3D-Baugrundmodell der quartären Sedimente des Leinetals bei Göttingen

3D-subsoil-model of the Quaternary Leinetal sediments near Göttingen

Nix, T. [1] , Wagner, B. [2], Lange, T. [2], Fritz, J. [1], Sauter, M.[2]

Zusammenfassung

Qualitativ hochwertige geowissenschaftliche Informationen zum Untergrund erhalten in der geotechnischen und planerischen Praxis zunehmende Bedeutung. Eine nachhaltige Entwicklung und Nutzung des Untergrundes erfordert, dass bereits im Stadium der Planung von Infrastrukturprojekten umfassende Informationen für Kosten-/Nutzen-/Risiko-Analysen bereitgestellt werden. Möglichkeiten zur Datenhaltung, Visualisierung und Parametrisierung werden am Beispiel des 3D-Baugrundmodells des quartären Untergrundes der Stadt Göttingen vorgestellt. Grundlage der dreidimensionalen Darstellung sind mehr als 3000 Bohrungen sowie geologische, bodenkundliche und geomorphologische Kartenwerke. Das entwickelte 3D-Baugrundmodell verdeutlicht den geologisch-komplexen Aufbau des quartären Untergrundes, der durch die quartärzeitlichen Ablagerungsbedingungen, Salztektonik und Subrosionsprozesse geprägt ist. Stratigraphisch, genetisch oder petrographisch unterscheidbare Sedimentkörper werden im 3D-Modell vereinfacht aber widerspruchsfrei in ihrer räumlichen Anordnung abgebildet. Aus Schichtbeschreibungen abgeleitetete Bodenklassen ermöglichen es, den geotechnisch heterogenen Aufbau der dreidimensionalen Sedimentkörper geostatistisch abzuschätzen.

Schlüsselworte: geologisches 3D-Modell, quartäre Sedimente, Baugrund, Geostatistik, Kennwerte

Abstract

Geoscientific high-quality information on the subsoil is of increasing importance in geotechnical and planning practice. Sustainable development and utilization of the underground requires that already at the stage of planning of infrastructure projects, comprehensive information for cost-/ benefit- / risk-analysis is provided. In practice, geoscientific cartographies are difficult to communicate to decision-makers outside of the subject area. In addition, comprehensive information in 2D maps or databases is only insufficiently provided. 3D subsoil-models offer a way to compensate these shortcomings in the provision of geoscientific information. Three-dimensional visualizations of the underground are easy to impart. Existing data - such as drillings, sections - is integrated in the meaning of a 3D database. The 3D-subsoil-model of the Quaternary underground of the city of Göttingen exemplifies current possibilities for data storage, visualization and parameterization. Basis of the three-dimensional representation are more than 3000 wells plus geological, pedological and geomorphological maps. The 3D-subsoil-model illustrates the complex geological structure of the quaternary underground, shaped by the quaternary deposition conditions, salt tectonics and subrosion processes. Within the 3D-model, stratigraphic, genetic or petrographic distinct sediment bodies are illustrated simplified but consistent in their spatial arrangement. Geotechnical properties were derived by petrographic descriptions so that the three-dimensional geotechnical composition of a sediment body could be predicted geostatistically.

Key words: geological 3D-model, Quaternary sediments, subsoil, geostatistics, parameters

1 Einführung

Qualitativ hochwertige geowissenschaftliche Informationen zum Untergrund erhalten in der geotechnischen und planerischen Praxis zunehmende Bedeutung. Eine nachhaltige Entwicklung und Nutzung des Untergrundes erfordert, dass bereits im Stadium der Planung von Infrastrukturprojekten etc. umfassende Informationen für Kosten-/Nutzen-/Risiko-Analysen bereitgestellt werden.

In der Realität ist festzustellen, dass geowissenschaftliche Kartenwerke fachfremden Entscheidungsträgern schwer vermittelbar sind. Umfassende Informationen werden in 2D-Karten oder Datenbanken lediglich unzureichend vorgehalten. Daten sind häufig dezentral abgelegt und weder integriert ausgewertet noch allgemein verfügbar. Notwendige ergänzende Erkundungen werden durch den finanziellen Rahmen eingeschränkt und sind nur begrenzt geeignet, regionale Zusammenhänge zu erfassen.

3D-Baugrundmodelle stellen eine Möglichkeit dar, diese Defizite in der Bereitstellung geowissenschaftlicher Informationen zu kompensieren. Untergrundinformationen werden durch die dreidimensionale Darstellung verständlich vermittelt. Vorhandene Daten – Bohrungen, Profilschnitte etc. – sind im Sinne einer 3D-Datenbank integriert.

[1] Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie, Referat Bauwirtschaft, Baugrund und Georisiken, Stilleweg 2, D-30655 Hannover, Tel. 0511 6433422, Fax 0511 6433459, thomas.nix@lbeg.niedersachsen.de

[2] Geowissenschaftliches Zentrum der Universität Göttingen, Abteilung Angewandte Geologie, Goldschmidtstr. 3, D-37077 Göttingen

2 Arbeitsgebiet

Das Arbeitsgebiet umfasst mit einer Fläche von ca. 42 km² einen Großteil des Göttinger Stadtgebietes (Abb. 1). Der mesozoische Untergrund wird durch den tektonisch komplex strukturierten Leinetal-Graben, Salztektonik und Subrosionsprozesse geprägt.

Schwerpunkt der 3D-Modellierung ist die für Planungsfragen bautechnisch relevante quartäre Sedimentabfolge. Quartäre Sedimente erreichen am Boden des Leinetals bis zu 60 Meter, an den Talflanken wenige Dezimeter Mächtigkeit. Die geologische Karte (Abb. 1) verdeutlicht, dass pleistozäne, weichselzeitliche Abfolgen – kaltzeitliche Flussablagerungen, Löss, Beckensedimente, Fließerden sowie warmzeitliche Mudden, Quellkalke, Torfe und Beckenablagerungen – weitflächig verbreitet sind. Holozäne Flussablagerungen, Schwemm-, Auen- und Bachlehme treten hingegen – bis auf vereinzelte Torf- und Quellkalkvorkommen – fast ausschließlich linienhaft auf. Im Profilschnitt (Abb. 2) wird deutlich, dass, im zwischen den Randstörungen des Leinetals komplex aufgebauten Quartär, Ausdehnung und Lage der Sedimentkörper im Raum stark variieren.

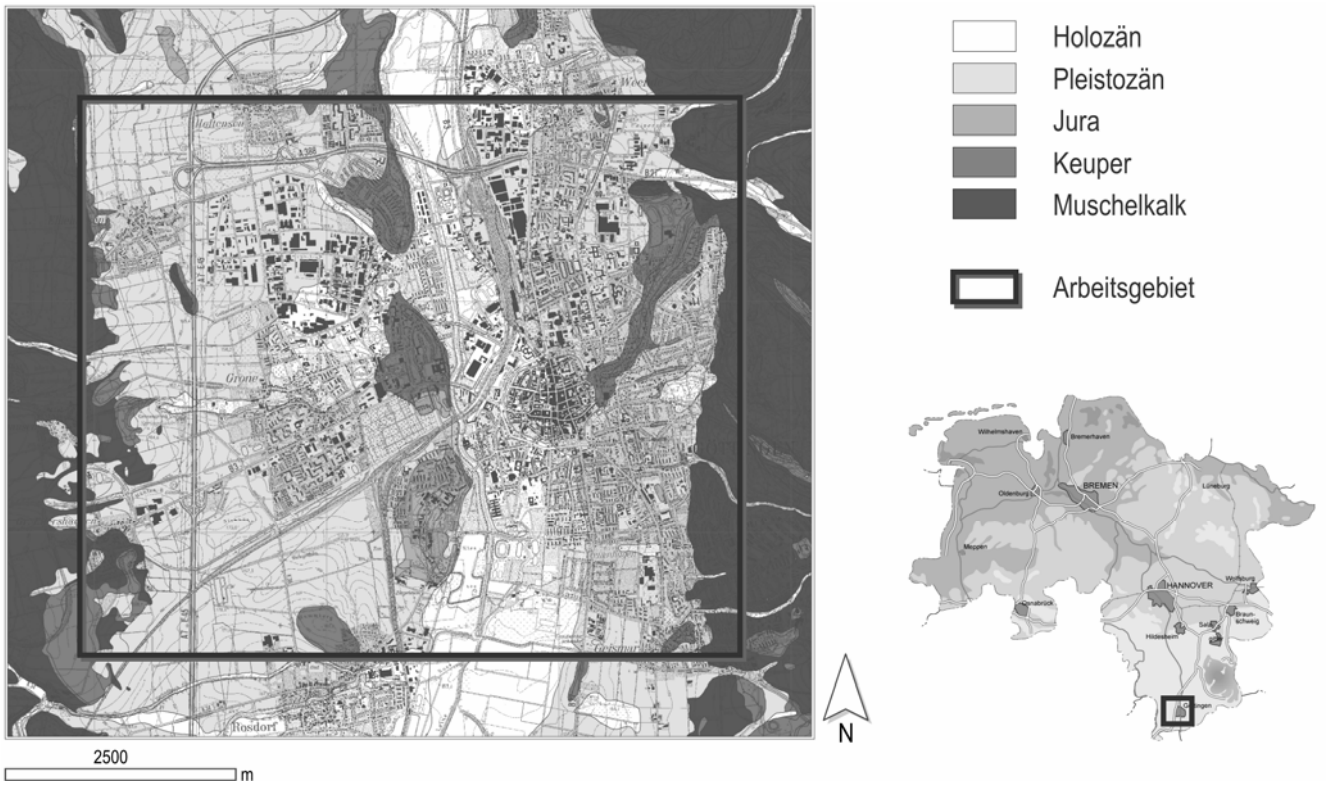

Abb. 1: Geographische Lage und geologischer Bau (GK25 Blatt 4425) des Arbeitsgebietes.
Fig. 1: Geography and geology of the investigation area (GK25 Blatt 4425)

3 Daten- und Modellierungsgrundlagen

Wichtigste Grundlage der dreidimensionalen Modellierung waren 3145 Bohrungen, die – in unterschiedlicher Aufnahmequalität und mit Teufen von 1 bis 244 Metern – verteilt über das Stadtgebiet von Göttingen vorliegen. Alle Bohrungen wurden geprüft, homogenisiert, in der Ansatzhöhe mit dem DGM5 abgeglichen und anschließend mit der Erfassungssoftware GeoDIN im SEP3-Format in Datenbanken abgelegt (Wagner et al. 2007). Mit der geologischen Karte GK25 Blatt 4425 Göttingen, 25 ingenieurgeologischen Diplomkartierungen sowie geologischen, bodenkundlichen und geomorphologischen Detailkartierungen (u.a. Schlie, 1989, Wunderlich, 1959) sind umfassende Flächendaten in das Modell integriert. Ergänzend wurden mehr als 30 W/E- und mehr als 30 N/S-Profilschnitte konstruiert, deren Schichtgrenzen als Hilfs- oder Zwangslinien für die 3D-Modellierung genutzt werden konnten.

Da die komplex angeordneten quartären Sedimentkörper nur vereinfacht in einem großräumigen 3D-Modell dargestellt werden können, wurde die 3D-Modellierung auf „übergeordnete“ Modellierungseinheiten beschränkt:

(1) anthropogene Auffüllungen,

(2a) jungholozäne Auen- und Bachlehmbildungen,

(2b) jungholozäne Abschwemmmassen,

(3) holozäne Weichschichten (Quellkalk, Torf, Mudde),

(4) pleistozäner Löss, Schwemmlöss und Lösslehm,

(5a) pleistozäne Fließerde,

(5b) pleistozäner Schwemmschutt,

(5c) pleistozäner Flusskies,

(6) pleistozäne Weichschichten in Subrosionssenken,

(7) präquartäre Festgesteinsoberfläche.

Alle dreidimensionalen Flächen und Körper wurden mit der Software GOCAD der Firma Paradigm unter vorwiegender Verwendung des DSI (Discrete Smooth Interpolator) modelliert. Als hilfreiche Modellierungstechnik erwiesen sich in ArcGis entwickelte Verbreitungskarten der Modelleinheiten. Diese wurden in GOCAD als Polygone auf Basisflächen projiziert, um die Funktionen eines GIS-Systems in der 3D-Modellierung nutzen zu können.

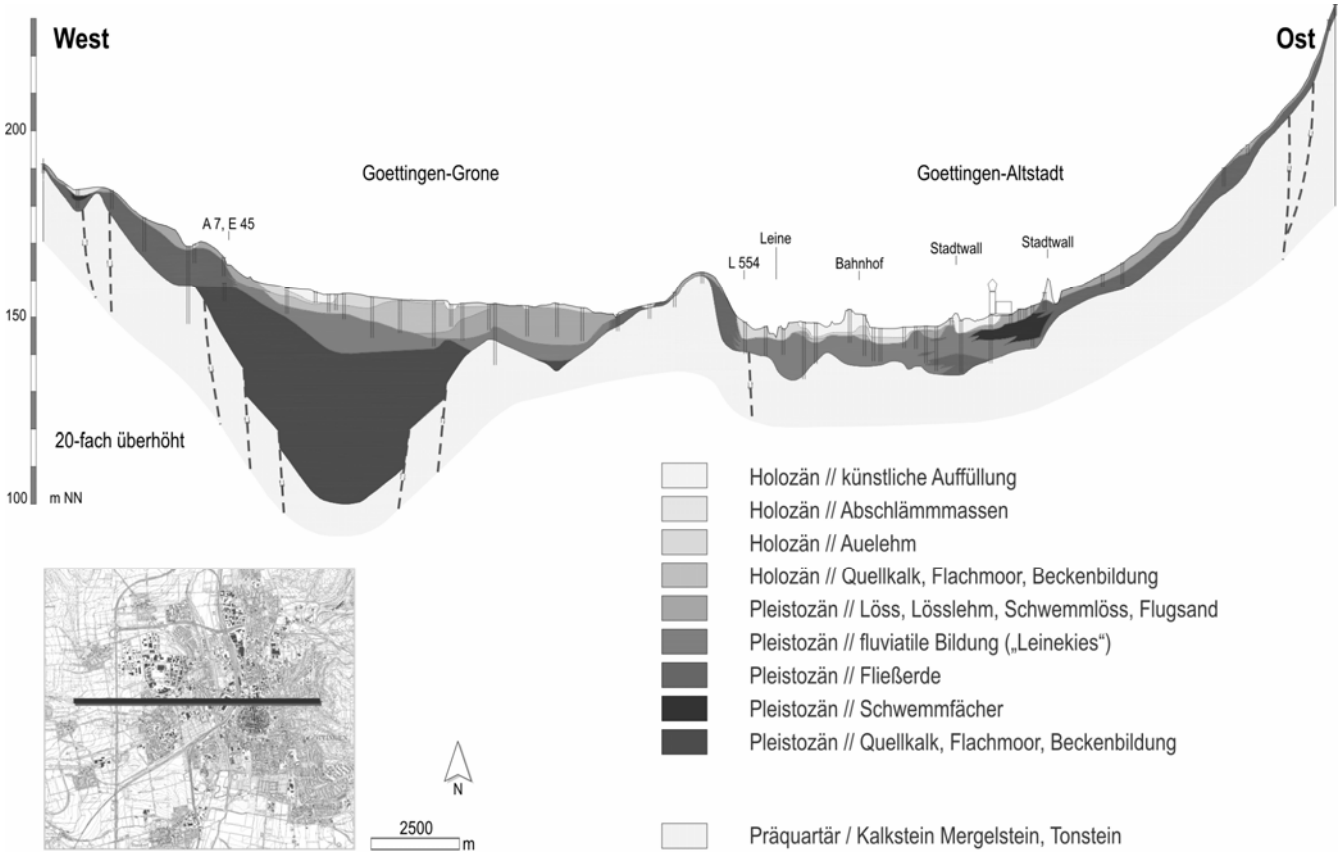

Abb. 2: Geologischer Profilschnitt, Länge W/E: 6900 m, 20-fach überhöht .
Fig. 2: Geological section, length W/E: 6900 m, 20x vertical exaggeration.

4 3D-Modell

Ein Ausschnitt des zentralen Bereichs des 3D-Modells – 15fach überhöht, mit einer E/W-Ausdehnung von 6900 m sowie einer N/S-Ausdehnung von 1700 m (Abb. 3) – verdeutlicht – auch dem fachfremden Nutzer – die geologisch-komplexe Anordnung der quartären Sedimentkörper.

Mit Blick aus Südosten (Abb. 3) fallen oberflächennah die künstlichen Auffüllungen (Modelleinheit (1)) im Bereich der ICE- und Autobahntrasse (vgl. Abb. 1) sowie des ringförmigen historischen Stadtwalls auf. In lokalen Beckenstrukturen – wie beispielsweise westlich der zentralen Festgesteinsaufwölbung – wurden mächtige Schwemmlössablagerungen (Modelleinheit (4)) akkumuliert. Entlang der E/W-verlaufenden Schnittspur sind die im Bereich der Leine bis zu 30 m mächtigen Flusskiesablagerungen (Modelleinheit (5c)) erkennbar, die sich rinnenartig in Richtung Norden und Süden fortsetzen. Fazielle Übergänge der fluviatilen Sedimente zu Schwemmschuttsedimenten (Modelleinheit (5b)) oder Fließerden (Modelleinheit (5a)) sind insbesondere am östlichen Leinetalhang ausgebildet. Unterhalb des westlichen Stadtteils Göttingen-Grone zeichnet sich die beträchtliche Ausdehung einer mit bis zu 60 m mächtigen quartären Ablagerungen gefüllten Subrosionssenke (Modelleinheit (6)) ab. Prinzipiell werden alle modellierten holozänen und pleistozänen Sedimentkörper durch das 3D-Modell widerspruchsfrei in ihrer räumlichen Anordnung abgebildet (Abb. 3).

Holozäne und pleistozäne Weichschichten (Modelleinheit (3) und (6)) sind im Bereich der Groner Subrosionssenke und in alten Rinnensystemen der Leine – von Auelehm verdeckt (Modelleinheit (2a)) – verbreitet (Abb. 4). Diese Modelleinheiten (2a, 3 und 6) repräsentieren fließende Bodenarten und/oder Lockergesteine mit teilweise hohen organischen Gehalten, sind wasserempfindlich und haben eine geringe Tragfähigkeit. Das 3D-Modell ermöglicht es, die räumliche Verbreitung dieser schlecht tragfähigen Sedimente sowie deren Mächtigkeit direkt zu ermitteln und Details über Vertikal-/ oder Horizontalschnitte durch den interessierenden Bereich zu erfassen (Abb. 4). Der Umfang und die Tiefe weiterer Erkundungen sind gezielt planbar. Varianten für Gründungsmaßnahmen sind aus der Mächtigkeit und Tiefenlage der Schichtpakete abzuleiten.

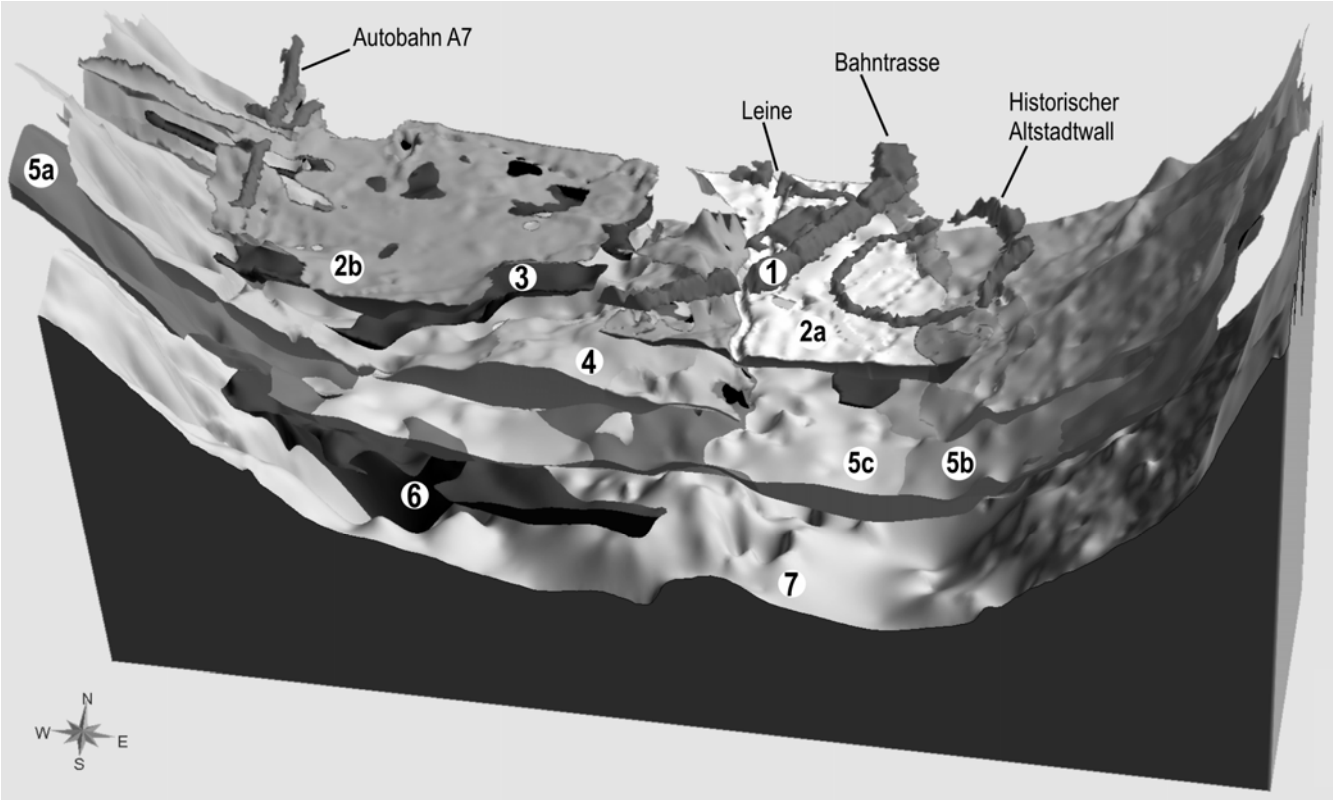

Abb. 3: Explosionsdarstellung des zentralen Ausschnittes des 3D-Baugrundmodells (Blick aus Südosten,geneigt, Ausdehnung E/W: 6900 m; Ausdehnung N/S: 1700 m, 15fach überhöht). Beschreibung der Modelleinheiten vgl. Kapitel 3 .
Fig. 3: Exploded view of the central section of the 3D subsoil model (view from southeast, tilted, extension E/W: 6900 m, extension N/S: 1700 m, vertical exxageration 15x). Description of the model units, see Chapter 3.

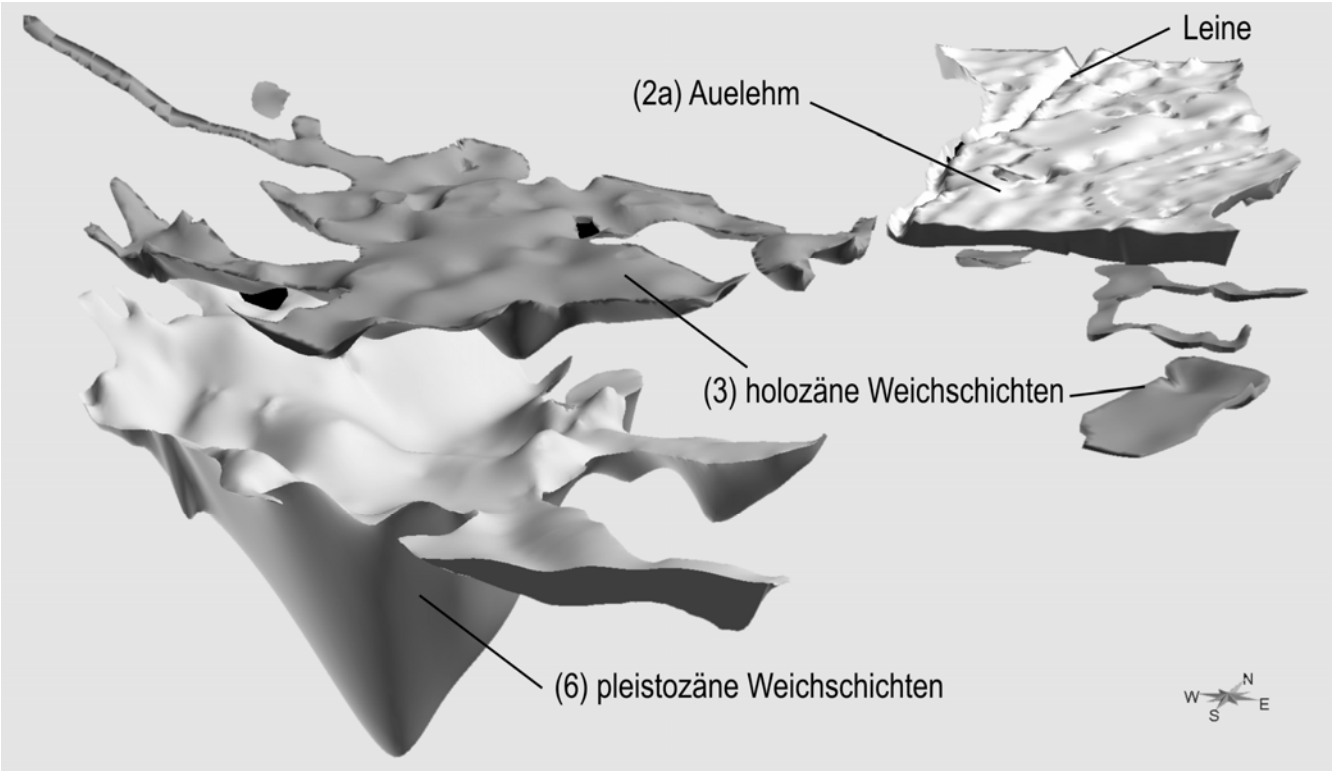

Abb. 4: Explosionsdarstellung gering tragfähiger Modelleinheiten im zentralen Ausschnitt des 3D-Baugrundmodells (Blick aus Südosten,geneigt, Ausdehnung E/W: ca. 4500 m; Ausdehnung N/S: 1700 m, 15fach überhöht).
Fig. 4: Exploded view of viable small model units in the central section of the 3D-subsoil-model (view from southeast, tilted, extension E/W: 4500 m, extension N/S: 1700 m, vertical exxageration 15x)

5 Parametrisierung

Aufgrund der ungleichen und sporadischen Verteilung gemessener bodenphysikalischer oder bodenmechanischer Kennwerte, wurde ein Verfahren entwickelt, geotechnische Eigenschaften aus petrographischen Schichtbeschreibungen abzuschätzen (Fritz et al. 2007). Grundlage der Klassifizierung sind sechs übergeordnete Bodenklassen (vgl. Auszug in Tab. 1), die in Anlehnung an DIN 18196 gebildet wurden. Basierend auf den Angaben zu Petrographie, Genese und Bodengruppe werden Schichtbeschreibungen im äquidistanten Abstand von 0,5 m diesen übergeordneten Bodenklassen zugeordnet (Tab. 1).

Die Verteilung der Bodenklassen innerhalb der dreidimensionalen Sedimentkörper wurde mit einem Indikator-Kriging-Ansatz und der Software WinGslib geostatistisch ermittelt. Dabei wird die Wahrscheinlichkeit der Existenz einer Bodenklasse in jeder Zelle des Modells geschätzt und die Unsicherheit der Schätzung quantifiziert.

Eine geostatistische Schätzung der Verteilung der Bodenklassen 1-3 innerhalb der Modelleinheiten (5 a, b, c) zeigt exemplarisch Abbildung 5. Verzahnungsbereiche von Schwemmschuttsedimenten und Fließerden mit gleichförmigen fluviatilen Ablagerungen werden in der geostatistischen Analyse erkannt. Die Schätzung der Bodenklassen wird demzufolge durch den geologischen Befund gestützt. Aus der internen Parametrisierung des Sedimentkörpers können an jedem Modellpunkt lokale geotechnische Eigenschaften abgeschätzt werden.

Tab. 1: Definition der Bodenklassen 1-3 (Auszug) .
Tab. 1: Definition of soil classes 1-3 (Excerpt).

	Name	Definition	DIN 18196	Petrographie (Beipiel)
1	grobkörnige Böden	95% > 0,06mm	GE, GI, GW, SE, SI, SW	Kies, Kies-Sand-Gemisch, Sand, Sand-Kies-Gemisch
2	gemischtkörnige Böden	5 bis 40% ≤ 0,06mm	GU, GU*, GT, GT*, SU, SU*, ST, ST*	Kies-Schluff-Gemisch, Kies-Ton-Gemisch, Sand-Schluff-Gemisch, Sand-Ton-Gemisch
3	feinkörnige Böden	mehr als 40% ≤ 0,06 mm	TL, TM, TA, UL, UM, UA	nichthumoser Ton und / oder Schluff

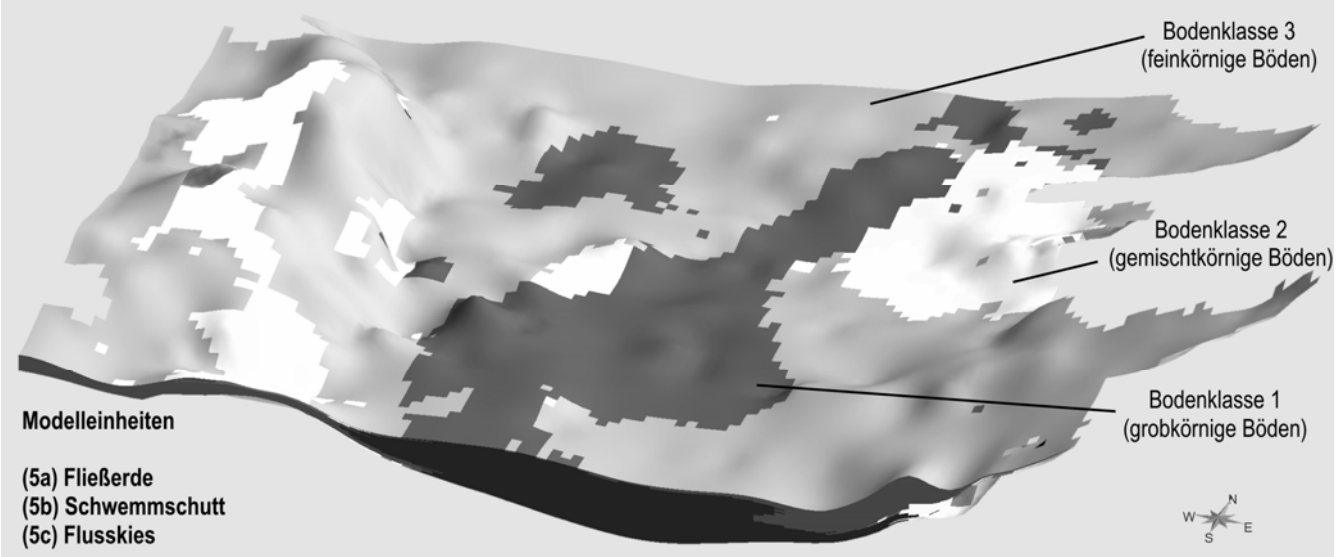

Abb. 5: Geostatistische Verteilung der Bodenklassen 1-3 (vgl. Tab. 1) innerhalb der Modelleinheiten 5a-c. (Blick aus Südosten,geneigt, Ausdehnung E/W: ca. 3100 m; Ausdehnung N/S: 1700 m, 15fach überhöht) .
Fig. 5: Geostatistical distribution of soil classes 1-3 (see Tab. 1) within the model units 5a-c. (View from the southeast, tilted, extension E/W: ca. 3200 m, extension N/S: 1700 m, vertical exxageration 15x).

Literatur

Fritz, J.; Lange, T.; Nix, T.; Sauter, M.; Wagner, B. (2007): Ingenieurgeologische Modellierung und Ansätze für die Zuordnung von Eigenschaften am Beispiel der Stadt Göttingen. – Geotechnik Kolloquium, Geotechnik im Verkehrsbau/Infrastruktur-maßnahmen – national & international, 173-182; Freiberg.

Schlie, P. (1989): Hydrogeologie des Grundwasserwerkes Stegemühle in Göttingen. – Göttinger Arb. Geol. Paläont., 43, 134 S., 32 Abb., 28 Tab.; Göttingen.

Wagner, B., Fritz, J., Nix, T. & Sauter, M. (2007): Räumliche ingenieurgeologische Modellierung im Stadtgebiet Göttingen. – Veröffentlichungen der 16. Tagung für Ingenieurgeologie, Bochum 07.-10. März 2007, 267-276; Bochum.

Wunderlich, H. G. (1959): Zur Abfolge und Altersstellung quartärer Bildungen im Stadtgebiet von Göttingen. – Eiszeitalter und Gegenw., 10, 41-55, 5 Abb., 1 Tab.; Öhringen.