

PROF. DR.-ING. E. VEES
UND PARTNER

BAUGRUNDINSTITUT GMBH

LBBW Immobilien
Kommunalentwicklung GmbH
Olgastraße 86
70180 Stuttgart

Eingetragen in das Verzeichnis der Institute
für Erd- und Grundbau nach DIN 1054

Geschäftsführer:
Prof. Dr.-Ing. Edelbert Vees
Dipl.-Geol. Dr. Klaus Kleinert

10.07.2008
Az 08 042

Geotechnisches Gutachten

für das Gewerbegebiet
„Am Autobahnanschluss“ in Rutesheim

Inhalt	Seite
1 Vorbemerkungen	4
2 Lage und geologischer Überblick	5
3 Durchgeführte Untersuchungen	5
4 Untersuchungsergebnisse	6
4.1 Schichtaufbau des Untergrundes.....	6
4.2 Grundwasserverhältnisse	9
4.3 Einstufung des erschlossenen Untergrundes in Boden- und Felsklassen nach DIN 18300	12
4.4 Bodenmechanische Kennwerte für erdstatische Berechnungen	13
5 Folgerungen für die Erschließung	14
5.1 Leitungsbau.....	14
5.1.1 Anlage und Sicherung der Leitungsgräben.....	14
5.1.2 Auflagerung von Rohrleitungen, Verfüllung der Leitungszone	16
5.1.3 Hauptverfüllung	16
5.1.4 Anordnung von Sperrriegeln.....	18
5.2 Straßenbau.....	19
6 Folgerungen für die Bebauung.....	21
6.1 Baugruben.....	22
6.2 Gründung von Gebäuden	23
6.3 Schutz gegen Durchfeuchtung aus dem Untergrund	25
6.3.1 Wannenausbildung, Bemessungswasserstand	25
6.3.2 Dränierung nach DIN 4095.....	25
7 Versickerung von Niederschlagswasser.....	27
7.1 Durchführung der Versickerungsversuche.....	27
7.2 Versuchsergebnisse und Beurteilung	27
8 Weitergabe von Untersuchungsergebnissen, wasserrechtliche Hinweise	31
9 Abfallrechtliche Hinweise	33
10 Schlussbemerkungen	33

Anlagen

- 1.1 Übersichtslageplan, M. 1:10 000
- 1.2 Lageplan, M. ca. 1:2000
- 1.3 Lageplan, M. 1:2000
- 1.4 Entwässerungskonzept, M. 1:5000
- 2.1 – 2.3 Schichtprofile der Schürfgruben SG 1/08 bis SG 11/08
- 3 Bodenmechanische Laborergebnisse
- 4 Boden- und Felsklassen nach DIN 18300
- 5 Auswertung der Versickerungsversuche

1 Vorbemerkungen

Das Gewerbegebiet „Am Autobahnanschluss“ in Rutesheim soll erschlossen werden. Die Lage des Gebiets geht aus dem beigefügten Übersichtslageplan hervor (Anlage 1.1).

Unser Büro wurde beauftragt, die Untergrundverhältnisse in diesem Areal zu erkunden und im Hinblick auf die Erschließung und Bebauung zu beurteilen. Eine detaillierte Untersuchung auf etwaige Altlasten war nicht Gegenstand unserer Beauftragung.

Zur Bearbeitung standen uns folgende Unterlagen zur Verfügung:

- [1] Lageplan (Vorentwurf, M. 1:1000) mit Bezeichnung der Flurstücke und Eintragungen zur Bebauung, Datum 05.02.2002
- [2] Bebauungsplan (Gestaltungsplan, M. 1:2000), mit der Bezeichnung „Steige - Am Autobahnanschluss“, gefertigt vom Ingenieurbüro Hils, Datum 08.02.2008 (vgl. Anlage 1.3)
- [3] Lageplan (M. 1:1000), mit Eintrag der Schürfgruben und Ansatzhöhen, ohne Angabe des Planfertigers und des Fertigungsdatums (vgl. Anlage 1.2)
- [4] Konzeptstudie Entwässerung (Variante II, Trennsystem/Mischsystem), im Maßstab ~ 1:5000, gefertigt vom Ingenieurbüro Klinger & Partner, Datum 14.02.2008 (vgl. Anlage 1.4)

Anhand dieser Unterlagen und der Ergebnisse unserer Untersuchungen (vgl. Abschnitt 4) wurde das vorliegende Gutachten erarbeitet.

Außerdem konnten wir auf die Ergebnisse früherer Untersuchungen aus dem Jahre 1982 bei der Baugrunderkundung für den Neubau des Bauhofes Rutesheim (Flurstücke 1881 und 1889/2) zurückgreifen. Die damals ausgeführten Schürfgruben liegen zentral im Gewerbegebiet und wurden zur Beurteilung mit herangezogen. Bei der Auswertung der Untersuchungsergebnisse wurde auch unsere allgemeine Beurteilung der Untergrundverhältnisse im Hinblick auf den Grundwasserschutz vom 12.03.2008 im Zusammenhang mit dem Entwurf des Flächennutzungsplanes für Rutesheim berücksichtigt.

2 Lage und geologischer Überblick

Das Gewerbegebiet „Am Autobahnanschluss, GE 1 – GE 3“ liegt im Gewann „Seewiesen“ westlich von Rutesheim (vgl. Anlage 1.1).

Bei dem westlichen Teil des geplanten Gewerbegebietes handelt es sich um ein ebenes Wiesen- und Ackergelände; der südwestliche Teil des Geländes ist bereits zum Teil bebaut (Krematorium Rutesheim, Bauhof mit Häckselplatz und verschiedene Gewerbegebäude). Im östlichen Bereich des Gewerbegebietes ist das Gelände schwach nach Osten und Südosten geneigt, hierbei handelt es sich ebenfalls um Wiesen- und Ackergelände.

Der Untergrund wird unter einer lokalen Deckschicht aus Lösslehm von den Schichten des Lettenkeupers (ku) gebildet. Darunter folgen die Schichten des Oberen Muschelkalkes (mo).

Im nordwestlichen Teil des Gewerbegebietes wurde in den oberflächennahen Lettenkeuper-schichten bereits in geringer Tiefe Schicht- oder Sickerwasser angetroffen.

3 Durchgeführte Untersuchungen

Zur direkten Erkundung der Untergrundverhältnisse wurden am 02.04. und 03.04.2008 von der Bauunternehmung Kindler aus Rutesheim elf Schürfguben angelegt (SG 1/08 bis SG 11/08). Der erschlossene Schichtaufbau wurde vom links Unterzeichnenden geologisch und bodenmechanisch aufgenommen. Die Einmessung der Schürfguben nach Lage und Höhe und ihre Absteckung erfolgten vor den Erkundungsarbeiten durch das Ingenieurbüro Duppel aus Rutesheim (vgl. Lageplan in Anlage 1.2). Die Schürfguben wurden an den eingemessenen Punkten ausgeführt. Die erschlossenen Schichtprofile sind in den Anlagen 2.1 bis 2.3 dargestellt.

Zur Beurteilung der Durchlässigkeitseigenschaften und Versickerungsfähigkeit der Böden wurden vier Versickerungsversuche durchgeführt. Dazu wurden direkt in die Schürfguben SG 2/08, SG 8/08, SG 11/08 und neben der Schürfgube SG 5/08 in einer separaten Versickerungsgrube Trinkwasser eingefüllt. Die Auswertung der Versickerungsversuche ist in der Anlage 5 beigefügt. Nach Ansprache und Beprobung der Schichten bzw. Beendigung der Versickerungsversuche wurden die Schürfguben wieder mit dem Aushubmaterial verfüllt.

In die Schürfguben SG 1/08, SG 3/08 und SG 7/08 wurden jeweils beim Verfüllen der Gruben senkrecht Dränrohre eingestellt, um dadurch provisorische Grundwassermessstellen zu erhalten.

An repräsentativen Bodenproben führten wir in unserem Labor bodenmechanische Untersuchungen durch. Die Ergebnisse dienen zur genaueren Klassifizierung der Böden (vgl. Abschnitt 4.3) und zur Festlegung von Bodenkennwerten (vgl. Abschnitt 4.4); sie sind in Anlage 3 zusammengestellt.

4 Untersuchungsergebnisse

4.1 Schichtaufbau des Untergrundes

In den Schürftgruben wurden relativ einheitliche Untergrundverhältnisse angetroffen. Folgende Schichtglieder waren vertreten:

- Oberboden
- Lösslehm/Hanglehm
- Schichten des Lettenkeupers (ku)
- Schichten des Oberen Muschelkalkes (mo δ = Trigonodusdolomit)

In den Schürftgruben war zuoberst ein **Oberboden** vorhanden, der Dicken zwischen 20 cm und 30 cm aufwies. Er war humos und meist durchwurzelt. In SG 4/08 war der Oberboden nur ca. 15 cm dick; hier handelte es sich um eine Oberbodenandeckung über künstlichen Auffüllungen.

Künstliche Auffüllungen wurden nur in der Schürftgrube SG 4/08 angetroffen. Sie bestanden zuoberst aus einer dünnen Tonlage. Darunter folgte in der Schürftgrube flächenhaft erhaltener Beton sowie Sand und Kies. Der Beton ließ sich mit dem eingesetzten Bagger schwer lösen. Durch den Aushub wurde er kiesig und steinig zerlegt. Diese Auffüllungen reichten bis 55 cm unter Gelände; vermutlich handelte es sich hierbei um eine ehemalige Oberflächenbefestigung oder Überreste einer Altbebauung. Es ist nicht auszuschließen, dass auch an anderen Stellen künstliche Auffüllungen vorhanden sind (z. B. Wegbefestigungen, Verfüllungen von Leitungsgräben u. dgl.).

Unter dem Oberboden bzw. der Auffüllung fand sich in den Schürftgruben SG 1/08, SG 2/08, SG 4/08 und SG 5/08 eine Lage aus **Lösslehm** (entkalkter, z. T. auch umgelagerter Löss; im Westteil des Untersuchungsgebietes). Hierbei handelte es sich um ausgeprägt plastischen Ton von vorwiegend steifer Konsistenz (Bodengruppe TA nach DIN 18196). Die Lösslehm Böden reichten bis in Tiefen von 0,65 m (SG 5/08) und 1,3 m unter Gelände (SG 2/08, SG 4/08).

Hanglehm trat in der Schürfgrube SG 9/08 unter dem Oberboden als oberstes Schichtglied auf (im östlichen, schwach geneigten Teil des Untersuchungsgeländes). Er ist nach den Laborergebnissen als leicht plastischer Tonboden einzustufen (Bodengruppe TL nach DIN 18196). Seine Konsistenz war steif und steif bis weich, seine Untergrenze lag bei 2,5 m unter Gelände (~ 467,9 m NN). Im Hanglehm waren stellenweise Dolomitstücke in Kies- und Steingröße eingelagert. In geologischer Hinsicht handelte es sich hierbei um umgelagerte bzw. verschwemmte Verwitterungsböden, die als eiszeitliche Fließerdeböden oder jüngerer Hanglehm zu deuten sind.

Unter den Lösslehm- bzw. Hanglehmböden der Schürfgruben SG 1/08, SG 2/08 bis SG 4/08 und SG 5/08 setzten die **Schichten des Lettenkeupers** (ku) ein. In den Schürfgruben SG 3/08, SG 6/08 bis SG 8/08 und SG 10/08 trat dieses Schichtglied unmittelbar unter dem Oberboden auf. Der Lettenkeuper besteht im unverwitterten Zustand aus einer Wechsellagerung von festem, geschichtetem und klüftigem Tonstein mit bankigem Mergelstein, Dolomit und Sandstein. Im vorliegenden Fall waren die Schichten im oberen Bereich verwittert und vollständig zu bindigem Boden entfestigt (Ton mit eingelagerten Dolomit- und Tonsteinstücken). In diesem Zustand sind diese Böden nach DIN 18196 in die Bodenklassen TA und TM (ausgeprägt plastische und mittelpastische Tonböden) einzustufen. Ihre Konsistenz schwankte in weiten Grenzen; sie reichte von breiig bis halbfest (vgl. Anlage 3). Die natürlichen Wassergehalte der verwitterten Lettenkeuperschichten schwankten zwischen 12,1 Gew.-% und 25,5 Gew.-% (vgl. Anlage 3). Der hohe natürliche Wassergehalt einer Bodenprobe aus der Schürfgrube SG 7/08 bei einer Tiefe von 2,2 m unter Gelände (56,6 Gew.-%) ist auf dünne organische, kohlige Einlagerungen (sog. Lettenkohle) an der Untergrenze der verwitterten Lettenkeuperschichten zurückzuführen.

Zur Tiefe nahm der Verwitterungsgrad der Lettenkeuperschichten ab. Der gering verwitterte Lettenkeuper bestand aus einer Wechsellagerung von klüftigem, festem Tonstein mit hartem Sandstein und einzelnen, dünnen Dolomitbänken, die teilweise in aufgelöster Form vorlagen. Bei mehr als 90 % der untersuchten Bodenproben lag der natürliche Wassergehalt bei < 11 Gew.-% (vgl. Anlage 3). Dies ist ein Hinweis darauf, dass die gering verwitterten Lettenkeuperschichten hier einen relativ geringen Verwitterungsgrad aufweisen.

Die Abgrenzung zwischen den Schichtgliedern Lösslehm, Hanglehm und den ebenfalls teilweise umgelagerten Verwitterungsböden des Lettenkeupers ist unscharf und nicht immer eindeutig. Generell können diese Böden als bindige Deckschichten zusammengefasst werden. Auch der Übergang vom verwitterten Zustand zu den gering verwitterten Lettenkeuperschichten ist in der Natur fließend. In der folgenden Tabelle ist die Obergrenze der gering verwitterten Lettenkeuperschichten eingetragen, wie sie jeweils in den Schürfgruben angetroffen bzw. abgegrenzt wurde (SG 9/08 und SG 11/08: siehe Anmerkungen):

Schürfgrube	Untergrenze der verwitterten Lettenkeuperschichten	
	m u. Gel.	m NN
SG 1/08	~ 1,75	~ 471,6
SG 2/08	~ 2,15	~ 470,3
SG 3/08	~ 1,65	~ 468,9
SG 4/08	~ 1,85	~ 469,5
SG 5/08	~ 1,65	~ 470,4
SG 6/08	~ 1,40	~ 469,5
SG 7/08	~ 2,20	~ 468,1
SG 8/08	~ 2,50	~ 469,8
SG 9/08 *	> 3,70 *	< 466,7 *
SG 10/08	~ 3,30	~ 465,3
SG 11/08	~ 1,5 **	~ 455,5 **

* Bis zur Endtiefe dieser Grube wurden nur Hanglehm- und Verwitterungsböden des Oberen Muschelkalkes angetroffen.

** Festgesteins-Untergrund ist in dieser Grube: Dolomit des Oberen Muschelkalkes

In den Schürfgruben SG 9/08 und SG 11/08 wurden **Muschelkalkschichten** angetroffen. Der Obere Muschelkalk (mo2) liegt unterhalb der Lettenkeuperschichten. In unverwittertem Zustand besteht er zuoberst aus dickbankigem bis massigem, gelbbraunem Dolomit (sog. Trigonodusdolomit), darunter aus bankigem Kalkstein mit Tonsteinzwischenlagen. In der Schürfgrube SG 9/08 setzten die verwitterten Muschelkalkschichten unter dem Hanglehm bei 2,5 m unter Gelände ein. Der Trigonodusdolomit war hier bis zur Endtiefe der Grube vollständig zu steifem bis weichem, mittelplastischem, sandigem Dolomitschluff entfestigt.

In der Schürfgrube SG 11/08 standen ähnliche Böden bereits unter dem Oberboden an. Hier waren sie bis zu einer Tiefe von 1,5 m unter Gelände zu sandigem Dolomitschluff entfestigt. Nach DIN 18196 sind diese Böden in die Bodengruppen UL¹ einzustufen. Der Verwitterungsgrad der Muschelkalkschichten nahm mit fließendem Übergang ab. Ab einer Tiefe von 1,5 m unter Gelände wurde in der Schürfgrube SG 11/08 klüftiger Trigonodusdolomit angetroffen, der mit dem eingesetzten Tieflöffelbagger noch bis 3 m Tiefe (~ 453,9 m NN) gelöst werden konnte. Darunter wäre zum Lösen der Muschelkalkschichten in der beengten Schürfgrube Meißelarbeit erforderlich gewesen.

¹ UL: leicht plastische Schluffe ($w_L < 35\%$)

Die Schichtfolge des Muschelkalks setzt sich unterhalb der Schürftgrubenendtiefen noch bis in größere Tiefe fort (Dolomit und bankiger, geklüfteter Kalkstein).

4.2 Grundwasserverhältnisse

Beim Aushub der Schürftgruben SG 1/08, SG 3/08, SG 5/08 und SG 6/08 wurden in unterschiedlichen Tiefenlagen Grundwasserzutritte beobachtet. Ihre Niveaus sind in der folgenden Tabelle zusammengestellt:

Schürftgrube	Ansatzhöhe m NN	Höchster beobachteter Wasserzutritt	
		m u. Gel	m NN
SG 1/08	473,39	2,1	471,29
		3,25 *	470,14
SG 3/08	470,55	1,9	468,65
SG 5/08	472,03	2,3	469,73
SG 6/08	470,89	2,0	468,89
		2,1 *	468,79

* zweiter beobachteter, stärkerer Grundwasserzutritt

Diese Gruben lagen im Bereich der ebenen, landwirtschaftlich genutzten Wiesenflächen im nordwestlichen Bereich des geplanten Gewerbegebietes. Wahrscheinlich handelt es sich bei dem angetroffenen Wasser um schichtgebundenes Grundwasser, das auf gering durchlässigen Ton- und Tonsteinlagen des Lettenkeupers gestaut wird.

Der Anstieg des Wasserspiegels bis zum Ruhgrundwasserspiegel konnte in den Schürftgruben nicht beobachtet werden, solange sie offen standen. In die Schürftgruben SG 1/08, SG 3/08 und SG 6/08 wurde deshalb beim Verfüllen jeweils ein Dränrohr (\varnothing 100 mm) senkrecht eingestellt, um provisorische Grundwassermessstellen zu erhalten.

Auch die Gruben SG 7/08 und SG 10/08 wurden in dieser Weise ausgebaut, weil hier die weiche bzw. breiige Konsistenz des Bodens auf Sickerwasserführung schließen ließ.

Das Dränrohr in der Messstelle SG 6/08 wurde am 05.05.2008 durch die Bauunternehmung Kindler gezogen, weil es innerhalb einer landwirtschaftlich genutzten Wiesenfläche lag und deshalb entfernt werden musste. Vorher konnten in dieser Messstelle Wasserstände von 1,43 m und 1,45 m unter Gelände gemessen werden (vgl. unten).

In der Messstelle SG 10/08 waren vom 10.04.2008 bis zum 25.04.2008 keine Wasserstandsbeobachtungen möglich, weil die Messstelle und ihre nähere Umgebung durch seitlich zufließendes Oberflächen- oder Hangwasser überstaut war. Diese Messstelle wurde deshalb ebenfalls am 05.05.2008 durch die Firma Kindler rückgebaut.

In den Messstellen SG 1/08, SG 3/08, SG 6/08 und SG 7/08 wurden folgende Wasserstände gemessen:

Mess- datum	SG 1/08		SG 3/08		SG 6/08		SG/708	
	m u. Gel.	m NN	m u. Gel.	m NN	m u. Gel.	m NN	m u. Gel.	m NN
10.04.08	0,46	472,93	1,37	469,18	1,43	469,46	0,96	469,30
25.04.08	0,54	472,85	1,17	469,38	1,45	469,44	1,40	468,86
13.05.08	0,89	472,50	1,23	469,32	¹⁾	-	> 2,68 ²⁾	< 467,58
28.05.08	0,97	472,42	1,29	469,26	¹⁾	-	> 2,68 ²⁾	< 467,58
02.07.08	1,05	472,34	1,43	469,12	¹⁾	-	> 2,68 ²⁾	< 467,58
09.07.08	1,15	472,24	1,47	469,08	¹⁾	-	2,46	467,80

¹⁾ Messstelle rückgebaut

²⁾ Grundwassermessstelle trocken bis 2,68 m unter Gelände (Wasserspiegel < 467,58 m NN)

Diese Wasserstände sind auch in den Anlagen 2.1 und 2.2 eingetragen. Die relativ hohen Wasserstände bei den ersten beiden Messungen im April 2008 sind wahrscheinlich auf eindringendes Oberflächenwasser zurückzuführen, bedingt durch die intensiven Niederschläge zur Zeit der Erkundungsarbeiten. Zum Zeitpunkt der Geländearbeiten und mehrere Wochen danach wurde auf dem gesamten Wiesengelände an der Geländeoberfläche eine intensive Staunässebildung beobachtet. Hierbei handelte es sich um Staunässe auf den gering durchlässigen Lösslehmböden und dem Verwitterungston des Lettenkeupers, weil das Niederschlagswasser nur mit erheblicher Verzögerung in diesen Böden versickern konnte. Der Gewannname „Seewiesen“ im westlichen Teil des Gewerbegebietes (vgl. Anlage 1.1) weist darauf hin, dass diese Verhältnisse hier bereits seit langem beobachtet wurden.

Nach den beiden ersten Messungen sanken die Wasserstände in den Messstellen SG 1/08 und SG 3/08 jeweils kontinuierlich ab. Die Messstelle SG 7/08 fiel nach den ersten beiden Messungen bis zu einer Tiefe von 2,7 m unter Gelände trocken, am 09.07.2008 hatte sich wieder ein Wasserstand in einer Tiefe von 2,46 m unter Gelände eingestellt.

Bei der Ausführung von sieben Schürfgruben am 16.07.1982 auf dem bestehenden Bauhofgelände (Flurstück 1881) wurden keine Wasserzutritte festgestellt. Allerdings wurden bei der Schichtaufnahme innerhalb klüftiger Sandsteinbänke vereinzelt weiche Kluffüllungen beobachtet. Dies deutet auf gelegentliche Wasserführung nach längeren Niederschlägen hin.

Das Niederschlagswasser, das in den Lösslehm versickert, sättigt den Boden, staut sich auf und kann nur mit Verzögerung in den tieferen Untergrund versickern. Der Sättigungsgrad des Bodens und die Höhenlage des Stauwasserspiegels schwanken je nach Jahreszeit und Witterungsverlauf in weiten Grenzen. Bei einer Bebauung des Geländes wird die Staunässebildung abnehmen, weil ein wesentlich größerer Anteil des Niederschlagswassers als bisher oberflächlich abfließen wird (Ableitung des Wassers von Dach- und Straßenflächen).

Die Grundwasserführung in den Lettenkeuperschichten ist an die geklüfteten Festgesteinsbänke gebunden (Dolomit und Sandtein). Die Tonlagen dazwischen sind nur gering durchlässig und wirken als Stauhorizonte (Schichtgrundwasserleiter). Die tonigen Lagen an der Basis des Lettenkeupers bewirken eine Trennung zu dem unterlagernden, häufig verkarsteten Kalkstein des Oberen Muschelkalkes (Karst- und Kluffgrundwasserleiter).

Das Grundwasser in den Lettenkeuperschichten ist erfahrungsgemäß nicht betonangreifend. Auf die Durchlässigkeit des Untergrundes und die Möglichkeiten zur Regenwasserbewirtschaftung wird im Abschnitt 6 eingegangen.

4.3 Einstufung des erschlossenen Untergrundes in Boden- und Felsklassen nach DIN 18300

Schichteinheit	Boden- bzw. Felsklasse nach DIN 18300
Oberboden (auch aufgefüllt)	1
Künstliche Auffüllungen	4 und 5, vereinzelt 3, evtl. 7 *
Lösslehm	4, 5
Hanglehm	4, 5
<u>Lettenkeuper:</u>	
- verwittert (Ton, Ton und Dolomitstücke oder Tonsteinstücke)	4, 5 , evtl. 6
- gering verwittert (Tonstein und Dolomit)	6, 7 **
<u>Oberer Muschelkalk:</u>	
- verwittert (Ton, Sand und Dolomitstücke	4, 5, evtl. 6
- gering verwittert (Dolomit, klüftig)	6, 7 **

* Steine, Blöcke, alte Bauwerksreste

** Schwer lösbarer Fels der Klasse 7 ist im Lettenkeuper und im Muschelkalk erst unterhalb der Schürfundensohlen zu erwarten.

Die Beschreibung der Boden- und Felsklassen nach DIN 18300 ist in Anlage 4 enthalten.

Die oben getroffene Zuordnung kann ein Aufmaß auf der Baustelle nicht ersetzen. Sollte es zwischen Bauherrschaft und Auftragnehmer zu unterschiedlichen Auffassungen bei der Einstufung des Untergrundes in Boden- und Felsklassen kommen, kann der Baugrundgutachter zur Klärung offener Fragen hinzugezogen werden.

4.4 Bodenmechanische Kennwerte für erdstatische Berechnungen

Schichtkomplex	Wichte [kN/m ³]		Reibungswinkel [°]	Kohäsion [kN/m ²]	Steifemodul [MN/m ²]
	γ	γ'	φ'	c'	E_s
Künstliche Auffüllungen	20	10	17,5 – 22,5	-	-
Lösslehm	18	8	17,5	5 – 10	3 – 5
Hanglehm	19	9	22,5 – 27,5	2 – 5	4 – 6
<u>Lettenkeuper:</u>					
- verwittert (Ton, Ton und Dolomitstücke oder Tonsteinstücke)	20	10	22,5	0 – 10	3 – 10
- gering verwittert (Tonstein und Dolomit)	21	11	25 – 30 *	20 *	20 – 50
<u>Oberer Muschelkalk:</u>					
- verwittert (Ton, Dolomitsand und Dolomit- stücke in Kies- und Steingröße)	20	10	22,5 – 27,5	0 – 5	4 – 10
- gering verwittert (Dolomit klüftig)	21	11	30 *	20 *	30 – 100

* Die Scherfestigkeitseigenschaften der Festgesteine schwanken je nach Trennflächengefüge, Verwitterungsgrad und Beanspruchungsrichtung in weiten Grenzen. Entlang vorgegebener Trennflächen können die genannten Bodenkennwerte auch unterschritten werden. Für Fels in geschlossenem Schichtverband werden die angegebenen Werte voraussichtlich nicht unterschritten.

Bei geböschten Baugruben sind zur Ermittlung des Erddrucks die Kennwerte des Verfüllmaterials maßgebend. Für verdichtet eingebautes Material schlagen wir folgende Ansätze vor:

Material	Reibungswinkel [°]	Wichte [kN/m ³]	
	φ'	γ	γ'
Schottergemische	35	20	12
Kiesgemische (auch Siebschutt)	32,5	20	12
Bindige Böden (auch Aushubmaterial)	25	20	10

Nach DIN 4149:2005-04 (Bauten in deutschen Erdbebengebieten – Lastannahmen, Bemessung und Ausführung üblicher Hochbauten) liegt Rutesheim in der Erdbebenzone 1. Gemäß der genannten Norm sind hier folgende Einstufungen maßgebend:

Untergrundklasse:	R
Baugrundklasse:	B

5 Folgerungen für die Erschließung

5.1 Leitungsbau

5.1.1 Anlage und Sicherung der Leitungsgräben

Über die geplanten Erschließungsmaßnahmen liegen uns keine Pläne vor, sodass im Folgenden nur allgemeine Überlegungen angestellt und grundsätzliche Hinweise gegeben werden können. Bei üblichen Tiefen von Entwässerungsleitungen zwischen 3 m und 5 m unter Gelände werden die Leitungsgräben sowohl in die verwitterten Lettenkeuperschichten sowie in den Lösslehm und die Hanglehmböden als auch in den gering verwitterten, felsartigen Lettenkeuper einschneiden. Im südöstlichen Teil des Gewerbegebietes werden gering verwitterte Muschelkalkschichten erreicht.

Bei der Anlage und Sicherung von Leitungsgräben sind die Richtlinien der DIN 4124 und DIN EN 1610 zu beachten. Bei ausreichenden Platzverhältnissen kann man die Grabenwände frei böschten, sofern die nachstehenden Hinweise und die einschränkenden Bedingungen der DIN 4124 beachtet werden (Grabentiefe < 5 m, Böschungskronen lastfrei etc.).

In bindigen Verwitterungsböden mit steifer oder günstigerer Konsistenz und ohne Schichtwasserzutritte kann gemäß DIN 4124 mit $\beta \leq 60^\circ$ geböscht werden. Wo Bereiche mit ungünstigerer Konsistenz oder mit Wasserführung angetroffen werden, sind die Böschungen auf $\beta \leq 45^\circ$ abzuflachen. Wenn der untere Teil des Leitungsgrabens einheitlich in harten, gering verwitterten Lettenkeuper-Schichten verläuft, kann dort mit einer Neigung von $\beta \leq 80^\circ$ geböscht werden. Voraussetzung ist, dass es sich um Hartgesteinsbänke handelt, die im Schichtverband vorliegen und keine Entfestigungszonen oder Verwitterungslagen mehr aufweisen. Dabei empfiehlt es sich, am Übergang von den bindigen Böden zu den Hartgesteinsbänken eine Berme anzuordnen.

Um die Kubaturen für Aushub und Verfüllung sowie den Eingriff in den Untergrund möglichst gering zu halten, werden Leitungsgräben häufig mit senkrechten Wänden angelegt und mit einem Verbau gesichert. Dabei gelten ebenfalls die Vorgaben der DIN 4124 und DIN EN 1610. Im Kanalbau werden aufgrund des abschnittsweisen Bauablaufs in der Regel wandernde Verbausysteme eingesetzt. Verbausysteme, bei denen die Verbauelemente kontinuierlich mit dem Aushub abgesenkt werden, sind zu bevorzugen. Einfache Verbaukörbe, die nach dem Aushub in die Gräben eingestellt werden, können nur eingesetzt werden, wenn nicht mit Nachbrüchen der Grabenwände zu rechnen ist. Die Wahl des Verbausystems ist daher den Baugrundverhältnissen anzupassen. Sie fällt im Einzelnen in den Verantwortungsbereich der beauftragten Tiefbauunternehmung.

Beim Aushub ist im gesamten Baugebiet mit zunehmender Aushubtiefe mit Erschwernissen zu rechnen. Bereits in geringer Tiefe zwischen ca. 1,5 und 2,0 m unter Gelände treten vielfach feste und harte Bänke auf. Sie sind in Oberflächennähe zunächst der Klasse 6 nach DIN 18300 zuzuordnen (vgl. Tabelle in Abschnitt 4.3). Wir empfehlen daher, für den erforderlichen Felsaushub in der Ausschreibung ausreichende Massenansätze zu wählen. Für eine zuverlässige Massenermittlung der einzelnen Boden- und Felsklassen ist ein sorgfältiges Aufmaß während des Aushubes erforderlich.

Beim Aushub der Schürfgruben SG 1/08, SG 2/08, SG 6/08, SG 7/08 und SG 11/08 waren die Hartgesteinsbänke aus Dolomit und Sandstein im Bereich der Endtiefen der Gruben mit dem eingesetzten Bagger nicht mehr lösbar. Zum Lösen von Felsbänken im beengten Leitungsgraben werden voraussichtlich besondere Maßnahmen erforderlich. Der Einsatz von Hydraulikmeißeln ist mit Erschütterungen verbunden. Wo der Lärm und die Erschütterungen gering gehalten werden sollen, kommen zum Lösen des Fels auch erschütterungsarme Techniken in Frage (z. B. Einsatz einer Felsfräse oder hydraulischer Spaltkeile in Perforationsbohrungen).

Weiterhin ist zu beachten, dass im Bereich von steinig zerlegten und flächenhaft zusammenhängenden Felsbänken ein maßhaltiger Aushub des Leitungsgrabens vielfach nicht möglich sein wird, da sich die Bänke nur an vorgegebenen Trennflächen (Klüften und Schichtfugen) lösen lassen. Insbesondere in Fels der Klassen 6 und 7 lassen sich vielfach keine ebenflächigen Aushubsohlen und Grabenwände herstellen (vgl. folgenden Abschnitt 5.1.2). Der Mehraushub an der Sohle muss mit Bettungsmaterial ausgeglichen werden. Dies ist bei der Ausschreibung und Massenabschätzung der Arbeiten zu berücksichtigen. Weiterhin ist zu beobachten, dass beim Lösen von Steinen oder Klufftkörpern aus dem Verband Auflockerungen an den Grabenwänden auftreten können.

In den Leitungsgräben ist nach den vorliegenden Erkundungsergebnissen mit Grundwasserzutritten zu rechnen (schichtgebundene Wasserführung auf stauenden Tonlagen innerhalb der Lettenkeuperschichten). Dabei sind in tiefen Leitungsgräben lokal auch stärkere Wasserzutritte möglich. Gegebenenfalls kann das Wasser problemlos mit den üblichen Maßnahmen

einer offenen Wasserhaltung abgeleitet werden. Sollten hierzu Dränleitungen verlegt werden, müssen sie im Endzustand durch Sperrriegel (vgl. Abschnitt 5.1.4) unterbrochen werden. Falls Grundwasser angetroffen wird, ist die Wasserrechtsbehörde unverzüglich zu informieren (Fachbereich Wasserwirtschaftsamt beim Landratsamt Böblingen).

5.1.2 Auflagerung von Rohrleitungen, Verfüllung der Leitungszone

Für die Auflagerung von Entwässerungsleitungen gelten die Richtlinien der DIN EN 1610. In dem durch die Baugrunderkundung erschlossenen Untergrund können die Rohre auf einer Bettung nach Typ 1 der genannten Norm (dort Abschnitt 7.2.1) verlegt werden. Dabei soll die Dicke der unteren Bettungsschicht a mindestens 15 cm betragen, um Linien- und Punktlagerungen im Fels, in steinigem oder festgelagerten Böden zu vermeiden. Das Material für die Bettungsschicht muss die Anforderungen nach Abschnitt 5.3 der DIN EN 1610 erfüllen. Wir empfehlen, hier ausschließlich Fremdmaterial zu verwenden (z. B. Schotter-Splitt-Gemisch 0/32 mm; vgl. Abschnitt 5.3 der DIN EN 1610).

Sollten in der planmäßigen Grabensohle aufgeweichte, aufgelockerte oder durchnässte Böden angetroffen werden, sind diese sorgfältig bis auf den ungestörten Untergrund mit steifer oder günstigerer Konsistenz auszuräumen und durch das Material der Bettungsschicht zu ersetzen.

Auch das Material für die Verfüllung der Leitungszone muss den Vorgaben der DIN EN 1610 (dort Abschnitt 5.3) entsprechen.

5.1.3 Hauptverfüllung

Bei der Verfüllung des Leitungsgrabens ist großer Wert auf eine sorgfältige und sachgemäße Verdichtung des Verfüllmaterials zu legen. Die Setzungen der Grabenverfüllung sind auf ein Mindestmaß zu beschränken. Dies kann durch die Wahl geeigneter Verfüllmaterialien und einen fachgerechten, lagenweise verdichteten Einbau erreicht werden.

Das Aushubmaterial kann für eine setzungsarme Hauptverfüllung des Leitungsgrabens nur bedingt wieder verwendet werden: Bindige Böden müssen mindestens halbfeste Konsistenz aufweisen oder mit hydraulischem Bindemittel verbessert werden (vgl. unten). Beim Aushub der Lettenkeuper-Schichten kann nur kleinstückig anfallendes Aushubmaterial für den Wiedereinbau verwendet werden. Blockiges und grobsteiniges Material ist auszusortieren. Wir empfehlen, das Größtkorn beim Wiedereinbau auf $\varnothing \leq 100$ mm zu beschränken.

Nur unter Grünflächen, wo keine besonderen Anforderungen an das Setzungsverhalten der Verfüllung gestellt werden, halten wir es für möglich, das Aushubmaterial bei Einhaltung der o. g. Bedingungen ohne besondere Verbesserung oder Sortierung wieder einzubauen.

Unter befestigten Flächen stellt der Einbau von körnigem, gut verdichtbarem Fremdmaterial die technisch sicherste Lösung dar. Hierfür gelten die Anforderungen der ZTVE-StB 94² (dort Abschnitte 8 bzw. 3.3.2) und der DIN EN 1610. Besonders gut geeignet sind körnige, weit gestufte Materialien (z. B. Tragschichtmaterial nach TL SoB-StB 04³) oder gleichwertige Schotter-Splitt-Gemische. Wenn nicht güteüberwachtes Material eingebaut werden soll, ist seine Eignung rechtzeitig vor dem Einbau vom Auftragnehmer nachzuweisen.

Wenn das Aushubmaterial auch unter befestigten Flächen wieder eingebaut werden soll, kommt dafür nur steinfreier Boden mit halbfester Konsistenz in Frage. Der Boden ist beim Aushub sorgfältig von den steinigen Bereichen und Felslagen zu trennen. Dabei können Steine und Blöcke eventuell mit Hilfe eines Separator-Löffels aussortiert werden. Der Boden ist unter Beachtung der Regeln des Erdbaues und des optimalen Wassergehaltes lagenweise einzubauen und zu verdichten. Die Verdichtungsanforderungen der ZTVE-StB 94 sind zu erfüllen.

Bei einer Zwischenlagerung ist das Aushubmaterial sorgfältig gegen Witterungseinflüsse zu schützen, damit es nicht aufgeweicht wird.

Bei halbfester Konsistenz kann der Boden voraussichtlich ohne Verbesserungsmaßnahmen wieder eingebaut werden. Bei steifer oder ungünstigerer Konsistenz muss der Boden vor dem Einbau verbessert werden (Bodenstabilisierung mit hydraulischem Bindemittel, vgl. Abschnitt 5.2 dieses Gutachtens und ZTVE-StB 94, Abschnitt 11). Dabei ist es z. B. möglich, den Boden vor dem Einbau auf einer seitlichen Bearbeitungsfläche zu verbessern (homogenes Einfräsen des Bindemittels) und ihn unmittelbar danach im Graben einzubauen und zu verdichten.

Die Grabenverfüllung ist lagenweise einzubauen und in ihrer gesamten Höhe mit geeignetem Gerät optimal zu verdichten. Die Schütthöhe ist dem verwendeten Material und den zum Einsatz kommenden Verdichtungsgeräten anzupassen. Im Bereich der Leitungszone dürfen nur leichte Verdichtungsgeräte eingesetzt werden. Die Einhaltung der Verdichtungsanforderungen entsprechend ZTVE-StB 94, dort Abschnitt 8.5, ist in den Grabenabschnitten unter befestigten Flächen nachzuweisen (vgl. ZTVE-StB 94, Abschnitt 1.6).

² ZTVE-StB 94: Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Erdarbeiten im Straßenbau, Ausgabe 1994, herausgegeben vom Bundesministerium für Verkehr, Abteilung Straßenbau

³ TL SoB-StB 04: Technische Lieferbedingungen für Baustoffgemische und Böden zur Herstellung von Schichten ohne Bindemittel im Straßenbau, Ausgabe 2004, herausgegeben von der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln

Auf der Oberkante der Grabenverfüllung (Erdplanum) muss unter den befestigten Flächen ein Verformungsmodul von $E_{v2} \geq 45 \text{ MN/m}^2$ erzielt werden, damit darauf ein Regelaufbau entsprechend RStO 01⁴ ausgeführt werden kann (vgl. auch Abschnitt 5.2). Die Einhaltung dieses Verformungsmoduls ist mit Plattendruckversuchen nach DIN 18 134 nachzuweisen.

Wo Leitungsgräben überwiegend mit körnigem, durchlässigem Material verfüllt werden, soll im Bereich von befestigten Flächen darüber ein gering wasserdurchlässiger Belag – beispielsweise eine dichte Asphaltdecke – angeordnet werden, um eine unmittelbare Einsickerung von (möglicherweise verunreinigtem) Oberflächenwasser in den Untergrund zu verhindern.

Im Bereich unbefestigter Flächen empfehlen wir, die Grabenverfüllung im oberen Teil mit einer Lage aus gering durchlässigem, bindigem Boden vorzunehmen. Auch dieser sog. Lehmschlag ist sorgfältig lagenweise einzubauen und mit geeignetem Gerät zu verdichten. Er dient zum Schutz des Grundwassers gegen mögliche, von der Geländeoberfläche ausgehende Beeinträchtigungen. Seine Dicke soll mindestens 1 m betragen (unterhalb der Oberbodenandeckung).

5.1.4 Anordnung von Sperrriegeln

Bei Wasserzutritten in Leitungsgräben werden üblicherweise Maßnahmen vorgesehen, um die dränierende Wirkung des Rohraufagers, der Leitungszone und körniger Grabenverfüllungen zu unterbinden.

Wo in den Leitungsgräben Grundwasserzutritte angetroffen werden (vgl. Abschnitt 4.2), empfehlen wir, Sperrriegel aus Beton oder bindigem Boden anzuordnen. Sie müssen die Auflagerschicht, die Leitungszone und die durchlässige Grabenverfüllung vollständig durchtrennen und an der Grabensohle und den Flanken in den natürlichen Untergrund einbinden. Auch eventuell verlegte Baudränagen müssen von diesen Sperrriegeln unterbrochen werden. Wir empfehlen, die Sperrriegel im Abstand von ca. 30 m sowie an jeder Schachthaltung anzuordnen und sie jeweils bis 1 m unter das fertige Geländeniveau hoch zu führen (bei Straßen in Dammlage ist das Gelände neben dem Straßendamm maßgebend). Nach den Ergebnissen der Baugrunderkundung ist vorwiegend im westlichen und nordwestlichen Teil des Gewerbegebietes (SG 1/08 – SG 7/08, vgl. Anlage 2) im Gewann „Seewiesen“ mit Wasserzutritten zu rechnen.

⁴ RStO 01: Richtlinien für die Standardisierung des Oberbaues von Verkehrsflächen, herausgegeben von der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln, Ausgabe 2001

5.2 Straßenbau

Für die Bemessung und Ausführung von Verkehrsflächen gelten die RStO 01 sowie die ZTVE-StB 94.

Die erforderliche Mindestdicke des Straßenaufbaues hängt vor allem von der Frostempfindlichkeit der anstehenden Böden ab. Die vorhandenen Lösslehm- und Hanglehmböden sowie die verwitterten Lettenkeuperschichten sind nach Tabelle 1 der ZTVE-StB 94 in die Frostempfindlichkeitsklassen F 2 und F 3 einzustufen. Der Standort liegt nach Bild 6 der RStO 01 in der Frosteinwirkungszone I. Die erforderliche Mindestdicke des frostsicheren Straßenaufbaues lässt sich hiernach anhand der Tabellen 6 und 7 der RStO 01 ermitteln.

Die Frostschutz-Tragschicht ist aus Schottertragschichtmaterial nach TL SoB-StB 04 in frostsicherer Kornabstufung (sog. KFT-Material) oder aus gleichwertigen, frostsicheren Gemischen aufzubauen (bei Anordnung einer Frostschutzschicht aus Gemischen ohne regelmäßige Güteüberwachung: Eignungsnachweis vor Einbau).

Bei Straßen, die etwa geländegleich verlaufen, wird das Erdplanum nach dem Abschieben des Oberbodens in den Verwitterungsböden liegen, die nach der Geländeansprache und den Ergebnissen der bodenmechanischen Laboruntersuchungen (vgl. Anlage 3) meist steife, zum Teil auch weiche oder halbfeste Konsistenz besitzen. Für einen Regelaufbau nach RStO 01 ist auf dem Planum ein Verformungsmodul von $E_{v2} \geq 45 \text{ MN/m}^2$ erforderlich. Bei steifer oder weicher Konsistenz lässt sich dieser Wert in der Regel nicht nachweisen. Um eine Standardbauweise nach RStO 01 ausführen zu können, sind daher Bodenverbesserungsmaßnahmen zur Erhöhung der Tragfähigkeit des Planums erforderlich. Hierfür kommen folgende Lösungen in Betracht:

Stabilisierung mit hydraulischen Bindemitteln (vgl. ZTVE-StB 94, dort Abschnitt 11):

Die oberflächennah anstehenden bindigen Böden aus Lösslehm und verwitterten Lettenkeuperschichten sind nach DIN 18196 den Bodengruppen TA und TM zuzuordnen, die Hanglehmböden den Bodengruppen TL und TM. Leicht plastische und mittelplastische Tonböden lassen sich mit hydraulischen Bindemitteln gut stabilisieren, Böden der Gruppe TA sind erfahrungsgemäß etwas schwieriger zu bearbeiten. Neben einer Kalkstabilisierung kommt auch die Verwendung von Kalk-Zement-Gemischen in Betracht (z. B. "Dorosol"). Durch die Stabilisierung und anschließende Verdichtung muss der Untergrund so weit verbessert werden, dass auf dem Planum der geforderte Verformungsmodul von $E_{v2} \geq 45 \text{ MN/m}^2$ nachgewiesen werden kann. Die erforderliche Bindemittelzugabe richtet sich nach dem Wassergehalt bzw. der Plastizität des anstehenden Bodens. Sie kann auch mit Hilfe von Testfeldern ermittelt werden. In der Regel liegt sie bei 3 - 6 Gew.-% (bezogen auf die Trockenmasse des Bodens). Bei einer

Bodenverbesserung muss das hydraulische Bindemittel homogen eingemischt werden. Optimale Resultate werden hierbei mit einer Bodenfräse erzielt, während die Durchmischung mittels einer Raupe mit Reißzähnen, Scheibeneggen o. Ä. erfahrungsgemäß nicht immer befriedigende Ergebnisse liefert.

Bodenaustausch:

Die Böden unterhalb des Planums werden bis zu einem vorgegebenen Niveau ausgeräumt und durch verdichtetes, körniges Fremdmaterial ersetzt. Die Dicke des Bodenaustausches hängt vom Verformungsmodul des Untergrundes und von den Verdichtungseigenschaften des Austauschmaterials ab. Sie soll so bemessen sein, dass auf der Oberkante des Austausches (Planum) ein Verformungsmodul von $E_{v2} \geq 45 \text{ MN/m}^2$ erzielt wird, sodass darauf ein Regelaufbau nach RStO 01 möglich ist. Die erforderliche Dicke des Bodenaustausches kann zunächst nur abgeschätzt werden (z. B. mit Hilfe von Bemessungsdiagrammen nach FLOSS⁵ oder KÖHLER et al.⁶). Größere Austauschdicken als 40 cm sind selten erforderlich. Am zuverlässigsten kann die notwendige Dicke auf Testfeldern an Ort und Stelle bestimmt werden.

Verstärkung der Trag- bzw. Frostschuttschicht:

Diese Lösung stellt eine Variante des Bodenaustausches dar. Dabei wird die Dicke der ungebundenen Tragschicht gegenüber dem Regelaufbau nach RStO 01 so weit erhöht, dass der Verformungsmodul E_{v2} , der an Oberkante Tragschicht gefordert ist, trotz des geringen E_{v2} -Wertes auf dem Planum erzielt werden kann.

In der Mehrzahl der Fälle ist eine Stabilisierung mit hydraulischem Bindemittel am wirtschaftlichsten. Eine solche Bodenverbesserung ist allerdings witterungsabhängig; bei anhaltend feuchter Witterung sind die Arbeiten stark behindert oder müssen vollständig eingestellt werden. Die Alternativen „Bodenaustausch“ und „Verstärkung der Tragschicht- bzw. Frostschuttschicht“ können dagegen auch bei nasser Witterung ausgeführt werden.

⁵ FLOSS, R.: ZTVE-StB 94, Fassung 1997, Kommentar mit Kompendium Erd- und Felsbau; 2. Auflage, Bonn 1997 (Kirschbaum-Verlag)

⁶ KÖHLER, U., HEROLD, A., HERING, A.: Dimensionierung von Oberbauten von Verkehrsflächen und die Einschätzung der Tragkraft des Erdplanums. - Vorträge der Baugrundtagung 1998 in Stuttgart. Hrsg.: Deutsche Gesellschaft für Geotechnik, 1998

Falls das Planum bei einem tieferen Einschnitt der Straßen gegenüber dem Geländeniveau bereits in geringer verwitterten Lettenkeuper-Schichten verläuft, lässt sich der geforderte Verformungsmodul voraussichtlich nachweisen. Hier ist aber zu beachten, dass sich häufig kein ebenflächiges Planum herstellen lässt (vgl. Abschnitt 5.1.1). Der Mehraushub muss an der Sohle des Straßenaufbaues aus ausgeglichen werden.

Bei Straßen in Dammlage muss der Unterbau die Anforderungen der ZTVE-StB 94 erfüllen. Es ist großer Wert auf sachgemäße Auswahl und Verdichtung des Auffüllbodens zu legen. Vor Einbau des vorgesehenen Materials soll seine Eignung im Hinblick auf den Erdbau und im Hinblick auf Verunreinigungen nachgewiesen werden.

Außerdem wird noch auf folgende Punkte hingewiesen:

- ▶ Bleibende Böschungen in Einschnitten und Auffüllungen sollen nicht steiler als unter einer Neigung von 1:1,5 angelegt werden. Dann können die Böschungen ohne Schwierigkeiten begrünt und gärtnerisch gepflegt werden.
- ▶ Im Zusammenhang mit dem Schutz des Erdplanums gegen Witterungseinflüsse verweisen wir auf Abschnitt 3.4 der ZTVE-StB 94.
- ▶ Der erzielte Verformungsmodul bzw. Verdichtungsgrad auf dem Erdplanum sowie auf der ungebundenen (Frostschutz-)Tragschicht ist mittels Plattendruckversuchen nach DIN 18 134 oder Dichtepfahrungen nach DIN 18 125 im Rahmen der Eigen- und Fremdüberwachung zu kontrollieren (siehe hierzu ZTVE-StB 94, dort Abschnitt 1.6).
- ▶ Für alle Erd- und Verdichtungsarbeiten gelten die genannten ZTVE-StB 94.

6 Folgerungen für die Bebauung

Angaben über die hier vorgesehene Bebauung liegen uns nicht vor. Wir gehen davon aus, dass es sich um nicht oder einfach unterkellerte Gewerbegebäude handelt. Wenn man die jetzt vorhandenen Geländehöhen zugrunde legt und annimmt, dass keine wesentliche Veränderung des Geländes erfolgt, werden die Sohlen unterkellerten Gebäude im westlichen Bereich des Gewerbegebietes in den gering verwitterten Lettenkeuperschichten verlaufen (Tonstein, Dolomit, Sandstein). Im östlichen und südöstlichen Teil des Gewerbegebietes verlaufen sie in verwitterten Lettenkeuperschichten (SG 10/08) oder bindigen Hanglehmböden (SG 9/08). Nur im südöstlichen Eckbereich des Gewerbegebietes verlaufen die Gebäude-sohlen in verwitterten oder gering verwitterten Muschelkalkschichten (SG 11/08). Bei nicht unterkellerten Gebäuden werden die Bauwerkssohlen durchweg in den bindigen Deckschichten verlaufen (Verwitterungston des Lettenkeupers, Lösslehm, Hanglehm).

6.1 Baugruben

Sofern die Platzverhältnisse ausreichen, können freie Baugrubenböschungen angelegt werden. Bei steifer oder günstigerer Konsistenz der natürlichen Böden und einer Böschungshöhe bis zu 5 m ist dabei nach DIN 4124 eine Neigung von $\beta \leq 60^\circ$ zulässig, sofern in den Böschungen kein Schicht- oder Sickerwasser zutritt. Bei Überschreitung der genannten Böschungshöhe ist die Standsicherheit rechnerisch nachzuweisen. Dies gilt auch, wenn wasserführende Schichten angeschnitten werden. Auch die übrigen einschränkenden Bedingungen der DIN 4124 sind einzuhalten.

Wo die Aushubsohlen in den gering verwitterten, felsartigen Lettenkeuper-Schichten verlaufen, ist mit entsprechenden Erschwernissen beim Aushub zu rechnen. Die Baugrubenböschungen können im Bereich des Fels steiler angelegt werden. Die Ausführungen zum Aushub und zur Böschungsgestaltung bei Leitungsgräben gelten hier sinngemäß (vgl. Abschnitt 5.1.1).

In Baugruben, in denen Bereiche mit Sickerwasserführung bzw. Staunässe angeschnitten werden, ist während der Bauzeit eine offene Wasserhaltung erforderlich. Die anfallende Wassermenge hängt dabei wesentlich von der Größe und Tiefe der Baugrube, dem angetroffenen Untergrundaufbau und der Jahreszeit ab. Die Wassermenge ist voraussichtlich relativ gering und kann problemlos mittels einer offenen Wasserhaltung beherrscht werden. In die Baugrube eindringendes Wasser (auch Niederschlags- und Oberflächenwasser) ist dabei mittels Abzugsgräben und Dränleitungen zu fassen, in einem Pumpensumpf zu sammeln und rasch abzuleiten.

Wo die Baugrubensohlen in gering verwitterten Lettenkeuper-Schichten verlaufen, ist während der Bauzeit eine erhöhte Gefährdung des Grundwassers gegeben, weil der Untergrund ungeschützt frei liegt und die schützenden Deckschichten entfernt sind. Es sollte bei der Bauausführung deshalb großer Wert auf den Schutz des Grundwassers gelegt werden. Wir empfehlen, in diesem Zusammenhang die Regelungen der RiStWag⁷ sinngemäß zu beachten (z. B. Abstellung, Betankung und Wartung von Baufahrzeugen nur auf befestigten Flächen außerhalb der Baugruben).

Eine Wasserhaltung während der Bauzeit ist in wasserrechtlicher Hinsicht grundsätzlich genehmigungspflichtig. Die Maßnahmen sind deshalb frühzeitig mit dem Wasserwirtschaftsamt des Landkreises Böblingen abzustimmen (Untere Wasserbehörde). Bei unerwartetem Antreffen von Grundwasser ist die Behörde ebenfalls zu informieren (vgl. auch Abschnitt 8).

⁷ RiStWag: Richtlinien für bautechnische Maßnahmen an Straßen in Wassergewinnungsgebieten, herausgegeben von der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln, Arbeitsgruppe Erd- und Grundbau, Ausgabe 2002

6.2 Gründung von Gebäuden

Im Folgenden wird die Gründung von Gebäuden nur allgemein diskutiert. Die hier gegebenen Hinweise können eine konkrete Beratung im Einzelfall unter Berücksichtigung der jeweiligen Planung nicht ersetzen. Dabei wird es notwendig sein, das Erkundungsnetz jeweils durch weitere Aufschlüsse zu verdichten.

Die bindigen Deckschichten (Verwitterungston des Lettenkeupers, Lösslehm, Hanglehm, verwitterte Bereiche des Oberen Muschelkalkes) bilden einen kompressiblen Baugrund. Bei Gründungen auf diesem Boden ist das Setzungsverhalten des Untergrundes zu beachten. Die festen Schichten (gering verwitterter Lettenkeuper und Muschelkalk) sind demgegenüber nur gering kompressibel und gut zur Lastabtragung geeignet.

Bei **nicht unterkellerten Gebäuden** werden im Bereich der Schürfgruben SG 1/08 bis SG 8/08 bei einer Flachgründung Lösslehm Böden und bindige Verwitterungsböden des Lettenkeupers erreicht. Hierbei handelt es sich um mittel- und ausgeprägt plastische Tonböden (Bodengruppen TM und TA nach DIN 18196). Der aufnehmbare Sohldruck für solche Flachgründungen kann für Zwecke der Vorbemessung nach den Tabellen A.6 und A.5 der DIN 1054 für Böden mit steifer Konsistenz abgeschätzt werden. Auch die übrigen Vorgaben der genannten Norm sind zu beachten.

Im Ostteil des Geländes (SG 9/08 und SG 10/08) ist die Dicke der Verwitterungs- und Hanglehmböden relativ groß, diese besitzen bereichsweise auch weiche Konsistenz. Die Tabelle A.5 der DIN 1054 ist deshalb nur mit Vorbehalt anwendbar, eine Beratung im Einzelfall wird empfohlen.

Voraussetzung für die Ausführung einer Flachgründung ist jedoch, dass sich ungefähr gleiche Setzungsbeträge ergeben. Dazu ist in der Regel eine gleichmäßige Lastverteilung erforderlich. In gewissem Umfang lässt sich auch ein gleichartiges Setzungsverhalten erzielen, indem die aufnehmbaren Sohldrücke in Abstimmung mit dem konstruktiven Ingenieur und dem Baugrundgutachter abgestuft werden.

Zur Abtragung höherer und/oder unterschiedlicher Bauwerkslasten können hier auch andere Gründungslösungen erforderlich werden, bei denen die Gründung einheitlich im tieferen, geringer kompressiblen Untergrund erfolgt (gering verwitterte Lettenkeuper- oder Muschelkalkschichten). Bei geringem Abstand zwischen Bauwerkssohle und Gründungshorizont bietet sich als wirtschaftliche Lösung an, die Gründungssohlen mittels Fundamentvertiefungen aus unbewehrtem Beton bis auf gering verwitterte Lettenkeuperschichten zu führen (vertiefte Flachgründung). Falls die zur Lastabtragung geeigneten Schichten erst in größerer Tiefe einsetzen (östlicher Teil des Gewerbegebietes), kommen auch andere Verfahren, z. B. Pfeiler- oder Brunnen Gründungen, in Frage (evtl. auch Tiefgründung). Die angemessenen Lösungen müssen jeweils für den Einzelfall erarbeitet werden.

Im westlichen Teilbereich des Gewerbegebietes werden die gering verwitterten Lettenkeuperschichten bei einfach **unterkellerten Gebäuden** mit den planmäßigen Gründungssohlen erreicht (SG 1/08 - SG 8/08). Bei dem Entwurf der Gründung bzw. dem Ansatz des aufnehmbaren Sohldrucks ist hier zu beachten, dass es sich bei den felsartigen Schichten häufig um einzelne Bänke handelt, die wiederum von stärker verwittertem Ton oder Tonstein unterlagert sein können. Insofern muss auch hier die Kompressibilität der Schichtfolge berücksichtigt werden. Dies ist individuell zu prüfen und festzulegen. Zur überschlägigen Bemessung von Fundamenten in diesem Bereich kann auf den gering verwitterten Lettenkeuperschichten zunächst ein aufnehmbarer Sohldruck von $\sigma \leq 400 \text{ kN/m}^2$ angesetzt werden.

Bei wechselhaften Baugrundverhältnissen innerhalb einer Baugrube ist darauf zu achten, dass keine schädlichen Setzungsdifferenzen auftreten. Die Gründungssohlen müssen in gleichartigem Untergrund angeordnet werden: Wenn beispielsweise die Gründung in einem Teilbereich auf felsartigen Schichten verläuft, müssen die Gründungssohlen im übrigen Teil des Baufeldes ebenfalls bis auf den Fels hinabgeführt werden.

Aufgrund der vorliegenden Grundwasserverhältnisse ist es erforderlich, die Untergeschosse als auftriebssichere, druckwasserdichte Wannen auszubilden (vgl. unten), d. h. Fundamente, Bodenplatten und aufgehende Außenwände bilden einen monolithischen Körper. Zur Lastabtragung in den gering verwitterten Lettenkeuperschichten können deshalb auch Plattengründungen in Frage kommen.

Wenn Sohlplatten mit einheitlicher Dicke hergestellt werden, erhält man ebenflächige Baugrubensohlen, was sich vorteilhaft auf den Bauablauf auswirkt. Sohlplatten werden üblicherweise mit Hilfe eines verformungsabhängigen Verfahrens nach DIN 4018 bemessen. Die Sohlplatten sind zur Erzielung einer gleichmäßigen Lasteintragung auf einer Tragschicht aufzulagern. Im Hinblick auf ein gleichmäßiges Setzungsverhalten ist eine Aussteifung der Untergeschosse anzustreben.

Die Auftriebssicherheit der Wannenbauteile muss sowohl für den Bauzustand als auch für den Endzustand nachgewiesen werden. Im Bauzustand sind bis zum Erreichen der Auftriebssicherheit durch das Eigengewicht des Bauwerks gegebenenfalls Flutungsöffnungen im Untergeschoss vorzusehen.

6.3 Schutz gegen Durchfeuchtung aus dem Untergrund

6.3.1 Wannenausbildung, Bemessungswasserstand

Im Abschnitt 4.2 wird auf die Grundwasserverhältnisse im Erschließungsgebiet eingegangen. Demnach ist nur im südöstlichen Bereich (SG 9/08 - SG 11/08) bis in Tiefen, die der Baugrubensohle bei einfacher Unterkellerung entsprechen, nicht mit Grundwasseranfall zu rechnen.

Im Gewann „Seewiesen“ im westlichen- und nordwestlichen Bereich des Gewerbegebietes muss man nach den ermittelten Grundwasserständen (vgl. Abschnitt 4.2) davon ausgehen, dass der Grundwasserspiegel zumindest zeitweilig bis über die Kellersohlen einfach unterkellerten Gebäude ansteigt. Hierbei handelt es sich um eine schichtgebundene Wasserführung innerhalb der Lettenkeuperschichten. In den hochplastischen Lösslehm Böden kommt es außerdem großflächig zu Ausbildung von Staunässe.

Aufgrund der hier vorliegenden geringen Grundwasser-Flurabstände empfehlen wir, die Untergeschosse jeweils bis zum fertigen Geländeniveau als wasserdichte, auftriebssichere Wannen auszubilden.

Das Geländeniveau bildet somit den Bemessungswasserstand, d.h. den höchsten zu erwartenden Grundwasserstand, der für die statisch-konstruktive Durchbildung der Baukörper zugrunde gelegt wird. Wir empfehlen den Planern, sowohl den vorgeschlagenen Bemessungswasserstand als auch die nachstehend beschriebenen Maßnahmen jeweils rechtzeitig mit der zuständigen Fachbehörde (Wasserwirtschaftsamt Böblingen) abzustimmen (im Zuge des wasserrechtlichen Erlaubnisverfahrens für unterkellerte Gebäude).

Die Abdichtung der unter den Bemessungswasserstand reichenden Bauteile lässt sich durch Abdichtungen gegen von außen drückendes Wasser nach DIN 18195-6 erzielen („Schwarze Wannen“). Üblicherweise werden jedoch heute durch Verwendung von wasserundurchlässigem Beton und Fugenbändern sowie einer Rissbreiten beschränkenden Bewehrung einheitlich dichte Betonkörper hergestellt („Weiße Wannen“). Der Vorteil dieser Ausführung liegt darin, dass eventuelle undichte Stellen bei hohen Wasserständen erkannt und durch nachträgliche Injektionen abgedichtet werden können. Auch Lichtschächte, eventuelle Außentreppe u. dgl. sind in die Wannenausbildung einzubeziehen.

6.3.2 Dränmaßnahmen nach DIN 4095

In den hochplastischen Lösslehm- und Hanglehmböden kann es lokal und zeitweise zu Sickerwasserzutritten und Staunässebildung kommen. Auch versickerndes Niederschlagswasser, das in die Arbeitsräume gelangt, kann sich auf der Sohle der Arbeitsräume auf-

stauen und nur mit Verzögerung zur Tiefe versickern. Bei Verzicht auf Unterkellerung der Gebäude ist unter den erdberührenden Bodenplatten eine kapillarbrechende Filterschicht zum Schutz gegen aufsteigende Bodenfeuchte anzuordnen.

Im östlichen Bereich des Gewerbegebietes (SG 9/08 - SG 11/08) wurde bei der Baugrunderkundung kein Grundwasser angetroffen. Hier stellen deshalb Dränmaßnahmen nach DIN 4095 sowie eine Abdichtung gegen nicht stauendes Sickerwasser nach DIN 18195-4 die technisch angemessene Lösung zum Schutz der Untergeschosse gegen Durchfeuchtung aus dem Untergrund dar.

Die wesentlichen Elemente eines solchen Dränsystems sind:

- eine vertikale Sickerschicht vor den erdberührten, gegen nichtstauendes Sickerwasser abgedichteten Außenwänden
- eine Außendränage mit rückstaugesichertem Abfluss
- eine kapillarbrechende Filterschicht unter den erdberührenden Bodenplatten mit einer hydraulischen Verbindung zur Außendränage

Das Dränsystem soll so ausgebildet werden, dass die Wiederversickerung von Dränwasser Vorrang vor einer Ableitung hat. Es sollen deshalb allseits geschlitzte bzw. perforierte Dränrohre verwendet werden. Auf diese Weise kann Wasser, das in das Dränsystem eintritt, an anderer Stelle wieder an den Untergrund abgegeben werden. Der Auslauf (Notüberlauf) des Dränsystems soll höher liegen als die Sohle der Dränleitungen bzw. der Filterschicht, ein ausreichender Abstand (≥ 10 cm) zwischen Auslaufniveau und Unterkante der erdberührenden Bodenplatte ist jedoch einzuhalten. Eine rückstaufreie Ableitung des Überschusswassers muss jederzeit gewährleistet sein. Es empfiehlt sich, anfallendes Dränwasser in einem Frischwasserkanal zu einem natürlichen Vorfluter abzuleiten.

Die beschriebene Dränung auf der Grundlage der DIN 4095 entspricht dem Stand der Technik; sie dient als Entfeuchtungsmaßnahme. Ob und in welchem Umfang in der Dränage Wasser anfällt, hängt auch wesentlich von der Gestaltung der Außenflächen ab. Erfahrungsgemäß kann man davon ausgehen, dass die Dränage nur nach stärkeren Niederschlägen Wasser führt. Auch Versickerungsanlagen in enger Nachbarschaft zu Dränagen können zu verstärktem Wasseranfall im Dränsystem führen (vgl. Abschnitt 6).

Bauteile, die unter das Dränniveau hinabreichen, sind druckwasserdicht herzustellen. Im Einzelnen verweisen wir auf die genannten Normen DIN 18 195 und DIN 4095.

7 Versickerung von Niederschlagswasser

7.1 Durchführung der Versickerungsversuche

Zur Beurteilung der Durchlässigkeitseigenschaften des Untergrundes wurden vier Versickerungsversuche ausgeführt. Der Versickerungsversuche wurden in den Schürfgruben SG 2/08, SG 8/08 und SG 11/08 ausgeführt. Der Versickerungsversuch bei der Schürfgrube SG 5/08 fand in einer eigens dafür angelegten Versickerungsgrube neben der Schürfgrube statt (Tiefe 1,5 m, senkrechte Grubenwände). Auf der Anlage 2 sind die Schichtprofile der Schürfgruben sowie die Ergebnisse der Versickerungsversuche links neben den Profilsäulen dargestellt. Mit den unterschiedlichen Tiefen der Versickerungsgruben sollten die Versickerungseigenschaften des Untergrundes in verschiedenen Tiefen untersucht werden. Die Auswertung der einzelnen Tests ist in Anlage 5 zusammengestellt.

7.2 Versuchsergebnisse und Beurteilung

Zur Durchführung der Tests wurden beide Gruben mit Trinkwasser befüllt, anschließend wurde das Absinken des Wasserspiegels in Abhängigkeit von der Zeit protokolliert. In den Schürfgruben SG 2/08 und in der Versickerungsgrube bei SG 5/08 sank der Wasserspiegel während des Versuches nur um 1 bis 2 cm ab. Beim Versickerungsversuch in der Schürfgrube SG 11/08 betrug die Absenkung 77 cm in fast 24 Stunden.

In der folgenden Tabelle sind Einzelheiten zu den durchgeführten Versickerungsversuchen zusammengestellt (Einstauhöhen, beobachtete Absenkungen u. Ä.):

Versickerungsversuch	Tiefe der Grube [m]	Versickerung in	Beginn des Versickerungsversuchs	Ende des Versickerungsversuchs	Absenkung während des Versuchs [m]	Dauer des Versuches
			Einstauhöhe [m u. Gel.]	Einstauhöhe [m u. Gel.]		
SG 2/08	~3,1	Verwitterte und gering verwitterte Lettenkeuperschichten	03.04.2008 10:15 Uhr	03.04.2008 17:30 Uhr	0,01	7 Stunden, 15 Minuten
			1,35	1,36		
SG 5/08	~1,5	Verwitterte Lettenkeuperschichten	03.04.2008 17:30 Uhr	04.04.2008 9:30 Uhr	0,02	16 Stunden
			1,12	1,14		
SG 8/08	~3,5	Verwitterte Lettenkeuperschichten	02.04.2008 15:30 Uhr	03.04.2008 13:25 Uhr	0,11	23 Stunden, 55 Minuten
			1,42	1,53		
SG 11/08	~3,1	Verwitterte und gering verwitterte Muschelkalkschichten	02.04.2008 13:49 Uhr	03.04.2008 13:40 Uhr	0,77	23 Stunden, 51 Minuten
			1,01	1,78		

Die rechnerische Auswertung der Versickerungsversuche erfolgte in Anlehnung an das DWA-Arbeitsblatt A 138⁸ sowie nach REITMEIER⁹. Als Mittelwerte der beiden Auswertungen ergaben sich dabei die folgenden Durchlässigkeitsbeiwerte $k_{f,u}$ und k_f ¹⁰:

Versickerungsgrube	Durchlässigkeit (Mittelwerte)	
	ungesättigte Bodenzone $k_{f,u}$	gesättigte Bodenzone k_f
SG 2/08	$\sim 3,6 \cdot 10^{-8}$ m/s	$\sim 7 \cdot 10^{-8}$ m/s
SG 5/08	$\sim 1,4 \cdot 10^{-7}$ m/s	$\sim 3 \cdot 10^{-7}$ m/s
SG 8/08	$\sim 1,5 \cdot 10^{-7}$ m/s	$\sim 3 \cdot 10^{-7}$ m/s
SG 11/08	$\sim 1,5 \cdot 10^{-6}$ m/s	$\sim 3 \cdot 10^{-6}$ m/s

⁸ DWA-Arbeitsblatt A 138: „Planung, Bau und Betrieb von Anlagen zur Versickerung von Niederschlagswasser“, herausgegeben von der DWA (Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V.), Hennef, April 2005

⁹ REITMEIER, W.: „Zur Abschätzung der Versickerungsmenge in teilgesättigten Böden“; Geotechnik 18, Seiten 65 - 73, 1995

¹⁰ $k_{f,u}$ = Durchlässigkeitsbeiwert für die ungesättigte Bodenzone
 k_f = Durchlässigkeitsbeiwert der gesättigten Zone

nach dem Arbeitsblatt DWA-A 138 gilt vereinfachend: $k_{f,u} = \frac{k_f}{2}$

In den Gruben SG 2/08, SG 5/08 und SG 8/08, in denen die Versickerung in den verwitterten und gering verwitterten Lettenkeuperschichten erfolgte, ergaben sich Durchlässigkeiten in der Größenordnung von $k_{f,u} \approx 1,4 \cdot 10^{-7}$ m/s bis $3,6 \cdot 10^{-8}$ m/s. In der Grube SG 11/08 waren die Durchlässigkeitsverhältnisse günstiger, hier fand der Versickerungstest in verwitterten und gering verwitterten Muschelkalkschichten statt. Diese Ergebnisse stimmen gut mit dem festgestellten Schichtaufbau und den Ergebnissen bei den bodenmechanischen Untersuchungen überein, wonach die Verwitterungsböden des Lettenkeupers und die Lösslehm Böden aufgrund ihrer tonigen Beschaffenheit (ausgeprägt plastische und mittelplastische Tonböden) nur eine geringe Durchlässigkeit erwarten ließen. In den verwitterten Muschelkalkschichten aus Sand und leicht plastischen Schluffböden sowie dem unterlagernden Dolomit war dagegen eine höhere Durchlässigkeit zu erwarten.

Nach dem genannten DWA-Arbeitsblatt liegt der für Versickerungen entwässerungstechnisch relevante Bereich der Durchlässigkeit des Untergrundes etwa in einem k_f -Bereich von $1 \cdot 10^{-3}$ m/s bis $1 \cdot 10^{-6}$ m/s (DWA-A 138, Abschnitt 3.1.3). Das heißt, für Versickerungsanlagen kommen bindige Böden nur dann in Frage, wenn ihre Durchlässigkeit größer ist als $k_f = 1 \cdot 10^{-6}$ m/s. Dies entspricht einem $k_{f,u}$ -Wert von $\geq 5 \cdot 10^{-7}$ m/s ($k_{f,u} = k_f / 2$, vgl. Abschnitt 3.2.3 des DWA-Arbeitsblattes A 138).

Dieser Wert wurde nur in der Schürfgrube SG 11/08 erreicht. Die Voraussetzungen für eine Versickerung von Niederschlagswasser im Untergrund sind daher nur im Bereich dieser Schürfgrube erfüllt. Im übrigen Bereich des Gewerbegebietes sind sie als sehr ungünstig zu beurteilen.

Auch nach dem Leitfaden „Naturverträgliche Regenwasserbewirtschaftung“ des Ministeriums für Umwelt und Verkehr Baden-Württemberg fallen Gebiete mit k -Werten $< 1 \cdot 10^{-5}$ m/s in die Kategorie „Versickerung kaum möglich“.

Bei den hier vorliegenden Untergrundverhältnissen lässt sich eine nennenswerte Versickerung nur im Bereich des geplanten Regenrückhalteraaumes erzielen (SG 11/08; vgl. Anlage 1.4). Dabei ist es günstig, wenn das Niederschlagswasser in einem Retentionsbecken mit großer Versickerungsfläche und entsprechend großem Volumen über längere Zeit verweilen kann (z. B. großflächige Versickerungsmulde mit Dauerstau über Folienabdichtung im tiefsten Bereich und begrünten Versickerungsflächen im Bereich bis zum maximalen Einstau). Aufgabe einer solchen Retentionseinrichtung ist dabei neben der Versickerung auch die Abflusssdämpfung. Deshalb müssen in jedem Fall ausreichend dimensionierte Entlastungseinrichtungen angeordnet werden (wie nach dem vorliegenden Konzept auch vorgesehen, vgl. Anlage 1.4). Für die Bemessung des Retentions-/Versickerungsbeckens empfehlen wir, keine höhere Durchlässigkeit des Untergrundes anzusetzen als $k_f = 1 \cdot 10^{-6}$ m/s bzw. $k_{f,u} = 5 \cdot 10^{-7}$ m/s. Die Planung und Bemessung der Versickerungsanlagen erfolgt durch einen Fachingenieur für Entwässerungsplanung. Wir sind gern bereit, dazu nähere Hinweise zu geben (z. B. zu Aufbau und Beschaffenheit des Bodenfilters). Wir verweisen in diesem

Zusammenhang auch auf unsere Stellungnahme vom 12.03.2008 zum Entwurf des Flächennutzungsplanes.

Da die Durchlässigkeit der Lösslehmböden und Lettenkeuperschichten sehr ungünstig zu bewerten ist, und da der Grundwasserspiegel bereichs- und zeitweise sehr hoch steht, empfehlen wir, auf die Anordnung von Versickerungseinrichtungen im Gewerbegebiet selbst zu verzichten. Wir empfehlen vielmehr, Maßnahmen zur Abflussdämpfung und Retention des Niederschlagswassers vorzusehen (Dachbegrünung, Rückhalte- und Filterbecken) und das Wasser gedrosselt im Trennsystem (Frischwasserkanal) abzuleiten (wie nach der Konzeptstudie Entwässerung vorgesehen, vgl. Anlage 1.4).

In diesem Zusammenhang wurden wir vom Stadtbauamt (Herrn Thieliant) gebeten, zu prüfen, ob eine Versickerung von Dachflächenwasser in den Dolinen südlich der Autobahn Karlsruhe/Stuttgart möglich ist. Herr Thieliant teilte uns mit, dass eine Einleitung des Dachwassers von drei geplanten Baukörpern in das vorhandene Biotop am südwestlichen Rand des Gewerbegebietes (Lage vgl. Anlage 1.1) in Erwägung gezogen wird. Dieses Biotop (Feuchtgebiet) besitzt eine Ableitung (Überlauf), der in einer geschlossenen Leitung unterhalb der Autobahn A 8 in eine vorhandene Doline (sog. Kuhstelle) südwestlich der Autobahn führt. Dort versickert das anfallende Wasser im Karstgrundwasserleiter des Oberen Muschelkalkes. Soweit das Dachflächenwasser nicht zur Aufrechterhaltung des Biotops benötigt wird, würde das Überschusswasser auf demselben Weg abgeleitet und versickert.

Aus geotechnischer Sicht halten wir eine Versickerung von Dachflächenwasser auf diesem Weg für möglich, zumal ohne die Einleitung von Dachflächenwasser bei zunehmender Bebauung des Geländes ein Trockenfallen des Biotops zu befürchten ist. Wir empfehlen aber, die Anlage so zu planen, dass das Oberflächenwasser vor der Einleitung in die Doline einen humosen, begrünten Bodenfilter passiert, damit es nicht direkt und ungefiltert in den Untergrund geleitet wird. Außerdem ist zu beachten, dass das versickernde Wasser keine Tontrübe enthalten darf, um die Aufnahmefähigkeit der Doline nicht zu beeinträchtigen.

Bei der Planung der Regenwasserbewirtschaftung und Versickerungsanlagen sind die folgenden Punkte zu beachten:

- ▶ Es gelten die Vorgaben und Empfehlungen des Arbeitsblattes DWA-A 138.
- ▶ Die Sohlen der Versickerungsanlagen sollen im aufgewitterten, schwach bindigen oder geklüfteten, felsartigen Untergrund des Muschelkalks liegen (aufgewitterter und klüftiger Trigonodusdolomit).
- ▶ Vor der Versickerung in den felsartigen Muschelkalk ist in jedem Fall eine Passage des Niederschlagswassers durch einen Bodenfilter erforderlich (ungesättigter, humoser, belebter und begrünter Oberboden; Dicke $\geq 0,3$ m; Durchlässigkeit: $k_f \geq 1 \cdot 10^{-5}$ m/s).

- ▶ Der Bodenfilter soll beim Einbau und bei der Wartung der Mulden oder Becken nur gering verdichtet werden, um seine Durchlässigkeit nicht zu beeinträchtigen. Er ist so auszubilden, dass er bei Verdichtung oder Verschlammung infolge Alterung problemlos aufgelockert oder ausgetauscht werden kann.
- ▶ Bei allen Retentionsanlagen (Mulden, Becken und Rigolen) müssen Entlastungseinrichtungen (Notüberläufe) vorgesehen werden, damit das anfallende Wasser in jedem Fall schadlos abgeführt wird (z. B. bei Überstau, Frost, Alterung der Anlage usw.).
- ▶ In Kanalgräben soll möglichst keine Ableitung des versickernden Niederschlagswassers stattfinden (keine Längsläufigkeit in der durchlässigen Leitungszone und der übrigen Grabenverfüllung). Wo Leitungsgräben tiefer reichen als das Einstauniveau benachbarter Versickerungseinrichtungen, sind deshalb in den Gräben Sperrriegel (Grundwassersperrern) zur Verhinderung eines Wasserabstroms anzuordnen (vgl. Abschnitt 5.1.4).

8 Weitergabe von Untersuchungsergebnissen, wasserrechtliche Hinweise

Die Ergebnisse unserer Untersuchungen werden nach der Fertigstellung des Gutachtens an das Wasserwirtschaftsamt des Landratsamtes Böblingen übersandt (Untere Wasserbehörde).

Die Maßnahmen zur Regenwasserbewirtschaftung sind mit der Unteren Wasserbehörde abzustimmen. Für eine Versickerung von Oberflächenwasser ist eine wasserrechtliche Erlaubnis erforderlich. Wir empfehlen, das Konzept bereits frühzeitig mit der Unteren Wasserbehörde abzustimmen. Dabei können Auflagen erteilt werden, die von den hier gegebenen Empfehlungen abweichen oder darüber hinaus gehen.

Auch die Wasserhaltung in Baugruben ist erlaubnispflichtig. Sie soll jeweils im Vorfeld mit dem Landratsamt Böblingen abgestimmt werden.

Nach unseren bisher vorliegenden Untersuchungsergebnissen stellt die hier vorhandene Dicke der Deckschichten (Lösslehm und verwitterte Lettenkeuperschichten) bei einer Gewerbebebauung mit nicht unterkellerten Gebäuden einen ausreichenden Schutz der natürlichen Grundwasservorkommen in den Muschelkalkschichten dar. Falls unterkellerte Gebäude vorgesehen sind, werden die Deckschichten (Lösslehm, Verwitterungsböden und Handlehm) durchstoßen. Die Baugrubensohlen und die Untergeschosse reichen dann bis in den

gering verwitterten Lettenkeuper bzw. in den geklüfteten Trigonodusdolomit hinab. In diesem Fall sind Maßnahmen zum Schutz des Grundwassers vorzusehen.

Wo die schützenden Deckschichten in Baugruben abgetragen sind, ist während der Bauzeit eine erhöhte Gefährdung des Grundwassers gegeben. Der Schutz des Grundwassers ist deshalb besonders zu beachten. Wir verweisen dazu auf die RiStWag, deren Regelungen sinngemäß anzuwenden sind (kein Umgang mit wassergefährdenden Stoffen, Abstellung, Betankung und Wartung von Baufahrzeugen nur auf befestigten Flächen außerhalb des Baufeldes). Beim Bauen im Wasserschutzgebiet (hier: Schutzzone III A) sind auch für den Endzustand geeignete Maßnahmen zum Schutz des Grundwassers vorzusehen (dichte Ausbildung von Verkehrsflächen, besondere Sorgfalt bei der Ausführung von Abwasserleitungen, Abdichtung der Arbeitsräume gegen unmittelbare Einsickerung von Oberflächenwasser u. dgl.). Wir verweisen in diesem Zusammenhang auf die einschlägigen Merkblätter des Landratsamtes Böblingen.

Grundsätzlich führt eine Bebauung offener Flächen infolge der damit verbundenen Versiegelung und Ableitung von Niederschlagswasser zu einer Verringerung des Anteiles des Niederschlages, der in den Untergrund versickert und damit zu einer Verringerung der Grundwasserneubildung. Deshalb empfiehlt es sich, den Anteil versiegelter Flächen möglichst gering zu halten.

Hier ist auch die Verordnung des Regierungspräsidiums Stuttgart zum Schutz der staatlich anerkannten Heilquellen in Stuttgart-Bad Cannstatt und Stuttgart-Berg vom 11. Juni 2002 zu beachten. Danach ist nur eine breitflächige Versickerung von Niederschlagswasser zulässig. Dafür sind ausreichende Flächen einzuplanen. Wir gehen davon aus, dass die geplanten Versickerungseinrichtungen (vgl. Abschnitt 7.2) bei einer Passage des Wassers durch einen ausreichend bemessenen und sachgemäß ausgeführten Bodenfilter mit dieser Vorgabe konform sind.

Erdwärmesonden binden bereits in geringer Tiefe in die Muschelkalkschichten ein. Aufgrund der Lage im Wasserschutzgebiet (Zone III A) ist hier für die Ausführung solcher Sonden eine Einzelfallprüfung im Zuge eines wasserrechtlichen Erlaubnisverfahrens erforderlich. Nach der Schutzverordnung für die Cannstatter Heilquellen dürfen im Lettenkeuper und im Muschelkalk keine wassergefährdenden oder organischen Stoffe verwendet werden. Es ist hiernach davon auszugehen, dass die Anlage von Erdwärmesonden nur mit Einschränkungen möglich ist.

9 Abfallrechtliche Hinweise

Bei der Schichtaufnahme der Schürftgruben ergaben sich keine Hinweise auf Verunreinigungen des Untergrundes. Eine gezielte Erkundung im Hinblick auf eventuelle Altlasten war allerdings nicht Gegenstand unserer Beauftragung. Es ist nicht auszuschließen, dass lokal, insbesondere im Bereich künstlicher Auffüllungen, Schadstoffgehalte vorhanden sind, deren Konzentration über die Zuordnungswerte Z 0 der Verwaltungsvorschrift vom 14.03.2007¹¹ hinausgehen. In diesem Fall ist die Wiederverwertbarkeit des gelösten Materials eingeschränkt (vgl. die genannte Verwaltungsvorschrift). Wir empfehlen deshalb, in der Ausschreibung vorzugeben, dass neben Böden des Zuordnungswertes Z 0 auch Material der Zuordnungswerte Z 0* und Z 1.1 ohne Preiszuschlag entsorgt wird. Für Böden der Zuordnungswerte Z 1.2 und Z 2 sowie für Bauschutt sollen die Entsorgungskosten ebenfalls vorab vereinbart werden.

Im Zusammenhang mit befestigten Flächen im Baufeld ist zu beachten: Die Art und der Preis für die Entsorgung bzw. Wiederverwendung von Straßenaufbruch hängen wesentlich vom Teergehalt der Asphaltdecken ab. Ein Hauptindikator für den Teergehalt ist die Konzentration der polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffe (PAK). Um in dieser Hinsicht Kostensicherheit für die Entsorgung zu erhalten, ist es empfehlenswert, aus den befestigten Flächen im Vorfeld Proben zu entnehmen und in einem chemischen Labor auf PAK untersuchen sowie den Phenolindex bestimmen zu lassen (vgl. auch RuVA-StB 01¹²).

10 Schlussbemerkungen

Die Untergrundverhältnisse wurden auf der Grundlage von elf Schürftgruben, vier Versickerungsversuchen sowie ergänzenden bodenmechanischen Laboruntersuchungen beschrieben und beurteilt.

Die Angaben beziehen sich auf die Untersuchungsstellen. Abweichungen von dem hier beschriebenen Befund sind nicht auszuschließen. Deshalb sind bei der Bauausführung eine sorgfältige Überwachung der Erdarbeiten und eine laufende Überprüfung der angetroffenen Boden- und Grundwasserverhältnisse im Vergleich zu den Untersuchungsergebnissen und Folgerungen dieses Gutachtens erforderlich.

¹¹ Verwaltungsvorschrift des Umweltministeriums Baden-Württemberg für die Verwertung von als Abfall eingestuftem Bodenmaterial vom 14. März 2007 – Az.: 25-8980.08M20 Land/3 –

¹² RuVA-StB 01: Richtlinien für die umweltverträgliche Verwertung von Ausbaustoffen mit teer-/pechtypischen Bestandteilen sowie für die Verwertung von Ausbaupflaster im Straßenbau, am 01.11.2001, herausgegeben vom Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen, Fassung 2005

Auch die Angabe der Bodenklassen kann ein Aufmaß an Ort und Stelle nicht ersetzen. In Zweifelsfällen ist der Gutachter zu verständigen.

Das vorliegende geotechnische Gutachten dient zur Übersicht über die geologischen und hydrogeologischen Verhältnisse und zur Beurteilung der geotechnischen Folgerungen für die Erschließung des Baugebietes. Es werden allgemeine Hinweise zur Gründung und Bauausführung von Wohngebäuden gegeben. Dies kann jedoch eine konkrete Beurteilung für einzelne Bauwerke oder bauliche Anlagen nicht ersetzen. Hierzu wird es notwendig sein, das Erkundungsnetz durch weitere Aufschlüsse zu verdichten.

Im Zuge der Baugrunderkundung wurden keine Hinweise auf Verunreinigungen des Untergrundes festgestellt. Eine gezielte Altlastenerkundung war jedoch nicht Gegenstand unserer Beauftragung.

Für die Beantwortung geotechnischer Fragen bei der weiteren Planung und Ausführung stehen wir gerne zur Verfügung.

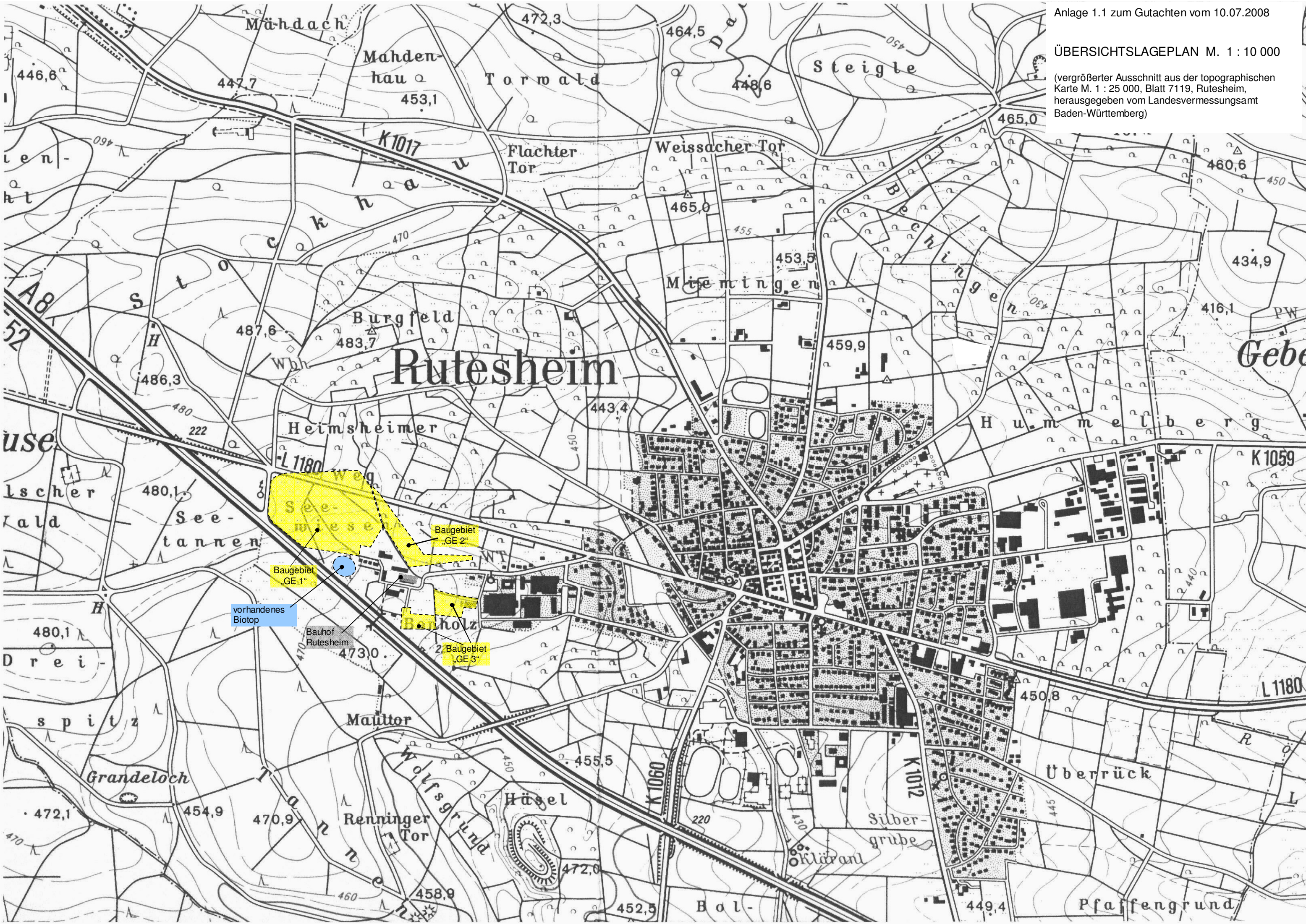
Leinfelden-Echterdingen, 10. Juli 2008

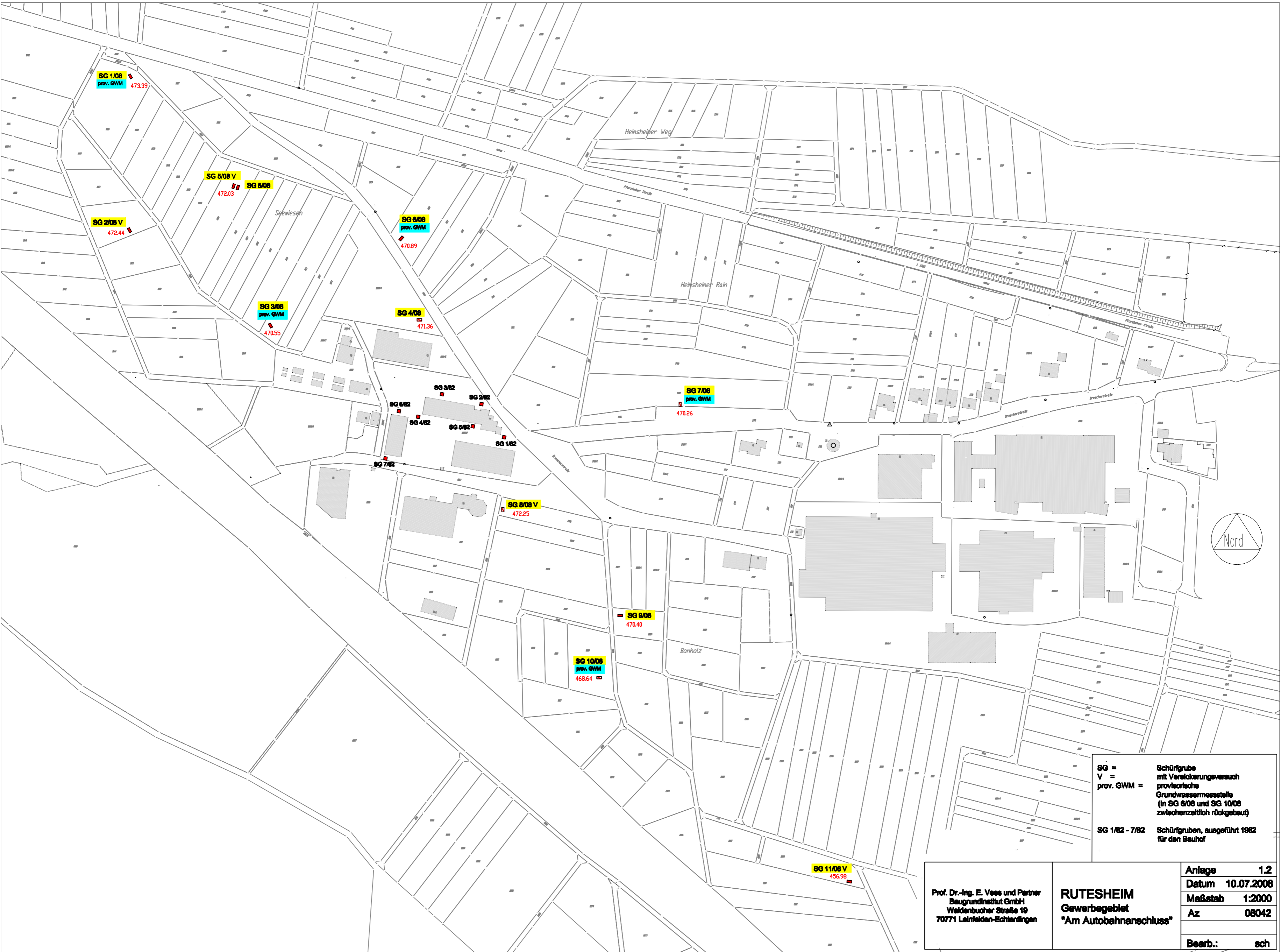
Dipl.-Geol. H. Schmidl

Dipl.-Geol. Dr. K. Kleinert

ÜBERSICHTSLAGEPLAN M. 1 : 10 000

(vergrößerter Ausschnitt aus der topographischen Karte M. 1 : 25 000, Blatt 7119, Rutesheim, herausgegeben vom Landesvermessungsamt Baden-Württemberg)





SG 1/08
prov. GWM
473.39

SG 5/08 V
472.03
SG 5/08

SG 2/08 V
472.44

SG 3/08
prov. GWM
470.55

SG 6/08
prov. GWM
470.89

SG 4/08
471.36

SG 7/08
prov. GWM
470.26

SG 3/82

SG 6/82

SG 2/82

SG 4/82

SG 5/82

SG 1/82

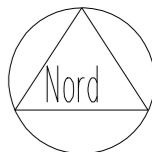
SG 7/82

SG 8/08 V
472.25

SG 9/08
470.40

SG 10/08
prov. GWM
468.64

SG 11/08 V
456.98



SG = Schürfgrube
V = mit Versickerungsversuch
prov. GWM = provisorische
Grundwassermessstelle
(in SG 6/08 und SG 10/08
zwischenzeitlich rückgebaut)

SG 1/82 - 7/82 Schürfgruben, ausgeführt 1982
für den Bauhof

Prof. Dr.-Ing. E. Vees und Partner
Baugrundinstitut GmbH
Waldenbacher Straße 19
70771 Leinfelden-Echterdingen

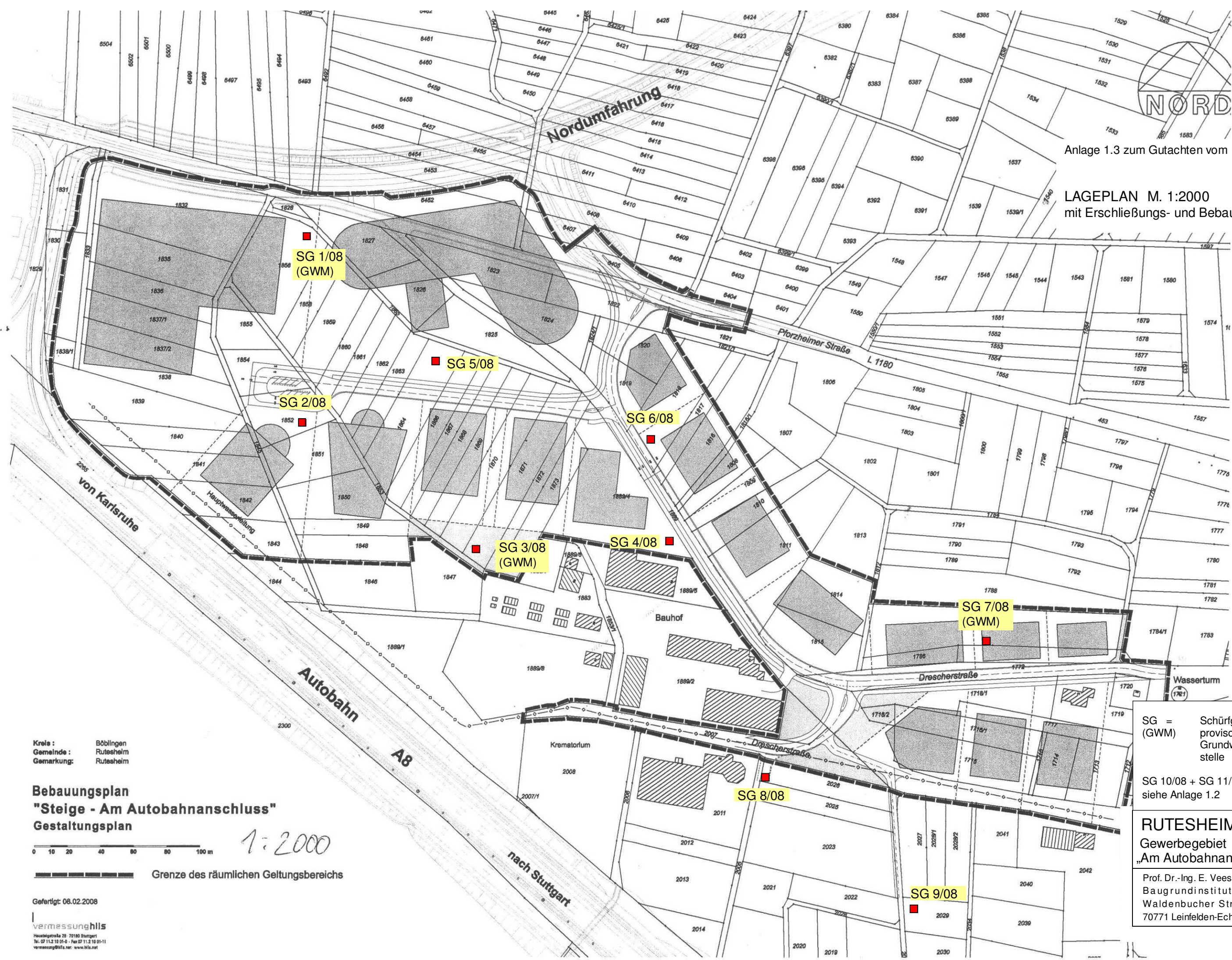
RUTESHEIM
Gewerbegebiet
"Am Autobahnanschluss"

Anlage	1.2
Datum	10.07.2008
Maßstab	1:2000
Az	08042
Bearb.:	sch



Anlage 1.3 zum Gutachten vom 10.07.2008

LAGEPLAN M. 1:2000
mit Erschließungs- und Bebauungskonzept



Kreis : Böblingen
Gemeinde : Rutesheim
Gemarkung : Rutesheim

Bebauungsplan "Steige - Am Autobahnanschluss" Gestaltungsplan

0 10 20 40 80 100 m

1:2000

Grenze des räumlichen Geltungsbereichs

Gefertigt: 08.02.2008

vermessung|hils
Hausbergstraße 29 70180 Stuttgart
Tel. 07 11 2 10 01-0 - Fax 07 11 2 10 01-11
vermessung|hils.net www.hils.net

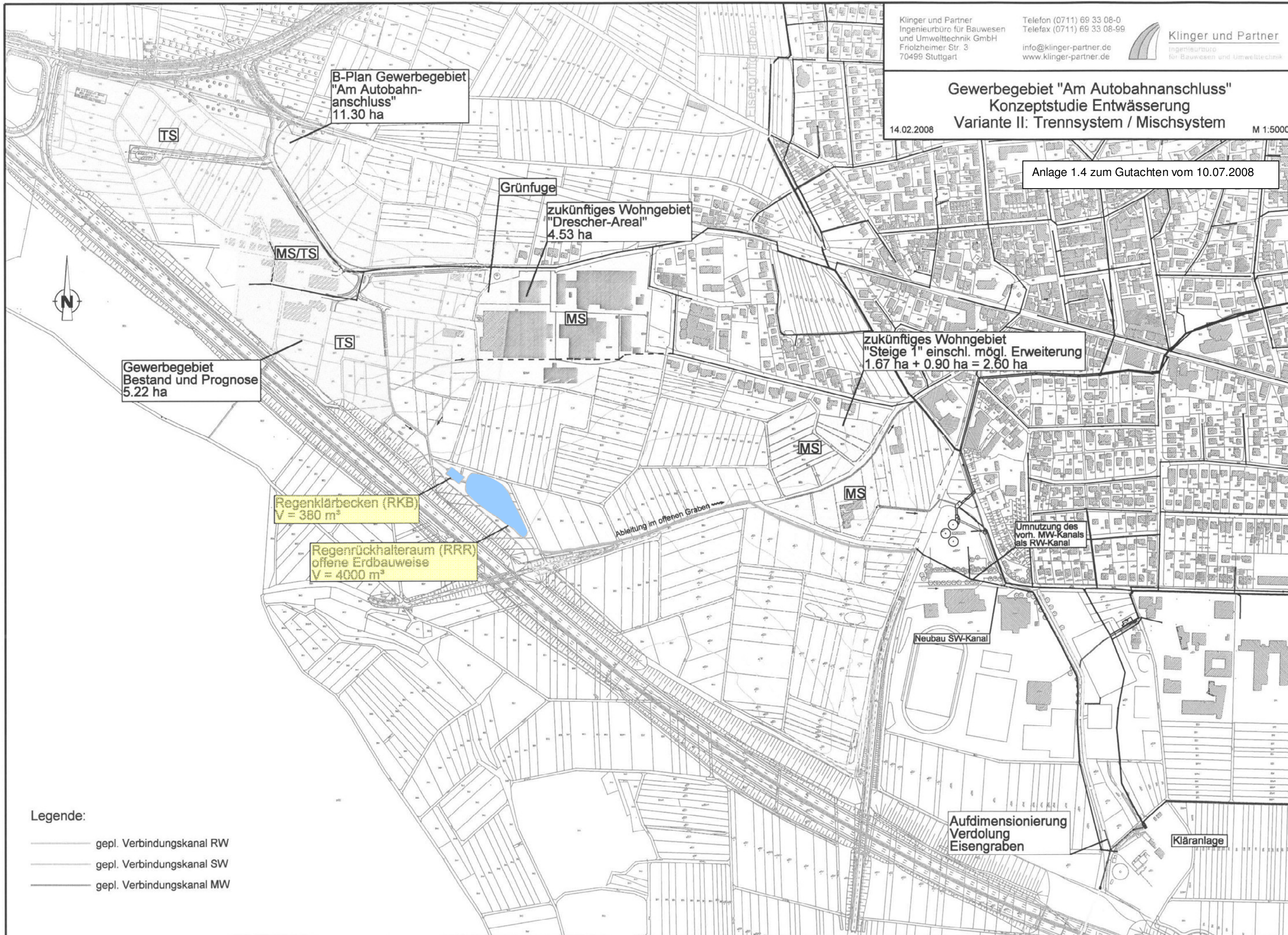
SG = Schürfgrube
(GWM) provisorische
Grundwassermess-
stelle
SG 10/08 + SG 11/08
siehe Anlage 1.2

RUTESHEIM
Gewerbegebiet
„Am Autobahnanschluss“
Prof. Dr.-Ing. E. Vees + Partner
Baugrundinstitut GmbH
Waldenbucher Straße 19
70771 Leinfelden-Echterdingen

Gewerbegebiet "Am Autobahnanschluss"
Konzeptstudie Entwässerung
Variante II: Trennsystem / Mischsystem
14.02.2008

M 1:5000

Anlage 1.4 zum Gutachten vom 10.07.2008



B-Plan Gewerbegebiet
"Am Autobahn-
anschluss"
11.30 ha

Grünfuge
zukünftiges Wohngebiet
"Drescher-Areal"
4.53 ha

zukünftiges Wohngebiet
"Steige 1" einschl. mögl. Erweiterung
1.67 ha + 0.90 ha = 2.60 ha

Gewerbegebiet
Bestand und Prognose
5.22 ha

Regenklärbecken (RKB)
V = 380 m³

Regenrückhalteraum (RRR)
offene Erdbauweise
V = 4000 m³

Ableitung im offenen Graben

Umnutzung des
vorm. MW-Kanals
als RW-Kanal

Neubau SW-Kanal

Aufdimensionierung
Verdolung
Eisengraben

Kläranlage

Legende:

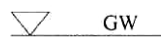
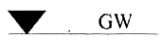
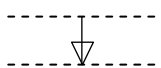
- gepl. Verbindungskanal RW
- gepl. Verbindungskanal SW
- gepl. Verbindungskanal MW

Schichtprofile der Schürfgruben SG 1/08 bis SG 11/08

(3 Blätter)

Legende:

SG Schürfgrube

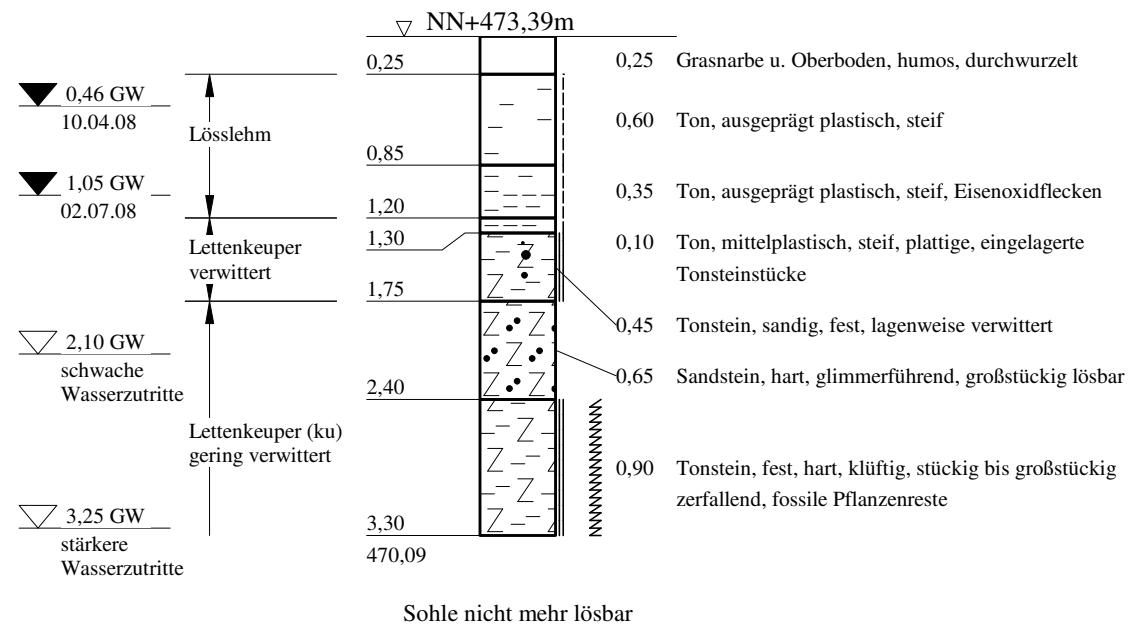
Wasserzutritt in der Schürfgrube
(während des Aushubs beobachtet)Wasserspiegel in der provisorischen Grundwassermessstelle
gemessen am...Absinken des Wasserspiegels beim Versickerungsversuch
vonm u. Gelände aufm u. Gelände $k_{f,u}$ Durchlässigkeit eines nicht wassergesättigten Bodens in m /sKonsistenzen/Beschaffenheit
(Signatur rechts der Profilsäule):

weich steif halbfest fest klüftig



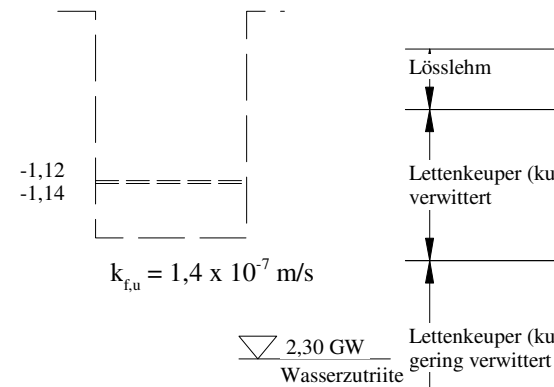
SG 1/08

(prov. Grundwassermessstelle)



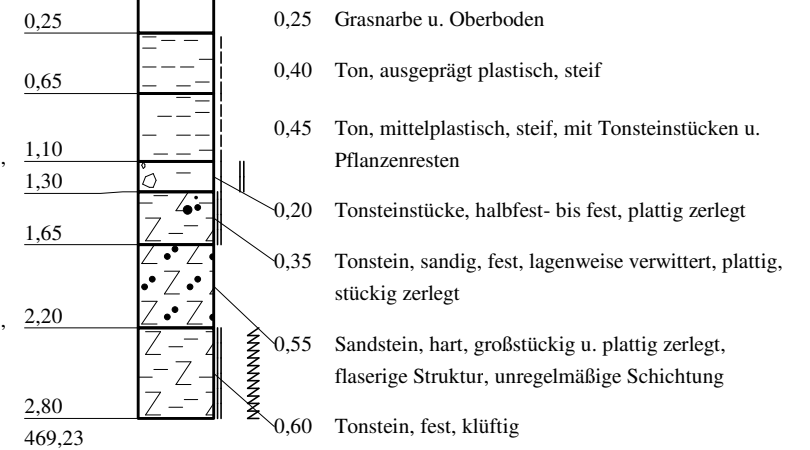
SG 5 V/08

Versickerungsversuch neben der Schürfgrube



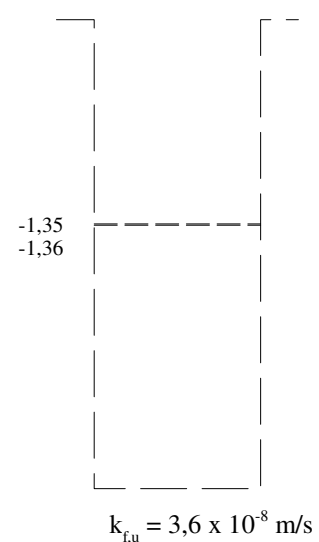
SG 5/08

(prov. Grundwassermessstelle)



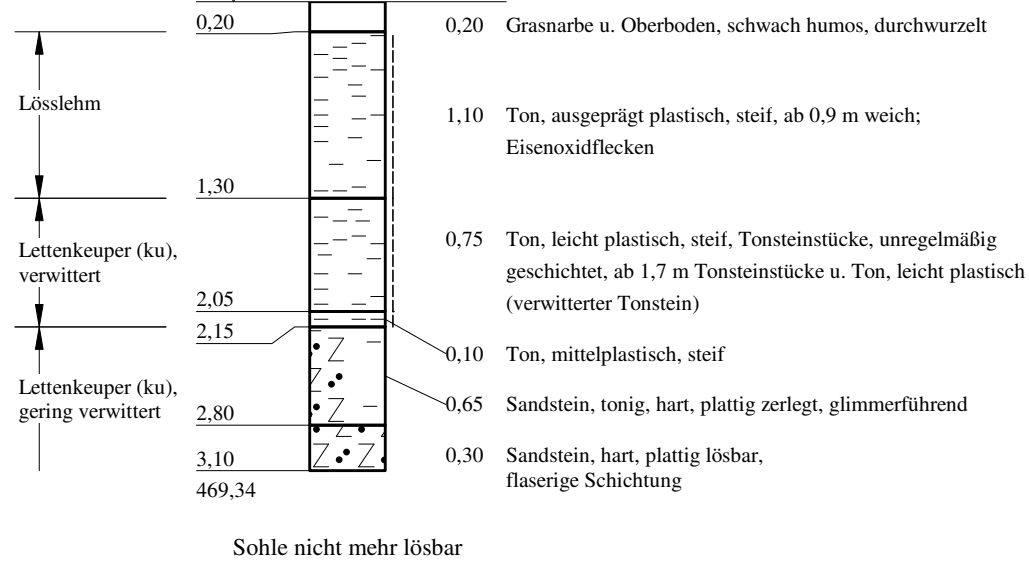
SG 2 V/08

Versickerungsversuch in der Schürfgrube



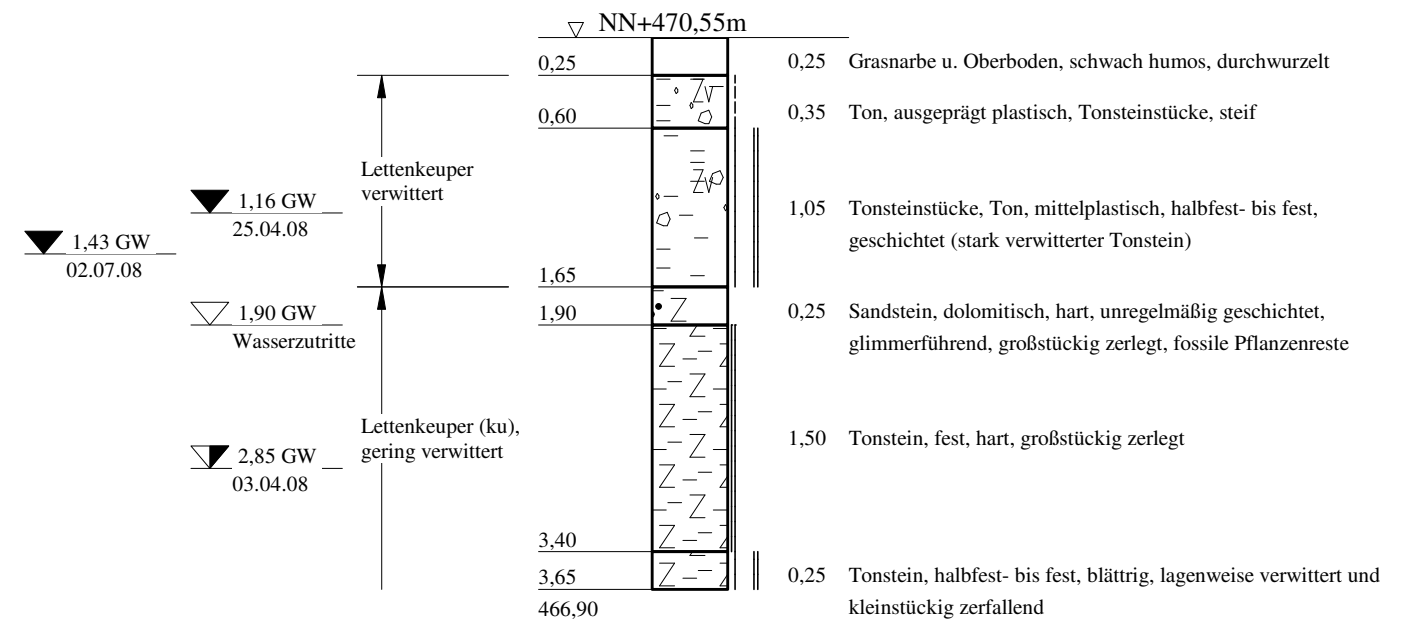
SG 2/08

(prov. Grundwassermessstelle)



SG 3/08

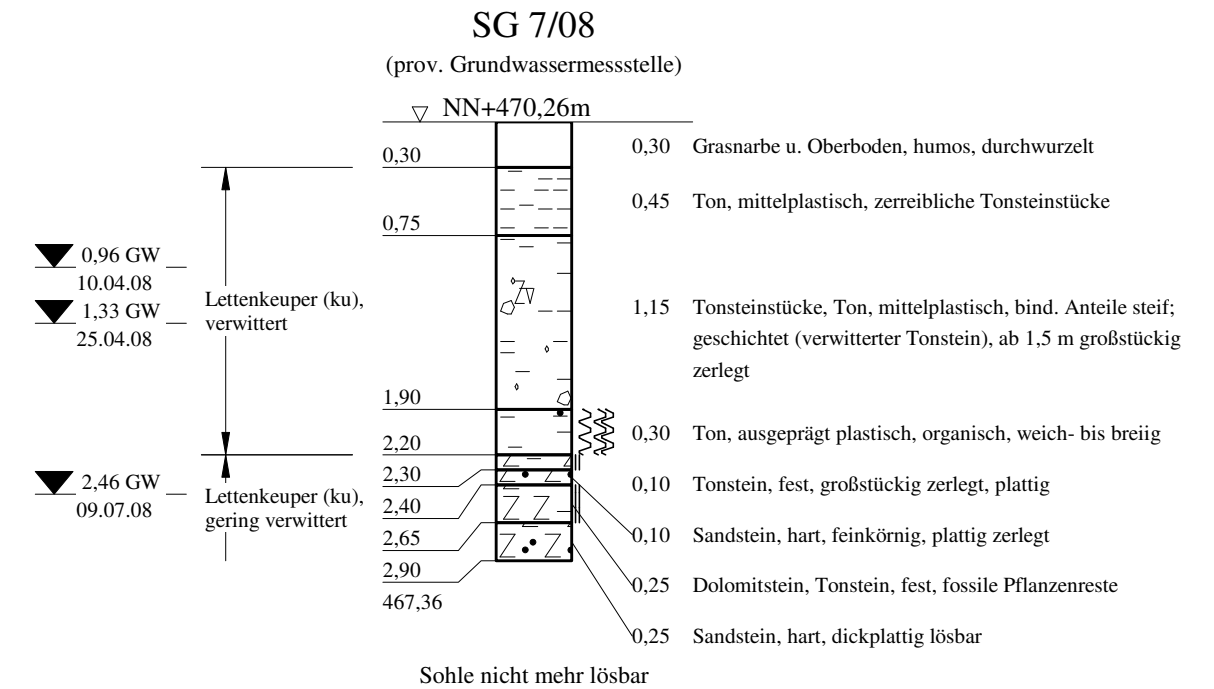
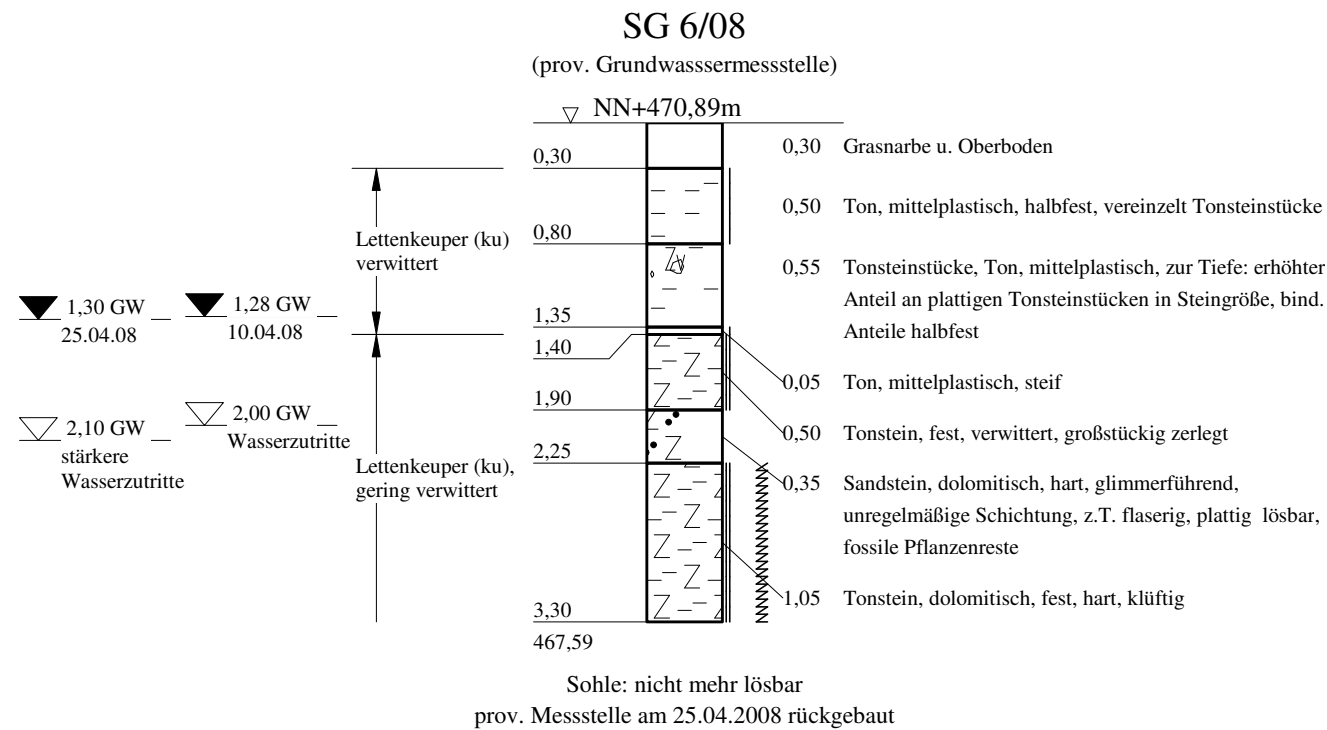
(prov. Grundwassermessstelle)



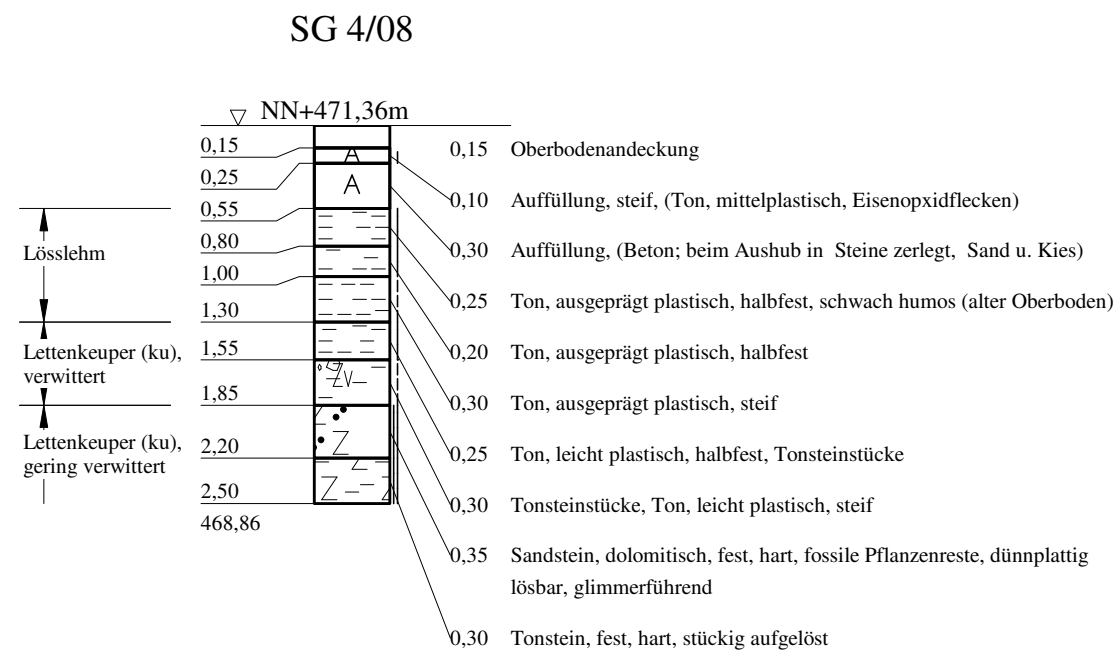
Prof. Dr.-Ing. E. Vees
und Partner
Baugrundinstitut GmbH
Waldenbacher Straße 19
70771 Leinfelden-Echterdingen
Tel: 0711-797350-0

Projekt:
RUTESHEIM
Gewerbegebiet
"Am Autobahnanschluss"

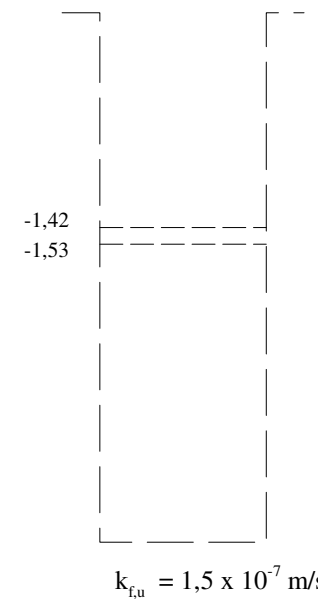
Anlage-Nr.: 2.1
Projekt-Nr.: 08042
Datum: 10.07.2008
Maßstab: 1 : 50
Bearbeiter: sch



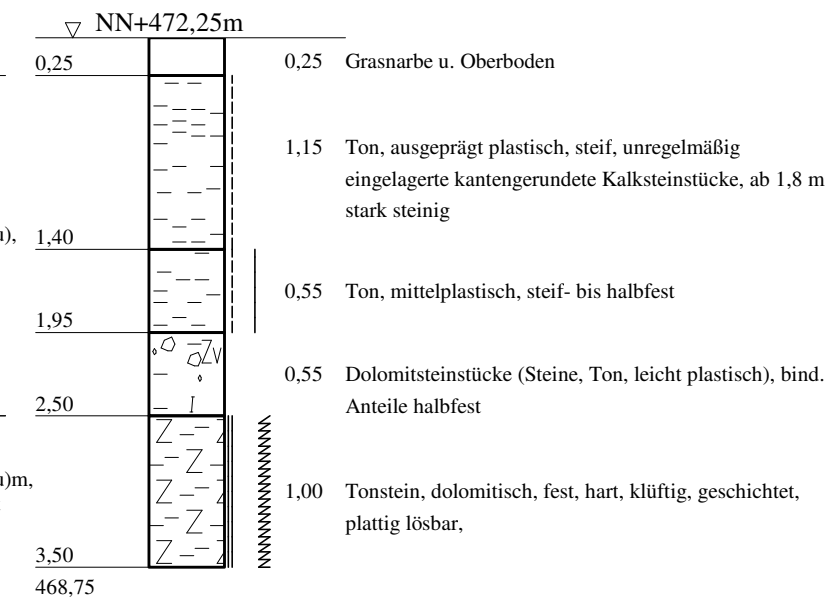
prov. Grundwassermessstelle am 13.05., 28.05. und 02.07.2008 trocken bis 2,68 m u. Gelände



SG 8 V/08
Versickerungsversuch in der Schürfgrube

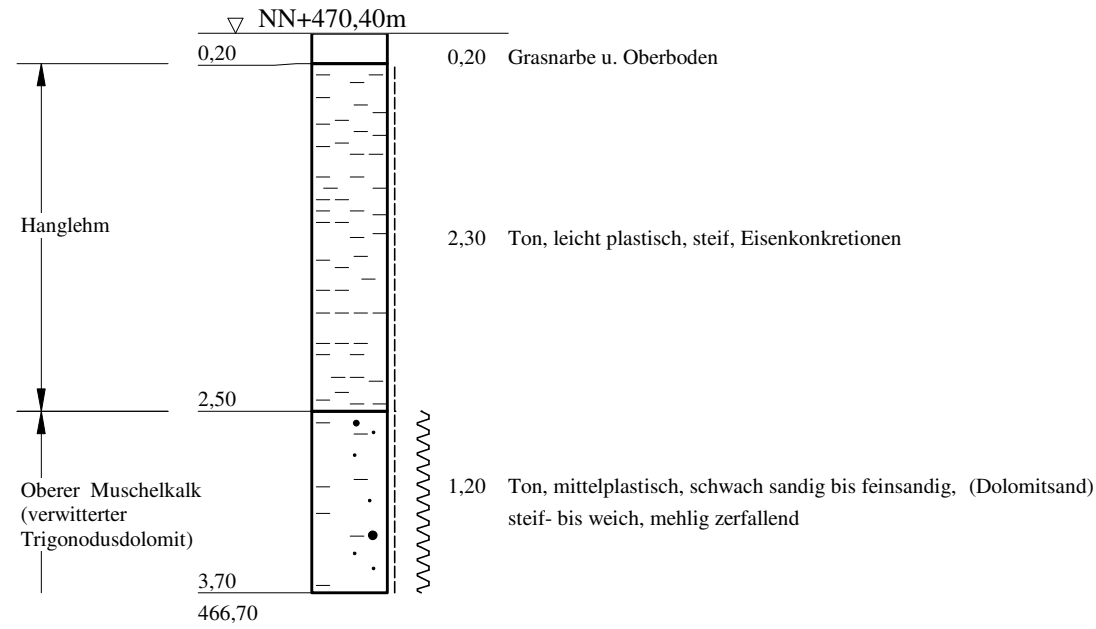


SG 8/08



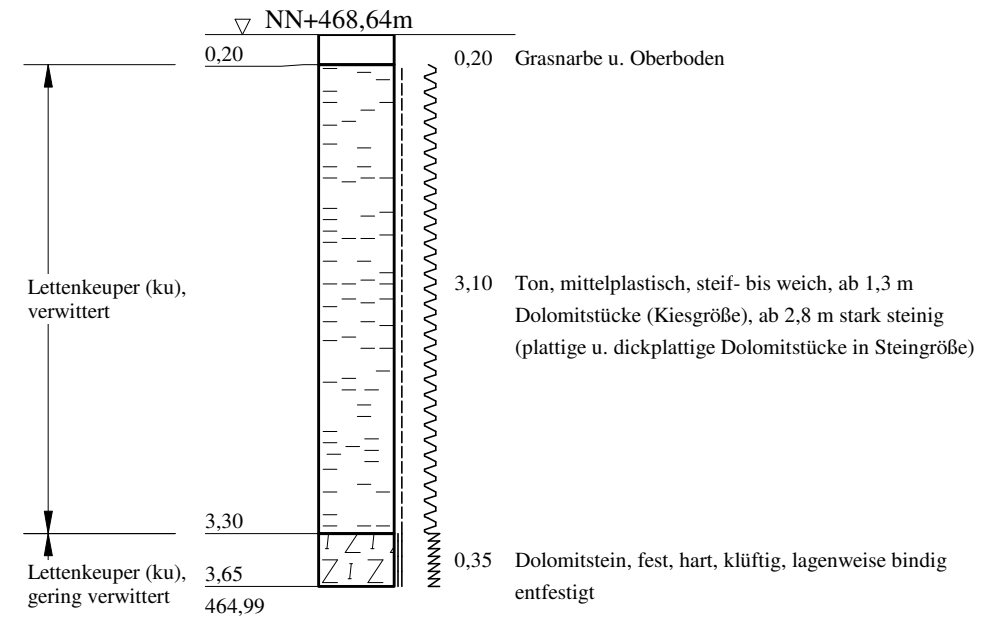
Prof. Dr.-Ing. E. Vees und Partner Baugrundinstitut GmbH Waldenbacher Straße 19 70771 Leinfelden-Echterdingen Tel: 0711-797350-0	Projekt: RUTESHEIM Gewerbegebiet "Am Autobahnanschluss"	Anlage-Nr.: 2.2 Projekt-Nr.: 08042 Datum: 10.07.2008 Maßstab: 1 : 50 Bearbeiter: sch
---	---	--

SG 9/08



SG 10/08

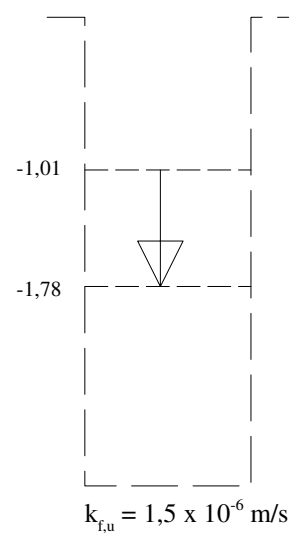
(prov. Grundwassermessstelle)



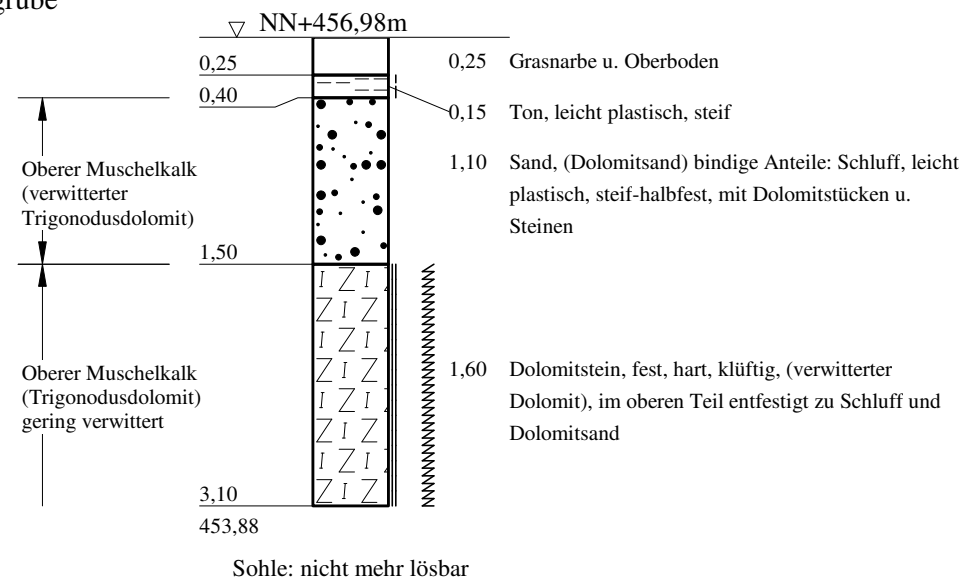
prov. Messstelle vom 10.-25.04.2008
 durch Oberflächenwasser überstaut
 (vgl. Text, Abschnitt 4.2)

SG 11 V/08

Versickerung in der Schürfgrube



SG 11/08



Prof. Dr.-Ing. E. Vees und Partner Baugrundinstitut GmbH Waldenbucher Straße 19 70771 Leinfelden-Echterdingen Tel: 0711-797350-0	Projekt: RUTESHEIM Gewerbegebiet "Am Autobahnanschluss"	Anlage-Nr.: 2.3
		Projekt-Nr: 08042
		Datum: 10.07.2008
		Maßstab: 1:100
		Bearbeiter: sch

ZUSAMMENSTELLUNG DER ERMITTELTEN BODENMECHANISCHEN KENNGRÖSSEN

Probenherkunft	Entnahmetiefe t [m]	Probenart: UP = ungestört, g = gestört	Bodenart / geologische Einstufung	Bezeichnung nach DIN 4022 / 4023	Kornverteilung siehe Anlage	Anteil der Kornfraktion $\varnothing \leq 0,063$ mm [%]	Natürlicher Wassergehalt w_n [%]	Konsistenzgrenzen		Plastizitätszahl I_P	Konsistenzzahl I_C	Zustandsform <small>br = breiig; w = weich st = steif; hf = halbfest;</small>	Klassifizierung nach DIN 18196	Kompressionsversuch siehe Anlage
								Fließgrenze w_L [%]	Ausrollgrenze w_P [%]					
SG 1/08	0,6	g	Lösslehm	Ton			28,6							
	0,9	g		Ton, ausgeprägt plastisch			31,0	65,5	21,6	43,9	0,79	st	TA	
	1,25	g	Lettenkeuper, verwittert	Ton			14,5							
	1,35	g		Tonstein, verwittert			12,1							
	1,8	g	Lettenkeuper, gering verwittert	Sandstein			7,4							
	2,6	g		Tonstein			8,5							
	3,25	g		Tonstein			9,7							
SG 2/08	0,7	g	Lösslehm	Ton			24,8							
	1,1	g					26,9							
	1,45	g	Lettenkeuper, verwittert	Ton			19,3							
	2,0	g					16,3							
	2,4	g	Lettenkeuper, gering verwittert	Sandstein			10,8							
	3,0	g					8,1							
SG 3/08	0,6	g	Lettenkeuper, verwittert	Ton, ausgeprägt plastisch			23,6	51,1	19,5	31,6	0,87	st	TA	
	0,8	g		Ton			15,7							
	1,85	g	Lettenkeuper, gering verwittert	Sandstein			8,2							
	2,8	g		Tonstein			9,5							
	3,6	g		Ton			19,3							

ZUSAMMENSTELLUNG DER ERMITTELTEN BODENMECHANISCHEN KENNGRÖSSEN

Probenherkunft	Entnahmetiefe t [m]	Probenart: UP = ungestört, g = gestört	Bodenart / geologische Einstufung	Bezeichnung nach DIN 4022 / 4023	Kornverteilung siehe Anlage	Anteil der Kornfraktion $\leq 0,063$ mm [%]	Natürlicher Wassergehalt w_n [%]	Konsistenzgrenzen		Plastizitätszahl I_p	Konsistenzzahl I_c	Zustandsform <small>br = breig; w = weich st = steif; hf = halbfest;</small>	Klassifizierung nach DIN 18196	Kompressionsversuch siehe Anlage
								Fließgrenze w_L [%]	Ausrollgrenze w_P [%]					
SG 4/08	0,65	g	Lösslehm	Ton			31,7							
	0,9	g					21,0							
	1,25	g		Ton, ausgeprägt plastisch			25,4	54,8	19,3	35,5	0,83	st	TA	
	1,7	g	Lettenkeuper, verwittert	Ton, Tonsteinstücke			13,2							
	2,0	g	Lettenkeuper, gering verwittert	Sandstein			7,5							
SG 5/08	0,6	g	Lösslehm	Ton			27,5							
	0,9	g	Lettenkeuper, verwittert				17,7							
	1,5	g		Tonstein, verwittert			10,6							
	2,7	g	Lettenkeuper, gering verwittert	Tonstein			9,3							
SG 6/08	*0,55	g	Lettenkeuper, verwittert	Ton, mittelpastisch			19,1	38,4	21,5	17,0	1,14	hf	TM	
	0,85	g		Ton, Tonsteinstücke			13,7							
	2,0	g	Lettenkeuper, gering verwittert	Sandstein			9,5							
	2,8	g		Tonstein			9,5							
SG 7/08	0,4	g	Lettenkeuper, verwittert	Ton			20,0							
	0,95	g		Ton, Tonsteinstücke			12,3							
	2,2	g		Ton, ausgeprägt plastisch			56,6	69,8	30,4	39,4	0,34	br	TA	
	2,9	g	Lettenkeuper, gering verwittert	Sandstein			7,5							

*Zur Bestimmung der Konsistenzgrenzen wurde Probenmaterial $\leq 0,4$ mm verwendet

ZUSAMMENSTELLUNG DER ERMITTELTEN BODENMECHANISCHEN KENNGRÖSSEN

Probenherkunft	Entnahmetiefe t [m]	Probenart: UP = ungestört, g = gestört	Bodenart / geologische Einstufung	Bezeichnung nach DIN 4022 / 4023	Kornverteilung siehe Anlage	Anteil der Kornfraktion $\leq 0,063$ mm [%]	Natürlicher Wassergehalt w_n [%]	Konsistenzgrenzen		Plastizitätszahl I_p	Konsistenzzahl I_c	Zustandsform <small>br = breig; w = weich st = steif; hf = halbfest;</small>	Klassifizierung nach DIN 18196	Kompressionsversuch siehe Anlage
								Fließgrenze w_L [%]	Ausrollgrenze w_P [%]					
SG 8/08	1,5	g	Lettenkeuper, verwittert	Ton, mittelplastisch			17,8	45,8	19,4	26,4	1,06	hf	TM	
	2,6	g	Lettenkeuper, gering verwittert	Tonstein			10,7							
SG 9/08	1,0	g	Hanglehm	Ton			23,2							
	1,8	g		Ton, leicht plastisch			20,3	34,7	16,3	18,5	0,78	st	TL	
	2,6	g	Oberer Muschelkalk, verwittert	Ton, mittelplastisch			21,7	35,9	17,0	18,8	0,75	st-w	TM	
	3,6	g		Ton			20,7							
SG 10/08	0,8	g	Lettenkeuper, verwittert	Ton, mittelplastisch			23,9	42,0	16,2	25,8	0,70	w	TM	
	1,95	g					25,5							
	2,9	g		Ton			15,8							
	3,6	g					15,6							
SG 11/08	0,4	g	Oberer Muschelkalk, verwittert	Ton			23,9							
	*0,9	g		Dolomitschluff			20,2	25,0	19,4	5,7	0,86	st	SU/UL	
	1,95	g	Oberer Muschelkalk	Ton, leicht plastisch			22,5	28,6	17,0	11,6	0,53	w	TL	
	3,1	g		Dolomit, verwittert			13,1							
*Zur Bestimmung der Konsistenzgrenzen wurde Probenmaterial $\leq 0,4$ mm verwendet														

Boden- und Felsklassen nach DIN 18300

Erdarbeiten

Ausgabe Oktober 2006

- Klasse 1: **Oberboden**
Oberste Schicht des Bodens, die neben anorganischen Stoffen, z. B. Kies-, Sand-, Schluff- und Tongemischen, auch Humus und Bodenlebewesen enthält.
- Klasse 2: **Fließende Bodenarten**
Bodenarten, die von flüssiger bis breiiger Beschaffenheit sind und die das Wasser schwer abgeben.
- Klasse 3: **Leicht lösbare Bodenarten**
Nichtbindige bis schwachbindige Sande, Kiese und Sand-Kies-Gemische mit bis zu 15 % Beimengungen an Schluff und Ton (Korngröße kleiner als 0,06 mm) und mit höchstens 30 % Steinen von über 63 mm Korngröße bis zu 0,01 m³ Rauminhalt.
Organische Bodenarten mit geringem Wassergehalt, z. B. feste Torfe.
- Klasse 4: **Mittelschwer lösbare Bodenarten**
Gemische von Sand, Kies, Schluff und Ton mit mehr als 15 % der Korngröße kleiner als 0,06 mm. Bindige Bodenarten von leichter bis mittlerer Plastizität, die je nach Wassergehalt weich bis halbfest sind und die höchstens 30 % Steine von über 63 mm Korngröße bis zu 0,01 m³ Rauminhalt enthalten.
- Klasse 5: **Schwer lösbare Bodenarten**
Bodenarten nach den Klassen 3 und 4, jedoch mit mehr als 30 % Steinen von über 63 mm Korngröße bis zu 0,01 m³ Rauminhalt. Nichtbindige und bindige Bodenarten mit höchstens 30 % Steinen von über 0,01 m³ bis 0,1 m³ Rauminhalt.
Ausgeprägt plastische Tone, die je nach Wassergehalt weich bis halbfest sind.
- Klasse 6: **Leicht lösbarer Fels und vergleichbare Bodenarten**
Felsarten, die einen inneren, mineralisch gebundenen Zusammenhalt haben, jedoch stark klüftig, brüchig, bröckelig, schiefrig, weich oder verwittert sind, sowie vergleichbare feste oder verfestigte bindige oder nichtbindige Bodenarten, z. B. durch Austrocknung, Gefrieren, chemische Bindungen. Nichtbindige und bindige Bodenarten mit mehr als 30 % Steinen von über 0,01 m³ bis 0,1 m³ Rauminhalt.
- Klasse 7: **Schwer lösbarer Fels**
Felsarten, die einen inneren, mineralisch gebundenen Zusammenhalt und hohe Gefügesteifigkeit haben und die nur wenig klüftig oder verwittert sind, auch festgelagerter, unverwitterter Tonschiefer, Nagelfluhschichten, Schlackenhalde der Hüttenwerke und dergleichen.
Steine von über 0,1 m³ Rauminhalt.

Auswertung der Versickerungsversuche
(SG 2/08 V, SG 5/08 V, SG 8/08 V und SG 11/08 V)

(4 Blätter)

GW m u. Gel. 3,00		Auswertung in Anlehnung an Arbeitsblatt DWA-A 138									
SG 2/08 V		(Quader)									
Länge a [m]		Breite b [m]		Tiefe h [m]			Grundfläche A _G [m ²]	Sickerstrecke z _{GW} [m]			
Datum Uhrzeit		Zeitspanne	m u. Gel.	Einstauhöhe h _n	Einstauhöhe h _{n+1}	h _m	Spiegeländerung Δ h	Versickerungsrate Q _s	Wirks. Versick.fläche A _s	Hydraul. Gefälle i	Durchlässigkeit k _{t,u}
		[s]		[m]	[m]	[m]	[m]	[m ³ /s]	[m ²]	[-]	[m/s]
03.04.2008 10:15			1,35								
03.04.2008 17:30			1,36								
gesamter Zeitraum		26100	1,36	1,75	1,74	1,75	0,01	1,16E-06	13,741	2,129	4,0E-08

Mittelwert -

$$\Delta h = h_{n+1} - h_n \quad [m] \quad Q_s = (\Delta h * A_G) / \Delta t \quad [m^3/s] \quad h_m = (h_{n+1} + h_n) / 2 \quad [m]$$

$$A_s = (a + h_m) * (b + h_m) \quad [m^2] \quad i = (z_{GW} + h_m) / (z_{GW} + h_m / 2) \quad k_u = Q_s / (i * A_s) \quad [m/s]$$

Auswertung nach REITMEIER

SG 2/08 V		(Quader)										
Länge a [m]		Breite b [m]		Länge + Breite a + b [m]			Tiefe h [m]	Grundfläche A _G [m ²]	Entwässerb. Porenanteil n _w [-]			
Datum Uhrzeit		Zeitspanne	m u. Gel.	Einstauhöhe h _n	Einstauhöhe h _{n+1}	h _m	Spiegeländerung Δ h	Volumen Δ V	Versickerungsfläche A	Sickertiefe z	Hydraul. Gefälle i	Durchlässigkeit k _{t,u}
		[s]		[m]	[m]	[m]	[m]	[m ³]	[m ²]	[m]	[-]	[m/s]
03.04.2008 10:15			1,35									
03.04.2008 17:30			1,36									
gesamter Zeitraum		26100	1,36	1,75	1,74	1,75	0,01	0,030	18,374	0,033	1,964	3,2E-08

Mittelwert -

$$\Delta V = \Delta h * A_G \quad [m^3] \quad A = A_G + (h_n + h_{n+1}) * (a + b) \quad [m^2]$$

$$h_m = (h_{n+1} + h_n) / 2 \quad [m] \quad z = \Delta V / (n_w * A) \quad [m] \quad i = (z + h_m) / (z + h_m / 2)$$

$$k_u = \Delta V / (i * A * \Delta t) \quad [m/s]$$

Mittelwert (DWA-A 138, Reitmeier) -
3,6E-08

Eingangsdaten

Versickerungsversuch SG 2/08 V

RUTESHEIM
Gewerbegebiet
"Am Autobahnanschluss"

Auswertung in Anlehnung an Arbeitsblatt DWA-A 138											
GW m u. Gel. 2,30											
	SG 5/08 V		(Quader)								
	Länge a [m]	Breite b [m]	Tiefe h [m]	Grundfläche A _G [m ²]	Sickerstrecke z _{GW} [m]						
	2,70	0,85	1,50	2,30	0,80						
Datum Uhrzeit	Zeitspanne	m u. Gel.	Einstauhöhe h _n	Einstauhöhe h _{n+1}	h _m	Spiegeländerung Δ h	Versickerungsrate Q _s	Wirks. Versick.fläche A _s	Hydraul. Gefälle i	Durchlässigkeit k _{t,u}	
	[s]		[m]	[m]	[m]	[m]	[m ³ /s]	[m ²]	[-]	[m/s]	
03.04.2008 17:30		1,12									
04.04.2008 09:30		1,14									
gesamter Zeitraum	57600	1,14	0,38	0,36	0,37	0,02	7,97E-07	3,745	1,188	1,8E-07	

Mittelwert -

$$\Delta h = h_{n+1} - h_n \quad [m] \quad Q_s = (\Delta h * A_G) / \Delta t \quad [m^3/s] \quad h_m = (h_{n+1} + h_n) / 2 \quad [m]$$

$$A_s = (a + h_m) * (b + h_m) \quad [m^2] \quad i = (z_{GW} + h_m) / (z_{GW} + h_m / 2) \quad k_u = Q_s / (i * A_s) \quad [m/s]$$

Auswertung nach REITMEIER

	SG 5/08 V		(Quader)								
	Länge a [m]	Breite b [m]	Länge + Breite a + b [m]	Tiefe h [m]	Grundfläche A _G [m ²]	Entwässerb. Porenanteil n _w [-]					
	2,70	0,85	3,55	1,50	2,30	0,050					
	Zeitspanne	m u. Gel.	Einstauhöhe h _n	Einstauhöhe h _{n+1}	h _m	Spiegeländerung Δ h	Volumen Δ V	Versickerungsfläche A	Sickertiefe z	Hydraul. Gefälle i	Durchlässigkeit k _{t,u}
	[s]		[m]	[m]	[m]	[m]	[m ³]	[m ²]	[m]	[-]	[m/s]
		1,12									
		1,14									
gesamter Zeitraum	57600	1,14	0,38	0,36	0,37	0,02	0,046	4,922	0,187	1,498	1,1E-07

Mittelwert -

$$\Delta V = \Delta h * A_G \quad [m^3] \quad A = A_G + (h_n + h_{n+1}) * (a + b) \quad [m^2]$$

$$h_m = (h_{n+1} + h_n) / 2 \quad [m] \quad z = \Delta V / (n_w * A) \quad [m] \quad i = (z + h_m) / (z + h_m / 2)$$

$$k_u = \Delta V / (i * A * \Delta t) \quad [m/s]$$

Mittelwert (DWA-A 138, Reitmeier) -
1,4E-07

Eingangsdaten

Versickerungsversuch VG 5/08 V

RUTESHEIM
Gewerbegebiet
"Am Autobahnanschluss"

Auswertung in Anlehnung an Arbeitsblatt DWA-A 138

GW m u. Gel.
4,55

SG 8/08 V		(Quader)				Grundfläche A _G [m ²]	Sickerstrecke z _{GW} [m]				Durchlässigkeit k _{t,u} [m/s]
Länge a [m]	Breite b [m]	Tiefe h [m]									
	3,50	0,90	3,50		3,15	1,05					
Datum Uhrzeit	Zeitspanne [s]	m u. Gel.	Einstauhöhe h _n [m]	Einstauhöhe h _{n+1} [m]	h _m [m]	Spiegeländerung Δ h [m]	Versickerungsrate Q _s [m ³ /s]	Wirks. Versick.fläche A _s [m ²]	Hydraul. Gefälle i [-]		
02.04.2008 15:30	7200	1,42	2,08	2,05	2,07	0,03	1,46E-05	16,50	1,496	5,9E-07	
02.04.2008 17:30	52200	1,45	2,05	2,00	2,03	0,05	3,35E-06	16,16	1,491	1,4E-07	
03.04.2008 08:00	19500	1,50	2,00	1,97	1,99	0,03	5,38E-06	15,82	1,486	2,3E-07	
03.04.2008 13:25		1,53	1,97								
gesamter Zeitraum	78900	1,53	2,08	1,97	2,03	0,11	4,39E-06	16,161	1,491	1,8E-07	

Mittelwert 3,2E-07

$$\Delta h = h_{n+1} - h_n \quad [m] \quad Q_s = (\Delta h * A_G) / \Delta t \quad [m^3/s] \quad h_m = (h_{n+1} + h_n) / 2 \quad [m]$$

$$A_s = (a + h_m) * (b + h_m) \quad [m^2] \quad i = (z_{GW} + h_m) / (z_{GW} + h_m/2) \quad k_u = Q_s / (i * A_s) \quad [m/s]$$

Auswertung nach REITMEIER

SG 8/08 V		(Quader)				Grundfläche A _G [m ²]	Entwässerb. Porenanteil n _w [-]				Durchlässigkeit k _{t,u} [m/s]
Länge a [m]	Breite b [m]	Länge + Breite a + b [m]		Tiefe h [m]							
	3,50	0,90	4,40		3,50	3,15	0,080				
Zeitspanne [s]	m u. Gel.	Einstauhöhe h _n [m]	Einstauhöhe h _{n+1} [m]	h _m [m]	Spiegeländerung Δ h [m]	Volumen Δ V [m ³]	Versickerungsfläche A [m ²]	Sickertiefe z [m]	Hydraul. Gefälle i [-]		
7200	1,42	2,08	2,05	2,07	0,03	0,095	21,32	0,06	1,95	3,2E-07	
52200	1,45	2,05	2,00	2,03	0,05	0,157	20,97	0,09	1,92	7,5E-08	
19500	1,50	2,00	1,97	1,99	0,03	0,095	20,62	0,06	1,95	1,2E-07	
	1,53	1,97									
gesamter Zeitraum	78900	1,53	2,08	1,97	2,03	0,11	0,347	20,970	0,207	1,831	1,1E-07

Mittelwert 1,7E-07

$$\Delta V = \Delta h * A_G \quad [m^3] \quad A = A_G + (h_n + h_{n+1}) * (a + b) \quad [m^2]$$

$$h_m = (h_{n+1} + h_n) / 2 \quad [m] \quad z = \Delta V / (n_w * A) \quad [m] \quad i = (z + h_m) / (z + h_m/2)$$

$$k_u = \Delta V / (i * A * \Delta t) \quad [m/s]$$

Mittelwert (DWA-A 138, Reitmeier) 2,5E-07
1,5E-07

Eingangsdaten

Versickerungsversuch SG 8/08 V

RUTESHEIM
Gewerbegebiet
"Am Autobahnanschluss"

GW m u. Gel. 8,00

Auswertung in Anlehnung an Arbeitsblatt DWA-A 138

SG 11/08 V		(Quader)				Grundfläche A _G [m²]	Sickerstrecke z _{GW} [m]				Durchlässigkeit k _{f,u} [m/s]
Länge a [m]	Breite b [m]	Tiefe h [m]			Spiegeländerung Δh [m]			Versickerungsrate Q _s [m³/s]	Wirks. Versick.fläche A _s [m²]	Hydraul. Gefälle i [-]	
	3,20	0,90	3,10		2,88	4,90					
Datum Uhrzeit	Zeitspanne [s]	m u. Gel.	Einstauhöhe h _n [m]	Einstauhöhe h _{n+1} [m]	h _m [m]	Spiegeländerung Δh [m]	Versickerungsrate Q _s [m³/s]	Wirks. Versick.fläche A _s [m²]	Hydraul. Gefälle i [-]	Durchlässigkeit k _{f,u} [m/s]	
02.04.2008 13:49	2460	1,01	2,09	1,99	2,04	0,10	1,26E-04	15,41	1,172	7,0E-06	
02.04.2008 14:30	3600	1,11	1,99	1,89	1,94	0,10	8,61E-05	14,60	1,165	5,1E-06	
02.04.2008 15:30	7200	1,21	1,89	1,77	1,83	0,12	5,17E-05	13,73	1,157	3,3E-06	
02.04.2008 17:30	52200	1,33	1,77	1,40	1,59	0,37	2,20E-05	11,89	1,139	1,6E-06	
03.04.2008 08:00	20400	1,70	1,40	1,32	1,36	0,08	1,22E-05	10,31	1,122	1,1E-06	
03.04.2008 13:40		1,78	1,32								
gesamter Zeitraum	85860	1,78	2,09	1,32	1,71	0,77	2,58E-05	12,778	1,148	1,8E-06	

Mittelwert 3,6E-06

$$\Delta h = h_{n+1} - h_n \text{ [m]} \quad Q_s = (\Delta h \cdot A_G) / \Delta t \text{ [m}^3/\text{s]} \quad h_m = (h_{n+1} + h_n) / 2 \text{ [m]}$$

$$A_s = (a + h_m) \cdot (b + h_m) \text{ [m}^2] \quad i = (z_{GW} + h_m) / (z_{GW} + h_m / 2) \quad k_u = Q_s / (i \cdot A_s) \text{ [m/s]}$$

Auswertung nach REITMEIER

SG 11/08 V		(Quader)				Grundfläche A _G [m²]	Entwässerb. Porenanteil n _w [-]				Durchlässigkeit k _{f,u} [m/s]
Länge a [m]	Breite b [m]	Länge + Breite a + b [m]			Tiefe h [m]			Volumen ΔV [m³]	Versickerungsfläche A [m²]	Sickertiefe z [m]	
	3,20	0,90	4,10		3,10	2,88	0,075				
Zeitspanne [s]	m u. Gel.	Einstauhöhe h _n [m]	Einstauhöhe h _{n+1} [m]	h _m [m]	Spiegeländerung Δh [m]	Volumen ΔV [m³]	Versickerungsfläche A [m²]	Sickertiefe z [m]	Hydraul. Gefälle i [-]	Durchlässigkeit k _{f,u} [m/s]	
2460	1,01	2,09	1,99	2,04	0,10	0,29	19,61	0,20	1,84	3,2E-06	
3600	1,11	1,99	1,89	1,94	0,10	0,29	18,79	0,20	1,83	2,3E-06	
7200	1,21	1,89	1,77	1,83	0,12	0,35	17,89	0,26	1,78	1,5E-06	
52200	1,33	1,77	1,40	1,59	0,37	1,07	15,88	0,89	1,47	8,7E-07	
20400	1,70	1,40	1,32	1,36	0,08	0,23	14,03	0,22	1,76	4,6E-07	
		1,32									
gesamter Zeitraum	85860	1,78	2,09	1,32	1,71	0,77	2,22	16,861	1,754	1,327	1,2E-06

Mittelwert 1,7E-06

$$\Delta V = \Delta h \cdot A_G \text{ [m}^3] \quad A = A_G + (h_n + h_{n+1}) \cdot (a + b) \text{ [m}^2]$$

$$h_m = (h_{n+1} + h_n) / 2 \text{ [m]} \quad z = \Delta V / (n_w \cdot A) \text{ [m]} \quad i = (z + h_m) / (z + h_m / 2)$$

$$k_u = \Delta V / (i \cdot A \cdot \Delta t) \text{ [m/s]}$$

Mittelwert (DWA-A 138, Reitmeier) 2,6E-06
1,5E-06

Eingangsdaten

Versickerungsversuch SG 11/08 V

RUTESHEIM
Gewerbegebiet
"Am Autobahnanschluss"