

Geotechnik BFW GmbH • Nikolaus-Otto-Str. 6 • 55129 Mainz

## Basalt-Actien-Gesellschaft

Bahnhofstraße 19

55606 Kirn

- Baugrund
- Altlastensanierung
- Grundwasser
- Bodenverunreinigungen
- Hydrogeologie
- Deponien
- Rutschungssanierung
- Lagerstätten
- Grundbaulabor

Ihr Zeichen:  
W90/4590016464

Ihre Nachricht vom:  
28.01.2015

Ansprechpartner:  
W. Fein  
06131/91 35 24 30

Unser Zeichen:  
G 6035

Datum:  
26.01.2017

## Steinbruch Kreimbach

### Errichtung einer Bodendeponie DK0

### Geotechnischer Untersuchungsbericht zu den Eignungsprüfungen für die geologische Barriere

Anlagen: 2



## Inhaltsverzeichnis

<b>1 Anlass</b>	<b>7</b>
<b>2 Geologische Barriere</b>	<b>7</b>
2.1 Planung.....	7
2.2 Anforderungen.....	8
2.3 Schadstoffrückhaltevermögen.....	9
2.4 Eignungsprüfungen der geologischen Barriere.....	10
2.4.1 Wassergehalt.....	10
2.4.2 Kornverteilung.....	10
2.4.3 Zustandsgrenzen.....	10
2.4.4 Schrumpfgrenze.....	11
2.4.5 Proctorversuch.....	11
2.4.6 Kompressionsversuch.....	11
2.4.7 Scherversuch.....	11
2.4.8 Glühverlust.....	12
2.4.9 Wasserdurchlässigkeit.....	12
2.4.10 Wasseraufnahmevermögen.....	12
2.4.11 Karbonatgehalt.....	13
2.4.12 Kationenaustauschkapazität.....	13
2.4.13 Tonmineralgehalt.....	13
2.4.14 Schadstofffreiheit.....	13
2.4.15 Bewertung.....	14



## Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Anforderungen an die Materialien an der Deponiebasis.....	8
Tab. 2: Anforderungen an die Materialien an den Steilwänden.....	8
Tab. 3: geologische Barriere - Wassergehalt.....	10
Tab. 4: geologische Barriere - Kornverteilung.....	10
Tab. 5: geologische Barriere - Zustandsgrenzen.....	10
Tab. 6: geologische Barriere - Schrumpfgrenzen.....	11
Tab. 7: geologische Barriere - Proctorversuch.....	11
Tab. 8: geologische Barriere - Kompressionsversuch.....	11
Tab. 9: geologische Barriere - Scherversuch.....	12
Tab. 10: geologische Barriere - organischer Anteil (Glühverlust).....	12
Tab. 11: geologische Barriere - Wasserdurchlässigkeit.....	12
Tab. 12: geologische Barriere - Wasseraufnahmevermögen.....	12
Tab. 13: geologische Barriere - Karbonatgehalt.....	13
Tab. 14: geologische Barriere - Kationenaustauschkapazität.....	13
Tab. 15: geologische Barriere - Tonmineralgehalt.....	13

## Literaturverzeichnis

- [1] Heibrock, G.; Vielhaber, B.: Vergleichende Bewertung der Sperr- und Rückhaltewirkung mineralischer Abdichtungen. Deutsche Gesellschaft für Geotechnik e.V. DGGT Fachsektion 6 Umweltgeotechnik AK 6.1 - Geotechnik der Deponiebauwerke (Hrsg.) 2010



## Normen und Verordnungen

BQS 1-0	Bundeseinheitlicher Qualitätsstandard 1-0: Technische Maßnahmen betreffend die geologische Barriere, 12-2011
BQS 2-1	Bundeseinheitlicher Qualitätsstandard 2-1: Mineralische Basisabdichtungs-komponenten aus natürlichen mineralischen Baustoffen, 6-2011
BQS 5-5	Bundeseinheitlicher Qualitätsstandard 5-5: Oberflächenabdichtungs-komponenten aus geosynthetischen Dichtungsbahnen, 5-2010
DIN 4220	Bodenkundliche Standortbeurteilung - Kennzeichnung, Klassifizierung und Ableitung von Bodenkennwerten (normative und nominale Skalierungen), 11-2008
DIN 18121-1	Untersuchung von Bodenproben - Wassergehalt - Teil 1, 4-1998
DIN 18122-1	Baugrund, Untersuchung von Bodenproben - Zustandsgrenzen (Konsistenz-grenzen) - Teil 1, 7-1997
DIN 18122-2	Baugrund, Untersuchung von Bodenproben; Zustandsgrenzen (Konsistenz-grenzen) - Teil 2, 9-2000
DIN 18123	Baugrund, Untersuchung von Bodenproben - Bestimmung der Korngrößen-verteilung, 4-2011
DIN 18125-1	Baugrund, Untersuchung von Bodenproben - Bestimmung der Dichte des Bodens - Teil 1, 7-2010
DIN 18125-2	Baugrund, Untersuchung von Bodenproben - Bestimmung der Dichte des Bodens - Teil 2, 3-2011
DIN 18127	Baugrund, Untersuchung von Bodenproben - Proctorversuch, 9-2012
DIN 18128	Baugrund, Untersuchung von Bodenproben - Bestimmung des Glühverlustes, 12-2002
DIN 18129	Baugrund, Untersuchung von Bodenproben - Kalkgehaltsbestimmung, 7-2011
DIN 18130-1	Baugrund, Untersuchung von Bodenproben; Bestimmung des Wasserdurchlässigkeitsbeiwerts - Teil 1: Laborversuche, 5-1998
DIN 18132	Baugrund, Versuche und Versuchsgeräte - Bestimmung des Wasseraufnahmevermögens, 4-2012
DIN 18137-1	Baugrund, Untersuchung von Bodenproben - Bestimmung der Scherfestigkeit - Teil 1, 7-2010
DIN 18196	Erd- und Grundbau - Bodenklassifikation für bautechnische Zwecke, 5-2011
DIN 4022-1	Baugrund und Grundwasser - Benennen und Beschreiben von Bodenarten und Fels, Schichtenverzeichnis für Untersuchungen und Bohrungen ohne durchgehende Gewinnung von gekernten Proben, 11-1969



- DIN EN 1997-1 Eurocode 7 - Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik - Teil 1: Allgemeine Regeln, 3-2014
- DIN ISO 13536 Bodenbeschaffenheit - Bestimmung der potentiellen Kationenaustauschkapazität und der austauschbaren Kationen unter Verwendung einer bei pH = 8,1 gepufferten Bariumchloridlösung, 4-1997
- LAGA M 20 Mitteilung der Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA) 20 - Anforderungen an die stoffliche Verwertung von mineralischen Abfällen - Technische Regeln - Allgemeiner Teil, 11-2003
- LAGA TR Boden Mitteilung der Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA) 20 - Anforderungen an die stoffliche Verwertung von mineralischen Abfällen: Teil II: Technische Regeln für die Verwertung - 1.2 Bodenmaterial (TR Boden), 11-2004
- LAGA M 20 Mitteilung der Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA) 20 - Anforderungen an die stoffliche Verwertung von mineralischen Abfällen: Teil III: Probenahme und Analytik, 11-2004
- DepV Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. „Verordnung über Deponien und Langzeitlager“. In: Bundesgesetzblatt Teil I. Hrsg. von Bundesministerium für Justiz und Verbraucherschutz. 22. Apr. 2009, S. 900.



## Anlagenverzeichnis

- 1 schematisches Einbaukonzept
- 2 Eignungsuntersuchung der geologischen Barriere
  - 2.1 Wassergehalt
  - 2.2 Kornverteilung
  - 2.3 Zustandsgrenzen
  - 2.4 Schrumpfgrenze
  - 2.5 Proctorversuch
  - 2.6 Scherversuch
  - 2.7 Kompressionsversuch
  - 2.8 Organische Bestandteile (Glühverlust)
  - 2.9 Durchlässigkeit
  - 2.10 Wasseraufnahme
  - 2.11 Kalkgehalt
  - 2.12 Kationenaustauschkapazität
  - 2.13 Tonmineralgehalt
  - 2.14 Schadstofffreiheit
  - 2.15 Übersicht



## 1 Anlass

Die Südwestdeutsche Hartsteinwerke, Zweigniederlassung der Basalt-Actien-Gesellschaft in Kirn, beabsichtigt im ehemaligen Steinbruch Kreimbach eine Deponie für Inertabfälle der Deponieklasse DK0, als Folgenutzungskonzept zu errichten. Im Rahmen der Planung der Deponie soll eine Eignungsprüfung der Gesteinsmehle aus den Werken Jettenbach und Michelbach hinsichtlich einer Verwendung als geologische Barriere durchgeführt werden.

Die GEOTECHNIK Büdinger Fein Welling GmbH wurde von den Südwestdeutschen Hartsteinwerken / Basalt-Actien-Gesellschaft (Kirn) beauftragt, die erforderlichen Untersuchungen durchzuführen und einen Bericht zu verfassen.

## 2 Geologische Barriere

### 2.1 Planung

Die Planung sieht vor, den ehemaligen Steinbruch Kreimbach-Kaulbach mit Material entsprechend der Deponieklasse DK0 zu verfüllen. Deshalb ist ein Basisabdichtungs- sowie ein Oberflächenabdichtungssystem gemäß Deponieverordnung zu errichten.

Die Deponiebasis weist eine Fläche von rund fünf Hektar auf, die Deponieoberfläche annähernd neun Hektar. Die Deponie wird teilweise als Grubendeponie ausgeführt. Sie ist im zentralen Bereich durch eine entlang der nordwestlichen und südöstlichen Grenze verlaufende Steinbruchwand begrenzt. In südwestliche Richtung endet die Deponie mit einer 1 : 2,5 geneigten Böschung; nach Nordosten hin findet die Deponieböschung ihr Ende an einem mit Z0\*-Material verfüllten Bereich. Die Deponiebasis ist mit einem Längsgefälle von 1% von Nordost nach Südwest geplant. Der Aufbau der Basisabdichtung ist wie folgt vorgesehen (von oben nach unten):

- Schutzlage der Entwässerungsschicht,  $d \geq 1,0$  Meter
- Trennvlies 300 g/m<sup>2</sup>
- Mineralische Entwässerungsschicht,  $d \geq 0,3$  m, Körnungsband 8/56,  $k_f \geq 1 \times 10^{-3}$  m/s
- Trennvlies 300 g/m<sup>2</sup>
- Geologische Barriere,  $d \geq 1,0$  Meter aus vier Lagen zu je maximal 25 Zentimeter



## 2.2 Anforderungen

Die natürliche Beschaffenheit des Untergrund am Deponiestandort erfüllt nicht vollends die Anforderungen einer geologischen Barriere gemäß der Deponieverordnung. Deshalb wird die geologische Barriere durch technische Maßnahmen vervollständigt. Die technischen Maßnahmen zur Vervollständigung der geologischen Barriere erfolgen unter Berücksichtigung der entsprechenden Kriterien der Deponieverordnung und der Bundeseinheitlichen Qualitätssicherungen. Darüber hinaus gelten die im Aktenvermerk vom 22.08.2016 festgehaltenen Anforderungen.

Zum Einsatz kommt insbesondere Gesteinsmehl (sogenannter Füller) aus den ortsnahen Steinbrüchen Jettenbach und Michelbach, das bei der Produktion von Schotter und Splitt anfällt. Es handelt sich somit um ein natürliches Material, das in einer guten Homogenität geliefert wird. Sind die erforderlichen Massen aus den besagten Steinbrüchen nicht ausreichend, können problemlos Gesteinsmehle mit gleichwertiger Qualität aus anderen Steinbrüchen geliefert werden. In den folgenden Tabellen 1 und 2 sind die Anforderungen an die geologische / technische Barriere aufgeführt.

Tab. 1: Anforderungen an die Materialien an der Deponiebasis

Kriterium	Anforderung
Tonmineralgehalt	> 10 %
Durchlässigkeitsbeiwert	$\leq 5 \times 10^{-9} \text{ m/s}$
Mächtigkeit <sup>1)</sup>	$\geq 1 \text{ m}$ (4 Lagen mit jeweils $\geq 0,25 \text{ m}$ )

- 1) Sollte der Durchlässigkeitsbeiwert  $k_f$  nicht eingehalten werden, erfolgt der Einbau einer fünften Lage mit einer Mächtigkeit von 25 cm (Gesamtmächtigkeit  $\geq 1,25 \text{ m}$ ).

Tab. 2: Anforderungen an die Materialien an den Steilwänden.

Kriterium	Anforderung
Durchlässigkeitsbeiwert <sup>1)</sup>	$\leq 1 \times 10^{-7} \text{ m/s}$
Schadstofffreiheit	Z0 gemäß LAGA TR Boden
Mächtigkeit	$\geq 1 \text{ m}$

- 1) Die beiden untersten Lagen der geologischen Barriere bestehen aus einem natürlichem Material mit einer Durchlässigkeit von  $k_f \leq 5 \times 10^{-9} \text{ m/s}$ .



### 2.3 Schadstoffrückhaltevermögen

Die Sperr- und Rückhaltewirkung einer mineralischen Abdichtungsschicht wird unterschiedlichen komplexen chemischen und physikalischen Prozessen bestimmt. Nach HEIBROCK und VIELHABER [1] gehören dazu der advective Stofftransport, die molekulare Diffusion, Filtration, Fällung, Adsorption und Desorption, Einbau sowie chemischer und biologischer Abbau. Weiterführend wird jedoch bemerkt, dass

[eine] quantitative Beschreibung der aufgeführten Prozesse unter Berücksichtigung der realen, standortspezifischen Gegebenheiten [...] schwierig [ist]. Advektion, Diffusion, Dispersion, Sorption und auch Abbauvorgänge, die sich als Reaktion 1. Ordnung beschreiben lassen, können zwar vergleichsweise einfach mathematisch modelliert werden (E1-10), es ist jedoch nur unter Annahme idealisierter Bedingungen möglich, die für die Modellierung benötigten Einflüsse und Parameter der Modelle entsprechend den standortspezifischen Gegebenheiten, insbesondere für Stoffgemische, zu bestimmen. [1]

Unter der Annahme, dass der maßgebliche Prozess für die Schadstoffrückhaltung die Ionenbindung ist, bietet sich die Kationenaustauschkapazität als Möglichkeit zur Bewertung des Schadstoffrückhaltevermögens an. Die Kationenaustauschkapazität ist ein Maß für die austauschbaren Kationen und damit die Zahl an negativen Bindungsplätzen von Kationenaustauschern im Boden. Sie hängt sowohl von der chemischen Zusammensetzung des Bodens, als auch von der mechanischen Eigenschaften des Substrats ab. Die potentielle Kationenaustauschkapazität  $KAK_{pot}$  ist die Summe der  $KAK_{pot}$  der Tonminerale und der  $KAK_{pot}$  der organischen Substanz. Sie gibt die maximale Anzahl möglicher freier Kationenbindungsplätze an und bezieht sich auf die Kationenaustauschkapazität bei einem leicht basischen pH-Wert ( $pH = 8,1$ ) des Bodens. Die potentielle Kationenaustauschkapazität schwankt in Abhängigkeit vom Tongehalt der Böden. Die  $KAK_{pot}$  des Humusanteils entspricht in etwa dem Wert des doppelten Humusgehaltes. Ein angenommener Humusgehalt zwischen 1 und 2 % führt somit zu einer  $KAK_{pot}$  Humus von ca. 2 bis 4  $cmol^+/kg$ . Unter der Annahme, dass sich der Boden-pH-Wert zwischen 6,8 und 7,2 bewegt, kann durch Multiplikation der  $KAK_{pot, Humus}$  mit dem Faktor 0,84 die effektive Kationenaustauschkapazität des Humus abgeleitet werden ( $KAK_{eff}$  ca. 0,84 bis 1,68). Die effektive Kationenaustauschkapazität  $KAK_{eff}$  gibt die Anzahl der tatsächlich freien Kationenbindungsplätze bei dem jeweils aktuell vorliegenden pH-Wert des Bodens wieder. Für mitteleuropäische Böden, mit überwiegend illitischen Tonen, kann sie nach DIN 4220 aus den Ton- und Schluffgehalten, die durch eine Körnungsanalyse ermittelt wurden, durch folgende empirische Gleichung ermittelt werden:

$$KAK_{pot} (cmol/kg) = 0,5 \times \text{Tongehalt} + 0,05 \times \text{Schluffgehalt}$$



## 2.4 Eignungsprüfungen der geologischen Barriere

Die Eignungsprüfungen für die Materialien der geologischen Barriere wurden im Zeitraum zwischen August und Dezember 2016 durchgeführt.

### 2.4.1 Wassergehalt

Die Bestimmung des natürlichen Wassergehaltes  $w_N$  (s. Tab. 3) erfolgte gemäß DIN 18121-1 (s. Anl. Fehler: Referenz nicht gefunden und 2.1).

Tab. 3: geologische Barriere - Wassergehalt

Probe	$w_N$ [M-%]
Michelbach Silo 156	2,68
Jettenbach Silo Danthern	2,83

### 2.4.2 Kornverteilung

Die Bestimmung der Kornverteilung erfolgte gemäß DIN 18123 (s. Anl. Fehler: Referenz nicht gefunden und 2.2). In der folgenden Tabelle 4 sind die Kornfraktionen Ton (Cl), Silt (Si), Sand (Sa) und Kies (Gr) der untersuchten Materialien dargestellt

Tab. 4: geologische Barriere - Kornverteilung

Probe	Kornfraktionen [M-%]			
	Cl	Si	Sa	Gr
Michelbach Silo 156	8,1	86,4	5,5	0,0
Jettenbach Silo Danthern	3,7	82,9	13,4	0,0

### 2.4.3 Zustandsgrenzen

Die Bestimmung der Zustandsgrenzen erfolgte gemäß DIN 18122-1 und DIN 18122-2. In der folgenden Tabelle 5 ist der natürliche Wassergehalt  $w_N$ , die Zustandsgrenzen (Fließgrenze  $w_L$ , Ausrollgrenze  $w_P$  und Konsistenzzahl  $I_c$ ) und die Konsistenz für die untersuchten Materialien dargestellt (s. Anl. 2.3).

Tab. 5: geologische Barriere - Zustandsgrenzen

Probe	Konsistenzgrenzen [M-%]				Konsistenz
	$w_N$	$w_L$	$w_P$	$I_c$	
Michelbach Silo 156	6,8	31,7	24,9	4,265	halbfest
Jettenbach Silo Danthern	2,8	29,7	24,4	5,075	halbfest



#### 2.4.4 Schrumpfgrenze

Die Bestimmung der Schrumpfgrenze erfolgte gemäß DIN 18122-1 und DIN 18122-2. In der folgenden Tabelle 6 ist der Wassergehalt  $w$  an der Schrumpfgrenze und der Volumenverlust  $\Delta V$  dargestellt (s. Anl. 2.4).

Tab. 6: geologische Barriere - Schrumpfgrenzen

Probe	$w$ [M-%]	$\Delta V$ [%]
Michelbach Silo 156	23,5	15,6
Jettenbach Silo Danthern	22,8	12,0

#### 2.4.5 Proctorversuch

Die Bestimmung der Proctordichte erfolgte gemäß DIN 18127. In der folgenden Tabelle 7 ist der optimale Wassergehalt  $w_{opt}$ , der minimale und maximale Wassergehalt bei einer 97-%-igen Proctordichte  $w_{97\ min}$  und  $w_{97\ max}$  und die optimale Proctordichte  $D_{pr}$  dargestellt (s. Anl. 2.5).

Tab. 7: geologische Barriere - Proctorversuch

Probe	Wassergehalte [M-%]			$D_{pr}$ [g/cm <sup>3</sup> ]
	$w_{opt}$	$w_{97\ min}$	$w_{97\ max}$	
Michelbach Silo 156	16,76	13,57	20,51	1,68
Jettenbach Silo Danthern	17,13	13,61	21,33	1,68

#### 2.4.6 Kompressionsversuch

Die Bestimmung des Verformungsverhaltens des Bodens erfolgte gemäß DIN 18125-1 und DIN 18125-2. In der folgenden Tabelle 8 ist der Steifemodul  $E_s$  dargestellt (s. Anl. 2.7).

Tab. 8: geologische Barriere - Kompressionsversuch

Probe	$E_s$ [kN/m <sup>2</sup> ]
Michelbach Silo 156	
Jettenbach Silo Danthern	

#### 2.4.7 Scherversuch

Die Bestimmung der Scherparameter erfolgte gemäß DIN 18137-1. In der folgenden Tabelle 9 ist der innere Reibungswinkel  $\varphi$  dargestellt (s. Anl. 2.6).



Tab. 9: geologische Barriere - Scherversuch

Probe	$\Phi$ [°]
Michelbach Silo 156	33,9
Jettenbach Silo Danthern	34,3

#### 2.4.8 Glühverlust

Die Bestimmung des Glühverlustes erfolgte gemäß DIN 18128. In der folgenden Tabelle 10 ist der organische Anteil als Glühverlust  $\Delta m_{org}$  dargestellt (s. Anl. 2.8).

Tab. 10: geologische Barriere - organischer Anteil (Glühverlust)

Probe	$\Delta m_{org}$ [M-%]
Michelbach Silo 156	3,33
Jettenbach Silo Danthern	4,28

#### 2.4.9 Wasserdurchlässigkeit

Die Bestimmung der Wasserdurchlässigkeit erfolgte im Triaxialgerät gemäß DIN 18127. In der folgenden Tabelle 11 ist der Durchlässigkeitsbeiwert  $k_f$  dargestellt (s. Anl. Fehler: Referenz nicht gefunden und 2.9).

Tab. 11: geologische Barriere - Wasserdurchlässigkeit

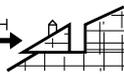
Probe	$k_f$ [m/s]
Michelbach Silo 156	$1,53 \times 10^{-8}$
Jettenbach Silo Danthern	$1,00 \times 10^{-8}$

#### 2.4.10 Wasseraufnahmevermögen

Die Bestimmung des Wasseraufnahmevermögens erfolgte gemäß DIN 18132. In der folgenden Tabelle 12 ist das Wasseraufnahmevermögen  $w_A$  dargestellt (s. Anl. 2.10).

Tab. 12: geologische Barriere - Wasseraufnahmevermögen

Probe	$w_A$ [%]
Michelbach Silo 156	91,56
Jettenbach Silo Danthern	93,07



### 2.4.11 Karbonatgehalt

Die Bestimmung des Karbonatgehalts erfolgte gemäß DIN 18129. In der folgenden Tabelle 11 ist der Karbonatgehalt ( $\text{CO}_3^{2-}$  ges.) dargestellt (s. Anl. 2.11).

Tab. 13: geologische Barriere - Karbonatgehalt

Probe	$\text{CO}_3^{2-}$ ges. [%]
Michelbach Silo 156	0,47
Jettenbach Silo Danthern	0,54

### 2.4.12 Kationenaustauschkapazität

Die Bestimmung der Kationenaustauschkapazität (s. Tab. 14) erfolgte gemäß DIN ISO 13536 (s. Anl. 2.12).

Tab. 14: geologische Barriere - Kationenaustauschkapazität

Probe	KAK <sub>pot</sub>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>2+</sup>	Na <sup>2+</sup>
Michelbach Silo 156	14,48	11,35	2,30	0,43	0,40
Jettenbach Silo Danthern	11,53	9,23	1,42	0,28	0,60

### 2.4.13 Tonmineralgehalt

Die Bestimmung des Tonmineralgehaltes (s. Tab. 15) erfolgte mittels Röntgendiffraktometrie (s. Anl. 2.13).

Tab. 15: geologische Barriere - Tonmineralgehalt

Probe	Tonmineralgehalt [%]
Michelbach Silo 156	27,00
Jettenbach Silo Danthern	20,00

### 2.4.14 Schadstofffreiheit

Die Bestimmung der Schadstofffreiheit erfolgte gemäß Deponieverordnung mit dem Parameterumfang aus Anhang 3, Tabelle 2, Spalte 4 „geologische Barriere“ (s. Anl. 2.14). Das untersuchte Material ist für den Einsatz in der Deponieklasse 0 geeignet.



### 2.4.15 Bewertung

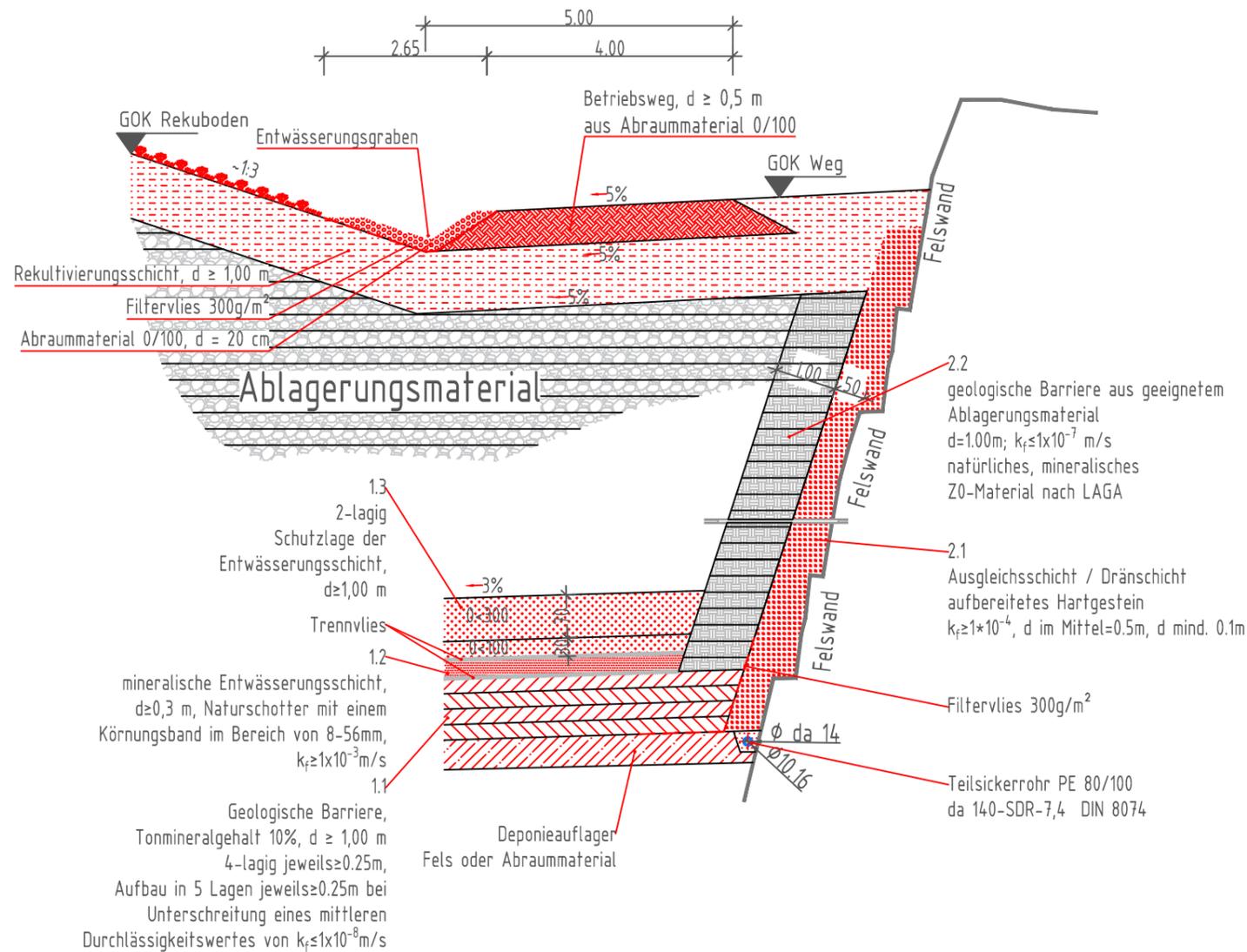
Bis auf den geringen Feinstkornanteils ( $\leq 2 \mu\text{m}$ ) sind die untersuchten bodenmechanischen Kenngrößen und chemisch analytischen Untersuchungsergebnisse in Hinblick auf eine Verwendung der Gesteinsmehle aus den Werken Jettenbach und Michelbach als Ausgangsmaterial für eine geologische / technische Barriere positiv zu bewerten. Trotz des geringen Feinstkornanteils erreicht das für die geologische Barriere vorgesehene Material eine hydraulische Durchlässigkeit  $k_f$  von  $1 \times 10^{-8} \text{ m/s}$ .

Mainz, den 26.01.2017

GEOTECHNIK  
Büdinger Fein Welling GmbH

Dipl.-Geol. W. Fein

Regeldetail  
Anschluss Oberflächenabdichtung  
mit höherliegender Felswand  
M 1:100



Auftraggeber:

Südwestdeutsche Harsteinwerke  
eine Zweigniederlassung der  
Basalt-Actien-Gesellschaft

Projekt:

Errichtung einer Bodendeponie  
DK0, Steinbruch Kreimbach

Maßstab:

1:100

Blattgröße:

DIN A3

Bearbeiter:

W. Fein

Plan:

Einbaukonzept des  
Dichtungssystems

gez.:

M. Melcher

Anlage:

1.1

Projektnummer:

G 6035

Planvorlage:

Peschla & Rochmes GmbH

Datum:

02.12.2016

**GEOTECHNIK** Büdinger • Fein • Welling GmbH

INGENIEURGEOLOGEN • HYDROGEOLOGEN • BERATENDE INGENIEURE

Geohaus, Nikolaus-Otto-Straße 6, 55129 Mainz

Tel.: 06131 / 91 35 24-0 / FAX: 06131 / 91 35 24-44 / Email: mail@geotechnik-mainz.de



<b>Projekt:</b>	Errichtung einer Bodendeponie DK0, Steinbruch Kreimbach		
<b>AZ:</b>	G 6035	<b>Datum:</b>	16.09.16
<b>Bearbeiter:</b>	W. Fein	<b>Anlage:</b>	2.1

## Bestimmung des Wassergehalts nach DIN 18 121-1

<b>Herkunft</b>	<b>Michelbach</b>	<b>Jettenbach</b>
Silo	156	„Danthern“
Feuchte Probe + Tara [g]	102,58	96,47
Trockene Probe + Tara [g]	101,44	95,42
Tara [g]	58,98	58,33
Wasseranteil [g]	1,14	1,05
Trockenmasse [g]	42,46	37,09
<b>Wassergehalt [%]</b>	<b>2,68</b>	<b>2,83</b>

# GEOTECHNIK BFW GmbH

Geologen, Hydrogeologen, Beratende Ingenieure  
Nikolaus-Otto-Straße 6, 55129 Mainz

Tel.: 06131 / 91 35 24 0 | Fax: 06131 / 91 35 24 44 | mail@geotechnik-mainz.de

# Kornverteilung

DIN 18 123-6

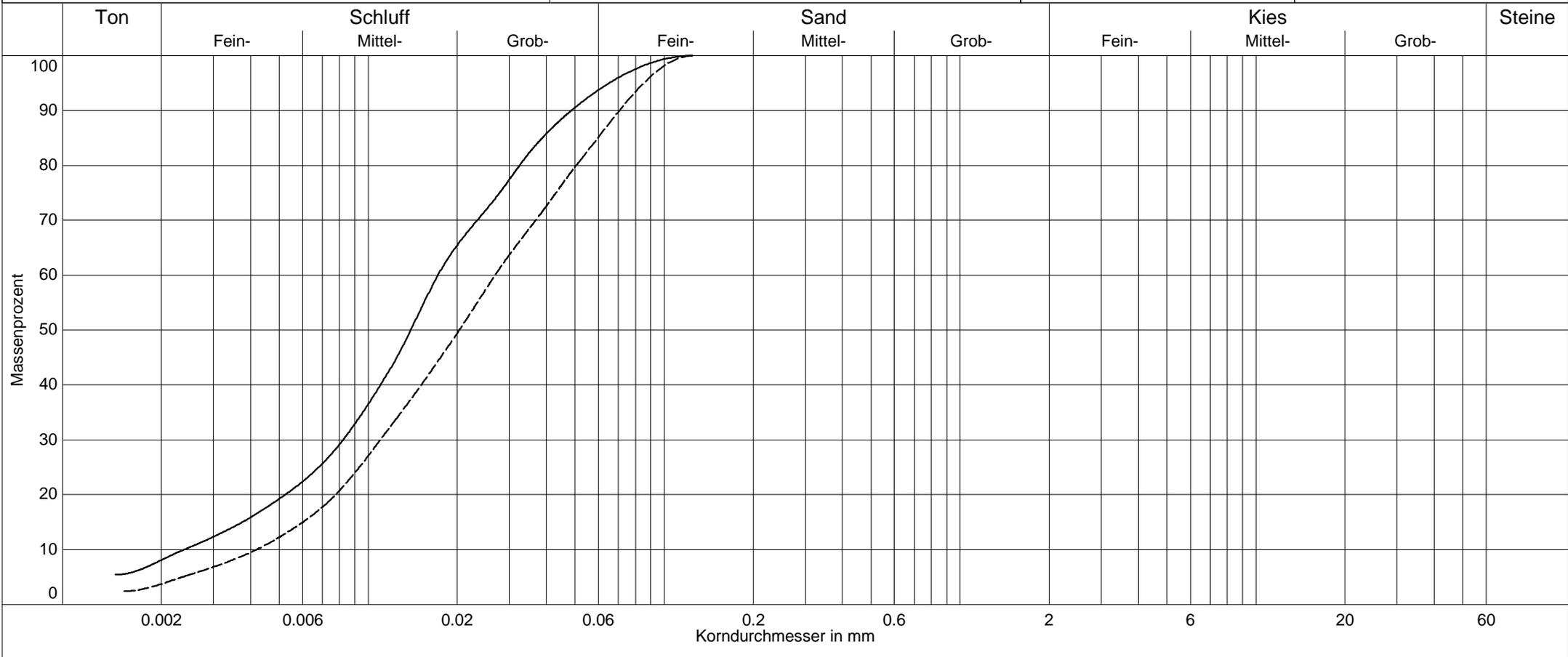
Projekt: Errichtung einer Bodendeponie DK0,  
Steinbruch Kreimbach

AZ: G 6035

Anlage: 16.09.2016

Bearbeiter: W. Fein

Datum: 2.2



Labornummer	——— 112788	----- 112790
Entnahmestelle	Michelbach	Jettenbach
Entnahmedatum	14.09.2016	14.09.2016
Probe	Silo 156	Silo Danthern
Kornfrakt. Cl/Si/Sa/Gr	8.1/86.4/5.5/0.0 %	3.7/82.9/13.4/0.0 %
Anteil < 0.063 mm	94.5 %	86.6 %
Bodenart	fsa'Si,cl	fsa'Si,cl
kf nach Hazen	- (U > 5)	- (U > 5)
kf nach Beyer	6.3E-008 m/s	2.0E-007 m/s



# Zustandsgrenzen

DIN 18 122

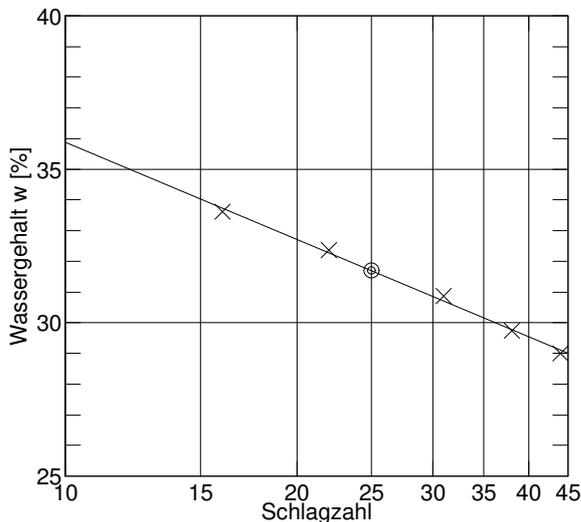
Entnahmestelle: Werk Michelbach

Entnahmedatum: 14.09.2016

Probe: Silo 156

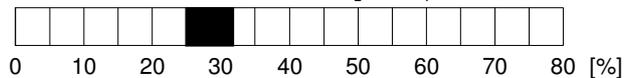
Bodenart: fsa'Si,cl

Behälter-Nr.	Fließgrenze					Ausrollgrenze				
	75	72	73	46	78	71	42	45		
Zahl der Schläge	44	38	31	22	16					
Feuchte Probe + Behälter $m_f + m_B$ [g]	43.16	42.27	43.92	43.11	45.76	30.03	33.00	32.96		
Trockene Probe + Behälter $m_t + m_B$ [g]	39.37	38.62	40.34	39.31	41.42	29.19	31.78	31.97		
Behälter $m_B$ [g]	26.30	26.35	28.74	27.57	28.51	25.94	26.87	27.85		
Wasser $m_f - m_t = m_w$ [g]	3.79	3.65	3.58	3.80	4.34	0.84	1.22	0.99		
Trockene Probe $m_t$ [g]	13.07	12.27	11.60	11.74	12.91	3.25	4.91	4.12	Mittel	
Wassergehalt $\frac{m_w}{m_t} = w$ [%]	29.0	29.7	30.9	32.4	33.6	25.8	24.8	24.0	24.9	



Wassergehalt  $w_N = 2.7$  %  
 Fließgrenze  $w_L = 31.7$  %  
 Ausrollgrenze  $w_P = 24.9$  %

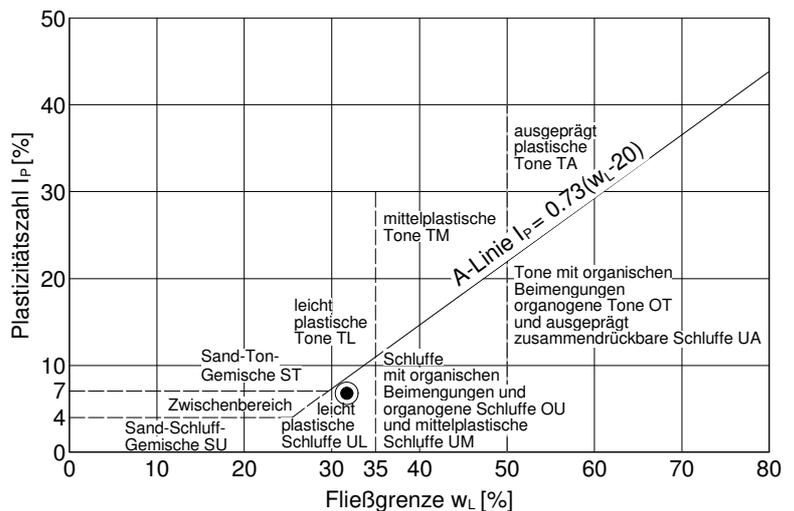
Plastizitätsbereich ( $w_L$  bis  $w_P$ )



Plastizitätszahl  $I_P = w_L - w_P = 6.8$  %

Liquiditätsindex  $I_L = \frac{w_N - w_P}{I_P} = -3.265$

Konsistenzzahl  $I_C = \frac{w_L - w_N}{I_P} = 4.265$





## Bestimmung der Schrumpfgrenze nach DIN 18 122-2

		<b>Jettenbach</b>	<b>Michelbach</b>
	<b>Einheit</b>	<b>Silo Danthern</b>	<b>Silo 156</b>
Volumen des feuchten Probekörpers	cm <sup>3</sup>	59,41	59,41
Feuchter Probekörper + Tara	g	371,97	368,86
Trockener Probekörper + Tara	g	344,71	340,66
Tara	g	257,33	257,72
Wasseranteil	g	27,26	28,20
Trockenmasse Probekörper	g	87,38	82,94
Volumen des trockenen Probekörpers	cm <sup>3</sup>	52,27	50,16
Volumenverlust	%	12,00	15,60
Wassergehalt an der Schrumpfgrenze	%	22,80	23,50

# Proctorversuch

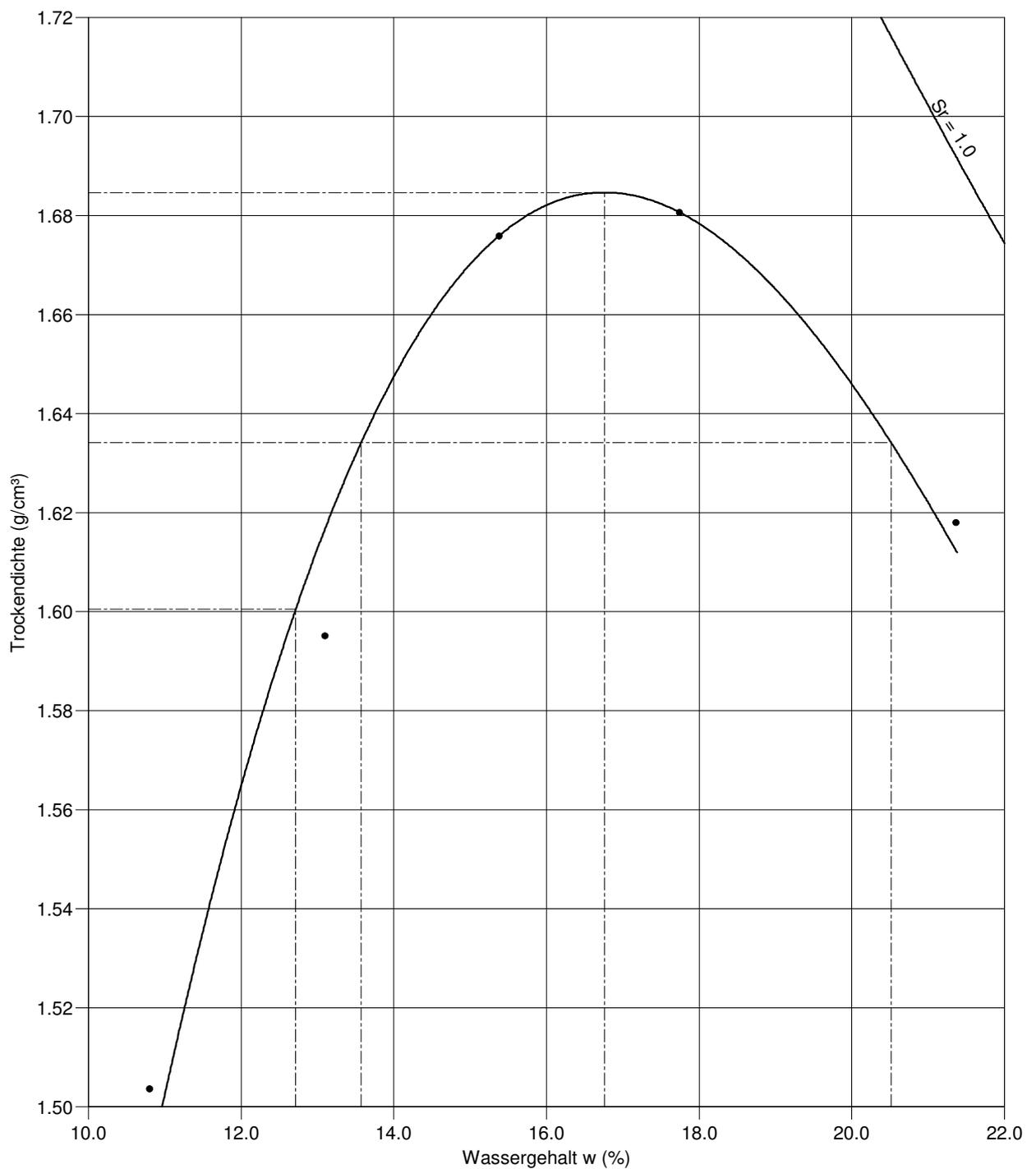
DIN 18 127

**Entnahmestelle:** Werk Michelbach

**Entnahmedatum:** 14.09.2016

**Probe:** Silo 156

**Bodenart:** cl'fsa'Si



	100 %		97.0 %	95.0 %		
Proctordichte	: 1.68 g/cm³	Dichte (g/cm³)	1.63	1.60		
Optimaler Wassergehalt	: 16.76 %	wmin (%)	13.57	12.72		
Natürlicher Wassergehalt	: 2.68 %	wmax (%)	20.51			

# Proctorversuch

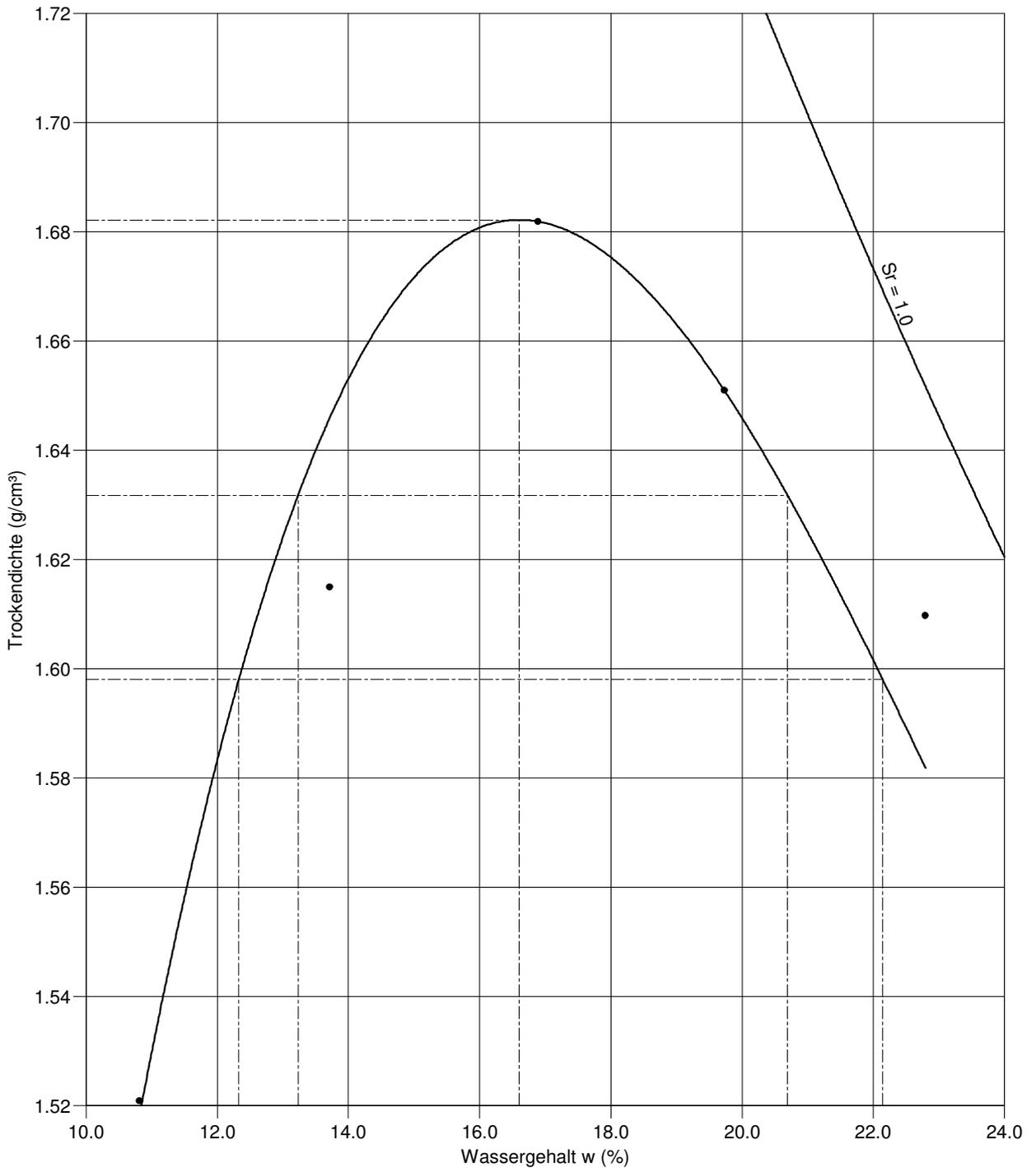
DIN 18 127

**Entnahmestelle:** Werk Jettenbach

**Entnahmedatum:** 14.09.2016

**Probe:** Silo Danthern

**Bodenart:** fsa'Si



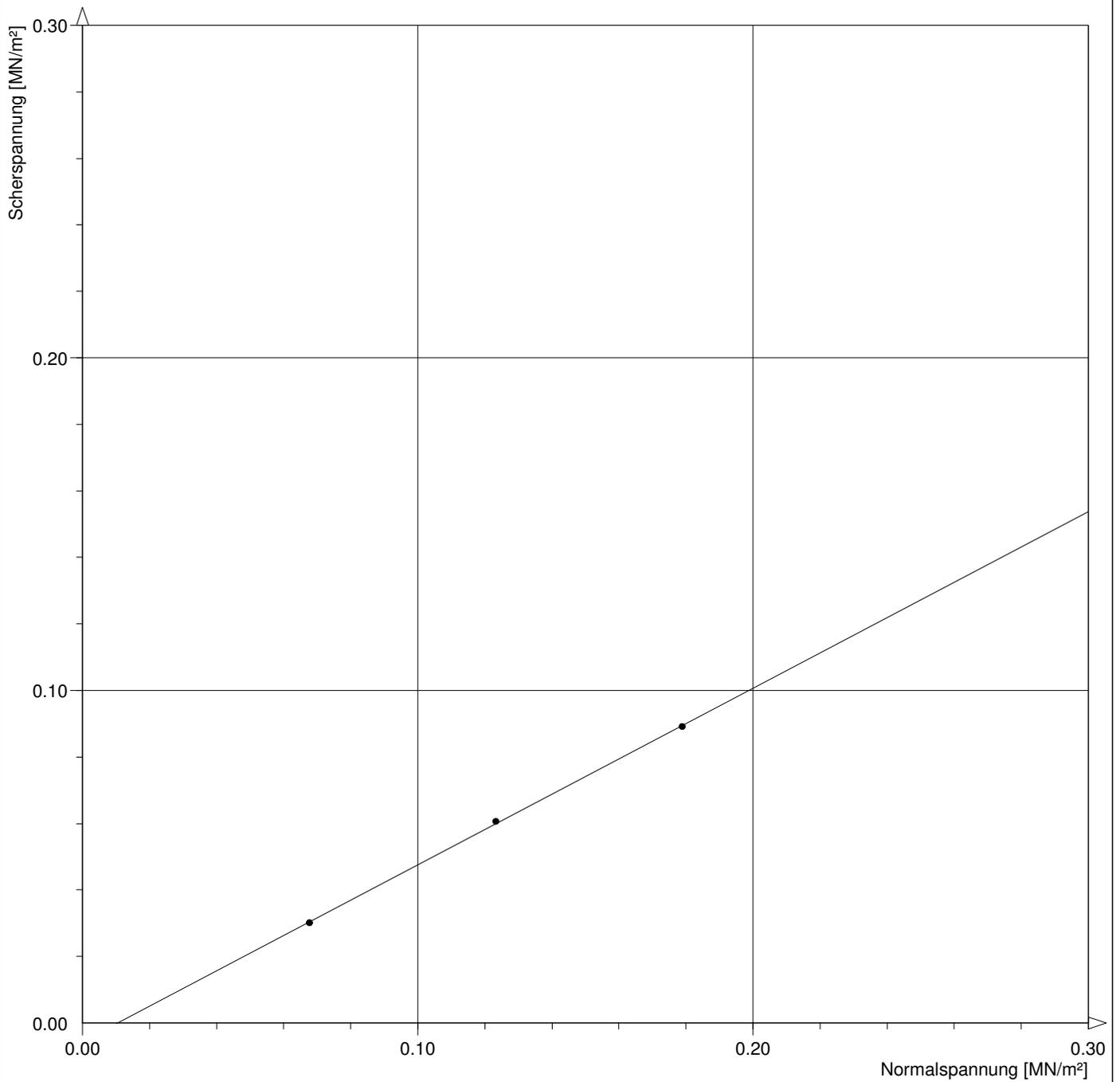
	100 %		97.0 %	95.0 %	
Proctordichte :	1.68 g/cm³	Dichte (g/cm³)	1.63	1.60	
Optimaler Wassergehalt :	16.60 %	wmin (%)	13.23	12.33	
Natürlicher Wassergehalt :	2.68 %	wmax (%)	20.69	22.14	

# Rahmenscherversuch

DIN 18 137-3

**Entnahmestelle:** Werk Jettenbach

**Probe:** Silo Danthern



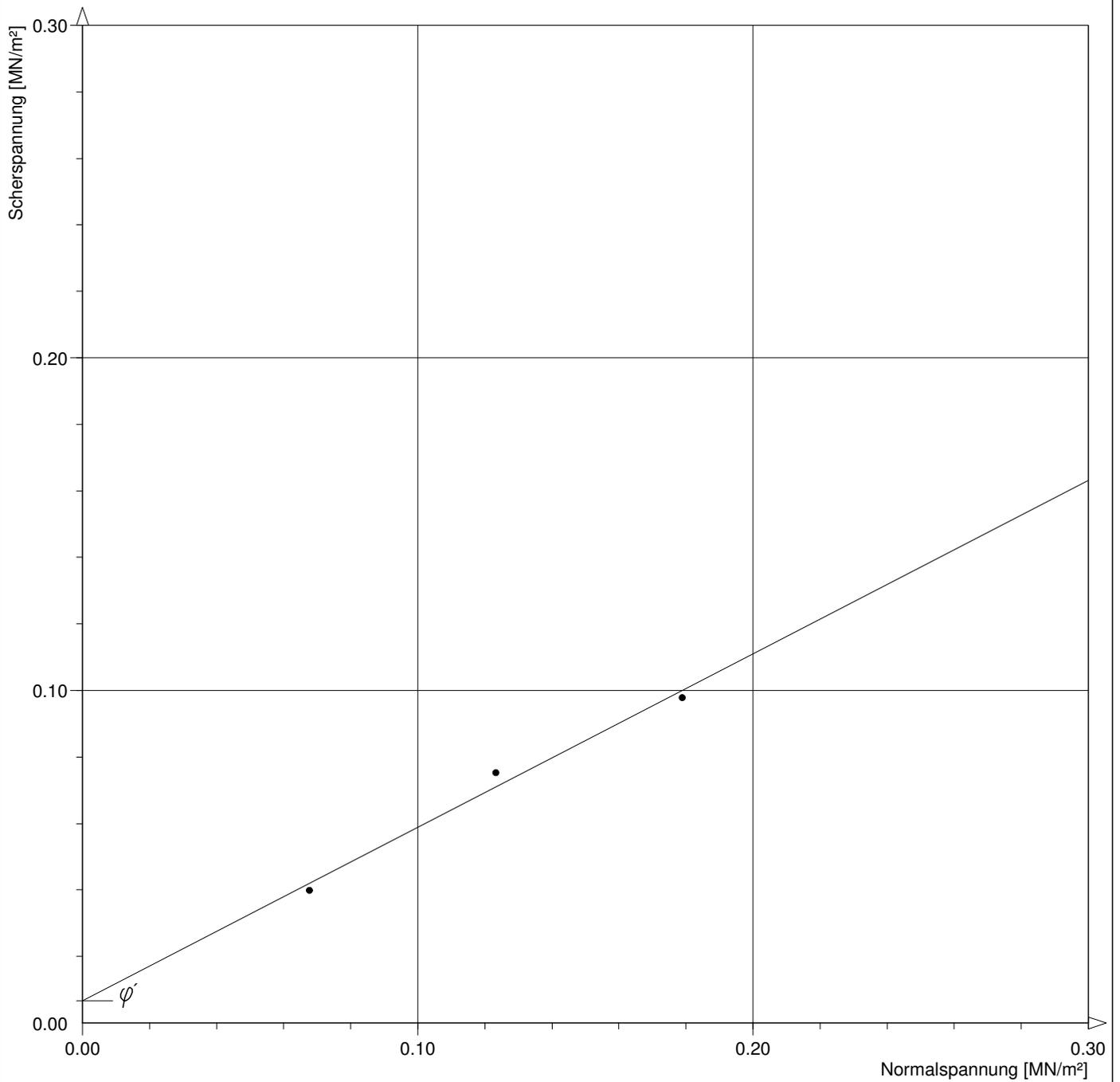
Konsolidierungsbelastung (MN/m <sup>2</sup> ) :	0.07	0.12	0.18
Innerer Reibungswinkel :	28.0 °		

# Rahmenscherversuch

DIN 18 137-3

Entnahmestelle: Werk Michelbach

Probe: Silo 156

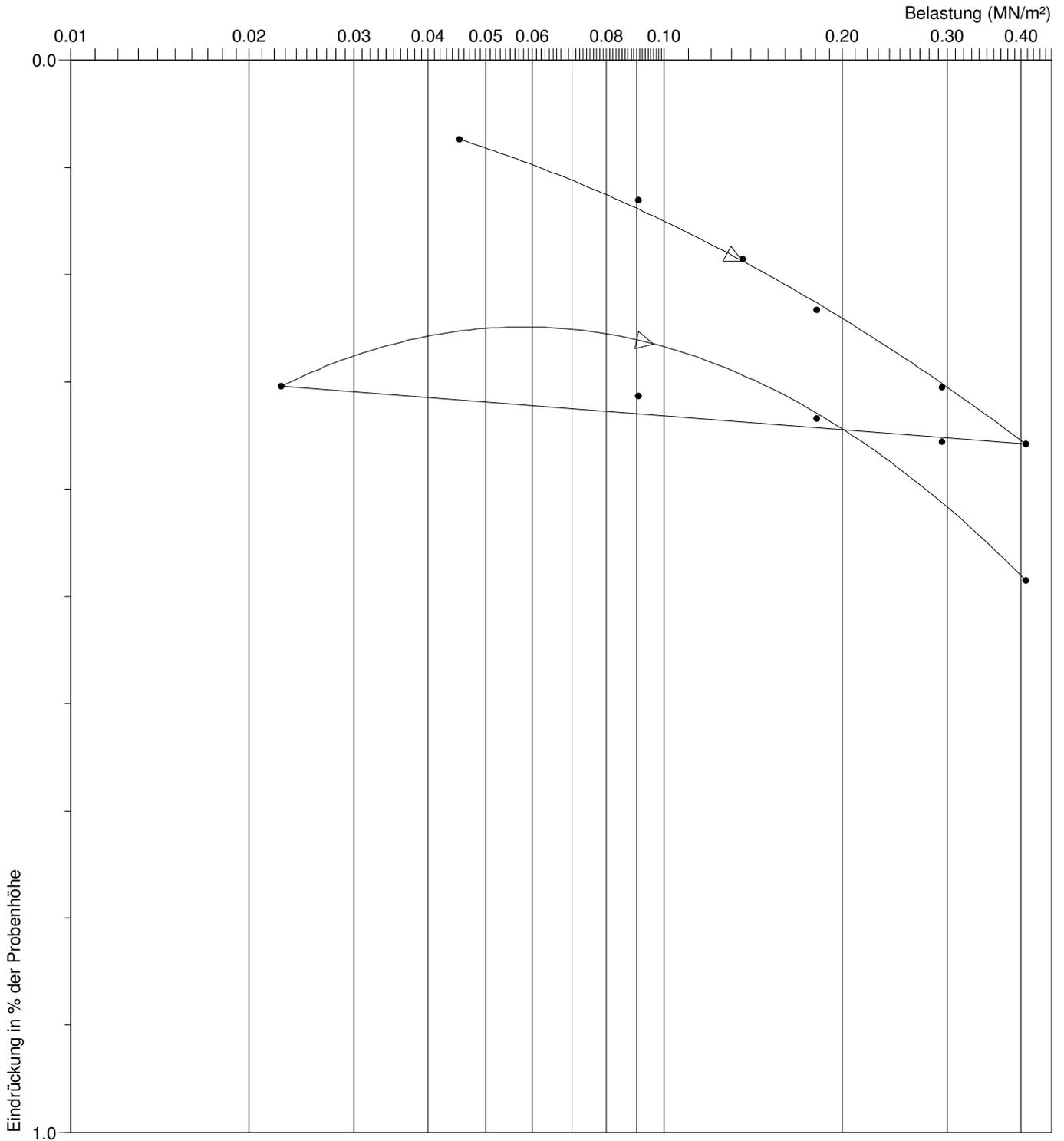


Konsolidierungsbelastung (MN/m <sup>2</sup> ) :	0.07	0.12	0.18
Innerer Reibungswinkel :	27.6 °		

## Kompressionsversuch

**Entnahmestelle:** Werk Jettenbach

**Probe:** Silo Danthern

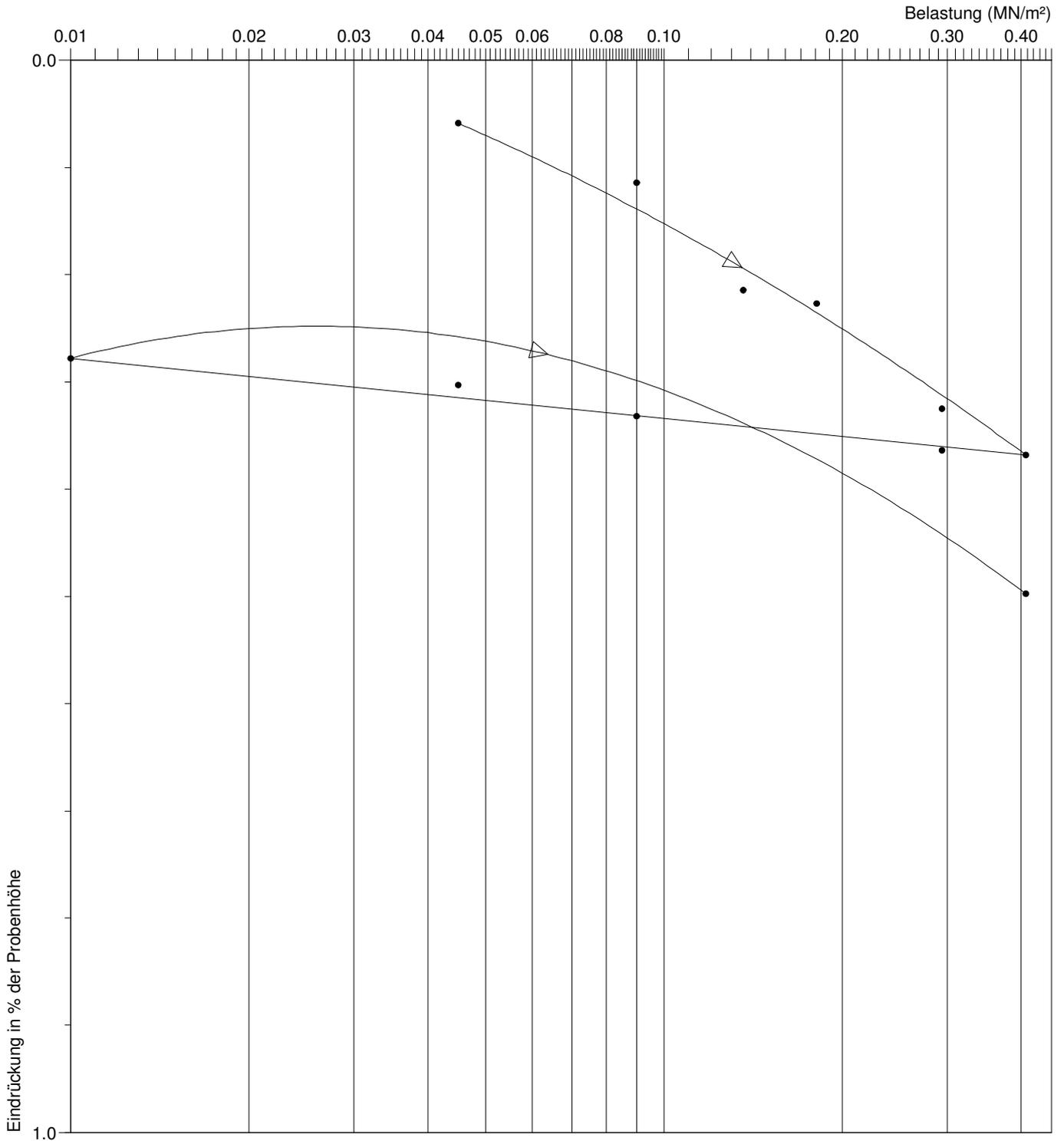


Belastung	Steifeziffern (MN/m²)				
	1	2			
0.05 - 0.10	73.33	290.80			
0.10 - 0.20	110.30	130.16			
0.20 - 0.40	175.28	146.23			

## Kompressionsversuch

**Entnahmestelle:** Werk Michelbach

**Probe:** Silo 156



Belastung	Steifeziffern (MN/m²)				
	1	2			
0.05 - 0.10	60.83	109.01			
0.10 - 0.20	101.49	128.56			
0.20 - 0.40	175.62	184.09			



## Bestimmung der Glühverlustes

nach DIN 18 128

	Einheit	Jettenbach			Michelbach		
		Silo Danthern			Silo 156		
Masse ungeglühte, trockene Probe + Tara	g	37,12	42,83	48,39	43,90	44,72	44,50
Tara	g	21,69	22,54	27,03	25,29	26,18	25,39
Trockenmasse	g	15,43	20,29	21,36	18,61	18,54	19,11
Masse geglühte Probe + Tara	g	36,45	41,97	47,48	43,23	44,12	43,90
Masse geglühte Probe	g	14,76	19,43	20,45	17,94	17,94	18,51
Massenverlust / Glühverlust	g	0,67	0,86	0,91	0,67	0,60	0,60
Glühverlust	%	4,34	4,24	4,26	3,60	3,24	3,14
<b>Mittelwert Glühverlust</b>	<b>%</b>		<b>4,28</b>			<b>3,33</b>	



## Bestimmung des Wasserdurchlässigkeitsbeiwertes Versuch mit konstantem hydraulischem Druck (Triaxialgerät) nach DIN 18130

**Probe** Werk Michelbach Silo 156'  
**Entnahmedatum** 14.09.2016  
**Bodenart** cl'fsaSi

**Durchmesser  $d$  der Probe** m 0,096  
**Länge  $l$  der Probe** m 0,11  
**Querschnittsfläche  $A$  der Probe** m<sup>2</sup>  $7,24 \cdot 10^{-3}$   
**Druckhöhe der Wassersäule  $h_{H_2O}$**  m 3,3

$$k_f = \frac{Q}{t} \times \frac{l}{h_{H_2O} \cdot A}$$

Intervalle		kumuliert		Durchlässigkeit
Q [m <sup>3</sup> ]	t [s]	Q [m <sup>3</sup> ]	t [s]	k <sub>f</sub> [m s <sup>-1</sup> ]
3,78 · 10 <sup>-5</sup>	8700	3,78 · 10 <sup>-5</sup>	8700	2,00 · 10 <sup>-8</sup>
3,38 · 10 <sup>-5</sup>	10 440	7,16 · 10 <sup>-5</sup>	19 140	1,72 · 10 <sup>-8</sup>
3,96 · 10 <sup>-5</sup>	12 660	1,11 · 10 <sup>-4</sup>	31 800	1,61 · 10 <sup>-8</sup>
3,01 · 10 <sup>-5</sup>	9660	1,41 · 10 <sup>-4</sup>	41 460	1,57 · 10 <sup>-8</sup>
3,66 · 10 <sup>-5</sup>	11 160	1,78 · 10 <sup>-4</sup>	52 620	1,56 · 10 <sup>-8</sup>
3,66 · 10 <sup>-5</sup>	11 700	2,15 · 10 <sup>-4</sup>	64 320	1,54 · 10 <sup>-8</sup>
3,26 · 10 <sup>-5</sup>	10 260	2,47 · 10 <sup>-4</sup>	74 580	1,53 · 10 <sup>-8</sup>
3,30 · 10 <sup>-5</sup>	9720	2,80 · 10 <sup>-4</sup>	84 300	1,53 · 10 <sup>-8</sup>
3,40 · 10 <sup>-5</sup>	10 560	3,14 · 10 <sup>-4</sup>	94 860	1,52 · 10 <sup>-8</sup>
3,07 · 10 <sup>-5</sup>	10 200	3,45 · 10 <sup>-4</sup>	105 060	1,51 · 10 <sup>-8</sup>
4,15 · 10 <sup>-5</sup>	12 900	3,86 · 10 <sup>-4</sup>	117 960	1,51 · 10 <sup>-8</sup>
3,16 · 10 <sup>-5</sup>	9900	4,18 · 10 <sup>-4</sup>	127 860	1,51 · 10 <sup>-8</sup>
1,82 · 10 <sup>-5</sup>	5520	4,36 · 10 <sup>-4</sup>	133 380	1,51 · 10 <sup>-8</sup>

**Median der Durchlässigkeit**  $k_f \approx 1,53 \cdot 10^{-8} \text{ m s}^{-1}$



## Bestimmung des Wasserdurchlässigkeitsbeiwertes Versuch mit konstantem hydraulischem Druck (Triaxialgerät) nach DIN 18130

**Probe** Werk Jettenbach Silo „Danthern“  
**Entnahmedatum** 14.09.2016  
**Bodenart** fsa'Si

**Durchmesser  $d$  der Probe** m 0,096  
**Länge  $l$  der Probe** m 0,105  
**Querschnittsfläche  $A$  der Probe** m<sup>2</sup> 7,24 · 10<sup>-3</sup>  
**Druckhöhe der Wassersäule  $h_{H_2O}$**  m 3,15

$$k_f = \frac{Q}{t} \times \frac{l}{h_{H_2O} \cdot A}$$

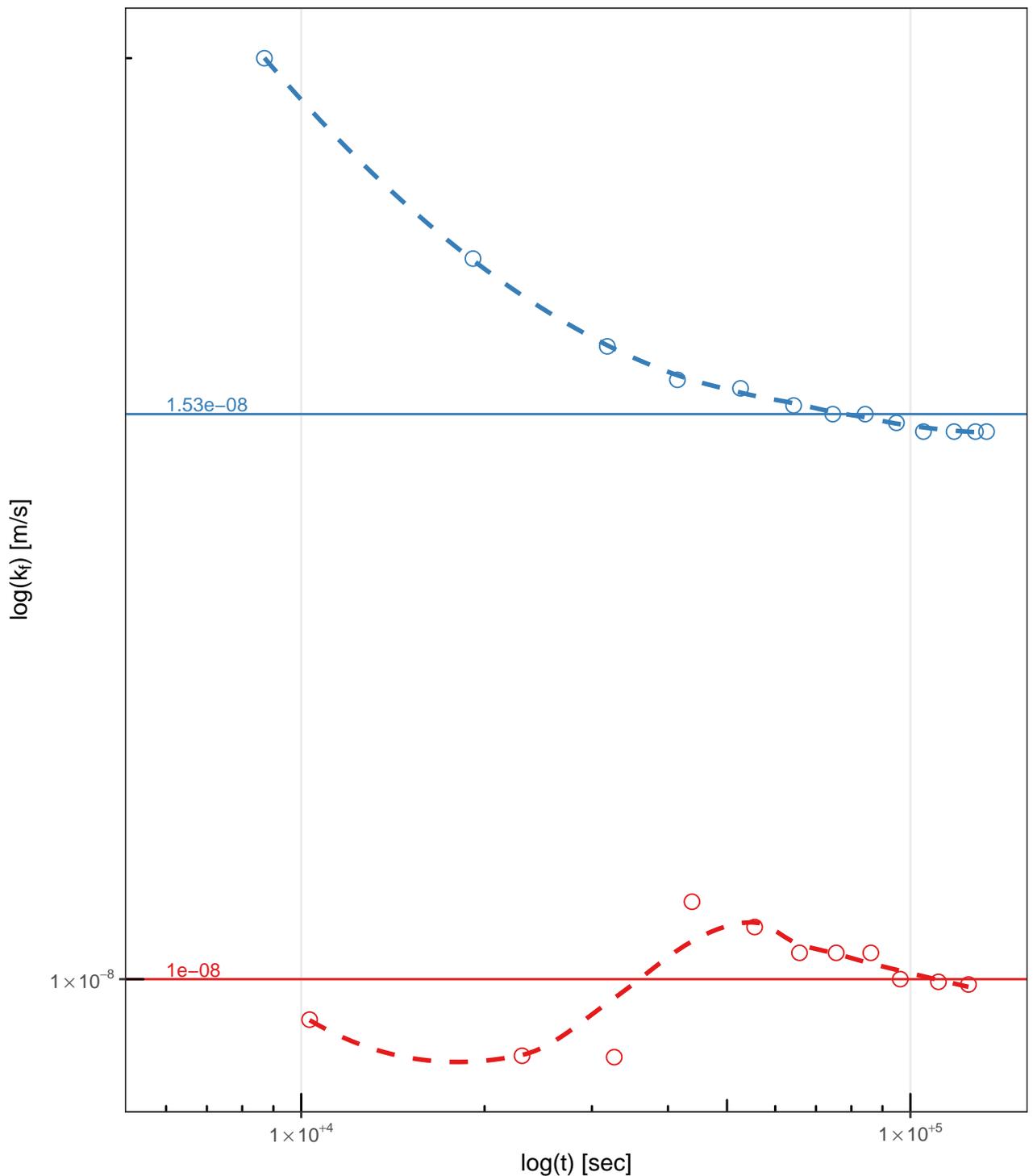
Intervalle		kumuliert		Durchlässigkeit
Q [m <sup>3</sup> ]	t [s]	Q [m <sup>3</sup> ]	t [s]	k <sub>f</sub> [m s <sup>-1</sup> ]
2,14 · 10 <sup>-5</sup>	10 320	2,14 · 10 <sup>-5</sup>	10 320	9,70 · 10 <sup>-9</sup>
2,51 · 10 <sup>-5</sup>	12 720	4,65 · 10 <sup>-5</sup>	23 040	9,44 · 10 <sup>-9</sup>
1,93 · 10 <sup>-5</sup>	9 600	6,58 · 10 <sup>-5</sup>	32 640	9,43 · 10 <sup>-9</sup>
3,36 · 10 <sup>-5</sup>	11 160	9,94 · 10 <sup>-5</sup>	43 800	1,06 · 10 <sup>-8</sup>
2,33 · 10 <sup>-5</sup>	11 700	1,23 · 10 <sup>-4</sup>	55 500	1,03 · 10 <sup>-8</sup>
2,07 · 10 <sup>-5</sup>	10 260	1,43 · 10 <sup>-4</sup>	65 760	1,02 · 10 <sup>-8</sup>
2,18 · 10 <sup>-5</sup>	9 780	1,65 · 10 <sup>-4</sup>	75 540	1,02 · 10 <sup>-8</sup>
2,14 · 10 <sup>-5</sup>	10 560	1,87 · 10 <sup>-4</sup>	86 100	1,01 · 10 <sup>-8</sup>
1,94 · 10 <sup>-5</sup>	10 140	2,06 · 10 <sup>-4</sup>	96 240	1,00 · 10 <sup>-8</sup>
3,13 · 10 <sup>-5</sup>	14 940	2,37 · 10 <sup>-4</sup>	111 180	9,99 · 10 <sup>-9</sup>
2,73 · 10 <sup>-5</sup>	13 380	2,65 · 10 <sup>-4</sup>	124 560	9,94 · 10 <sup>-9</sup>

**Median der Durchlässigkeit**  $k_f \approx 1,00 \cdot 10^{-8} \text{ m s}^{-1}$



## Bestimmung des Wasserdurchlässigkeitsbeiwertes Versuch mit konstantem hydraulischem Druck (Triaxialgerät) nach DIN 18130

Probe ○ Jettenbach Silo Danthern ○ Michelbach Silo 156





## Wasseraufnahme nach Enslin / Neff

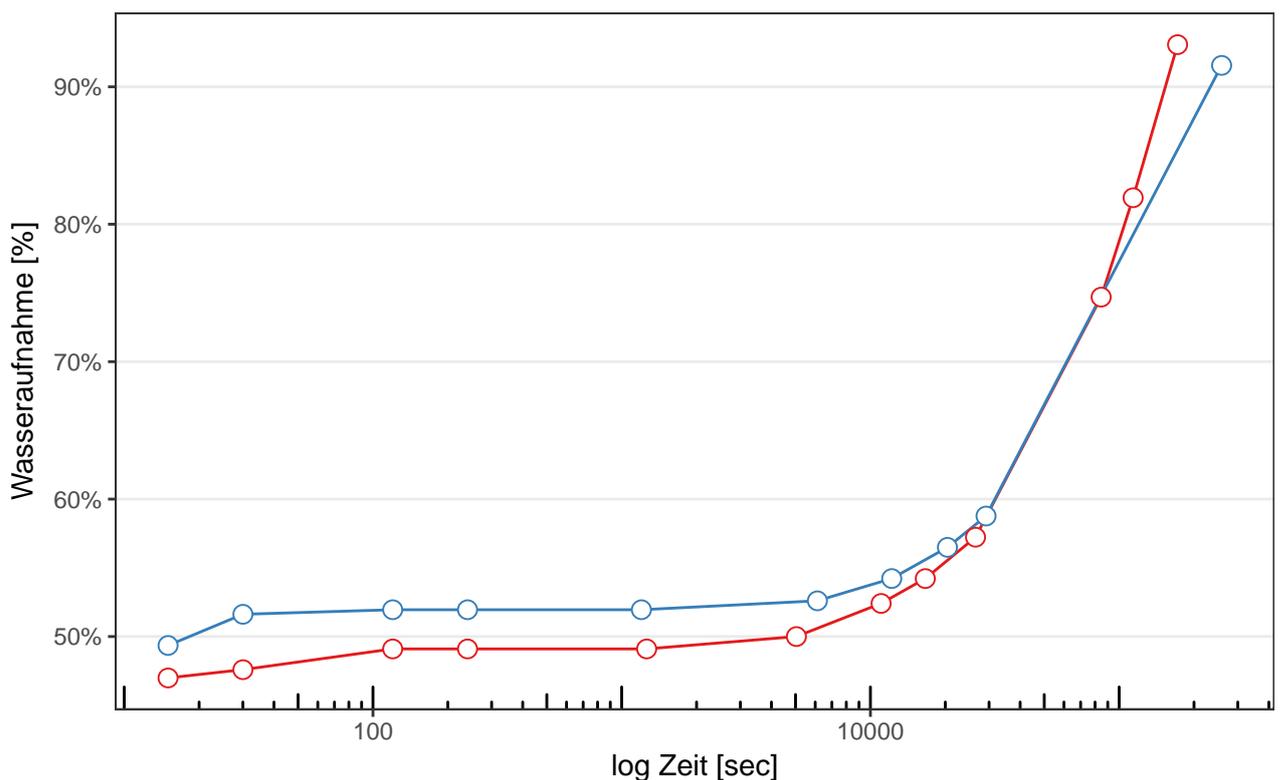
**Michelbach Silo 156** ( $m_d = 1,54$  g)

Zeit [s]	Wassermenge [ml]	Wasseraufnahme [%]
0	0,000	0,00
15	0,760	49,35
30	0,795	51,62
120	0,800	51,95
240	0,800	51,95
1200	0,800	51,95
6120	0,810	52,60
12 180	0,835	54,22
20 400	0,870	56,49
29 160	0,905	58,77
258 240	1,410	91,56

**Jettenbach Silo Danthern** ( $m_d = 1,66$  g)

Zeit [s]	Wassermenge [ml]	Wasseraufnahme [%]
0	0,000	0,00
15	0,780	46,99
30	0,790	47,59
120	0,815	49,10
240	0,815	49,10
1260	0,815	49,10
5040	0,830	50,00
11 040	0,870	52,41
16 620	0,900	54,22
26 460	0,950	57,23
84 660	1,240	74,70
113 820	1,360	81,93
171 780	1,545	93,07

Probe ○ Jettenbach Silo Danthern ○ Michelbach Silo 156



## Bestimmung des Kalkgehaltes

nach DIN 18 129

		<b>Jettenbach</b>	<b>Michelbach</b>
	<b>Einheit</b>	<b>Silo Danthern</b>	<b>Silo 156</b>
Temperatur	°C	23	23
Luftdruck	hPa	1009	1009
Trockenmasse	g	1,67	2,83
Gasvolumen, 30 s	cm <sup>3</sup>	1,6	2,4
Normvolumen, 30 s	cm <sup>3</sup>	1,46	2,2
Kalkgehalt, 30 s	cm <sup>3</sup>	0,01	0,01
Kalkgehalt, 30 s	%	0,39	0,35
Gasvolumen, absolut	cm <sup>3</sup>	2,2	3,2
Normvolumen, absolut	cm <sup>3</sup>	2,01	2,93
Kalkgehalt, absolut	g	0,01	0,01
Calcitgehalt, gesamt	%	0,39	0,35
Dolomitgehalt, gesamt	%	0,15	0,12
<b>Kalkgehalt, gesamt</b>	%	<b>0,54</b>	<b>0,47</b>
Calcitgehalt, anteilig	%	72,73	75,00
Dolomitgehalt, anteilig	%	27,27	25,00

## Ergebnisbericht

Auftraggeber:	Geotechnik GmbH; Nikolaus-Otto-Straße 6; 55129 Mainz Hr. Fein
Projekt	Steinbruch Kreimbach; Errichtung einer DK0 Deponie / Gesteinsmehl aus Siebrückständen („Füller“)
Ihr Zeichen	G 6035
Anlass:	Bestimmung der potentiellen Kationenaustauschkapazität (KAK <sub>pot</sub> )
Produkt-/ProjektNr:	3202 / 150630
Probenmaterial:	
TK25:	
Herkunft:	
Koordinaten	
Entnahmedatum	-
Laboreingang:	Proben L150623_001 - _12: 23.06.2015 Proben L150623_013 - _14: 01.07.2015
Probenvorbereitung:	- vom Auftraggeber durchgeführt
Methoden:	- pH-Wert (nach DIN ISO 10390) - KAK <sub>pot</sub> in Anlehnung an DIN ISO 13536 (1977), modifiziertes Verfahren nach HAUENSTEIN & MAIER-HARTH (1995): Extraktion mit einer auf pH 8.1 gepufferten BaCl <sub>2</sub> -Lösung durch Perkolaton, Messung an der ICP-OES
Analytiker:	U. Helsper, M. Nastali
Bearbeiter:	M. Hauenstein
Verantwortl. Laborleiter:	Dr. M. Krimmel
Bemerkungen:	Die Probe wurde vom Auftraggeber genommen, getrocknet und aufbereitet. Doppelbestimmung der KAK <sub>pot</sub> Die Ergebnisse beziehen sich ausschließlich auf die vom Antragsteller angelieferte Probe  Alle Proben zeichnen sich durch einen ungewöhnlich hohen pH-Wert aus.

Tab.1  
pH-Wert und Carbonate

Probenname	Amtsnr.	Probenbezeichnung Auftraggeber	pH <sub>CaCl2</sub>	Carbonate als CaCO <sub>3</sub> [Masse%]
L150623_001	72790	Jettenbach	8.02	n.b.
L150623_002	72791	Jettenbach/Vorbrecher	8.19	n.b.
L150623_003	72792	Jettenbach/Sand 0/2	8.12	n.b.
L150623_004	72793	Michelbach	8.13	n.b.
L150623_005	72794	Brunnenberg 0-50	8.42	n.b.
L150623_006	72795	Brunnenberg 50-100	8.25	n.b.
L150623_007	72796	Eisensteiner Kopf/Vorsieb	8.26	n.b.
L150623_008	72797	Eisensteiner Kopf/Nachbr.	8.35	n.b.
L150623_009	72798	Ellenberg/Vorbrecher	8.19	n.b.
L150623_010	72799	Hellberg/Vorbrecher	8.13	n.b.
L150623_011	72800	Neu-Bamberg	8.15	n.b.
L150623_012	72801	Rammelsbach/Vorbrecher	8.12	n.b.
L150623_013	72802	Rammelsbach/Abr. grau-grün	n.b.	n.b.
L150623_014	72803	Rammelsbach/Abraum rot	n.b.	n.b.

Tab.3 Potentielle Kationenaustauschkapazität ( $KAK_{pot}$ ) und austauschbare Kationen  
(Angaben in cmol+/kg)

Probenname	Amtsnr.		$KAK_{pot}$ (T- Wert)	S- Wert	Basen- sättigung in %	H- Wert	$Ca^{2+}$	$Mg^{2+}$	$K^+$	$Na^+$
L150623_001	72790	Jettenbach	11.53	11.53	100	0.00	9.23	1.42	0.28	0.60
L150623_002	72791	Jettenbach/ Vorbrecher	15.07	15.07	100	0.00	12.24	1.72	0.40	0.70
L150623_003	72792	Jettenbach/ Sand 0/2	4.58	4.58	100	0.00	3.26	1.08	0.08	0.16
L150623_004	72793	Michelbach	14.48	14.48	100	0.00	11.35	2.30	0.43	0.40
L150623_005	72794	Brunnenberg 0-50	15.56	15.56	100	0.00	11.62	1.66	0.32	1.96
L150623_006	72795	Brunnenberg 50-100	14.44	14.44	100	0.00	9.31	3.52	0.27	1.34
L150623_007	72796	Eisensteiner Kopf/Vorsieb	27.16	27.16	100	0.00	17.48	8.34	0.42	0.91
L150623_008	72797	Eisensteiner Kopf/Nachbr.	13.72	13.72	100	0.00	9.36	3.49	0.36	0.52
L150623_009	72798	Ellenberg/ Vorbrecher	16.32	16.32	100	0.00	10.88	4.67	0.33	0.44
L150623_010	72799	Hellberg/ Vorbrecher	18.09	18.09	100	0.00	12.79	3.73	0.35	1.22
L150623_011	72800	Neu-Bamberg	11.76	11.76	100	0.00	8.77	1.66	1.00	0.33
L150623_012	72801	Rammelsbach/ Vorbrecher	17.37	17.37	100	0.00	13.43	2.70	0.47	0.76
L150623_013	72802	Rammelsbach/ Abr. grau-grün	21.40	21.40	100	0.00	17.00	2.65	0.91	0.84
L150623_014	72803	Rammelsbach/ Abraum rot	18.15	18.15	100	0.00	14.84	2.13	0.99	0.19

Eurofins Umwelt West GmbH - Vorgebirgsstrasse 20 - D-50389 - Wesseling

**Geotechnik Büdinger Fein Welling GmbH**  
**Nikolaus-Otto-Straße 6**  
**55129 Mainz**

**Titel: Prüfbericht zu Auftrag 01649554**  
**Prüfberichtsnummer: AR-16-AN-008917-01**

**Auftragsbezeichnung: G 6035, Errichtung einer Bodendep. DK0, Kreimbach**  
**Anzahl Proben: 2**  
**Probenart: Abbruchmaterialien**  
**Probenahmedatum: 13.09.2016**  
**Probeneingangsdatum: 04.10.2016**  
**Prüfzeitraum: 04.10.2016 - 19.10.2016**

Die Prüfergebnisse beziehen sich ausschließlich auf die untersuchten Prüfgegenstände. Sofern die Proben nicht durch unser Labor oder in unserem Auftrag genommen wurden, wird die Verantwortung für die Richtigkeit der Probenahme abgelehnt. Dieser Prüfbericht ist nur mit Unterschrift gültig und darf nur vollständig und unverändert weiterverbreitet werden. Auszüge oder Änderungen bedürfen in jedem Einzelfall der Genehmigung der EUROFINS UMWELT.

Es gelten die Allgemeinen Verkaufsbedingungen (AVB), sofern nicht andere Regelungen vereinbart sind. Die aktuellen AVB können Sie jederzeit unter <http://www.eurofins.de/umwelt/avb.aspx> einsehen.

Durch die DAkkS nach DIN EN ISO/IEC 17025 akkreditiertes Prüflaboratorium. Die Akkreditierung gilt nur für den in der Urkundenanlage (D-PL-14078-01-00) aufgeführten Akkreditierungsumfang.

Dr. Marco Runk  
Prüfleiter  
Tel. +49 2236 897 405

Digital signiert, 19.10.2016  
Dr. Thomas Hochmuth  
Prüfleiter



Parameter	Lab.	Akkr.	Methode	Probenbezeichnung		Michelbach	Jettenbach
				Silo 156		13.09.2016	13.09.2016
				Probenahmedatum/ -zeit		016200061	016200062
Probennummer		BG	Einheit				
<b>Probenvorbereitung Feststoffe</b>							
Probenmenge inkl. Verpackung	AN		DIN 19747:2009-07		kg	1,2	1,2
Fremdstoffe (Art)	AN	LG004	DIN 19747:2009-07			nein	nein
Fremdstoffe (Menge)	AN	LG004	DIN 19747:2009-07		g	0,0	0,0
Siebrückstand > 10mm	AN	LG004	DIN 19747:2009-07			nein	ja
Rückstellprobe	AN		Hausmethode	100	g	600	600
<b>Physikalisch-chemische Kenngrößen aus der Originalsubstanz</b>							
Trockenmasse	AN	LG004	DIN EN 14346	0,1	Ma.-%	97,5	97,5
<b>Organische Summenparameter aus der Originalsubstanz</b>							
Glühverlust	AN	LG004	DIN EN 15169	0,1	Ma.-% TS	1,9	2,3
TOC	AN	LG004	DIN EN 13137	0,1	Ma.-% TS	< 0,1	-
Kohlenwasserstoffe C10-C22	AN	LG004	DIN EN 14039	40	mg/kg TS	< 40	< 40
Kohlenwasserstoffe C10-C40	AN	LG004	DIN EN 14039	40	mg/kg TS	< 40	< 40
<b>BTEX und aromatische Kohlenwasserstoffe aus der Originalsubstanz</b>							
Benzol	AN	LG004	DIN 38407-F9-1 mod.	0,05	mg/kg TS	< 0,05	< 0,05
Toluol	AN	LG004	DIN 38407-F9-1 mod.	0,05	mg/kg TS	< 0,05	< 0,05
Ethylbenzol	AN	LG004	DIN 38407-F9-1 mod.	0,05	mg/kg TS	< 0,05	< 0,05
m-/p-Xylol	AN	LG004	DIN 38407-F9-1 mod.	0,05	mg/kg TS	< 0,05	< 0,05
o-Xylol	AN	LG004	DIN 38407-F9-1 mod.	0,05	mg/kg TS	< 0,05	< 0,05
Isopropylbenzol (Cumol)	AN	LG004	DIN 38407-F9-1 mod.	0,05	mg/kg TS	< 0,05	< 0,05
Styrol	AN	LG004	DIN 38407-F9-1 mod.	0,05	mg/kg TS	< 0,05	< 0,05
Summe BTEX + Styrol + Cumol	AN	LG004	DIN 38407-F9-1 mod.		mg/kg TS	(n. b.) <sup>1)</sup>	(n. b.) <sup>1)</sup>

Parameter	Lab.	Akkr.	Methode	Probenbezeichnung		Michelbach	Jettenbach
						Silo 156	
				Probenahmedatum/ -zeit		13.09.2016	13.09.2016
Probennummer		016200061	016200062				
				BG	Einheit		
<b>PAK aus der Originalsubstanz</b>							
Naphthalin	AN	LG004	DIN ISO 18287	0,05	mg/kg TS	< 0,05	< 0,05
Acenaphthylen	AN	LG004	DIN ISO 18287	0,05	mg/kg TS	< 0,05	< 0,05
Acenaphthen	AN	LG004	DIN ISO 18287	0,05	mg/kg TS	< 0,05	< 0,05
Fluoren	AN	LG004	DIN ISO 18287	0,05	mg/kg TS	< 0,05	< 0,05
Phenanthren	AN	LG004	DIN ISO 18287	0,05	mg/kg TS	< 0,05	< 0,05
Anthracen	AN	LG004	DIN ISO 18287	0,05	mg/kg TS	< 0,05	< 0,05
Fluoranthen	AN	LG004	DIN ISO 18287	0,05	mg/kg TS	< 0,05	< 0,05
Pyren	AN	LG004	DIN ISO 18287	0,05	mg/kg TS	< 0,05	< 0,05
Benzo[a]anthracen	AN	LG004	DIN ISO 18287	0,05	mg/kg TS	< 0,05	< 0,05
Chrysen	AN	LG004	DIN ISO 18287	0,05	mg/kg TS	< 0,05	< 0,05
Benzo[b]fluoranthen	AN	LG004	DIN ISO 18287	0,05	mg/kg TS	< 0,05	< 0,05
Benzo[k]fluoranthen	AN	LG004	DIN ISO 18287	0,05	mg/kg TS	< 0,05	< 0,05
Benzo[a]pyren	AN	LG004	DIN ISO 18287	0,05	mg/kg TS	< 0,05	< 0,05
Indeno[1,2,3-cd]pyren	AN	LG004	DIN ISO 18287	0,05	mg/kg TS	< 0,05	< 0,05
Dibenzo[a,h]anthracen	AN	LG004	DIN ISO 18287	0,05	mg/kg TS	< 0,05	< 0,05
Benzo[ghi]perylen	AN	LG004	DIN ISO 18287	0,05	mg/kg TS	< 0,05	< 0,05
Summe 16 EPA-PAK exkl. BG	AN	LG004	DIN ISO 18287		mg/kg TS	(n. b.) <sup>1)</sup>	(n. b.) <sup>1)</sup>
Summe 15 PAK ohne Naphthalin	AN	LG004	DIN ISO 18287		mg/kg TS	(n. b.) <sup>1)</sup>	(n. b.) <sup>1)</sup>

**PCB aus der Originalsubstanz**

PCB 28	AN	LG004	DIN EN 15308	0,001	mg/kg TS	< 0,001	< 0,001
PCB 52	AN	LG004	DIN EN 15308	0,001	mg/kg TS	< 0,001	< 0,001
PCB 101	AN	LG004	DIN EN 15308	0,001	mg/kg TS	< 0,001	< 0,001
PCB 153	AN	LG004	DIN EN 15308	0,001	mg/kg TS	< 0,001	< 0,001
PCB 138	AN	LG004	DIN EN 15308	0,001	mg/kg TS	< 0,001	< 0,001
PCB 180	AN	LG004	DIN EN 15308	0,001	mg/kg TS	< 0,001	< 0,001
Summe 6 DIN-PCB exkl. BG	AN	LG004	DIN EN 15308		mg/kg TS	(n. b.) <sup>1)</sup>	(n. b.) <sup>1)</sup>
PCB 118	AN	LG004	DIN EN 15308	0,001	mg/kg TS	< 0,001	< 0,001
Summe PCB (7)	AN	LG004	DIN EN 15308		mg/kg TS	(n. b.) <sup>1)</sup>	(n. b.) <sup>1)</sup>

**Physikalisch-chemische Kenngrößen aus dem 10:1-Schütteleuat nach DIN EN 12457-4**

pH-Wert	AN	LG004	DIN 38404-C5			9,2	9,5
Wasserlöslicher Anteil	AN	LG004	DIN EN 15216	0,05	Ma.-%	< 0,05	< 0,05
Gesamtgehalt an gelösten Feststoffen	AN	LG004	DIN EN 15216	50	mg/l	< 50	< 50

**Anionen aus dem 10:1-Schütteleuat nach DIN EN 12457-4**

Chlorid (Cl)	AN	LG004	DIN EN ISO 10304-1	1,0	mg/l	2,6	3,7
Sulfat	AN	LG004	DIN EN ISO 10304-1	1,0	mg/l	14	2,1
Cyanid leicht freisetzbar / Cyanid frei	AN	LG004	DIN EN ISO 14403	0,005	mg/l	< 0,005	< 0,005

				Probenbezeichnung		Michelbach Silo 156	Jettenbach
				Probenahmedatum/ -zeit		13.09.2016	13.09.2016
				Probennummer		016200061	016200062
Parameter	Lab.	Akk.	Methode	BG	Einheit		
<b>Elemente aus dem 10:1-Schütteleluat nach DIN EN 12457-4</b>							
Arsen (As)	AN	LG004	DIN EN ISO 17294-2	0,001	mg/l	0,014	0,011
Blei (Pb)	AN	LG004	DIN EN ISO 17294-2	0,001	mg/l	< 0,001	< 0,001
Cadmium (Cd)	AN	LG004	DIN EN ISO 17294-2	0,0003	mg/l	< 0,0003	< 0,0003
Kupfer (Cu)	AN	LG004	DIN EN ISO 17294-2	0,005	mg/l	< 0,005	< 0,005
Nickel (Ni)	AN	LG004	DIN EN ISO 17294-2	0,001	mg/l	< 0,001	< 0,001
Quecksilber (Hg)	AN	LG004	DIN EN ISO 12846	0,00007	mg/l	< 0,00007	< 0,00007
Zink (Zn)	AN	LG004	DIN EN ISO 17294-2	0,01	mg/l	< 0,01	< 0,01
<b>Org. Summenparameter aus dem 10:1-Schütteleluat nach DIN EN 12457-4</b>							
Phenolindex, wasserdampflich	AN	LG004	DIN EN ISO 14402	0,010	mg/l	< 0,010	< 0,010

## Erläuterungen

BG: Bestimmungsgrenze

Lab.: Kürzel des durchführenden Labors

Akkr.: Akkreditierungskürzel des Prüflabors

Kommentare zu Ergebnissen

<sup>1)</sup> nicht berechenbar

Die mit AN gekennzeichneten Parameter wurden von Eurofins Umwelt West GmbH (Wesseling) analysiert. Die mit LG004 gekennzeichneten Parameter sind nach DIN EN ISO/IEC 17025:2005 D-PL-14078-01-00 akkreditiert.

## Probenbegleitprotokoll nach DIN 19747 - Juli 2009 - Anhang A

**Probennummer** 016200061  
**Probenbeschreibung** Michelbach Silo 156

### Probenvorbereitung

Probenehmer	Auftraggeber
Probenahmeprotokoll (von der Feldprobe zur Laborprobe) liegt vor:	Nein
Fremdstoffe (Menge):	0,0 g
Fremdstoffe (Art):	nein
Siebrückstand > 10mm:	nein
Siebrückstand wird auf < 10mm zerkleinert und dem Siebdurchgang beigemischt.	
Probenteilung / Homogenisierung durch:	Fraktionierendes Teilen
Rückstellprobe:	600 g

### Probenaufarbeitung (von der Prüfprobe zur Messprobe) \*\*\*\*)

Nr.	DK0	DKI, II, III	REK	Parameter	Zerkleinern **)	Trocknen	Feinzerkleinern ***)	Probenmenge
0	X	X	X	Trockenmasse	< 5 mm	Nein	Nein	15 g
1.01	X	X		Glühverlust	< 5 mm	40 °C	< 150 µm	10 g
1.02	X	X		TOC	< 5 mm	40 °C	< 150 µm	2 g
2.01	X			BTEX	Originalprobe (Stichprobe)	Nein	Nein	20 g + 20 ml Methanol
2.02 + 2.04	X		X	PAK/PCB	< 5 mm	Nein	Nein	12,5 g
2.03	X			MKW (C10 - C40)	< 5 mm	Nein	Nein	20 g
2.07	X	X		Lipophile Stoffe	< 5 mm	Verreiben mit Natriumsulfat	Nein	20 g
2.08 - 2.14			X	Metalle, Königswasser-aufschluss	< 5 mm	40 °C	< 150 µm	3 g
3.01 - 3.21	X	X	X	Eluat	Nein/ < 10 mm	Nein	Nein	100 g
1.01/1.02 *)	X	X		C-elementar	< 5 mm	40 °C	< 150 µm	2 g
1.01/1.02 *)	X	X		AT4	< 10 mm	Nein	Nein	300 g
1.01/1.02 *)	X	X		GB21	< 10 mm	Nein	Nein	200 g
1.01/1.02 *)	X	X		Brennwert	< 5 mm	105 °C	< 150 µm	5 g

- \*) Zusatzparameter bei Überschreitung der genannten Grenzwerte  
 \*\*) Zerkleinern mittels Backenbrecher mit Wolframkarbid-Backen  
 \*\*\*) Feinzerkleinerung mittels Laborbackenbrecher BB51 mit Wolframkarbid-Backen  
 \*\*\*\*) Maximalumfang; gilt nur für die beauftragten Parameter

## Probenbegleitprotokoll nach DIN 19747 - Juli 2009 - Anhang A

Probennummer 016200062

Probenbeschreibung Jettenbach

### Probenvorbereitung

Probenehmer	Auftraggeber
Probenahmeprotokoll (von der Feldprobe zur Laborprobe) liegt vor:	Nein
Fremdstoffe (Menge):	0,0 g
Fremdstoffe (Art):	nein
Siebrückstand > 10mm:	ja
Siebrückstand wird auf < 10mm zerkleinert und dem Siebdurchgang beigemischt.	
Probenteilung / Homogenisierung durch:	Fraktionierendes Teilen
Rückstellprobe:	600 g

### Probenaufarbeitung (von der Prüfprobe zur Messprobe) \*\*\*\*)

Nr.	DK0	DKI, II, III	REK	Parameter	Zerkleinern **)	Trocknen	Feinzerkleinern ***)	Probenmenge
0	X	X	X	Trockenmasse	< 5 mm	Nein	Nein	15 g
1.01	X	X		Glühverlust	< 5 mm	40 °C	< 150 µm	10 g
1.02	X	X		TOC	< 5 mm	40 °C	< 150 µm	2 g
2.01	X			BTEX	Originalprobe (Stichprobe)	Nein	Nein	20 g + 20 ml Methanol
2.02 + 2.04	X		X	PAK/PCB	< 5 mm	Nein	Nein	12,5 g
2.03	X			MKW (C10 - C40)	< 5 mm	Nein	Nein	20 g
2.07	X	X		Lipophile Stoffe	< 5 mm	Verreiben mit Natriumsulfat	Nein	20 g
2.08 - 2.14			X	Metalle, Königswasser-aufschluss	< 5 mm	40 °C	< 150 µm	3 g
3.01 - 3.21	X	X	X	Eluat	Nein/ < 10 mm	Nein	Nein	100 g
1.01/1.02 *)	X	X		C-elementar	< 5 mm	40 °C	< 150 µm	2 g
1.01/1.02 *)	X	X		AT4	< 10 mm	Nein	Nein	300 g
1.01/1.02 *)	X	X		GB21	< 10 mm	Nein	Nein	200 g
1.01/1.02 *)	X	X		Brennwert	< 5 mm	105 °C	< 150 µm	5 g

\*) Zusatzparameter bei Überschreitung der genannten Grenzwerte

\*\*) Zerkleinern mittels Backenbrecher mit Wolframkarbid-Backen

\*\*\*) Feinzerkleinerung mittels Laborbackenbrecher BB51 mit Wolframkarbid-Backen

\*\*\*\*) Maximalumfang; gilt nur für die beauftragten Parameter



### Übersicht der Eignungsprüfungen der geologischen Barriere.

Versuche	Einheit	Michelbach Silo 156	Jettenbach Silo Danthern
<b>Wassergehalt</b>	%	2,68	2,83
<b>Kornverteilung</b>			
Feinstes (Ton, $\leq 0,002$ mm)	%	8,10	3,70
Silt / Schluff (0,002 – 0,063 mm)	%	86,40	82,90
Sand (0,063 – 2 mm)	%	5,50	3,40
Kies (2 – 63 mm)	%	0,00	0,00
<b>Zustandsgrenzen</b>			
Wassergehalt $w_N$	%	2,70	2,80
Fließgrenze $w_L$	%	31,70	29,70
Ausrollgrenze $w_P$	%	24,90	24,40
Konsistenzzahl $I_c$	%	4,27	5,08
Konsistenz	–	halbfest	halbfest
<b>Schrumpfgrenze</b>			
Volumenverlust	%	15,60	12,00
Wassergehalt	%	23,50	22,80
<b>Proctorversuch</b>			
Proctordichte $D_{Pr}$	g/cm <sup>3</sup>	1,68	1,68
opt. Wassergehalt $w_{opt}$	%	16,76	17,13
97%-ige Proctordichte	g/cm <sup>3</sup>	1,63	1,63
Wassergehalt $w_{97 \min}$	%	13,57	13,61
Wassergehalt $w_{97 \max}$	%	20,51	21,33
<b>Rahmenscherversuch</b>			
innerer Reibungswinkel $\varphi$	°	33,90	34,30
<b>Kompressionsversuch</b>			
Steifeziffer 1	MN/m <sup>2</sup>	60,83 - 175,62	73,33 - 175,28
Steifeziffer 2	MN/m <sup>2</sup>	109,01 - 184,09	130,16 - 290,80
<b>Glühverlust <math>\Delta m_{org}</math></b>	%	3,33	4,28
<b>Durchlässigkeit <math>k_f</math></b>	m/s	$1,53 \times 10^{-8}$	$1,00 \times 10^{-8}$
<b>Wasseraufnahmevermögen</b>	%	91,56	93,07
<b>Kalkgehalt</b>	%	0,47	0,54
<b>Schadstoffrückhaltevermögen</b>			
pot. Kationenaustauschkapazität	cmol+/kg	14,48	11,53
Tonmineralgehalt	%	27	20
<b>Schadstofffreiheit</b>	–	DK 0	DK 0