

Ingenieurgeologische Modellierung und Ansätze für die Zuordnung von Eigenschaften am Beispiel der Stadt Göttingen

Geotechnical modelling and an approach for the attribution of properties within the City of Goettingen

J. Fritz, T. Nix,

Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie, Stilleweg 2, 30165 Hannover

T. Lange, M. Sauter, B. Wagner

Geowissenschaftliches Zentrum der Universität Göttingen, Goldschmidtstrasse 3, 37077 Göttingen

Zusammenfassung (ca. 10 Zeilen)

Die quartären Lockergesteine im Untergrund der Stadt Göttingen wurden in einem Pilotgebiet als Volumenkörper dreidimensional modelliert. Damit dieses Untergrundmodell als geologisch-geotechnische Datenbasis anwendbar ist, müssen die dreidimensional modellierten geologischen Volumenkörper mit geotechnischen Kennwerten versehen werden. Ausgehend von der Datenbasis – im Labor ermittelten geotechnischen Kennwerten der Modellierungseinheiten und den Schichtenverzeichnissen von Bohrungen – werden verschiedene methodische Ansätze diskutiert. Für Teilgebiete konnten Verteilungskarten einzelner Kennwerte abgeleitet werden. In Vorbereitung einer geostatistischen Auswertung der Bohrdaten wurden Bodenklassen in Anlehnung an die DIN 18 196 festgelegt.

Abstract

Quaternary sediments in the subsoil of the city of Goettingen were modelled as three-dimensional bodies. This 3D-model of an urban underground ought to apply as a geological-geotechnical database. Therefore, the 3D geological bodies must be attributed with geotechnical properties. Based on characteristic values of the modelling units and borehole logs, different methodical approaches are discussed. Distribution maps of several characteristic values could be derived for subsections. In preparation of a geostatistical evaluation of soil descriptions, soil classes were specified following DIN 18196.

Einleitung

Das Kooperationsprojekt „3D Göttingen“ wird seit Ende 2004 vom Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie (LBEG) in Hannover und der Abteilung Angewandte Geologie des Geowissenschaftlichen Zentrums der Universität Göttingen (GZG) durchgeführt. Das Ziel ist der Aufbau eines geologischen Basismodells des Stadtgebietes von Göttingen (Fritz et al., 2006) und die Entwicklung einer Methodik zur ingenieurgeologischen und hydrogeologischen Attributierung des Modells (Wagner et al., 2007).

Wieso geologisch-geotechnische 3D-Modelle?

Städte und Siedlungsgebiete verfügen selten über viele natürliche Aufschlüsse, zählen jedoch zu den am besten erkundeten Gebieten in Deutschland. In den vergangenen Jahrzehnten wurden hier für zahlreiche Eingriffe in den Untergrund geologische Voruntersuchungen durchgeführt. Zusätzlich zu Oberflächenkartierungen wurden häufig Bohrungen niedergebracht und geotechnische Kennwerte ermittelt.

Trotz dieser zahlreichen Erkundungen in besiedelten Gebieten verfügen Kommunen und Ingenieure selten über detaillierte geologisch-geotechnische Planungsgrundlagen für das gesamte Stadtgebiet. In vielen Fällen beruft man sich auf Erfahrungswerte oder Expertenwissen. Die vorhandenen geologischen Karten sind für Laien oft schwer lesbar, teilweise veraltet und bieten wenige Informationen über den geologischen Bau in der Tiefe.

Durch kürzere Planungs- und Projektlaufzeiten sowie durch hohe Kosten für Neuaufschlüsse und Bohrungen, steigt jedoch der Bedarf an schnell und leicht verfügbaren Daten über den Untergrund. Generell ist eine zunehmende Nachfrage nach einer geologisch-geotechnischen Datenbasis für Aufgabengebiete wie Baugrunduntersuchung, Altlastenerkundung, –sanierung, Bodenschutz, Rohstoff- und Grundwassererkundung, die Erstellung von Flächennutzungsplänen, flache Geothermie und Flächenrecycling zu registrieren.

In dreidimensionalen Modellen kann nicht nur die natürliche Morphologie der Oberfläche, sondern auch die Lage von Bohrungen und Profilschnitten sowie die Verbreitung von Schichten verdeutlicht werden. Die an der Oberfläche nicht aufgeschlossenen Gesteine können im Modell als Flächen oder Körper visualisiert werden. Ein vorhandenes Modell kann an jeder beliebigen Stelle geschnitten oder durchbohrt werden, um Schnitte oder Pseudobohrungen zu erzeugen. Die modellierten Flächen und Körper können zudem noch mit Kennwerten und Parametern versehen werden.

Das Untersuchungsgebiet

Das Untersuchungsgebiet befindet sich im südlichen Niedersachsen, innerhalb des Leine-Tals (Abb. 1). Das Arbeitsgebiet umfasst sowohl die Altstadt und Randgebiete der Stadt Göttingen im Tal der Leine, als auch die Stadtteile auf beiden Talhängen. Die in die Untersuchung einbezogene Fläche beträgt 42 km².

Im Projekt werden die holozänen und pleistozänen Lockergesteine des Quartärs berücksichtigt. Die pleistozänen Sedimente sind vorwiegend der Weichsel-Kaltzeit zuzuordnen. In einzelnen Zonen, wie z.B. in den Subrosionssenken im präquartären Festgestein, blieben Sedimente älterer Kalt- und auch Warmzeiten erhalten (Grüger et al., 1994; Wagner et al. 2005). Die Mächtigkeit der quartären Sedimente schwankt zwischen wenigen Dezimetern an den Talhängen sowie auf Festgesteinsauftragungen inmitten des Leine-Tals und bis zu 70 m in Subrosionssenken. Die Abfolge umfasst fluviatil, äolisch, limnisch und soliflukktiv gebildete Sedimente des periglazialen Ablagerungsraumes.

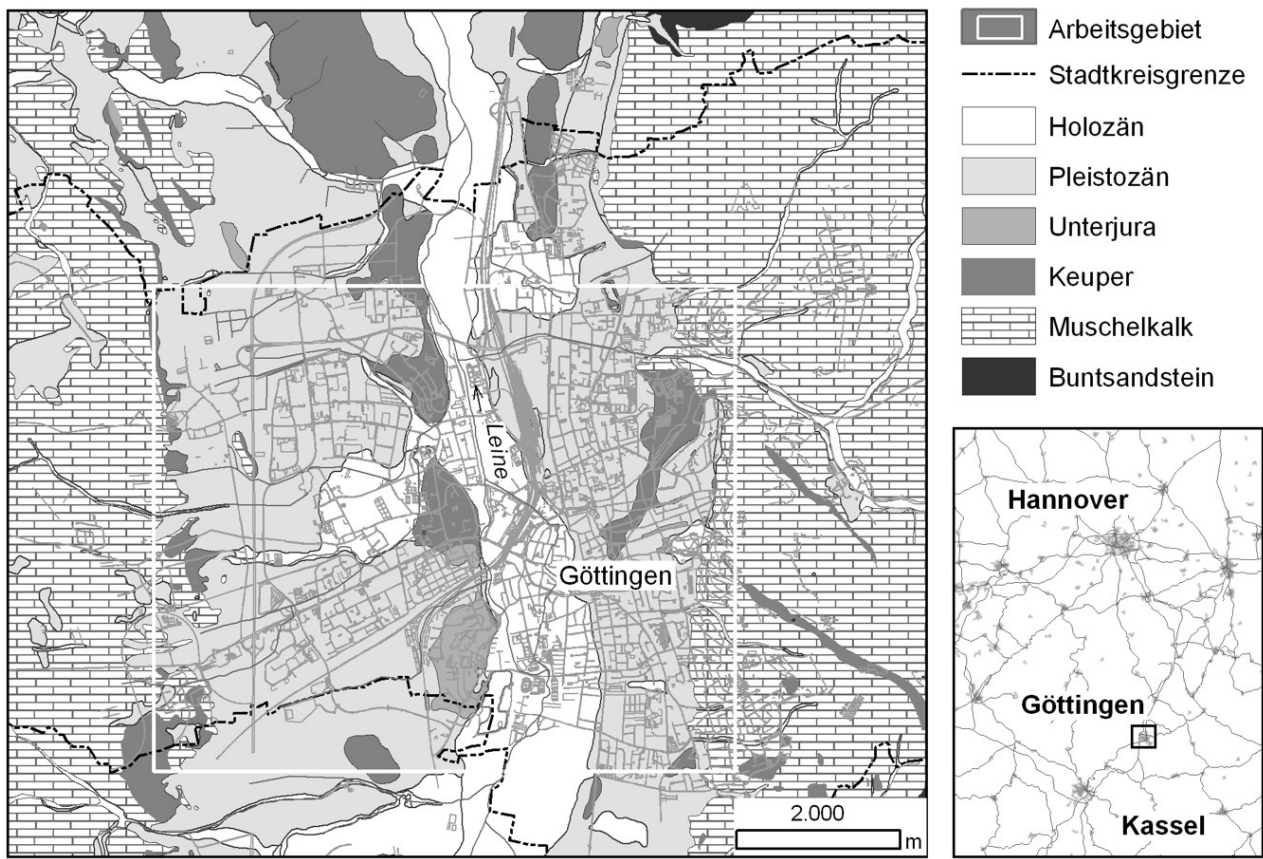


Abb. 1:
Geographische Lage und geologischer Bau (GK25 Blatt 4425) des Arbeitsgebietes.

Die Datenbasis

Schichtenverzeichnisse von Bohrungen, ingenieurgeologische Kartierungen und Laborergebnisse bilden die Datenbasis des Projektes. Die Bohrungen stammen aus der Niedersächsischen Bohrdatenbank und dem Bohrarchiv der Universität Göttingen. Sie wurden für verschiedene ingenieurgeologische, hydrogeologische und geologische Fragestellungen abgeteuft und später in einer Bohrdatenbank aufgenommen. Insgesamt stehen für die Untersuchung ca. 2.000 Bohrungen unterschiedlicher Qualitätsstandards zur Verfügung.

Die ingenieurgeologischen Kartierungen (Archner, 1992; Bake, 1979; Bartel, 1990; Breuer, 1991; Bubenik, 1990; Daneshmand, 1991; Deichmann, 1979; Feldmann, 1983; Gazawe, 1990; Gottschalk, 1982; Grossmann, 1988; Hooshyar, 1990; Krakow, 1986; Kukis, 1991; Loris, 1991; Manns, 1991; Möckel, 1991; Nessel, 1981; Pohl, 1995; Schulten, 1992; Schwannitz, 1987; Shojaei-Kawan, 1989; Steging, 1983) wurden in den Jahren 1979 bis 1995 an der Universität Göttingen durchgeführt. Die Kartierungen decken drei Viertel der Fläche des Stadtgebietes ab. Die in den Kartiergebieten vorhandenen Bohrprofile wurden durch zusätzlich niedergebrachte Bohrungen zu einem Raster von 150 m x 150 m ergänzt. Zahlreiche erbohrte Schichten wurden beprobt und die zugehörigen geotechnischen Kennwerte im Labor des GZG ermittelt.

Die dreidimensionale geometrische Modellierung

Für die dreidimensionale Modellierung wurde zunächst ein 6,9 km x 1,7 km großer Streifen aus dem Stadtgebiet ausgewählt (Abb. 2). Innerhalb dieses Gebietes war die geplante Modellierungstechnik mit einer überschaubaren Datenmenge überprüfbar. Das Pilotgebiet erstreckt sich von W nach E und umfasst alle relevanten quartären geologischen Einheiten. Da sich die Ausdehnung und Lage einzelner Sedimentkörper im Raum stark differenziert darstellt, wurden die quartären Lockergesteine für einen ersten Modellierungsschritt zu den in Tabelle 1 beschriebenen Modellierungseinheiten zusammengefasst.



Abb. 2:

Übersichtskarte des Arbeits- und Pilotgebietes mit den für die geometrische Modellierung verwendeten Bohrungen und Profilschnitten.

Grundlage für die Definition der Modellierungseinheiten waren ihre Mindestmächtigkeit, Erkennbarkeit in Bohrungen, flächenhafte Verbreitung und die geotechnische Relevanz. Die ca. 600 Bohrungen wurden entsprechend der Modellierungseinheiten indiziert und in die Modellierungssoftware gOcad importiert. Geologische W-E und N-S-Profilschnitte, die geologische Karte Blatt 4425 und das digitale Geländemodell (DGM 5) flossen als zusätzliche Konstruktionshilfen in die Modellierung ein (Abb. 2). Ausgehend von der Festgesteinsoberfläche wurde die Oberfläche der jeweils hangenden Einheit modelliert; aus den Flächen wurden dreidimensionale Volumenkörper erzeugt (Abb. 3).

Modellierungseinheit	Bezeichnung	Stratigraphie	Petrographie
1	Auen- und Hanglehm	Holozän	Schluffe, tonig, sandig, z.T. schwach humos, z.T. schwach kiesig
2	Weichschichten	Holozän	Torf, Quellkalk, Faulschlamm
3	Löss, Lösslehm, Schwemmlöss	Pleistozän	Schluffe, schwach bis stark tonig, sandig bis stark sandig, z.T. schwach kiesig
4	Schotter	Pleistozän	Kies-Sand-Gemische
5	Schwemmschutt und Fliesserde	Pleistozän	Kies-Sand-Schluff-Ton-Gemische in wechselnden Zusammensetzungen
6	Füllung der Subrosionssenken	Pleistozän	stark variierende Wechselfolge aus den unter 1 bis 5 beschriebenen petrographischen Einheiten

Tab. 1:
Übersicht der Modellierungseinheiten.

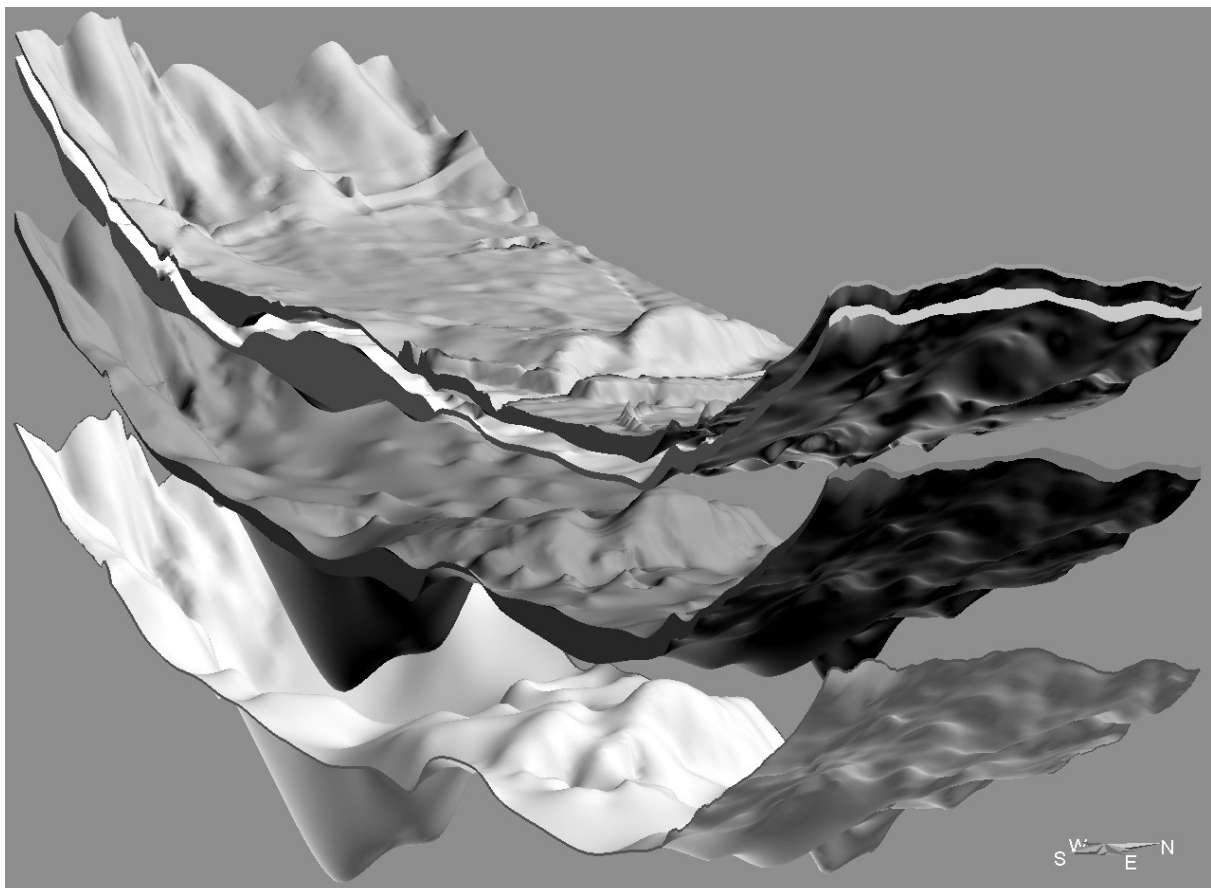


Abb. 3:
Explosionsmodell der modellierten Körper des Pilotgebiets mit der Geländeoberfläche und den den Modellierungseinheiten 1/2, der Modellierungseinheit 3, den Modellierungseinheiten 4/5/6 und der Festgesteinsoberfläche (von oben nach unten). Die Dimensionen des Gebietes betragen 6,9 km x 1,7 km. Die Modellierungskörper sind 15-fach überhöht und mit Zwischenräumen zur besseren Visualisierung dargestellt.

Die geotechnischen Kennwerte der Modellierungseinheiten

Mit der geometrischen Modellierung liegen die Modellierungseinheiten als homogene Volumenkörper mit jeweils einheitlicher Beschreibung der Petrographie, Genese und Stratigraphie vor. Da alle Modellierungseinheiten nach geotechnischen Gesichtspunkten festgelegt wurden, sind bereits in diesem Stadium Aussagen zur Bandbreite der bautechnischen Eigenschaften des jeweiligen Körpers – beispielsweise über Literaturangaben - möglich. Zudem liegen – aus Gutachten des LBEG und Diplommkartierungen des GZG – zu den ca. 600 Bohrungen zahlreiche in Laborversuchen ermittelte geotechnische Kennwerte vor. Bei diesen Angaben handelt es sich sowohl um eindeutig lokalisierbare Proben/Kennwerte als auch um gemittelte Werte aus Proben unterschiedlicher Lokation. Aus diesen Daten wurden für das gesamte Arbeitsgebiet Mittelwerte und Bandbreiten geotechnischer Kennwerte der Modellierungseinheiten abgeleitet und in Kennwerttabellen zusammengestellt. Ein Auszug aus der Kennwerttabelle für die Modellierungseinheit 3 „Löss, Lösslehm, Schwemmlöss“ ist in Tabelle 2 beispielhaft abgebildet. Die Zusammenstellung der Kennwerte wurde mit den Einordnungen und Angaben aus der Ingenieurgeologischen Karte Niedersachsens (IGK 50) abgeglichen und ergänzt.

Zu einigen der vorgestellten Parameter liegen nur Ergebnisse einer geringen Zahl von Versuchen vor. Proben grobkörniger Lockergesteine, wie Schotter und Schwemmschutt, müssen zudem als unvollständig betrachtet werden, da das Größtkorn durch die Rammkernsondierung nicht erfasst werden konnte. Da insbesondere in den Diplommkartierungen Proben aus größeren Tiefen nur vereinzelt gewonnen wurden, beziehen sich die Kennwerttabellen vorwiegend auf die oberen zehn Meter der Lockergesteinsabfolge.

Parameter	Einheit	Bandbreite	Gemittelter Wert
Bodenklasse nach DIN 18 300	-	4 bis 3, bei höherer Wasserführung 2	-
Bodengruppe nach DIN 18196	-	UL, TL, vereinzelt UM, TM	-
Zustandsform, Konsistenz	-	weich bis steif, vereinzelt halbfest oder breiig	-
Natürlicher Wassergehalt ω	%	12,9 - 33,3	21,4
Fliessgrenze ω_L	%	23,2 - 35,3	27,9
Ausrollgrenze ω_P	%	16,8 - 23,7	20,1
Schrumpfgrenze ω_s	%	12 - 19	
Plastizitätszahl I_P	%	2 - 17	8,1
Konsistenzzahl I_C	-	0,39 - 1,55	
Glühverlust V_{GL}	%	2,7 - 4,7	
Kalkgehalt V_{CA}	%	0 - 14,1	

Tab. 2:

Bandbreiten und Mittelwerte ausgewählter geotechnischer Kennwerte für die Modellierungseinheit 3 „Löss, Lösslehm, Schwemmlöss“.

Ansätze zur Parametrisierung der geometrischen Volumenkörper

Tatsächlich umfassen die definierten Modellierungseinheiten Lockergesteine mit unterschiedlichen geotechnischen Eigenschaften; beispielsweise enthalten Schotter oder Fließerdien der Modellierungseinheit 4 bzw. 5 feinkörnige, bindige Einschaltungen. Da nicht eine Vielzahl an Einschaltungen, Wechsellagerungen und Schichtwechsellagen als einzelne Körper modelliert werden können, müssen Informationen einzelner Schichteinheiten

zusammengefasst werden. Für eine möglichst naturgetreue dreidimensionale Modellierung und Attributierung ist es anzustreben, die heterogene Verteilung geotechnischer Eigenschaften innerhalb der jeweiligen geologischen Modellkörper abzubilden.

Eine direkte geostatistische Modellierung der aus Gutachten und Diplomkartierungen ermittelten Kennwerte ist nicht möglich. In den Gutachten und Diplomkartierungen sind Daten (Proben/Kennwerte) enthalten, die exakt einer Bohrung zuzuordnen sind und somit im Modellierungsraum eindeutig eingeordnet werden können. Die quantitative und räumliche Auswertung dieser Daten macht allerdings deutlich, dass eine für eine geostatistische Modellierung ausreichende Anzahl an Kennwerten nur für die Modellierungseinheiten Fließerde und Löss vorliegt. Räumlich konzentrieren sich die Lokationen der Probenentnahme/Kennwerte zudem auf den westlichen Teil des Arbeitsgebietes. Abbildung 3 verdeutlicht, dass auf Grundlage der vorhandenen Daten eine geostatistische Modellierung einzelner geotechnischer Kennwerte über das gesamte Arbeitsgebiet nicht möglich ist.

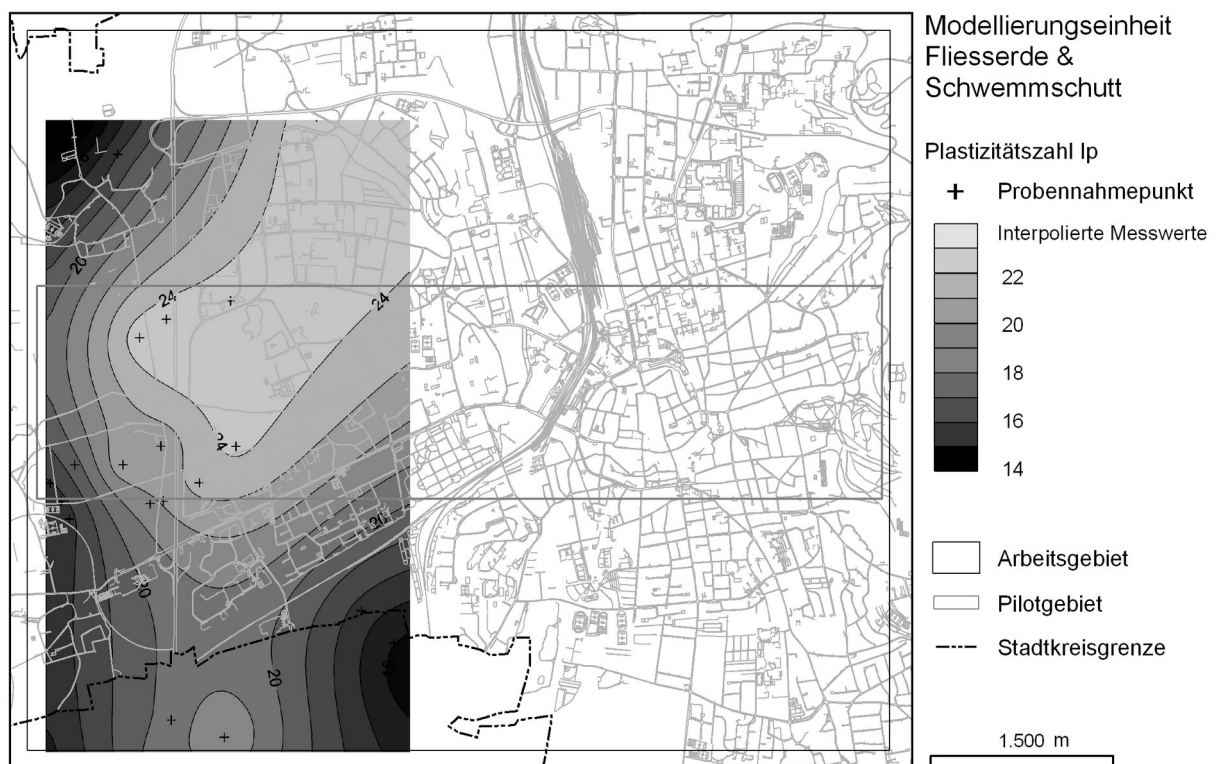


Abb. 3:

Probenentnahmepunkte innerhalb der Modellierungseinheit 5 (Fließerde & Schwemmschutt) und interpolierte Messwerte der Plastizitätszahl I_p . Aufgrund der räumlichen Verteilung der Proben konnte der Ostteil des Arbeitsgebietes nicht einbezogen werden.

Ein alternativer Ansatz, der nun im weiteren Projektverlauf verfolgt wird, ist auf die Nutzung und Transformation der Informationen in den Schichtbeschreibungen der Bohrdaten ausgerichtet. Die große Anzahl an Schichtbeschreibungen und somit an detaillierten Informationen soll genutzt werden, um indirekt Aussagen zu geotechnischen Eigenschaften der Lockergesteine treffen zu können und die bereits modellierten geologischen Körper geostatistisch vollständig mit Clustern zu füllen. Die Cluster repräsentieren dabei charakteristische Wertebereiche von Bodenklassen (Tab. 3), die aus allen verfügbaren Schichtbeschreibungen gebildet werden.

Alle Bohrdaten liegen digital in einer GeODin-Bohrdatenbank im SEP3-Format vor. Jeder Bohrdatensatz enthält sowohl Angaben zur Bohrung (Stammdaten), als auch eine Beschreibungen zu jeder einzelnen Schicht (Schichtdaten).

Klasse	Bezeichnung	Definition	Bodenklassen	Petrographie (Göttingen)	Genese (Göttingen)
1	grobkörnige Böden	mehr als 95% > 0,06mm	GE, GI, GW, SE, SI, SW	Kies, Kies-Sand-Gemisch, Sand, Sand-Kies-Gemisch	Schotter, Schwemmsand, -schutt
2	gemischt-körnige 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	Schotter, Fließerde, Schwemmschutt, -sand, -löss, sandstreifiger Löss
3	feinkörnige Böden	mehr als 40% ≤ 0,06 mm	TL, TM, TA, UL, UM, UA	Ton und/ oder Schluff (2)	nichthumoser Auen-, Bach- oder Hochflutlehm, Löss, Lösslehm, Schwemmlöss, Beckenton, -schluff, Fließerde (Bröckelton)
4	organogene Böden und Böden mit organischen Bestandteilen	mehr als 40% ≤ 0,06mm, VGL < 20 %	OU, OT	schwach bis stark humoser Schluff und/ oder Ton (2)	Beckenton, -schluff oder Schwemmlöss mit org. Beimengungen, schwach bis stark humoser Auen-, Bach- oder Hochflutlehm
		bis 40% ≤ 0,06mm, VGL < 20%, humose Bestandteile	OH	schwach bis stark humoser Kies und/ oder Sand (1)	Schotter, Schwemmschutt, -sand mit org. Bestandteilen
		bis 40% ≤ 0,06mm, VGL < 20%, kalkige oder kieselige Bestandteile	OK	Quell- und Sinterkalk, Kies und/ oder Sand mit kalkigen Bestandteilen (2)	Quell- und Sinterkalk, z.T. Bestandteile von Kies und/ oder Sand
5	organische Böden	VGL > 20%	HN, HZ, F	Torf, Faulschlamm sehr stark humoser Kies, Sand, Schluff oder Ton (bzw. Gemische)	Torf, Faulschlamm, Mudde, Torf-Faulschlamm-Quellkalk-Wechselagerungen, sehr stark humoser Auen-, Bach- oder Hochflutlehm
6	Auffüllung	anthropogen	A	Böden, Fremdstoffe	Anthropogene Auffüllungen und -schüttungen

Tab. 3:

Einteilung der Klassen (Anlehnung an die DIN 18 196) für die geostatistische Auswertung der Bohrungen des Pilotgebietes.

Bei Schichtbeschreibungen von Lockersedimenten handelt es sich vor allem um Projektionen ursprünglich metrisch skaliertes (messbarer) Parameter auf ein niedrigeres Skalenniveau (z.B. ein Korngrößenspektrum vereinfacht zur Beschreibung "überwiegend Schluff, stark feinsandig"). In den Schichtdaten sind Informationen über Mächtigkeit, Petrographie, Stratigraphie, Genese, Bodenklasse, Bodengruppe und zusätzlichen Eigenschaften in Kürzeln abgelegt. Die Bohrungen verfügen durchschnittlich über 10 Schichten, deren Einzelmächtigkeit zwischen 0,5 und 10 m schwankt.

Die Schichtbeschreibungen als kategoriale Variable müssen für die weitere geostatistische Auswertung auf eine nicht zu große Anzahl von Clustern reduziert werden. Diese Klassen wurden in Anlehnung an die DIN 18 196 definiert. Die Klassen unterscheiden sich deutlich in ihren geotechnischen Eigenschaften. In Tabelle 3 sind die sechs Hauptklassen und die mögliche weitere Gliederung der Klasse 4 aufgelistet. Die sechs Hauptklassen wurden so gewählt, dass eine eindeutige Zuordnung der Schichtbeschreibungen zu den Klassen möglich ist. Dabei werden die Angaben zu Petrographie, Genese und Bodengruppen einbezogen. Für die folgende Auswertung bieten sich als gängige, moderne Verfahren beispielsweise die Indikatorgeostatistik (Journel, 1983; Johnson, 1995; Ptak, 1998) oder der Markov-Ketten-Ansatz an, wobei in den letzten Jahren auch bestimmte Kopplungstechniken für diese Verfahren entwickelt wurden (Carle, 2000). Die aus den, an den geologischen Gegebenheiten konditionierten Simulationen ermittelten Wahrscheinlichkeitsverteilungen z.B. für die einzelnen Bodenklassen-Cluster können a) als Grundlage entsprechender ingenieurgeologischer Karten dienen, b) Aussagen über die Unsicherheit bezüglich kritischer Bodenparameter und somit ein Maß für den Erkundungsbedarf bei Bauplanungen liefern und c) als Trainingsdatensätze für andere Parameter und umgekehrt dienen. Die Methode soll auf ihre Anwendbarkeit und Aussagekraft überprüft werden. Es ist zu testen, ob geologisch erklärbare und sinnvolle Verteilungen auftreten.

Literatur

- ARCHNER, G. (1992): Ingenieurgeologische Kartierung der Stadt Göttingen, Teilblatt Rosdorf (NW-Nord).- Unveröff. Diplomarbeit, IGDL Universität Göttingen.
- BAKE, R. (1979): Ingenieurgeologische Kartierung der Altstadt Göttingen, Teilblatt Nord.- Unveröff. Diplomarbeit, IGDL Universität Göttingen; Altstadt, Teilblatt Nord.
- BARTEL, G. (1990): Ingenieurgeologische Kartierung der Altstadt Göttingen, Teilblatt Groß Ellershausen (Mitte).- Unveröff. Diplomarbeit, IGDL Universität Göttingen.
- BREUER, R. (1991): Ingenieurgeologische Kartierung der Altstadt Göttingen, Blatt Ellershausen, Teilblatt Nord.- Unveröff. Diplomarbeit, IGDL Universität Göttingen.
- BUBENIK, R. (1990): Ingenieurgeologische Kartierung der Stadt Göttingen. Blatt Groß Ellershausen - Teilblatt Süd.- Unveröff. Diplomarbeit, IGDL Universität Göttingen; 118 S.
- CARLE, S.F. (2000): Use of a Transition Probability/Markov Approach to Improve Geostatistical Simulation of Facies Architecture. - U.S. Department of Energy, Lawrence Livermore National Laboratory, Report UCRL-JC-141551, pp. 1-4.
- DANESHMAND, H. (1991): Ingenieurgeologische Kartierung der Stadt Göttingen. Teilblatt Grone Nordost - Süd.- Unveröff. Diplomarbeit, IGDL Universität Göttingen.
- DEICHMANN, T. (1979): Ingenieurgeologische Kartierung der Altstadt Göttingen, Teilblatt Süd.- Unveröff. Diplomarbeit, IGDL Universität Göttingen; Altstadt, Teilblatt Süd.
- FELDMANN, R. (1983): Ingenieurgeologische Kartierung der Stadt Göttingen. Teilblatt Geismar-Süd.- Unveröff. Diplomarbeit, Geol.- Paläont. Inst., Universität Göttingen; 70 S., 13 Anl.
- FRITZ, J., WAGNER, B. & SAUTER, M. (2006): Ingenieurgeologische 3D-Modellierung im Stadtgebiet Göttingen.- 73. Tagung der Arbeitsgemeinschaft Norddeutscher Geologen, Juni 2006, Halle, Tagungsband und Exkursionsführer, S. 57.

- GAZAWE, C. (1990): Ingenieurgeologische Kartierung der Stadt Göttingen. Blatt Elliehausen - Teilblatt Mitte.- Unveröff. Diplomarbeit, IGDL Universität Göttingen; 82 S., 10 Abb., 5 Tab., 8 Anl.
- GOTTSCHALK, J. (1982): Ingenieurgeologische Kartierung der Stadt Göttingen. Teilblatt Treuenhagen.- Unveröff. Diplomarbeit, IGDL Universität Göttingen; 86 S., 25Abb., 1 Tab., 13 Anl.
- GROSSMANN, A. (1988): Ingenieurgeologische Kartierung der Stadt Göttingen. Teilblatt Grone Mitte.- Unveröff. Diplomarbeit, IGDL Universität Göttingen; 126 S., 26Abb., 4 Tab., 10 Anl.
- GRÜGER, E., JORDAN, H., MEISCHNER, D. & SCHLIE, P. (1994): Mittelpleistozäne Warmzeiten in Göttingen, Bohrungen Ottostraße und Akazienweg.- Geol. Jb., A 134, S. 9 - 69, 29 Abb., 1 Tab.; Hannover.
- HOOSHYAR, F. (1990): Ingenieurgeologische Kartierung der Stadt Göttingen. Teilblatt Nordost-Mitte.- Unveröff. Diplomarbeit, IGDL Universität Göttingen; 74 S., 12Abb., 4 Tab., 11 Anl.
- JOHNSON, N. M. (1995): Characterization of alluvial hydrostratigraphy with indicator semivariograms. - Water Resour. Res. 31 (12), 3217-3227.
- JOURNEL, A.G. (1983): Nonparametric estimation of spatial distributions. - Mathematical Geology, 15 (3), 445-468.
- KRAKOW, L. (1986): Ingenieurgeologische Kartierung der Stadt Göttingen. Teilblatt Grone Nord.- Unveröff. Diplomarbeit, IGDL Universität Göttingen; 145 S., 28 Abb., 12 Anl.
- KUKIS, M. (1991): Ingenieurgeologische Kartierung der Stadt Göttingen, Blatt Elliehausen, Teilblatt Süd.- Unveröff. Diplomarbeit, IGDL Universität Göttingen.
- LORIS, P. (1991): Ingenieurgeologische Kartierung der Stadt Göttingen mit Beschreibung der Lockergesteine, Blatt Göttingen Nord-West, Teilblatt Nord.- Unveröff. Diplomarbeit, IGDL Universität Göttingen; 80 S., 11 Anl.
- MANN, M. (1991): Ingenieurgeologische Kartierung der Stadt Göttingen, Teilblatt Rosdorf (NW-Mitte).- Unveröff. Diplomarbeit, IGDL Universität Göttingen.
- MÖCKEL, S. (1991): Ingenieurgeologische Kartierung der Stadt Göttingen, Blatt Rosdorf (Mitte) 4425/27.- Unveröff. Diplomarbeit, IGDL Universität Göttingen; Blatt Rosdorf (Mitte) 4425/27.
- NESSERL, W. (1981): Ingenieurgeologische Kartierung der Stadt Göttingen, Teilblatt Göttingen Süd.- Unveröff. Diplomarbeit, Geol.- Paläont. Inst., Universität Göttingen, 65 S., 19 Abb., 13 Anl.
- POHL, T. (1995): Ingenieurgeologische Kartierung der Stadt Göttingen.- Unveröff. Diplomarbeit, IGDL Universität Göttingen.
- PTAK, T. (1998): Modelling of mass transport in heterogeneous porous formations using indicator geostatistics". - IAH, International Contributions to Hydrogeology, Volume No. 18, Shallow Groundwater Systems, Balkema, Rotterdam, 129-141.
- SCHULTEN, A. (1992): Ingenieurgeologische Grundlagen für die Stadtentwicklungsplanung mit der Ingenieurgeologischen Kartierung des Teilblattes Holtensen Ost (Südteil).- Unveröff. Diplomarbeit, IGDL Universität Göttingen; Teilblatt Holtensen Ost (Südteil).
- SCHWANITZ, M. (1987): Ingenieurgeologische Kartierung der Stadt Göttingen, Teilblatt Grone Süd.- Unveröff. Diplomarbeit, IGDL Universität Göttingen; 186 S., 33 Abb., 4 Tab., 8 Anl.
- SHOJAEI-KAWAN, H. (1989): Ingenieurgeologische Kartierung der Stadt Göttingen, Teilblatt Groß Ellerhausen Nord und bodenmechanische Beschreibung der Lockergesteine.- Unveröff. Diplomarbeit, IGDL Universität Göttingen.
- STEGING, M. (1983): Ingenieurgeologische Kartierung der Stadt Göttingen, Teilblatt Geismar Nord.- Unveröff. Diplomarbeit, Geol.- Paläont. Inst., Universität Göttingen, 101 S., 14 Anl.
- WAGNER, B., WILCZEWSKI, N. & SAUTER, M. (2005): Strata series and structure of a Quaternary subsosive depression (Groner Senke, Leinetal/ Göttingen).- GeoErlangen 2005, System Earth – Biosphere Coupling, Regional Geology of Central Europe, September 2005, Erlangen, Program and Abstracts, p. 396.
- WAGNER, B., FRITZ, J., NIX, T. & SAUTER, M. (2007): Räumliche ingenieurgeologische Modellierung im Stadtgebiet Göttingen.- Veröffentlichungen von der 16. Tagung für Ingenieurgeologie und vom Forum Junge Ingenieurgeologen, Bochum 07.-10. März 2007, S. 267-276; Bochum.