

Geologische 3D-Modellierung als Teilkomponente eines integrierten 3D-Informationssystems für den oberflächennahen Untergrund - Pilotstudie Darmstadt_3D

G1

ROUWEN LEHNÉ, JACOB WÄCHTER, CHRISTINA HABENBERGER, LISA MEWES & HEINER HEGGEMANN

Einführung

Als Halter und Anbieter aller geologischen Informationen (Bohrungen, geologische Karten in verschiedenen Maßstäben, Bohrkern, Handstücke, Dünnschliffe, 3D-Modelle, etc.) hat das Dezernat G1 (Geologische Grundlagen) der Abteilung G des HLNUG eine multi-institutionale Kooperation zur Erstellung eines integrierten und umfangreichen 3D-Informationssystems zur Untergrundplanung initiiert. Als Pilotraum wurde aufgrund der idealen Bedingungen das Stadtgebiet Darmstadt ausgewählt. Als ideal anzusehen sind i) die bereits im und um das Stadtgebiet angesiedelten Forschungsprojekte des HLNUG und der Technischen Universität Darmstadt, ii) die Kooperationsbereitschaft der Digitalstadt Darmstadt (2017) sowie iii) die Bereitschaft von Forschungseinrichtungen (Technische Universität Darmstadt) und Wirtschaftsunternehmen (e-netz Südhessen, GiGa infosystems), das Projekt zu unterstützen.

Ziel des Projektes ist es, alle verfügbaren Informationen zum oberflächennahen Untergrund im urbanen Raum (Geologie, Boden, Wasser, technische Infrastruktur wie Gas- und Wasserversorgung sowie Abwasserkanäle) in einer 3D-Datenbank zusammenzuführen, zu synthetisieren, zu aggregieren, zu parametrisieren und Nutzern strukturiert über verschiedene Wege (Desktopanwendung und Internetanwendung) für das Tagesgeschäft zur Verfügung zu stellen und damit intra- und interinstitutionale Barrieren zu überwinden.

Darüber hinaus soll die Pilotstudie durch das HLNUG genutzt werden, um die Praktikabilität und Übertragbarkeit der angestrebten Anwendung zu prüfen. Im Erfolgsfall soll das Konzept landesweit umgesetzt und damit die Initiative „Verwaltung 4.0“ unterstützt werden.

Die Entwicklung eines 3D-Informationssystems für Hessen bzw. Teile Hessens soll der hessischen Landesregierung und ihr nachgeordneter Behörden sowie Planungs- und Ingenieurbüros, der Wasserwirtschaft, der Rohstoffwirtschaft und der Wissenschaft, aber auch interessierten Bürgerinnen und Bürgern ein umfassendes Grundlagenmaterial zum Untergrund von Hessen bieten. Sie trägt damit u. a. zu einer umweltschonenden Nutzung der Ressourcen und zu Kosten sparenden Planungen bei.

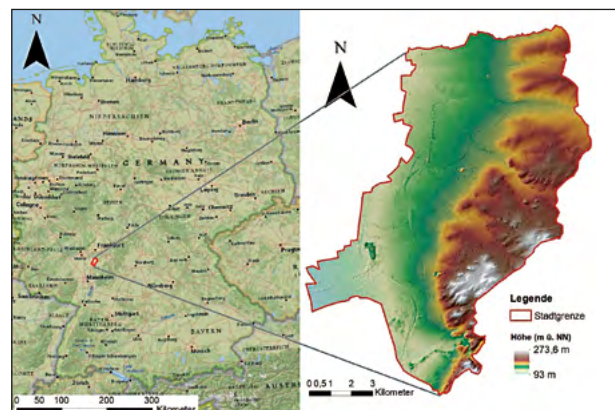


Abb. 1 a) geographische Lage der Stadt Darmstadt (Quelle Topografie: ESRI Basemap)
b) Morphologie im Stadtgebiet (Quelle Höhenkarten DGM1: Hessische Verwaltung für Bodenmanagement und Geoinformation)

Projektgebiet

Geographisch liegt die Stadt Darmstadt in Südwestdeutschland im nördlichen Teil der Oberrheinebene und gehört zur Metropolregion Frankfurt/Rhein-Main (Abb. 1a). Das Stadtgebiet umfasst ca. 122 km² und beheimatet ca. 150 000 Menschen (HSL 2017), was einer Einwohnerdichte von ca. 1 272 Personen je km² entspricht. Die Ausdehnung in Ost-West Rich-

tung beträgt ca. 15 km, in Nord-Süd Richtung etwa 17 km. Die Morphologie fällt von ca. 270 m. NN im Osten auf etwa 100 m. NN im Westen. Während der östliche Teil des Stadtgebietes durch den Odenwald geprägt ist, ist der westliche Teil durch alte Flussläufe charakterisiert.

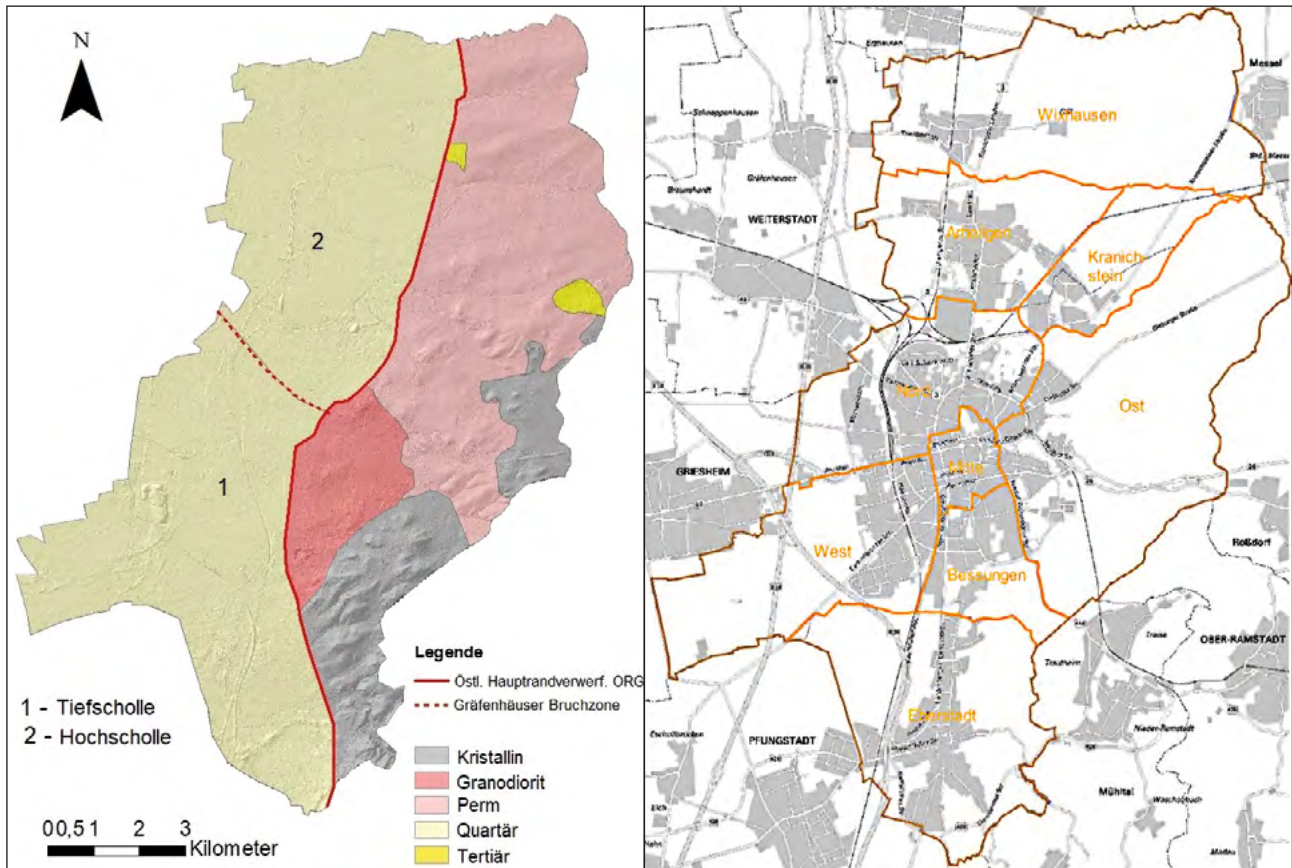


Abb. 2 a) Geologie im Stadtgebiet Darmstadt (Greifenhagen 2000), b) Übersicht und Teilgebiete der Stadt Darmstadt (HVBG)

Geologie

Das Projektgebiet befindet sich am Ostrand des Oberrheingrabens (ORG), einer tertiären Grabenstruktur, und geht nach Osten in den Odenwald über, dessen Gesteine bis zu 500 Millionen Jahre alt sind, im allergrößten Teil aber während der variszischen Orogenese vor 360–320 Millionen Jahre entstanden (STEIN, 2011). Nach Norden liegen diesen Gesteinen permische Sandsteine und Vulkanite auf (Abb. 2). Beide geologischen Strukturräume werden durch die

östliche Hauptstrandverwerfung des ORG voneinander getrennt, an der es im Bereich des Projektgebietes zu Versätzen von mehr als 1 500 m kommt. Im Zuge der Absenkung des ORG erfolgt eine Ablagerung tertiärer und quartärer Sedimente in unterschiedlicher Mächtigkeit (ELLWANGER et al. 2008, LEHNÉ & HOSELMANN 2013). Während im Innenstadtbereich die Mächtigkeit quartärer Ablagerungen zwischen 50 und 100 m schwankt, nimmt diese nach Nordwesten

auf 10-30 m ab. Als Ursache für die Mächtigkeitsschwankungen wird auch eine WNW-ESE orientierte Störung, die Gräfenhäuser Bruchzone, angenommen (GREIFENHAGEN, 2000). Rezente und subrezente

geodynamische Prozesse werden auch durch aktuelle Messungen von mikrotektonischen Bewegungen an der östlichen Haupttrandverwerfung impliziert (HOPPE et al. 2015).

Eingangsdaten

Bohrungen

Als wichtigste Grundlage für die Arbeiten dienten 1 086 qualitätsgeprüfte Bohrungen aus der Bohrendatenbank Hessen, mit deren Hilfe ein geologisches 3D-Modell erstellt wurde (Abb. 3). Die Bohrungen sind ungleich verteilt und decken insbesondere den östlichen Bereich der Stadt, außerhalb des Oberrhein-

grabens, nur unzureichend ab. 75% aller Bohrungen reichen nicht tiefer als 20 m in den Untergrund. Nur 12% der Bohrungen reichen tiefer als 40 m. Damit nimmt die Belastbarkeit von Aussagen zum Aufbau des Untergrundes mit der Tiefe deutlich ab.

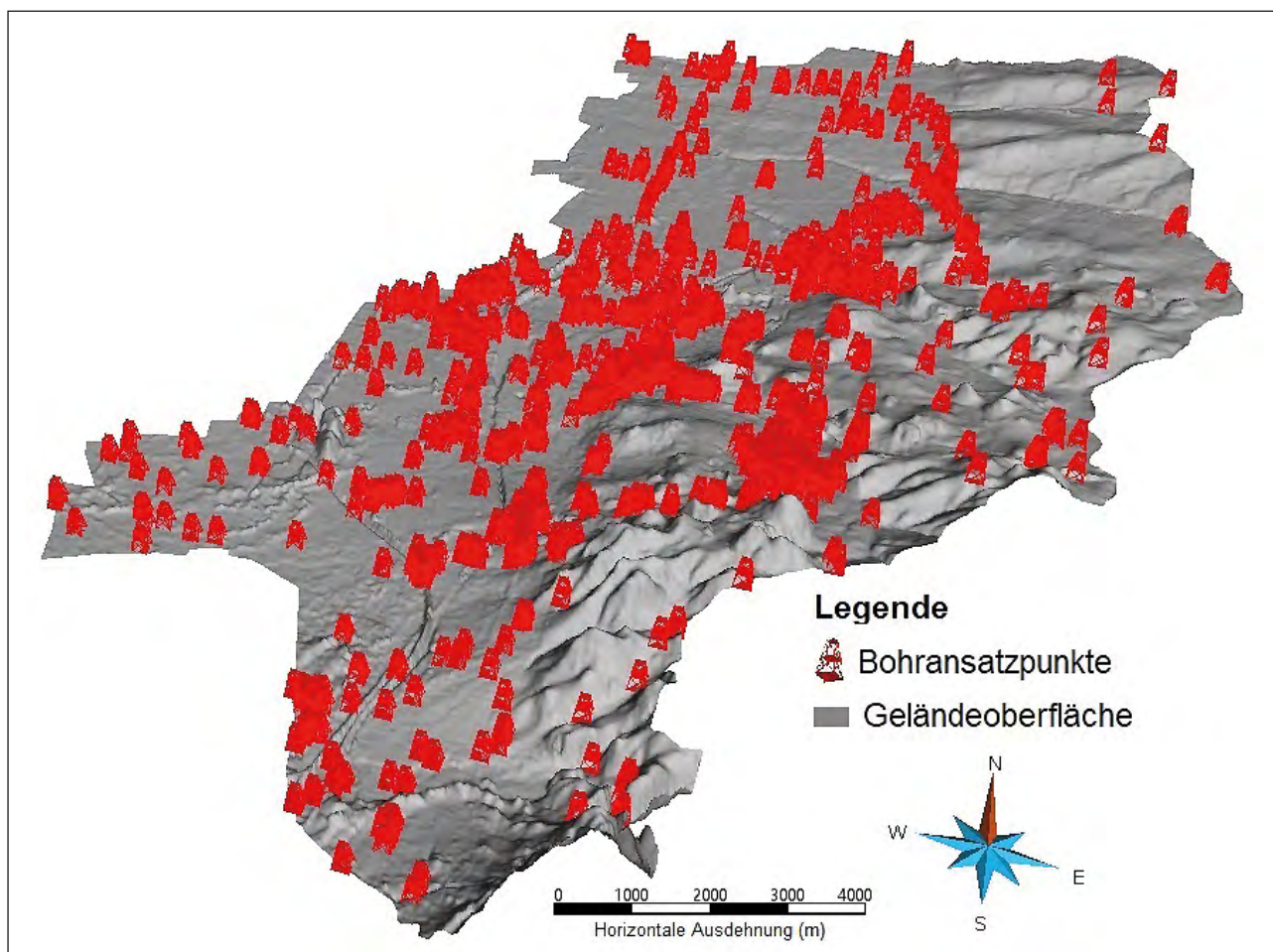


Abb. 3 Übersicht der für die geologische 3D-Modellierung verwendeten Bohrungen (rot)

Grundwassermessstellen/Pegel

Auf Basis von 35 Grundwassermessstellen aus dem Landesgrundwasserdienst (LGD) des HLNUG und 121 Messpegeln der Stadt Darmstadt wurden stich-

tagsbezogene Grundwasseroberflächen für den Zeitraum der letzten 30 Jahre erstellt. Die zeitliche Auflösung variiert von 1 Jahr bis zu einem Monat.

Gebäudefundamente

Um den oberflächennahen Untergrund im 3D-Raum mit Gebäudefundamenten verschneiden zu können, wurde in einem ersten Schritt das Fundament des Kongresszentrums darmstadtium aufbereitet und

verarbeitet. Der Detaillierungsgrad ist dabei den Anforderungen an das 3D-Objekt als Barriere im Untergrund angepasst. Die Daten wurden vom Kongresszentrum darmstadtium zur Verfügung gestellt.

Technische Infrastruktur

Zur Einbindung weiterer Untergrund-Infrastruktur wurden zusätzlich das Kanalsystem der Stadt sowie die Wasser- und Stromversorgung rund um das

Kongresszentrum darmstadtium aufbereitet und in das Modell integriert.

Datenverarbeitung

Die Datenverarbeitung erfolgte unter Zuhilfenahme verschiedener Anwendungen. Die Bohrungen wurden mit Hilfe von GeODin (Version 7.5) bearbeitet, hydrogeologische Informationen in der Software AqualInfo zusammengeführt. Die technische Infrastruktur wurde mit AutoCAD und ArcGIS (Version 10.4) aufbereitet. Die eigentliche 3D-Modellierung erfolgte dann unter Verwendung der Programme GOCAD (Version Skua-Gocad 14.1) und Leapfrog Geo (Version 4.0.1).

Während GOCAD zur Erstellung und Bevölkerung von Voxelstapeln, sogenannten SGrids, benutzt wurde, zeigte sich das Programm Leapfrog Geo besonders geeignet für die Qualitätsprüfung der Eingangsdaten im 3D-Raum. Alle erarbeiteten 3D-Inhalte wurden anschließend in die generische 3D-Datenbank GST überführt und können so über die Anwendung GST Desktop auf dem PC bzw. über die Anwendung GST Web im Browser visualisiert werden.

Ergebnisse

Geologie

Aufgrund der Komplexität der geologischen Lagerungsverhältnisse und der inhaltlichen Heterogenität der Bohrungen wurden zur Erstellung eines geologischen 3D-Modells zunächst die Bohrschichtinformationen aggregiert und damit in sieben Durchlässigkeitsklassen nach GARLING & DITTRICH (1979) sowie KRIMM (2015) untergliedert. In der Definition schwanken die Durchlässigkeitsklassen von 1 (sehr

gut) bis 7 (sehr schlecht). Mit Hilfe der so parametrisierten 10 276 Bohrschichten konnte ein konsistentes geologisches Raumbild interpoliert werden, das für den westlichen Teil der Stadt die oberen 30 m abdeckt und für den östlichen Bereich der Stadt die oberen 10 m, wo damit die gesamte Lockergesteinsabfolge bis zum anstehenden Festgestein beschrieben ist (Abb. 4). In der Vertikalen ist der Betrachtungs-

raum in Tiefscheiben zu je 2 m unterteilt, d.h. 15 Tiefscheiben im Westteil und 5 Tiefscheiben im Ostteil der Stadt.

Im interpolierten Volumen lassen sich Bereiche gleicher Durchlässigkeit (Homogenbereiche) ableiten, die Hinweise auf die Genese der Ablagerungen geben (Abb. 5). So erstrecken sich im Südteil des Projektgebietes am Grabenrand gut durchlässige Ablagerungen, die keilartig in Richtung des Grabenzentrums verlaufen und auf laterale Einträge (hier umgelagerter Grus) von den Grabenschultern hindeuten. Ähnliche Bereiche finden sich im Nordteil der Stadt, wo die keilartigen Ablagerungen allerdings aus feinkörnigem Material bestehen.

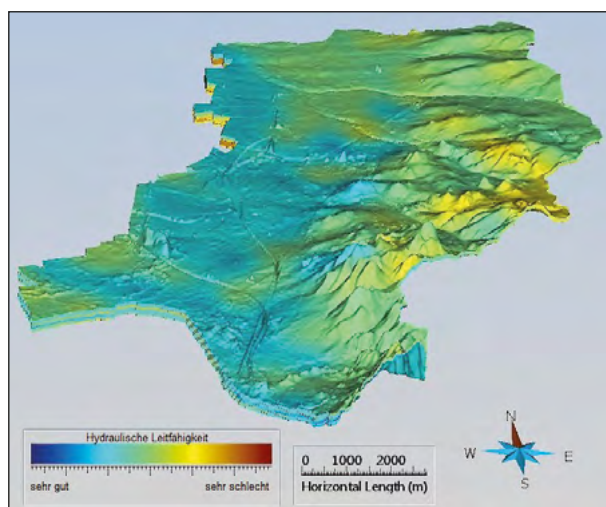


Abb. 4 Erstelltes geologisches 3D-Modell, farbkodiert nach Durchlässigkeitsklassen von 1 (sehr gut) bis 7 (sehr schlecht)

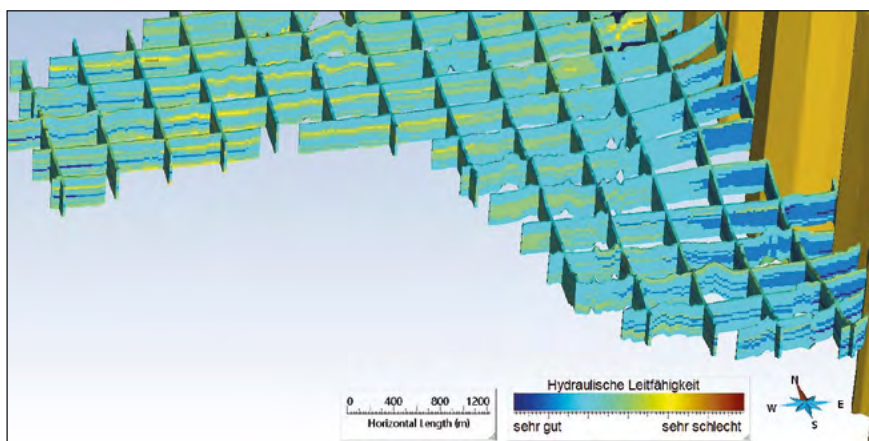


Abb. 5 Im 3D-Volumen zeigen sich am Grabenrand keilartig in den Graben verlaufende sehr gut durchlässiger Bereiche (dunkelblau), die auf laterale Einträge (hier Grus) von den Grabenschultern hindeuten.

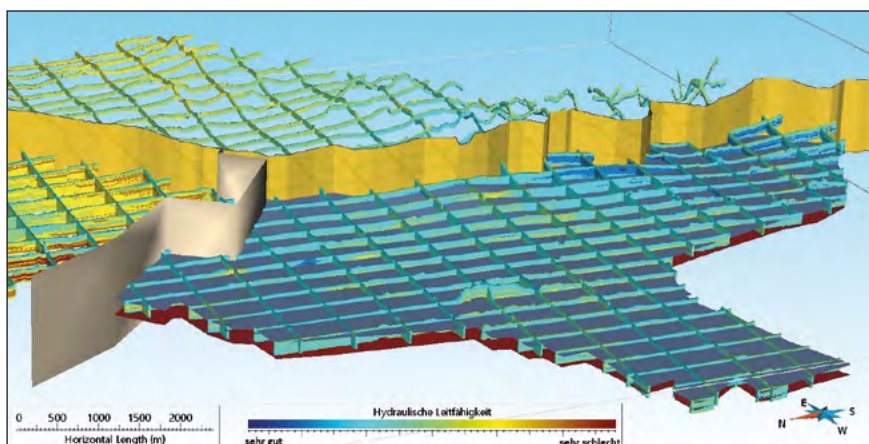


Abb. 6 Unter Berücksichtigung des geologischen Inventars können zu interpolierende Grundwasseroberflächen in ihrer Raumlage sehr viel belastbarer abgebildet werden.

Insgesamt können im interpolierten Volumen Grundwasserleiter von Grundwassergeringleitern differenziert werden. Für den nördlichen Bereich des Projektgebietes wurden zwei Aquifere auskartiert, für den südlichen Bereich ein Aquifer. Beide Bereiche sind durch eine Störung (Gräfenhäuser Bruchzone)

voneinander getrennt, deren Existenz durch die Modellierung verifiziert werden konnte. Gleichzeitig zeigt die Verteilung der Sedimente, dass die Interpretation der Gräfenhäuser Bruchzone als eine segmental aufgebaute Struktur plausibler ist als die bisher postulierte Geometrie der Störung.

Hydrogeologie

Die Interpolation von Grundwasseroberflächen in der Zeitreihe erfolgte sowohl mit als auch ohne Berücksichtigung der zuvor im geologischen Volumen auskartierten Grundwasserleiter. Im Vergleich zeigt sich, dass die Belastbarkeit der Raumlage von interpolierten Grundwasseroberflächen unter

Berücksichtigung des geologischen Inventars signifikant höher ist (Abb. 6). Begründet ist dies u. a. in den Interpolationsalgorithmen, die auf eine Glättung der Flächen abzielen und damit scharfe Strukturraumgrenzen verschleiern.

Gebäudefundamente/technische Infrastruktur

Alle bisher verfügbaren Informationen zum technischen Untergrund (Gebäudefundament des Kongresszentrums darmstadtium, Abwasserkanäle der Stadt Darmstadt, Strom- und Wasserversorgung rund

um das Kongresszentrum darmstadtium) wurden in das 3D-Modell integriert (Abb. 7 und 8) und können nun zusammen mit dem natürlichen Untergrund visualisiert werden.

Anwendungsbeispiele

Interaktion Gebäudefundamente/Grundwasser

Abb. 7 zeigt das Fundament des Kongresszentrums darmstadtium (grau) als Teil des geologischen 3D-Modells (hier Voxelmmodell) in der Zusammenschau mit der Grundwasseroberfläche (blau transparent) für den Zeitpunkt Oktober 2015. Deutlich ist zu erkennen, dass das untere Drittel des Fundaments im Grundwasser steht. Damit hat das Fundament im Sinne der Grundwasserströmung eine Funktion als hydraulische Barriere. In der Konsequenz ist

eine auf dem integrierten geologischen Modell aufbauende Grundwasserströmungsmodellierung in der Aussage belastbarer, da die Barrierefunktion von Untergrund-Infrastruktur berücksichtigt werden kann. Gleichzeitig leitet sich aus Sicht der Gebäudeinstandhaltung ab, dass das Fundament in diesem Interaktionsbereich einer anderen Beanspruchung ausgesetzt ist als der über dem Grundwasserspiegel liegende Teil des Fundaments.

Interaktion Kanalsystem/Grundwasser

Die Zusammenschau von interpolierten Grundwasseroberflächen und dem Kanalsystem der Stadt Darmstadt im 3D-Raum (Abb. 8) bietet die Möglichkeit, sogenannte Fremdwassergebiete zu identifizieren, in denen entweder Grundwasser in das

Kanalsystem infiltrieren oder Abwasser in das Grundwasser exfiltrieren kann. Die Größe der auskartierten Fremdwassergebiete schwankt zwischen 2,4 km² im Oktober (üblicherweise der Monat mit dem niedrigsten Grundwasserspiegel) und 3,8 km² im April

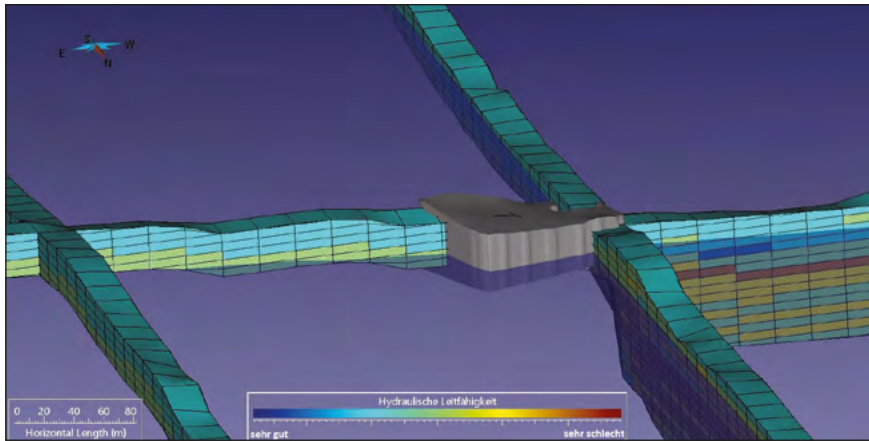


Abb. 7 Zusammenschau des Fundaments des Kongresszentrums darmstadtium (grau) als Teilvolumen des geologischen 3D-Modells (Voxelstapel) mit der Grundwasseroberfläche für Oktober 2015 (blau transparent)

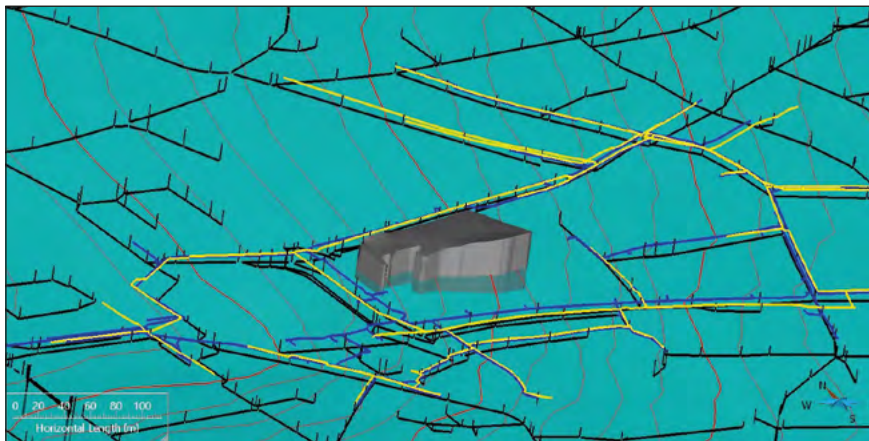


Abb. 8 Zusammenschau von interpolierter Grundwasseroberfläche für Oktober 2015 mit der technischen Untergrund-Infrastruktur rund um das Kongresszentrum darmstadtium (schwarz = Kanalsystem, gelb = Stromversorgung, blau = Wasserversorgung). Blau transparent ist die Grundwasseroberfläche für Oktober 2015 dargestellt, rot die Konturlinien für die Grundwasseroberfläche.

(üblicherweise der Monat mit dem höchsten Grundwasserspiegel) (Abb. 9). Die Kartierung im 3D-Raum ergab zudem teilweise deutliche Abweichungen von bisherigen Annahmen/Erkenntnissen zum räumlichen Auftreten von Fremdwassergebieten. Das

Wissen um Lage und Ausdehnung von Fremdwassergebieten kann nun genutzt werden, um die verfügbaren Ressourcen zur Sanierung der Infrastruktur effizient und zielführend einzusetzen.

Schlussfolgerungen

In Kooperation insbesondere mit der Stadt Darmstadt und der TU Darmstadt wird im Rahmen der Pilotstudie Darmstadt_3D ein integriertes 3D-Modell

als Basis für ein umfassendes 3D-Stadtinformationssystem für den oberflächennahen Untergrund im Stadtgebiet erstellt.

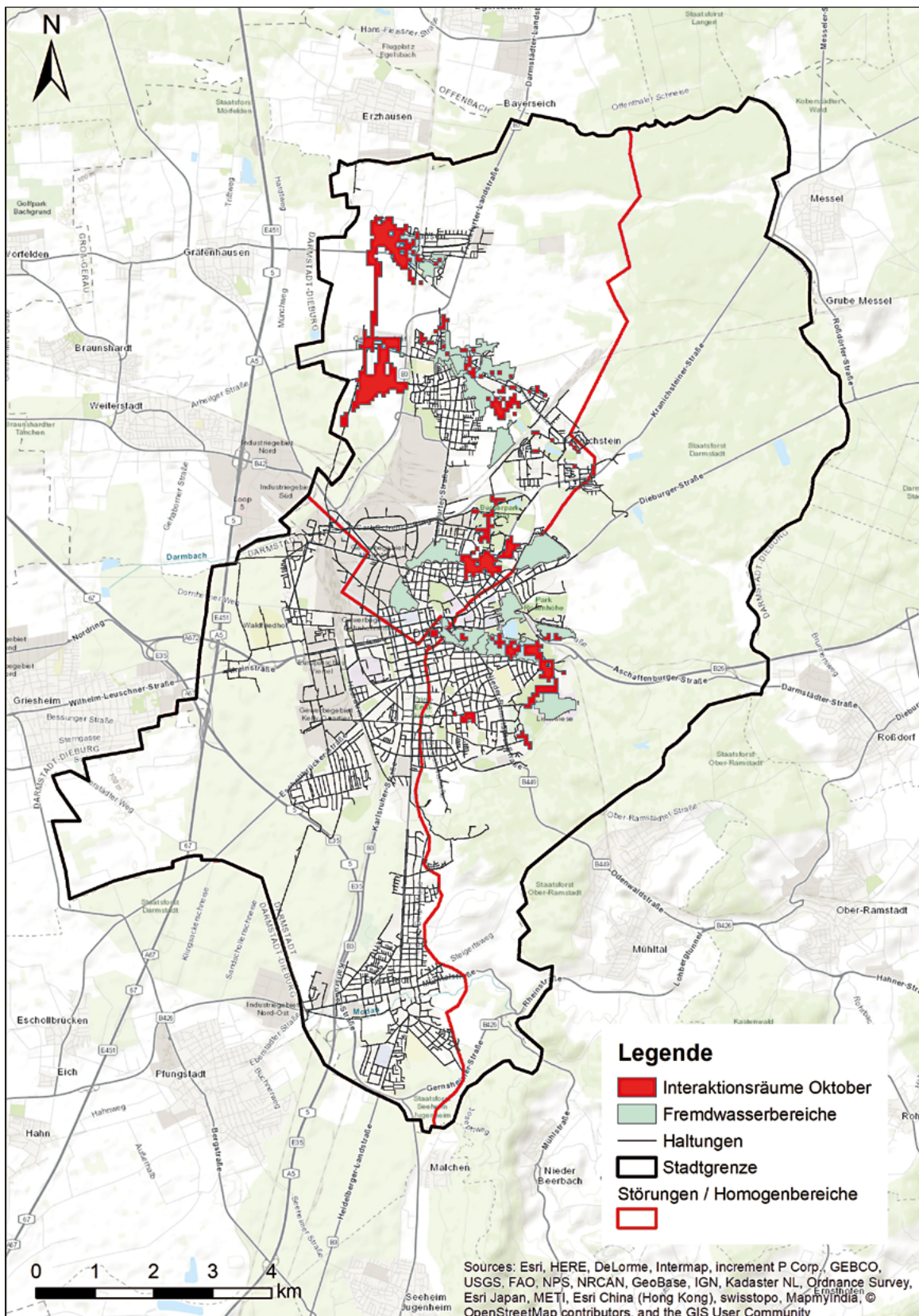


Abb. 9 Auf Basis des 3D-Modells auskartierte Fremdwassergebiete in Darmstadt. Die Größe der Fläche schwankt jahreszeitlich mit einem Maximum im März und einem Minimum im Oktober.

Im bisherigen Projektverlauf konnten Barrieren bezüglich Datenformate, Datenhaltung, Zusammenschau von Informationen und Verbreitung zusammengeführter Inhalte überwunden werden.

Die Zusammenschau der bisher verfügbaren Fachinformationen (Geologie, Grundwasser, technische

Untergrund-Infrastruktur) zeigt einen deutlichen Mehrwert gegenüber von Insellösungen.

Allen Projektbeteiligten sind die erarbeiteten 3D-Inhalte über die Anwendung GST Web im 3D-Raum verfügbar. Eine Veröffentlichung von nicht-sensiblen Inhalten im Internet ist möglich.

Nächste Schritte

Die Planung des noch laufenden Projektes sieht vor, das 3D-Informationssystem um weitere Fachdaten (technische Untergrund-Infrastruktur, Fundamente, Geologie, Bodengase) zu ergänzen und aus den aufbereiteten Inhalten Aussagen zur Beschaffenheit des Untergrundes abzuleiten (z. B. setzungsempfindliche Böden, Radongebiete, Grabbarkeit) und den Anwen-

dern zur Verfügung zu stellen. Über einen entsprechenden Webservice soll das Informationssystem in Teilen auch der Öffentlichkeit zugänglich gemacht werden. Weiterhin soll die Funktionalität der Visualisierungsanwendung GST Web weiter an die Bedürfnisse der Anwender angepasst und damit optimiert werden.

Dank

Die Umsetzung des Projektes wäre ohne die Unterstützung der Kooperationspartner nicht denkbar. Neben der Unterstützung bei der Erarbeitung der 3D-Inhalte durch die technische Universität Darmstadt (Institut für Angewandte Geowissenschaften, Stefan Rautenberg, Thomas Schmitz, Ulrike Simons, Daniel Heß, Jessica Daum, Oliver Heil, Maximilian Koch, Julian Heinze) gilt der Dank insbesondere dem Straßenverkehrs- und Tiefbauamt der

Stadt Darmstadt (Armin Hüber, Wilfried Heckmann, Natali Feidenheimer, Anna Pröh, Daniela Petto) für die Bereitschaft zur Kooperation, der Übergabe von Daten, Hilfe bei der Datenaufbereitung und viele Gespräche zur Erörterung von Fragestellungen und Anforderungen. Dank gilt auch dem Kongresszentrum darmstadtium und der Firma e-netz Südhessen für die Abgabe von Daten.

Literatur

- Digitalstadt Darmstadt (2017): Homepage. – [<https://digitalstadt-darmstadt.de>; Stand: 10.11.2017].
- ELLWANGER, D., GABRIEL, G., SIMON, T., WIELANDT-SCHUSTER, U., GREILING, R.O., HAGEDORN, E.-M., HAHNE, J. & HEINZ, J. (2008): Long sequence of Quaternary rocks in the Heidelberg Basin depo-centre.– *Quatern. Sci. J.*, **57** (3–4): 316–337; Stuttgart.
- GREIFENHAGEN, G. (2000). Untersuchungen zur Hydrogeologie des Stadtgebietes Darmstadt mit Hilfe eines Grundwasserinformationssystems – unter Verwendung von einer Datenbank, Datenmodellierung und ausgewählten statistischen Methoden.– Diss. TU Darmstadt: 228 S.; Darmstadt.
- HOPPE, A., KOŠŤÁK, B., KUHN, G., LEHNÉ, R., SIMONS, U. & STEMBERK, J. (2015): Rezente Bewegungen an den Haupttrandverwerfungen im Nördlichen Oberrheingraben.– *Jber. Mitt. oberrhein. geol. Ver.*, **97**: 321–332; Stuttgart. – DOI: 10.1127/jmogv/97/0014.
- HSL – Hessisches Statistisches Landesamt (2017): Hessische Gemeindestatistik 2016 – Ausgewählte Strukturdaten aus Bevölkerung und Wirtschaft 2015.– 37. Ausg.: 246 S., 1 Kt.; Wiesbaden (HSL).
- LEHNÉ, R.J., HOSELMANN, C., HEGGEMANN, H., BUDDE, H. & HOPPE, A. (2013): Geological 3D modelling in the densely populated metropolitan area Frankfurt/Rhine-Main.– *Z. dt. Ges. Geowiss.*, **164** (4): 591–603, Stuttgart.
- STEIN, E. (2001): Die magmatischen Gesteine des Bergsträßer Odenwaldes und ihre Platznahme-Geschichte.– *Jber. Mitt. oberrhein. geol. Ver.*, **83**: 267–283; Stuttgart.