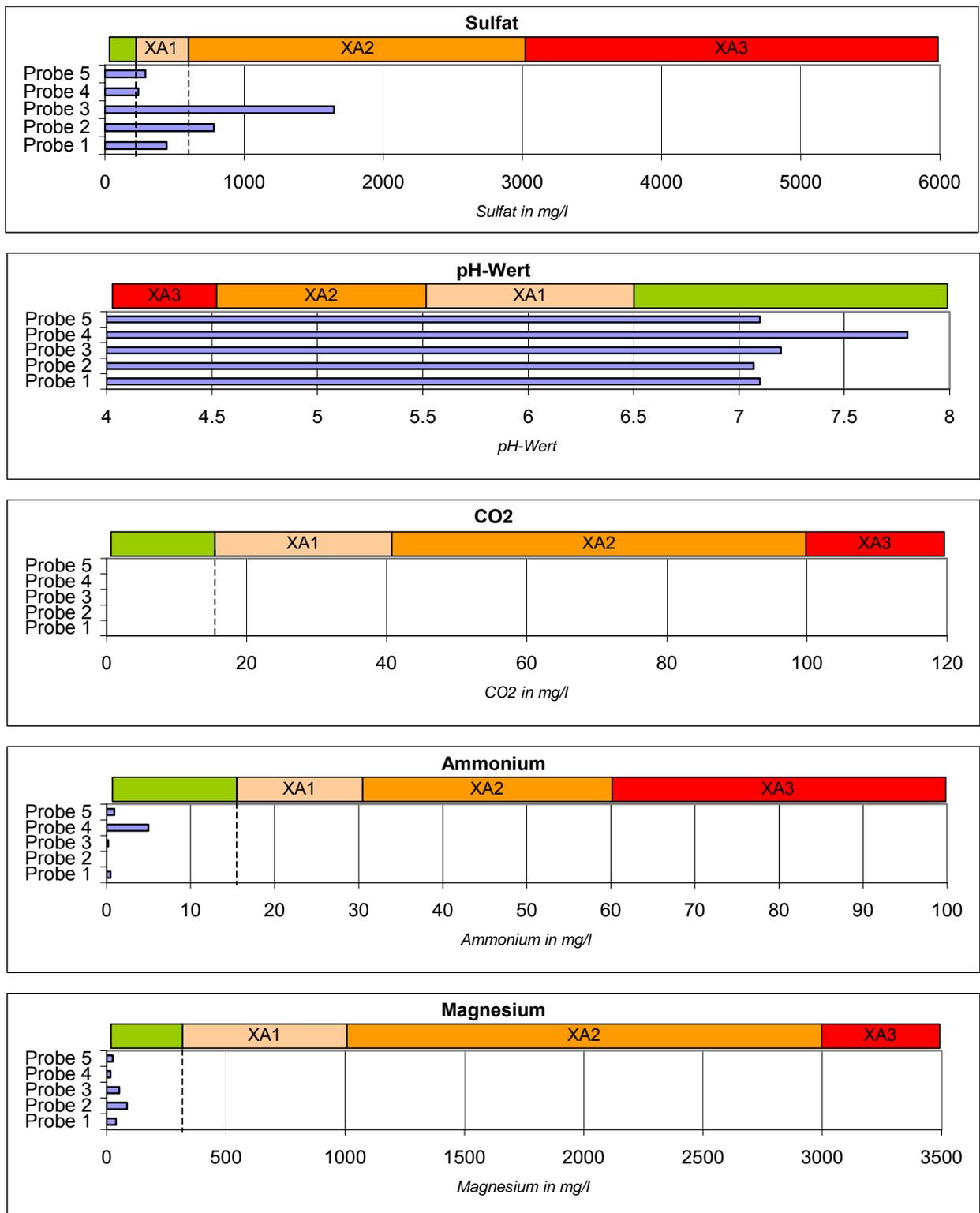


Abbildung 6 Oberer Grundwasserleiter (Leutraschotter): Wasseruntersuchung mit Bewertung nach DIN 4030 T1 (Grenzwerte zur Beurteilung der Betonaggressivität)

3.4.2 Unterer Grundwasserleiter – Buntsandstein

Das Grundwasser des Buntsandsteins ist im Untersuchungsgebiet durch neutrale bis schwach alkalische Verhältnisse gekennzeichnet. Freie kalklösende Kohlensäure ist nicht 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 aufgrund erhöhter Sulfatkonzentrationen hinsichtlich der betonangreifenden Wirkung als XA2 (stark betonangreifend) einzustufen.

Tabelle 12 Grundwasseranalysen Buntsandstein (aktuelle Altanalyse)

| Parameter | Probe 1 |
|--------------------------------------|-----------------------|
| Messstelle | GWM 1/2010 |
| Lage | Eichplatz |
| Labor | EUROFINS ⁷ |
| Datum | 03.11.2010 |
| pH | 7,1 |
| CO ₂ [mg/l] | < 3 |
| Mg ²⁺ [mg/l] | 40 |
| NH ₄ ⁺ [mg/l] | 0,49 |
| SO ₄ ²⁻ [mg/l] | 444 |

Tabelle 13 Grundwasseranalysen Buntsandstein (Altanalysen)

| Parameter | Probe 2 | Probe 3 | Probe 4 | Probe 5 |
|--------------------------------------|--------------------|-------------------|-------------------|------------------------------|
| Messstelle | BR 1 | BK 3 | BK12 | BK 10 |
| Lage | Pulvergasse | Carl-Zeiss-Straße | Eichplatz | Johannistor/ Leutragraben |
| Literatur/Quelle | [12] | [1] | [17] | [17] |
| Labor | KUTEC ⁸ | laC ⁹ | ThU ¹⁰ | ThU |
| Datum | 23.04.2004 | 23.07.1993 | 31.03.1999 | 12.04.1999 |
| pH | 7,07 | 7,2 | 7,8 | 7,1 |
| CO ₂ [mg/l] | 0 | 0 | <2,2 | <2,2 |
| Mg ²⁺ [mg/l] | 86 | 53,3 | 17 | 26 |
| NH ₄ ⁺ [mg/l] | 0 | 0,21 | 4,96 | 0,92 |
| SO ₄ ²⁻ [mg/l] | 784 | 1647 | 241 | 291 |

⁷ EUROFINS Umwelt Ost GmbH, Jena

⁸ Kali-Umwelttechnik Sondershausen GmbH, Sondershausen

⁹ Institut für angewandte Chemie Mikroskopie und biologische Untersuchungen Prof. Ing. Chem. H. Gockel & K.u.G. Weischedel & Co GmbH, Feuerbach

¹⁰ Thüringer Umweltinstitut Dipl. Chemiker Norbert Henterich, Pferdsdorf-Spichra

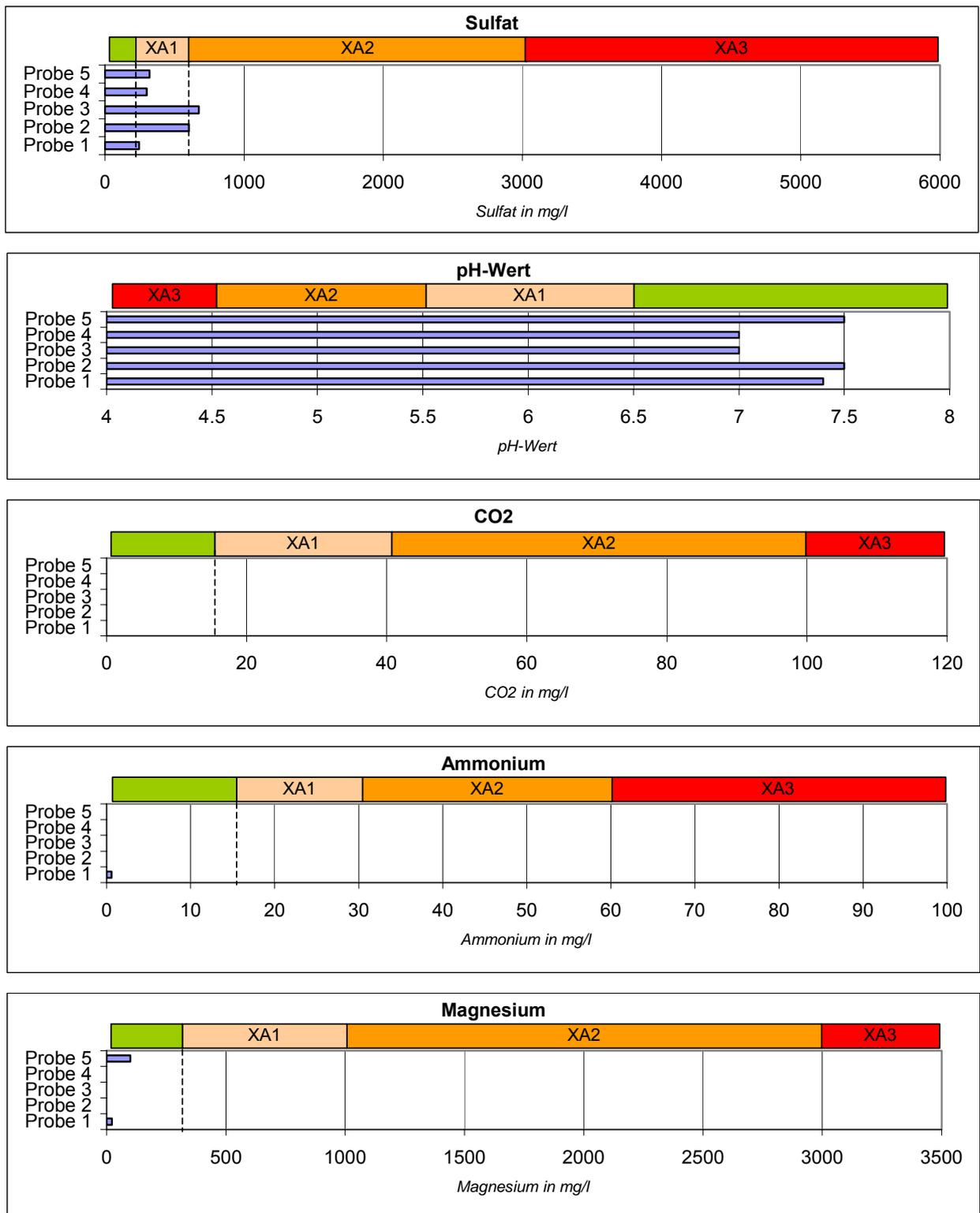


Abbildung 7 Unterer Grundwasserleiter (Buntsandstein): Wasseruntersuchung mit Bewertung nach DIN 4030 T1 (Grenzwerte zur Beurteilung der Betonaggressivität)

3.5 Belastung des Grundwassers mit Schadstoffen

In [3] finden sich Hinweise auf lokale Belastungen des oberen Grundwasserleiters (Leutraschotter) mit leichtflüchtigen halogenierten Kohlenwasserstoffen (LHKW). Beim Bau der Tiefgarage des Theoretikums im Jahr 2001 war bedingt durch die hohen LHKW-Konzentrationen eine Aufbereitung des in der Baugrube anfallenden Grundwassers erforderlich (Tabelle 14). Von den anderen Bauwasserhaltungen im Umfeld des Eichplatzes sind keine diesbezüglichen Analysen bekannt.

Im Baufeld Eichplatz wird das Grundwasser des Oberen Grundwasserleiters nur eine untergeordnete Rolle spielen. Die überwiegende Wassermenge wird hier aus dem unteren Grundwasserleiter (Buntsandstein) zutreten. Vom Grundwasser des Buntsandsteins liegen im Umfeld des Baugebietes bisher keine Analysen auf LHKW vor.

Aufgrund der Lage des Baufeldes im randlichen Abstrom des Theoretikums ist nicht auszuschließen, dass auch auf dem Eichplatz LHKW in Konzentrationen angetroffen werden, die eine Aufbereitung des geförderten Bauwassers erforderlich machen könnten.

Ausgehend von den Rechercheergebnissen wird als Grundlage für die Entscheidung über das Erfordernis einer Bauwasseraufbereitung empfohlen, eine aktuelle Beprobung ausgewählter Messstellen im Umfeld des Baufeldes durchzuführen und diese Proben auf LHKW zu analysieren (siehe Abschnitt 6.6.1).

Tabelle 14 LHKW-Analyse Bauwasserhaltung Neubau Forschungsgebäude Theoretikum vom 13.06.2001 aus [3], GFS-Überschreitungen sind farblich gekennzeichnet

| | Einheit | GFS ¹¹ | 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 |

Aus den Bodenuntersuchungen nach LAGA (Abschnitt 5) leitet sich kein Verdacht für sonstige Schadstoffbelastungen des Grundwassers ab.

¹¹ Geringfügigkeitsschwellenwert zur Beurteilung lokal begrenzter Grundwasserverunreinigungen [LAWA Dezember 2004]

4 Bleibender Einfluss des fertigen Bauwerkes auf das Grundwasser

4.1 Vorbemerkung

Wie in Anlage 5 dargestellt wird die Sohle des 2. UG der Tiefgarage unterhalb des derzeitigen Grundwasserspiegels liegen. 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 eingengt 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.

4.2 Hydrodynamische und bautechnische Randbedingungen

4.2.1 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

4.2.3 Grundwasserfließrichtung, Anströmrichtung

Im Untersuchungsgebiet herrscht eine ostsüdöstliche Grundwasserfließrichtung vor. Aus den im Rahmen der Baugrunduntersuchung durchgeführten Stichtagsmessungen ergibt sich für den Bereich des Eichplatzes aktuell eine Fließrichtung von 122°.

Analog dem hydraulischen Gradient weist auch die Grundwasserfließrichtung bedingt durch die lokalen hydrogeologischen und bautechnischen Randbedingungen im Untersuchungsgebiet im Zeitraum 2005 bis 2010 nur eine geringe zeitliche Variation auf (Abbildung 9).

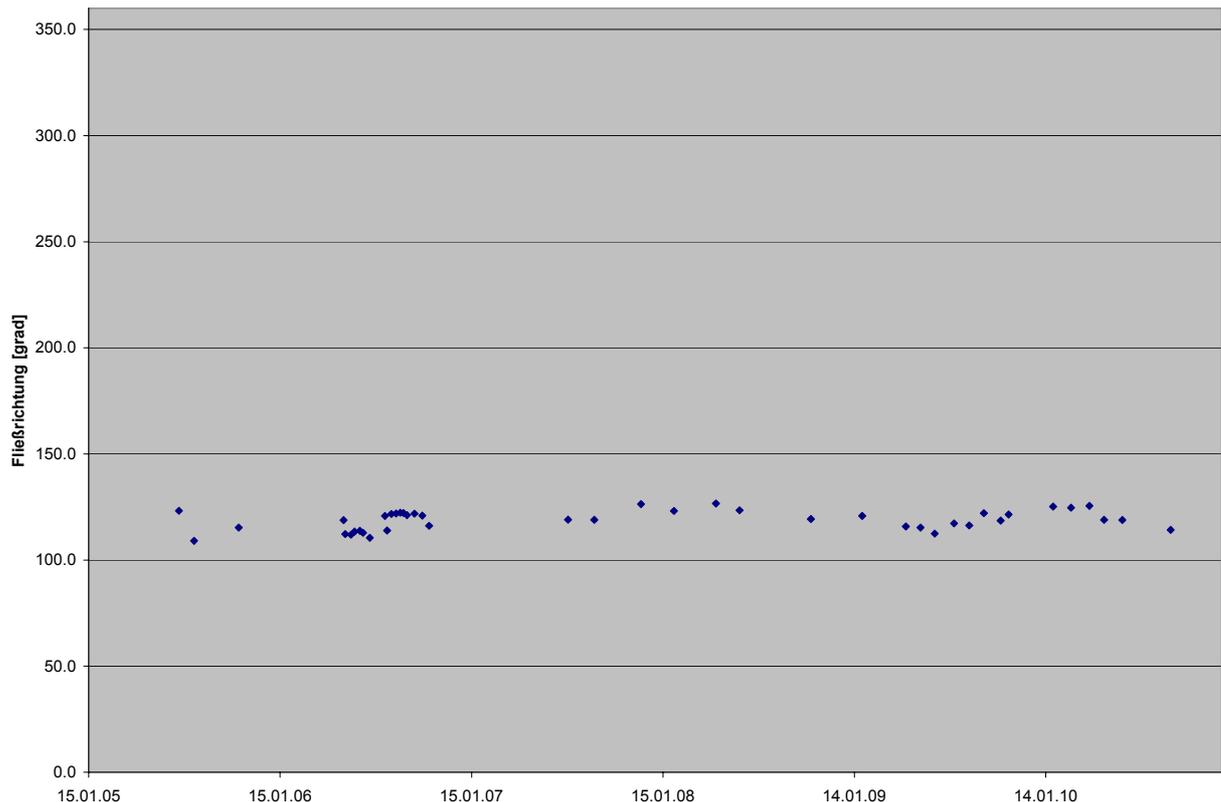


Abbildung 9 Entwicklung der Grundwasserfließrichtung im Zeitraum 2005 bis 2010 im hydrogeologischen Dreieck der Messstellen „McDonald“, „Johannisstraße“ und „Holzmarkt“

In Auswertung der vorliegenden Daten ergibt sich folgender Wertebereich:

- minimaler Winkel der Grundwasserfließrichtung: 100° (E)
- maximaler Winkel der Grundwasserfließrichtung: 130° (SE)
- **mittlerer Winkel der Grundwasserfließrichtung: 120° (ESE)**

Im Randbereich des Eichplatzes ist bedingt durch wasserbauliche Maßnahmen der Umgebungsbebauung lokal mit abweichenden Fließrichtungen zu rechnen.

Aus der Differenz zwischen der Ausrichtung der Längsachse der geplanten Tiefgarage von ca. 100° (siehe Abschnitt 4.2.5) und der mittleren Grundwasserfließrichtung von 120° ergibt sich ein **mittlerer Anströmwinkel von 20°**.

4.2.4 Grundwasserflurabstand

Aus der Geländemorphologie und dem Gefälle des Grundwasserspiegels leiten sich für den Eichplatz aktuell Grundwasserflurabstände zwischen 2,5 m und 4,5 m ab. Die niedrigsten Grundwasserflurabstände liegen im nordöstlichen Bereich

Für die höher gelegenen Straßen Johannisstraße, Weigelstraße und Rathausgasse ergeben sich aktuell Grundwasserflurabstände zwischen 5 m und 6 m.

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

4.2.5 Geometrie des geplanten Baukörpers

Da noch keine konkrete Bauplanung vorliegt wird entsprechend den Anlagen der Leistungsbeschreibung für die hydraulischen Berechnungen von folgenden maximalen Ausmaßen ausgegangen:

- Länge der Tiefgarage in OW-Richtung: 130 m
- Richtung der Längsachse des Bauwerkes in Bezug auf Nord: 100°
- Breite der Tiefgarage in NS-Richtung: 110 m
- Bauwerkssohle:
 - 1-geschossige Tiefgarage: 146 mNHN
 - 2-geschossige Tiefgarage: 143 mNHN

4.2.6 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 Grundwasserleitmächtigkeit von 10 m ausgegangen.

4.3 Hydraulische Berechnung des Aufstaus

In Abschnitt 4.3.1 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 4.3.2)=
2. Berechnung der Aufhöhung durch ausschließliche Unterströmung (Abschnitt 4.3.3)
3. Ermittlung der Gesamtaufhöhung Abschnitt (4.3.4)

Im Abschnitt 4.4 erfolgt eine Kurzbewertung der Berechnungsergebnisse.

4.3.1 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 15 Berechnungsansatz maximaler Aufstau nach Schneider

| Parameter | Symbol | Einheit | Wert | Quelle / Begründung |
|------------------------|--------|---------|-------|---------------------|
| hydraulischer Gradient | i | - | 0,015 | siehe Kap. 4.2.2 |
| Bauwerkslänge | a | m | 110 | siehe Kap. 4.2.5 |

$$\Delta h = i \cdot \frac{a}{\sqrt{\pi}} = 0,015 \cdot \frac{110}{\sqrt{\pi}} = 0,93 \text{ m}$$

Aus dem Ansatz gemäß Tabelle 15 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 1,55 m zu rechnen.

4.3.2 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 16 Berechnungsansatz „Ausschließliche Umströmung“

| Parameter | Symbol | Einheit | Wert | Quelle / Begründung |
|---|-------------|---------|-----------------|---------------------|
| hydraulischer Gradient | i | - | 0,010 bis 0,025 | siehe Kap. 4.2.2 |
| Anströmrichtung | ϑ | ° | 20 | siehe Kap. 4.2.3 |
| Halbe Bauwerksbreite quer zur Fließrichtung | t | M | 55 | siehe Kap. 4.2.5 |

Tabelle 17 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) | 0,52 | 0,78 | 1,29 | max. Aufstauhöhe |
| Mitte anstromige Bauwerkseite, 10 m vom Bauwerk entfernt (x=10; y=0) | 0,43 | 0,65 | 1,08 | Ostseite „Neue Mitte“ |
| Mitte anstromige Bauwerkseite, 50 m vom Bauwerk entfernt (x=50; y=0) | 0,23 | 0,34 | 0,57 | Jentower |
| Mitte anstromige Bauwerkseite, 100 m vom Bauwerk entfernt (x=100; y=0) | 0,13 | 0,20 | 0,33 | Westseite „Neue Mitte“ |
| direkt an anstromiger Bauwerkseite, 10 m nördl. bzw. südl. der X-Achse (x=0; y=10) | 0,51 | 0,76 | 1,27 | |
| direkt an anstromiger Bauwerkseite, 20 m nördl. bzw. südl. der X-Achse (x=0; y=10) | 0,48 | 0,72 | 1,20 | |
| direkt an anstromiger Bauwerkseite, 30 m nördl. bzw. südl. der X-Achse (x=0; y=30) | 0,43 | 0,65 | 1,08 | |
| direkt an anstromiger Bauwerkseite, 40 m nördl. bzw. südl. der X-Achse (x=0; y=40) | 0,35 | 0,53 | 0,89 | |
| direkt an anstromiger Bauwerkseite, 50 m nördl. bzw. südl. der X-Achse (x=0; y=50) | 0,22 | 0,32 | 0,54 | |

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.

Im südwestlichen Anstrombereich (Anatomie, Theoretikum) ist lokal mit einer etwas höheren Aufhöhung zu rechnen, da sich hier im weiteren Abstrom mit der Tiefgarage von C&A ein Strömungshindernis befindet. Als Grundlage für die Quantifizierung dieses gegebenenfalls für die Planung relevanten Effektes wird ein zweijähriges Monitoring der Wasserhaltung in den Kellern der Anatomie empfohlen (siehe Abschnitt 6.6.3).

4.3.3 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 Grundwasserfließrichtung:

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

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 18 Berechnungsansatz „Ausschließliche Unterströmung“

| Parameter | Symbol | Einheit | Wert | Quelle / Begründung |
|---|-------------|---------|----------------------|----------------------------|
| Hydraulischer Gradient | i | - | 0,010 bis 0,025 | siehe Kap. 4.2.2 |
| Anströmrichtung | ϑ | ° | 20 | siehe Kap. 4.2.3 |
| Halbe Bauwerksbreite quer zur Fließrichtung | t | m | 55 | siehe Kap. 4.2.5 |
| Bauwerkslänge in Fließrichtung | B | m | 130 | siehe Kap. 4.2.5 |
| Wassererfüllte Mächtigkeit des Grundwasserleiters | H | m | 10 | siehe Kap. 4.2.6 |
| Restmächtigkeit des GWL unter dem Bauwerk | f | m | 6 | siehe Kap. 4.2.5 und 4.2.6 |
| Durchlässigkeitsbeiwert GWL horizontal | k | m/s | 0,00002 bis 0,0001 | siehe Kap. 4.2.1 |
| Durchlässigkeitsbeiwert GWL vertikal | k_0 | m/s | 0,000002 bis 0,00001 | siehe Kap. 4.2.1 |
| Durchlässigkeitsbeiwert unter Bauwerk (GWL bzw. Drainage) | k_B | m/s | 0,00002 bis 0,00001 | siehe Kap. 4.2.1 |

Tabelle 19 Ergebnisse Aufstau bei ausschließlicher Unterströmung

| Ansatz | Δh_B in m | Δh_{0B} in m | 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) | 0,41 | 0,46 | 0,42 |
| Ansatz Maximum (k und k_B : $1 \cdot 10^{-4}$ m/s; k_0 : $1 \cdot 10^{-5}$ m/s; i: 0,025) | 1,02 | 1,37 | 1,07 |

Aus dem Ansatz Tabelle 18 ergibt sich für die **ausschließliche Unterströmung** ein Aufstau **zwischen 0,42 m und 1,07 m**.

4.3.4 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 20 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) | 1,29 | 0,42 | 0,59 |
| Ansatz Maximum (k und k_B : $1 \cdot 10^{-4}$ m/s; k_0 : $1 \cdot 10^{-5}$ m/s; i: 0,025) | 0,52 | 1,07 | 0,23 |

Die Berechnung ergibt, dass bei Errichtung einer **2-geschossigen Tiefgarage** mit Gründungssohle bei 143 mNHN anstromig in Bauwerksmitte mit einer dauerhaften **Gesamtaufhöhung zwischen 0,23 m und 0,59 m** und eine äquivalenten abstromigen Grundwasserabsenkung zu rechnen ist.

Bei einer **1-geschossigen Tiefgarage** mit Gründungssohle bei 146 mNHN ist mit einer dauerhaften **Aufhöhung von 0,06 m bis 0,15 m** zu rechnen.

4.4 Bewertung der Berechnungsergebnisse

4.4.1 1-geschossige Tiefgarage mit einer Sohltiefe von 146 mNHN

Die Berechnungen ergeben für die 1-geschossige Tiefgarage eine dauerhafte Aufhöhung von 0,06 m bis 0,15 m. Diese geringfügige Aufhöhung ist unter Berücksichtigung der natürlichen Grundwasserstandsschwankung als unbedenklich für die Umgebungsbebauung im Bereich Johannisstraße und Jentower anzusehen. Im Bereich der Anatomie ist infolge der Bauwerksumströmung ein Anstieg der erforderlichen Wasserhaltungsmaßnahmen nicht auszuschließen.

4.4.2 2-geschossige Tiefgarage mit einer Sohltiefe von 143 mNHN

Die für die 2-geschossige Tiefgarage berechneten Aufhöhungen von 0,23 m bis 0,59 m und entsprechende abstromige Absenkungen lassen eine signifikante Beeinflussung der Umgebungsbebauung besorgen. Kritisch zu sehen sind in dieser Hinsicht:

- Bemessungswasserstände Theoretikum und Jentower
- Fördermenge Wasserhaltung Tiefgarage Jenoptik (könnte sich durch Rückstau erhöhen)
- Verstärkter Wasserandrang in den Kellern der Anatomie (erhöhte Wasserhaltung zur Trockenhaltung der Keller erforderlich)
- Vernässungsgefahr einzelner Keller in der Johannisstraße (z.B. Johannisstraße 13: Rosenkeller)
- Baugrundveränderungen in Bereichen mit dauerhafter Grundwasserabsenkung (Rathausgasse)

Aus den genannten Gründen sind aus gutachterlicher Sicht bei Ausführung einer 2-geschossigen Tiefgarage bautechnische Maßnahmen zur Reduzierung der Grundwasserbeeinflussung erforderlich. Der dauerhafte anstromige Aufstau sollte im Maximum 0,2 m nicht überschreiten.

4.5 Abzuleitender Grundwasserstrom

Der zur Reduzierung des Aufstaus umzuleitende Grundwasserstrom berechnet sich für die 2-geschossige Tiefgarage nach [29] wie folgt:

$$(Gleichung 7) \quad Q_0 = k \cdot i \cdot h_n \cdot L_0$$

Tabelle 21 Berechnungsansatz abzuleitender Grundwasserstrom

| Parameter | Symbol | Einheit | Wert | Quelle / Begründung |
|--|--------|---------|---------------------------|---------------------|
| Hydraulischer Gradient | i | - | 0,015 | siehe Kap. 4.2.2 |
| Durchlässigkeitsbeiwert | k | m/s | 0,00002 bis 0,00010 | siehe Kap. 4.2.1 |
| Eintauchtiefe des Bauwerkes in das Grundwasser | h_n | m | 4 | |
| Bauwerkslänge quer zur Fließrichtung | L_0 | m | 110 | siehe Kap. 4.2.5 |

$$Q_{0-\min} = k \cdot i \cdot h_n \cdot L_0 = 0,00002 \cdot 0,015 \cdot 4 \cdot 110 = 0,000132 \frac{m^3}{s} = 0,5 \frac{m^3}{h}$$

$$Q_{0-\max} = k \cdot i \cdot h_n \cdot L_0 = 0,00010 \cdot 0,015 \cdot 4 \cdot 110 = 0,00066 \frac{m^3}{s} = 2,4 \frac{m^3}{h}$$

Aus dem Ansatz gemäß Tabelle 21 ergibt sich für durchschnittliche hydrodynamische Verhältnisse für die Variante 2-geschossige Tiefgarage eine **dauerhaft abzuleitende Wassermenge** zwischen **0,5 m³/h** und **2,4 m³/h**.

5 Abfallrechtliche Einstufung der voraussichtlich anfallenden Aushubmassen

Organoleptisch war die Auffüllung in allen Bohraufschlüssen unauffällig.

Die Analysen der Mischproben **MP 1** (Auffüllung der RKS 3 und der Kernbohrung 1/2010) und **MP 2** (Auffüllung der RKS 1, 2, 4 und 5) ergeben eine Einstufung als LAGA Z2 bzw. LAGA Z1.2 (Prüfbericht siehe Anlage 8.1).

Für die Planung sollte als konservativer Ansatz davon ausgegangen werden, dass die **gesamte Auffüllung als LAGA Z2 eingestuft wird**.

Aufgrund der geringen Mächtigkeit der Auffüllung und deren mehrfachen Umlagerung im Rahmen verschiedener Baumaßnahmen ist von einer starken Durchmischung auszugehen, die auch auf der Grundlage weiterer Untersuchungen keine räumliche Abgrenzung verschiedener LAGA-Kategorien erlauben würde.

Zur Einstufung als Z1.2 bzw. Z 2 ist auf erhöhte Werte folgender Parameter zurückzuführen:

- PAK
- Sulfat
- Leitfähigkeit
- Chrom gesamt

Die Einstufung der Mischprobe 1 in die Klasse Z2 ist ausschließlich auf den Parameter Summe PAK zurückzuführen. Die erhöhten PAK-Werte sind unter anderem auf in der Auffüllung enthaltene Teer-/Schlackestückchen (aufgearbeitetes Material ehemaliger Straßen- und Parkplatzversiegelung) und auf Brandrückstände aus dem 2. Weltkrieg zurückzuführen.

Bedingt durch den in der Auffüllung enthaltenen Bauschuttanteil ergeben sich für beide Mischproben erwartungsgemäß erhöhte Sulfatgehalte und damit auch erhöhte Werte der Leitfähigkeit.

Die Ursache der erhöhten Chromkonzentration im Eluat ist nicht bekannt. Alle andere Schwermetalle sind sowohl im Königswasseraufschluss als auch im Eluat unauffällig.

6 Geotechnische Beratung

6.1 Allgemeine Baugrundsituation

Die grundlegende Baugrundsituation ist gekennzeichnet durch den relativ heterogenen Aufbau und Verlauf der oberflächennahen Lockergesteine, welche teilweise deutlich unterschiedliche geotechnische und bodenmechanische Kennwerte aufweisen.

Das vorhandene Auffüllmaterial (BGS 1) und die darunter anstehenden Lockergesteinsschichten (BGS 2 – 4) sind auf Grund ihrer stark heterogenen Aufbaus und dem teilweise hohen Feinkornanteils als Gründungsschicht nicht zu empfehlen. Insbesondere die bindigen Lockergesteinsschichten weisen ein sensitives Verhalten im Falle von Wassergehaltsschwankungen auf. Bei Aufnahme von Schicht-, Sicker- oder Niederschlagswässern bzw. bei Wasseranreicherung infolge von Frost- und Tauperioden ist mit entsprechend geringen Tragfähigkeiten und ggf. langfristigen Setzungen zu rechnen.

Auf Grund der vergleichsweise geringen Tiefenlage und der überwiegend dichten Lagerung bzw. relativ hohen Festigkeit sind die Sandsteinschichten des Mittleren Buntsandsteins (BGS 6A und 6B) als Gründungsschicht zu bevorzugen. Es ist von einer hohen Grundbruchsicherheit auszugehen und mit geringen Setzungswerten zurechnen.

Grundsätzlich wird auf Grund des anstehenden und somit drückenden Grundwassers im voraussichtlichen Gründungsbereich die Ausführung einer „Weiße Wanne“ (wasserundurchlässiger Beton) empfohlen. Darüber hinaus können Drainagen angelegt werden, um einen Teil des anfallenden Grundwassers geregelt abzuführen und die Belastung aus dem Wasserdruck auf die Gebäudeaußenwände zu reduzieren.

6.2 Gründungsberatung – Tiefgarage

Nach jetzigem Kenntnisstand ist derzeit eine 1- bis 2-geschossige Tiefgarage in dem Untersuchungsgebiet geplant. Darüber hinaus liegen noch keine weiteren konkreten Bebauungspläne vor. Als Gründungsart für die geplante Tiefgarage bietet sich eine Flachgründung auf Streifenfundamenten bzw. auf einer Bodenplatte an.

Die Gründung sollte innerhalb der BGS 6A bzw. 6B erfolgen. Wobei evtl. anstehender Ton- bzw. Schluffstein (VZ / VE / VA) ausgeräumt und durch gut verdichtbares Material (0/32 - 0/56) ersetzt werden sollte. Hinsichtlich einer gleichmäßigen Setzung und zur Vermeidung von riskanten Setzungsdifferenzen ist die Flächengründung mittels bewehrter, bemessener Bodenplatte ggf. zu bevorzugen.

6.2.1 1-geschossige Tiefgarage

Auf Grund fehlender Planungsunterlagen wird hier die Gründungssohle bei einer 1-geschossigen Tiefgarage bis ca. 4,0 m unter GOK angenommen. Die Gründung würde somit

in der BGS 6A erfolgen. Der aufnehmbare bzw. zulässige Sohldruck kann für die BGS 6A auf 0,7 bis 1,5 MN/m² (Felsklasse 3, mittelständige Trennflächen, sehr mürb) geschätzt werden.

Die zu erwartenden Setzungswerte bei unterschiedlichen zulässigen bzw. aufnehmbaren Sohlspannungen sowie variierenden Fundamentbreiten können mittels der durchgeführten Grundbruch- und Setzungsberechnung (gem. DIN 4017 und 4019) abgeschätzt werden (vgl. Anlage 3, Blatt 1). Die Berechnung erfolgte für das Verhältnis 0,1 von horizontalen zu vertikalen Lasten für 50 m lange Streifenfundamente bei einem Bemessungsgrundwasserstand von 2,5 m unter GOK. Die Tabelle 22 stellt die möglichen Setzungswerte für ausgewählte zulässige Sohlspannungen und Fundamentbreiten dar.

Tabelle 22 Setzungswerte für 1-geschossige Tiefgarage [cm]

| zul. σ [kN/m ²] | Fundamentbreite 2 m | Fundamentbreite 4 m |
|------------------------------------|---------------------|---------------------|
| 100 | < 0,5 | ± 0,5 |
| 200 | ± 0,5 | ± 1,0 |
| 300 | ± 1,0 | ± 1,5 |
| 400 | 1,0 – 1,5 | ± 2,0 |
| 500 | ± 1,5 | ± 2,5 |

Bei den untersuchten Fundamentbreiten von 1 bis 4 m ist eine ausreichende Grundbruchsicherheit für eine Sohlpressung im Bereich von 850 bis 1500 kN/m² gegeben. Der von der tatsächlich vorhandenen Sohlpressung abhängige Bettungsmodul k_s liegt im Bereich zwischen 20 – 40 MN/m². Im Zuge der weiterführenden Bauplanung muss aller Wahrscheinlichkeit nach der anzunehmende Bettungsmodul anhand der zu erwartenden Gebäudelasten erneut berechnet werden (vgl. Anlage 3, Blatt 1).

Generell werden die zu erwartenden Setzungsdifferenzen bei einer Gründung in der BGS 6A und unter Berücksichtigung der o. g. gründungstechnischen Maßnahmen den Betrag von ± 1 cm nicht überschreiten.

6.2.2 2-geschossige Tiefgarage

Auf Grund fehlender Planungsunterlagen wird hier die Gründungssohle bei einer 2-geschossigen Tiefgarage bis ca. 7,0 m unter GOK angenommen. Die Gründung würde somit in der BGS 6B erfolgen. Der aufnehmbare bzw. zulässige Sohldruck kann für die BGS 6B auf der sicheren Seite liegend mit bis zu 1,5 – 2 MN/m² angenommen werden.

Die zu erwartenden Setzungswerte bei unterschiedlichen zulässigen bzw. aufnehmbaren Sohlspannungen sowie variierenden Fundamentbreiten können mittels der durchgeführten Grundbruch- und Setzungsberechnung (gem. DIN 4017 und 4019) abgeschätzt werden (vgl. Anlage 3, Blatt 2). Die Berechnung erfolgte für das Verhältnis 0,1 von horizontalen zu vertikalen Lasten für 50 m lange Streifenfundamente bei einem Bemessungsgrundwasser-

stand von 2,5 m unter GOK. Die Tabelle 23 stellt die möglichen Setzungswerte für ausgewählte zulässige Sohlspannungen und Fundamentbreiten dar.

Tabelle 23 Setzungswerte für 2-geschossige Tiefgarage [cm]

| zul. σ [kN/m ²] | Fundamentbreite 2 m | Fundamentbreite 4 m |
|------------------------------------|---------------------|---------------------|
| 100 | < 0,5 | < 0,5 |
| 200 | ± 0,5 | 0,5 – 1,0 |
| 300 | 0,5 – 1,0 | 1,0 – 1,5 |
| 400 | ± 1,0 | 1,5 – 2,0 |
| 500 | 1,0 – 1,5 | 2,0 – 2,5 |

Bei den untersuchten Fundamentbreiten von bis 4 m ist eine ausreichende Grundbruchsicherheit für eine Sohlpressung im Bereich von 1700 bis 2100 kN/m² gegeben. Der von der tatsächlich vorhandenen Sohlpressung abhängige Bettungsmodul k_s liegt im Bereich zwischen 20 – 60 MN/m². Im Zuge der weiterführenden Bauplanung muss aller Wahrscheinlichkeit nach der anzunehmende Bettungsmodul anhand der zu erwartenden Gebäudelasten erneut berechnet werden (vgl. Anlage 3, Blatt 2).

Generell werden die zu erwartenden Setzungsdifferenzen bei einer Gründung in der BGS 6B und unter Berücksichtigung der o. g. gründungstechnischen Maßnahmen den Betrag von ± 1 cm nicht überschreiten.

6.3 Gründungsberatung – Wohn-/ Bürogebäude

Neben der geplanten Tiefgarage soll voraussichtlich auch eine oberirdische Bebauung des Eichplatzes erfolgen. Falls die Wohn-/ Bürogebäude nicht direkt auf der geplanten Tiefgarage errichtet werden, bietet sich grundsätzlich auch hier eine Flachgründung auf Streifenfundamenten bzw. auf einer Bodenplatte an.

Die Gründungssohle sollte bei einer herkömmlichen Unterkellerung (1-geschossig) bei 4 m unter GOK und somit in der BGS 6A liegen. Evtl. bereichsweise anstehender Ton- bzw. Schluffstein (VZ) muss in jedem Fall ausgeräumt und durch gut verdichtbares Material (0/32 - 0/56) ersetzt werden. Darüber hinaus ist das Herstellen einer ca. 0,5 m mächtigen Polsterschicht aus ebenfalls gut verdichtbarem Material zu empfehlen.

Hinsichtlich einer gleichmäßigen Setzung und zur Vermeidung von riskanten Setzungsdifferenzen ist die Flächengründung mittels bewehrter, bemessener Bodenplatte ggf. zu bevorzugen.

Bis zum Vorliegen von konkreten Bebauungsplänen können die zu erwartenden Setzungswerte bei unterschiedlichen zulässigen bzw. aufnehmbaren Sohlspannungen sowie

variierenden Fundamentbreiten vorerst analog zum Abschnitt 3.2.1 angenommen werden (vgl. Anlage 3, Blatt 1).

Generell werden die zu erwartenden Setzungsdifferenzen bei einer Gründung in der BGS 6A und unter Berücksichtigung der o. g. gründungstechnischen Maßnahmen den Betrag von ± 1 cm nicht überschreiten.

6.4 Ausbildung Baugruben

Hinsichtlich der Baugrubensicherung müssen infolge des vorhandenen Grundwassers erhöhte Anforderung gestellt werden. Das ab einer Tiefe von ca. 3,0 m unter GOK anfallende Grundwasser ist mit einer offenen Wasserhaltung nicht beherrschbar. Eine großflächige Grundwasserabsenkung mittels geschlossener Wasserhaltung ist auf Grund der innerstädtischen Lage des Untersuchungsgebiets ebenfalls auszuschließen.

Somit sollten die Baugrubenwände komplett wasserdicht ausgeführt werden. Hierfür bietet sich die Herstellung von Bohrpfahl- bzw. Schlitzwänden an. Diese Baugrubensicherungselemente weisen eine vergleichsweise hohe Biegesteifigkeit auf und es kann daher mit entsprechend geringen Verformungen gerechnet werden. Zusätzlich könnten die Bohrpfahl- bzw. Schlitzwände dauerhaft als Außenwände für die geplante Tiefgarage dienen.

Das Absetzniveau der Bohrpfahlwände richtet sich nach den statischen Erfordernissen, sollte jedoch in jedem Fall in den Festgesteinen der BGS 6B vorgesehen werden. Sollten Bohrpfähle zum Lastabtrag zukünftig geplanter Bauwerke verwendet werden, können zur Abschätzung der Tragfähigkeit die charakteristischen Kennwerte gem. Tabelle 24 angenommen werden. Die BGS 1 und 2 können hierbei vernachlässigt werden.

Tabelle 24 Charakteristische Kennwerte der Pfahlwiderstände

| BGS | Pfahlmantelreibung $q_{s,k}$ [MN/m ²] | Pfahlspitzenwiderstand $q_{b,k}$ [MN/m ²] |
|-----|---|---|
| 3 | 0,05 | - |
| 4 | 0,05 | - |
| 5 | 0,03 (- 0,04) | - |
| 6A | 0,1 | 7 |
| 6B | 0,5 | 3,5 |

Der Einsatz von Spundwänden kann im Untersuchungsgebiet nicht empfohlen werden, da ab der BGS 6B auf Grund der hohen Untergrundfestigkeit neben dem Einrammen der Spundbohlen zusätzlich Vorbohrungen erforderlich werden und auf Grund der nahen Umgebungsbebauung eine erschütterungs- und verformungsarme Bauausführung angestrebt werden muss.

In Abhängigkeit von der Baugrubentiefe muss der gewählte Verbau ggf. mehrlagig verankert werden.

Nach der o. g. Baugrundsituation ist eine Einbindung der Baugrubenumschließung in eine ausreichende wasserstauende Bodenschicht nicht erreichbar. Der zu erwartende Wasserandrang ist grundsätzlich abhängig von den Abmaßen der geplanten Baugrube sollte jedoch voraussichtlich mit einer leistungsfähigen offenen Wasserhaltung beherrschbar sein. Es empfiehlt sich die Anordnung mehrerer Pumpensümpfe.

In jedem Fall ist der gewählte Baugrubenverbau hinsichtlich Standsicherheit und Tragfähigkeit nachzuweisen. In Abhängigkeit von dem geplanten Aushubniveau ist ggf. die Baugrubensohle gegen die Gefahr des hydraulischen Grundbruchs ausreichend zu sichern.

6.5 Maßnahmen zum Erhalt der Grundwasserströmung

Bereits in der Bauphase ist durch entsprechende wasserdichte Baugrubenumschließung insbesondere in Richtung Johannisstraße eine Absenkung des Wasserspiegels zu vermeiden. Der bauliche Zustand der Gründung der historischen Gebäude ist nicht bekannt. Bei längerfristiger Absenkung des Grundwasserspiegels besteht die Gefahr der Gebäudesenkung durch Austrocknung von Baugrundsichten.

Die sicherste Lösung ist ein bauzeitlich wasserdichter Verbau in Verbindung mit hydraulischen Maßnahmen zur Gewährleistung der erforderlichen Grundwasserumlaufbarkeit.

6.5.1 1-geschossige Tiefgarage

Die 1-geschossige Tiefgarage taucht bei einer angenommenen Sohlhöhe von 146 mNHN nur im nordwestlichen Bereich in das Grundwasser ein (siehe Anlage 5). Die daraus resultierende anstromige Aufhöhung beträgt 0,06 m bis 0,15 m.

Bei entsprechender Optimierung der Geometrie der Tiefgarage (z.B. abgestufte Sohlhöhe im nordwestlichen Bereich) kann auf zusätzliche hydraulische Maßnahmen zum Erhalt der Grundwasserströmung verzichtet werden.

Unter das Niveau von 146 mNHN reichende Baugrubenwände sollten als bauzeitlich wasserdichte Verbauarten ausgeführt werden, die nach Abschluss der Baumaßnahme wieder eine Wasserströmung erlauben.

Bei Ausführung von Ortbetonwänden (z.B. Bohrpfehlwand) sind Lücken anzuordnen, die bauzeitlich abzudichten sind (z.B. durch Gefrierverfahren) und später eine Durchströmbarkeit gewährleisten.

6.5.2 2-geschossige Tiefgarage

Bei Ausführung einer 2-geschossigen Tiefgarage mit Gründungssohle bei 143 mNHN sind zur Aufstaueduzierung hydraulische Maßnahmen zum Erhalt der Grundwasserströmung erforderlich.

Zielstellung von hydraulischen Maßnahmen ist die Weiterleitung der dem Bauwerk zuströmenden Wassermenge, ohne einen zu großen Aufstau zu bewirken.

Gemäß Abschnitt 4.5 ergibt sich für die Variante 2-geschossige Tiefgarage eine zuströmende Wassermenge zwischen **0,5 m³/h und 2,4 m³/h**.

Baugrubenwände die später nicht in das Bauwerk integriert werden, sind als bauzeitlich wasserdichte Verbauarten auszuführen (siehe Abschnitt 6.5.1).

Als hydraulische Maßnahmen werden folgende Varianten empfohlen:

- Tiefgarage mit durchströmbaren Baulücken
- Künstliche Erhöhung der Durchlässigkeit unter und neben dem Bauwerk
- Absenkung und Versickerung mit Brunnen

Eine ausschließliche Wasserentnahme ist aus gutachterlicher Sicht nicht zu empfehlen, da diese zu einer nachhaltigen Absenkung des Grundwasserspiegels im weiteren Abstrom führt.

6.5.2.1 Tiefgarage mit durchströmbaren Baulücken

Der anstromige Aufstau kann stark reduziert werden, wenn die 2. Tiefgaragenebene in mehrere voneinander getrennte Segmente untergliedert wird zwischen denen eine Durchströmung des Grundwassers erfolgen kann. Maßgeblich für den resultierenden Aufstau ist das Verbauungsverhältnis, die Anordnung bezüglich der bereits vorhandenen Bebauung und die Durchlässigkeit der zwischen den Bausegmenten verbleibenden Bereiche. Voraussetzung ist, dass der Durchfluss nicht durch im Grundwasserbereich verbleibende Elemente der Baugrubenumschließung behindert wird.

Als Richtgröße für eine wirksame Aufstau-reduzierung kann ein Bebauungsverhältnis von 0,8 (80 % des Durchflussprofils durch Bebauung versperrt, 20 % durchströmbare Baulücke) angenommen werden. Die hydraulische Wirksamkeit des Gesamtsystems ist rechnerisch nachzuweisen.

Vorteile der Variante:

- wartungsfrei
- keine Betriebskosten

Nachteile:

- Verlust von Parkfläche
- geringe Möglichkeit der nachträglichen Systemoptimierung
- keine Steuerungsmöglichkeiten

6.5.2.2 Künstliche Erhöhung der Durchlässigkeit unter und neben dem Bauwerk

Eine hinreichende Reduzierung des Aufstaus kann durch eine Kombination einer horizontalen Flächendrainage mit vertikalen Wandsickern erreicht werden. Wichtig ist dabei die ausreichende hydraulische Verbindung zwischen Wandsicker und Flächendrainage.

Auf dem Gründungsplanum wäre z.B. ein Kiespolster von mindestens 0,3 m Mächtigkeit mit einem Durchlässigkeitsbeiwert von 0,001 m/s als Flächendrainage in Kombination mit einer entsprechend dimensionierten Kiespackung für die Wandsicker einzubauen.

Die hydraulische Wirksamkeit des Gesamtsystems ist rechnerisch nachzuweisen.

Vorteile der Variante:

- optimale Ausnutzung der Fläche, maximale Anzahl von Parkplätzen
- wartungsfrei
- keine Betriebskosten

Nachteile:

- geringe Möglichkeit der nachträglichen Systemoptimierung
- keine Steuerungsmöglichkeiten
- kann bei falscher Dimensionierung zu einer abstromigen Aufhöhung des Grundwasserstandes führen
- aufwendige Systemlösungen zur Anbindung zwischen Horizontal- und Vertikalfilter erforderlich
- eingeschränkte Langzeitbeständigkeit

6.5.2.3 Anstromige Absenkung und abstromige Versickerung mit Brunnen

Ausgleich zwischen Aufstau und Absenkung an den gegenüberliegenden Bauwerksseiten kann auf Dauer durch sowohl an- als auch abstromig angeordnete Vertikalbrunnen, die mittels geschlossener Leitungssysteme verbunden sind, realisiert werden.

Alternativ zu Vertikalbrunnen können die Entnahme- und Infiltrationsbauwerke auch als sternförmige Horizontalbrunnen ausgeführt werden.

Die Verbindung der an- und abstromigen Brunnen kann durch Dükerung (geschlossene Leitungen unterhalb der Bauwerkssohle) oder nach dem Heberprinzip (im Bauwerk verlaufende Leitung mit Entlüftungsmöglichkeit im Hochpunkt) verbunden werden. Damit besteht die Möglichkeit, das Gesamtsystem unter Ausnutzung des natürlichen hydraulischen Gradienten ohne Pumpen zu betreiben.

Vorteile der Variante:

- Optimale Ausnutzung der Fläche, maximale Anzahl von Parkplätzen
- Steuerung der an- und abstromigen Wasserstände durch Drosselung des Leitungsdurchflusses möglich.
- Möglichkeit der nachträglichen Erweiterung und Optimierung des Systems

Nachteile:

- erhöhter Aufwand für Monitoring, Wartung und Instandhaltung
- Betriebskosten für regelmäßige Brunnenregenerierung

6.6 Empfehlungen für weitere Untersuchungen

6.6.1 Untersuchung der Grundwasserbeschaffenheit

Beim Neubau des südwestlich an den Eichplatz angrenzenden Theoretikums im Jahr 2001 war bedingt durch erhöhte LHKW-Konzentrationen des Grundwassers eine Bauwasseraufbereitung erforderlich (Abschnitt 3.5).

Als Grundlage für die Entscheidung über das Erfordernis einer Bauwasseraufbereitung auf dem Gelände des Eichplatzes wird empfohlen, eine aktuelle Beprobung folgender Grundwasseraufschlüsse im Umfeld des Baufeldes durchzuführen und die Proben auf LHKW zu analysieren.

- McDonald
- Johannistor
- Johannisstraße
- Eichplatz

Weiterhin wird zur Verifizierung der Einstufung der Betonaggressivität (XA1 oder XA2) empfohlen, an den vier Grundwasserproben den Parameter Sulfat zu bestimmen.

6.6.2 Monitoring Hydrodynamik

Es konnte gezeigt werden, dass die lokale Hydrodynamik in starkem Maße durch passive und aktive Wasserhaltungen beeinflusst wird (Abschnitt 3.2). Als Grundlage für die Planung und gleichzeitige Beweissicherung wird empfohlen, über den Zeitraum von 2 Jahren monatliche Stichtagsmessungen an folgenden Messstellen durchzuführen:

- Johannistor
- Johannisstraße
- Eichplatz
- Markt
- Teichgraben

Dieses Grundprogramm dient der Gewinnung erforderlicher Basisdaten. Aus gutachterlicher Sicht sollte darüber nachgedacht werden, ergänzend ausgewählte Grundwassermessstellen mit einem Datenlogger (zur zeitgesteuerten Erfassung des Wasserstandes) auszurüsten. Aufgrund der hohen Messdichte (siehe Abbildung 3) könnten durch Auswertung von Loggeraufzeichnungen die Auswirkungen unterschiedlicher natürlicher und anthropogener Einflussfaktoren auf die Hydrodynamik im Baufeld ermittelt und hinsichtlich ihres Einflusses auf das Bauvorhaben bewertet werden.

6.6.3 Monitoring Grundwasserförderung Anatomie

Zur Klärung der anthropogenen Beeinflussung der Hydrodynamik am Westrand des Eichplatzes wird empfohlen, über einen Zeitraum von zwei Jahren monatlich die Fördermengen der Wasserhaltungen in den Kellerräumen der Anatomie zu erfassen.

6.6.4 Bautechnische Beratung

Im Zuge der Aushubarbeiten bzw. zur Sohlabnahme für die geplante Gründung einer 1- bis 2-geschossigen Tiefgarage sowie der evtl. geplanten Wohn-/ Bürogebäuden sollte ein Sachverständiger für Geotechnik hinzugezogen werden. Durch die direkte Begutachtung des Untergrunds vor Ort können die tatsächlich angetroffenen Baugrundverhältnisse mit den Aussagen des geotechnischen Gutachtens verglichen werden und ggf. auszutauschende Bereiche genau abgegrenzt und zusätzliche Maßnahmen angeordnet, ggf. minimiert werden.