Ingenieurbüro für Geotechnik Pfeiffer
Heimerdinger Straße 24, 71229 Leonberg
Tel. 07152/9030-00 Fax 07152/9030-01

Bearbeiter: A. Förstner

Leonberg, den 03. März 2016

GEOTECHNISCHER BERICHT

BV „Wohnen am Stadtpark“

71229 Leonberg

Fertigung: EDV-Version (.pdf)

Projekt-Nr.: 130116
Auftraggeber: Stadtverwaltung Leonberg

INHALTSVERZEICHNIS

INHALTSVERZEICHNIS **2**

ANLAGEN **4**

UNTERLAGEN **4**

1 VERANLASSUNG **5**

2 BAUVORHABEN, PROJEKTBESCHREIBUNG **5**

2.1 Erschließungsgelände 5

2.2 Planung für das Vorhaben 6

2.3 Alte und vorhandene Bebauung, Leitungen 6

3 BAUGRUND **6**

3.1 Baugrunduntersuchung 6

3.1.1 Geologische Vorgeschichte 6
3.1.2 Erkundungen des Baugrundes, Darstellung der Ergebnisse 7
3.1.3 Hydrogeologie 7

3.2 Baugrundbeurteilung 8

3.2.1 Baugrundmodell 8
3.2.2 Bodenkennwerte 9
3.2.3 Bodenklassen/Bodengruppen (DIN 18300) 10
3.2.4 Baugrundrisiko 11
3.2.5 Erdbebenzonen und Besonderheiten 11

3.3 Altlasten und schädliche Bodenveränderungen 12

4 GEOTECHNISCHE FOLGERUNGEN **13**

4.1 Projekt und geotechnische Fragestellungen 13

5 GEOPHYSIKALISCHE UNTERSUCHUNGEN **14**

6 GRÜNDUNGSMÖGLICHKEITEN **15**

7 ABDICHTUNG VON GEBÄUDEN **16**

7.1 Allgemeines 16

7.2 Bemessungswasserstände 17

7.3 Gebäude unter dem Bemessungswasserstand 18

7.4 Gebäude über dem Bemessungswasserstand 18

8 BAUGRUBEN 19

8.1 Verbau 20

8.2 Aushub 20

9 STRAßEN- UND WEGEBAU 21

9.1 Planum 21

9.2 Stabilisierung mit Bindemittel 22

9.3 Kanalbau 23

9.4 Wiederverwertbarkeit von Aushubmaterial 23

10 WIEDERVERSICKERUNG VON OBERFLÄCHENWASSER 25

11 ZUSAMMENFASSUNG 26

Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Wasserstände 7
Tab. 2: Mächtigkeit und Schichtgrenzen 9
Tab. 3: bodenmechanische Rechenwerte 10
Tab. 4: Boden- und Felsklassen nach DIN 18 300 (alt) 10
Tab. 5: Zuordnung der Bodenbeschleunigung zu den Erdbebenzonen 11
Tab. 6: Baugrundklassen und Geologische Untergrundklassen 12
Tab. 7: Böschungswinkel 19
Tab. 8: Frostempfindlichkeit 21
Tab. 9: Verdichtbarkeitsklassen 23
Tab. 10: Verdichtungsanforderungen 24
Tab. 11: Schütthöhen 25

ANLAGEN

Anlage 1	Lageplan mit Lage der Aufschlüsse	1.0
	Schnitte Nord-Süd	1.1 – 1.3
	Schnitte West-Ost	1.4 – 1.6
Anlage 2	Profile der Kernbohrungen	2.1 – 2.2
Anlage 3	Profile der Kleinrammbohrungen + Rammsondierungen	3.1 - 3.3
Anlage 4	Prüfbericht Gips / Anhydrit	4
Anlage 5	Geophysikalische Untersuchungen	5
Anlage 6	Wassergehalte	6.1
Anlage 7	Laboranalysen VwV Boden/DepV	7

UNTERLAGEN

- Schreiben LRA Böblingen, Christoph Dengler,11.11.2015
- Luftbild Gebietsabgrenzung, GIS Auskunft der Stadt Leonberg
- Hydrogeologisches Gutachten für das Baugebiet „Stadtmitte, Teil 4“ in Leonberg, Ingenieurbüro für Erd- und Grundbau Prof. Dr. Ing. E. Vees, 29.11.1990

- Topographische Karte 1 : 25.000, TK 25, 7220 Stuttgart SW, TOP25.
- Geologische Karte von Baden-Württemberg 1: 25.000, Blatt 7220 Stuttgart SW, Geologisches Landesamt Baden-Württemberg.

1 VERANLASSUNG

Beauftragung: Mit Schreiben vom 02.02.2016 von der Stadtverwaltung Leonberg entsprechend unseres Honorarvorschlages vom 30.11.2015.

Bauvorhaben: Erschließung des Wohngebietes „Stadtpark“ in Leonberg, Flst.-Nr. 430/1 und 430/11.

Aufgabenstellung: Erkundung der Untergrundverhältnisse, geotechnischer Bericht mit Angaben zu:

- den geologischen und hydrogeologischen Verhältnissen,
- zum Kanal-, Leitungs- und Straßenbau,
- Gründungsmöglichkeiten,
- Baugrubensicherung (ggf. Wasserhaltung),
- der Abdichtung von Gebäuden,
- sowie zur Wiederversickerung von Niederschlagswasser.

Zudem waren chemische Analysen hinsichtlich der Wiederverwendung bzw. der Entsorgung des Aushubmaterials durchzuführen.

2 BAUVORHABEN, PROJEKTBESCHREIBUNG

2.1 Erschließungsgelände

Lage: Es handelt sich um den südöstlichen Teil des Stadtparks der Stadt Leonberg mit einer Fläche von ca. 2,3 ha.

Zustand des Baugeländes: Das Areal ist derzeit als Grünfläche genutzt. Im Norden besteht eine Skaterbahn, im Südosten ein Spielplatz. Die Skaterbahn wird von einem Erdwall eingefasst, der sich im Westen nach Süden entlang der Grundstücksgrenze fortsetzt. Bepflanzt ist die Grünanlage mit Einzelbäumen und Baumgruppen. Die Oberflächenentwässerung erfolgt über Abzugsgräben. Zur Modellierung des Geländes wurde eine 3 bis 5 m mächtige künstliche Auffüllung vorgenommen. Dass dabei auch verunreinigtes Material Verwendung fand, kann nicht mit letzter Sicherheit ausgeschlossen werden.

2.2 Planung für das Vorhaben

Bauwerke: Hinsichtlich der geplanten Bebauung besteht bis dato lediglich die Vorstellung eines Wohngebietes. Genauere Angaben bzw. Planunterlagen existieren noch nicht.

Gründungstiefe: Konkrete Höhenangaben von Gebäuden, Kanälen und sonstigen Leitungen liegen noch keine vor.

2.3 Alte und vorhandene Bebauung, Leitungen

Bestand: Wie bereits ausgeführt, handelt es sich um eine der Naherholung dienende Freifläche. Abgesehen von der Skaterbahn und den Spielplätzen sind uns keine baulichen Anlagen bekannt. Im westlich gelegenen Teil des Stadtparks fand früher Gipsabbau statt.

Leitungen: Erdverlegte Leitungen verlaufen randlich des Untersuchungsbereiches. So ist uns entlang der Westgrenze eine Wasserleitung bekannt.

3 BAUGRUND

3.1 Baugrunduntersuchung

3.1.1 Geologische Vorgeschichte

Im Bereich des Untersuchungsgeländes steht mit quartären Deckschichten (künstliche Auffüllungen, Verwitterungslehm) überdeckter Keuper (Mittlerer Keuper, Gipskeuper, km1) an. Die geologischen Verhältnisse sind in den Anlagen 1 bis 3 dargestellt.

Beim Gipskeuper handelt es sich um rote und graue, verwitterte, mit einem Trennflächennetz durchzogene, schwach mergelige Schluff-Tonsteine (Kalkgehalt ca. 0 - 10 %). Eingelagert in die Tonsteine finden sich massive Gipslagen und -bänke. Anhydrit wurde bis zur Endteufe keiner angetroffen.

Eine teilweise vorhandene Zone aus völlig zersetztem, rotem Tonstein (Verwitterungslehm) bildet den Übergang zur Überdeckung aus künstlich aufgefülltem Boden, der sich zum Großteil ebenfalls aus umgelagertem Keupergestein zusammensetzt.

Generalisierter Schichtenaufbau

Mutterboden
künstliche Auffüllung
Verwitterungslehm
Keupertonstein und Gips

3.1.2 Erkundungen des Baugrundes, Darstellung der Ergebnisse

Aufschlussverfahren: Zur Erkundung der Untergrundverhältnisse wurden zwei Kernbohrungen (KB), acht Kleinrammbohrungen (BS) angelegt sowie acht Rammsondierungen (RS) abgeteuft. Die Ansatzpunkte wurden auf Grundlage der im Vorfeld ausgeführten geophysikalischen Kartierung festgelegt. Die Untersuchungspunkte wurden vom Vermessungsbüro Schwabenthan, Stuttgart, aufgenommen und in einem Lageplan verzeichnet.

In den Anlagen 1, 2 und 3 sind die angetroffenen geologischen Verhältnisse zur Veranschaulichung in Schnitten, Karten und Profilen dargestellt. Es sei an dieser Stelle darauf hingewiesen, dass es sich bei den Darstellungen um Interpolationen handelt und dass diese mit Unsicherheiten hinsichtlich des tatsächlichen Verlaufes der Grenzen behaftet sein können. Sie dienen dem entsprechend zur Vermittlung eines Überblickes.

3.1.3 Hydrogeologie

Schicht- und Grundwasser: Am Untersuchungstag wurde lediglich in der Kleinrammbohrung BS4 Grundwasser in Form von Schichtenwasser angetroffen. Alle anderen Untersuchungspunkte blieben trocken.

Tab. 1: Wasserstände

U-Punkt	Datum	m u GOK	m NN
BS4	20.01.2016	3,5	383,92

Die beobachtete Wasserführung erfolgt im aufgefüllten Material. Da die Zusammensetzung von aufgefülltem Boden zur Seite hin erfahrungsgemäß auf kurze Distanz stark wechselt, können Vernässungen mit einiger Wahrscheinlichkeit auch in anderen Bereichen nicht ausgeschlossen werden.

Im Zuge der hydrogeologischen Erkundung auf dem südlich anschließenden Gelände durch das Baugrundinstitut Vees wurde am Südrand des von uns bearbeiteten Untersuchungsbereiches eine Kernbohrung ausgeführt. In dieser konnte ein Grundwasserstand von 7,80 m unter GOK entsprechend 373,43 m NN gemessen werden. Dieser liegt ca. 7,4 m unter dem Ansatzpunkt der tiefsten von uns ausgeführten Kleinrammbohrung.

Gemäß ATV138[1] ist eine Versickerung bei einer Wasserdurchlässigkeit des Untergrundes bis 1E-6 m/s sinnvoll. Auffüllung und Verwitterungslehm weisen erfahrungsgemäß geringere Durchlässigkeiten auf und neigen zu Staunässebildung. Zudem wird aufgrund des anstehenden Gipses eine Versickerung nicht empfohlen, da dadurch eine Beschleunigung der Verkarstung verursacht werden kann.

Aufgrund der Untergrundsituation mit überwiegend schwach durchlässigen Deckschichten (kf << 10^{-4} m/s) wird für Gebäude, die in den Untergrund einbinden, grundsätzlich eine Abdichtung gegen drückendes Wasser (Gründungstiefen > 3,0 m unter GOK) bzw. aufstauendes Sickerwasser (Gründungstiefen < 3,0 m unter GOK) erforderlich bzw. eine Kombination aus Dränung und Abdichtung (vgl. Abschnitt 5)

3.2 Baugrundbeurteilung

3.2.1 Baugrundmodell

Direkte Baugrundaufschlüsse in Form von Kernbohrungen und Kleinrammbohrungen liegen bis in eine Tiefe von max.11,5 m vor. Der tiefere Schichtenaufbau basiert auf Interpretation der regionalen geologischen Verhältnisse auf Grundlage der Geologischen Karte von Baden-Württemberg.

Schichtenaufbau

bis zu 0,2 m unter GOK: **Mutterboden**

*Bis zu ca. 0,6 bis 6,9 m unter GOK***: künstliche Auffüllungen**, Ton, Schluff, schwach kiesig bis kiesig, schwach steinig, rötlichbraun, grau, dunkelrot, Konsistenz überwiegend steif, auch steif bis weich und weich, umgelagerter Keuperboden mit Gips und Ziegelresten (Bodenart TM/GT* nach DIN 18196, bindiger und gemischtkörniger Boden nach E DIN 1054)

Teils abrupter Übergang zu grauem Tonstein und Gips, teils unter einer ca. 0,5 bis 1,0 m mächtigen Schicht: **Verwitterungslehm**, Schluff-Tonstein, schluffig-tonig zersetzt, rotbraun, steif und halbfest, mit der Tiefe zunehmend Mergelstückchen (mm), nur partiell mächtiger ausgebildet (Bodenart TM nach DIN18196, bindiger Boden nach E DIN 1054)

[1] ATV-DVWK-A 138: Planung, Bau und Betrieb von Anlagen zur Versickerung von Niederschlagswasser.

Ab ca.0,5 bis 6,9 m u. GOK: **Mittlerer Keuper (Gipskeuper, km1),** mergeliger Schluff-Tonstein, angewittert bis entfestigt und zersetzt, rot, grau, mit Gipslagen Konsistenz halbfest und fest, Aggregate fest, teilweise umgelagert und verstürzt, geschichtet, klüftig, (Felsklasse 3/4 n. E DIN 1054);

Als Anlage 1 sind Schnitte mit Darstellung des Baugrundmodelles angefügt. Die Profile der Aufschlüsse sind als Anlagen 2 und 3 beigelegt, die der Kleinrammbohrungen als Anlage 3.

Nachfolgend sind die in den Aufschlüssen festgestellte Schichtmächtigkeit und die Höhenlagen der Schichtgrenzen ab GOK bis auf Erkundungstiefe tabellarisch aufgelistet:

Tab. 2: Mächtigkeit und Schichtgrenzen

Mächtigkeit und Schichtgrenzen											
	Ansatz	Mutterboden		Auffüllung		Verwitterungsl.		km1		Endteufe	
	m NN	m	m NN	m	m NN	m	m NN	m	m NN	m	m NN
BS1	386,55	0,1	386,5	5,0	381,5	0,7	380,8	>1,9	<380,8	7,6	378,95
BS2	389,30	0,1	389,2	5,4	383,8	-	-	>0,5	<383,8	6,0	383,30
BS3	385,49	0,1	385,4	3,1	382,3	-	-	>1,8	<382,3	5,0	380,49
BS4	387,42	0,1	387,3	5,4	381,9	-	-	>1,5	<381,9	7,0	380,42
BS5	380,81	0,1	380,7	0,5	380,2	-	-	>4,2	<380,2	4,8	376,00
BS6	389,49	0,1	389,4	4,3	385.1	0,5	384,6	>1,1	<384,6	6,0	383,49
BS7	387,68	0,1	387,6	-	-	-	-	>2,4	<387,6	2,5	385,18
BS8	383,67	0,1	383,6	2,9	380,7	-	-	>0,2	<380,7	3,2	380,47
KB1	389,42	-	-	1,0	388,4	0,9	387,5	>9,6	<387,5	11,5	377,92
KB2	382,22	-	-	2,7	379,5	-	-	>7,3	<379,5	10,0	372,20
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

> - Mächtigkeit größer als; <m NN = anstehend ab (Schichtobergrenze); ne = nicht erschlossen; VL = Verwitterungslehm

3.2.2 Bodenkennwerte

Rechenwerte: In der nachfolgenden Tabelle sind die bodenmechanischen Kennwerte der anstehenden Schichten und ihre Schwankungsbereiche angegeben. Diese Schwankungsbereiche ergeben sich aus den unterschiedlichen Kennwerten zusammengefasster Schichten und der variierenden Zusammensetzung der Böden. Die charakteristischen Werte (Index „k“), die für die erdstatischen Berechnungen herangezogen werden können, sind in Klammer angegeben. Für gelöste und wieder eingebaute Böden

darf ohne weiteren Nachweis durch Laborversuche keine Kohäsion angesetzt werden (c_k für Schüttung = 0 kN/m²).

Tab. 3: bodenmechanische Rechenwerte

Schichtbeschreibung.	Kurzzeichen nach DIN 18196	Wichte über Wasser	Wichte unter Wasser	Reibungs-Winkel	Kohäsion*)	Steife-Modul
		(γ_k)	(γ'_k)	(φ_k)	(c_k)	(E_{sk})
		[kN/m³]	[kN/m³]	[Grad]	[kN/m²]	[MN/m²]
Auffüllungen (steif)	**TM, GU***	**(19)**	**(9)**	**22,5 – 27,5 (25)**	**0 - 10 (0)**	**6 – 10**
Verwitterungslehm, steif	**TM**	**(19,5)**	**(9,5)**	**22,5 – 27,5 (25)**	**0 - 20 (15)**	**10 – 15**
Tonstein (km), verwittert, halbfest/fest	**(Fels, z)**	**(21)**	**(11)**	**(28)**	**0 – 50 (25)**	**20 – 40**
Die Zuordnung der Bodenkennwerte zu den einzelnen Schichten kann anhand der Profile in Anlage 2 erfolgen.						
*) ohne Grundwassereinfluss, ansonsten 0						

3.2.3 Bodenklassen/Bodengruppen (DIN 18300)

Tab. 4: Boden- und Felsklassen nach DIN 18 300 (alt)

	n. DIN 18 300
Mutterboden	Klasse 1
Auffüllung	Klasse 4/5
Verwitterungslehm	Klasse 4
Tonstein, zersetzt	Klasse 5
Tonstein, entfestigt	Klasse 6

Boden- und Felsklassen nach DIN 18 300	
Klasse 1:	**Oberboden bzw. Mutterboden** - d.h. oberste Schicht des Bodens, die neben anorganischen Stoffen, z.B. Kies-, Sand-, Schluff- und Tongemischen), auch Humus und Bodenlebewesen enthält
Klasse 2:	**Fließende Bodenarten -** d.h. Bodenarten von flüssiger bis breiiger Beschaffenheit und die das Wasser schwer abgeben
Klasse 3:	**Leicht lösbare Bodenarten** - d.h. nichtbindige bis schwach bindige Sande, Kiese und Sand-Kies-Gemische mit bis zu 15 % Beimengungen an Schluff und Ton (Korngrößen < 0,063 mm) und mit höchstens 30 % Steinen von über 63 mm Korngröße bis zu 0,01 m³ Rauminhalt (Durchmesser ca. 0,3 m).
Klasse 4:	**Mittelschwer lösbare Bodenarten** - d.h. Gemische von Sand, Kies, Schluff und Ton mit mehr als 15 % der Korngrößen < 0,063 mm, sowie bindige Bodenarten von leichter bis mittlerer Plastizität (TL, TM nach DIN 18 196), je nach Wassergehalt weich bis halbfest und max. 30 % Steine größer 63 mm Korngröße bis zu 0,01 m³ Rauminhalt.

Klasse 5:	**Schwer lösbare Bodenarten** - d.h. Bodenarten nach Klasse 3 und 4, jedoch mehr als 30 % Steinen von über 63 mm Korngröße bis 0,01 m³ Rauminhalt und höchstens 30 % Steine von über 0,01m³ bis 0,1 m³ Rauminhalt (Durchmesser ca. 0,6 m) sowie ausgeprägt plastische Tone (TA nach DIN 18 196), je nach Wassergehalt weich bis halbfest.
Klasse 6:	**Leicht lösbarer Fels und vergleichbare Bodenarten** – Felsarten mit einem inneren, mineralisch gebundenen Zusammenhalt, die jedoch stark klüftig, brüchig, bröckelig. schieferig, weich oder verwittert sind, sowie vergleichbare feste oder verfestigte bindige oder nichtbindige Bodenarten oder solche mit mehr als 30 % Steinen von über 0,01-0,1 m³ Rauminhalt.
Klasse 7:	**Schwer lösbarer Fels** - wenig klüftige bzw. unverwitterte Felsarten und verfestigte Materialien (z.B. Schlackenhalden der Hüttenwerke) sowie Steine von über 0,1 m³ Rauminhalt.

3.2.4 Baugrundrisiko

Im gesamten Untersuchungsbereich folgt zunächst künstlich aufgefüllter Boden. Dieser ist für Gründungszwecke ungeeignet und muss durchgründet werden. Erfolgt eine Leitungsverlegung bzw. Straßenbau in diesem Material, werden zusätzliche Maßnahmen erforderlich.

Bei den unter der Auffüllung anstehenden Schichten mittlerer Tragfähigkeit ist die Setzungsproblematik hinsichtlich des Baugrundrisikos maßgebend. Angaben zur Bebauung liegen noch keine vor.

3.2.5 Erdbebenzonen und Besonderheiten

Die Einstufung nach Erdbebenzonen erfolgt nach DIN 4149:2005-04 und der “Karte der Erdbebenzonen und geologisch Untergrundklassen für Baden-Württemberg“. Danach liegt Leonberg in der: **Erdbebenzone 1.**

Tab. 5: Zuordnung der Bodenbeschleunigung zu den Erdbebenzonen

Erdbebenzone	Intensitätsintervall	Bemessungswert der Bodenbeschleunigung ag [m/s²]
0	6 ≤ I < 6,5	-
1	**6,5 ≤ I < 7**	**0,4**
2	7 ≤ I < 7,5	0,6
3	7,5 ≤ I	0,8

Zuordnung fett gedruckt

Tab. 6: Baugrundklassen und Geologische Untergrundklassen

Baugrundklassen	Geologische Untergrundklassen
A	**R**
B	T
C	S

Zuordnung fett gedruckt

3.3 Altlasten und schädliche Bodenveränderungen

Im äußersten Süden des untersuchten Geländes, angrenzend an die bestehende Bebauung der Lobensteiner Straße befindet sich eine bereits erkundete Altablagerung. Dort wurden Auffüllungen vermutlich aus den 1950er Jahren mit Bauschutt und Müllbeimengungen in einer vermuteten Karstsenke erkannt. Diese wurde im Jahr 1991 mit „A“ (Ausscheiden aus dem Altlastenkataster) bewertet. Dennoch verbleibt eine Relevanz hinsichtlich der Entsorgung dieser Auffüllmassen.

Auch die geophysikalischen Untersuchungen ergaben für diesen südlichen Bereich Hinweise auf eine mögliche Verkarstung (s. Anl. 5). Daher wurde die Rammkernbohrung KB2 dort platziert. Zur abfalltechnischen Erkundung wurde die Schürfgrube 1 (SG1) ebenfalls im äußersten Süden angelegt und eine Probe zur analytischen Untersuchung auf eventuelle Schadstoffe (s. Anl. 7) entnommen.

In den Schürfen und Bohrungen ergaben sich keine Hinweise auf Altlasten oder schädliche Bodenveränderungen. Lediglich geringfügige Ziegelsteine und –reste ergaben Hinweise auf anthropogene Auffüllungen. Aufgrund des darin angetroffenen Gipses gehen wir davon aus, dass es sich bei der künstlichen Auffüllung um ortsnahen, umgelagerten Aushub aus den Grundgipsschichten, die auch den Untergrund im Untersuchungsbereich bilden, handelt. Auf die mögliche Verwertung bzw. Entsorgung dieser Auffüllungen wird in Punkt 8.2 eingegangen. Zudem ist aufgrund der Erkundungen (KB2) eher von einem kleinräumigen ehemaligen Gipsbruch, als von einer Karstsenke auszugehen.

Die Altablagerung kann damit lediglich noch sehr randlich im Untersuchungsgebiet zu liegen kommen und ist als kleinräumig einzustufen. Eventuell anfallende verunreinigte Auffüllungen sind bei Aushubmaßnahmen zu separieren und abfalltechnisch einzustufen. Nach den vorliegenden Untersuchungen spielen diese mengenmäßige jedoch eine untergeordnete Rolle.

4 GEOTECHNISCHE FOLGERUNGEN

4.1 Projekt und geotechnische Fragestellungen

Zunächst erhob sich die Frage, ob im Untersuchungsbereich aufgrund der anstehenden Grundgipsschichten mit Verkarstungserscheinungen zu rechnen ist. Deshalb wurden in einem ersten Schritt geophysikalische Messungen vorgenommen.

Auf der Grundlage der Messergebnisse erfolgte als zweiter Schritt die Festlegung der Bohransatzpunkte.

Daraufhin wurden im Januar 2016 zwei Kernbohrungen, 8 Kleinrammbohrungen sowie 8 Rammsondierungen mir der schweren Rammsonde gemäß DIN EN ISO 22476-2 ausgeführt.

Da auf dem Gelände künstliche Auffüllungen bestehen, galt als Ziel für die Bohrungen die Feststellung der Höhenlage der Grenze zum anstehenden Gipskeuper und dessen Zustand.

Planunterlagen zur Erschließung liegen noch keine vor. Im Folgenden werden Empfehlungen erarbeitet, die im Zuge der weiteren Planung Berücksichtigung finden sollten.
Für Kanalsohlen, die in den Tonsteinen des Gipskeupers und in den Verwitterungslehmen zu liegen kommen, werden für das Rohrauflager, sofern keine Beeinflussung durch Niederschläge erfolgt, keine zusätzlichen Aufwendungen erforderlich. Allenfalls eine starke Durchfeuchtung durch Schicht- und Oberflächenwasser kann einen Bodenaustausch aufgeweichten Materials erforderlich werden lassen.

Bei der momentanen Morphologie schneiden Kanalgräben überwiegend in steife und weiche, bindige Auffüllungen und halbfeste bis feste Schluff-Tonsteine ein. Die Grabenwände können innerhalb der Auffüllungen unter einem Winkel von maximal 45 Grad, darunter unter max. 60 geböscht werden. Andernfalls sind die Kanalgräben durch einen Verbau bzw. Verbaugeräte abschnittsweise zu sichern. Längeres Offenstehen von Gräben ist zu vermeiden.

Abhängig von den Witterungsverhältnissen können zeitweilig geringe Schicht- und Stauwasserzutritte zu den Kanalgräben bzw. zu den Baugruben auftreten. Da die Standfestigkeit der Böschungen durch den Einfluss von Oberflächen- und Schichtwasser drastisch abnehmen kann, dürfen die Gräben ungesichert nicht betreten werden.

Da die Untergrundverhältnisse im Bereich der Einzelbaumaßnahmen stark von den geplanten Höhenverhältnissen abhängen, werden projektbezogene Untersuchungen notwendig. Dieser Bericht ersetzt kein Baugrundgutachten für Einzelbaumaßnahmen.

Die kleinstückig bis stückig zersetzten, mergeligen Schluff-Tonsteine des Keupers fallen voraussichtlich mit einem für eine hinreichende Verdichtung geeigneten Wassergehalt an. Der anstehende Gips ist hart und fällt steinig bis blockig an.

Eine Bodenverbesserung mit Bindemittel scheidet aufgrund des Gipsanteils von Auffüllung und anstehendem Keuper aus.

Die Höhenlage des Belages der Erschließungsstraßen ist noch nicht bekannt. Die Tragfähigkeit der das Planum bildenden Schichten liegt hinsichtlich des Verkehrswegebaues im Ausstrich des Gipskeupers geringfügig, im Bereich der Deckschichten deutlich unter der für ein frostempfindliches Planum nach ZTVE-StB geforderten.

Je nach der Höhenlage des Planums ist die Mächtigkeit des Regelaufbaues nach RSTO entsprechend zu verstärken. In aufgefüllten Bereichen wird ein Bodenaustausch erforderlich.

Nach den durchgeführten Untersuchungen und auf der Grundlage der ATV-A 138 - Kriterien beurteilt, sind die Verhältnisse am vorgesehenen Standort hinsichtlich der Durchlässigkeit der Böden und einer möglichen Beeinflussung von Nachbargrundstücken sowie aufgrund der Verkarstung für eine Flächen- und Muldenversickerung sowie für eine Rigolen- und Rohrversickerung als nicht geeignet einzustufen.

5 GEOPHYSIKALISCHE UNTERSUCHUNGEN

Die Ergebnisse der geophysikalischen Untersuchungen sind diesem Bericht als Anlage 5 beigefügt. Folgende Untersuchungen wurden durchgeführt:

- Elektromagnetische Widerstandskartierung
- 2D-Widerstandstomografie

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass die Schicht 1 (entsprechend der künstlichen Auffüllung) ausgeprägte Schwankungen der Mächtigkeit aufweist, wie in den Bohrprofilen erkennbar. Die Grenze gestörter/ungestörter Gipskeuper ist schwer zu fassen.

Weiter wurden folgende Zonen mit Kategorisierung hinsichtlich des Verdachtes auf Karsterscheinungen ausgewiesen:

- Kategorie 1 – hoher Verdacht
- Kategorie 2 – mittlerer Verdacht
- Kategorie 3 – geringer Verdacht.

Der bereits bestehende Verdacht hinsichtlich einer fortgeschrittenen Verkarstung im Süden des Untersuchungsbereiches konnte bestätigt werden. Auch wenn die Bohrung KB2 keine Hinweise auf Hohlräume erbrachte, wurden bei früheren Untersuchungen in der näheren Umgebung (B1, 1990, Vees) solche angetroffen. Es wird empfohlen, diesen Bereich im Bebauungsplan wiederum für die derzeitige Nutzung auszuweisen und von einer Bebauung mit Gebäuden auszunehmen. Nicht auszuschließen ist auch, dass es sich bei der erkannten Struktur um einen kleineren, aufgefüllten ehemaligen Gipsbruch handelt

In Bereichen der Kategorien 2 und 3, die wesentlich geringere Ausdehnungen aufweisen, konnten ebenfalls keine Hohlräume erkundet werden, jedoch bestehen ausgeprägte Schwankungen des Verwitterungsgrades, worauf die unterschiedlichen Leitfähigkeiten mit hoher Wahrscheinlichkeit zurückgeführt werden können.

6 GRÜNDUNGSMÖGLICHKEITEN

Hinsichtlich der Gründungssohlen liegen gegenwärtig noch keine Planunterlagen vor. Entsprechend sind nur allgemeine Angaben möglich.

Die im gesamten Untersuchungsbereich angetroffene künstliche Auffüllung ist zur Lastabtragung ungeeignet, muss abgetragen oder durchgründet werden. Es handelt sich dabei vielfach um umgelagerten, ortsnahen Aushub, der teils vom anstehenden kaum zu unterscheiden sein wird.
Die im Untersuchungsbereich unter der künstlichen Auffüllung anstehenden Schluff-Tonsteine des Keupers (km1, Grundgipsschichten) sind mittel bis gut tragfähig und eignen sich deshalb auch für die Abtragung von Gebäudelasten. Der stark schwankende Verwitterungsgrad macht allerdings bauwerksbezogene Untersuchungen unumgänglich.

Die durchgeführten mineralogischen Untersuchungen an den Bohrproben ergaben bis zur Endteufe der Bohrungen keine Hinweise auf Anhydrit. Das untersuchte Material ist mithin nicht quellfähig. Fundamente sind einem starken Sulfatangriff ausgesetzt.

Die Bemessungswerte des Sohlwiderstandes (design-Werte) für Streifen- und Einzelfundamente bewegen sich für die verwitterten Schluff-Tonsteine ohne Berücksichtigung der Aushubentlastung und je nach Einbindetiefe der Fundamente in einem Rahmen zwischen $\sigma_{R,d}$ = 420 - 630 kN/m^2. Als Randbedingungen gelten hierbei Fundamentbreiten bis 2,0 m, Einbindetiefen von ca. 1,0 m (frostsicher) und gleichartigen Boden unter den Fundamenten bis in eine Tiefe, die der 2-fachen Fundamentbreite entspricht. Stehen diese Schichten aufgrund der Hangsituation nur in Teilen der Baugrube an, so sind alle Fundamente im Sinne einer einheitlichen Lastabtragung bis auf die Schluff-Tonsteine zu übertiefen.

Der im Süden gelegene Bereich der Kategorie 1 ist entweder von der Bebauung durch Hochbauten auszunehmen oder durch ein entsprechend der vorgesehenen Bauvorhaben zu wählendes enges Bohrraster bis auf die Schichten des Unterkeupers zu erkunden.

Die Setzungen können in Anlehnung an die Regelgründungen gemäß DIN 1054 ca. 2-4 cm betragen. Bei gleichmäßiger Lastverteilung ist von gleichmäßigem Setzungsverhalten auszugehen. Bauwerksbezogene Setzungsberechnungen, auf die insbesondere bei hohen Einzellasten und ungleicher Lastverteilung nicht verzichtet werden kann, können aber erst nach projektspezifischen Untersuchungen und nach Angabe von Lasten ausgeführt werden.

Grundsätzlich ist die Gründung von Gebäuden in den gleichen geologischen Schichten bzw. in Schichten mit vergleichbarem Setzungsverhalten anzustreben, um unterschiedliche Setzungen weitestgehend zu vermeiden.

Anfallendes Oberflächenwasser ist aus Fundamentgruben unverzüglich abzupumpen.

Die vorstehenden Angaben können zur Vordimensionierung von Gründungen dienen und als Grundlage einer Kalkulation für die erforderlichen Aufwendungen herangezogen werden. Sie ersetzen keinesfalls bauwerksbezogene Baugrunderkundungen.

Bodenplatten: Unter gering belasteten Bodenplatten (Punktlasten << 10 kN) für Keller von Wohngebäuden, die auf dem anstehenden Gipskeuper auflagern, sind keine besonderen, das übliche Maß übersteigenden Aufwendungen erforderlich. Der Einbau einer 15 – 20 cm starken kapillarbrechenden Filterschicht (z.B. Lieferkörnung 5/32) ist hier ausreichend. Bodenplatten auf aufgefülltem Material sind freitragend auszubilden.

Bei durch Punktlasten, z.B: in Tiefgaragen, beanspruchten Bodenplatten wird in der Regel der Einbau entsprechend der Belastung dimensionierter Tragschichten erforderlich. In der Regel wird auf den anstehenden Gipskeuperschichten ein Bodenaustausch gegen tragfähigen Schotter 0/45 von mind. ca. 30 cm Stärke erforderlich.

7 ABDICHTUNG VON GEBÄUDEN

7.1 Allgemeines

Eine Dränung dient der Entwässerung des Bodens durch Dränschichten und Dränleitungen, um das Auftreten von drückendem Grundwasser auf erdberührte Bauteile zu unterbinden. Hierbei ist die DIN 4095 anzuwenden. Eine Dränung ersetzt keine Abdichtung, sondern ist vielmehr in Verbindung mit der DIN 18 195 planerisch umzusetzen.

Bauwerksabdichtungen nach DIN 18 195:

Teil 4: Abdichtung gegen Bodenfeuchte (Kapillar- und Haftwasser) und nichtstauendes Sickerwasser an Bodenplatten und Wänden.

Anwendung bei nicht bindigen Böden und bei nicht bindiger Verfüllung der Arbeitsräume (Durchlässigkeitsbeiwert k des Untergrundes mindestens 10^{-4} m/s). Es ist keine Dränage nach DIN 4095 notwendig.

Anwendung bei bindigen Böden und bindiger Arbeitsraumverfüllung (Durchlässigkeitsbeiwert k des Untergrundes kleiner 10^{-4} m/s) in Verbindung mit einer Dränage nach DIN 4095. Falls aufgrund der Abwasserbeseitigungsvorschriften nicht dräniert werden darf, muss eine Abdichtung nach Teil 6, Abschnitt 9, erfolgen.

Teil 5: Abdichtung gegen nicht drückendes Wasser auf Deckenflächen und in Nassräumen.

Teil 6: Abdichtung gegen von außen drückendes Wasser und aufstauendes Sickerwasser (d.h. Wasser, das von außen einen hydrostatischen Druck ausübt).

Anwendung bei Bauwerken, die ganz oder teilweise ins Grundwasser eintauchen (Abschnitt 7.2.1). Abdichtung von Kelleraußenwänden und Bodenplatten nach Abschnitt 8 gegen drückendes Wasser (Grundwasser, Schichtenwasser, stauendes Sickerwasser) unabhängig von Gründungstiefe, Eintauchtiefe und Bodenart.

Anwendung bei Bauwerken, die oberhalb des Bemessungswasserstandes errichtet werden (Abschnitt 7.2.2). Abdichtung von Kelleraußenwänden und Bodenplatten nach Abschnitt 9 gegen aufstauendes Sickerwasser bei Gründungstiefen bis 3,0 m unter GOK in wenig durchlässigen Böden ($k < 10^{-4}$ m/s) ohne Dränung nach DIN 4095, wenn Bodenart und Geländeform nur Stauwasser erwarten lassen. Die Unterkante der Kellersohle muss mindestens 0,30 m über dem nach Möglichkeit langjährig ermittelten Bemessungswasserstand liegen.

7.2 Bemessungswasserstände

Im Zuge unserer Untersuchungen wurde lediglich in der Kleinrammbohrung BS4 Grundwasser angetroffen. Dabei handelt es sich aus unserer Sicht mit einiger Wahrscheinlichkeit um einen schwebenden, lokal eng umgrenzten Stauhorizont.

In den für diesen Bericht ausgeführten Kernbohrungen, die Tiefen von 11,5 m (KB1, 377,92 m NN) und 10,0 m (KB2, 372,22 m NN) erreichten, wurde kein Grundwasser angetroffen.

Nach den Angaben im hydrogeologischen Bericht des Büro Vees wurde in der am Südrand des Untersuchungsbereiches abgeteuften Bohrung B1 (1990) ein Wasserstand von 370,22 m NN gemessen. In der Bohrung 67 (1981), die am Nordrand des Untersuchungsbereiches liegt, wurde ein höchster Wasserstand von 367,60 m NN bestimmt. Diese Wasserstände liegen >10-13 m unter dem Ansatzpunkt der am tiefsten angesetzten Kleinrammbohrung BS5 (380,81 m NN).

Obwohl das Gelände generell in Richtung Norden ansteigt, fallen die gemessenen Wasserstände in diese Richtung ab. Bei eingeschossiger Einbindung von Wohngebäuden bzw. Tiefgaragen ins Gelände und vorherigem Geländeabtrag zur Beseitigung der Hügellandschaft erfolgt somit beim derzeitigen Kenntnisstand kein Eingriff in Grundwasser führende Schichten.

Die endgültige Festlegung muss im Rahmen bauwerksbezogener Erkundungen erfolgen. Inwiefern Bemessungswasserstände überhaupt zum Tragen kommen, hängt wesentlich von der Gestaltung der Anbindung des Gebietes an die Berliner Straße ab. Erfolgt eine Anpassung der Geländehöhe an die Berliner Straße, so sind zunächst Abtragungen vorzunehmen, die den Abstand zum Grundwasser entsprechend verringern würden. Angaben hierzu liegen jedoch noch nicht vor.

7.3 Gebäude unter dem Bemessungswasserstand

Für Gebäude, die tiefer als der Bemessungswasserstand ins Gelände einschneiden, wird eine Abdichtung gegen von außen drückendes Grundwasser gemäß DIN 18195T6, Abschnitt 8, erforderlich. Auf der Grundlage der bisher vorfliegenden Grundwasserstände und der sonst üblichen Vorgehensweise läge der Bemessungswasserstand auf ca. 372 m NN.

7.4 Gebäude über dem Bemessungswasserstand

Die anstehenden Schichten weisen generell geringe, jedenfalls unter $1x10^{-4}$ m/s betragende Wasserdurchlässigkeiten auf. Entsprechend ist mit Staunässe durch in die Arbeitsräume eindringendes Schicht- und Oberflächenwasser zu rechnen.

Damit wird prinzipiell bei Gründungstiefen >3,0 m eine Abdichtung gegen drückendes Wasser (DIN 18195T6 Abschnitt 8), bei Gründungstiefen ≤ 3,0 m eine Abdichtung gegen aufstauendes Sickerwasser (DIN 18195T6 Abschnitt 9) erforderlich.

Für Gebäude, die in den Untergrund einschneiden und einen geeigneten Vorfluter aufweisen, sind Abdichtungsmaßnahmen gegen Bodenfeuchte gem. DIN 18 195 Teil 4 **in Verbindung** mit Dränagemaßnahmen gem. DIN 4095 vorzunehmen.

Um die Funktionsfähigkeit der Dränage dauerhaft zu gewährleisten, sind die folgenden Punkte zu beachten:

- An Knickpunkten der Dränageleitungen sind Spülschächte (DM 300) vorzusehen.
- Für den Übergabeschacht am Tiefpunkt wird mind. DN 1000 empfohlen.
- Ein rückstausicherer Abfluss zur Vorflut ist einzurichten (freies Gefälle, Hebeanlage). Der Einbau von Rückstauklappen wird empfohlen.
- Die Rohrsohle ist am Hochpunkt mind. 20 cm unter Oberkante Rohfußboden anzuordnen. Der Rohrscheitel darf nicht höher als der Rohfußboden liegen.
- Die Dränagerohre sind filterstabil zu umhüllen (Mischfilter aus Kiessand 0/8 oder 0/32 oder Stufenfilter 8/16 mit Filtervlies). Die Schlitzweiten der Dränagerohre sind entsprechend auszulegen.
- Sämtliche Bauteile unter dem tiefsten Dränageniveau (z.B. Aufzugsunterfahrten, Hebeanlagen o.ä.) sind gegen drückendes Wasser abzudichten.

Vor erdberührten Wänden ist für eine druckfreie vertikale Ableitung anfallenden Wassers in die Dränage zu sorgen. Dies kann durch Dränsteine, Dränplatten, Verbundstoffe sowie eine Verfüllung der Arbeitsräume mit durchlässigem Kiessand oder Schotter erfolgen. Jedenfalls ist der obere Meter der Arbeitsräume zur Minimierung des Eindringens von Oberflächenwasser mit einem gering wasserdurchlässigen und gut verdichteten Lehmschlag oder anderen geeigneten Materialien zu verfüllen bzw. abzudichten.

Bei letztgenannter Ausführung mit Drainage können Tiefgaragen auch mit Pflaster hergestellt werden. Dabei sind zur weitreichenden Erfassung von Sickerwasser auch in der Schottertragschicht Sauger zu verlegen.

Vor der Verfüllung der Arbeitsräume muss die Isolierung durch eine Schutzschicht gemäß DIN 18195 T10 gegen Beschädigung gesichert werden.

Zusammenfassend ist festzuhalten: Für den Fall, dass Dränagen nicht in den Vorfluter abgeleitet werden können, wird eine Abdichtung gegen drückendes Wasser gem. DIN 18 195 Teil 6, Abschnitt 8 (bzw. die Ausführung z. B. einer "weißen Wanne") erforderlich. Es wird allerdings aufgrund der Untergrundverhältnisse empfohlen, eine Ableitung von Oberflächen- und Dränagewasser zu planen

Natürlich ist auch die Ausführung einer „Weißen Wanne“ aus wasserundurchlässigem Beton mit entsprechender Rissbreitenbegrenzung möglich. Hierbei ist jedoch zu beachten, dass die Weiße Wanne nicht wirklich dicht ist, sondern durch die Begrenzung der Rissbreite nur weniger Wasser von außen durch die Wand hindurch diffundiert als im Gebäude verdunstet, so dass bei höherwertiger Nutzung z.B. als Wohnraum eine hinreichende Luftzirkulation gewährleistet sein muss, um möglicherweise Schimmelbildung zu vermeiden.

8 BAUGRUBEN

Bei entsprechenden Platzverhältnissen kann unter den nachfolgend aufgeführten Böschungswinkeln frei abgeböscht werden.

Tab. 7: Böschungswinkel

Auffüllungen	≤ 45°
Tonstein zersetzt, halbfest, über Grundwasser	≤ 60°
Tonstein angewittert, fest, über Grundwasser	≤ 70°
Voraussetzung: Es sind keine Wasseraustritte aus der Böschung zu beobachten Bei Wasserführung über der Baugrubensohle werden geringere Böschungswinkel bzw. Verbaumaßnahmen erforderlich	

Folgende **Einschränkungen** sind zu beachten:

Übersteigen die Böschungshöhen 5,0 m, steigt das Gelände neben der Böschungskante steiler als 1 : 10 an oder bestehen Lasten (Aufschüttungen, Stapel-, Verkehrs- sowie Kranlasten) unmittelbar neben der Böschungskrone, ist die Standsicherheit der Böschung rechnerisch nachzuweisen oder durch Verbaumaßnahmen sicherzustellen. Gleiches gilt, wenn die oben aufgeführten Böschungswinkel aufgrund unzureichender Platzverhältnisse nicht eingehalten werden können.

Generell ist am oberen Böschungsrand ein mindestens 0,8 m breiter, lastfreier Schutzstreifen vorzusehen. Im Einzelfall ist zu prüfen, ob die Böschungen durch Plastikfolie oder andere geeignete Materialien vor Witterungseinflüssen, insbesondere vor zutretendem Oberflächenwasser oder Austrocknung, geschützt werden müssen. Ggf. ist die Folie dabei sturmsicher und so anzubringen, dass kein Oberflächenwasser darunterfließen kann (Beton-, Bitumenriegel oder Eingraben der Folie am oberen Böschungsrand).
Die Aushubsohlen werden auf witterungsempfindlichem Schluff-Tonstein und ev. teils noch auf aufgefülltem Boden zu liegen kommen. Diese Materialien nehmen bei Durchnässung rasch weiche und breiige Konsistenz an und verlieren ihre Tragfähigkeit. Es wird empfohlen, Stabilisierungsmaßnahmen (z.B. Befestigung der Fahrstraßen durch Grobschotter (mind. 30 cm) evtl. über Geotextil, Baggermatratzen o.ä.) vorzusehen, um die Befahrbarkeit sicher zu stellen und die Tragfähigkeit des Materials nicht zu zerstören. Eine Befahrung nach Niederschlägen darf jedenfalls nicht erfolgen.

Anfallendes Grund- und Niederschlagswasser ist über Abzugsgräben so rasch als möglich abzuleiten, um eine Aufweichung der Baugrubensohle zu verhindern.

8.1 Verbau

Werden konstruktive Sicherungen von Baugrubenwänden erforderlich, so kommt die Ausführung von rückverhängten Bohlträgerwänden in Betracht. Die Einbindung der Träger muss bis in den Schluff-Tonstein (km1) erfolgen. Zur Festlegung von Spitzendruck und Mantelreibung sind Bauwerksbezogene Untersuchungen durchzuführen.

Ebenso müssen Temporäranker zur Aussteifung in den „ungestörten“ Fels einbinden. Auch hierfür sind ggf. projektbezogene Untersuchungen unumgänglich.

8.2 Aushub

Entsorgung (VwV Boden, DepV): Im Untersuchungsbereich wurden teils mächtige künstliche Auffüllungen angetroffen. Nach sensorischer Ansprache ist mit gipshaltigem Bodenmaterial zu rechnen. Die bestätigen auch die durchgeführten chemischen Bodenanalysen (Anl. 7). Dabei werden neben geringfügig erhöhten Gehalten an polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (max. 7,5 mg/kg) vor allem deutlich erhöhte Sulfat-Gehalte nachgewiesen. Diese sind mit ca. 1.500 mg/l auf die im Boden enthalte-

nen Gipsanteile zurückzuführen. Die Zuordnung nach „VwV Boden“ ist demgemäß >>Z2. Allerdings besteht entsprechend der „Öffnungsklausel“ der VwV Boden die Möglichkeit der Verwertung auf vergleichbaren geologischen Verhältnissen. Eine ortsnahe Verwertung innerhalb der Grundgipsschichten ist also möglich.

Besteht die Möglichkeit der Verwertung nicht und müsste das Material auf einer Deponie entsorgt werden, wäre eine Zuordnung zur Deponieklasse I durchzuführen. Die nächstgelegene hierfür zugelassene Deponie ist die Deponie „Froschgraben“ in Schwieberdingen mit einem aktuellen Annahmepreis von 22,00 €/t (netto).

In geringem Umfang können auch Aushubmassen aus der im südlichen Randbereich befindlichen Altablagerung anfallen; diese sind zu separieren und entsprechend Ihrer chemischen Einstufung zu entsorgen.

Aushubklassen: Das beim Aushub anfallende anstehende Tonsteinmaterial ist je nach Verwitterungsgrad in die Bodenklassen 5 und 6 nach DIN 18300 (alt) einzuordnen. Die Auffüllungen sind den Bodenklasse 3-5 zuzuordnen. Im Bereich von Leitungsgräben können aufgrund der beengten Verhältnisse auch Böden der Klasse 6 (leicht lösbarer Fels) nur unter erhöhtem Aufwand gelöst werden. Dabei folgt aus der Verwendung von Meißeln keine Einstufung in Klasse 7.

9 STRAßEN- UND WEGEBAU

Die einzelnen Bodengruppen werden gemäß ZTVE-StB entsprechend ihrer Frostempfindlichkeit den folgenden Klassen zugeordnet:

Tab. 8: Frostempfindlichkeit

Frostklasse	Frostempfindlichkeit	Bodengruppe (DIN 18 196)
F 1	nicht frostempfindlich	GW/ GI/ GE/ SW/ SI/ SE
F 2	gering- bis mittelfrostempfindlich	GU/ GT/ SU/ ST/ TA/ OT OH/ OK
F 3	sehr frostempfindlich	**GU*/ GT***/ SU*/ ST*/ UL UM/ UA/ **TL/ TM**/ OU

9.1 Planum

Beim Straßenbau wird das Planum je nach Abtrag teils auf den verwitterten Ton- und Gipsgesteinen, teils im Verwitterungslehm und teils auf aufgefülltem Boden zu liegen kommen. Diese leicht bis mittelplastischen Böden sind der Frostklasse F3 zuzuordnen und gelten als „stark frostempfindlich“.

Die RStO-StB 12 legen der Dimensionierung des Oberbaues auf F2 und F3 Untergrund eine Tragfähigkeit des Planums von $E_{v2} \geq 45$ MN/m² zugrunde. Da dies im Untersuchungsgebiet nur teilweise im Bereich des Gipskeuperausstriches gegeben sein wird, werden ggf. Maßnahmen zur Erhöhung der Tragfähigkeit erforderlich.

Im Zuge des Abtrages von Oberboden sowie aufgeweichten Bodens entstehende Vertiefungen sind lagenweise mit geeignetem Material (z.B. Schotter 0/45) zu verfüllen und gut zu verdichten. Die Verfüllhöhe richtet sich nach der gewählten Bauweise:

1) Eine Möglichkeit besteht darin, die gering tragfähige Fläche nach Herstellung der Planumshöhe auf eine Tiefe von mind. 40 cm durch das Einfräsen von Bindemittel zu verbessern. Aufgrund der mineralogischen Zusammensetzung der Böden scheidet diese Methode jedoch kategorisch aus.
2) Eine zweite Möglichkeit zur Erhöhung der Tragfähigkeit des Planums besteht in einem Bodenaustausch gegen grobkörniges Material. Der Aufbau könnte in diesem Fall aus einem Grobschlag der Körnung 0/100 mit einer Stärke von 30 cm und einer Schotterschicht der Lieferkörnung 0/45 mit einer Stärke von 15 cm zur Herstellung einer geschlossenen Oberfläche bestehen. Die Verwendung kornabgestufter Recyclingbaustoffen und eine Anrechnung auf den frostsicheren Aufbau sind hierbei möglich. Darauf erfolgt der vom gewählten Belag abhängige Aufbau gemäß RStO 12.

Es wird ein Geotextil (GRK 3 und höher) als Trennlage zwischen bindigem Untergrund und grobkörnigem Material empfohlen.

Die gleichmäßige Tragfähigkeit des Planums kann flächig durch eine Befahrung mit schwerem Verdichtungsgerät (3t/m Bandagenbreite) geprüft werden. Die Abnahme erfolgt durch punktuelle Plattendruckversuche ($E_{v2} \geq 45$ MN/m²; $E_{v2/1} \leq 2{,}5$). Ob die erforderliche Tragfähigkeit erreicht wird, richtet sich im Wesentlichen nach den verwendeten Baustoffen und sollte zu Beginn der Maßnahme an Probefeldern überprüft werden.

9.2 Stabilisierung mit Bindemittel

Um die Gefahr einer Ettringit-Bildung und dadurch verursachter Hebungen zu minimieren scheidet eine Bodenverbesserung mit Bindemittel aus. Auch eine Verwendung verbesserter Fremdböden ist nicht zu empfehlen.
Gemäß RStO 12 beträgt die Mindestdicke des frostsicheren Aufbaues für Geh- und Radwege 30 cm.

9.3 Kanalbau

Grabensohlen kommen in den kleinstückig-stückigen Schluff-Ton- und Gipsgesteinen des Keupers sowie, je nach Geländegestaltung, in künstlicher Auffüllung zu liegen. Spezielle Maßnahmen zum Schutz gegen Setzungen werden bei den angetroffenen geologischen Verhältnissen voraussichtlich nur dort erforderlich, wo die Sohle in aufgefülltem Boden verläuft oder eine Beeinflussung durch Oberflächenwasser nicht verhindert wird.

Im Ausstrich des anstehenden Gipskeupers wird die Ausbildung des Auflagers bzw. der Leitungszone entsprechend DIN 4033 bzw. DIN EN 1610 und ATV-DVWK-A 139 als ausreichend erachtet. Planunterlagen liegen derzeit noch nicht vor.

Tiefreichende Aufweichungen in der Grabensohle durch Schichtwasser oder Witterungseinflüsse sind durch eine sofortige Fassung und Ableitung zu vermeiden. Dennoch aufgeweichtes weiches und breiiges Material ist im Bereich Rohrauflager zu ersetzen.

Die Kanäle werden in hängigem Gelände verlegt. Um eine Längsläufigkeit von Schichtwasser und damit einhergehende Subrosion zu unterbinden, sind entsprechend kornabgestufte Mineralstoffgemische zu verwenden. Zudem sind in den Kanalgräben in regelmäßigen Abständen (z.B. pro Haltung) Querriegel aus undurchlässigem Material vorzusehen.

9.4 Wiederverwertbarkeit von Aushubmaterial

Hinsichtlich der Verfüllung von Leitungsgräben werden die für die Verfüllzone geeigneten Böden gemäß ZTVA-StB 97 in drei Verdichtbarkeitsklassen eingeteilt:

Tab. 9: Verdichtbarkeitsklassen

Verdicht-barkeitsklasse	**Kurzbeschreibung**	**Bodengruppe (DIN 18 196)**
V 1	nichtbindige bis schwachbindige, grobkörnige und gemischtkörnige Böden	GW/ GI/ GE/ SW/ SI/ SE/ **GU / GT**/ SU/ ST
V 2	bindige, gemischtkörnige Böden	**GU*/ GT***/ SU*/ ST*
V 3	bindige, feinkörnige Böden	UL/ UM/ **TL/ TM**
Die in DIN 18 196 aufgeführten Böden der Bodengruppen HN, HZ, F, OU, OT, OK, UA sowie **TA** sind für das Verfüllen von Leitungsgräben nicht geeignet		

Die anfallende Auffüllung der Bodengruppen TM/GU* ist im Wesentlichen der Verdichtbarkeitsklasse V3 zuzuordnen. Diese Böden können nur bedingt (bei mind. halbfester Konsistenz) zur Verfüllung der Leitungsgräben verwendet werden.

Der anfallende kleinstückig bis stückig verwitterte Schluff-Tonstein ist den Klassen V2 / V1 zuzuordnen, sofern dieser nach erfolgtem Aushub nicht durch Niederschläge durchfeuchtet wird.

Nach den ZTVE-StB sind in Abhängigkeit von den verwendeten Böden folgende Verdichtungsgrade im Leitungsbereich innerhalb von Straßenkörpern nachzuweisen:

Tab. 10: Verdichtungsanforderungen

Verdichtung		
Bereich	**Bodengruppen**	**D_{Pr} in %**
Planum bis 1,0 m Tiefe bei Dämmen und bis 05, m bei Einschnitten	GW, GI, GE, SW, SI, SE GU, GT, SU, ST	100
1 m unter Planum bis Dammsohle	GW, GI, GE, SW, SI, SE GU, GT, SU, ST	98
Planum bis Dammsohle und bis 0,5 m Tiefe bei Einschnitten	GU*, GT*, SU*, ST*, U, T	97 $n_a \leq 8$
Leitungszone	generell D_{Pr} = 97 %	

Eine hinreichende Verdichtung von D_{Pr} = 97 / 98 / 100 % wird mit dem anfallenden Schluff-Tonstein-Material überwiegend zu erreichen sein, sofern nicht Witterungseinflüsse zu einer Erhöhung der Wassergehalte führen.

Die Auffüllungen weisen überwiegend steife Konsistenz auf und der Wassergehalt steigt mit der Tiefe, so dass mit diesem Material nicht überall eine hinreichende Verdichtung zu erzielen sein wird. Vor allem im Bereich der Anbindung an die Berliner Straße wird zur Grabenverfüllung rolliges Material empfohlen.

Generell wird empfohlen, während der Erschließungsarbeiten eine Überprüfung des Aushubmaterials vorzunehmen.

Das Aushubmaterial ist in Mieten mit hinreichendem Gefälle (mindestens 4%) zu lagern. Die Oberfläche ist durch Abwalzen zu schließen. Die Mieten sind so anzuordnen, dass sich hangseitig kein Wasser anstauen kann.

Steht keine hinreichende Menge geeigneten Aushubmateriales zur Verfügung, so ist geeignetes Fremdmaterial zu verwenden. Gut eignet sich hierfür grobkörniges Material,

das einen Feinkornanteil < 0.06 mm unter 8 Gew.-% aufweist. Siebschutt kann in diesem Zusammenhang aufgrund seines innerhalb weiter Grenzen schwankenden Feinkornanteiles nur bedingt Verwendung finden.

Der Einbau ist lagenweise vorzunehmen, wobei die einzelnen Lagen 30 cm (s.a. untenstehende Tabelle) nicht überschreiten dürfen.

Die erste Lage über dem Rohrscheitel ist mächtiger auszubilden (Schutz des Rohres) und mit weniger Übergängen bzw. nur mit leichten Verdichtungsgeräten zu verdichten.

Die ZTVE-StB geben für die Wahl der Schütthöhe in engen Baugruben bzw. Leitungsgräben folgende Empfehlungen:

Tab. 11: Schütthöhen

Ort	***Geräte***	***Schütthöhe (in cm) bei den Bodengruppen***		
		GW, GE, GI, SW SE, SI	*GU, GT, SU, ST GU*, GT*, SU ST**	*UL, UM,* ***TL, TM***
Leitungszone und enge Baugrube	*leichte Verdichtungsgeräte*	*20-30*	*15-25*	*10-20*
oberhalb der Leitungszone	*mittlere und schwere Verdichtungsgeräte*	*30-50*	*20-40*	*20-30*

10 WIEDERVERSICKERUNG VON OBERFLÄCHENWASSER

Eine Niederschlagswasserversickerung über Flächen- oder Muldenversickerung bzw. Rigolen- und Rohrversickerung ist am vorgesehenen Standort aus unserer Sicht aufgrund unserer bisherigen Ausführungen nicht zu empfehlen. Nach Rücksprache mit dem AG wurde auf die Ausführung der geplanten Versickerungsversuche verzichtet.

Versickerungsfähiges Pflaster: Die Verwendung ist prinzipiell möglich, wird aber von uns nicht empfohlen. Generell gilt auch hier, dass der Untergrund eine hinreichende Wasserdurchlässigkeit aufweisen muss. Der kf-Wert sollte 10E-3 bis 10E-6 m/s betragen. Dies trifft auf sandige Böden zu. Die bindigen Böden im Bereich des untersuchten Gebietes weisen kf-Werte unter der Grenze zu einer sinnvollen Nutzung auf und neigen zur Verschlämmung, wodurch die k-Werte weiter abnehmen können.

11 ZUSAMMENFASSUNG

Nachfolgend sind die auf dem derzeitigen Erkundungsstand beruhenden Folgerungen auszugsweise dargestellt:

Kriterium	Gipskeuper	Verwitterungslehm	Auffüllung
Gründung	Tragfähigkeit mittel bis gut ($\sigma_{R,d}$ = 420 – 630 kN/m²) Mittlere bis große Objekte starker Sulfatangriff	Übergangsbereich Durchgründung erforderlich	ungeeignet
Kanalbau, Leitungsbau Gräben	Auflager keine besonderen Maßnahmen Böschung oder Verbau	Auflager keine besonderen Maßnahmen Böschung oder Verbau	Tragschicht erforderlich, Verbau zwingend
Aushub	Verwendbar, aber Sulfathaltig (Öffnungsklausel der VwV Boden!)	Verwendbar	bei halbfester Konsistenz verwendbar, sonst Abfuhr (>Z2 n. VwV !)
Straßenbau	Planum hinreichend tragfähig	Planum mit Schotter verbessern	Bodenaustausch
Baugruben	Unproblematisch, aber erosionsanfällig	Unproblematisch	Geringe Böschungsneigung, Verbau empfohlen
Wasserhaltung	Grundwasser nein Oberflächenwasser ableiten	Grundwasser nein Oberflächenwasser ableiten	Staunässe, geringe Standfestigkeit
Grundwasser	zwischen 367 und 371 m NN GOK derzeit 381 – 389 m NN	-	Staunässe
Abdichtung	Dränage + Bodenfeuchte oder weiße Wanne	Dränage + Bodenfeuchte oder weiße Wanne	Dränage + Bodenfeuchte oder weiße Wanne
Versickerung	nicht empfohlen	Ungeeignet	nicht empfohlen
Untersuchungsbedarf	Grenzziehung schwierig, Bohrungen projektbezogen	-	VwV Boden DepV
Empfehlung	empfohlen wird nach Möglichkeit ein Geländeabtrag derart, dass Kanalgräben, Straßenplanum und Baugrubensohlen im Gipskeuper liegen		
Problemzone	Im Süden Zone Kategorie 1, Bebauung nicht empfohlen bzw. sehr aufwändig		
Gips/Anhydrit	In KB1 nur Gips, zum Ausschluss der Hebungsgefahr wären Bohrungen bis in den Lettenkeuper und mineralogische Untersuchungen auf Corrensit notwendig		

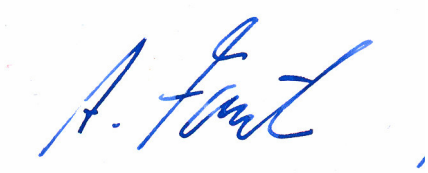
Die Beschreibung, Klassifizierung und Beurteilung der Untergrundverhältnisse erfolgte auf Grundlage der in den Schürfen und Kleinrammbohrungen und Kernbohrungen angetroffenen Verhältnisse. Für die dazwischen liegenden Bereiche kann nicht von einem kontinuierlichen Verlauf der Schichten ausgegangen werden.

Da Abweichungen nicht ausgeschlossen werden können, empfehlen wir eine Kontrolle der beschriebenen Untergrundverhältnisse im Rahmen der geplanten Arbeiten.

Änderungen der Planung, die sich auf die geotechnischen Belange auswirken können, sind dem Baugrundgutachter mitzuteilen.

Für Fragen, die zu unseren Ausführungen bzw. bei der weiteren Planung und Bauausführung auftreten, stehen wir gerne zur Verfügung.

Leonberg, den 03.03.2016

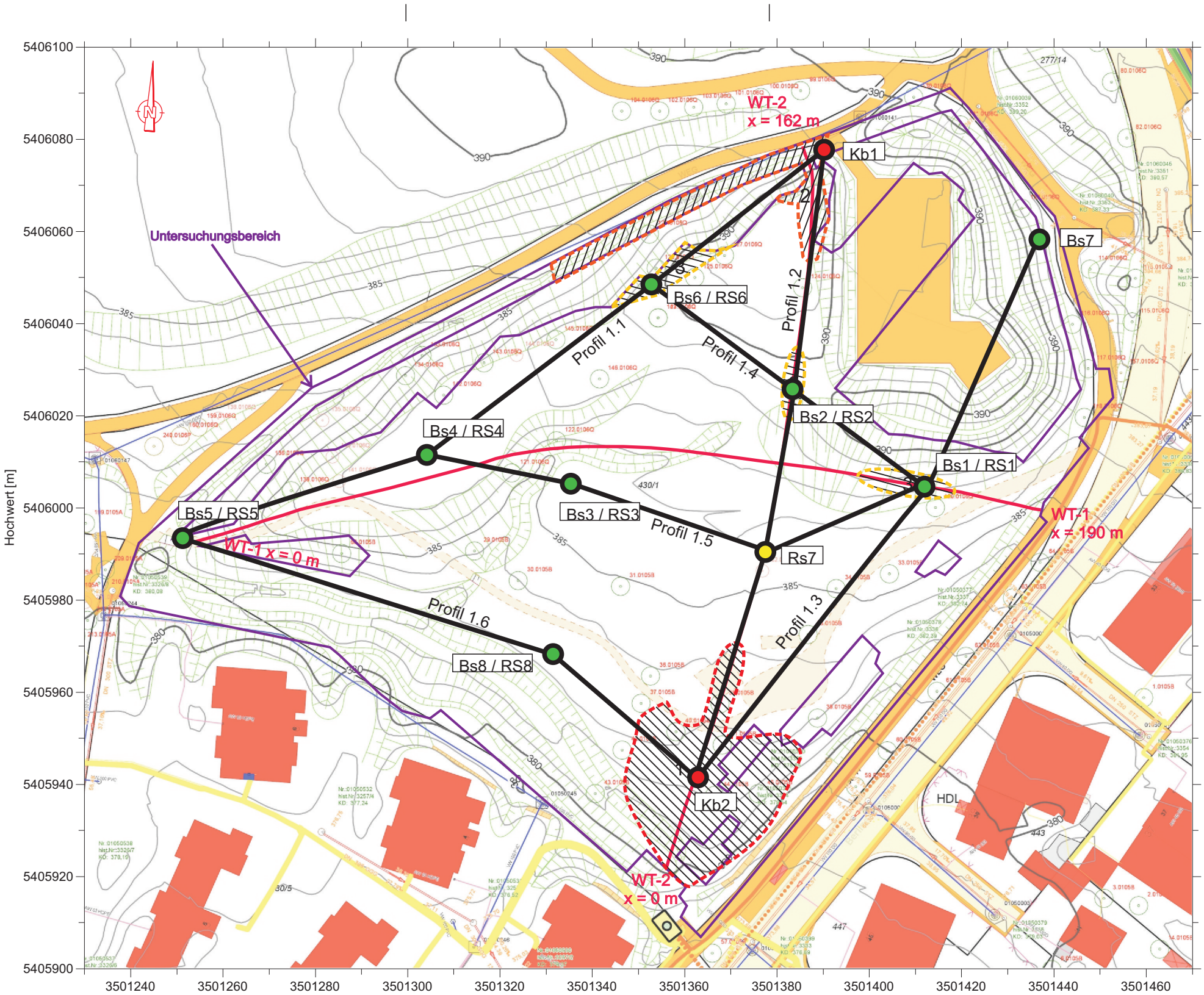


Andreas Förstner
Dipl.-Geologe

Fritz Pfeiffer
Dipl.-Geologe

BV Stadtpark Leonberg

Lage der Untersuchungspunkte

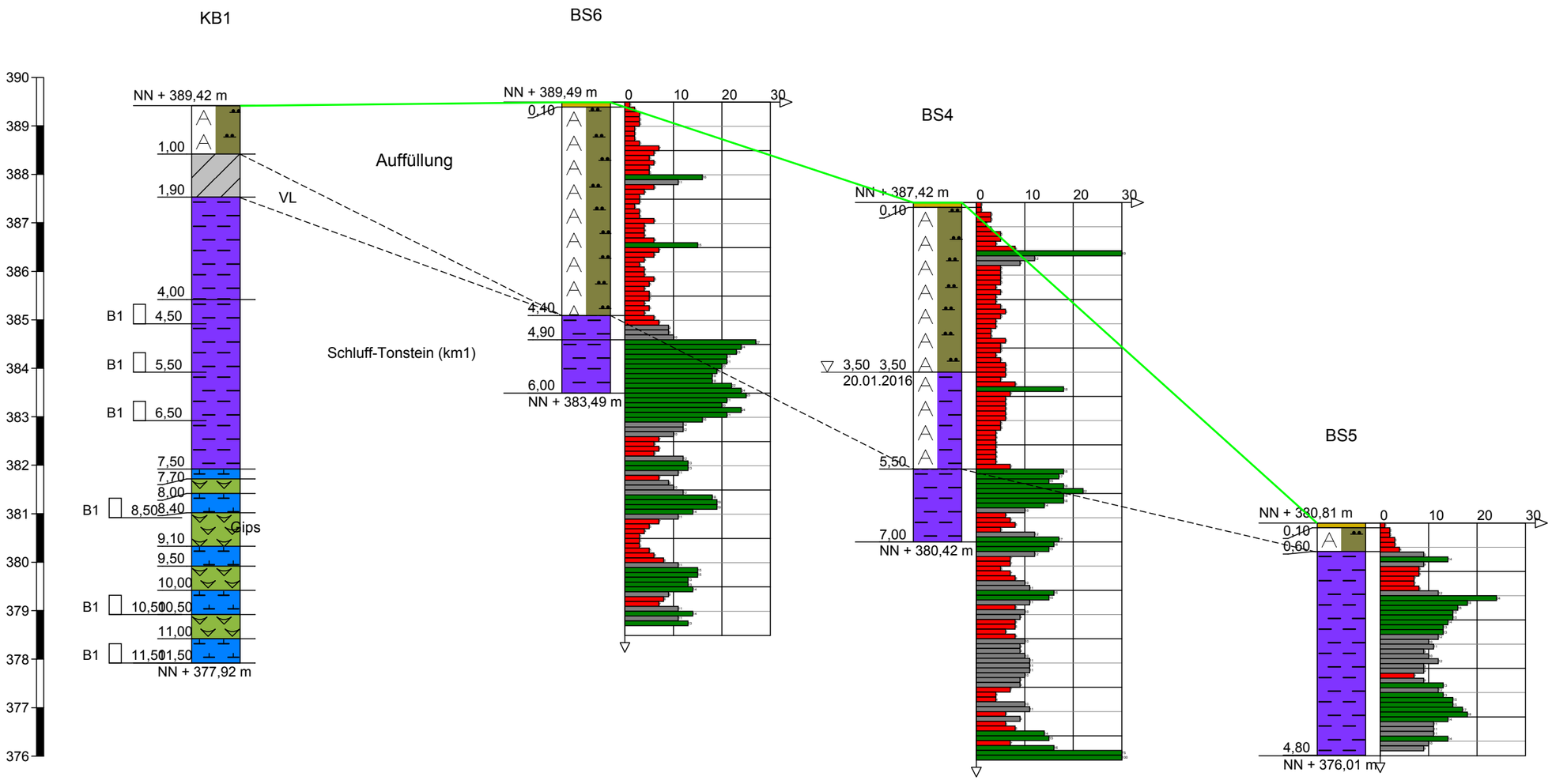


Legende:

+	Messpunkte der elektromagnetischen Widerstandskartierung
	Messlinien der geoelektrischen 2D-Widerstandstomografie

Anlage 1.0

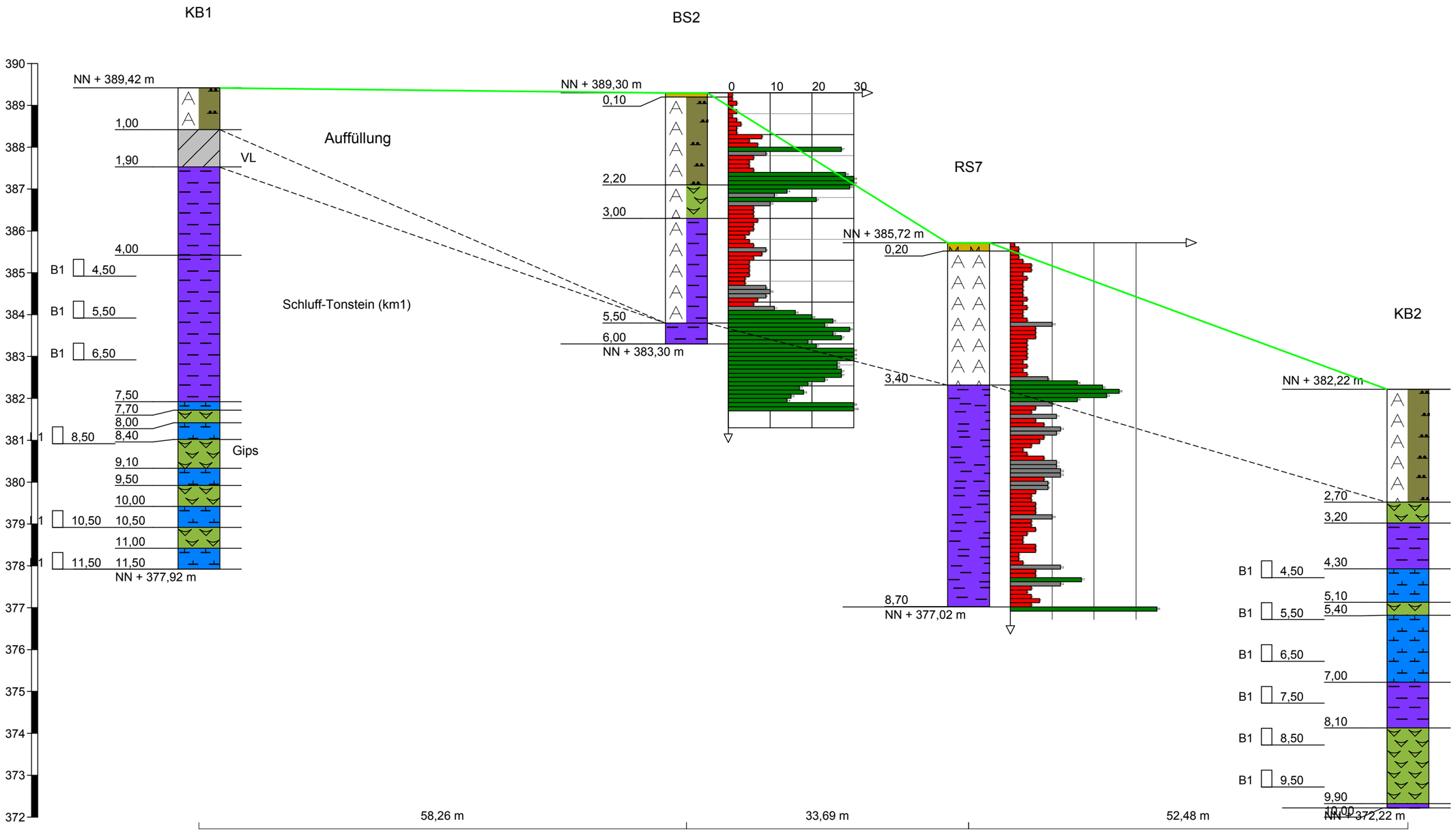
Profilschnitt KB1 - BS6 - BS4 - BS5



Maßstab 1 : 750/100

Ingenieurbüro für Geotechnik Pfeiffer Heimerdinger Str. 24 71229 Leonberg	Profilschnitt - Bohrprofile nach DIN 4023	Anlage 1.1 Projekt: Erschließung Stadtpark, Leonberg Auftraggeber: Stadtverwaltung Leonberg Bearb.: Förstner — Datum: 03.03.2016

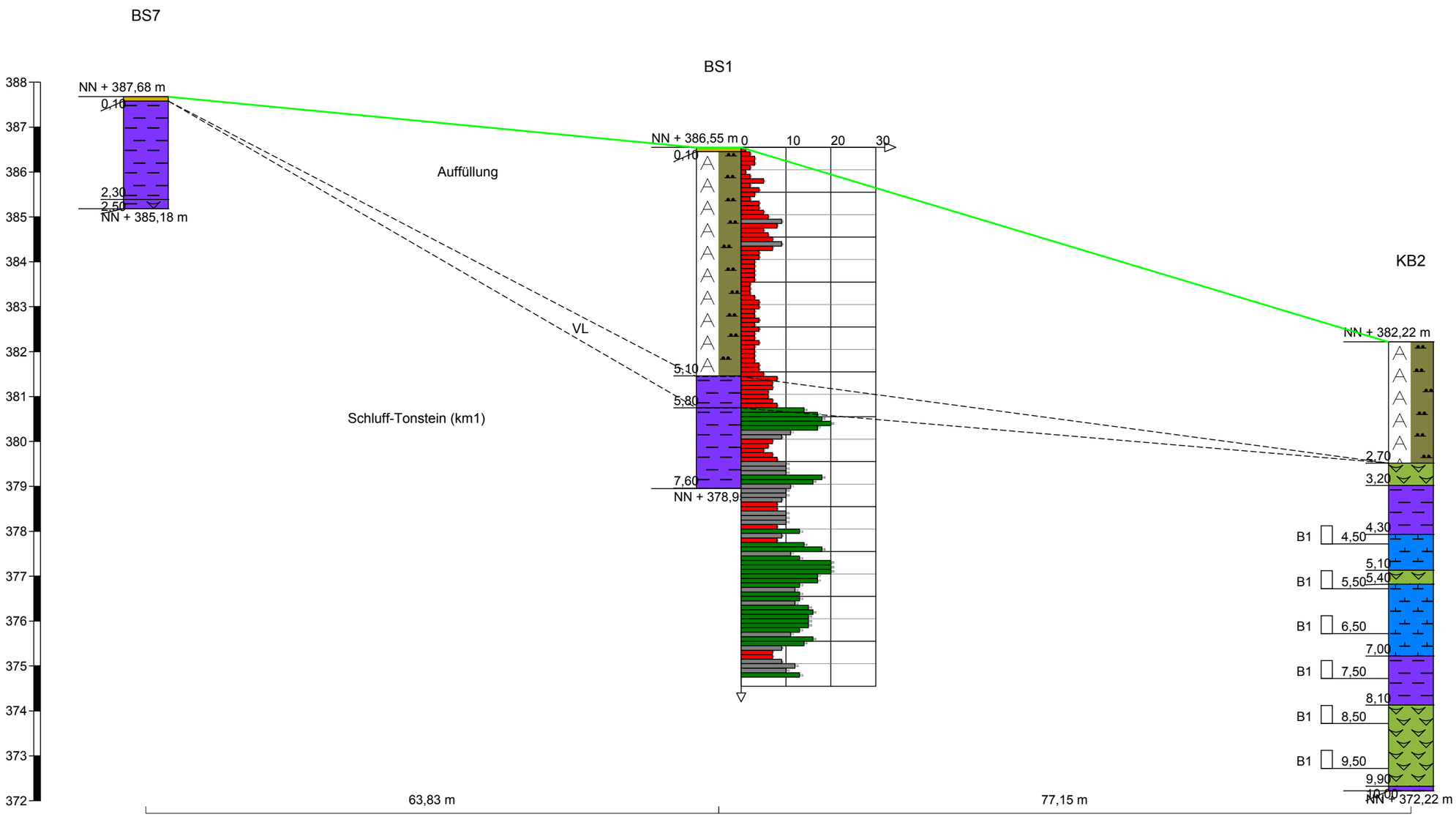
Profilschnitt KB1 - BS2 - RS7 - KB2



Maßstab 1 : 500/100

Ingenieurbüro für Geotechnik Pfeiffer Heimerdinger Str. 24 71229 Leonberg	Profilschnitt - Bohrprofile nach DIN 4023	Anlage 1.2 Projekt: Erschließung Stadtpark, Leonberg Auftraggeber: Stadtverwaltung Leonberg Bearb.: Förstner — Datum: 03.03.2016

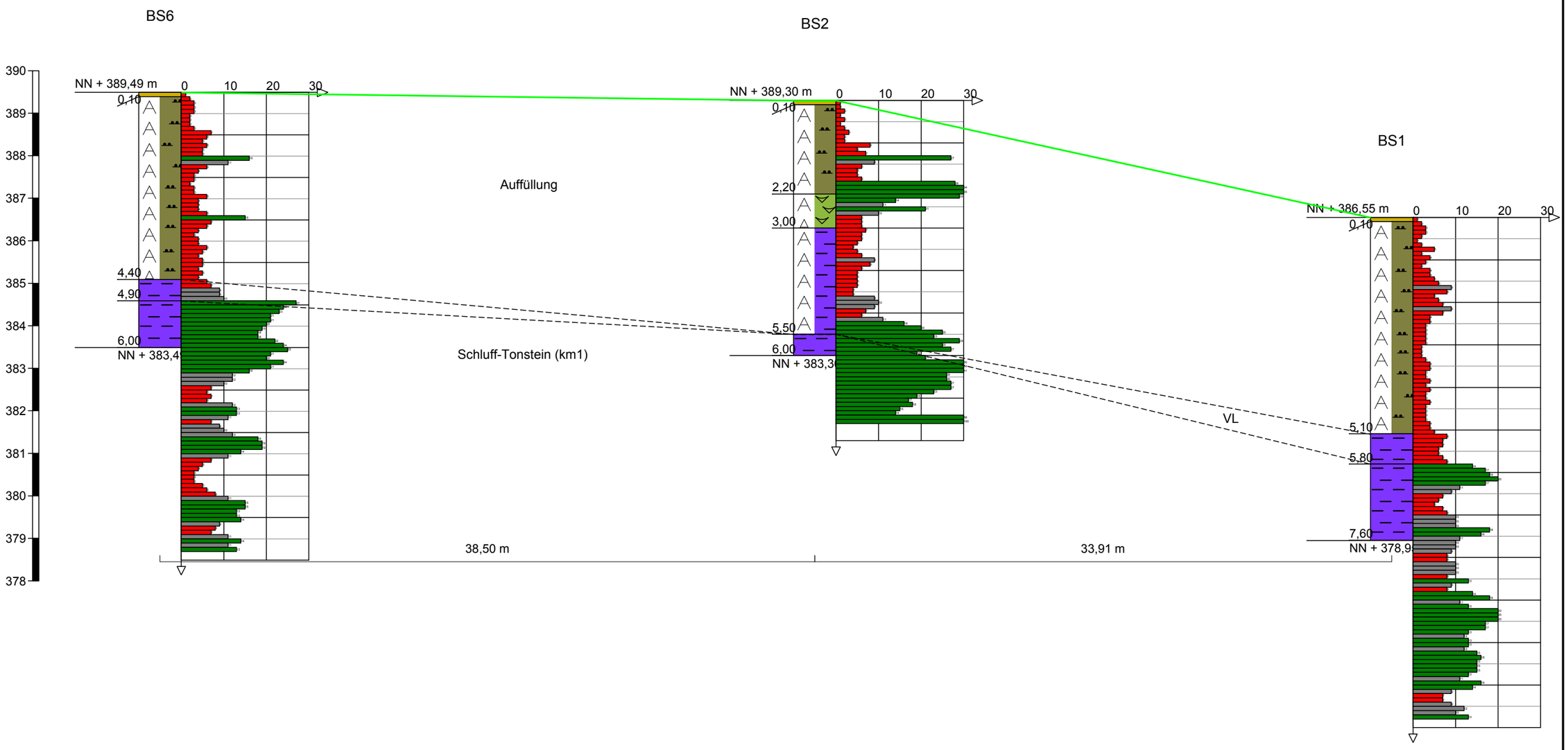
Profilschnitt BS7 - BS1 - KB2



Maßstab 1 : 500/100

Ingenieurbüro für Geotechnik Pfeiffer Heimerdinger Str. 24 71229 Leonberg	Profilschnitt - Bohrprofile nach DIN 4023	Anlage 1.3 Projekt: Erschließung Stadtpark, Leonberg Auftraggeber: Stadtverwaltung Leonberg Bearb.: Förstner — Datum: 03.03.2016

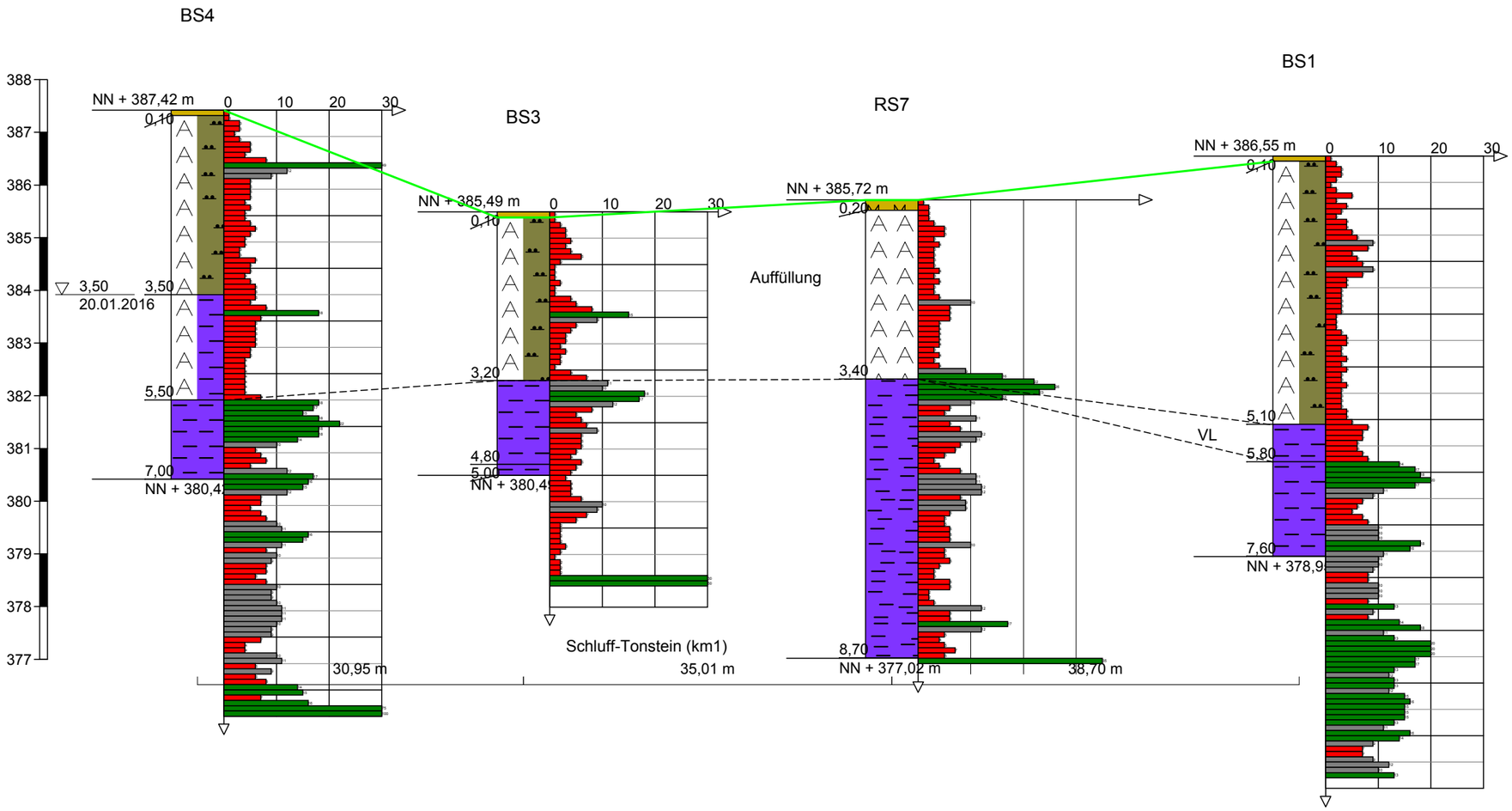
Profilschnitt BS6 - BS2 - BS1



Maßstab 1 : 250/100

Ingenieurbüro für Geotechnik Pfeiffer Heimerdinger Str. 24 71229 Leonberg	Profilschnitt - Bohrprofile nach DIN 4023	Anlage 1.4 Projekt: Erschließung Stadtpark, Leonberg Auftraggeber: Stadtverwaltung Leonberg Bearb.: Förstner — Datum: 03.03.2016

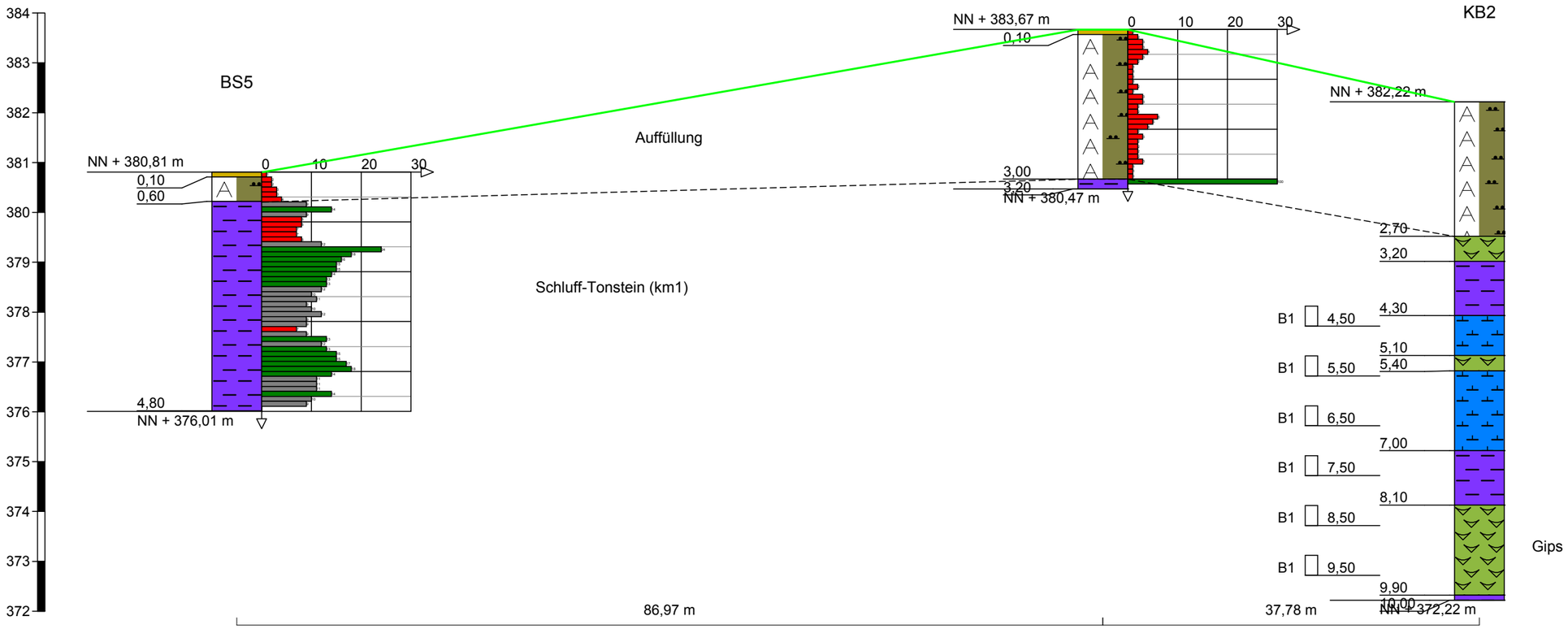
Profilschnitt BS4 - BS3 - RS7 - BS1



Maßstab 1 : 500/100

Ingenieurbüro für Geotechnik Pfeiffer Heimerdinger Str. 24 71229 Leonberg	Profilschnitt - Bohrprofile nach DIN 4023	Anlage 1.5 Projekt: Erschließung Stadtpark, Leonberg Auftraggeber: Stadtverwaltung Leonberg Bearb.: Förstner — Datum: 03.03.2016

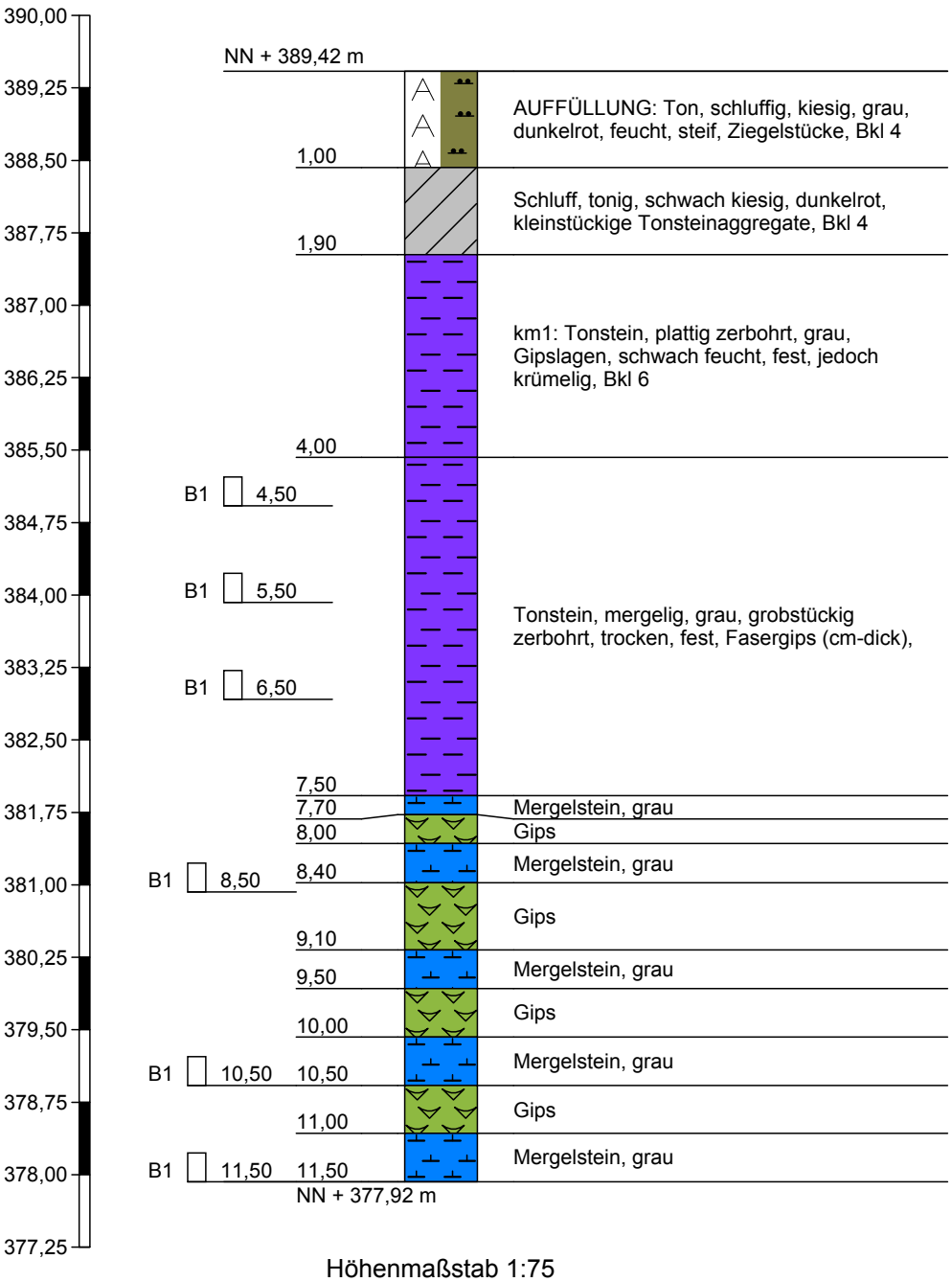
Profilschnitt BS5 - BS8 - KB2



Maßstab 1 : 500/100

Ingenieurbüro für Geotechnik Pfeiffer Heimerdinger Str. 24 71229 Leonberg	Profilschnitt - Bohrprofile nach DIN 4023	Anlage 1.6 Projekt: Erschließung Stadtpark, Leonberg Auftraggeber: Stadtverwaltung Leonberg Bearb.: Förstner — Datum: 03.03.2016

KB1



Höhenmaßstab 1:75

Ingenieurbüro für Geotechnik Pfeiffer
Heimerdinger Str. 24
71229 Leonberg

Zeichnerische Darstellung von Bohrprofilen nach DIN 4023

Anlage 2.1

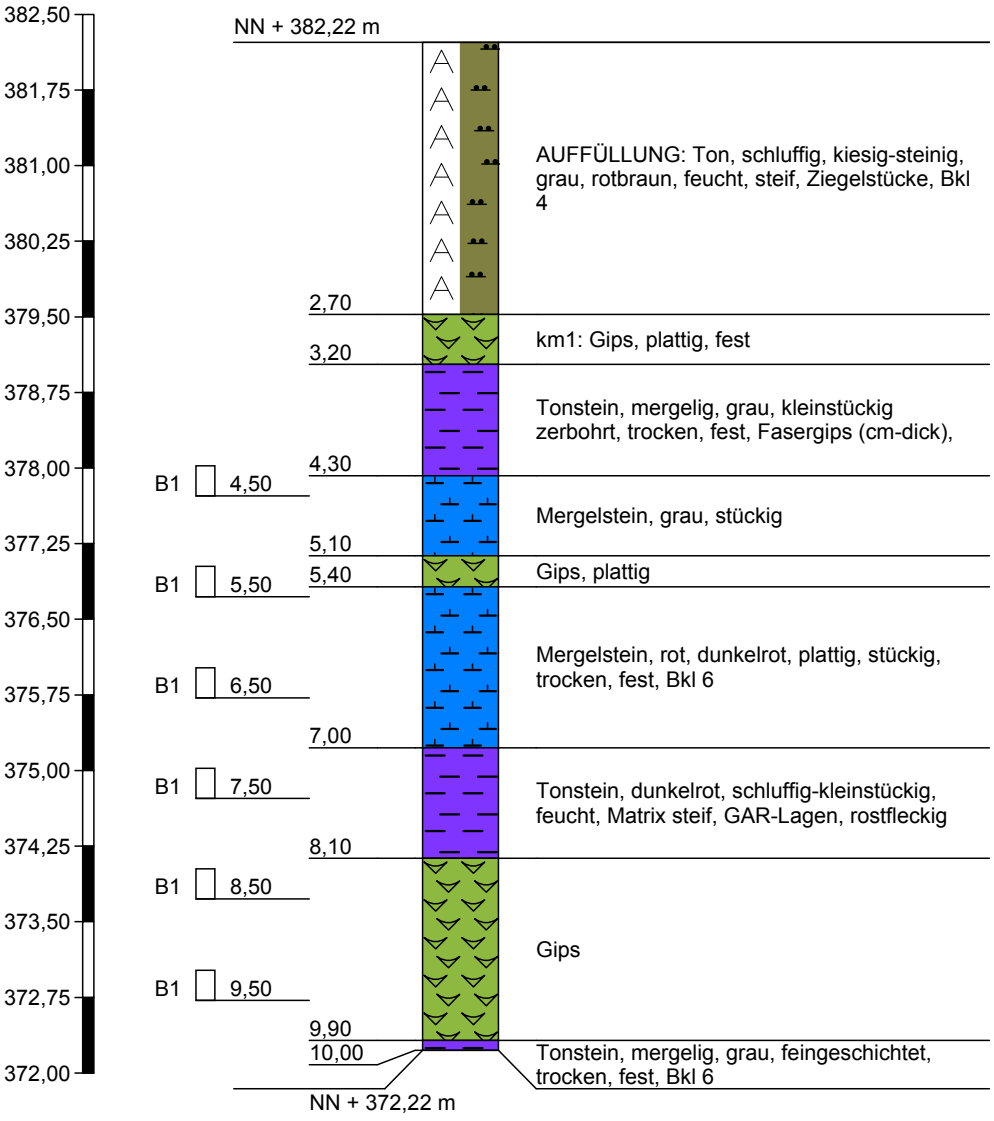
Projekt: Erschließung Stadtpark, Leonberg

Auftraggeber: Stadtverwaltung Leonberg

Bearb.: Förstner

Datum: 03.03.2016

KB2



Höhenmaßstab 1:75

Ingenieurbüro für Geotechnik Pfeiffer
Heimerdinger Str. 24
71229 Leonberg

Zeichnerische Darstellung von Bohrprofilen nach DIN 4023

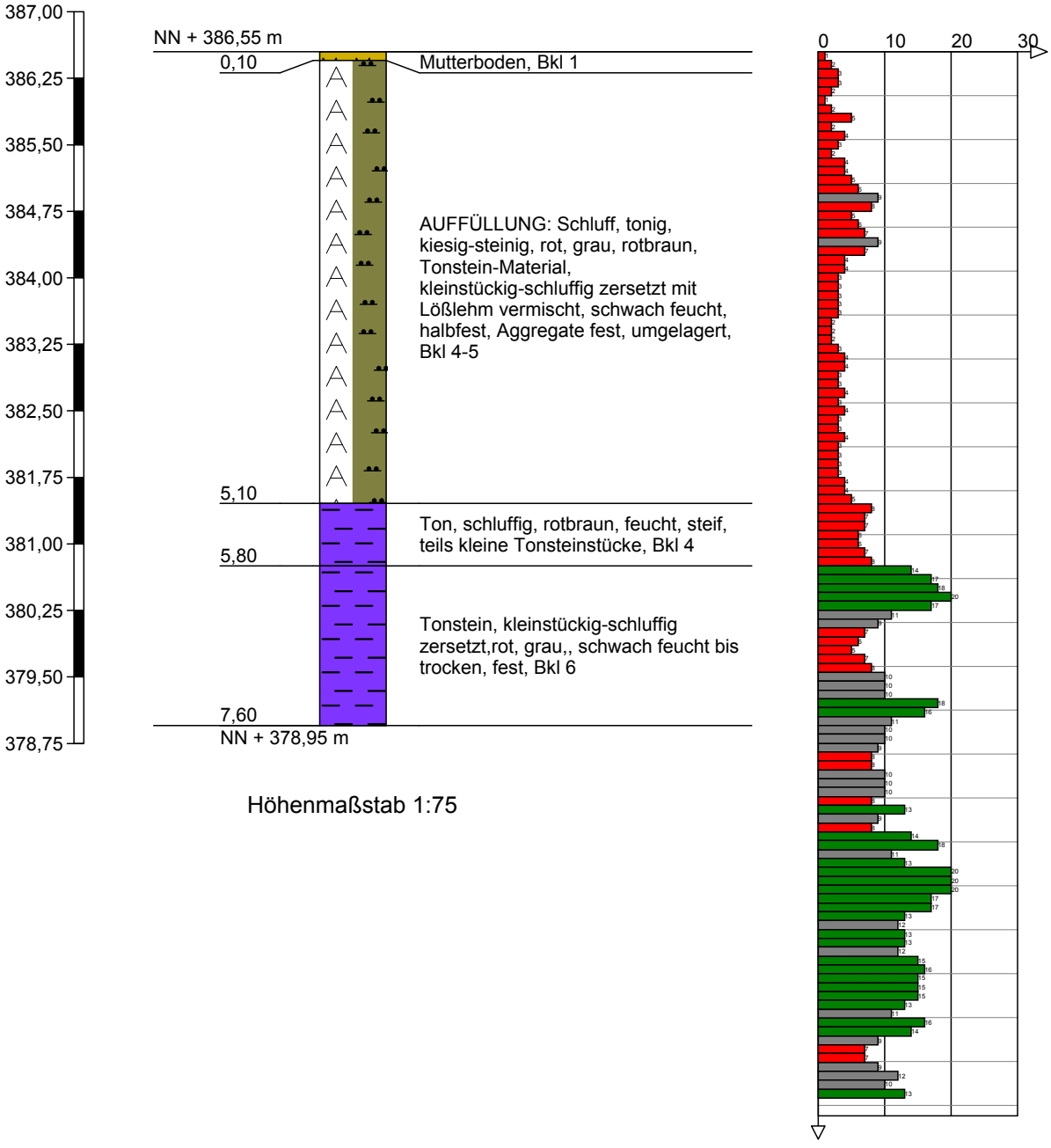
Anlage 2.2

Projekt: Erschließung Stadtpark, Leonberg

Auftraggeber: Stadtverwaltung Leonberg

Bearb.: Förstner | Datum: 03.03.2016

BS1



Höhenmaßstab 1:75

Ingenieurbüro für Geotechnik Pfeiffer
Heimerdinger Str. 24
71229 Leonberg

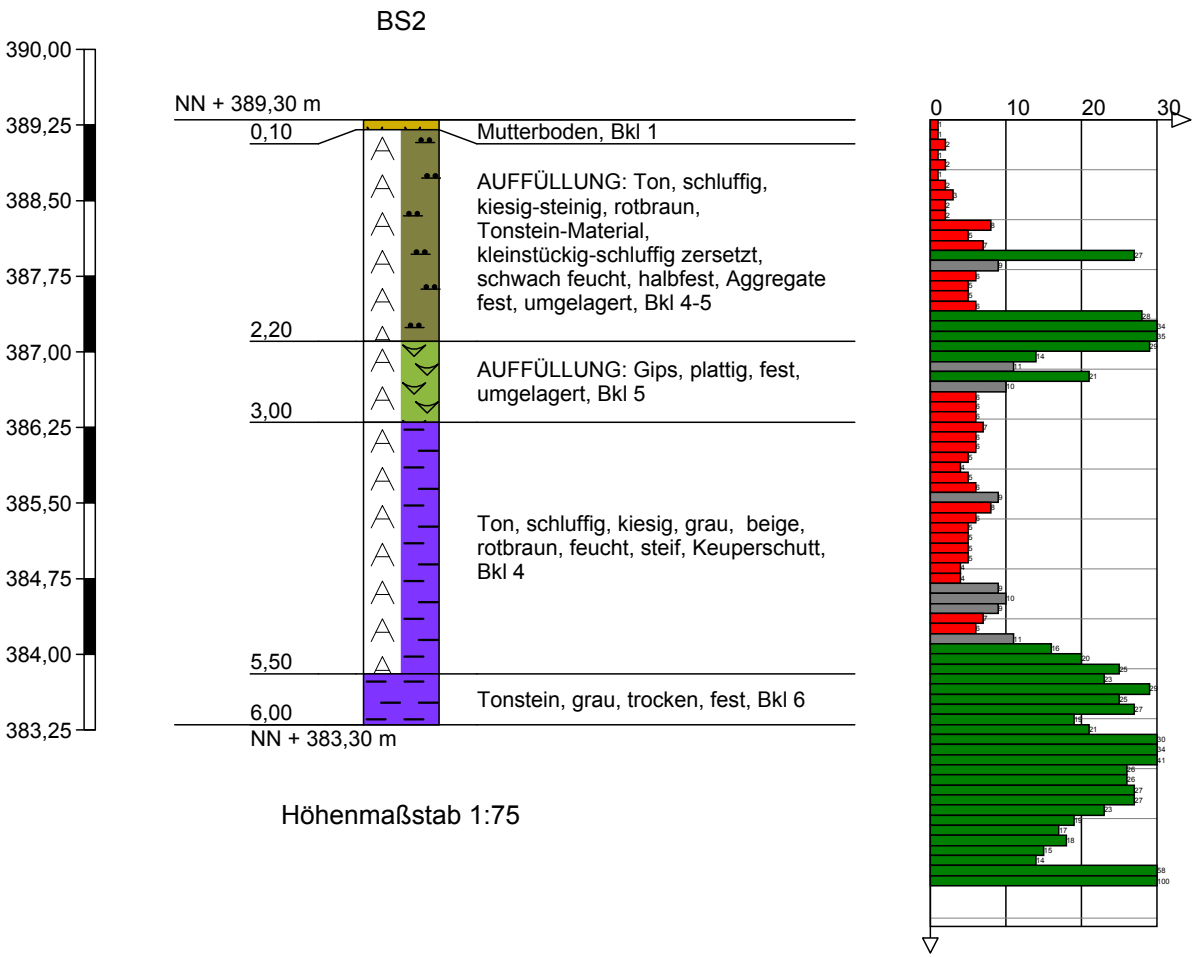
Zeichnerische Darstellung von Bohrprofilen nach DIN 4023

Anlage 3.1

Projekt: Erschließung Stadtpark, Leonberg

Auftraggeber: Stadtverwaltung Leonberg

Bearb.: Förstner | Datum: 03.03.2016



Ingenieurbüro für Geotechnik Pfeiffer
Heimerdinger Str. 24
71229 Leonberg

Zeichnerische Darstellung von Bohrprofilen nach DIN 4023

Anlage 3.2

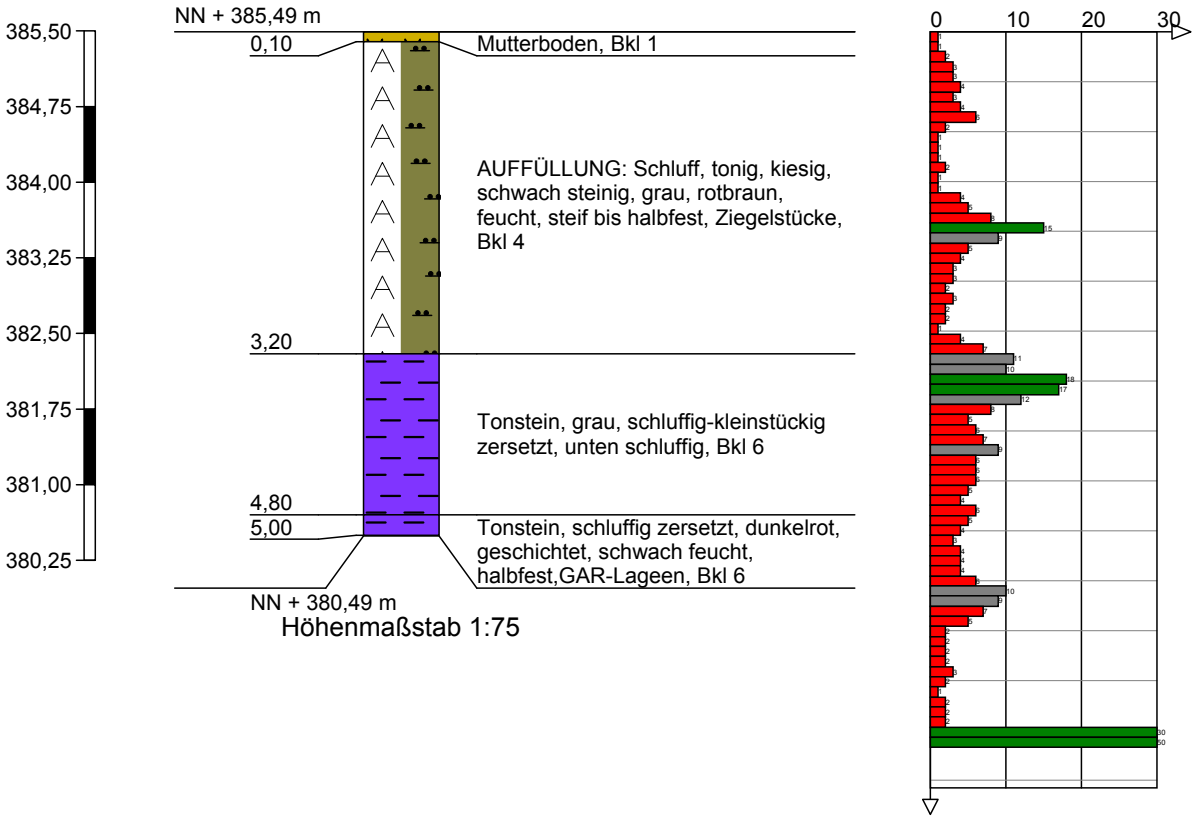
Projekt: Erschließung Stadtpark, Leonberg

Auftraggeber: Stadtverwaltung Leonberg

Bearb.: Förstner

Datum: 03.03.2016

BS3



Höhenmaßstab 1:75

Ingenieurbüro für Geotechnik Pfeiffer
Heimerdinger Str. 24
71229 Leonberg

Zeichnerische Darstellung von Bohrprofilen nach DIN 4023

Anlage 3.3

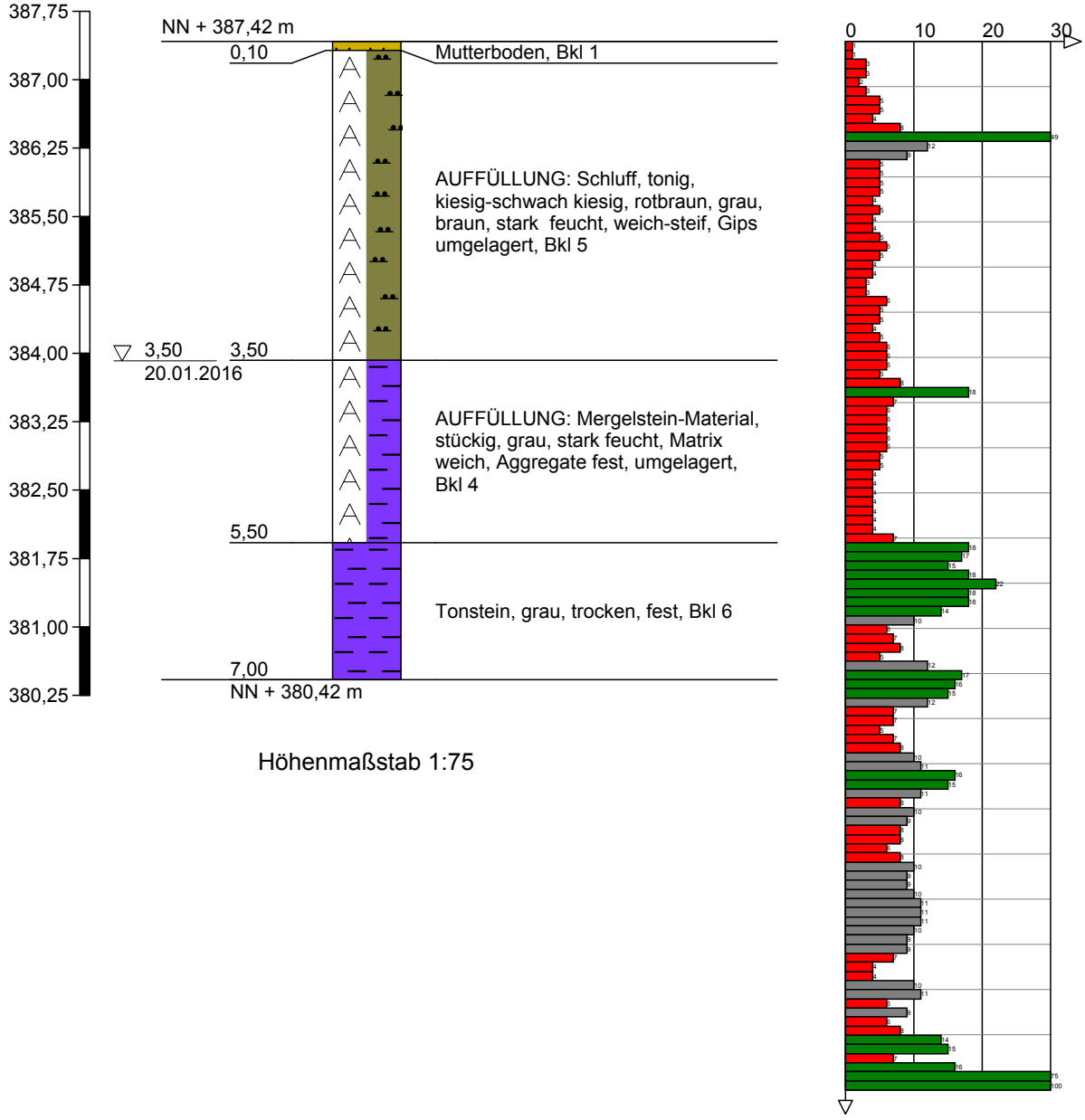
Projekt: Erschließung Stadtpark, Leonberg

Auftraggeber: Stadtverwaltung Leonberg

Bearb.: Förstner

Datum: 03.03.2016

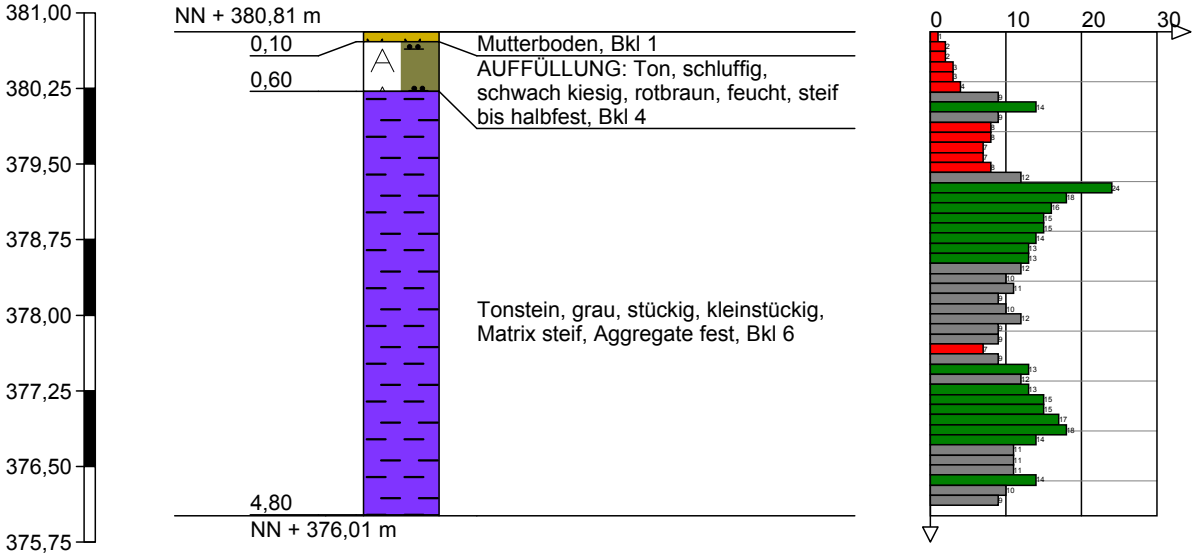
BS4



Höhenmaßstab 1:75

Ingenieurbüro für Geotechnik Pfeiffer Heimerdinger Str. 24 71229 Leonberg	Zeichnerische Darstellung von Bohrprofilen nach DIN 4023	Anlage 3.4 Projekt: Erschließung Stadtpark, Leonberg Auftraggeber: Stadtverwaltung Leonberg Bearb.: Förstner — Datum: 03.03.2016

BS5



Höhenmaßstab 1:75

Ingenieurbüro für Geotechnik Pfeiffer
Heimerdinger Str. 24
71229 Leonberg

Zeichnerische Darstellung von Bohrprofilen nach DIN 4023

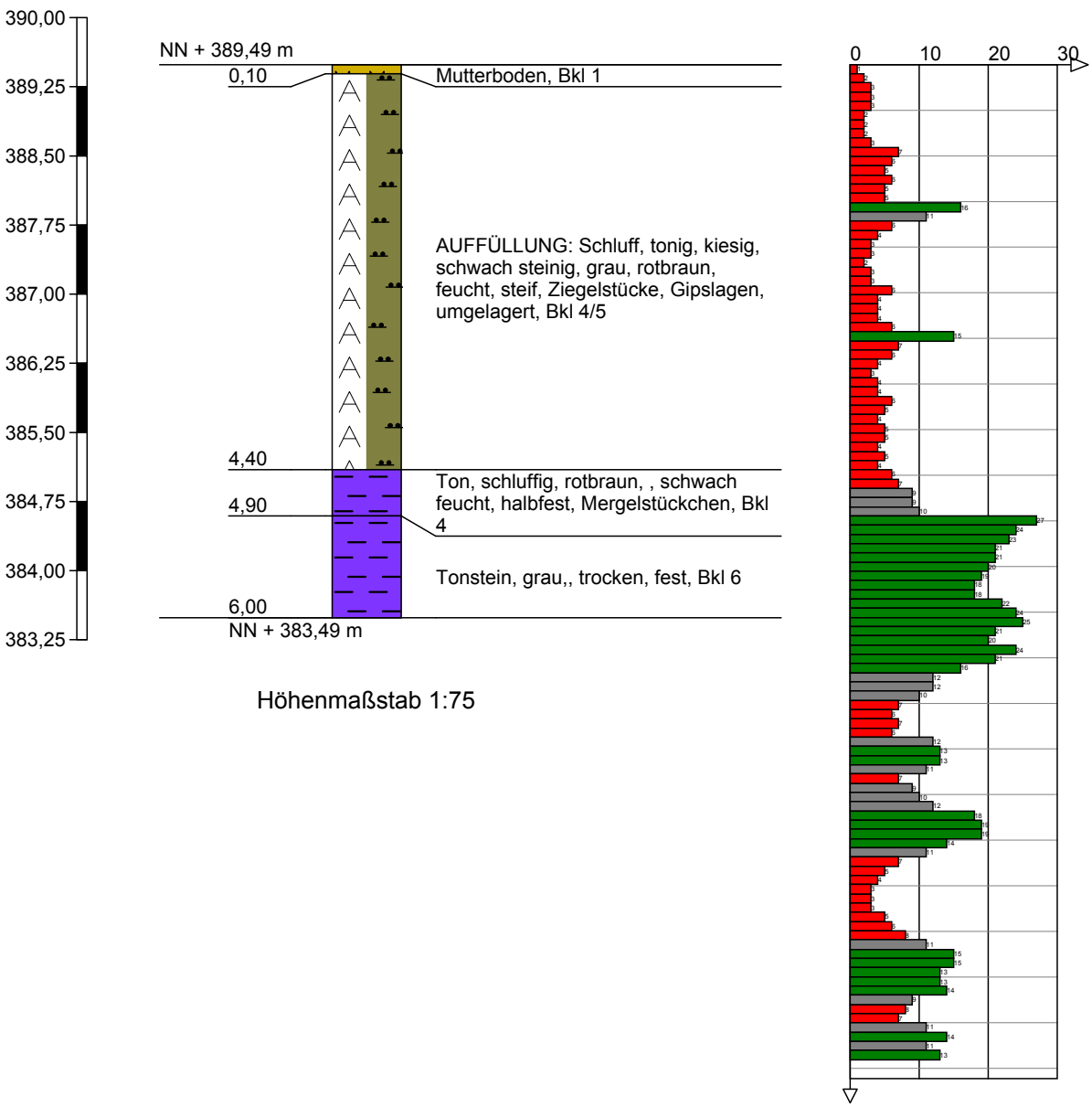
Anlage 3.5

Projekt: Erschließung Stadtpark, Leonberg

Auftraggeber: Stadtverwaltung Leonberg

Bearb.: Förstner | Datum: 03.03.2016

BS6



Höhenmaßstab 1:75

Ingenieurbüro für Geotechnik Pfeiffer
Heimerdinger Str. 24
71229 Leonberg

Zeichnerische Darstellung von Bohrprofilen nach DIN 4023

Anlage 3.6

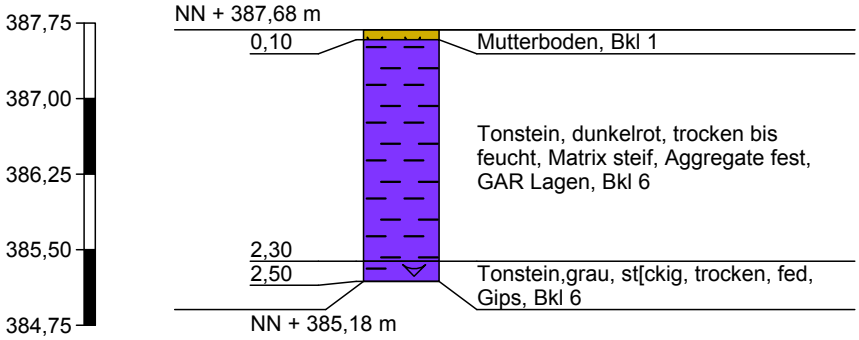
Projekt: Erschließung Stadtpark, Leonberg

Auftraggeber: Stadtverwaltung Leonberg

Bearb.: Förstner

Datum: 03.03.2016

BS7



Höhenmaßstab 1:75

Ingenieurbüro für Geotechnik Pfeiffer
Heimerdinger Str. 24
71229 Leonberg

Zeichnerische Darstellung von Bohrprofilen nach DIN 4023

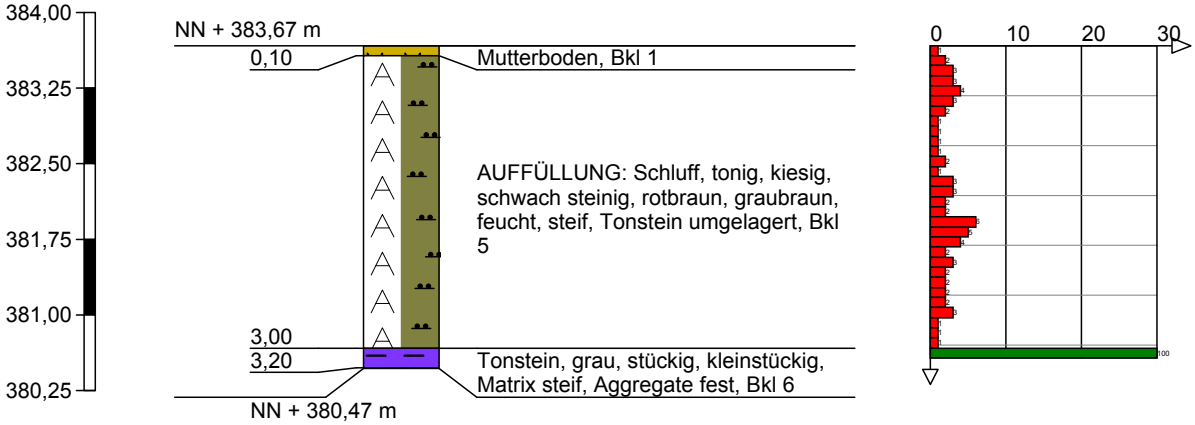
Anlage 3.7

Projekt: Erschließung Stadtpark, Leonberg

Auftraggeber: Stadtverwaltung Leonberg

Bearb.: Förstner | Datum: 03.03.2016

BS8



Höhenmaßstab 1:75

Ingenieurbüro für Geotechnik Pfeiffer
Heimerdinger Str. 24
71229 Leonberg

Zeichnerische Darstellung von Bohrprofilen nach DIN 4023

Anlage 3.8

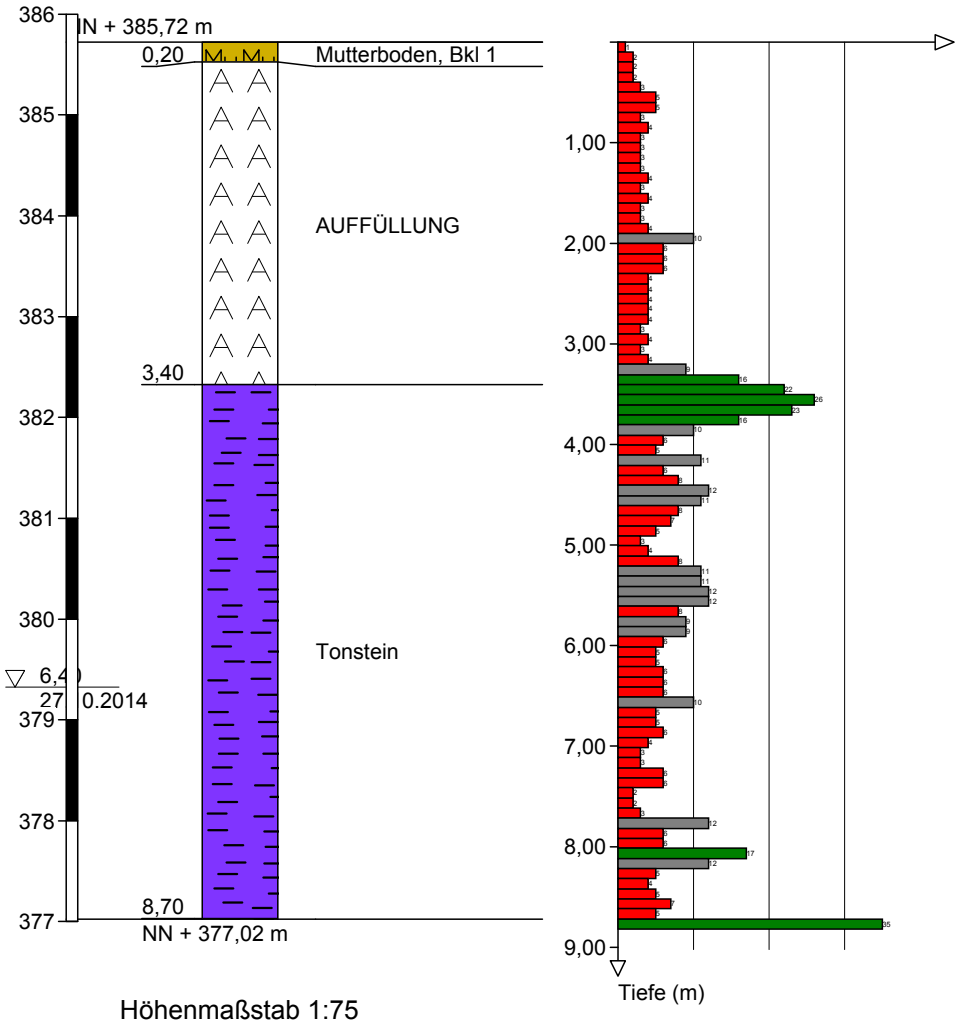
Projekt: Erschließung Stadtpark, Leonberg

Auftraggeber: Stadtverwaltung Leonberg

Bearb.: Förstner

Datum: 03.03.2016

RS7



Höhenmaßstab 1:75

Ingenieurbüro für Geotechnik Pfeiffer
Heimerdinger Str. 24
71229 Leonberg

Zeichnerische Darstellung von Bohrprofilen nach DIN 4023

Anlage 3.9

Projekt: Erschließung Stadtpark, Leonberg

Auftraggeber: Stadtverwaltung Leonberg

Bearb.: Förstner

Datum: 03.03.2016

Dr. rer. nat. Gerhard Ingwersen, Diplom-Geologe

Büro für Umweltgeologie

Beratungen - Untersuchungen - Gutachten - Sanierungsbetreuungen
Altlasten • Asbest • Grundwasser • Schadstoffe in Abbruchgebäuden
nach TRGS 519 geprüfter Asbest-Sachkundiger / Analytik von anorganischen Fasern und Mineralstoffen

BfU

BfU • Dr. G. Ingwersen • Beethovenstraße 4/1 • 75210 Keltern-Dietlingen

Geologisches Büro
Andreas Förstner
Ringelweg 15
73730 Esslingen

Keltern-Dietlingen, den 01.02.2016

2016(10) Projektbezeichnung: Leonberg, Stadtpark / Bohrung B 1

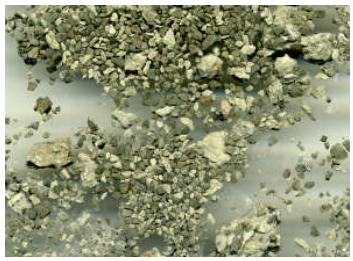
Mikroskopische Überprüfungen von Bohrgut auf Gips und Anhydrit

Sehr geehrter Herr Förstner,

die stereo- und polarisationsmikroskopische Überprüfung der am 26.01.2016 von Ihnen erhaltenen 7 Bohrgut-Proben auf Gips und Anhydrit erbrachte folgende Ergebnisse:

***Probe B 1/2,5 m**:* Graugrüner, mürber Schlufftonstein.

- Zerfällt bei der Reinigung im Ultraschallbad (Foto).
- Schwache Reaktion mit HCl (10%).
- Auf Haarrissen dünne milchweiße Gips-Abscheidungen.
- Kein Anhydrit feststellbar.



***Probe B 1/4,5 m**:* Dunkel-graugrüner, fester Schlufftonstein.

- Zerfällt nicht bei der Reinigung im Ultraschallbad (Foto).
- Schwache Reaktion mit HCl (10%).
- Auf Haarrissen dünne Calcit-Abscheidungen.
- Weder Gips noch Anhydrit feststellbar.

***Probe B 1/5,5 m**:* Graugrüner, fester Schlufftonstein.

- Zerfällt nicht bei der Reinigung im Ultraschallbad (Foto).
- Schwache Reaktion mit HCl (10%).
- Weder Gips noch Anhydrit feststellbar.

BfU Dr. Ingwersen
Beethovenstraße 4/1
75210 Keltern-Dietlingen

Tel.: (07236) 98 05 - 86
Fax: (07236) 98 05 - 87
mobil: (0171) 54 87 800
E-Mail: bfu-dr.ingwersen@t-online.de

***Probe B 1/6,5 m**:* Graugrüner, fester Schlufftonstein.

- Zerfällt bei der Reinigung im Ultraschallbad in plattige Stücke (Foto).
- Schwache Reaktion mit HCl (10%).
- Weder Gips noch Anhydrit feststellbar.

***Probe B 1/8,5 m**:* Milchweiße Gipssteinplatte.

- Nach Abreinigung im Ultraschallbad mittelgraue Färbung mit milchweißer Anhaftung und kompakte Beschaffenheit (Foto).
- Keine Reaktion mit HCl (10%).
- Probe besteht aus Gips mit mikroskopisch kleinen Quarz- und Dolomitbeimengungen.
- Kein Anhydrit feststellbar.

***Probe B 1/10,5 m**:* Rötlichgrauer fester Schlufftonstein.

- Zerfällt kleinstückig bei der Reinigung im Ultraschallbad (Foto).
- Schwache Reaktion mit HCl (10%).
- Bereichsweise Harnischstriemung vorhanden.
- Zahlreiche Gipsbeläge auf Haarrissen.
- Kein Anhydrit feststellbar.

***Probe B 1/11,5 m**:* Rötlichgrauer fester Schlufftonstein mit hartem Kern aus grauem Dolomitstein.

- Zerfällt nicht bei der Reinigung im Ultraschallbad (Foto).
- Schwache Reaktion mit HCl (10%).
- Weder Gips noch Anhydrit feststellbar.

Mit freundlichen Grüßen

Dr. G. Ingwersen

Geoelektrische Erkundung nach potentiellen Karsterscheinungen in dem Stadtpark Leonberg

Verfahren: 2D-Widerstandstomografie und Widerstandskartierung durch Elektromagnetik

Untersuchungsdatum: 10., 11. und 17.12.2015

Auftraggeber: Ingenieurbüro für Geotechnik Pfeiffer, Leonberg

GGU-Projekt Nr.: 15-176-BO

Bearbeitung: Dr. Dipl.-Geophys. M. Bock

Telefon 0721 / 28 678, Telefax 0721 / 25 408 GGU, Amalienstraße 4, D-76133 Karlsruhe

Inhalt:

1. Allgemeines

2. Die Messverfahren

3. Die Untersuchung

4. Ergebnisse

4.1 Vorbemerkungen

4.2 Beschreibung und Interpretation der Ergebnisse - 2D-Widerstandstomografie

4.3 Beschreibung und Interpretation der Ergebnisse - Elektromagnetische Widerstandskartierung

4.4 Zusammenfassung

5. Abbildungen

L Lageplan mit den Messpunkten der elektromagnetischen Widerstandskartierung und den Profilen der 2D-Widerstandstomografie, Maßstab 1:1000

WT Widerstandstomogramme der Profile WT-1 und WT-2 und Interpretation der Ergebnisse, Maßstab 1:1000

WK Ergebnisse der elektromagnetischen Widerstandskartierung, Maßstab 1:1000

E Plan mit der Interpretation der Ergebnisse beider Messverfahren, Maßstab 1:1000

6. Anlagen

Informationsblätter zur elektromagnetischen Widerstandskartierung und zur Widerstands-geoelektrik

Telefon 0721 / 28 678, Telefax 0721 / 25 408 GGU, Amalienstraße 4, D-76133 Karlsruhe

1. Allgemeines

Messort, Datum: Stadtpark Leonberg

Messwertaufnahme am 10., 11. und 17.12.2015

Auftraggeber: Ingenieurbüro für Geotechnik Pfeiffer, Leonberg

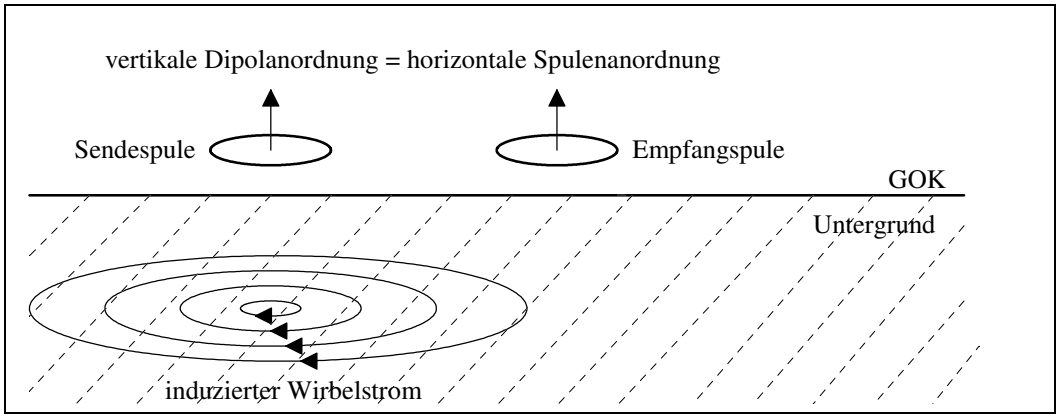
Ziel: Flächige elektromagnetische Widerstandskartierung und 2D-Widerstandstomografie entlang zweier Profile zur Erkundung von Karsterscheinungen

2. Die Messverfahren

Messverfahren 1: **Elektromagnetische Widerstandskartierung**

Verfahrensbeschreibung: Das verwendete aktive elektromagnetische Zweispulen-System arbeitet im Frequenzbereich. Von der Sendespule wird ein primäres Magnetfeld erzeugt, wodurch im Untergrund Wirbelströme induziert werden. Diese wiederum erzeugen ein sekundäres Magnetfeld. In der Empfangspule wird sowohl durch das primäre wie auch durch das sekundäre Magnetfeld ein Strom induziert. Dieser wird gemessen. Auf elektronischem Wege wird der Anteil des primären Magnetfeldes eliminiert, sodass der Einfluss des interessierenden sekundären Magnetfeldes übrig bleibt. Der induzierte Stromanteil durch das sekundäre Magnetfeld ist im Messbereich der elektrischen Bodenleitfähigkeit direkt proportional. Das sekundäre Magnetfeld ist stark bei hoher Bodenleitfähigkeit und schwach bei niedriger Leitfähigkeit.

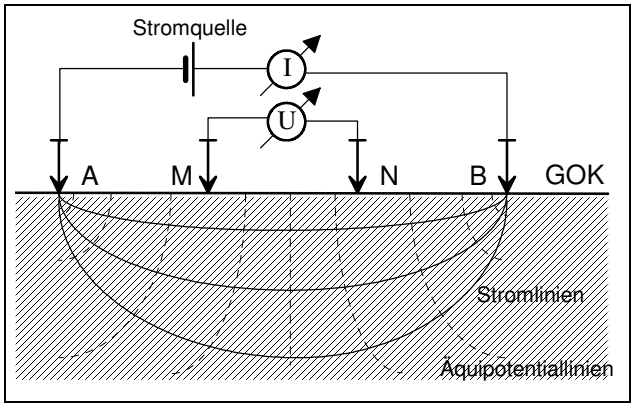
Bei der Widerstands- oder Leitfähigkeitskartierung wird die gewünschte Eindringtiefe ausgewählt und die Messwerte mit konstantem Abstand der Spulen vom Untergrund aufgenommen. Das Untersuchungsgebiet wird entlang von Profillinien in einem vorgegebenen Messpunktabstand abgetastet. Die dabei aufgenommenen Messwerte werden als Werte der scheinbaren spezifischen elektrischen Leifähigkeit (oder Kehrwert: scheinbarer spezifischer elektrischer Widerstand) grafisch (z.B. Isolinienbild) dargestellt.



Tiefenangaben: Die Eindringtiefenangabe (Tiefenbereich) besagt, dass die Wirkung des Untergrundes bis in etwa dieser Tiefe erfasst wird. Die tatsächliche Eindringtiefe hängt neben der verwendeten Anordnung (horizontal oder vertikal) sehr stark von den Schichtenmächtigkeiten und deren spezifischen Widerständen ab. Beispielsweise wird bei einer hochohmigen Deckschicht der Strom in die niederohmige liegende Schicht geleitet, wodurch die Eindringtiefe steigt. Umgekehr bewirkt eine niederohmige Deckschicht, dass der Strom nur wenig in eine liegende hochohmige Schicht eindringt.

Telefon 0721 / 28 678, Telefax 0721 / 25 408 GGU, Amalienstraße 4, D-76133 Karlsruhe

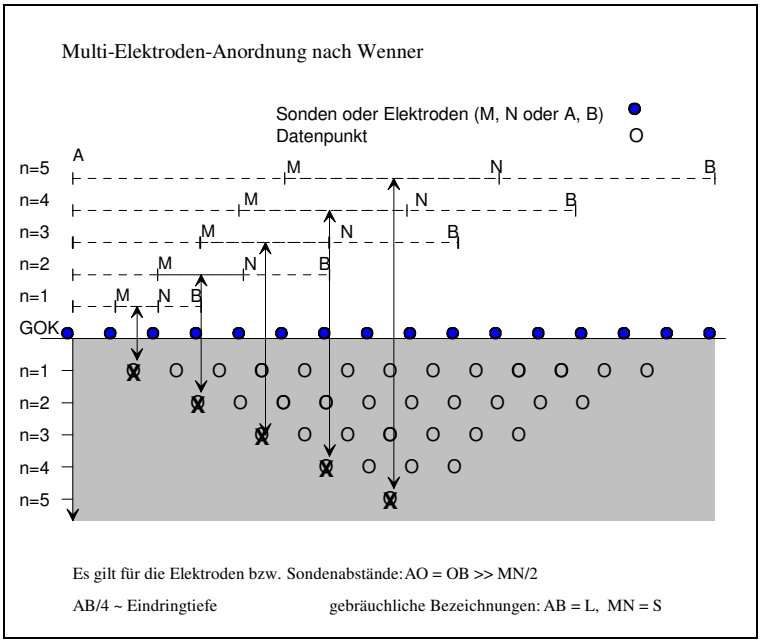
Messverfahren 2: **Widerstandsgeoelektrik**



Verfahrensbeschreibung: Bei der Widerstandsgeoelektrik wird dem Untergrund über zwei Elektroden A und B ein Gleichstrom I_{AB} zugeführt. Im stationären Fall stellt sich ein der Widerstandsverteilung des Untergrundes entsprechendes zeitunabhängiges elektrisches Potential ein. Zwischen zwei Sonden M und N wird die Potentialdifferenz U_{MN} an der Erdoberfläche gemessen. Mit I_{AB}, U_{MN} und der Elektroden-Sonden-Konfiguration wird der scheinbare spezifische elektrische Widerstand ρ_s berechnet. Mit dem Abstand der Elektroden und Sonden lässt sich die Eindringtiefe des Verfahrens auf das gewünschte Maß einstellen. Innerhalb der Eindringtiefe wird die Gesamtwirkung aller Schichten erfasst.

2-D Tomografie (Sondierungskartierung): Dieses Verfahren stellt eine Kombination aus Widerstandskartierung und -sondierung dar. Über spezielle Multielektrodenkabel werden entlang eines Profiles mehrere Widerstandskartierungen für wachsende Elektrodenabstände und damit Eindringtiefen durchgeführt. Man erhält den scheinbaren spezifischen elektrischen Widerstand ρ_s in Abhängigkeit vom Profilort (= Kartierung) und Eindringtiefe (= Sondierung). Durch spezielle Inversionsverfahren (smooth inversion) lässt sich daraus ein Tiefenschnitt des spezifischen Widerstandes berechnen. Dieses wird als Isolinienbild dargestellt.

Messanordnung: 2-D Widerstandstomografie (Widerstandssondierungskartierung):



Telefon 0721 / 28 678, Telefax 0721 / 25 408 GGU, Amalienstraße 4, D-76133 Karlsruhe

Tiefenangaben: Die Eindringtiefenangabe besagt, dass die Wirkung des Untergrundes bis in etwa dieser Tiefe erfasst wird. Eine grobe erste Näherung für die Eindringtiefe ist etwa 1/3 der Auslagelänge. Die tatsächliche Eindringtiefe hängt neben der verwendeten Anordnung sehr stark von den Schichtenmächtigkeiten und deren spezifischen Widerständen ab. Beispielsweise wird bei einer hochohmigen Deckschicht der Strom in die niederohmige liegende Schicht geleitet, wodurch die Eindringtiefe steigt. Umgekehr bewirkt eine niederohmige Deckschicht, dass der Strom nur wenig in eine liegende hochohmige Schicht eindringt und die Auslägelänge vergrößert werden muss, um die notwendige Eindringtiefe zu erreichen.

Bei den Tiefenangaben der Widerstandssondierung und der Sondierungskartierung werden diese Gegebenheiten berücksichtigt und das berechnete Modell gibt sowohl Schichttiefen als auch die elektrischen Materialeigenschaften (spezifischen Widerstände) an.
Die Berechnungsverfahren bei der Sondierungskartierung berücksichtigen auch laterale Variationen des spezifischen Widerstandes. Diskrete (Schicht-)grenzen werden dafür verwischt (smoooth imaging).

Interpretation: Bei den Verfahren der Geophysik und der zerstörungsfreien Prüfung handelt es sich um indirekte Verfahren. Dies bedeutet, dass die erwünschte Aussage i.a. nicht direkt (z.B. durch eine Bohrung oder Probenahme), sondern indirekt durch Interpretation von physikalischen Messwerten (Größe, Verlauf) erhalten werden. Eine Interpretation kann naturgemäß nur eine beschränkte Sicherheit bieten. Sie wird z.B. von folgenden Faktoren beeinflusst: Untersuchungsprogramm, Messbedingungen und Datenqualität, Vorkenntnisse und Erfahrung. Unter Umständen kann es auch verschiedene Interpretationsmöglichkeiten geben.

Tabelle 1: Spezifische elektrische Widerstände für Sedimente, Ablagerungen, Festgesteine und Wässer.

Material	Wertebereich (Ohmmeter) Minimum	Maximum	Material	Wertebereich (Ohmmeter) Minimum	Maximum
Kies	50 (wassergesättigt)	$>10^4$ (trocken)	Haus- u. Industriemüll	< 1	>1000 (Plastik)
Sand	50 (wassergesättigt)	$>10^4$ (trocken)	Sandstein	< 50 (klüftig,feucht)	$>10^5$ (kompakt)
Schluff	20	50	Kalkstein	100 (klüftig,feucht)	$>10^5$ (kompakt)
Geschiebemergel	30	70	Tonschiefer	50 (klüftig,feucht)	$>10^5$ (kompakt)
Lößlehm	30	100	Magmatite, Metamorphite	150 (verwittert,feucht)	$>10^6$ (kompakt)
Lehm (als Ziegel)	500	5000	Schwarzschiefer	<1	50
Ton (erdfeucht)	3	30	Steinsalz	30 (feucht)	$>10^6$ (trocken)
Ton (trocken)		>1000	Destilliertes Wasser		$>10^3$
Torf, Humus, Schlick	15	25	Schneefirn		$>10^5$
Mudde, Faulschlamm	10	40	Natürliche Wässer	10	300
Moorböden	10	150	Meerwasser (35‰ NaCl)	0,25	
Braunkohle	10	150	Salzlaugen	<0,1	
Steinkohle	100	10^6			
Erdöl	10^9	10^{12}			
Ölsand (trocken)	10^4	10^{15}			

Telefon 0721 / 28 678, Telefax 0721 / 25 408 GGU, Amalienstraße 4, D-76133 Karlsruhe

3. Die Untersuchung

Auftrag: Die Beauftragung erfolgte am 01.12.2015 durch Herrn Pfeiffer (Ingenieurbüro für Geotechnik Pfeiffer, Leonberg).

Auftragsgrundlage ist unser Angebot vom 26.11.2015.

Vorgehensweise: Bei einer Ortsbegehung mit Herrn Pfeiffer (Ingenieurbüro für Geotechnik Pfeiffer) wurde das Untersuchungsgebiet festgelegt. Abschnitte mit steilen Hängen, dichtem Bewuchs und Auffüllungen mit Mächtigkeiten von mehr als 4 bis 5 m sind dabei von der elektromagnetischen Erkundung ausgeschlossen worden. In den verbleibenden Bereichen erfolgte eine weitestgehend flächendeckende elektromagnetische Widerstandskartierung. Nach der Auswertung dieser Daten wurde die Lage von zwei Profilen für die geoelektrische 2D-Widerstandstomografie gemeinsam mit Herrn Pfeiffer von dem Ingenieurbüro für Geotechnik Pfeiffer festgelegt und die Messungen entlang dieser Linien durchgeführt.

örtliche Verhältnisse: Das Untersuchungsgebiet wies insgesamt gute Messbedingungen auf. Im Bereich des Skateparks und des Spielplatzes sowie von Einbauten, wie Gullys oder Leitungen, können die Messwerte der elektromagnetischen Widerstandskartierung durch metallhaltige Materialien beeinflusst worden sein. Der relativ feuchte Boden ermöglichte eine sehr gute elektrische Ankopplung der Elektroden für die geoelektrische 2D-Widerstandstomografie. Bis auf die steilen Hänge und einige kleinere Flächen mit dichtem Bewuchs bzw. Bauten auf dem Spielplatz und in dem Skatepark war das Messgebiet sehr gut zugänglich.

Koordinatensystem: Für die elektromagnetische Widerstandskartierung wurden insgesamt vier lokale Koordinatensysteme festgelegt. Innerhalb dieser Koordinatensysteme befanden sich Maßbänder zur Positionierung der Messpunkte, welche in einem Messraster von 3 x 3 m angeordnet sind. Die vier Koordinatensysteme wurden mit einem hochgenauen RTK GPS-System von Trimble in Gauß-Krüger-Koordinaten (Rechts-Hochwerte) eingemessen. RTK bedeutet eine sofortige Positionierungsgenauigkeit im Zentimeterbereich. Das GPS-System verwendet GNSS (= amerikanisches GPS + russisches GLONASS). Den Ergebnisplänen liegt das Koordinatensystem DHDN 9 (Streifen 3) zugrunde (siehe Abbildungen). Mit dem GPS-System wurden zudem die beiden Profile der geoelektrischen 2D-Widerstandstomografie sowohl in ihrer Lage als auch in ihrer Höhe eingemessen. Ihre Lage und die Lage der Messpunkte der elektromagnetischen Widerstandskartierung können dem Lageplan **L** entnommen werden.

Telefon 0721 / 28 678, Telefax 0721 / 25 408 GGU, Amalienstraße 4, D-76133 Karlsruhe

Elektromagnetische Widerstandskartierung

Messung:	Messfrequenz:	9,76 kHz
	Dipolabstand:	3,7 m
	Anordnung:	vertikale Dipole (horizontale Spulen)
	Messhöhe:	0,8 m über GOK
	Tiefenbereich:	0 m bis ca. 6 m, integral
	Messgröße:	scheinbarer spezifischer elektrischer Widerstand in Ωm
	Apparatur:	digitale Elektromagnetik-Apparatur mit fixem Spulenabstand
Messprogramm:	Datenaufnahme:	flächendeckend als 3 x 3 m - Messraster
	Messfeldgröße der Widerstandskartierung:	ca. 15.255 m²
Auswertung:	Graphische Darstellung	
	Ansprache der Messergebnisse im Hinblick auf die Fragestellung und unter Berücksichtigung der Ergebnisse der 2D-Widerstandstomografie	

2D-Widerstandstomografie

Messung:	Messgröße:	Elektrodenstrom, Sondenspannung
	Apparatur:	hochauflösende digitale Multikanal-Geoelektrikapparatur ARES Messspannung bis 700 V und -strom bis 1,5 A sog. intelligente Elektroden

Messprogramm:	Anzahl der Profile:	2
	Länge der Profile:	190 m (WT-1) bzw. 162 m (WT-2)
	Messanordnung:	Wenner-Schlumberger
	Elektrodenabstand:	2,0 m
	min. Auslagenlänge:	6,0 m
	max. Auslagenlänge:	125 m (WT-1) bzw. 100 m (WT-2)
	theoretische max. Eindringtiefe:	25 m (WT-1) bzw. 20 m (WT-2)

Telefon 0721 / 28 678, Telefax 0721 / 25 408 GGU, Amalienstraße 4, D-76133 Karlsruhe

Verbesserungen: Kontrolle der Übergangswiderstände

IP-Einstellung für die Messspannung (erhöhter Messstrom) für eine Verbesserung des Nutz-/Störsignalverhältnisses

Lange Zykluszeiten für eine Verbesserung des Nutz-/Störsignalverhältnisses

Kontrolle und Beurteilung der Widerstandsdaten vor Ort

Auswertung: Berechnung der scheinbaren spezifischen elektrischen Widerstände ρ_s

Entfernen unplausibler Messwerte

Implementieren der Höhenwerte in die Datensätze

Berechnung von Widerstandstiefenmodellen $\rho(z,x)$ mittels des Inversionsprogramms RES2DINV von Geotomo Software:

Test-Inversionen mit verschiedenen Einstellungen:
Variation des Verhältnisses der vertikalen zur horizontalen Wichtung (0,5, 1,0 und 2,0);
Glatte Standardinversion und Robuste Inversion;
Darstellung und Beurteilung der Ergebnisse der jeweils ersten drei Iterationen

Finale Einstellung für die Inversionen (siehe Abbildung **WT**):
Verhältnis der vertikalen zur horizontalen Wichtung 0,5;
Verfeinerung des Gitters (Finer Mesh) mit vier Knoten;
Standardinversion durch die Minimierung der kleinsten Fehlerquadrate zwischen den gemessenen und berechneten scheinbaren spezifischen elektrischen Widerständen (Gauss-Newton-Optimierung);
Verwendung der zweiten Iteration

Graphische Darstellung als Widerstandstiefenschnitte und erneute Darstellung durch Grafikprogramm mit optimierter Farbwahl

Interpretation: Ansprache der Messergebnisse im Hinblick auf die Fragestellung und unter Berücksichtigung der Ergebnisse der elektromagnetischen Widerstandskartierung

Telefon 0721 / 28 678, Telefax 0721 / 25 408 GGU, Amalienstraße 4, D-76133 Karlsruhe

4. Ergebnisse

4.1 Vorbemerkungen

Mittels der elektromagnetischen Widerstandskartierung sollen potentielle Karsterscheinungen detektiert werden. Da im Bereich dieser geologischen Strukturen mit Auflockerungen bzw. Ausspülungen zu rechnen ist, sollte sich die elektrische Leitfähigkeit in diesen Abschnitten von den ungestörten Bereichen unterscheiden, was die Grundlage für die Untersuchungen mit geoelektrischen Verfahren bildet.

Zu beachten ist bei der elektromagnetischen Widerstandskartierung, dass die Messungen einen integralen Wert über den Tiefenbereich von 0 bis ca. 6 m für jeden Messpunkt liefern.

Entlang der Profile der geoelektrischen 2D-Widerstandstomografie soll zudem der Verlauf der mit der elektromagnetischen Widerstandskartierung erfassten auffälligen Bereiche mit der Tiefe erkundet werden.

Da keine Ergebnisse aus Bohrungen oder Aufschlüssen vorliegen, können die Messergebnisse hinsichtlich ihrer Materialien nicht eindeutig angesprochen werden.

4.2 Beschreibung und Interpretation der Ergebnisse - 2D-Widerstandstomografie

Die Ergebnisse der 2D-Widerstandstomografie sind in der Abbildung **WT** dargestellt. Insgesamt zeigen die Inversionsergebnisse mit Werten zwischen ca. 10 und 250 Ωm einen relativ großen Wertebereich. Deutlich sind in beiden Tomogrammen drei verschiedene Schichten erkennbar. Schicht 3 weist mit Werten zwischen ca. 50 und 250 Ωm (orangefarbene und rote Bereiche in Abb. **WT**) die größten gemessenen spezifischen elektrischen Widerstände auf. Bei dieser Schicht handelt es sich vermutlich um den in dieser Gegend vorkommenden Gips. Schicht 2 ist dagegen mit Werten zwischen ca. 10 und 25 Ωm sehr niederohmig (blaue Bereiche in Abb. **WT**). Generell deuten so hohe elektrische Leitfähigkeiten auf sehr bindige, lehmige Schichten wie beispielsweise Verwitterungshorizonte hin. Die oberste Schicht 1 besitzt dagegen spezifische elektrische Widerstände von ca. 25 bis 70 Ωm (grüne, gelbe und orangefarbene Bereiche in Abb. **WT**). Gegebenenfalls zeigen diese oberflächennahen, mittel- bis hochohmigen Abschnitte die Materialien der vermuteten Auffüllung an. In beiden Profilen ist erkennbar, dass die Mächtigkeit dieser Schicht stark variiert.

Telefon 0721 / 28 678, Telefax 0721 / 25 408 GGU, Amalienstraße 4, D-76133 Karlsruhe

Auffällige Bereiche sind kategorisiert und in der Abbildung **WT** gekennzeichnet worden. Auf Profil WT-1 verlaufen die beiden unteren Schichten relativ gleichmäßig. Nur zwischen den Profilmetern ca. 150 und 170 setzt sich die niederohmige Schicht 2 in größere Tiefen fort. Dort besteht ein geringer Verdacht auf Karsterscheinungen (Kategorie 3). Auf Profil WT-2 besteht auf ca. den ersten 45 Profilmetern dagegen ein sehr hoher Verdacht auf Karsterscheinungen (Kategorie 1), da sich sehr hochohmige Materialien bis zur Erdoberfläche und sehr niederohmige Materialien in größere Tiefen ausdehnen. Etwas schwächer ausgeprägt und deshalb in die Kategorien 3 bzw. 2 eingestuft sind die beiden gekennzeichneten, mittel- bis niederohmigen Anomalien zwischen den Profilmetern ca. 98 und 112 bzw. ab ca. 138.

4.3 Beschreibung und Interpretation der Ergebnisse - Elektromagnetische Widerstandskartierung

Die Ergebnisse der elektromagnetischen Widerstandskartierung sind in Abbildung **WK** dargestellt. Die scheinbaren spezifischen elektrischen Widerstände betragen zwischen ca. 10 Ωm und ca. 50 Ωm. Damit weisen sie insgesamt relativ nieder- bis mittelohmige Werte auf. Die sehr geringen spezifischen elektrischen Widerstände im Bereich des Skateparks resultieren vermutlich von den Skatebahnen und den Materialien in und unter der Bodenplatte. Die weiteren niederohmigen Abschnitte können dagegen als ein Hinweis auf die Mächtigkeit der Schicht 1 interpretiert werden. Da die Mächtigkeit der Schicht 1 stark variiert, variiert entsprechend auch der Anteil der gut und weniger gut leitfähigen Materialien, die integral bis zu einer maximalen Tiefe von 6 m erfasst werden. Deswegen zeichnet sich beispielsweise der Graben im Messgebiet in Form von geringeren scheinbaren spezifischen elektrischen Widerständen in den Daten ab.

Der höherohmige Bereich im Süden des Untersuchungsgebietes wurde stellenweise mit dem Profil WT-1 ebenfalls erfasst und bereits mit einem sehr hohen Verdacht auf Karsterscheinungen interpretiert. Der höherohmige Bereich im Norden ist an dessen östlichen Rand ebenfalls von Profil WT-1 gemessen worden. Dieser Bereich wurde wegen seiner weniger starken Ausprägung als Abschnitt mit mittlerem Verdacht auf Karsterscheinungen kategorisiert. Unter Umständen sind die höherohmigen Daten im Norden des Messgebietes zusätzlich noch von hochohmigen Einbauten beeinflusst. Durch die steile Böschung und die daraus folgende Messlücke kann der Verlauf dieser Anomalie in Richtung Süden nicht verfolgt werden. Ggf. setzt sie sich noch geringfügig in Richtung Süden fort. Deshalb wurde der mit Werten von ca. 36 bis 45 Ωm auffällige Abschnitt am oberen Rand der Böschung als Bereich mit geringem Verdacht auf Karsterscheinungen eingestuft. Die geringeren mittelohmigen Werte am Rand der Böschung resultieren dagegen vermutlich aus einer höheren Mächtigkeit von Schicht 1.

Telefon 0721 / 28 678, Telefax 0721 / 25 408 GGU, Amalienstraße 4, D-76133 Karlsruhe

4.4 Zusammenfassung

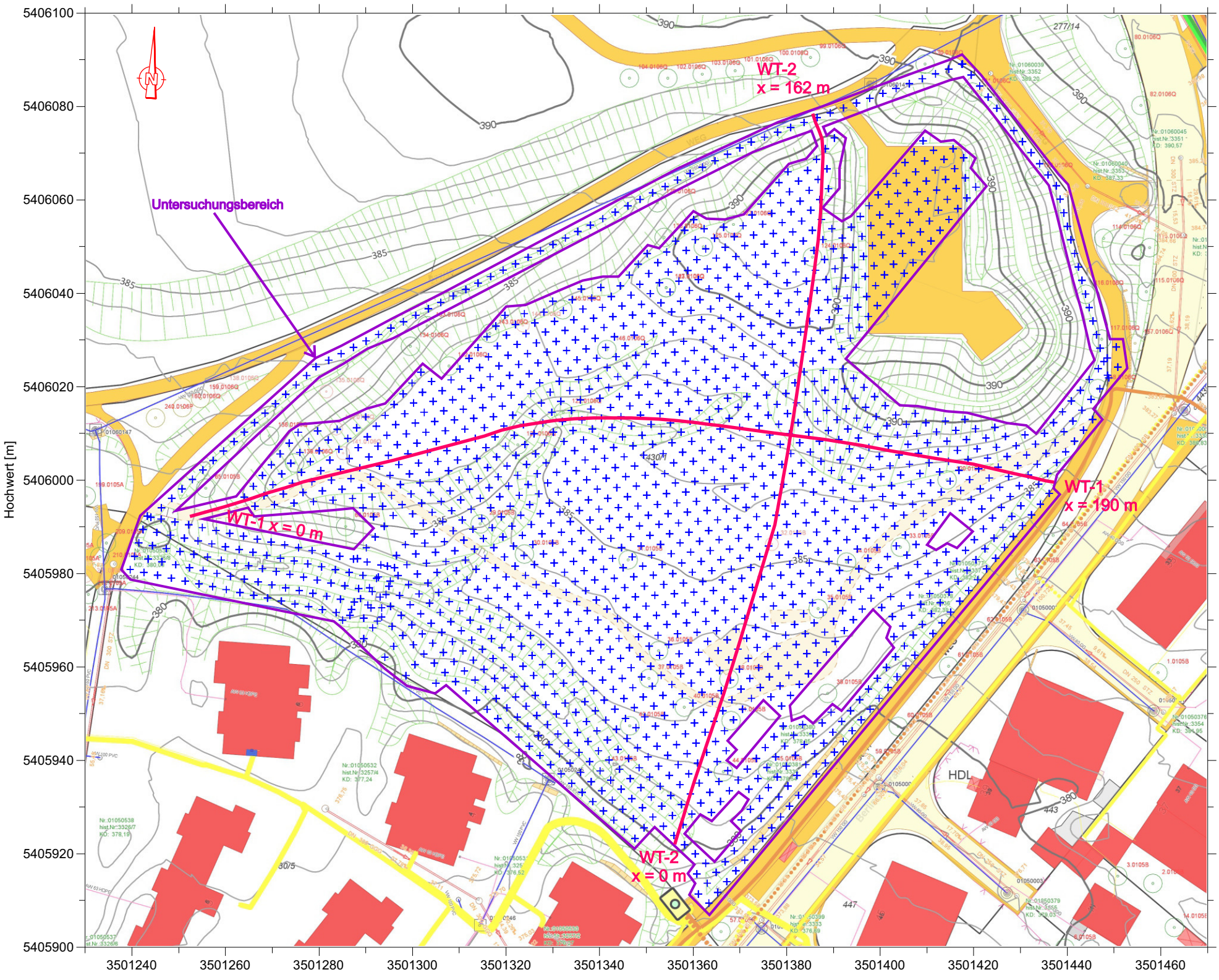
Die zuvor beschriebenen Verdachtsflächen wurden in die Ergebnisabbildung **E** übertragen. Es ergeben sich somit eine Fläche mit hohem Verdacht auf Karsterscheinungen (Kategorie 1), eine Fläche mit mittlerem Verdacht auf Karsterscheinungen (Kategorie 2) und drei Flächen mit nur geringem Verdacht auf Karsterscheinungen (Kategorie 3). Es wird empfohlen, insbesondere in den Bereichen der Kategorien 1 und 2 Erkundungsbohrungen durchzuführen.

Karlsruhe, den 22.12.2015

Dipl.-Geophys. B. Illich
(Geschäftsführer)

Dr. Dipl.-Geophys. M. Bock
(Projektleiterin)

Telefon 0721 / 28 678, Telefax 0721 / 25 408 GGU, Amalienstraße 4, D-76133 Karlsruhe



Legende:

\+ Messpunkte der elektromagnetischen Widerstandskartierung

Messlinien der geoelektrischen 2D-Widerstandstomografie

Hintergrundplan:
GIS-Auskunft der
Stadt Leonberg
vom 02.11.2015
(Stefan Rosenbauer)

Koordinatensystem:
Gauß-Krüger (DHDN 9 / Streifen 3)

Maßstab 1:1000

GGU mbH, Amalienstraße 4, D-76133 Karlsruhe
tel.: +49-721-28678, fax: +49-721-25408
email: mail@ggukarlsruhe.net, net: www.ggukarlsruhe.de

Abb.: L

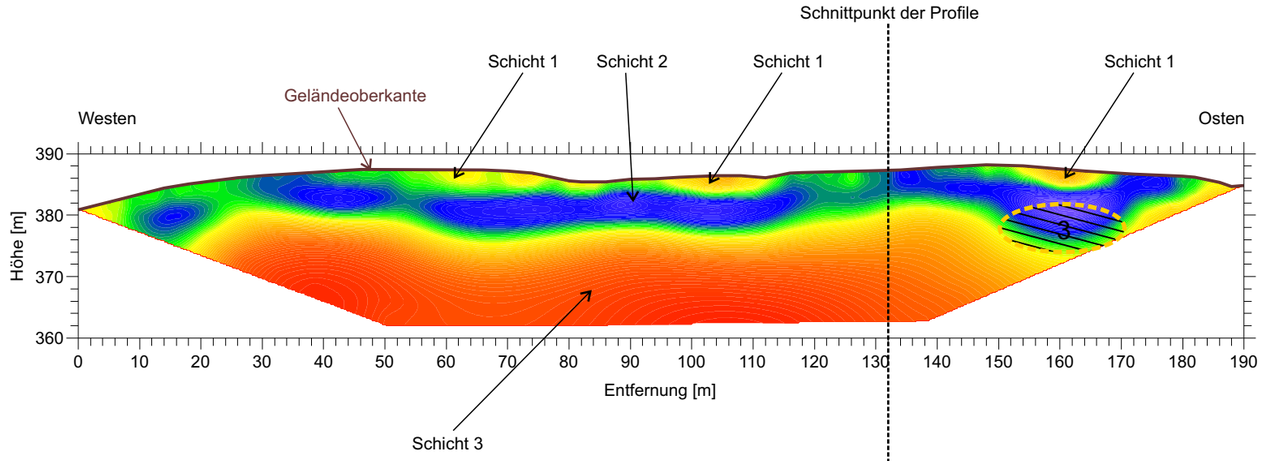
Proj.: 15-176

Stadtpark Leonberg

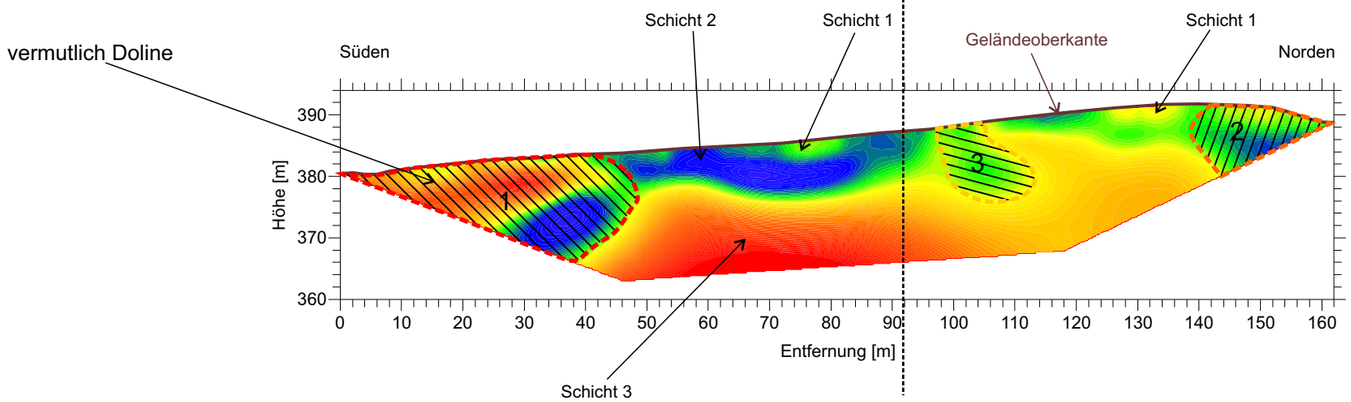
Geoelektrische Erkundung nach potentiellen Karsterscheinungen
Lageplan der Messlinien und Messpunkte

Dat.: 12 / 2015 | Bearb.: BO | Auftraggeber: Ingenieurbüro für Geotechnik Pfeiffer, Leonberg

Profil WT-1



Profil WT-2



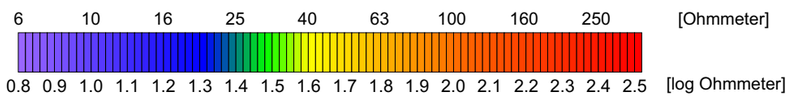
Legende

Verdacht auf Karsterscheinungen:

- 1 Kategorie 1 (hoher Verdacht)
- 2 Kategorie 2 (mittlerer Verdacht)
- 3 Kategorie 3 (geringer Verdacht)

Schicht 1: hochohmige Schicht
Schicht 2: niederohmige Schicht
Schicht 3: mittel- bis hochohmige Schicht

Die variierende Mächtigkeit der Schicht 1 bewirkt einen variierenden Anteil von gut zu schlecht leitfähigen Materialien in den ersten 6 m unterhalb der Geländeoberkante, was sich deutlich in den Ergebnissen der elektromagnetischen Widerstandskartierung abzeichnet (siehe Abb. **WK**).



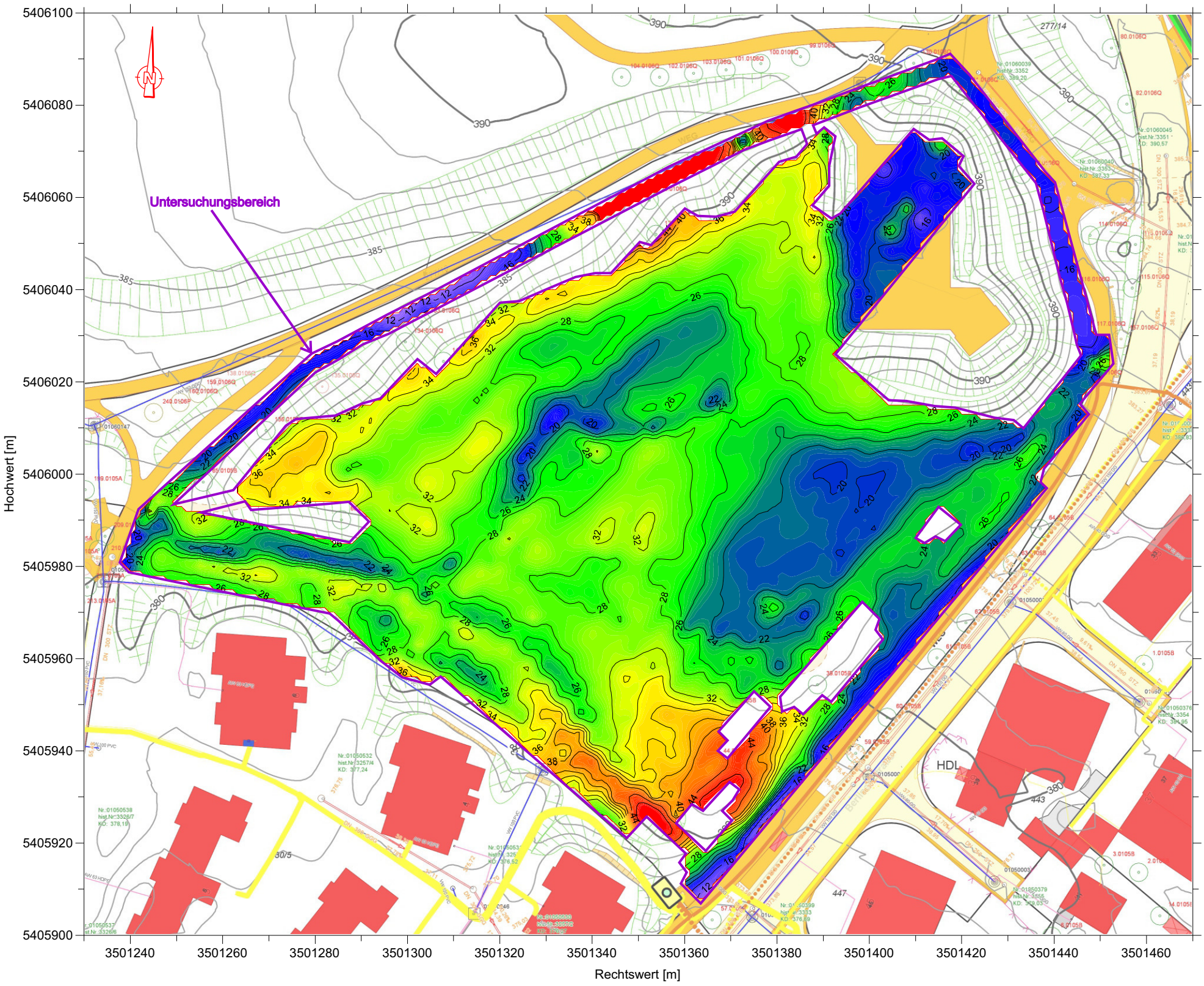
Maßstab 1:1000

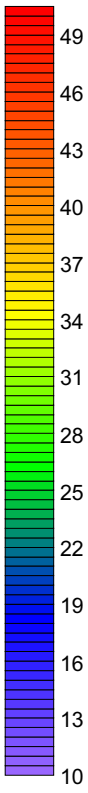
GGU
GGU mbH, Amalienstraße 4, D-76133 Karlsruhe
tel.: +49-721-28678, fax: +49-721-25408
email: mail@ggukarlsruhe.net, net: www.ggukarlsruhe.de

Abb.: WT
Proj.: 15-176

Stadtpark Leonberg
Geoelektrische Erkundung nach potentiellen Karsterscheinungen
2D-Widerstandstomogramme der Profile WT-1 und WT-2

Dat.: 12 / 2015 | Bearb.: BO | Auftraggeber: Ingenieurbüro für Geotechnik Pfeiffer, Leonberg





Scheinbarer spezifischer elektrischer Widerstand
[Ohmmeter]

Hintergrundplan:
GIS-Auskunft der
Stadt Leonberg
vom 02.11.2015
(Stefan Rosenbauer)

Koordinatensystem:
Gauß-Krüger (DHDN 9 / Streifen 3)

Maßstab 1:1000

GGU mbH, Amalienstraße 4, D-76133 Karlsruhe
tel.: +49-721-28678, fax: +49-721-25408
email: mail@ggukarlsruhe.net, net: www.ggukarlsruhe.de

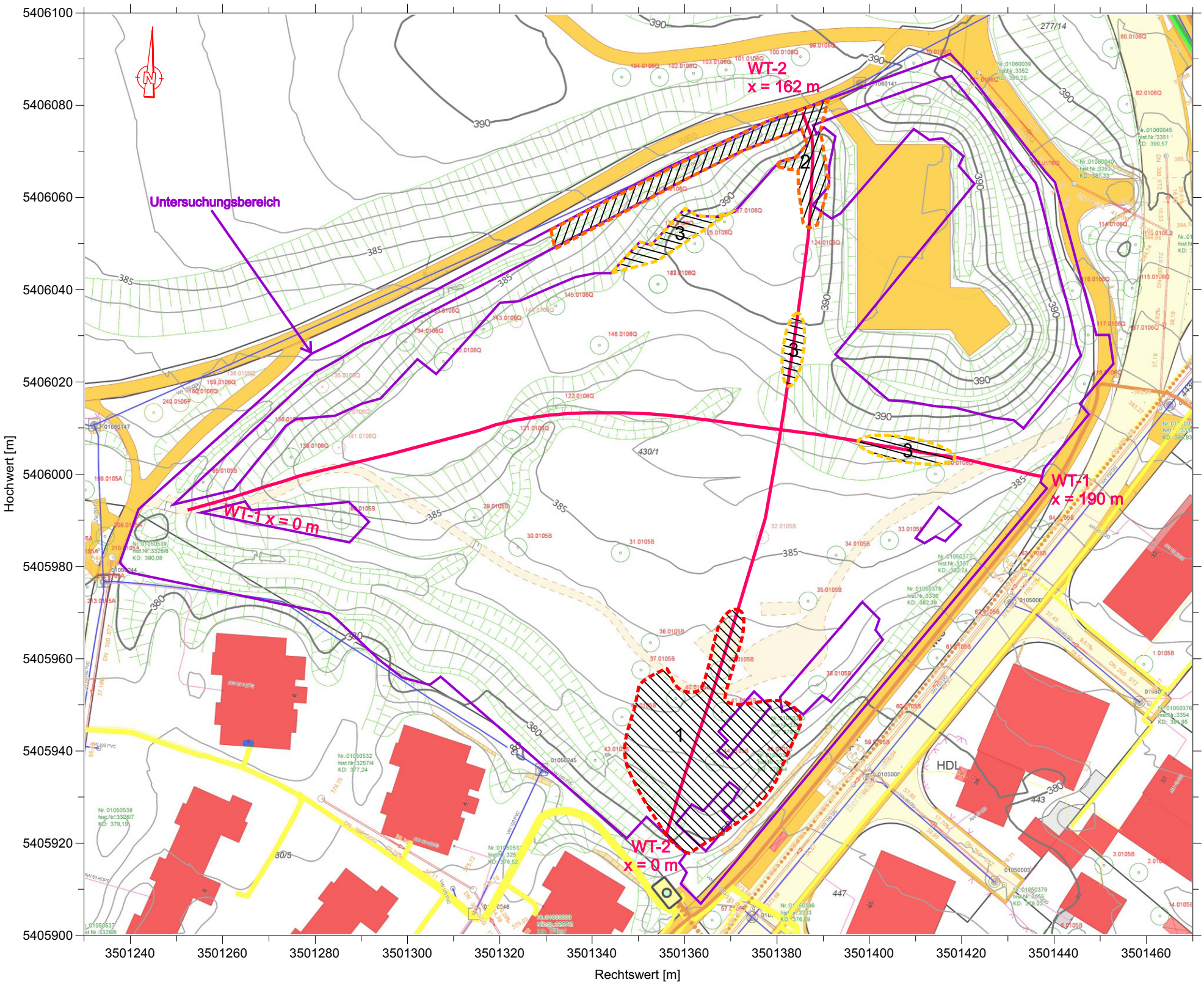
Abb.: WK

Proj.: 15-176

Stadtpark Leonberg

Geoelektrische Erkundung nach potentiellen Karsterscheinungen
Elektromagnetische Widerstandskartierung (Tiefenbereich: 0 - 6 m)

Dat.: 12 / 2015	Bearb.: BO	Auftraggeber: Ingenieurbüro für Geotechnik Pfeiffer, Leonberg



Legende

Verdacht auf Karsterscheinungen:

- 1 — Kategorie 1 (hoher Verdacht)
- 2 — Kategorie 2 (mittlerer Verdacht)
- 3 — Kategorie 3 (geringer Verdacht)

Hintergrundplan:
GIS-Auskunft der
Stadt Leonberg
vom 02.11.2015
(Stefan Rosenbauer)

Koordinatensystem:
Gauß-Krüger (DHDN 9 / Streifen 3)

Maßstab 1:1000

GGU mbH, Amalienstraße 4, D-76133 Karlsruhe
tel.: +49-721-28678, fax: +49-721-25408
email: mail@ggukarlsruhe.net, net: www.ggukarlsruhe.de

Abb.: E

Proj.: 15-176

Stadtpark Leonberg

Geoelektrische Erkundung nach potentiellen Karsterscheinungen
Plan mit der Interpretation der Ergebnisse beider Messverfahren

Dat.: 12 / 2015 | Bearb.: BO | Auftraggeber: Ingenieurbüro für Geotechnik Pfeiffer, Leonberg

Die Frequenzbereichs-Elektromagnetik

(Zweispulen-System)

Aufgabe

Einfache Abschätzung bis hin zur quantitativen Ermittlung der strukturellen Untergrundsituation aufgrund der Verteilung des spezifischen elektrischen Widerstandes bzw. der elektrischen Leitfähigkeit.

Verfahrensvarianten

Kartierung/Profilierung	liefert flächenhafte oder linienhafte Aussagen in Form von integralen Werten (= Conductivity Mapping, Profiling)
Sondierung	liefert an einer Stelle Aussagen über den etwaigen vertikalen Schichtaufbau

Anwendungen

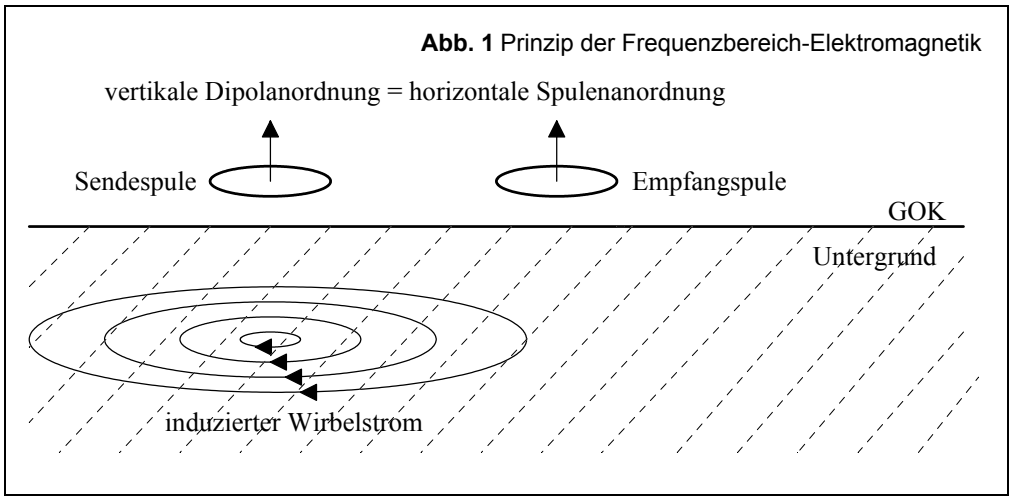
Geologie, Hydrogeologie	Erkundung nach Grundwasserleitern und -stauern, geologischen Störungen und Verwerfungen, Lagerstätten, Erosionsrinnen, Plazierung von Bohrungen, Verkarstung
Baugrund, Altlasten	Abschätzung von Schichtmächtigkeiten, Suche nach Hohlräumen und größeren Bauwerksresten, Deponiegrenzen und -gliederung, Schadstoffahnen
Weiteres	archäologische Vorerkundung

Verfahrensgrundlagen

Das hier beschriebene elektromagnetische Zweispulen-System arbeitet im Frequenzbereich (Frequenzbereichs-Elektromagnetik FEM im Unterschied zur Zeitbereichs-Elektromagnetik TEM). Es handelt sich um ein aktives Verfahren: Von der Sendespule wird ein primäres Magnetfeld erzeugt, wodurch im Untergrund Wirbelströme induziert werden (siehe Abbildung 1). Diese wiederum erzeugen ein sekundäres Magnetfeld. In der Empfangspule wird sowohl durch das primäre wie auch durch das sekundäre Magnetfeld ein Strom induziert. Dieser wird gemessen. Auf elektronischem Wege wird der Anteil des primären Magnetfeldes eliminiert, sodaß der Einfluß des interessierenden sekundären Magnetfeldes übrig bleibt.

Der durch das sekundäre Magnetfeld induzierte Stromanteil ist (im Meßbereich) der elektrischen Bodenleitfähigkeit direkt proportional. Das sekundäre Magnetfeld ist stark bei hoher Bodenleitfähigkeit und schwach bei niedriger Leitfähigkeit.

Abb. 1 Prinzip der Frequenzbereich-Elektromagnetik



copyright by GGU Karlsruhe, FEM04-C.lwp 2001

✆ Telefon 0721 / 28 678, Telefax 0721 / 25 408, e-mail: ggukarlsruhe@aol.com, net: www.ggukarlsruhe.de
✉ GGU, Amalienstraße 4, D-76133 Karlsruhe

Eindringtiefe

Die Eindringtiefe kann durch Wahl des Spulenabstandes bzw. der Spulenorientierung (vertikal oder horizontal) mit zugehöriger Meßfrequenz entsprechend den Möglichkeiten des Meßgerätes gesteuert werden. Auch hat die Bodenschichtung (Leitfähigkeitsverteilung) Einfluß auf die Tiefenreichweite.

Bei der Widerstands- oder Leitfähigkeitskartierung wird eine passende Eindringtiefe festgelegt und die Meßwerte mit konstanten Parametern (Frequenz, Spulenabstand und -anordnung) aufgenommen. Das Untersuchungsgebiet wird entlang von Profillinien in einem vorgegebenen Meßpunktabstand abgetastet. Die dabei aufgenommenen Meßwerte werden als Werte des scheinbaren spezifischen elektrischen Widerstandes (oder Leifähigkeit) grafisch (z.B. Isolinienbild) dargestellt.

Bei der Sondierung wird über einem Meßpunkt der Spulenabstand bzw. die Spulenorientierung und gleichzeitig die zugehörige Frequenz verändert, sodaß unterschiedliche Eindringtiefen erreicht werden. Die Meßergebnisse werden einer Modellierung oder Inversion unterzogen, sodaß ein Tiefenmodell erzielt wird.

Die Möglichkeit zur Sondierung ist nur bei Geräten gegeben, bei denen unterschiedliche Frequenzen einstellbar sind. Dies sind Geräte für größere Erkundungstiefen mit typischem Einsatzbereich in der Prospektion. Für geringe Eindringtiefen sind nur Geräte mit einer Frequenz verfügbar. Diese werden z.B. in der Baugrund- und Altlastenerkundung, Archäologie usw. in der Regel kartierend eingesetzt.

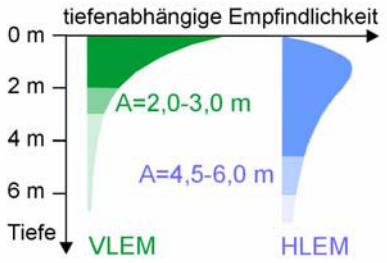


Abb. 2
Tiefenabhängige Empfindlichkeit beim Meßgerät EM 31 (Spulenabstand R = 3,7 m) bei vertikaler (VLEM) und horizontaler (HLEM) Spulenanordnung.
Die vertikale Spulenanordnung besitzt die höchste Empfindlichkeit an der Geländeoberfläche und damit eine geringe Eindringtiefe. Der Aussagebereich reicht ab der Geländeoberkante bis A = 2,0 bis 3,0 m Tiefe.
Mit horizontaler Spulenanordnung wird eine größere Eindringtiefe erreicht. Der Aussagebereich geht bis 4,5 bis 6,0 m Tiefe.

Spezifischer Widerstand/Leitfähigkeit

Der spez. Widerstand ρ (spez. Leitfähigkeit $\sigma = 1/\rho$) ist eine elektrische Materialeigenschaft. Alle Bestandteile eines Materials tragen zu diesem Kennwert bei. In erdfeuchten, mineralischen Materialien dominiert i.a. die Ionengegenüber der Elektronenleitfähigkeit. D.h., daß geringe Widerstände v.a. durch den Wassergehalt bzw. die darin gelösten Salze (Ionen) verursacht sind. Die Zustände trocken oder feucht prägen den Gesamtwiderstand eines Materials und führen zu einer großen Widerstandsbandbreite für ein und dasselbe Material. Ermittelte Werte lassen also keine direkten Aussagen zu (z.B. Gesteinssorte), sondern geben nur Hinweise. Unter Einbezug weiterer Informationsquellen können aber in der Regel konkrete Schlüsse gezogen werden.

Anhaltswerte für spez. Widerstände (spez. Leitfähigkeit), die u.U. in der Praxis deutlich davon abweichen können, sind wie folgt:

Oberboden 50 - 200 Ωm (20 - 5 mS/m)
Schluff (erdfeucht) 20 - 100 Ωm (50 - 10 mS/m)
Kies (erdfeucht) über 1000 Ωm (1 mS/m)
verwittertes Gestein 100 - 1000 Ωm (10 - 1 mS/m)
Sandstein 200 - 5000 Ωm (5 - 0,2 mS/m)
Süßwasser 20 Ωm (50 mS/m)
Ton (erdfeucht) 5 - 20 Ωm (200 - 50 mS/m)
Sand (erdfeucht) 100 - 1000 Ωm (10 - 1 mS/m)
Sand, Kies (gesättigt) 50 - 200 Ωm (20 - 5 mS/m)
Tonstein 100 - 1000 Ωm (10 - 1 mS/m)
unverwitt. Tiefengestein über 5000 Ωm (0,2 mS/m)
Salzwasser unter 1 Ωm (1000 mS/m)

Da bei geschichtetem oder inhomogenem Untergrund die Meßgröße nicht nur durch den Kennwert einer einzelnen Schicht bestimmt wird, sondern in Abhängigkeit der Eindringtiefe durch integrale Werte beeinflußt wird, ergibt sich bei praktischen Untersuchungen der sog. scheinbare spez. Widerstand ρ_s. Der Meßwert beinhaltet Anteile aus einem großen Meßvolumen.

copyright by GGU Karlsruhe, FEM04-C.lwp 2001

✆ Telefon 0721 / 28 678, Telefax 0721 / 25 408, e-mail: ggukarlsruhe@aol.com, net: www.ggukarlsruhe.de
✉ GGU, Amalienstraße 4, D-76133 Karlsruhe

Die Widerstandsgeoelektrik

(Gleichstromgeoelektrik)

Aufgabe

Einfache Abschätzung bis hin zur quantitativen Ermittlung der strukturellen Untergrundsituation aufgrund der Verteilung des spezifischen elektrischen Widerstandes bzw. der Leitfähigkeit.

Verfahrensvarianten

Kartierung/Profilierung	liefert flächenhafte oder linienhafte Aussagen in Form von integralen Werten (= Resistivity Mapping, Profiling)
Sondierung	liefert an einer Stelle Aussagen über den etwaigen vertikalen Schichtaufbau (= VES Vertical Electrical Sounding, Resistivity Sounding)
Sondierungskartierung	liefert entlang einer Linie Aussagen über den ungefähren Schichtaufbau (= Resistivity Imaging, 2D-Tomografie)

Anwendungen

Geologie, Hydrogeologie	Erkundung nach Grundwasserleitern und -stauern, geol. Störungen und Verwerfungen, Lagerstätten, Erosionsrinnen, Plazierung von Bohrungen, Verkarstung
Baugrund, Altlasten	Abschätzung von Schichtmächtigkeiten, Suche nach Hohlräumen und größeren Bauwerksresten, Deponiegrenzen und -gliederung, Schadstoffahnen
Weiteres	archäologische Vorerkundung, Feuchte-Salzverteilung in der Bauwerksdiagnostik

Spezifischer Widerstand

Der spez. Widerstand ρ (spez. Leitfähigkeit σ = 1/ρ) ist eine elektrische Materialeigenschaft. Alle Bestandteile eines Materials tragen zu diesem Kennwert bei. In erdfeuchten, mineralischen Materialien dominiert i.a. die Ionen- gegenüber der Elektronenleitfähigkeit. D.h., daß geringe Widerstände v.a. durch den Wassergehalt bzw. die darin gelösten Salze (Ionen) verursacht sind. Die Zustände trocken oder feucht prägen den Gesamtwiderstand eines Materials und führen zu einer großen Widerstandsbandbreite für ein und dasselbe Material. Ermittelte Werte lassen also keine direkten Aussagen zu (z.B. Gesteinssorte), sondern geben nur Hinweise. Unter Einbezug weiterer Informationsquellen können aber in der Regel konkrete Schlüsse gezogen werden. Anhaltswerte für spez. Widerstände, die u.U. in der Praxis deutlich davon abweichen können, sind wie folgt:

Oberboden 50 - 200 Ωm	Ton (erdfeucht) 5 - 20 Ωm	Schluff (erdfeucht) 20 - 100 Ωm
Sand (erdfeucht) 100 - 1000 Ωm	Kies (erdfeucht) über 1000 Ωm	Sand, Kies (gesättigt) 50 - 200 Ωm
verwittertes Gestein 100 - 1000 Ωm	Tonstein 100 - 1000 Ωm	Sandstein 200 - 5000 Ωm
unverwitt. Tiefengestein über 5000 Ωm	Süßwasser 20 Ωm	Salzwasser unter 1 Ωm

Verfahrensgrundlagen

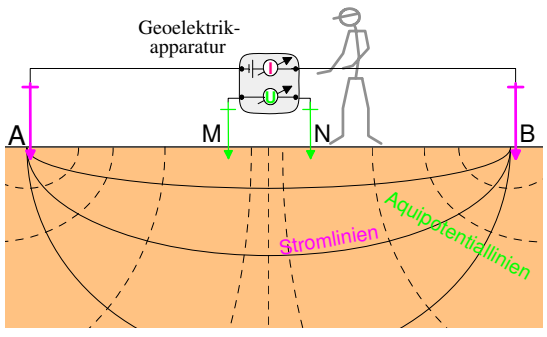
Bei der Widerstandsgeoelektrik wird dem Untergrund bzw. Bauwerk über zwei Stromelektroden A und B ein Gleichstrom I zugeführt. Man betrachtet den stationären Fall, in dem das elektrische Feld **E** allein aus dem Potential U abgeleitet werden kann: **E** = -gradU.

Entsprechend der räumlichen Verteilung des spez. Widerstandes stellt sich ein zeitunabhängiges elektr. Feld bzw. das damit verbundene Potential U ein. Zwischen zwei Sonden M und N kann die Potentialdifferenz an der Oberfläche gemessen werden:

$$\Delta U = U_M - U_N = \frac{I*\rho}{2*\pi}\left[\left(\frac{1}{r_{AM}} - \frac{1}{r_{BM}}\right) - \left(\frac{1}{r_{AN}} - \frac{1}{r_{BN}}\right)\right]$$

Der die Sonden- bzw. Elektroden-Abstände r enthaltende Ausdruck (in eckigen Klammern) wird als Konfigurationsfaktor K zusammengefaßt. Er berücksichtigt die verwendete Anordnung der Sonden und Elektroden an der Oberfläche. Der spez. Widerstand ergibt sich damit zu ρ = K*ΔU/I.

Abb. 1 Prinzip der Widerstandsgeoelektrik



Da bei geschichtetem oder inhomogenem Untergrund die Meßgröße nicht nur durch den Kennwert einer einzelnen Schicht bestimmt wird, sondern in Abhängigkeit der Eindringtiefe durch integrale Werte beeinflußt wird, ergibt sich bei praktischen Untersuchungen der sog. scheinbare spez. Widerstand ρ_s = K*ΔU/I. Der Meßwert beinhaltet Anteile aus einem großen Meßvolumen. Dies ist in den Abb. 2, 5 und 8 stark vereinfacht durch Kreise symbolisiert

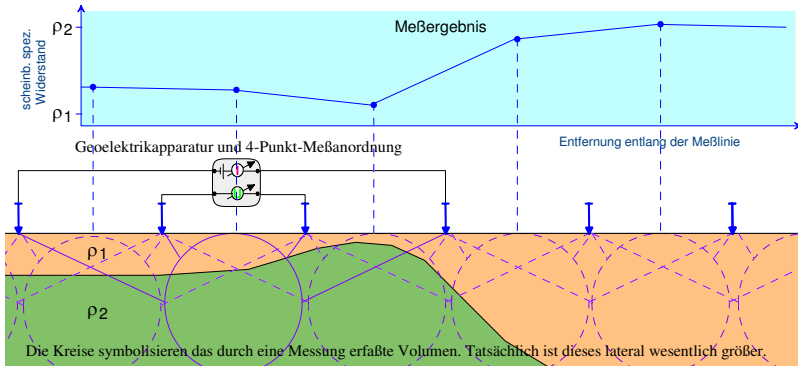
copyright by GGU Karlsruhe, WID11-C.LWP 2011

✆ Telefon 0721 / 28 678, Telefax 0721 / 25 408, E-Mail: mail@ggukarlsruhe.net, Internet: www.ggukarlsruhe.de
GGU, Amalienstraße 4, D-76133 Karlsruhe

Widerstandskartierung und -profilierung

Prinzip (s. Abb. 2 und 3)
Bei der Widerstandskartierung erfolgt die Messung, indem die Elektroden-Sonden-Anordnung im vorgesehenen Meßraster von Meßpunkt zu Meßpunkt wandert und so flächig der scheinbare spez. Widerstand erkundet wird. Die Meßanordnung bleibt dabei gleich, so daß auch die Eindringtiefe in etwa gleich bleibt. Die Ergebnisse werden als Karte des scheinbaren spez. Widerstandes dargestellt. In vielen Fällen ist es sinnvoll, Kartierungen mit mehreren Eindringtiefen vorzunehmen, um abschätzen zu können, aus welchen Tiefen die erkennbaren Widerstandsveränderungen stammen. Bei der Widerstandsprofilierung erfolgt die Untersuchung und Datendarstellung entlang von Meßlinien.

Abb. 2 Prinzip der Widerstandskartierung- und -profilierung



Meßanordnungen (s. Abb. 4)
Grundsätzlich besteht eine große Wahlfreiheit bei der Anordnung der Elektroden und Sonden in der Widerstandsgeoelektrik. Aus meßtechnischen und ökonomischen Erwägungen wird aber nur eine kleine Anzahl von Möglichkeiten verwendet. Überwiegend befinden sich die Elektroden bzw. Sonden in eine Linie, so daß die Widerstandsbestimmung stark richtungsabhängig ist. Es kann deshalb sinnvoll sein, mit mehreren Auslagerichtungen zu messen, um orientierte Strukturen besser erfassen zu können (z.B. Klüfte).
Die am häufigsten verwendete Anordnung für die Kartierung bzw. -Profilierung ist die nach Wenner. Bei ihr haben alle Elektroden und Sonden den gleichen Abstand a. Ihr Vorteil liegt in der geringen Empfindlichkeit auf laterale Inhomogenitäten. Die Dipol-Dipol-Anordnung liefert eine erhöhte laterale Auflösung. Die Gradientenanordnung erlaubt für geringe Untersuchungstiefen eine rasche Kartierung, weil A und B fix bleiben. Für sie werden i.a. keine spez. Widerstände berechnet.

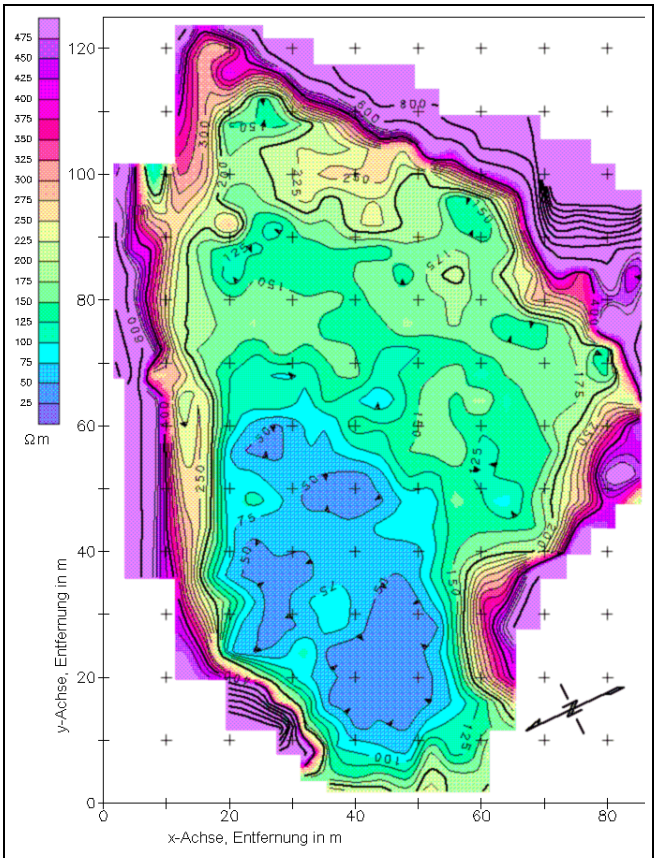


Abb. 3 Isolinienplan des scheinb. spez. Widerstandes, ermittelt durch eine Widerstandskartierung. Die Werteverteilung zeigt die Grenzen einer Deponie sowie ihre Gliederung.

Tiefenangaben/Genauigkeit
Mit der Festlegung der Anordnung bzw. der Länge ihrer Auslage wird eine grobe Eindringtiefe gewählt. Die Eindringtiefenangabe besagt, daß die Wirkung des Untergrundes bis etwa in diese Tiefe integral erfaßt wird. Eine erste Näherung für die Eindringtiefe ist 1/4 der Gesamtlänge der Anordnung. Die tatsächliche Eindringtiefe hängt neben der Anordnung von den Schichtmächtigkeiten und den spez. Widerständen ab. Beispielsweise wird bei einer hochohmigen Deckschicht der Strom in die niederohmige liegende Schicht geleitet, wodurch die Eindringtiefe steigt. Umgekehrt bewirkt eine niederohmige Deckschicht, daß der Strom nur bei stark vergrößerter Auslage in eine liegende hochohmige Schicht eindringt. Das laterale Auflösungsvermögen stimmt grob mit der Eindringtiefe überein. Inhomogenitäten nahe der Elektroden können den Meßwert verfälschen. Bei sehr hoher Anforderung ist deshalb eine Datenredundanz wünschenswert (Überlappung der Messungen).

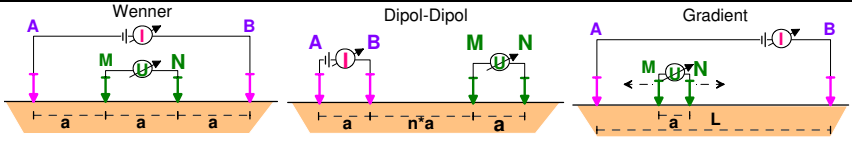


Abb. 4 Einige Meßanordnungen der Kartierung und Profilierung

copyright by GGU Karlsruhe, WID11-C.LWP 2011

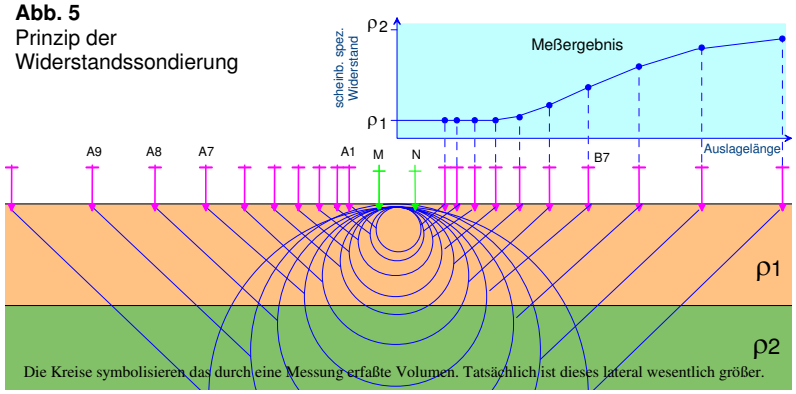
✆ Telefon 0721 / 28 678, Telefax 0721 / 25 408, E-Mail: mail@ggukarlsruhe.net, Internet: www.ggukarlsruhe.de
GGU, Amalienstraße 4, D-76133 Karlsruhe

Widerstandssondierung

Prinzip (s. Abb. 5 und 6)

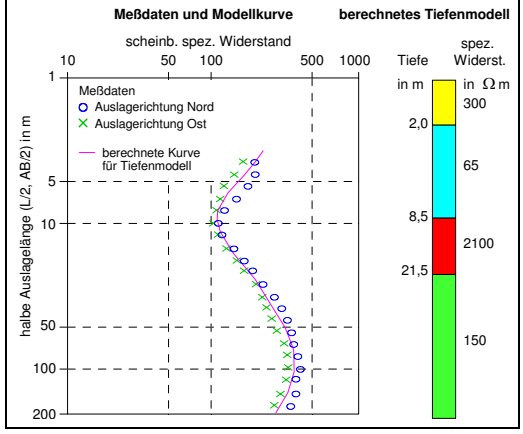
Die Messung bei der Widerstandssondierung erfolgt, indem i.d.R. die Sonden M und N am Bezugspunkt fix bleiben und die Stromelektroden A und B schrittweise mit größeren Abständen gesteckt werden, um die Eindringtiefe zu erhöhen. D.h., je größer die gewünschte Eindringtiefe, desto größer ist der Platzbedarf an der Oberfläche.

Abb. 5
Prinzip der Widerstandssondierung



Das Meßergebnis ist ein Diagramm des scheinb. spez. Widerstandes in Abhängigkeit von der Auslagelänge. I.a. werden daraus durch eindimensionale rechnerische Inversion oder Vorwärtsmodellierung Tiefenmodelle für den ebenen Schichtenfall bestimmt. Dabei werden synthetische Daten eines Tiefenmodells an die Meßdaten bestmöglich angepaßt. Die Anzahl der möglichen Modelle wird durch Vorkentnisse der geologischen Situation und durch Plausibilitätsbetrachtungen reduziert.

Abb. 6
Inversion einer Widerstandssondierung



Meßanordnungen (s. Abb. 7)

Für die Widerstandssondierung werden häufig die Schlumberger- und teilweise die halbe Schlumbergeranordnung (Hummel) verwendet, da sie eine hohe Schichtauflösung besitzen. Bei ihnen haben die Sonden einen fixen, geringen Abstand. Der Elektrodenabstand wird variiert.
Es können mehrere Auslagerichtungen für einen Sondierungspunkt gewählt werden. Bei einer Drehsondierung wird in mehreren Richtungen ausgelegt, z.B. 8 Auslagerichtungen im Vollkreis mit jeweils 45° Winkelabstand. Dies dient z.B. der Erkennung von Schichtneigungen.

Parameter einer Sondierung

Die Auslagelänge L oder AB gibt die Gesamtlänge einer Meßanordnung bzw. den Abstand der Elektroden an. Es wird auch oft die halbe Auslagelänge AB/2, L/2 oder OB angegeben. Mit S oder MN wird der Abstand der Potentialsonden benannt.

Die minimale und maximale Auslagelänge, z.B. $L/2_{min}$, $L/2_{max}$, geben den ersten und letzten Elektrodenpunkt an und sind deshalb eine Information über den Tiefenmeßbereich, Anhaltspunkt: Erkundungstiefe ~ L/8 bis L/5.

Die Anzahl der Meßpunkte pro Sondierung wird in Punkten/Dekade angegeben. Der Abstand der Meßpunkte (Tiefenabtastintervall) ist im logarithmischen Maßstab gleichabständig, d.h. je größer die Eindringtiefe, desto größer der Meßpunktabstand bei linearer Skala. Damit wird dem mit der Tiefe abnehmenden Auflösungsvermögen der Sondierung Rechnung getragen. Üblich sind minimal 6 bis maximal 12 Punkte/Dekade. Die in Abb. 6 dargestellte Messung wurde mit dichtem Tiefenabtastintervall von 12 Punkten/Dekade gemessen.

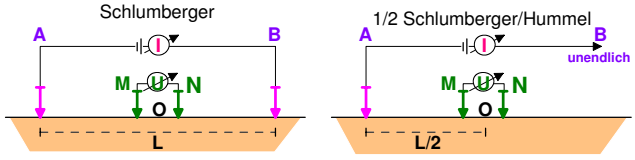


Abb. 7 zwei Meßanordnungen für die Sondierung

Genauigkeit

Die üblichen Auswerterechnungen gelten für den ebenen (homogenen und isotropen) Schichtenfall. Diese Voraussetzung ist bei Schichtneigungen < 10 % ausreichend erfüllt. Auch für ebene Schichtung gibt es mehrere Tiefenmodelle, die den Meßdaten entsprechen. Die Inversion ist also nicht eindeutig. Z.B. werden Pakete vieler dünner Schichten zu wenigen dicken Schichten zusammengefaßt. Bei geringen Widerstandskontrasten können Schichten übersehen werden. Durch plausible Vorgaben oder Kenntnisse (z.B. aus Bohrungen) können jedoch die Anzahl der möglichen Tiefenmodelle weitgehend eingeschränkt werden. Die Tiefenangaben sind in der Regel mit +-10% bis +-15% Fehler der Tiefe behaftet. Bei ungestörter, ebener Geologie sind genauere Angaben zu erwarten. Umgekehrt kann bei starker Schichtneigung oder Inhomogenität die Genauigkeit vermindert sein. Die Tiefenangaben sind ein Mittelwert für den durch die Messung lateral erfaßten Bereich.

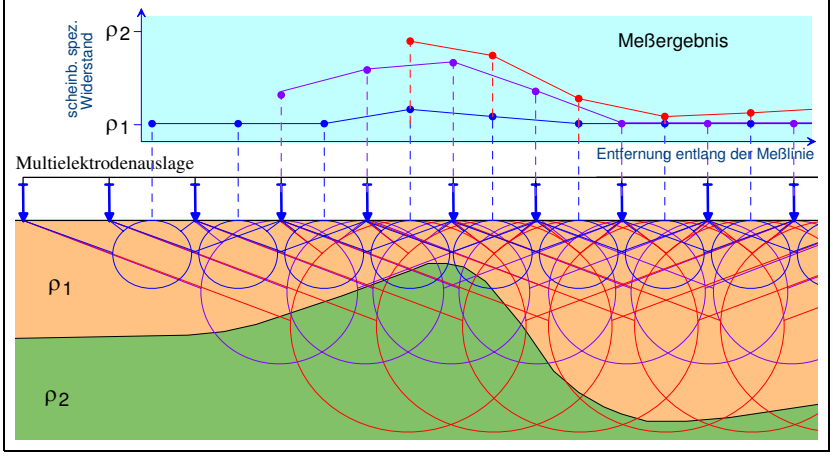
copyright by GGU Karlsruhe, WID11-C.LWP 2011

✆ Telefon 0721 / 28 678, Telefax 0721 / 25 408, E-Mail: mail@ggukarlsruhe.net, Internet: www.ggukarlsruhe.de
GGU, Amalienstraße 4, D-76133 Karlsruhe

Widerstandstomografie (2D und 3D)

Prinzip (s. Abb. 8 und 9)
Die Meßwertaufnahme bei der 2D-Widerstandstomografie (Sondierungskartierung) erfolgt, indem entlang einer Meßlinie eine Vielzahl von Sonden-Elektroden gesteckt und mit einem speziellen Kabel verbunden werden (Multielektrodenauslage). Eine Schaltapparatur erlaubt die Ansteuerung aller sinnvollen Sonden-Elektroden-Kombinationen und damit eine große Anzahl von Tiefenstufen. Wegen des geringen Abstandes der Sonden und Elektroden wird der Untergrund lateral, d.h. fortlaufend entlang der Meßlinie, dicht abgetastet. Die Messungen überlappen insbesondere für größere Eindringtiefen stark (in Abb. 8 durch Kreise symbolisiert). Dadurch wird eine gute laterale Auflösung erzielt. Die Meßdaten werden rechnerisch invertiert, wobei das Inversionsmodell durch Iterationen verbessert wird.

Abb. 8 Meßprinzip der 2D-Widerstandstomografie



Meßanordnungen Die gebräuchlichsten Anordnungen sind: Wenner, Wenner-Schlumberger und Dipol-Dipol.

Genauigkeit Die Tiefenangaben haben in etwa die Genauigkeit wie bei der Sondierung. Die laterale Auflösung ist eher besser als die der Profilierung.

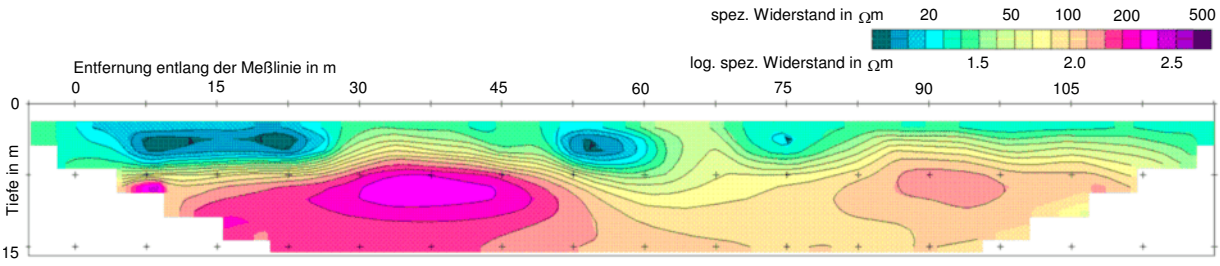


Abb. 9 Vertikaler Schnitt des spezifischen Widerstandes aus einer 2D-Widerstandstomografie.
Die Verteilung des spez. Widerstandes zeigt die Schichtung Boden/Verwitterungszone/Fels.

3D-Widerstandstomografie Um den Untergrund möglichst dreidimensional zu erfassen, können flächige Messungen von parallelen 2D-Meßlinien ausgeführt werden. Bei ausreichend engem Meßlinienabstand ist es möglich, rechnerisch die benachbarter Meßlinien zu berücksichtigen. Das Inversionsresultat nennt man Quasi-3D-Widerstandstomografie (Dahlin und Loke, 1997). Neben den tomografischen Vertikal- (s. Abb. 9) können dann auch Horizontalschnitte für gewünschte Tiefenstufen berechnet werden. Eine weitergehende 3D-Tomografie beruht im Unterschied dazu auf der Inversion von 2 orthogonalen Meßrichtungen. Die Begründung für zwei Richtungen liegt darin, daß sich die Meßströme von Sendeelektrode in Richtung Empfangselektrode ausbreiten. Bei orthogonaler Anordnung können sich andere Stromstärken und damit andere Widerstände ergeben. Dies kann bei besonderen Untergrundsituationen (z.B. geologische Störung, Anisotropie) relevant sein.

typische Ausstattung

Signalgeber	Stromquelle mit (gepulstem) Gleich- oder niederfrequentem Wechselstrom bei Leistungen von einigen W bis kW, je nach Erkundungstiefe (1 m bis über 100 m) und spez. Widerstand
Signalmessung	meist integrierende Volt- und Amperemeter mit Störsignalunterdrückung, bei höherwertigen Geräten auch einstellbare Meßzyklen
galvanische Ankopplung	mittels Elektroden/Sonden (meist Edelstahlspieße), welche ca. 10 bis 30 cm in den Untergrund gesteckt werden. Bei harten Oberflächen ist in der Regel ein Durchbohren notwendig. Hohe Übergangswiderstände werden durch Wässern vermindert.
Personal	Meßtrupp und Auswertepersonal (besonders qualifizierte Fachkräfte)

copyright by GGU Karlsruhe, WID11-C.LWP 2011

✆ Telefon 0721 / 28 678, Telefax 0721 / 25 408, E-Mail: mail@ggukarlsruhe.net, Internet: www.ggukarlsruhe.de
GGU, Amalienstraße 4, D-76133 Karlsruhe

IGP Ingenieurbüro für
Geotechnik Pfeiffer

Bericht: 130116

Anlage: 6.1

Wassergehalt nach DIN 18 121

Stadtpark

Leonberg

Bearbeiter: Förstner

Datum: 23.02.2016

Prüfungsnummer: 130116-WN

Entnahmestelle: KB1

Art der Entnahme: Bohrkern

Probe entnommen am: 20.01.2016

Probenbezeichnung:	KB1 - 2,5 m	KB1 - 4,5 m
Feuchte Probe + Behälter [g]:	117.54	110.74
Trockene Probe + Behälter [g]:	104.02	105.81
Behälter [g]:	30.50	30.64
Porenwasser [g]:	13.52	4.93
Trockene Probe [g]:	73.52	75.17
Wassergehalt [%]	18.39	6.56
Boden:	km1	km1

Probenbezeichnung:	KB1 - 5,5 m	^KB1 - 6,5 m
Feuchte Probe + Behälter [g]:	114.09	124.10
Trockene Probe + Behälter [g]:	110.16	118.99
Behälter [g]:	31.28	31.37
Porenwasser [g]:	3.93	5.11
Trockene Probe [g]:	78.88	87.62
Wassergehalt [%]	4.98	5.83
Boden:	km1	km1

Probenbezeichnung:	KB1 - 8,5 m	KB1 - 10,5 m
Feuchte Probe + Behälter [g]:	114.85	135.89
Trockene Probe + Behälter [g]:	101.63	123.34
Behälter [g]:	30.08	31.07
Porenwasser [g]:	13.22	12.55
Trockene Probe [g]:	71.55	92.27
Wassergehalt [%]	18.48	13.60
Boden:	km1	km1

Probenbezeichnung:	KB1 - 11,5 m	
Feuchte Probe + Behälter [g]:	97.93	
Trockene Probe + Behälter [g]:	92.92	
Behälter [g]:	30.72	
Porenwasser [g]:	5.01	
Trockene Probe [g]:	62.20	
Wassergehalt [%]	8.05	
Boden:	km1	

synlab Umweltinstitut GmbH - Hohnerstraße 23 - 70469 Stuttgart

Ingenieurbüro für Geotechnik Pfeiffer
Diplom Geologe Fritz Pfeiffer
Heimerdinger Strasse 24
71229 Leonberg

Niederlassung Stuttgart
Durchwahl: +49 (0)711 16272-0
Telefax: +49 (0)711 16272-51
E-Mail: sui-stuttgart@synlab.com
Internet: www.synlab.de

Datum: 04.02.2016

DAkkS Deutsche Akkreditierungsstelle D-PL-14004-01-01 D-PL-14004-01-02 D-PL-14004-01-03 D-PL-14004-01-04 D-PL-14004-01-05

Prüfbericht Nr.:	UST-16-0007798/01-1
Auftrag-Nr.:	UST-16-0007798
Ihr Auftrag:	schriftlich vom 28.01.2016
Projekt:	Wohnen am Stadtpark, Berliner Straße, 71229 Leonberg
Probenahme:	20.01.2016 - 28.01.2016
Probenahme durch:	Auftraggeber
Eingangsdatum:	28.01.2016
Prüfzeitraum:	28.01.2016 - 04.02.2016
Probenart:	Boden

Untersuchungsergebnisse

Probe-Nr.:		UST-16-0007798-01	UST-16-0007798-02	UST-16-0007798-03	UST-16-0007798-04
Bezeichnung:		MP Auffüllung (Sondierung)	Auffüllung SG 1	Auffüllung SG 2 + SG 3	Auffüllung SG 4 + SG 5 + SG 6

Original

Trockenmasse	%	84,1	86,3	83,8	83,5
Glühverlust	% TS	3,8	2,1	4,4	6,4
TOC	% TS	0,3	0,2	0,3	0,4
Cyanid, gesamt	mg/kg TS	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
EOX	mg/kg TS	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Kohlenwasserstoffe C10 - C22	mg/kg TS	<50	<50	<50	<50
Kohlenwasserstoffe C10 - C40	mg/kg TS	<50	<50	94	<50
extrahierbare lipophile Stoffe	% OS	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03

Probe-Nr.:		UST-16-0007798-01	UST-16-0007798-02	UST-16-0007798-03	UST-16-0007798-04
Bezeichnung:		MP Auffüllung (Sondierung)	Auffüllung SG 1	Auffüllung SG 2 + SG 3	Auffüllung SG 4 + SG 5 + SG 6

Aromatische Kohlenwasserstoffe

Benzol	mg/kg TS	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Ethylbenzol	mg/kg TS	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Toluol	mg/kg TS	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
o-Xylol	mg/kg TS	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
m,p-Xylol	mg/kg TS	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Styrol	mg/kg TS	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Isopropylbenzol (Cumol)	mg/kg TS	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
n-Propylbenzol	mg/kg TS	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
1,3,5-Trimethylbenzol	mg/kg TS	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
1,2,4-Trimethylbenzol	mg/kg TS	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
1,2,3-Trimethylbenzol	mg/kg TS	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
1,2,3,5-Tetramethylbenzol	mg/kg TS	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Summe AKW	mg/kg TS	--	--	--	--
Summe BTXE	mg/kg TS	--	--	--	--

Leichtflüchtige halogenierte Kohlenwasserstoffe

Trichlorfluormethan (R11)	mg/kg TS	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
1,1,2-Trichlortrifluorethan (R113)	mg/kg TS	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Dichlormethan	mg/kg TS	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
1,1-Dichlorethen	mg/kg TS	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
trans-1,2-Dichlorethen	mg/kg TS	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
cis-1,2-Dichlorethen	mg/kg TS	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
1,1-Dichlorethan	mg/kg TS	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Trichlormethan	mg/kg TS	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
1,1,1-Trichlorethan	mg/kg TS	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Tetrachlormethan	mg/kg TS	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
1,2-Dichlorethan	mg/kg TS	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Trichlorethen	mg/kg TS	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Tetrachlorethen	mg/kg TS	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Summe LHKW	mg/kg TS	--	--	--	--

Probe-Nr.:		UST-16-0007798-01	UST-16-0007798-02	UST-16-0007798-03	UST-16-0007798-04
Bezeichnung:		MP Auffüllung (Sondierung)	Auffüllung SG 1	Auffüllung SG 2 + SG 3	Auffüllung SG 4 + SG 5 + SG 6

Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe

Naphthalin	mg/kg TS	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Acenaphthylen	mg/kg TS	<0,05	0,11	0,1	<0,05
Acenaphthen	mg/kg TS	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Fluoren	mg/kg TS	0,41	2,9	1,7	0,26
Phenanthren	mg/kg TS	<0,05	0,37	0,17	0,063
Anthracen	mg/kg TS	<0,05	0,16	0,1	<0,05
Fluoranthen	mg/kg TS	0,1	0,5	0,27	0,081
Pyren	mg/kg TS	0,084	0,34	0,21	0,057
Benzo(a)anthracen	mg/kg TS	0,21	0,35	0,17	<0,05
Chrysen	mg/kg TS	0,17	0,27	0,15	<0,05
Benzo(b)fluoranthen	mg/kg TS	0,65	0,83	0,4	0,085
Benzo(k)fluoranthen	mg/kg TS	0,43	0,28	0,13	<0,05
Benzo(a)pyren	mg/kg TS	0,51	0,51	0,24	<0,05
Dibenz(ah)anthracen	mg/kg TS	0,085	0,12	0,071	<0,05
Benzo(ghi)perylen	mg/kg TS	0,92	0,48	0,28	<0,05
Indeno(1,2,3-cd)pyren	mg/kg TS	0,14	0,32	0,19	<0,05
Summe PAK EPA	mg/kg TS	3,7	7,5	4,2	0,548

Polychlorierte Biphenyle

PCB Nr. 28	mg/kg TS	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005
PCB Nr. 52	mg/kg TS	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005
PCB Nr. 101	mg/kg TS	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005
PCB Nr. 118	mg/kg TS	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005
PCB Nr. 138	mg/kg TS	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005
PCB Nr. 153	mg/kg TS	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005
PCB Nr. 180	mg/kg TS	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005
Summe PCB (7 Verbindungen)	mg/kg TS	--	--	--	--

Schwermetalle

Königswasseraufschluss		-	-	-	-
Arsen	mg/kg TS	6,6	5,9	7,8	8,9
Blei	mg/kg TS	5,6	6,1	8,2	9,1
Cadmium	mg/kg TS	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3
Chrom (Gesamt)	mg/kg TS	29	22	32	38
Kupfer	mg/kg TS	17	17	21	23
Nickel	mg/kg TS	26	21	28	33
Quecksilber	mg/kg TS	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Thallium	mg/kg TS	<0,25	<0,25	<0,25	<0,25
Zink	mg/kg TS	25	22	30	33

Probe-Nr.:		UST-16-0007798-01	UST-16-0007798-02	UST-16-0007798-03	UST-16-0007798-04
Bezeichnung:		MP Auffüllung (Sondierung)	Auffüllung SG 1	Auffüllung SG 2 + SG 3	Auffüllung SG 4 + SG 5 + SG 6

Eluat

Eluat		Filtrat	Filtrat	Filtrat	Filtrat
pH-Wert		7,9	7,6	7,8	7,7
elektrische Leitfähigkeit bei 25°C	µS/cm	2100	2110	2060	2180
Gesamtgehalt an gelösten Feststoffen	mg/l	2200	2100	2100	2300
DOC	mg/l	1,94	1,84	2,15	0,7
Fluorid	mg/l	0,4	0,4	0,4	0,4
Chlorid	mg/l	<0,5	0,5	<0,5	<0,5
Sulfat	mg/l	1520	1470	1480	1510
Cyanid, gesamt	mg/l	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005
Cyanid, leicht freisetzbar	mg/l	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005
Phenol-Index	mg/l	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01

Schwermetalle

Arsen	mg/l	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Blei	mg/l	<0,001	<0,001	0,003	<0,001
Cadmium	mg/l	0,0001	0,0001	0,0002	<0,0001
Chrom (Gesamt)	mg/l	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Kupfer	mg/l	0,008	0,008	0,008	0,008
Nickel	mg/l	0,002	<0,001	<0,001	0,002
Quecksilber	mg/l	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
Zink	mg/l	0,170	0,078	0,046	0,027
Antimon	mg/l	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Barium	mg/l	0,362	0,328	0,292	0,108
Molybdän	mg/l	0,004	0,002	0,003	0,001
Selen	mg/l	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001

Eine auszugsweise Veröffentlichung bedarf der schriftlichen Zustimmung der synlab Umweltinstitut GmbH.
Die Prüfergebnisse beziehen sich ausschließlich auf die im Prüfbericht spezifizierten Prüfgegenstände (DIN EN ISO/IEC 17025).

Dipl.-Ing.,Robert Ottenberger

Niederlassungsleiter

Angewandte Methoden	
Parameter	**Norm**
Trockenmasse	DIN EN 14346
Glühverlust	DIN EN 15169
TOC	DIN EN 13137
Cyanid, gesamt	DIN ISO 11262 (UAU)
EOX	DIN 38414-S 17 (UAU)
Kohlenwasserstoffe C10 - C22	DIN EN 14039/LAGA KW 04 (UAU)
Kohlenwasserstoffe C10 - C40	DIN EN 14039/LAGA KW 04 (UAU)
extrahierbare lipophile Stoffe	LAGA KW 04
Benzol	DIN 38 407-F 9
Ethylbenzol	DIN 38 407-F 9
Toluol	DIN 38 407-F 9
o-Xylol	DIN 38 407-F 9
m,p-Xylol	DIN 38 407-F 9
Styrol	DIN 38 407-F 9
Isopropylbenzol (Cumol)	DIN 38 407-F 9
n-Propylbenzol	DIN 38 407-F 9
1,3,5-Trimethylbenzol	DIN 38 407-F 9
1,2,4-Trimethylbenzol	DIN 38 407-F 9
1,2,3-Trimethylbenzol	DIN 38 407-F 9
1,2,3,5-Tetramethylbenzol	DIN 38 407-F 9
Summe AKW	DIN 38 407-F 9
Summe BTXE	DIN 38 407-F 9
Trichlorfluormethan (R11)	DIN ISO 22155
1,1,2-Trichlortrifluorethan (R113)	DIN ISO 22155
Dichlormethan	DIN ISO 22155
1,1-Dichlorethen	DIN ISO 22155
trans-1,2-Dichlorethen	DIN ISO 22155
cis-1,2-Dichlorethen	DIN ISO 22155
1,1-Dichlorethan	DIN ISO 22155
Trichlormethan	DIN ISO 22155
1,1,1-Trichlorethan	DIN ISO 22155
Tetrachlormethan	DIN ISO 22155
1,2-Dichlorethan	DIN ISO 22155
Trichlorethen	DIN ISO 22155
Tetrachlorethen	DIN ISO 22155
Summe LHKW	DIN ISO 22155
Naphthalin	DIN ISO 18287 (UAU)
Acenaphthylen	DIN ISO 18287 (UAU)
Acenaphthen	DIN ISO 18287 (UAU)
Fluoren	DIN ISO 18287 (UAU)
Phenanthren	DIN ISO 18287 (UAU)
Anthracen	DIN ISO 18287 (UAU)
Fluoranthen	DIN ISO 18287 (UAU)
Pyren	DIN ISO 18287 (UAU)
Benzo(a)anthracen	DIN ISO 18287 (UAU)
Chrysen	DIN ISO 18287 (UAU)

Angewandte Methoden	
Parameter	**Norm**
Benzo(b)fluoranthen	DIN ISO 18287 (UAU)
Benzo(k)fluoranthen	DIN ISO 18287 (UAU)
Benzo(a)pyren	DIN ISO 18287 (UAU)
Dibenz(ah)anthracen	DIN ISO 18287 (UAU)
Benzo(ghi)perylen	DIN ISO 18287 (UAU)
Indeno(1,2,3-cd)pyren	DIN ISO 18287 (UAU)
Summe PAK EPA	DIN ISO 18287 (UAU)
PCB Nr. 28	DIN EN 15308 (UAU)
PCB Nr. 52	DIN EN 15308 (UAU)
PCB Nr. 101	DIN EN 15308 (UAU)
PCB Nr. 118	DIN EN 15308 (UAU)
PCB Nr. 138	DIN EN 15308 (UAU)
PCB Nr. 153	DIN EN 15308 (UAU)
PCB Nr. 180	DIN EN 15308 (UAU)
Summe PCB (7 Verbindungen)	DIN EN 15308 (UAU)
Königswasseraufschluss	DIN EN 13657
Arsen	DIN EN ISO 17294-2 (E 29)
Blei	DIN EN ISO 17294-2 (E 29)
Cadmium	DIN EN ISO 17294-2 (E 29)
Chrom (Gesamt)	DIN EN ISO 17294-2 (E 29)
Kupfer	DIN EN ISO 17294-2 (E 29)
Nickel	DIN EN ISO 17294-2 (E 29)
Quecksilber	DIN EN ISO 12846
Thallium	DIN EN ISO 17294-2 (E 29)
Zink	DIN EN ISO 17294-2 (E 29)
Eluat	DIN EN 12457-4
pH-Wert	DIN 38 404-C 5
elektrische Leitfähigkeit bei 25°C	DIN EN 27888
Gesamtgehalt an gelösten Feststoffen	DIN 38 409-H 1
DOC	DIN EN 1484
Fluorid	DIN EN ISO 10304-1
Chlorid	DIN EN ISO 10304-1
Sulfat	DIN EN ISO 10304-1
Cyanid, gesamt	DIN EN ISO 14403 (UAU)
Cyanid, leicht freisetzbar	DIN EN ISO 14403 (UAU)
Phenol-Index	DIN EN ISO 14402 (H 37) (UAU)
Arsen	DIN EN ISO 17294-2 (E 29)
Blei	DIN EN ISO 17294-2 (E 29)
Cadmium	DIN EN ISO 17294-2 (E 29)
Chrom (Gesamt)	DIN EN ISO 17294-2 (E 29)
Kupfer	DIN EN ISO 17294-2 (E 29)
Nickel	DIN EN ISO 17294-2 (E 29)
Quecksilber	DIN EN ISO 12846
Zink	DIN EN ISO 17294-2 (E 29)
Antimon	DIN EN ISO 17294-2 (E 29)
Barium	DIN EN ISO 17294-2 (E 29)

Angewandte Methoden	
Parameter	**Norm**
Molybdän	DIN EN ISO 17294-2 (E 29)
Selen	DIN EN ISO 17294-2 (E 29)

(UAU) - Niederlassung Augsburg