

Stadt Rutesheim  
Bürgermeisteramt  
Postfach 11 61  
71273 Rutesheim

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

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

30.09.2008  
Az 08 043

Konversion „Drescher-Areal“ in Rutesheim

## **Geotechnisches Gutachten**

<b>Inhalt</b>	<b>Seite</b>
1 Vorbemerkungen .....	4
2 Lage und geologischer Überblick .....	4
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 .....	10
4.4 Bodenmechanische Kennwerte für erdstatische Berechnungen .....	11
5 Beurteilung des Verformungsverhaltens der erschlossenen Schichten .....	12
6 Folgerungen für die Erschließung .....	13
6.1 Leitungsbau.....	13
6.1.1 Anlage der Leitungsgräben .....	13
6.1.2 Auflagerung von Rohrleitungen, Verfüllung der Leitungszone .....	15
6.1.3 Hauptverfüllung.....	15
6.1.4 Anordnung von Sperrriegeln.....	17
6.2 Straßenbau.....	18
6.2.1 Allgemeines .....	18
6.2.2 Bodenverbesserung .....	18
6.2.3 Weitere Hinweise .....	20
7 Folgerungen für die Bebauung.....	21
7.1 Baugruben.....	21
7.2 Gründung von Gebäuden .....	22
7.3 Verfüllung tiefreichender Abbruchgruben.....	24
7.4 Schutz der Gebäude gegen Durchfeuchtung aus dem Untergrund.....	25
8 Versickerung von Niederschlagswasser.....	27
8.1 Durchführung der Versickerungsversuche.....	27
8.2 Versuchsergebnisse und Beurteilung .....	28
9 Weitergabe von Untersuchungsergebnissen, wasserrechtliche Hinweise .....	30
10 Abfallrechtliche Hinweise .....	32
11 Schlussbemerkungen .....	32

## **Anlagen**

- 1.1           Übersichtslageplan, M. 1:10 000
- 1.2           Lageplan, M. ca. 1:1000
- 2.1 – 2.3     Schichtprofile der Schürfgruben SG 1/08 bis SG 7/08
- 3.1 + 3.2     Bodenmechanische Laborergebnisse
- 4             Auswertung der Versickerungsversuche
- 5             Boden- und Felsklassen nach DIN 18300

## 1 Vorbemerkungen

In Rutesheim soll auf dem ehemaligen Drescher-Betriebsgelände („Drescher-Areal“) ein Wohngebiet erschlossen werden. Unser Büro wurde beauftragt, für dieses Projekt die Untergrundverhältnisse 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 des Gutachtens standen uns folgende Unterlagen zur Verfügung:

- [1] Höhenaufnahme vom Januar 2008 (jeweils im Maßstab 1:500 und 1:1000), gefertigt vom Ingenieurbüro Duppel, Rutesheim, ohne Fertigungsdatum
- [2] Plankopie der Höhenaufnahme (M. 1:1000) des Ingenieurbüros Duppel mit handschriftlichen Eintragungen (Höhenlinien, Rad- und Fußweg, Spiel- und Bolzplatz sowie Skizzierung der Regenwasser- und Schmutzwasserableitung, ohne Datum, erhalten von Herrn Thieliant am 18.03.2008
- [3] 2 Schadstoffbewertungen des Ingenieurbüros Dipl.-Ing. P. Hartwiger, Stuttgart, mit Anlagen, Fertigungsdatum 19.03.2007 und 11.09.2007

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

Bei der Beurteilung der Untergrundverhältnisse konnten wir auch auf die Ergebnisse unserer Untersuchungen für die Erschließung des westlich gelegenen Gewerbegebietes „Am Autobahnanschluss“ zurückgreifen. Die Erkundungsarbeiten wurden für beide Projekte in einem Zug durchgeführt.

## 2 Lage und geologischer Überblick

Das „Drescher-Areal“ liegt ca. 300 m nordöstlich der Autobahn A 8 am westlichen Ortsrand von Rutesheim (vgl. Anlage 1.1). Die dort befindlichen Verwaltungsgebäude und Fabrikationshallen werden zurzeit noch gewerblich genutzt.

Der natürliche Untergrund besteht aus einer Lösslehm-Deckschicht, darunter folgen die Schichten des Lettenkeupers (ku) und des Oberen Muschelkalkes (mo).

### 3 Durchgeführte Untersuchungen

Zur direkten Erkundung der Untergrundverhältnisse wurden am 01.04. und 02.04.2008 von der Bauunternehmung Kindler aus Rutesheim sechs Schürfgruben angelegt (SG 1/08 bis SG 6/08). Am 10.06.2008 wurde in Abstimmung mit Herrn Thielant (Stadt Rutesheim) eine siebte Schürfgrube (SG 7/08) außerhalb des Begrenzungszaunes ausgeführt (südlich der Straße „Auf der Steige“). Die Lage der Schürfgruben ist im Lageplan Anlage 1.2 eingetragen.

Der in den Schürfgruben erschlossene Schichtaufbau wurde vom links Unterzeichnenden geologisch und bodenmechanisch aufgenommen. Die erschlossenen Schichtprofile sind in den Anlagen 2.1 bis 2.3 dargestellt.

Die Einmessung der Schürfgruben nach Lage und Höhe erfolgte durch unser Büro nach Abschluss der Erkundungsarbeiten. Als Höhenbezugspunkte dienten uns mehrere Kanaldeckel in den befestigten Straßen auf dem Firmengelände. Die Bezugshöhen entnahmen wir den in [1] enthaltenen Angaben des Ingenieurbüros Duppel.

Zur Beurteilung der Durchlässigkeitseigenschaften und Versickerungsfähigkeit der Böden wurden vier Versickerungsversuche durchgeführt. Dazu wurde direkt in die Schürfgruben SG 3/08, SG 4/08, SG 5/08 und in eine separate Versickerungsgrube neben der Schürfgrube SG 2/08 jeweils Trinkwasser eingefüllt; anschließend wurde das Absinken des Wasserspiegels beobachtet (vgl. Abschnitt 8). Die Auswertung der Versickerungsversuche ist als Anlage 4 beigefügt. Die Schürfgruben wurden nach Ansprache und Beprobung der Schichten bzw. nach Beendigung der Versickerungsversuche wieder mit dem Aushubmaterial verfüllt.

In die Schürfgruben SG 1/08 und SG 6/08 wurden jeweils beim Verfüllen der Gruben Dränrohre senkrecht eingestellt, um dadurch provisorische Grundwassermessstellen zu erhalten. Bei der Schürfgrube SG 1/08 musste das Dränrohr im Zuge der Gestaltung des Außengeländes am 05.05.2008 wieder gezogen werden.

An repräsentativen Bodenproben aus den Schürfgruben SG 1/08 bis SG 6/08 führten wir in unserem Labor bodenmechanische Untersuchungen durch. Die Ergebnisse dienten zur genaueren Klassifizierung der Böden (vgl. Abschnitt 4.3) und zur Festlegung von Bodenkennwerten (vgl. Abschnitt 4.4); sie sind im Einzelnen in Anlage 3 zusammengestellt.

## 4 Untersuchungsergebnisse

### 4.1 Schichtaufbau des Untergrundes

In den Schürftgruben wurden relativ einheitliche Untergrundverhältnisse angetroffen. Folgende Schichtglieder waren vertreten (von oben nach unten):

- Oberboden/Oberbodenandeckung
- Künstliche Auffüllungen (in SG 2/08, SG 4/08, SG 5/08 und SG 7/08)
- Lösslehm (in SG 1/08, SG 3/08 und SG 6/08)
- Schichten des Lettenkeupers (ku; in SG 1/08, SG 2/08 und SG 4/08 bis SG 6/08)
- Schichten des Oberen Muschelkalkes (mo  $\delta$  = Trigonodusdolomit; in SG 3/08, SG 4/08 und SG 7/08)

In den Schürftgruben SG 1/08, SG 3/08 und SG 6/08 war unter der Grasnarbe zuoberst natürlicher **Oberboden** vorhanden, der Dicken zwischen 20 cm und 25 cm aufwies. Er war humos und meist durchwurzelt. In den Schürftgruben SG 2/08, SG 4/08, SG 5/08 und SG 7/08 war der Oberboden ca. 20 cm bis zu 45 cm (SG 7/08) dick; es handelte sich hierbei um eine **Oberbodenandeckung** über künstlichen Auffüllungen.

**Künstliche Auffüllungen** wurden in den Schürftgruben SG 2/08, SG 4/08, SG 5/08 und SG 7/08 angetroffen. Sie bestanden vorwiegend aus mittelplastischen Tonböden (Boden-  
gruppe TM nach DIN 18196) von überwiegend steifer, bereichsweise auch weicher und halb-  
fester Konsistenz. Sie enthielten in unterschiedlichem Umfang Dolomit- und Kalksteinstücke  
in Kies- und Steingröße, daneben auch Fremdbestandteile wie Ziegelstücke oder Beton-  
bruchstücke in Steingröße sowie vereinzelt Holz-, Kunststoff- oder Metallreste (vgl. z. B. Schicht-  
profil SG 7/08 auf Anlage 2.3).

In den Schürftgruben SG 1/08 und SG 6/08 im nordwestlichen Bereich des Untersuchungs-  
gebiets wurden keine Auffüllungen angetroffen. In den Schürftgruben SG 4/08 und SG 5/08  
am östlichen Rand des Areals betragen die Auffüllthicken 0,8 m bis 0,9 m.

In den Schürftgruben SG 2/08 und SG 7/08 an der Südseite des Geländes lagen die Unter-  
grenzen der Auffüllböden in Tiefen von 2,0 m bzw. 2,2 m unter Gelände (vgl. Anlage 2). Die-  
se Auffüllmächtigkeiten sowie der Verlauf der Höhenlinien am Südrand des Geländes (vgl.  
Anlage 1.2) weisen darauf hin, dass im südlichen Teil des Untersuchungsgebietes mit flä-  
chenhaften Auffüllungen zu rechnen ist. Die Schürftgrube SG 3/08 lag südlich des aufgefüll-  
ten Geländes; hier war deshalb keine Auffüllung vorhanden.

Die räumliche Verbreitung der Geländeauffüllung ist uns nicht bekannt. Generell können die Dicken der Auffüllböden innerhalb des Betriebsgeländes stark schwanken. Hierbei ist nicht auszuschließen, dass an anderen Stellen auch mächtigere künstliche Auffüllungen vorhanden sind, als sie in den Schürfgruben angetroffen wurden (z. B. Verfüllungen von Leitungsgräben, Arbeitsraumverfüllungen neben und zwischen Gebäuden und Erdtanks u. dgl.). Bei den im Jahr 2006 auf dem Betriebsgelände durchgeführten Rammkernsondierungen zur Schadstoffbeurteilung (Ingenieurbüro Hartwiger) wurden südlich der bestehenden Halle 6 künstliche Auffüllungen bis in 3,3 m Tiefe angetroffen. Die größte Auffülldicke wurde mit der Rammkernsondierung BS 19 (östlich der bestehenden Halle 5) festgestellt (vgl. Anlage 1.2). Hier reichten die künstlichen Auffüllungen bis in eine Tiefe von 4 m unter Gelände. Vermutlich handelte es sich um eine Arbeitsraumverfüllung neben dem Gebäude oder um eine Grubenverfüllung neben einem vorhandenen Erdtank.

Nach der vorhandenen Geländeform ist davon auszugehen, dass die größten Dicken der flächigen Auffüllung entlang der südlichen Grundstücksgrenze auftreten. Der ungefähre Verlauf der ursprünglichen, tiefer liegenden, natürlichen Geländeoberfläche ist heute noch am Nordrand der Wiesengrundstücke südlich des Begrenzungszaunes zum „Drescher-Areal“ erkennbar.

Eine genauere Ermittlung der Auffüllmächtigkeiten innerhalb des Firmengeländes ist mit Hilfe weiterer, gezielter Aufgrabungen möglich. Anhaltspunkte ergeben sich auch aus Bestandsplänen, weil man vom Niveau der jeweiligen Gebäudesohlen im Vergleich zum bestehenden Außengelände auf die Tiefe der Arbeitsraumverfüllungen schließen kann.

Als oberstes, natürliches Schichtglied fand sich in den Schürfgruben SG 1/08, SG 3/08 und SG 6/08 eine dünne Lage aus **Lösslehm** (entkalkter, z. T. auch umgelagerter Löss). Hierbei handelte es sich um mittelplastischen und ausgeprägt plastischen Ton von vorwiegend steifer Konsistenz (Bodengruppen TM und TA nach DIN 18196). Die Lösslehm Böden reichten bis in Tiefen von ~ 0,5 m (SG 1/08, SG 6/08) und 1,1 m unter Gelände (SG 3/08).

Unter den Auffüll- und Lösslehm Böden folgten mit Ausnahme der Schichtfolge in den Schürfgruben SG 3/08 und SG 7/08 die **Schichten des Lettenkeupers** (ku). Der Lettenkeuper besteht im unverwitterten Zustand aus einer Wechsellagerung von festem, geschichtetem und klüftigem Tonstein mit Mergelstein, Dolomit und Sandstein. Im vorliegenden Fall waren die Schichten im oberen Bereich teilweise verwittert (zerlegter Tonstein, Mergelstein und Sandstein) und teilweise vollständig zu bindigem Boden entfestigt (Ton mit eingelagerten Dolomit- und Tonsteinstücken). In entfestigtem Zustand ist der Verwitterungston überwiegend in die Bodenklasse TA nach DIN 18196 einzustufen (ausgeprägt plastische Tonböden). Seine Konsistenz schwankte in weiten Grenzen; sie reichte von breiig bis halbfest (vgl. Anlage 3).

Die natürlichen Wassergehalte der verwitterten Lettenkeuperschichten schwankten zwischen 10,0 Gew.-% und 34,5 Gew.-% (vgl. Anlage 3). Nur in der Schürfgrube SG 6/08 wurde in einer Tiefe von 2,0 m ein außergewöhnlich hoher Wassergehalt von 52,4 Gew.-% festgestellt (breiige Konsistenz). Es handelte sich dabei um eine dünne, organische, kohlige Einlagerung (sog. Lettenkohle) an der Untergrenze der verwitterten Lettenkeuperschichten.

Im Tiefenbereich von 2,05 m (SG 4/08) bis 3,2 m unter Gelände (SG 2/08) setzten gering verwitterte Lettenkeuperschichten ein. Sie bestanden aus einer Wechsellagerung von klüftigem, festem Tonstein mit hartem Sandstein und einzelnen dünnen Dolomitbänken, die teilweise steinig zerlegt waren. In den Aufschlüssen SG 1/08, SG 2/08 und SG 6/08 waren die an der Grubensohle angetroffenen harten und festen Schichten mit dem eingesetzten Bagger nicht mehr lösbar.

Der Übergang zwischen den verwitterten und den gering verwitterten Lettenkeuperschichten ist häufig fließend.

In den Schürfgruben SG 3/08, SG 4/08 und SG 7/08 wurden unter dem Lösslehm (SG 3/08), unter dem verwitterten Lettenkeuper (SG 4/08) bzw. unter künstlichen Auffüllungen (SG 7/08) Schichten des **Oberen Muschelkalks** angetroffen. Dabei handelte es sich um das oberste Schichtglied des Oberen Muschelkalkes, den sog. Trigonodusdolomit. Er besteht in unverwittertem Zustand aus dickbankigem bis massigem, gelbbraunem Dolomit. Hier waren die Schichten im oberen Bereich zu halbfestem, sandigem und steinigem Dolomitschluff entfestigt. Ab einer Tiefe von 2,3 m (SG 3/08), 2,05 m (SG 4/08) und 2,8 m unter Gelände (SG 7/08) setzte harter, klüftiger Dolomitstein ein, der mit dem eingesetzten Tieflöffelbagger nur noch schwer lösbar war. In der Schürfgrube SG 4/08 wurden mit Hilfe eines Hydraulikmeißels noch 20 cm des Dolomitsfels gelöst.

Auch bei den Schürfgruben, die im Lettenkeuper endeten, folgte in geringer Tiefe unterhalb des Sohniveaus der oben beschriebene Trigonodusdolomit. Die Schichtfolge des Muschelkalks setzt sich unterhalb der Schürfgrubenendtiefen noch bis in größere Tiefe fort (Dolomit und bankiger, geklüfteter Kalkstein). In den ausgeführten Schürfgruben ergaben sich keine Hinweise auf eine Verkarstung der Muschelkalkschichten (z. B. Dolinen oder Karstschlotten). Man kann aber nicht ausschließen, dass Hohlräume im Untergrund vorhanden sind, wie sie südlich der Autobahn Stuttgart/Karlsruhe angetroffen wurden.

## 4.2 Grundwasserverhältnisse

Beim Aushub der Schürfgruben wurden nur in der Schürfgrube SG 1/08 Grundwasserzutritte beobachtet. Es handelte sich dabei um schwache Sickerwasserzutritte in 2,2 m Tiefe (464,52 m NN) innerhalb der verwitterten Lettenkeuperschichten. Die übrigen Schürfgruben blieben trocken, solange sie offen standen.

In den provisorischen Grundwassermessstellen SG 1/08 und SG 6/08 (vgl. Abschnitt 3) wurden folgende Wasserstände gemessen:

Mess- datum	SG 1/08		SG 6/08	
	m u. Gel.	m NN	m u. Gel.	m NN
10.04.2008	3,15	463,57	2,62	464,64
25.04.2008	3,12	463,60	2,40	464,86
13.05.2008	1)	-	2)	< 464,6
28.05.2008	1)	-	2)	< 464,6
02.07.2008	1)	-	2)	< 464,6

1) provisorische Messstelle am 05.05.2008 durch die Firma Kindler rückgebaut

2) Grundwassermessstelle trocken bis ~ 2,7 m unter Gelände (Wasserspiegel < 464,6 m NN)

Nach den Beobachtungen beim Aushub der Schürfgruben und nach den Wasserstandsmessungen kann man davon ausgehen, dass bis zu den Schürfgrubenendtiefen kein zusammenhängender Grundwasserspiegel vorliegt, jedoch nach längeren Niederschlägen Schicht- und Sickerwasser auftreten kann.

Die mächtigeren Tonsteinlagen im unteren Teil der Lettenkeuperschichten bilden als abdichtende Schicht einen Wasserstauer mit relativ geringer Durchlässigkeit über dem Kluft- und Karstgrundwasserleiter des Oberen Muschelkalkes.

Bei den im Jahr 2006 auf dem Betriebsgelände durchgeführten bis zu 4,2 m tiefen Rammkernsondierungen des Ingenieurbüros Hartwiger aus Stuttgart zur Schadstoffbeurteilung wurden keine Grundwasserzutritte festgestellt.

Ein großräumig zusammenhängender Grundwasserspiegel ist in größerer Tiefe innerhalb der Muschelkalkschichten ausgebildet (Karst- und Kluftgrundwasserleiter). Das Grundwasser im Oberen Muschelkalk bildet ein regional bedeutsames Grundwasservorkommen. Es speist

die Wasserfassungen östlich von Rutesheim und das Mineralwasser der Heilquellen von Stuttgart-Bad Cannstatt.

Der höchstmögliche Grundwasserstand ist uns nicht bekannt; er könnte nur in eigens dafür eingerichteten Grundwassermessstellen mit langjährigen Messungen ermittelt werden. Auf die Durchlässigkeit des Untergrundes und die Möglichkeiten zur Regenwasserbewirtschaftung wird im Abschnitt 8 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
<u>Lettenkeuper:</u>	
- verwittert (Ton, Tonstein- und Dolomitstücke)	4, 5 , evtl. 6
- gering verwittert (Tonstein und Dolomit)	6, 7 **
<u>Oberer Muschelkalk:</u>	
- verwittert (Ton, Dolomitsand und Dolomitstücke)	4, 5, evtl. 6
- gering verwittert (Dolomit, klüftig)	7 **, z. T. 6

\* Steine, Blöcke, alte Bauwerksreste

\*\* Mit schwer lösbarem Fels (Klasse 7) ist unterhalb der Schürfgrubensohlen zu rechnen.

Die Beschreibung der Boden- und Felsklassen nach DIN 18300 ist in Anlage 5 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 <sup>3</sup> ]		Reibungswinkel [°]	Kohäsion [kN/m <sup>2</sup> ]	Steifemodul [MN/m <sup>2</sup> ]
	$\gamma$	$\gamma'$	$\varphi'$	$c'$	$E_s$
Künstliche Auffüllungen	20	10	17,5 – 22,5	-	-
Lösslehm	18	8	17,5 – 22,5	5 – 10	3 – 5
<u>Lettenkeuper:</u>					
- verwittert (Ton, Tonstein- und Dolomitstücke) *	20	10	17,5	5 – 10 *	4 – 10
- gering verwittert (Tonstein und Dolomit)	21	11	25 – 30 **	20 **	20 – 50
<u>Oberer Muschelkalk:</u>					
- verwittert (Ton, Dolomitsand und Dolomitstücke in Kies- und Steingröße)	20	10	22,5 – 27,5	0 – 5 *	4 – 10
- gering verwittert (Dolomit klüftig)	21	11	35 **	25 **	30 – 100

\* ohne Berücksichtigung der breiigen Lage in SG 6/08 (1,95 – 2,15 m)

\*\* 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 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 <sup>3</sup> ]	
	$\varphi'$	$\gamma$	$\gamma'$
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 Beurteilung des Verformungsverhaltens der erschlossenen Schichten

Bei der Ausführung der Schürfgruben wurden im südlichen und südöstlichen Teil des Firmengeländes Auffüllböden angetroffen. Es handelte sich dabei um Geländeauffüllungen, die im Zuge der Gestaltung des Außengeländes auf dem Drescher-Areal eingebracht wurden. Auffüllböden unterliegen generell Eigensetzungen, die im Wesentlichen durch folgende Ursachen bedingt sein können:

– *Konsolidationssetzungen infolge des Eigengewichts*

Diese Verformungen sind umso größer, je kompressibler und je mächtiger die Auffüllungen sind. Bei bindigen Böden und großer Auffüllhöhe können solche Setzungen über Jahrzehnte andauern.

– *Zersetzung organischer Substanzen*

Bei der Zersetzung organischer Substanzen (z. B. Holz) entstehen ebenso wie bei der Korrosion metallischer Hohlkörper erhebliche Eigensetzungen.

– *Umlagerungsvorgänge*

Bei Erschütterungen (z. B. durch Erdbeben) können lockere Auffüllmassen in eine dichtere Lagerung übergehen. Dadurch ergeben sich Volumenverminderungen und Eigensetzungen.

Im vorliegenden Fall kann man davon ausgehen, dass in der Geländeauffüllung Konsolidationssetzungen infolge des Eigengewichts in der langen Liegezeit seit der Errichtung des Firmengeländes weitgehend abgeschlossen sind. Nach den vorliegenden Untersuchungsergebnissen liegen die Auffüllböden größtenteils in steifer, bereichsweise auch in weicher Konsistenz sowie in unterschiedlicher Dicke vor. Auch bei einer Bebauung mit relativ geringen Lasten können daher erhebliche und unterschiedliche Setzungen auftreten.

Wir empfehlen daher, die Auffüllungen nicht zur Lastabtragung heranzuziehen.

Der Lösslehm und die tonigen Verwitterungsböden des Lettenkeupers bilden einen kompressiblen Baugrund, besonders wenn sie steife oder noch ungünstigere Konsistenz aufweisen. Mit abnehmendem Verwitterungsgrad verbessern sich die Tragfähigkeitseigenschaften der Lettenkeuper- und Muschelkalkschichten. In gering verwittertem Zustand sind sie nahezu inkompressibel und als Gründungshorizont auch für die Aufnahme hoher Lasten geeignet.

## **6 Folgerungen für die Erschließung**

### **6.1 Leitungsbau**

#### **6.1.1 Anlage von Leitungsgräben**

Über die geplanten Erschließungsmaßnahmen liegen uns keine Pläne vor, sodass im Folgenden nur allgemeine Hinweise gegeben werden können. Bei üblichen Tiefen von Entwässerungsleitungen zwischen 3 m und 5 m unter Gelände werden die Leitungsgräben überwiegend in Auffüllungen, Lösslehm und verwitterten Lettenkeuperschichten verlaufen und auch in die gering verwitterten Lettenkeuper- und felsartigen Muschelkalkschichten einschneiden.

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 Hinweise und einschränkenden Bedingungen der DIN 4124 beachtet werden. Die in dieser Norm angegebenen Regelneigungen für Böschungen (vgl. DIN 4124, Abschnitt 4.2) variieren je nach Bodenart und Konsistenz. Bei der Auffüllung muss man von kleinräumig wechselnder Beschaffenheit ausgehen. Wir empfehlen daher, in den

aufgefüllten Böden eine Böschungsneigung von  $45^\circ$  nicht zu überschreiten. In den Schichten des natürlichen Untergrundes sind je nach Beschaffenheit und Verwitterungsgrad auch steilere Böschungsneigungen möglich ( $\beta \leq 60^\circ$  in steifen bindigen Böden;  $\beta \leq 80^\circ$  in Fels in geschlossenem Schichtverband). Dabei sind die einschränkenden Randbedingungen der DIN 4124 zu beachten, insbesondere ist ein lastfreier Schutzstreifen an der Böschungskrone einzuhalten.

Wenn die Leitungsgräben mit senkrechten Wänden angelegt werden sollen, sind sie mit einem Verbau zu sichern. Dabei gelten ebenfalls die Vorgaben der DIN 4124 und DIN EN 1610. Beim Einsatz wandernder Verbausysteme sollen die Verbauelemente kontinuierlich mit dem Aushub abgesenkt werden. Vom Einsatz einfacher Verbaukörbe, die nach dem Aushub in die Gräben eingestellt werden, wird hier abgeraten, weil in den künstlichen Auffüllungen Nachbrüche aus den Grabenwänden zu befürchten sind.

Beim Aushub der Leitungsgräben ist mit zunehmender Aushubtiefe mit Erschwernissen zu rechnen. In den Schürfgruben SG 1/08 bis SG 4/08 sowie SG 6/08 und SG 7/08 konnten die Hartgesteinsbänke aus Dolomit und Kalkstein im Bereich der Endtiefen der Gruben mit dem eingesetzten Bagger nicht mehr gelöst werden. Um Felsbänke lösen zu können, sind in engen Leitungsgräben besondere Maßnahmen erforderlich. Üblicherweise wird hierzu ein Hydraulikmeißel eingesetzt. Wenn jedoch Lärm und Erschütterungen gering gehalten werden sollen, kommen auch erschütterungsarme Techniken in Frage (z. B. Einsatz einer Felsfräse oder hydraulischer Spaltkeile in Perforationsbohrungen).

Weiterhin ist zu beachten, dass im Bereich von Felsschichten ein maßhaltiger Aushub des Leitungsgrabens vielfach nicht möglich ist, da sich der Fels nur an vorgegebenen Trennflächen (Klüften und Schichtfugen) lösen lässt. Der Mehraushub an der Sohle muss mit Bettungsmaterial ausgeglichen werden. Auch in den stärker verwitterten Lettenkeuper- und Muschelkalkschichten ergeben sich beim Lösen von Steinen oder Klufkörpern aus dem Verband unregelmäßige Oberflächen der Grabenwände; ein maßhaltiger Aushub mit ebenflächigen Grabenwänden ist deshalb vielfach nicht möglich. Dies ist bei der Ausschreibung und Massenabschätzung der Arbeiten zu berücksichtigen.

In den Leitungsgräben ist nach den vorliegenden Erkundungsergebnissen nur vereinzelt mit Wasserzutritten zu rechnen (schichtgebundene Wasserführung auf stauenden Tonlagen innerhalb der Lettenkeuperschichten). Es handelt sich hierbei nur um sehr geringe Wassermengen. Gegebenenfalls kann das Wasser problemlos mit einer offenen Wasserhaltung abgeleitet werden. Sollten hierzu Dränleitungen verlegt werden, müssen sie im Endzustand durch Sperrriegel (vgl. Abschnitt 6.1.4) unterbrochen werden. Falls Grundwasser angetroffen wird, ist die Wasserrechtsbehörde unverzüglich zu informieren (Fachbereich Wasserwirtschaftsamt beim Landratsamt Böblingen).

### 6.1.2 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 steinigen 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.

### 6.1.3 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 (Auffüllböden, Lösslehm und Verwitterungsböden) 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 Lettenkeuperschichten 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 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 94<sup>1</sup> (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 04<sup>2</sup>) 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 6.2 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).

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 01<sup>3</sup> ausgeführt werden kann (vgl. auch Abschnitt 6.2). Die Einhaltung dieses Verformungsmoduls ist mit Plattendruckversuchen nach DIN 18134 nachzuweisen.

---

<sup>1</sup> ZTVE-StB 94: Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Erdarbeiten im Straßenbau, Ausgabe 1994, herausgegeben vom Bundesministerium für Verkehr, Abteilung Straßenbau

<sup>2</sup> 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

<sup>3</sup> RStO 01: Richtlinien für die Standardisierung des Oberbaues von Verkehrsflächen, herausgegeben von der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln, Ausgabe 2001

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 Oberbodenabdeckung).

#### 6.1.4 Anordnung von Sperrriegeln

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

Wenn Leitungsgräben in die Lettenkeuperschichten einschneiden, können bereichsweise Grundwasserzutritte auftreten (vgl. Abschnitt 4.2). Wir empfehlen deshalb, in solchen Bereichen mit Wasserzutritten 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.

Da es sich um keinen zusammenhängenden Grundwasserspiegel handelt, halten wir es für ausreichend, die Sperrriegel im Abstand von 50 m sowie an den Schachthaltungen anzuordnen und sie jeweils bis 1,5 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 allerdings im größten Teil des Untersuchungsgeländes bis zur Endtiefe der Schürfgruben nicht mit Wasserzutritten zu rechnen.

## 6.2 Straßenbau

### 6.2.1 Allgemeines

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 Verwitterungsböden sind nach Tabelle 1 der ZTVE-StB 94 in die Frostempfindlichkeitsklassen F 2 und F 3 einzuordnen. 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).

### 6.2.2 Bodenverbesserung

Bei Straßen, die etwa geländegleich verlaufen, wird das Erdplanum nach dem Abschieben des Oberbodens bzw. der Oberbodenandeckung in Lösslehm-, Verwitterungs- und in Auffüllböden (Geländeauffüllung) liegen, die nach der Geländeansprache und den Ergebnissen der bodenmechanischen Laboruntersuchungen meist steife, zum Teil auch weiche oder halbfeste Konsistenz besitzen (vgl. Anlage 3). 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 der Verwitterungsböden oder in der Geländeauffüllung lässt sich dieser Wert 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 Auffüllböden (Geländeauffüllung) überwiegend der Bodengruppe TM. Leicht plastische und mittel-

plastische 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 und 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 mit einer Fräse eingemischt werden.

#### *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 FLOSS<sup>4</sup> oder KÖHLER et al.<sup>5</sup>). 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.

#### *Abwägung der Methoden:*

In der Mehrzahl der Fälle ist eine Stabilisierung mit hydraulischem Bindemittel am wirtschaftlichsten. Eine solche Bodenverbesserung ist allerdings witterungsabhängig; bei anhaltend

<sup>4</sup> FLOSS, R.:

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

<sup>5</sup> 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

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.

### 6.2.3 Weitere Hinweise

Falls das Planum bei einem tieferen Einschnitt der Straßen gegenüber dem Geländeniveau bereits in geringer verwitterten Lettenkeuperschichten verläuft, lässt sich der geforderte Verformungsmodul voraussichtlich nachweisen. Hier ist aber zu beachten, dass sich häufig kein ebenflächiges Planum herstellen lässt (vgl. Abschnitt 6.1.1). Der Mehraushub muss an der Sohle des Straßenaufbaues ausgeglichen werden.

Bei Straßen in Dammlage und bei Auffüllungen von Gruben, die durch den Abbruch alter Keller oder den Aushub von nicht tragfähigen Auffüllungen (Bodenaustausch) entstehen, 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.
- ▶ Falls die vorhandenen Auffüllungen nicht als Untergrund für den Straßenaufbau geeignet sind (z. B. tiefgründig weiche Konsistenz, organische Materialien, nicht verbesserungsfähiges Material), müssen die ungeeigneten Bereiche ausgeräumt und durch geeignetes, verdichtbares Material ersetzt werden, mit dem sich die Anforderungen der ZTVE-StB 94 erfüllen lassen.
- ▶ 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 Dichteprüfungen 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.

## 7 Folgerungen für die Bebauung

Von Herrn Thielant (Stadt Rutesheim) wurden wir informiert, dass die bestehenden Verwaltungsgebäude und Fabrikationshallen abgebrochen und durch eine Wohnbebauung ersetzt werden sollen. Eine Planung der Neubebauung oder Angaben zum Bestand sowie Pläne und Informationen zu den tiefsten Fußbodenniveaus der bestehenden Gebäude liegen uns bisher nicht vor.

Wir gehen davon aus, dass auf dem Untersuchungsgelände eine Bebauung mit einfach unterkellerten oder nicht unterkellerten Wohngebäuden vorgesehen ist. Wenn man die jetzt vorhandenen Geländehöhen zugrunde legt und annimmt, dass keine wesentliche Veränderung des Geländes erfolgt, werden die Sohlen unterkellerten Gebäude im nordwestlichen Bereich des Firmengeländes in den verwitterten Lettenkeuperschichten verlaufen (SG 1/08: Ton, Tonmergelstein verwittert, aufgelöste Hartgesteinsbänke aus Dolomit und Sandstein); im östlichen und südöstlichen Teil des Geländes verlaufen sie in gering verwitterten Lettenkeuper- oder Muschelkalkschichten (SG 4/08, SG 3/08, SG 7/08).

Bei nicht unterkellerten Gebäuden werden die planmäßigen Bauwerkssohlen im Lösslehm und in Verwitterungsböden des Lettenkeupers sowie in Auffüllböden verlaufen.

### 7.1 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, falls wasserführende Schichten angeschnitten werden.

Im Bereich der bestehenden Geländeauffüllung wird empfohlen, bei der Anlage von freien Böschungen die Böschungsneigung auf  $\beta = 45^\circ$  zu begrenzen. Auch die übrigen einschränkenden Bedingungen der DIN 4124 sind einzuhalten.

Wo die Aushubsohlen in den gering verwitterten, felsartigen Lettenkeuper- oder Muschelkalkschichten verlaufen, ist mit entsprechenden Erschwernissen beim Aushub zu rechnen. Die Baugrubenböschungen können in diesem Fall steiler angelegt werden. Die Ausführungen zum Aushub und zur Böschungsgestaltung bei Leitungsgräben gelten hier sinngemäß (vgl. Abschnitt 6.1.1).

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. Sie wird im vorliegenden Fall sehr gering sein und kann deshalb problemlos mittels einer offenen Wasserhaltung beherrscht werden.

Wo die Baugrubensohlen in gering verwitterten Lettenkeuper- oder Muschelkalkschichten 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 RiStWag<sup>6</sup> 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. Bei unerwartetem Antreffen von Grundwasser ist die Behörde deshalb zu informieren (vgl. auch Abschnitt 9).

## 7.2 Gründung von Gebäuden

Da für die Neubebauung noch keine Planung vorliegt, wird die Gründung von Gebäuden im Folgenden nur allgemein diskutiert. Dabei gehen wir davon aus, dass die EFH-Niveaus etwa auf dem vorhandenen Geländeneiveau verlaufen. 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 künstlichen Auffüllungen sollen nicht zur Gründung von Gebäuden herangezogen werden. Die bindigen Deckschichten (Lösslehm, verwitterte Lettenkeuperschichten, verwitterte Bereiche des Oberen Muschelkalkes) bilden einen kompressiblen Baugrund. Bei Gründungen auf diesem Boden ist das Setzungsverhalten des Untergrundes zu beachten. Die festen und harten Schichten (gering verwitterter Lettenkeuper und Muschelkalk) sind demgegenüber nur gering kompressibel und gut zur Lastabtragung geeignet (vgl. Abschnitt 5).

Bei **nicht unterkellerten Gebäuden** werden im Bereich der Schürfgruben SG 1/08, SG 5/08 und SG 6/08 (Nordteil des Gebäudes) bei einer Flachgründung voraussichtlich überwiegend Verwitterungsböden des Lettenkeupers erreicht. Hierbei handelt es sich um mittelplastische und ausgeprägt plastische Tonböden (Bodengruppen TM und TA nach DIN 18196). Der aufnehm-

---

<sup>6</sup> RiStWag: Richtlinien für bautechnische Maßnahmen an Straßen in Wassergewinnungsgebieten, herausgegeben von der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln, Arbeitsgruppe Erd- und Grundbau, Ausgabe 2002

bare 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 Südteil des Geländes (SG 2/08, SG 7/08) werden die Sohlen nicht unterkellerten Gebäude in der Geländeauffüllung liegen (vgl. Abschnitte 4.1 und 5). Die Auffüllböden sind zur Lastabtragung grundsätzlich nicht geeignet. Je nach Art und Lastverteilung des Gebäudes sowie der Mächtigkeit der Auffüllungen kommen hier folgende Gründungsmöglichkeiten in Betracht:

- Vertiefte Flachgründung mittels Fundamentvertiefungen aus unbewehrtem Beton (Magerbeton) bis auf die gut tragfähigen, gering verwitterten Schichten
- Plattengründung mit Aussteifung des Gebäudes auf einer Tragschicht oder einem Bodenaustausch

Bei einfach **unterkellerten Gebäuden** ist voraussichtlich in den meisten Fällen eine Flachgründung möglich, da die Gebäudesohlen meist bis in die verwitterten oder gering verwitterten Lettenkeuper- und Muschelkalkschichten hinabreichen. Bei dem Entwurf der Gründung bzw. dem Ansatz des aufnehmbaren Sohldrucks ist hier zu beachten, dass es sich bei den felsartigen Schichten in den Lettenkeuperschichten häufig um einzelne Bänke handelt, die wiederum von stärker verwittertem Ton oder Tonstein unterlagert sein können. Auch im Trigonodusdolomit können lokal stärker entfestigte Partien auftreten. Insofern muss auch hier die Kompressibilität der Schichtfolge berücksichtigt werden. Zur überschlägigen Bemessung von Fundamenten in diesem Bereich kann auf den gering verwitterten Lettenkeuper- und Muschelkalkschichten zunächst ein aufnehmbarer Sohldruck von  $\sigma \leq 450 \text{ kN/m}^2$  angesetzt werden. Der Ansatz ist im Einzelfall jeweils zu prüfen und gegebenenfalls anzupassen.

In den meisten Schürfgruben setzten die felsartig festen, gering verwitterten Schichten in Tiefen zwischen ca. 2 m (SG 4/08) und ca. 3 m unter Gelände ein (SG 1/08, SG 2/08). Wo Unterkellerungen bis unter diese Niveaus reichen, ist damit zu rechnen, dass beim Aushub der Baugruben teilweise schwerer Fels gelöst werden muss. Die Gründungssohlen sind hier auch auf Karsterscheinungen (Hohlräume oder Spalten) zu überprüfen. Falls derartige Störzonen auftreten, müssen sie verfüllt oder durch entsprechende Bewehrung der darüber verlaufenden Fundamente und Wände überbrückt werden.

Zur Gründung von Gebäuden werden außerdem die folgenden allgemeinen Hinweise gegeben:

- ▶ Bei geringem Abstand zwischen der Bauwerkssohle und dem gut tragfähigen Felsuntergrund oder bei hohen Fundamentlasten bietet sich an, die Gründungssohlen mit-

tels Fundamentvertiefungen aus unbewehrtem Beton bis auf die gering verwitterten felsartigen Schichten zu führen (vertiefte Flachgründung).

- ▶ Falls die zur Lastabtragung geeigneten Schichten erst in größerer Tiefe einsetzen (bei sehr mächtigen Auffüllungen oder Verwitterungsböden), kommen auch andere Verfahren, z. B. Pfeiler- oder Brunnengründungen, in Frage (evtl. auch Tiefgründung).
- ▶ 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.
- ▶ Wenn Gründungsplatten mit einheitlicher Dicke hergestellt werden, erhält man ebenflächige Baugrubensohlen, was sich vorteilhaft auf den Bauablauf auswirkt. Auf kompressiblem Untergrund (verwitterte Lettenkeuper- und Muschelkalkschichten) werden die Sohlplatten üblicherweise mit Hilfe eines verformungsabhängigen Verfahrens nach DIN 4018 bemessen. Sie sind dabei zur Erzielung einer gleichmäßigen Lasteintragung auf einer Tragschicht aufzulagern. Im Hinblick auf ein gleichmäßiges Setzungsverhalten ist außerdem eine Aussteifung der Untergeschosse vorzusehen.

Die wirtschaftlichste Lösung muss jeweils unter Berücksichtigung der konkreten Planung gefunden werden. Dabei kann es erforderlich sein, weitere Baugrundaufschlüsse auszuführen.

### 7.3 Verfüllung tiefreichender Abbruchgruben

Falls im Bereich der Abbruchgebäude Unterkellerungen vorhanden sind oder falls sich beim Aushub von Tanks oder belasteter Bereiche Gruben ergeben, die tiefer reichen als die Gründungssohlen der geplanten Neubebauung, hat dies Auswirkungen auf die Gründung und die Fußbodenauflagerung der Neubauten. Wir empfehlen deshalb, derartige Gruben jeweils sorgfältig aufzumessen und zu dokumentieren. Die Art der Verfüllung hängt von der geplanten Folgenutzung ab (Überbauung, Straßen- oder Grünfläche).

Die Gründung der Neubauten soll grundsätzlich im natürlichen Untergrund unterhalb der Verfüllung erfolgen. Nur bei großflächigen und tiefreichenden Verfüllungen kann es zweckmäßig sein, die Verfüllung mit körnigem, verdichtetem Material vorzunehmen und darauf eine Flachgründung der Neubebauung auszuführen. In diesem Fall müssen die Art und die Abmessungen der gut tragfähigen Verfüllung auf den geplanten Neubau abgestimmt werden.

Bei kleinräumigen Abbruchgruben mit wechselhaften Tiefen empfiehlt es sich, die Bodenplatten der Neubauten nach Art einer Decke freitragend auszubilden. Dann braucht man an die Verfüllungen der Abbruchgruben keine besonderen Anforderungen zu stellen; sie wirken lediglich als Schalungsträger beim Betonieren der Bodenplatten. Außerhalb derartiger Gruben können die Bodenplatten auf dem natürlichen Untergrund von steifer oder günstigerer Konsistenz aufgelagert werden.

Wenn die neuen Bodenplatten auch im Bereich von Abbruchgruben nicht freitragend ausgebildet, sondern aufgelagert werden sollen, muss die Verfüllung der Abbruchgruben mit körnigem, sachgemäß verdichtetem Material vorgenommen werden. Im Hinblick auf eine gute Verdichtbarkeit und hohe Tragfähigkeit ist es am vorteilhaftesten, dafür Schottertragschichtmaterial der Abstufung 0/45 mm nach TL SoB-StB 04 zu verwenden (Verdichtungsgrad  $D_{Pr} \geq 100 \%$ ).

Es ist generell auch möglich, Recyclingmaterial für die Verfüllung zu verwenden, sofern es sich um raumbeständiges, sulfatfreies und güteüberwachtes Material handelt. Bei sulfathaltigem Material könnte es zu Hebungen durch Mineralneubildungen (sog. Sulfatreiben) kommen.

Falls bei der Neubebauung des Geländes tiefreichende Auffüllungen oder Bauwerksreste angetroffen werden, gelten die oben gegebenen Hinweise gleichermaßen.

#### 7.4 Schutz der Gebäude gegen Durchfeuchtung aus dem Untergrund

Im nordwestlichen Bereich des Firmengeländes (SG 1/08) wurde bei der Baugrunderkundung Grundwasser angetroffen. Es handelte sich dabei um schwache Sickerwasserzutritte innerhalb der verwitterten Lettenkeuperschichten (vgl. Abschnitt 4.2).

In den bindigen Lösslehm- und Verwitterungsböden kann es generell lokal und zeitweise zu Sickerwasserzutritten und Staunässebildung kommen. Ein zusammenhängender Grundwasserspiegel liegt unterhalb der Sohlen der Schürfgruben in den Muschelkalkschichten.

Auch versickerndes Niederschlagswasser, das in die Arbeitsräume gelangt, kann sich auf der Sohle der Arbeitsräume aufstauen und nur mit Verzögerung zur Tiefe versickern. Bei unterkellerten Gebäuden stellen Dränmaßnahmen nach DIN 4095 in Verbindung mit einer Abdichtung gegen nicht stauendes Sickerwasser nach DIN 18195-4 deshalb die technisch angemessene Lösung zum Schutz der Untergeschosse gegen Durchfeuchtung aus dem Untergrund dar. Wir gehen davon aus, dass auch an den unterkellerten Bestandsgebäuden auf dem Firmengelände entsprechende Einrichtungen vorhanden sind.

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

Wie empfehlen, das Dränsystem jeweils so auszubilden, 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 ( $\geq 10$  cm) zwischen dem Auslaufniveau und der Oberkante der Filterschicht ist jedoch einzuhalten. Eine rückstaugfreie 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 Dränagen nur nach stärkeren Niederschlägen Wasser führen. Auch Versickerungsanlagen in enger Nachbarschaft zu Dränagen können zu verstärktem Wasseranfall im Dränsystem führen (vgl. Abschnitt 8).

Bei nicht unterkellerten Gebäuden kann man auf eine Außendränage verzichten, wenn das Rohfußbodenniveau überall höher liegt als das fertige Außengelände und wenn das Gelände überall ein Gefälle vom Gebäude nach außen besitzt, um Oberflächenwasser fern zu halten. Eine kapillARBrechende Filterschicht unter den erdberührenden Bodenplatten ist aber in jedem Fall anzuordnen.

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

Nach den vorliegenden Untersuchungsergebnissen bilden die bindigen Deckschichten (Lösslehm und verwitterte Lettenkeuperschichten) bei einer Bebauung mit nicht unterkellerten Gebäuden einen ausreichenden Schutz für das Grundwasser in den Muschelkalkschichten. Bei unterkellerten Gebäuden werden die Deckschichten aber größtenteils durchstoßen. Die Baugrubensohlen und die Untergeschosse reichen dann bis in die felsartigen Lettenkeuper- und Muschelkalkschichten hinab. Deshalb sind Maßnahmen zum Schutz des Muschelkalk-

Grundwassers vorzusehen (vgl. Abschnitt 7.1). Wir empfehlen, die Verfüllung der Arbeitsräume unter unbefestigten Flächen mit gering durchlässigem, bindigem oder gemischtkörnigem Material vorzunehmen. Bei befestigten Flächen, wo die Arbeitsraumverfüllung zur Vermeidung schädlicher Setzungen aus körnigem, durchlässigem Material besteht, empfiehlt es sich, einen gering wasserdurchlässigen Belag vorzusehen und das Oberflächenwasser separat abzuleiten.

## 8 Versickerung von Niederschlagswasser

### 8.1 Durchführung der Versickerungsversuche

Zur Beurteilung der Durchlässigkeitseigenschaften des Untergrundes wurden in den Schürfgruben SG 2/08 bis SG 5/08 vier Versickerungsversuche ausgeführt. Bei der Schürfgrube SG 2/08 fand der Versuch in einer eigens dafür angelegten Versickerungsgrube neben der Schürfgrube statt (Tiefe 1,6 m, senkrechte Grubenwände). In Anlage 2 sind die Ergebnisse der Versickerungsversuche links neben den jeweiligen Schichtprofilen 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 4 zusammengestellt.

Zur Durchführung der Tests wurden die Gruben mit Trinkwasser befüllt, anschließend wurde das Absinken des Wasserspiegels in Abhängigkeit von der Zeit protokolliert. In der folgenden Tabelle sind die Versuchsdaten 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	~ 1,6	Auffüllböden (Geländeauffüllung)	31.03.2008 15:33 Uhr 0,67	03.04.2008 13:52 Uhr 0,91	0,24	70 Stunden, 19 Minuten
SG 3/08	~ 2,6	Muschelkalkschichten	31.03.2008 16:45 Uhr 0,90	02.04.2008 8:00 Uhr 1,02	0,12	39 Stunden, 15 Minuten
SG 4/08	~ 2,25	Verwitterte Lettenkeuperschichten / Muschelkalkschichten	03.04.2008 8:22 Uhr 0,70	04.04.2008 8:00 Uhr 1,73	1,03	23 Stunden, 38 Minuten
SG 5/08	~ 2,4	Verwitterte Lettenkeuperschichten	01.04.2008 15:30 Uhr 0,80	03.04.2008 10:10 Uhr 2,02	1,22	42 Stunden, 40 Minuten

## 8.2 Versuchsergebnisse und Beurteilung

Die rechnerische Auswertung der Versickerungsversuche erfolgte in Anlehnung an das DWA-Arbeitsblatt A 138<sup>7</sup> sowie nach REITMEIER<sup>8</sup>. Als Mittelwerte der beiden Auswertungen ergaben sich dabei die folgenden Durchlässigkeitsbeiwerte  $k_{f,u}$  und  $k_f$ <sup>9</sup>:

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

Bei den Versickerungsversuchen auf dem Dreschergelände wurden hiernach insgesamt geringfügig höhere Durchlässigkeiten ermittelt als im benachbarten Gewerbegebiet „Am Autobahnanschluss“.

Beim Versickerungsversuch in den Auffüllböden (SG 2/08) ergab sich nur eine sehr geringe Durchlässigkeit ( $k_{f,u} \sim 2,8 \cdot 10^{-7}$  m/s). Diese Böden sind zur Versickerung von Oberflächenwasser nicht geeignet.

Auch bei dem Versickerungsversuch in den Muschelkalkschichten in der Schürfgrube SG 3/08 wurde nur eine sehr geringe Durchlässigkeit ermittelt ( $k_{f,u} \sim 1,4 \cdot 10^{-7}$  m/s). Sie lag deutlich unter dem Wert, der sich im Gewerbegebiet „Am Autobahnanschluss“ in den Muschelkalkschichten ergab. Dort wurde bei einem Versickerungsversuch in einer weiter südlich gelegenen Schürfgrube (SG 11/08) eine ca. 10-fach höhere Durchlässigkeit erreicht ( $k_{f,u} \sim 1,5 \cdot 10^{-6}$  m/s, vgl. unser Gutachten vom 10.07.2008). Dies ist darauf zurückzuführen, dass die Muschelkalkschichten im Bereich des Drescher-Geländes kompakter und weniger klüftig ausgebildet sind (massiger, dichter Trigonodusdolomit) als im südöstlichen Bereich des benachbarten Gewerbegebietes.

<sup>7</sup> 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

<sup>8</sup> REITMEIER, W.: „Zur Abschätzung der Versickerungsmenge in teilgesättigten Böden“; Geotechnik 18, Seiten 65 - 73, 1995

<sup>9</sup>  $k_{f,u}$  = 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 Schürfgruben SG 4/08 und SG 5/08 fand der Versickerungsversuch jeweils in den Lettenkeuperschichten statt. Hier ergaben sich Durchlässigkeiten in der Größenordnung von  $k_{f,u} \approx 2,3$  bis  $4,2 \cdot 10^{-6}$  m/s.

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 ist der Untergrund nur dann geeignet, wenn seine 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 den Schürfgruben SG 4/08 und SG 5/08 erreicht, wobei die Durchlässigkeit nahe an der unteren Grenze des geeigneten  $k_f$ -Bereiches liegt. Die Voraussetzungen für eine Versickerung von Niederschlagswasser im Untergrund sind daher nur im Bereich dieser Schürfgruben erfüllt, d. h. im Ostteil des Untersuchungsgeländes. In den übrigen Bereichen 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“.

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 bei der Überplanung des Geländes gegebenenfalls ausreichende Flächen vorzusehen.

Daneben ist eine gewisse Versickerung von Niederschlagswasser möglich, wenn es in Retentionsbecken oder –mulden mit großen Versickerungsflächen und entsprechend großen Einstauvolumen über längere Zeit verweilen kann (z. B. großflächige Versickerungsmulden). Dabei wird sich je nach Größe der Mulden voraussichtlich nur ein geringer Anteil des anfallenden Niederschlagswassers versickern lassen. Aufgabe einer solchen Retentionseinrichtung ist dabei neben der Versickerung vor allem die Abflussdämpfung. Deshalb müssen in jedem Fall ausreichend dimensionierte Entlastungseinrichtungen angeordnet werden.

Aufgrund dieser Überlegungen empfehlen wir, in erster Linie Maßnahmen zur Abflussdämpfung und Retention des Niederschlagswassers vorzusehen (Dachbegrünung, Rückhalte- und Filterbecken) und das Wasser gedrosselt im Trennsystem (Frischwasserkanal) abzuleiten.

Falls im Ostteil des Untersuchungsgeländes im Rahmen der Regenwasserbewirtschaftung Versickerungsanlagen geplant werden, sind die folgenden Punkte zu beachten:

- ▶ Es gelten die Vorgaben und Empfehlungen des Arbeitsblattes DWA-A 138.
- ▶ Vor der Versickerung in den Untergrund 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 6.1.4).
- ▶ Die Anlage von Versickerungsanlagen in der Nachbarschaft zu unterkellerten, dränierten Gebäuden ist zu vermeiden (vgl. Abschnitt 7.4).

## **9 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 hinausgehen.

Falls unterkellerte Gebäude vorgesehen sind, werden die Deckschichten (Lösslehm, Verwitterungsböden und Lettenkeuperschichten) größtenteils durchstoßen. Die Baugrubensohlen und die Untergeschosse reichen dann bis in den gering verwitterten Lettenkeuper bzw. in den Trigonodusdolomit hinab. In diesem Fall sind Maßnahmen zum Schutz des Grundwassers vorzusehen.

Da die schützenden Deckschichten nach dem Rückbau unterkellerten Altbauteile und in Baugruben weitgehend 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 (vgl. Abschnitt 7.1). 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., vgl. Abschnitt 7.4). Wir verweisen in diesem Zusammenhang auch auf die einschlägigen Merkblätter des Landratsamtes Böblingen.

Nach der Verordnung des Regierungspräsidiums Stuttgart zum Schutz der staatlich anerkannten Heilquellen in Stuttgart-Bad Cannstatt und Stuttgart-Berg vom 11. Juni 2002 ist nur eine breitflächige Versickerung von Niederschlagswasser zulässig. Dafür sind ausreichende Flächen einzuplanen. Falls besondere Versickerungsanlagen geplant werden, sind sie auf diese Vorgabe abzustimmen. In jedem Fall ist eine Passage des Wassers durch einen ausreichend bemessenen und sachgemäß ausgeführten Bodenfilter erforderlich.

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 hier nach davon auszugehen, dass die Anlage von Erdwärmesonden nur mit erheblichen Einschränkungen möglich ist.

## 10 Abfallrechtliche Hinweise

Bei der Schichtaufnahme der Schürfgruben 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 Konzentrationen über die Zuordnungswerte Z 0 der Verwaltungsvorschrift vom 14.03.2007<sup>10</sup> 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 Hinblick auf die Entsorgung von Aushubmaterial verweisen wir auf die Schadstoffbewertungen des Ingenieurbüros Dr. Hartwiger vom 19.03.2007 und 11.09.2007. Sofern noch nicht geschehen, empfehlen wir, auch die abzubrechenden Gebäude im Hinblick auf entsorgungsrelevante Altlasten untersuchen zu lassen.

## 11 Schlussbemerkungen

Die Untergrundverhältnisse wurden auf der Grundlage von sieben Schürfgruben, 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.

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

---

<sup>10</sup> Verwaltungsvorschrift des Umweltministeriums Baden-Württemberg für die Verwertung von als Abfall eingestuftem Bodenmaterial vom 14. März 2007 – Az.: 25-8980.08M20 Land/3 –

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.

Eine Erkundung der Altlastensituation fand im Rahmen einer Schadstoffbewertung des Ingenieurbüros Hartwiger GmbH aus Stuttgart statt. 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.

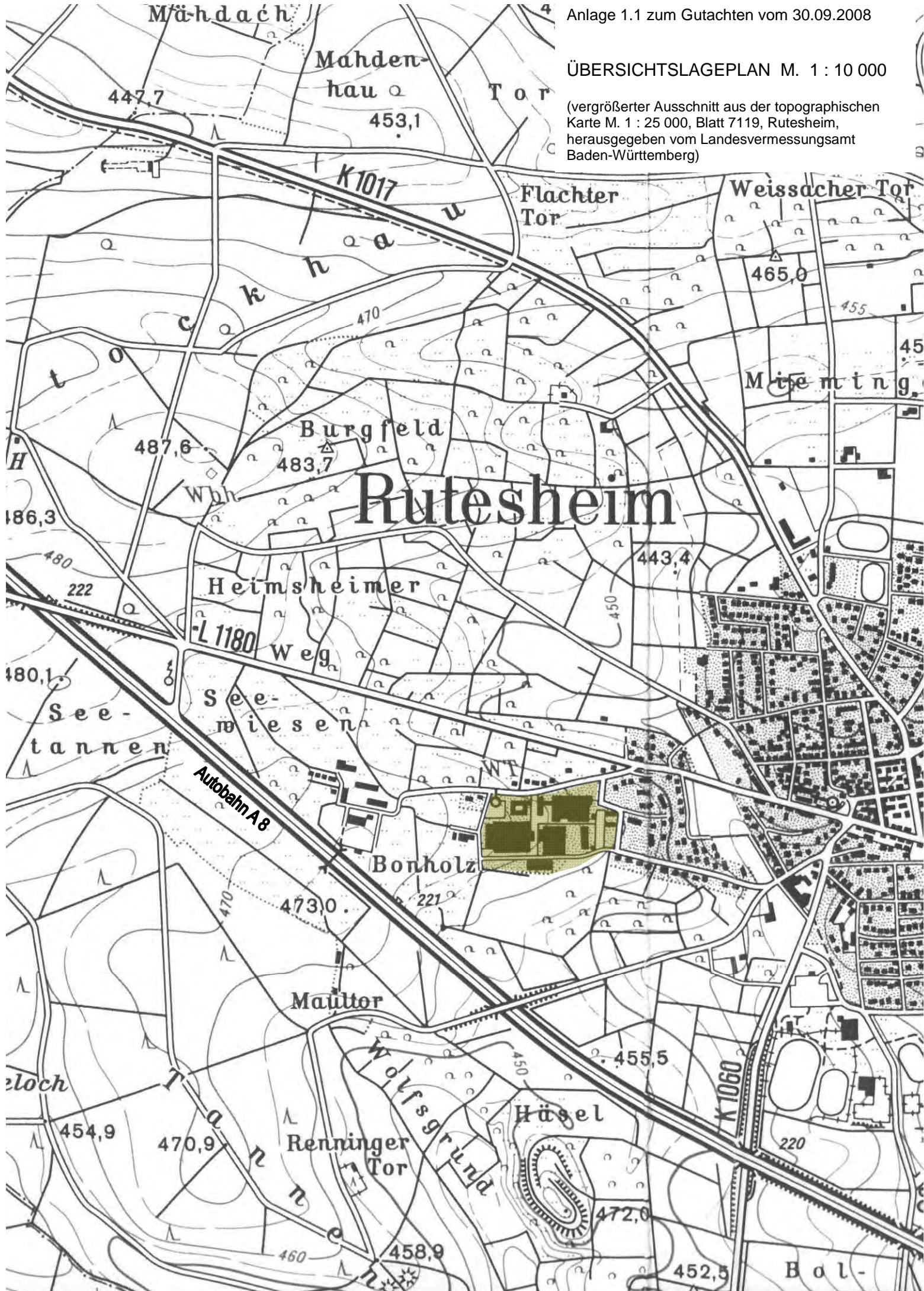
Leinfelden-Echterdingen, 30. September 2008

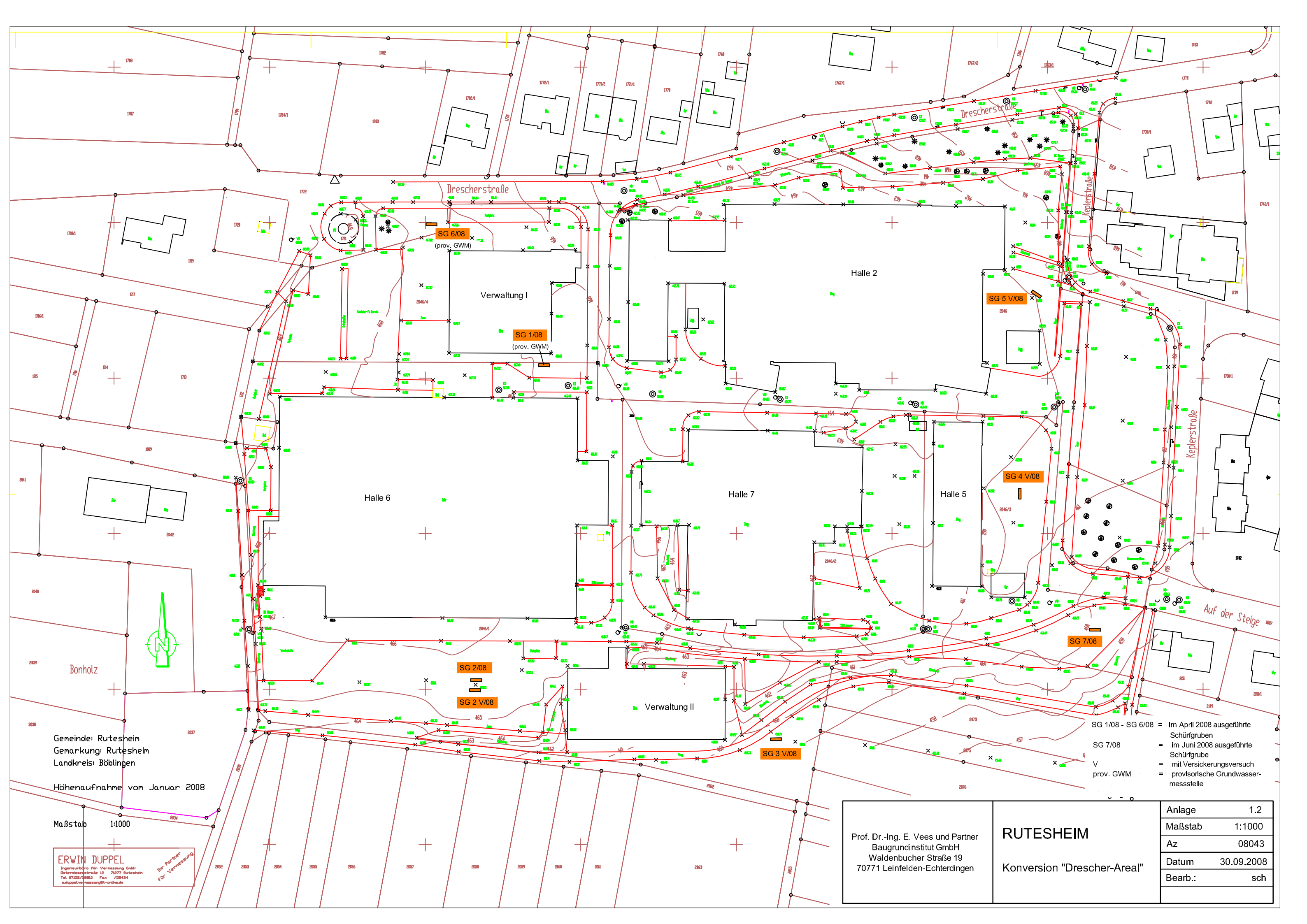
Dipl.-Geol. H. Schmidl

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)





Gemeinde: Rutesheim  
 Gemarkung: Rutesheim  
 Landkreis: Böblingen  
 Höhenaufnahme vom Januar 2008

Maßstab 1:1000

**ERWIN DUPPEL**  
 Ingenieurbüro für Vermessung GmbH  
 Osterwiesstraße 12 71277 Rutesheim  
 Tel 07132/39819 Fax /398434  
 e.duppel@vermessung-t-online.de

SG 1/08 - SG 6/08 = im April 2008 ausgeführte  
 Schürfguben  
 SG 7/08 = im Juni 2008 ausgeführte  
 Schürfgube  
 V = mit Versickerungsversuch  
 prov. GWM = provisorische Grundwasser-  
 messstelle

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

**RUTESHEIM**  
 Konversion "Drescher-Areal"

Anlage	1.2
Maßstab	1:1000
Az	08043
Datum	30.09.2008
Bearb.:	sch

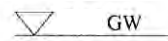
## Schichtprofile der Schürfgruben SG 1/08 bis SG 7/08

(3 Blätter)

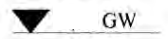
Legende:

SG Schürfgrube

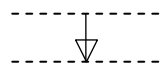
SG ..V mit Versickerungsversuch



schwacher Wasserzutritt in der Schürfgrube  
(während des Aushubs beobachtet)



Wasserspiegel in der provisorischen Grundwassermessstelle  
gemessen am...



Absinken des Wasserspiegels beim Versickerungsversuch  
von .....m u. Gelände auf ....m u. Gelände

$k_{f,u}$

Durchlässigkeit eines nicht wassergesättigten Bodens in m /s

Konsistenzen/Beschaffenheit  
(Signatur rechts der Profilsäule):

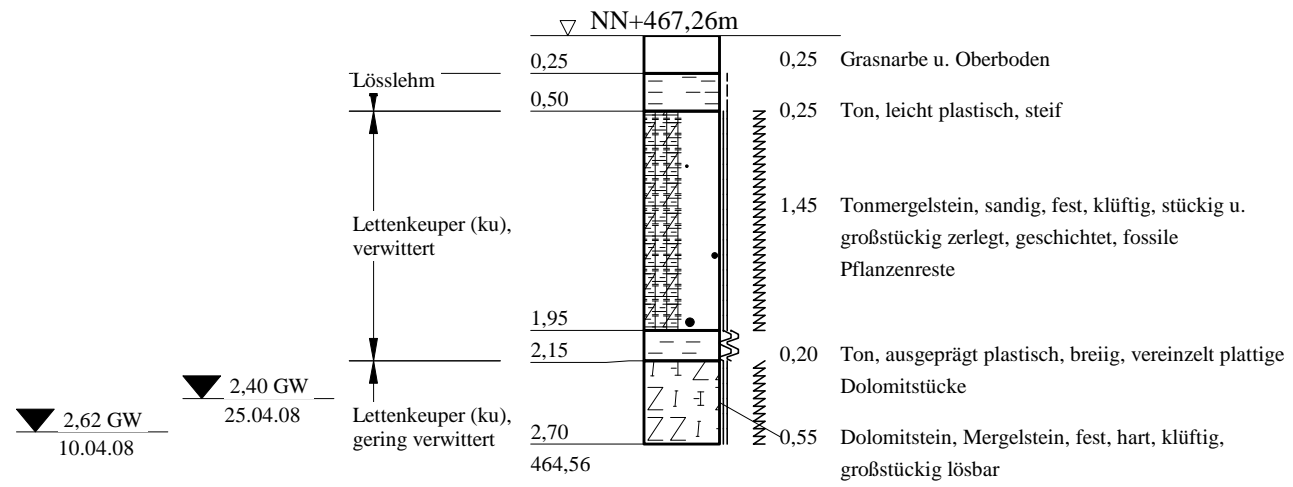
weich    steif    halbfest    fest    klüftig



Außengelände Drescherstraße

**SG 6/08**

(prov. Grundwassermessstelle)

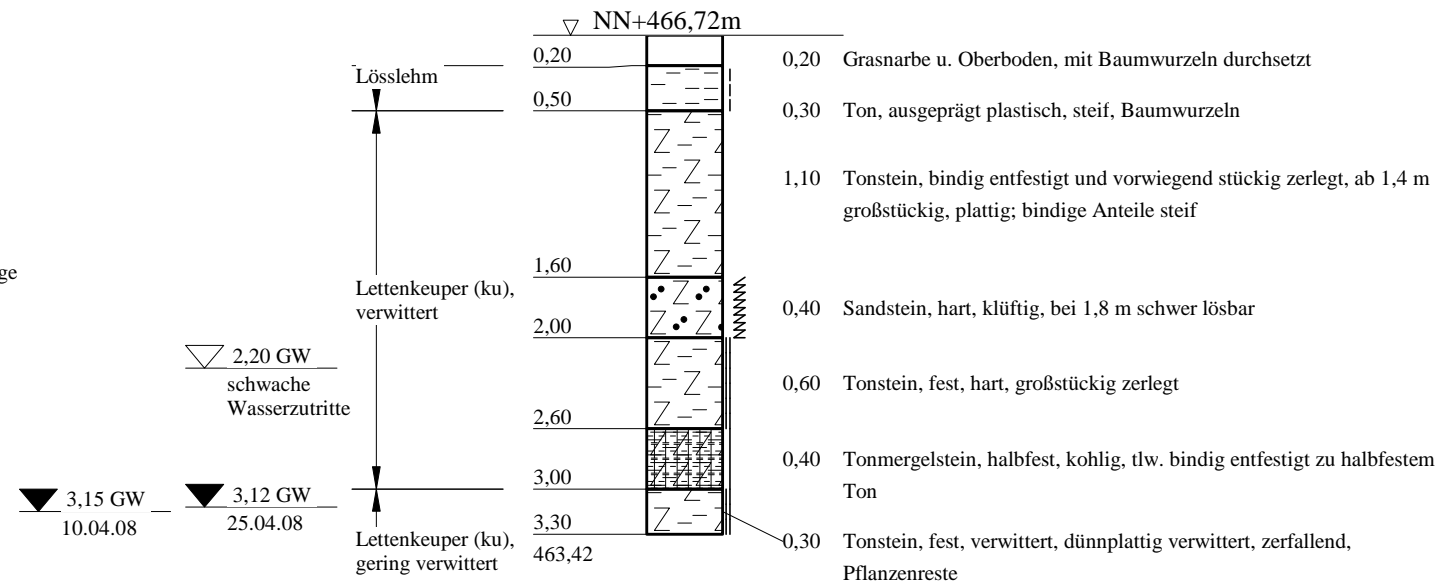


Sohle: nicht mehr lösbar

Messstelle am 10.04.08, 13.05.08, 28.05.08 u. 02.07.08 trocken bis 2,7 m u. Gelände (< 464,6 m NN)

**SG 1/08**

(prov. Grundwassermessstelle)

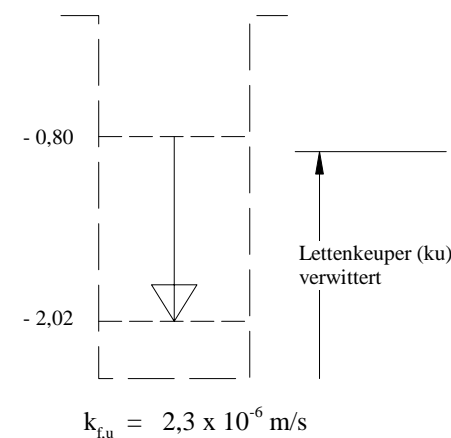


Sohle: nicht mehr lösbar

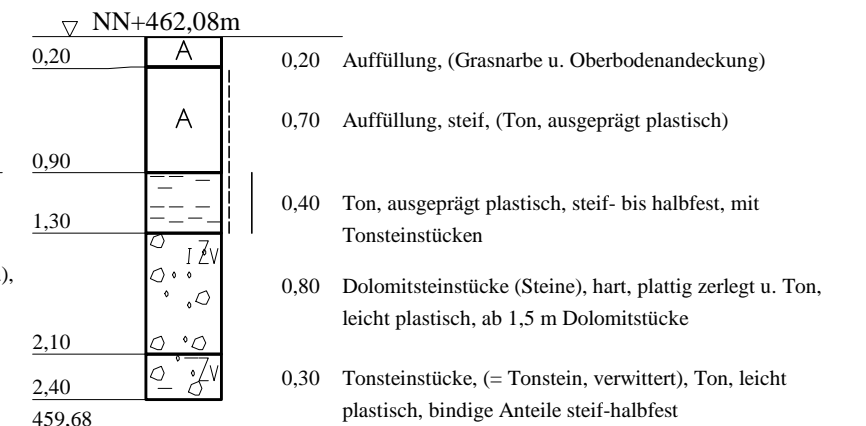
Messstelle am 05.05.08 von der Firma Kindler rückgebaut

**SG 5 V/08**

Versickerungsversuch in der Schürfgrube



**SG 5/08**

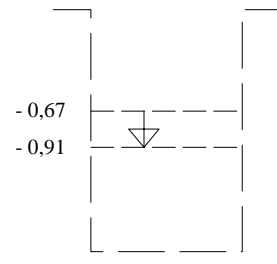


SG 6/08 - SG 1/08 - SG 5/08

Prof. Dr.-Ing. E. Vees und Partner Baugrundinstitut GmbH Waldenbucher Straße 19 70771 Leinfelden-Echterdingen Tel: 0711-797350-0	Projekt: <b>RUTESHEIM</b> Konversion "Drescher-Areal"	Anlage-Nr.: 2.1
		Projekt-Nr.: 08043
		Datum: 30.09.2008
		Maßstab: 1:50
		Bearbeiter: sch

### SG 2 V/08

Versickerungsversuch neben der Schürfgrube

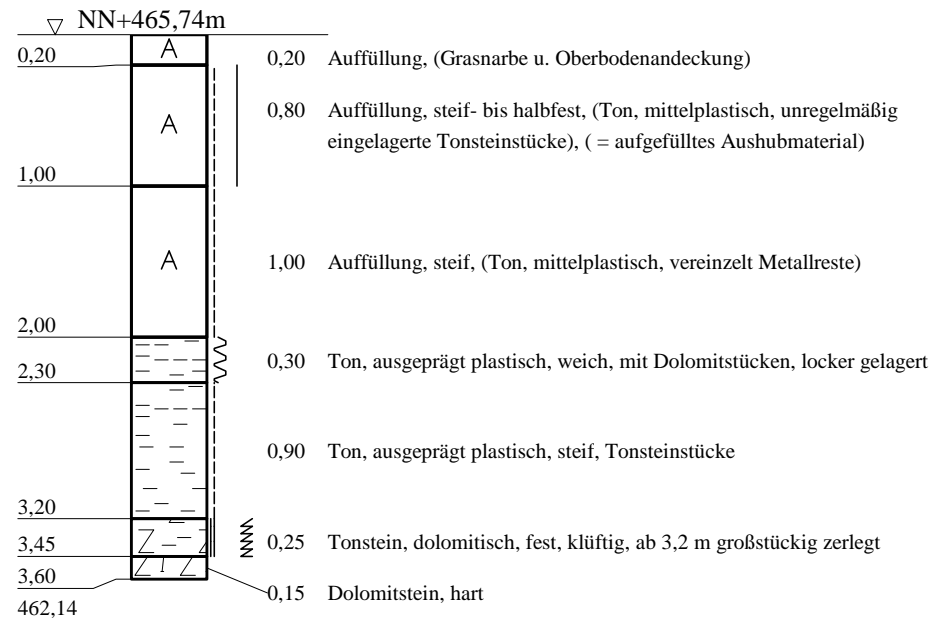


$$k_{r,u} = 2,8 \times 10^{-7} \text{ m/s}$$

Lettenkeuper (ku),  
verwittert

Lettenkeuper (ku),  
gering verwittert

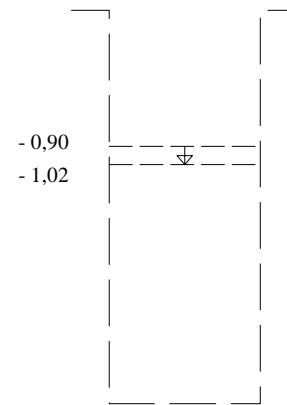
### SG 2/08



Sohle: nicht mehr lösbar

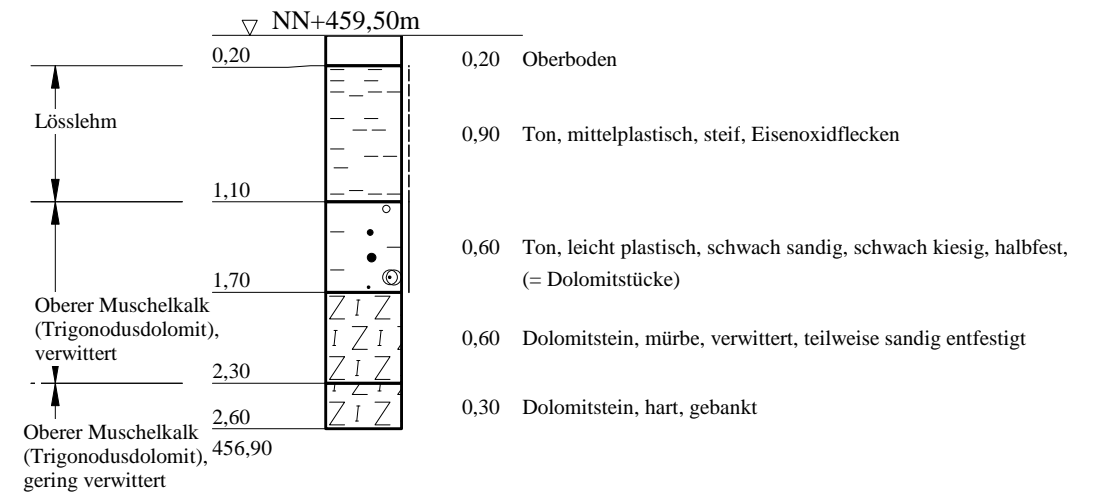
### SG 3 V/08

Versickerungsversuch in der Schürfgrube



$$k_{r,u} = 1,4 \times 10^{-7} \text{ m/s}$$

### SG 3/08



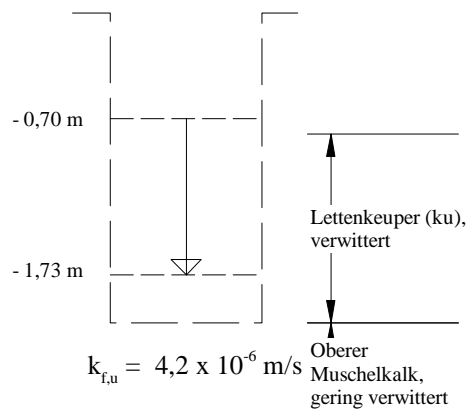
Sohle: nicht mehr lösbar

SG 2/08 - SG 3/08

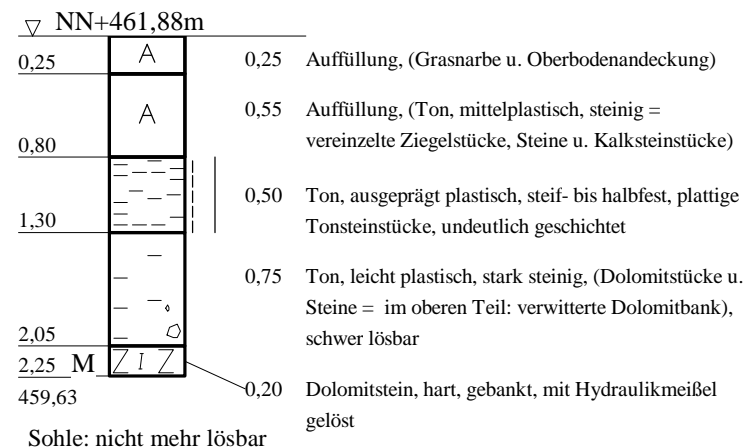
Prof. Dr.-Ing. E. Vees und Partner Baugrundinstitut GmbH Waldenbucher Straße 19 70771 Leinfelden-Echterdingen Tel: 0711-797350-0	Projekt: <b>RUTESHEIM</b> Konversion "Drescher-Areal"	Anlage-Nr.: 2.2
		Projekt-Nr.: 08043
		Datum: 30.09.2008
		Maßstab: 1:50
		Bearbeiter: sch

### SG 4 V/08

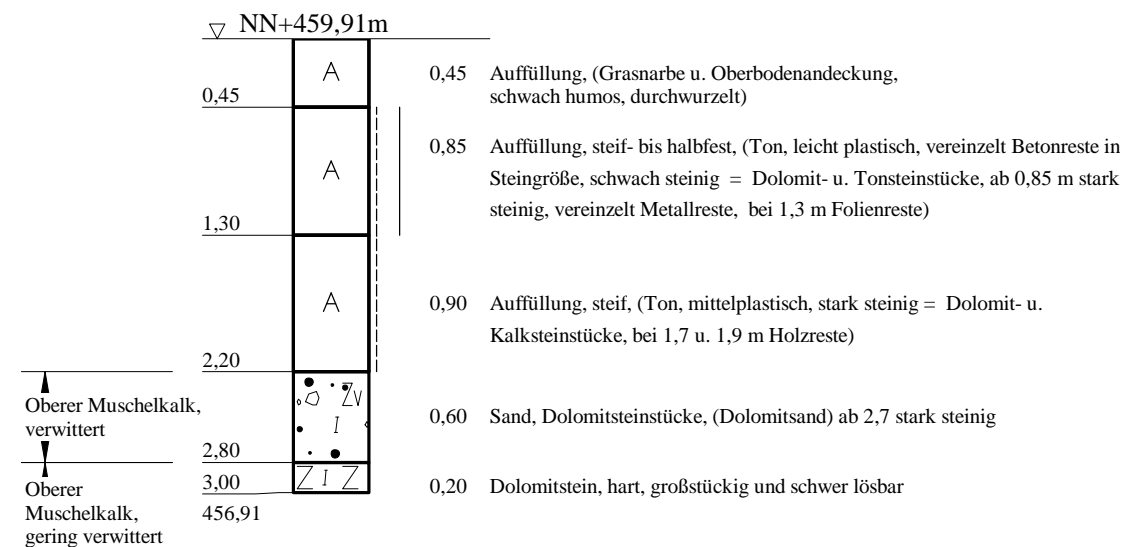
Versickerungsversuch in der Schürfgrube



### SG 4/08



### SG 7/08



SG 4/08 - SG 7/08

Prof. Dr.-Ing. E. Vees und Partner Baugrundinstitut GmbH Waldenbucher Straße 19 70771 Leinfelden-Echterdingen Tel: 0711-797350-0	Projekt: <b>RUTESHEIM</b> Konversion "Drescher-Areal"	Anlage-Nr.: 2.3
		Projekt-Nr.: 08043
		Datum: 30.09.2008
		Maßstab: 1:50
		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	0,3	g	Lösslehm	Ton, ausgeprägt plastisch			25,5	50,4	22,5	27,9	0,89	st	TA	
	0,6	g	Lettenkeuper, verwittert	Ton			14,4							
	1,0	g					13,0							
	1,6	g					10,0							
	2,1	g		Tonstein			11,0							
	2,7	g		Tonmergelstein, verwittert			17,5							
	3,1	g	Lettenkeuper, gering verwittert	Tonstein			12,4							
	3,3	g					11,2							
SG 2/ 08	0,5	g	künstliche Auffüllungen (Gelände-auffüllung)	Ton			16,8							
	0,6*	g		Ton, mittelplastisch			19,5	46,3	19,9	26,4	1,02	hf	TM	
	1,0	g		Ton			22,0							
	2,0	g				31,6								
	2,3	g	Lettenkeuper, verwittert	Ton, ausgeprägt plastisch			34,5	65,3	19,8	45,5	0,68	w	TA	
	2,8	g					31,2	75,1	22,5	52,6	0,83	st	TA	
	3,3	g	Lettenkeuper, gering verwittert	Tonstein			10,5							
	3,6	g		Dolomitstein			8,9							
SG 3/ 08	0,6	g	Lösslehm	Ton, mittelplastisch			20,1	41,5	17,0	24,5	0,87	st	TM	
	2,0	g	Oberer Muschelkalk, verwittert	Dolomitstein, verwittert			18,5							
	2,6	g	Oberer Muschelkalk, gering verwittert	Dolomitstein			6,7							

\* 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 $\varnothing \leq 0,063$ 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	Kompessionsversuch siehe Anlage	
								Fließgrenze $w_L$ [%]	Ausrollgrenze $w_P$ [%]						
SG 4/ 08	0,9*	g	Lettenkeuper, verwittert	Ton, ausgeprägt plastisch			18,0	50,7	21,8	29,0	1,13	hf	TA		
	1,2	g		Ton			15,8								
	1,8	g		Dolomitstücke			5,7								
	2,2	g	Oberer Muschelkalk, gering verwittert	Dolomitstein			1,3								
SG 5/ 08	1,2*	g	Lettenkeuper, verwittert	Ton, ausgeprägt plastisch			21,2	51,6	19,4	32,2	0,94	st	TA		
	2,2	g		Ton, Tonsteinstücke			14,2								
SG 6/ 08	0,75	g	Lettenkeuper, verwittert	Tonmergelstein, verwittert			11,3								
	1,5	g					12,0								
	2,0	g		Ton, ausgeprägt plastisch			52,4	60,3	27,9	32,4	0,24	br	TA		
	2,7	g	Lettenkeuper, gering verwittert	Dolomitstein			6,4								

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

Auswertung der Versickerungsversuche  
in den Schürfgruben  
SG 2 V/08, SG 3 V/08, SG 4 V/08 und SG 5 V/08

(4 Blätter)

GW m u. Gel.  
11,00

Auswertung in Anlehnung an Arbeitsblatt DWA-A 138

SG 2 V/08		(Quader)		Tiefe h [m]		Sickerstrecke z <sub>GW</sub> [m]		Durchlässigkeit k <sub>fu</sub> [m/s]	
Datum Uhrzeit	Länge a [m]	Zeitspanne [s]	m u. Gel. Einstauhöhe h <sub>n</sub> [m]	Einstauhöhe h <sub>n+1</sub> [m]	h <sub>m</sub> [m]	Grundfläche A <sub>G</sub> [m <sup>2</sup> ]	Sickerstrecke z <sub>GW</sub> [m]	Wirks. Versick. fläche A <sub>s</sub> [m <sup>2</sup> ]	Hydraul. Gefälle i [-]
	2,30		0,85	1,60		1,96	9,40		
31.03.2008 15:33		8820	0,67	0,92	0,93	0,01	2,22E-06	5,724	1,047
31.03.2008 18:00		9300	0,68	0,85	0,89	0,07	1,47E-05	5,526	1,045
31.03.2008 20:35		127500	0,75	0,80	0,83	0,05	7,67E-07	5,234	1,042
02.04.2008 08:00		35100	0,80	0,77	0,79	0,03	1,67E-06	5,044	1,040
02.04.2008 17:45		72420	0,83	0,69	0,73	0,08	2,16E-06	4,787	1,037
03.04.2008 13:52		253140	0,91	0,69	0,81	0,24	1,85E-06	5,163	1,041
gesamter Zeitraum		253140	0,91	0,69	0,81	0,24	1,85E-06	5,163	1,041

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

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

Auswertung nach REITMEIER

SG 2 V/08		(Quader)		Länge + Breite a + b [m]		Tiefe h [m]		Entwässerb. Porenanteil n <sub>w</sub> [-]	
Länge a [m]	Zeitspanne [s]	m u. Gel. Einstauhöhe h <sub>n</sub> [m]	Einstauhöhe h <sub>n+1</sub> [m]	h <sub>m</sub> [m]	Spiegeländerung Δh [m]	Grundfläche A <sub>G</sub> [m <sup>2</sup> ]	Volumen ΔV [m <sup>3</sup> ]	Sickertiefe z [m]	Hydraul. Gefälle i [-]
2,30		0,85	3,15	1,60		1,96	0,035		
8820	0,67	0,93	0,92	0,93	0,01	0,020	7,783	0,072	1,866
9300	0,68	0,92	0,85	0,89	0,07	0,137	7,531	0,519	1,460
127500	0,75	0,85	0,80	0,83	0,05	0,098	7,153	0,390	1,514
35100	0,80	0,80	0,77	0,79	0,03	0,059	6,901	0,243	1,618
72420	0,83	0,77	0,69	0,73	0,08	0,156	6,554	0,682	1,349
253140	0,91	0,69	0,69	0,81	0,24	0,469	7,058	1,399	1,176
gesamter Zeitraum		0,91	0,69	0,81	0,24	0,469	7,058	1,399	1,176

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

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

$$k_{fu} = \Delta V / (i \cdot A \cdot \Delta t) \quad [m/s]$$

Eingangsdaten

Mittelwert (DWA-A 138, Reitmeier)

Versickerungsversuch SG 2 V/08

2,8E-07

GW m u. Gel.  
11,00

Auswertung in Anlehnung an Arbeitsblatt DWA-A 138

SG 3 V/08		(Quader)		Tiefe h [m]		Sickerstrecke z <sub>GW</sub> [m]		Durchlässigkeit k <sub>t,u</sub> [m/s]	
Länge a [m]	Breite b [m]	m u. Gel.	Einstauhöhe h <sub>n</sub> [m]	Einstauhöhe h <sub>n+1</sub> [m]	h <sub>m</sub> [m]	Grundfläche A <sub>G</sub> [m²]	Spiegeländerung Δh [m]	Wirks. Versick. fläche A <sub>s</sub> [m²]	Hydraul. Gefälle i [-]
3,20	0,90		2,60			2,88	8,40		
Zeitspanne [s]	m u. Gel.	Einstauhöhe h <sub>n</sub> [m]	Einstauhöhe h <sub>n+1</sub> [m]	h <sub>m</sub> [m]	Grundfläche A <sub>G</sub> [m²]	Spiegeländerung Δh [m]	Versickerungsrate Q <sub>s</sub> [m³/s]	Hydraul. Gefälle i [-]	Durchlässigkeit k <sub>t,u</sub> [m/s]
900	0,90	1,70	1,69	1,70	2,88	0,01	3,20E-05	1,092	2,3E-06
3600	0,91	1,69	1,68	1,69	2,88	0,01	8,00E-06	1,091	5,8E-07
9300	0,92	1,68	1,62	1,65	2,88	0,06	1,86E-05	1,089	1,4E-06
127500	0,98	1,62	1,58	1,60	2,88	0,04	9,04E-07	1,087	6,9E-08
141300	1,02	1,70	1,58	1,64	2,88	0,12	2,41E-06	1,089	1,8E-07
gesamtler Zeitraum:									

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

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

Auswertung nach REITMEIER

SG 3 V/08		(Quader)		Länge + Breite a + b [m]		Entwässer. Porenanteil n <sub>w</sub> [-]		Durchlässigkeit k <sub>t,u</sub> [m/s]	
Länge a [m]	Breite b [m]	m u. Gel.	Einstauhöhe h <sub>n</sub> [m]	Einstauhöhe h <sub>n+1</sub> [m]	h <sub>m</sub> [m]	Grundfläche A <sub>G</sub> [m²]	Volumen ΔV [m³]	Sickertiefe z [m]	Hydraul. Gefälle i [-]
3,20	0,90		4,10			2,88	0,035		
Zeitspanne [s]	m u. Gel.	Einstauhöhe h <sub>n</sub> [m]	Einstauhöhe h <sub>n+1</sub> [m]	h <sub>m</sub> [m]	Grundfläche A <sub>G</sub> [m²]	Volumen ΔV [m³]	Sickertiefe z [m]	Hydraul. Gefälle i [-]	Durchlässigkeit k <sub>t,u</sub> [m/s]
900	0,90	1,70	1,69	1,70	2,88	0,029	0,049	1,945	9,8E-07
3600	0,91	1,69	1,68	1,69	2,88	0,029	0,049	1,945	2,5E-07
9300	0,92	1,68	1,62	1,65	2,88	0,173	0,301	1,733	6,5E-07
127500	0,98	1,62	1,58	1,60	2,88	0,115	0,206	1,795	3,1E-08
141300	1,02	1,70	1,58	1,64	2,88	0,346	0,605	1,576	9,5E-08
gesamtler Zeitraum:									

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

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

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

Mittelwert (DWA-A 138, Reitmeier)

1,4E-07

Eingangsdaten

Versickerungsversuch SG 3 V/08

Auswertung in Anlehnung an Arbeitsblatt DWA-A 138

GW m u. Gel.  
11,00

SG 4 V/08		(Quader)		Tiefe h [m]		Grundfläche A <sub>G</sub> [m <sup>2</sup> ]		Sickerstrecke z <sub>GW</sub> [m]		Durchlässigkeit k <sub>fu</sub> [m/s]	
Länge a [m]	Zeitspanne [s]	m u. Gel. Einstauhöhe h <sub>n</sub> [m]	Einstauhöhe h <sub>n+1</sub> [m]	h <sub>m</sub> [m]	Spiegeländerung Δh [m]	A <sub>G</sub> [m <sup>2</sup> ]	Wirks. Versick. fläche A <sub>s</sub> [m <sup>2</sup> ]	Hydraul. Gefälle i [-]	Hydraul. Gefälle i [-]	Hydraul. Gefälle i [-]	Durchlässigkeit k <sub>fu</sub> [m/s]
3,50	6300	0,70	1,16	1,26	0,19	3,15	10,247	1,066	8,7E-06	1,066	8,7E-06
	13260	0,89	0,93	1,05	0,23		8,840	1,055	5,9E-06	1,055	5,9E-06
	13320	1,12	0,76	0,85	0,17		7,582	1,045	5,1E-06	1,045	5,1E-06
	52200	1,29	0,32	0,54	0,44		2,66E-05	1,029	4,4E-06	1,029	4,4E-06
	85080	1,73	0,32	0,84	1,03		3,81E-05	1,045	4,9E-06	1,045	4,9E-06
gesamter Zeitraum											

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

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

Auswertung nach REITMEIER

SG 4 V/08		(Quader)		Länge + Breite a + b [m]		Tiefe h [m]		Grundfläche A <sub>G</sub> [m <sup>2</sup> ]		Entwässer. Porenanteil n <sub>w</sub> [-]		Durchlässigkeit k <sub>fu</sub> [m/s]	
Länge a [m]	Zeitspanne [s]	m u. Gel. Einstauhöhe h <sub>n</sub> [m]	Einstauhöhe h <sub>n+1</sub> [m]	h <sub>m</sub> [m]	Spiegeländerung Δh [m]	A <sub>G</sub> [m <sup>2</sup> ]	Volumen ΔV [m <sup>3</sup> ]	Sickertiefe z [m]	Hydraul. Gefälle i [-]	Hydraul. Gefälle i [-]	Hydraul. Gefälle i [-]	Durchlässigkeit k <sub>fu</sub> [m/s]	
3,50	6300	0,70	1,16	1,26	0,19	3,15	0,599	1,205	1,342	1,342	1,342	5,0E-06	
	13260	0,89	0,93	1,05	0,23		0,725	1,677	1,238	1,238	1,238	3,6E-06	
	13320	1,12	0,76	0,85	0,17		0,536	1,445	1,226	1,226	1,226	3,1E-06	
	52200	1,29	0,32	0,54	0,44		1,386	5,011	1,051	1,051	1,051	3,2E-06	
	85080	1,73	0,32	0,84	1,03		3,245	8,830	1,045	1,045	1,045	3,5E-06	
gesamter Zeitraum													

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

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

$$k_{fu} = \Delta V / (i \cdot A \cdot \Delta t) \quad [m/s]$$

Mittelwert (DWA-A 138, Reitmeier)

4,4E-06

Eingangsdaten

Versickerungsversuch SG 4 V/08

RUTESHEIM  
Konversion "Drescher Areal"

**Auswertung in Anlehnung an Arbeitsblatt DWA-A 138**

GW m u. Gel.  
11,00

Datum Uhrzeit	SG 5 V/08		(Quader)		Tiefe h [m]	Sickerstrecke z <sub>SW</sub> [m]	Durchlässigkeit k <sub>fu</sub> [m/s]
	Länge a [m]	Breite b [m]	m u. Gel. Einstauhöhe h <sub>i</sub> [m]	Einstauhöhe h <sub>i+1</sub> [m]			
	3,70	0,85	2,40	8,60			
	Zeitspanne [s]		Spiegeländerung Δh [m]	Wirks. Versick. fläche A <sub>s</sub> [m²]	Hydraul. Gefälle i [-]		
01.04.2008 15:30	780	1,60	1,56	12,830	1,084		
01.04.2008 15:43	660	0,84	1,54	9,53E-05	1,083		
01.04.2008 15:54	7560	0,86	1,39	6,24E-05	1,078		
01.04.2008 18:00	9300	1,01	1,20	6,43E-05	1,070		
01.04.2008 20:35	41100	1,20	0,78	3,21E-05	1,054		
02.04.2008 08:00	34200	1,62	0,57	1,93E-05	1,038		
02.04.2008 17:30	60000	1,83	0,38	9,96E-06	1,027		
03.04.2008 10:10	153600	2,02	0,38	2,50E-05	1,054		
gesamter Zeitraum	153600	1,60	0,38	8,630	1,054		2,7E-06

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

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

**Auswertung nach REITMEIER**

Datum Uhrzeit	SG 5 V/08		Tiefe h [m]	Entwässerb. Porenanteil n <sub>w</sub> [-]	Durchlässigkeit k <sub>fu</sub> [m/s]
	Länge a [m]	Breite b [m]			
	3,70	0,85	2,40	0,055	
	Zeitspanne [s]		Spiegeländerung Δh [m]	Grundfläche A <sub>G</sub> [m²]	Sickerstiefe z [m]
01.04.2008 15:30	780	1,60	1,56	3,15	0,131
01.04.2008 15:43	660	0,84	1,54	0,126	1,858
01.04.2008 15:54	7560	0,86	1,39	0,063	0,066
01.04.2008 18:00	9300	1,01	1,20	0,472	1,921
01.04.2008 20:35	41100	1,20	0,78	0,598	0,521
02.04.2008 08:00	34200	1,62	0,57	1,321	0,728
02.04.2008 17:30	60000	1,83	0,38	0,660	1,976
03.04.2008 10:10	153600	2,02	0,38	0,598	1,207
gesamter Zeitraum	153600	1,60	0,38	3,837	1,455

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

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

$$k_{fu} = \Delta V / (i \cdot A \cdot \Delta t) \quad [m/s]$$

Mittelwert (DWA-A 138, Reitmeier) 2,3E-06

Eingangsdaten

Versickerungsversuch SG 5 V/08

## **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 m<sup>3</sup> 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 m<sup>3</sup> 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 m<sup>3</sup> Rauminhalt. Nichtbindige und bindige Bodenarten mit höchstens 30 % Steinen von über 0,01 m<sup>3</sup> bis 0,1 m<sup>3</sup> 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 m<sup>3</sup> bis 0,1 m<sup>3</sup> 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 m<sup>3</sup> Rauminhalt.