



---

Anlage B.5: Angaben zur Ausbildung des Flächenfilters (BGI, 18.06.2013)

---

Bauherr:

Hessen Mobil  
Straßen- und Verkehrsmanagement

HESSSEN

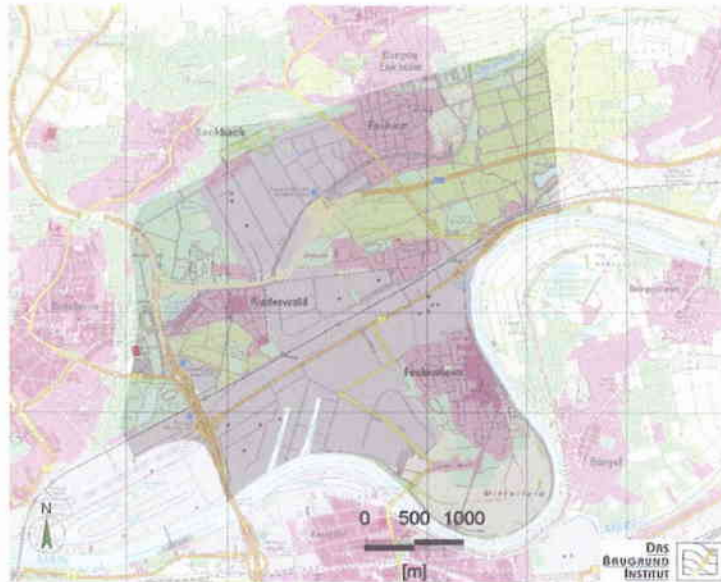


Projekt:

Antrag auf temporäre Grundwasserentnahme zur Trockenhaltung von  
Baugruben  
im Rahmen der Baumaßnahme  
Teilabschnitt Tunnel Riederwald in Frankfurt am Main

-Allgemeiner Teil -

**BV Neubau der BAB A 66, Frankfurt am Main-Hanau  
Teilabschnitt Tunnel Riederwald einschließlich  
AD Erlenbruch und AS Borsigallee**



**Angaben zur Ausbildung des Flächenfilters**

Auftraggeber:

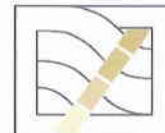
**Hessen Mobil  
Straßen- und Verkehrsmanagement  
-Dezernat BA 11 Bau Riederwaldtunnel-  
Gutleutstraße 114  
60327 Frankfurt**

**HESSEN**



Auftragnehmer:

**DAS BAUGRUND INSTITUT  
Dipl.-Ing. Knierim GmbH  
Wolfhager Straße 427  
34128 Kassel**



Bearbeiter:

Dipl.-Ing. Kratsch  
Dipl.-Geol. Deichmann

Projekt Nr.:

011/12-3 G 5

Datum:

18.06.2013

Nachrichtlich Planfestgestellte  
Unterlage Nr. 18

zum

**Planfeststellungsbeschluss**

vom 18.12.2019

Gz. VII-1 – 61-k-04 # 2.054g

Wiesbaden, den 19.12.2019

**Hessisches Ministerium**

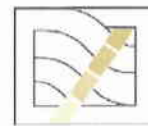
für Wirtschaft, Energie, Verkehr

und Wohnen

Im Auftrag

Vincenzi, Baudirektor



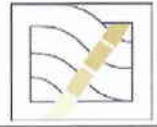


## Inhaltsverzeichnis

	<b>Seite</b>
1. Vorbemerkungen .....	3
1.1 Anlass, Vorgang .....	3
1.2 Auftrag .....	3
1.3 Vorhandene Unterlagen .....	4
2. Anforderungen an den Flächenfilter.....	6
2.1 Vorliegende Untersuchungen .....	7
3. Kriterien zur Festlegung der Zwischenfilter.....	8
4. Kriterium zur Festlegung des Flächenfilterfilters.....	11
5. Ausbildung der Filter .....	12
6. Querschotte .....	14
7. Weitere Hinweise und Empfehlungen.....	15
8. Qualitätssicherung .....	18

## Anlagenverzeichnis

Anlage 1.1	Systemskizze Filteranordnung
Anlage 1.2	Systemskizze Verbau, Lehmschlag und Filter
Anlage 2.1	Körnungen Zwischenfilter
Anlage 2.2 – 2.4	Körnungsbänder Zwischenfilter
Anlage 2.5	Körnungsband Flächenfilter



## 1. Vorbemerkungen

### 1.1 Anlass, Vorgang

Hessen Mobil plant den Ausbau der Bundesautobahn A66, Frankfurt am Main-Hanau, Abschnitt Riederwald zwischen Autobahndreieck Erlenbruch und Anschlussstelle Borsigallee. Das geplante Tunnelbauwerk darf laut Planfeststellungsbeschluss keine wesentlichen Veränderungen der Grundwassersituation bewirken.

Um die natürliche Grundwassersituation im geplanten Tunnelbereich vor der Baumaßnahme zu erfassen, wurde von der Firma Arcadis im Jahr 2010 ein stationäres Basis-Grundwassermodell erstellt, wobei verschiedene Vereinfachungen des geologischen Aufbaus vorgenommen wurden. Laut hessischem Landesamt für Umwelt und Geologie (HLUG, Bericht vom 1.6.2011) sollten verschiedene Modellparameter und Annahmen überprüft werden.

Das Baugrundinstitut Dipl.-Ing. Knierim GmbH (BGI), Kassel, wurde 2012 von Hessen Mobil beauftragt, das von Arcadis erstellte Basis-Grundwassermodell zu prüfen und zu modifizieren.

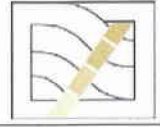
Die seit Auftragsvergabe von BGI erhobenen Daten sind u.a. in zwei Berichten [35,36] zusammengefasst worden. Auf Basis dieser Berichte wurde das Grundwassermodell überarbeitet. Im Bericht vom 05.04.2013 [39] wurden die am Modell vorgenommenen Änderungen und die Modellkalibrierung dokumentiert.

Das überarbeitete Grundwassermodell wurde dem HLUG unter Beteiligung der Fachbehörden am 15.05.2013 vorgestellt und vom HLUG aus fachlicher Sicht voll umfänglich bestätigt.

### 1.2 Auftrag

Das Baugrundinstitut Kassel wurde 2012 von Hessen Mobil beauftragt, mit dem überarbeiteten Grundwassermodell hinsichtlich der folgenden Themenbereiche Aussagen zu treffen:

- **Untersuchung von Bauzuständen und deren Optimierung in geohydraulischer und wirtschaftlicher Sicht,**



- **Planung von geohydraulischen Maßnahmen für den Endzustand,**
- **Bemessung von Bauwerken.**

Als Grundlage für die weiteren Planungen werden grundsätzliche Angaben zur Ausbildung des Flächenfilters erforderlich. Diese werden in dem vorliegenden Bericht unter Berücksichtigung der geologischen und hydrogeologischen Randbedingungen aufgestellt.

### 1.3 Vorhandene Unterlagen

Für die Bearbeitung sind zahlreiche Planunterlagen, Untersuchungsberichte und Gutachten verwandt worden. Aufgrund der großen Anzahl, sind hier nur jene Unterlagen aufgelistet worden, die aktuell hinzugekommen sind, oder auf die direkt im Text Bezug genommen wird. Eine umfassendere Aufstellung ist im BGI-Bericht vom 20.02.2013 [U36] aufgeführt. Sofern im Text darauf Bezug genommen wird, ist dies durch die lfd. Nummer [U..] entsprechend gekennzeichnet.

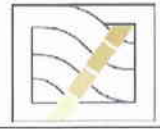
[U02] Hessisches Landesamt für Bodenforschung (1978): Gutachten –Baugrunderkundung und Gründungsberatung für den Neubau der BAB A66 Wiesbaden-Fulda; Bauwerk K304 – Trog Erlenbruch in Frankfurt/Main-Riederwald, Am Erlenbruch; Bericht 1.; Wiesbaden, 18.10.1972.

[U14] Arcadis Deutschland GmbH (2009): A66 Frankfurt am Main – Hanau, Tunnel Riederwald; Geotechnische Baugrunderkundung; Darmstadt, 23.07.2009.

[U35] DAS BAUGRUND INSTITUT GmbH (2013): BAB A 66, Frankfurt/M.-Hanau Teilabschnitt Tunnel Riederwald - Erweitertes Grundwasser-Monitoring, bauchemische Eigenschaften des Grundwassers (Rev. 02); Kassel, 15.01.2013

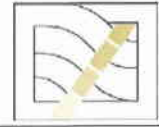
[U36] DAS BAUGRUND INSTITUT GmbH (2013): BAB A 66, Frankfurt/M.-Hanau Teilabschnitt Tunnel Riederwald - Geohydraulische Stellungnahme zum Grundwassermodell Riederwaldtunnel;20.02.2013

[U37] DAS BAUGRUND INSTITUT GmbH (2013): BAB A 66, Frankfurt/M.-Hanau Teilabschnitt Tunnel Riederwald – Datenbank Riederwaldtunnel Version 1.64; 11.03.2013



- [U38] Hessisches Landesamt für Bodenforschung (1993), geologische Karte von Hessen 1:25000, Blatt 5818 Frankfurt a. M. Ost
- [U39] DAS BAUGRUND INSTITUT GmbH (2013): BAB A 66, Frankfurt/M.-Hanau Teilabschnitt Tunnel Riederwald – Modelldokumentation / Kalibrierung Strömungsmodell Riederwaldtunnel; 05.04.2013
- [U40] DAS BAUGRUND INSTITUT GmbH (2013): BAB A 66, Frankfurt/M.-Hanau Teilabschnitt Tunnel Riederwald – Dokumentation der Grundwassermodellberechnungen Flächenfilter; 24.04.2013
- [U41] DAS BAUGRUND INSTITUT GmbH (2013): BAB A 66, Frankfurt/M.-Hanau Teilabschnitt Tunnel Riederwald – Dokumentation der Grundwassermodellberechnung Entwässerung Baugrube 1, 26.04.2013
- [U42] Leonhardt, Andrä und Partner (2013): BAB A 66, Frankfurt/M.-Hanau Teilabschnitt Tunnel Riederwald – Bearbeitungsstand der Baugrubenpläne E 1, Mail vom 06.05.2013
- [U43] ProfilARBED S.A., Arcelor Gruppe (unbekannt): Stahlspundwand, Die Dichtheit von Spundbauwerken Teil 1 Bemessung und Teil 2 Ausführung, unbekannt
- [U44] Neubau der BAB A66, TA Tunnel Riederwald, ergänzende geotechnische Beratung zur Tunnelplanung, Stellungnahme zum Thema: „Flächenfilter mit Filterkornabstimmung und Querschottausbildung mittels Lehmschlag“  
Arcadis Deutschland GmbH, Bericht vom 20.04.2012
- [U45] Merkblatt Anwendung von Kornfiltern an Wasserstraßen (MAK)  
Bundesanstalt für Wasserbau
- [U46] Erforderliche Mächtigkeit des Grundwasserleiters unterhalb des Tunnelbauwerks für eine Hindurchleitung von Grundwasser ohne nennenswerten Aufstau  
Dr.-Ing. Hector Montenegro, November 2009

Darüber hinaus wurden diverse Stellungnahmen, Kartenmaterialien und Lose-Blatt-Sammlungen durch den AG übergeben.



## 2. Anforderungen an den Flächenfilter

Im Bereich des geplanten Riederwaldtunnels wird der Bodenaufbau nach [U14] mit folgenden Schichten angetroffen:

1. Auffüllung
  - 2.1 Auelehm/ Hochflutlehm
  - 2.2 Torf/ organischer Schluff
  - 2.3 Terrassensande und –kiese
    - 3.1 Schleichsande
      - 3.1a Cyrenenmergel
      - 3.2 Rupelton
      - 3.3 Kalkstein- und Mergelsteineinlagerungen in den Cyrenenmergel/ Rupelton.

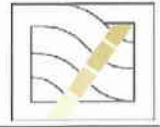
In folgenden Bodenschichten ist ein Grundwasserzufluss auf das Tunnelbauwerk zu erwarten:

- Schicht 1, durchlässige Auffüllungen
- Schicht 2.3, durchlässige bis stark durchlässige Terrassensande und –kiese
- Schicht 3.1b, mäßig durchlässige Schleichsande des Tertiärs.

Durch den geplanten Riederwaldtunnel werden der quartäre und teilweise auch der tertiäre Grundwasserleiter abgesperrt. Um einen Aufstau des zuströmenden Grundwassers vor dem Tunnelbauwerk zu vermeiden, ist ein umlaufender Flächenfilter vorgesehen.

Aufgrund der z. T. sehr heterogenen Baugrundsichtung ist zur Gewährleistung einer dauerhaften hydraulischen Wirksamkeit ein mineralischer Zwischenfilter zwischen den anstehenden grundwasserführenden Böden und dem Flächenfilter um das Bauwerk erforderlich. Der Zwischenfilter ist quasi Bindeglied zwischen Boden- und Flächenfilter.

Das Grundwasser strömt überwiegend nahezu senkrecht vor die Tunnelwand. Um eine Längsläufigkeit des anströmenden Grundwassers innerhalb des hydraulisch wirksamen Flächenfilters (über eine Länge von 1,1 km) zu vermeiden, sind innerhalb des Flächenfilters Querschotte erforderlich.



Auf der Basis des kalibrierten Grundwassermodells sind verschiedene Modellberechnungen durchgeführt worden, die die Auswirkungen des geplanten Flächenfilters auf die Grundwasserhydraulik im endgültigen Zustand aufzeigen.

Die Ergebnisse dieser Modellberechnungen sind in [U40] Dokumentation der Grundwassermodellberechnungen zur Ausbildung des Flächenfilters vom 24.04.2013 zusammen gestellt.

Als Ergebnis der Modellberechnungen ist festzuhalten, dass ab einer Durchlässigkeit des Flächenfilters von ca.  $1 \times 10^{-3}$  m/s und einer Mächtigkeit von 1 m die geohydraulischen Auswirkungen des geplanten Tunnelbauwerkes als gering einzustufen sind [U40].

Die berechnete Grundwassersituation zeigt im Anstrom dann nahezu keinen Grundwasseraufstau. Im Abstrom ergaben die Berechnungen nur eine geringe Absenkung in der Größenordnung von 0,1 m. Nur westlich der Teiche Erlenbruch beträgt die berechnete Grundwasserabsenkung ca. 0,3 m.

Die eingebauten Liefermaterialien für den Flächenfilter müssen daher eine hydraulische Durchlässigkeit von  $k_f \geq 1 \times 10^{-3}$  m/s dauerhaft besitzen, um strömungstechnische Auswirkungen der Baumaßnahme zu minimieren. Der Flächenfilter muss filterstabil an die unterschiedlichen Bodenarten durch Zwischenfilter angeschlossen werden.

Zur Verdeutlichung der Verhältnisse sind Prinzipskizzen in den Anlagen 1.1 und 1.2 beigelegt.

## 2.1 Vorliegende Untersuchungen

Zur Ausbildung des Flächenfilters wurden bereits detaillierte Untersuchungen durch Arcadis ausgeführt und mit Bericht vom

[U44] Neubau der BAB A66, TA Tunnel Riederwald, ergänzende geotechnische Beratung zur Tunnelplanung, Stellungnahme zum Thema: „Flächenfilter mit Filterkornabstimmung und Querschottausbildung mittels Lehmschlag“  
Arcadis Deutschland GmbH, Bericht vom 20.04.2012

vorgelegt. Die Ergebnisse dieses Berichts wurden ausgewertet, auf Plausibilität überprüft und in der weiteren Bearbeitung verwendet.





Die Festlegung der Filterkörnung für den Hauptfilter erfolgte unter Berücksichtigung der Unterlagen:

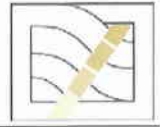
- [U45] Merkblatt Anwendung von Kornfiltern an Wasserstraßen (MAK)  
Bundesanstalt für Wasserbau
  
- [U46] Erforderliche Mächtigkeit des Grundwasserleiters unterhalb des Tunnelbauwerks für eine Hindurchleitung von Grundwasser ohne nennenswerten Aufstau  
Dr.-Ing. Hector Montenegro, November 2009

### 3. Kriterien zur Festlegung der Zwischenfilter

Für die Festlegung der Filter wurden geometrische und hydraulische Filterkriterien und Annahmen in [U44] getroffen:

- Der Nachweis der geometrischen Kontakterosionssicherheit erfolgt nach dem Diagramm nach Cistin-Ziems. Dieser gilt für Böden mit Ungleichförmigkeitsgraden  $U$  bis 20. Die hydraulische Wirksamkeit der Filter gegenüber den Bodenschichten erfolgt nach dem Koeffizient von  $d_{15,11}/d_{15,1}$  von Terzaghi.

Das kritische Gefälle  $i$  für Kontakterosionen beträgt für nichtbindige Erdstoffe mit ungünstigsten Kennwerten ca. 0,66. Demgegenüber beträgt das natürliche Grundwassergefälle im Bereich des Tunnelbauwerks in der Größenordnung von ca. 1 ‰. Kontakterosionen im Bereich der Filter können daher nicht auftreten.



Die weiteren Randbedingungen zur Auswahl der Filter wurden nach [U44] wie folgt festgelegt:

- Für geringer durchlässige Schichten ist die Filterstabilität des Zwischenfilters gegenüber den Feinanteilen wichtiger als die hydraulische Wirksamkeit gegenüber den größten Kornlinien der Schicht. Die hydraulische Wirksamkeit ist dadurch ermittelt und gewährleistet.
- Für die Hauptzuflussbereiche in den relativ gut durchlässigen Terrassensanden und -kiesen muss die hydraulische Wirksamkeit des Zwischenfilters auch für die Profilanteile mit den größten Kornlinien und der größten Durchlässigkeit des Bodens gewährleistet sein. Die hydraulische Funktionsfähigkeit des Zwischenfilters ist von größerer Bedeutung als die geometrische Filterstabilität gegenüber den feinsten Kornlinien dieser Schicht.

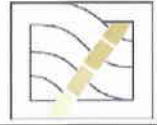
Den von Arcadis in [U44] gewählten Kriterien zur Festlegung der Zwischenfilter kann nach Plausibilitätsprüfung hinsichtlich

- Auswahl der zuflusswirksamen Bodenschichten, für welche Filter bemessen werden
- geometrisches und hydraulisches Filterkriterium
- Prioritäten für die Auswahl der Filter

zugestimmt werden.

Die Bewertung des kritischen Gefälles für die Kontaktersion zwischen anstehendem Baugrund und den Zwischenfiltern ist für den Endzustand ebenfalls zutreffend und plausibel.

In [U44] wurden insgesamt 3 Schichten als zuflusswirksam angenommen und dafür angepasste Körnungen der Zwischenfilter ermittelt.



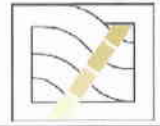
Diese sind

- **Zwischenfilter 1 für Schicht 1 Auffüllungen:** Grobsand, stark kiesig, mittelsandig 0,3/6 (oder äquivalent). Der Zwischenfilter ist auf die mittlere Kornlinie des breiten Kornverteilungsbandes bemessen. Gegenüber den feinsten Körnungslinien der Auffüllung ist der Zwischenfilter einerseits geometrisch nicht stabil, gegenüber den größten Körnungslinien (Durchlässigkeit:  $k_f$  ca.  $7,7 \times 10^{-4}$  m/s) andererseits gering hydraulisch wirksam (Durchlässigkeit:  $k_f$  ca.  $5,9 \times 10^{-4}$  m/s). Für die hydraulisch wirksame durchlässige Hälfte des Kornbandes (Durchlässigkeit:  $k_f$  zwischen  $9 \times 10^{-7}$  und  $7,7 \times 10^{-4}$  m/s) ist der Zwischenfilter insgesamt filterstabil als auch hydraulisch wirksam.
- **Zwischenfilter 2 für Schicht 2.3 Terrassensande und Kiese:** Kies, stark sandig 1/30 (oder äquivalent). Der Zwischenfilter ist auf die durchlässige Hälfte des breiten Kornverteilungsbandes bemessen. Gegenüber den feinsten Körnungslinien der Auffüllungen ist der Zwischenfilter geometrisch nicht stabil, gegenüber der durchlässigen Hälfte des Körnungsbandes ist der Zwischenfilter sehr filterstabil. Mit einer Durchlässigkeit von  $k_f$  ca.  $6,1 \times 10^{-3}$  m/s ist der Zwischenfilter gegenüber der mittleren Körnungslinie (Durchlässigkeit:  $k_f$  ca.  $2 \times 10^{-5}$  m/s) bis größten Körnungslinie (Durchlässigkeit:  $k_f$  ca.  $1,7 \times 10^{-3}$  m/s) gut hydraulisch wirksam.
- **Zwischenfilter 3 für Schicht 3.1b Schleichsand:** Mittel- bis Grobsand 0,1/1. Der Zwischenfilter ist auf die geringer durchlässige Hälfte des Kornverteilungsbandes bemessen. Er ist filterstabil und mit  $k_f$  ca.  $7,1 \times 10^{-5}$  m/s insgesamt hydraulisch wirksam (Körnungsband Schleichsand  $k_f$  ca.  $4,7 \times 10^{-9}$  bis  $3,8 \times 10^{-5}$  m/s).

Die ausgewählten Körnungslinien der Zwischenfiltermaterialien sind in Bezug auf die o. g. Kriterien plausibel. Es handelt sich hier aber zunächst um einzelne Körnungslinien (Anlage 2.1).

Für eine spätere baupraktische Ausführung müssen aus den Körnungslinien Körnungsbänder entwickelt werden, innerhalb derer ein Zulieferbetrieb entsprechende Korngemische herstellen kann.

In der Anlage 2.2 – 2.4 sind Körnungsbänder für die Zwischenfilter exemplarisch dargestellt.



#### 4. Kriterium zur Festlegung des Flächenfilterfilters

In [U44] wurden die Zwischenfilter, als Bindeglied zwischen dem anstehenden Baugrund und dem eigentlichen Flächenfilter, bemessen. Für drei zuflusswirksame Schichten wurden je eine Körnungslinie für eine mögliche Ausbildung des Zwischenfilters angegeben.

Der Flächenfilter, welcher an alle Arten der Zwischenfilter grenzt, soll entsprechend der Empfehlung aus [U44] durch ein Filtervlies gegen das lokal mögliche Eintragen von Feinteilen aus den Zwischenfiltern in den Hauptfilter dauerhaft geschützt werden.

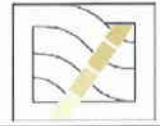
Beim Einbau eines Filtervlieses würde die Filterstabilität von Zwischenfilter zu Flächenfilter über das Filtervlies gewährleistet sein und der Flächenfilter könnte mit optimaler Durchlässigkeit, d.h. sehr grober Körnung gewählt werden (z.B. 16/32 mm). Allerdings kann nach unserer Ansicht nicht sicher ausgeschlossen werden, dass beim Ziehen der Spundbohlen Beschädigungen des Filtervlieses auftreten. Weiterhin besteht die Gefahr, dass sich das Filtervlies durch die Feinteile zusetzt.

Alternativ zum Einsatz eines Filtervlieses wird daher eine filterstabile Ausbildung des Flächenfilters gegen die Körnungen der Zwischenfilter empfohlen. Damit wäre auch bei lokalen Störungen der Filter durch das Ziehen der Spundwände eine Filterstabilität gegeben.

Lokal eingetragene Feinteile würden bei einer solchen Ausbildung evt. zu lokalen Verschmutzungen des Flächenfilters führen bzw. absinken und sich an der Sohle ablagern. Nach unserer Einschätzung dürfte diese Gefahr unter Berücksichtigung des geringen hydraulischen Gefälles und der Kohäsion der anstehenden Böden aber gering sein.

Folgende Kriterien sind für die Bemessung des Flächenfilters als Kornfilter gegenüber den Zwischenfiltern maßgebend:

- Der Flächenfilter muss gegenüber der feinsten Körnung der Zwischenfilter filterstabil sein.
- Die Körnung des Flächenfilters muss suffosionssicher sein.
- Entsprechend [U40] muss die Wasserdurchlässigkeit mindestens  $k > 1,0 \times 10^{-3}$  m/s betragen.



- Es müssen Toleranzen für eine zu liefernde Körnung, d.h. ein Körnungsband für den Flächenfilter angegeben werden.
- Die Durchlässigkeit des Flächenfilters muss auch bei hoher Verdichtung gegeben sein.

## 5. Ausbildung der Filter

Die Bemessung des Flächenfilters erfolgt analog bzw. unter Berücksichtigung der Unterlagen [U44], [U45] und [U40].

Aus [U44] resultiert der feinkörnigste Zwischenfilter. Es ist der dort aufgeführte

### **Zwischenfilter 3 für Schicht 3.1b (Schleichsande)**

mit  $d_{50} = 0,322$  mm,  $U_1 = 4,5$ ,  $k = 7,1 \times 10^{-5}$  m/s.

Bei Anwendung des Diagramms von Cistin/Ziems (Bild 1 aus [U45]) und einer gewählten Ungleichförmigkeitszahl des Flächenfilters von  $U_{11} = 6$  ergibt sich ein zulässiges Abstandsverhältnis von  $A_{50zul} = 27$ . Daraus resultiert die maximal mögliche Korngröße  $D_{50} = 16,1$  mm. Mit der gewählten Ungleichförmigkeit von 6 ist der Flächenfilter suffusionssicher.

Die gewählte Breite des Körnungsbandes (siehe Anlage 2.5) für den Flächenfilter orientiert sich einerseits an einer möglichst höheren Durchlässigkeit gegenüber den bevorzugten Filterkörnungen der einzelnen Zwischenfilter, andererseits wurde das Körnungsband so gewählt, dass Korngrößen  $d > 63$  mm nicht enthalten sind. Hier muss evtl. noch eine Anpassung an die Anforderungen des in [U44] empfohlenen stabilen Geokunststofffilters erfolgen.

Die Grenzkurven für das Körnungsband des Flächenfilters weisen rechnerische Durchlässigkeiten von  $k = 8,0 \times 10^{-3}$  m/s für die untere Grenzkurve und  $k = 5,0 \times 10^{-2}$  m/s für die obere Grenzkurve auf. Damit ist die Vorgabe einer Durchlässigkeit von  $k > 1,0 \times 10^{-3}$  m/s aus [U40] theoretisch erfüllt. Es besteht sogar eine gewisse Reserve von etwa einer Zehnerpotenz.



Für die Ausbildung und den Einbau des Filters d. h. Zwischen- und Flächenfilter werden hier folgende Empfehlungen gegeben:

- Generell wird der Einsatz von Rundkornmaterial empfohlen.
- Die hier gewählten bzw. noch festzulegenden Körnungen und rechnerischen Durchlässigkeiten der Körnungen erfüllen zunächst die Vorgaben aus dem hydraulischen Modell. Es handelt sich hierbei allerdings um rechnerische, d.h. theoretisch ermittelte Durchlässigkeiten. Erfahrungsgemäß haben die Kornform und der Verdichtungsgrad einen erheblichen Einfluss auf die Wasserdurchlässigkeit der entsprechenden Materialien.
- Es muss vor Beginn der Einbauarbeiten für alle Materialien eine Eignungsprüfung ausgeführt werden. Hierbei ist die Kornverteilung vor und nach Verdichtung und nach Wasserlagerung/Durchströmung zu ermitteln. Maßgebend ist, dass die Korngrößenverteilung der Materialien nach erfolgtem Einbau, Verdichtung und nach Wasserlagerung/Durchströmung innerhalb der vorgegebenen Körnungsbänder liegt.
- Die Wasserdurchlässigkeit ist labortechnisch bei vorgegebener Verdichtung zu bestimmen.
- Die Ausgangsmaterialien der Filter müssen im Grundwasserstrom dauerhaft stabil sein. In den Korngemischen dürfen sich keine Anteile veränderlich fester oder löslicher Gesteine befinden.
- Der Einbau von zwei Filtermaterialien von jeweils 0,5 m Breite in dem beengten Arbeitsraum von insgesamt 1,0 m Breite ist bautechnisch anspruchsvoll. Es müssen beide Filtermaterialien gleichzeitig und lagenweise eingebaut werden. Hierzu ist ein Trennelement (z.B. fliegende Schalung) mittig zu stellen und die Materialien beidseitig ca. 0,3 – 0,5 m hoch einzufüllen. Danach wird das Trennelement gezogen und das Material verdichtet. Die Dicke der Einbaulagen ergibt sich aus den eingesetzten Verdichtungsgeräten sowie dem geforderten Verdichtungsgrad und ist in einem Probebau zu Beginn der Bauarbeiten zu ermitteln.
- Im Zuge des Einbaus muss durch qualitätssichernde Maßnahmen sichergestellt werden, dass die bereits eingebauten Filterschichten nicht durch den Baubetrieb verschmutzt/zugesetzt werden. Hierzu müssen z.B. auf dem Sohlfiler temporäre Sperren eingebaut werden, welche erst bei Verfüllung der Arbeitsräume mit Zwischen- und Flächenfilter zurückgebaut werden.



- Der von ARCADIS vorgeschlagene Geokunststofffilter an der seitlichen Tunnelwand als zusätzliche Durchlässigkeitsreserve sollte beibehalten werden.

## 6. Querschotte

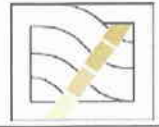
Zur Verhinderung einer Längsläufigkeit im Flächenfilter entlang des Tunnels und zur Verhinderung der Eintrages von Tagwasser sind Querschotte vorgesehen.

Der in [U44] als Querschott vorgeschlagene Lehmschlag wird hier mit einer Durchlässigkeit von  $k_f \leq 1 \times 10^{-8}$  m/s angegeben. Zum Einsatz soll Bodenmaterial der Bodengruppen TA/TM kommen. Erfahrungsgemäß lässt sich mit einem solchen Baumaterial der angegebene Wasserdurchlässigkeitsbeiwert problemlos erreichen.

Die Einbaukriterien für den Lehmschlag sollten sich nach unserer Meinung am Deponiebau orientieren. Eine durchgehende Verdichtung von  $D_{pr}$  100 % ist baupraktisch relativ schwierig zu erreichen. Hier sollte geprüft werden, ob ein Verdichtungsgrad von  $\geq 97$  % aus statischer Sicht ausreichend ist. Wie im Erdbau mit bindigen Baustoffen üblich, sollte das Kriterium für den Luftporengehalt  $n_a \leq 5$  % betragen.

Das vorgeschlagene Trennvlies zwischen Lehmschlag und Filter muss zwangsläufig an die Spundwand angrenzen. Hierbei sind Beschädigungen oder ein Mitreißen des Vlieses nicht auszuschließen. Es sollte geprüft werden, ob bei Verwendung der Bodengruppen TA/TM tatsächlich ein Filtervlies erforderlich ist. Bei der zu erwartenden hohen Kohäsion dieses bindigen Bodens und der hohen Plastizität sowie dem sehr geringen hydraulischen Gefälle kann nach unserer Einschätzung auf ein entsprechendes Vlies verzichtet werden.

Darüber hinaus muss für die Querschotte berücksichtigt werden, dass die Spundwände in Austauschbohrungen eingestellt werden und das Verfüllmaterial der Austauschbohrungen wasser-durchlässig ist. Das heißt, der hinter der Spundwand verbleibende Austauschboden führt zu einer hydraulischen Querverbindung unter Umgehung des vor der Spundwand eingebauten Querschotts (siehe Anlage 1.2). Die Austauschbohrungen für das Einbringen der Spundwand müssten in diesem Bereich bereits mit gering durchlässigen Materialien mit einer Durchlässigkeit von ca.  $k_f \leq 1 \times 10^{-8}$  m/s verfüllt werden.



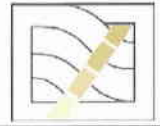
Für die Ausbildung der Querschotte werden hier folgende Empfehlungen gegeben:

- Die Querschotte sollten mit einer Breite von ca. 5 m ausgebildet werden. Der Abstand der Querschotte sollte mit ca. 50 m angesetzt werden. Der erforderliche Abstand wird in einer separaten Grundwassermodellberechnung abschließend festgelegt.
- Im Sohlbereich der Baugrube sollten die Querschotte durch den natürlich anstehenden Rupelton gebildet werden, d.h. in diesen Bereichen ist der Aushub nur bis UK Tunnel zu führen.
- Die Querschotte sollten eine Durchlässigkeit von ca.  $k \leq 1 \times 10^{-8}$  m/s aufweisen. Der Verdichtungsgrad sollte  $D_{Pr} \geq 98$  % betragen.
- Im Bereich der Arbeitsräume müssen die Querschotte gleichlaufend mit dem Filter eingebaut werden. Als Material kann der ausgehobene Rupelton Verwendung finden.
- Das Aushubmaterial muss bauzeitig entsprechend gelagert und vor dem Einbau aufbereitet werden (Einstellung des Wassergehaltes, Zerkleinerung auf einbaufähige Aggregatgröße).
- Vor den Einbauarbeiten sind Eignungsuntersuchungen und ein Probekbau mit ausreichendem zeitlichen Vorlauf auszuführen.

## 7. Weitere Hinweise und Empfehlungen

1. Für die Zwischenfilter sind in [U44] nur einzelne Körnungslinien angegeben. Das Material für die Zwischenfilter muss allerdings, ebenso wie das Material für den Hauptfilter, in einem Lieferwerk gemischt werden. Hierbei sind die möglichen Toleranzen bei der Herstellung zu beachten. In den Anlagen 2.2 bis 2.4 wurde dafür ein Körnungsband je Zwischenfilter angegeben. Das Material der Zwischenfilter muss nach dem Einbau und der Verdichtung innerhalb dieser Körnungsbänder liegen.
2. Entsprechend dem derzeitigen Planungsstand soll die Spundwand in Austauschbohrungen eingestellt werden. Das Austauschmaterial verbleibt hinter der Spundwand im Boden und wirkt bereits als eine Art Zwischenfilter sowie in Längsrichtung als durchgehende hydraulische Verbindung (siehe Anmerkungen zum Querschott).





Die Körnung des Austauschmaterials muss so gewählt werden, dass kein Absperren der hydraulisch wirksamen Schichten erfolgt. Hydraulisch wirksam sind vor allem die Terrassensande und -kiese der Schicht 2.3. Demzufolge ist als Austauschmaterial das Zwischenfiltermaterial für diese Schicht zu wählen. In Bereichen mit feineren Körnungen des anstehenden Bodens muss eine mögliche, spätere Kolmation dieses Austauschmaterials in Kauf genommen werden.

Auf der Anlage 1.1 und 1.2 ist schematisch die Anordnung der Zwischenfilter, des Flächenfilters und der Körnung dargestellt.

3. Mit dem bisherigen Kenntnisstand aus den vorliegenden Erkundungen ist die räumliche Anordnung der Zwischenfilter nicht exakt möglich. Daher sollte eine baubegleitende Aufnahme der ausgehobenen Bodenschichten mit räumlicher Zuordnung (Erstreckung und Tiefenlage) erfolgen, um später die Zwischenfiltermaterialien den entsprechenden Bereichen zuordnen zu können.

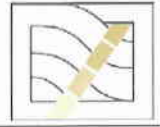
Es sollten baubegleitend ergänzende Körngrößenanalysen der Aushubmassen ausgeführt werden, um die Datenlage zu verbessern und die bisherigen Bemessungen der Filter zu überprüfen bzw. anzupassen.

Eine entsprechende Planung muss vor Verfüllung der Baugrube vorgenommen und die Ausführung baubegleitend überwacht werden.

4. Die oben beschriebenen Arbeiten mit mehreren verschiedenen Materialien für den Zwischenfilter, welche längen- und tiefenmäßig den entsprechenden Bodenschichten zugeordnet werden müssen, sowie die Einbindung von Trennvliesen in den Filter, ist planerisch und bautechnisch sehr anspruchsvoll.

Aus diesem Grund wird empfohlen auf den Einbau des Vlieses zu verzichten. Der mögliche Eintrag von Feinteilen aus den feinkörnigen Schichten bei zu grobem Filtermaterial wird bereits in [U44], aufgrund der vorhandenen Kohäsion der Schichten und dem geringen hydraulischen Gefälle, als relativ gering angesehen.

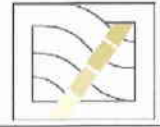
Die Möglichkeit, dass sich ein Filtervlies zusetzt und sperrend wirkt, ist u.E. problematischer zu sehen, als ein begrenzter Feinkorneintrag welcher sich im Sohlbereich des Filters sammeln würde.



5. Der zu erreichende Verdichtungsgrad für den Filter ist in [U44] mit  $D_{Pr} = 100\%$  angegeben. Die Wasserdurchlässigkeit des Filters nimmt mit steigender Verdichtung ab. Es sollte daher u.E. geprüft werden ob hier ein Verdichtungsgrad von  $D_{Pr} = 97\%$  aus statischer Sicht für die Filtermaterialien ausreichend ist.
6. Im Zuge der Bauausführung ist zu gewährleisten, dass in Folge von Spundwandundichtigkeiten (Spundwandsprengungen) keine Feinanteile in die Baugrube eingetragen werden und diese in den Flächenfilter gelangen können.
7. Vor dem Ziehen der Spundwände muss ein vorheriger Ausgleich des Wasserspiegels in der Baugrube mit dem umgebenden Grundwasserspiegel erfolgen. Andernfalls wird aufgrund des sehr großen hydraulischen Gradienten Feinanteile in den Filter eingetragen. Der Filter ist dann nicht mehr funktionsfähig. Daher sollte vor dem Ziehen der Spundwände der Filter entsprechend langsam geflutet werden.
8. Bei der Bauausführung ist besonders darauf zu achten, dass das Eindringen zementhaltiger Schlämme in den Flächenfilter grundsätzlich vermieden wird. Dies gilt auch für eingespülte Feinanteile im Rahmen der allgemeinen Bauarbeiten. Nach der Herstellung des Flächenfilters ist dieser sorgfältig gegen den Eindrang von jedwedem Feinanteil zu sichern. Bei Verschmutzungen muss dieser entsprechend rückgebaut und ersetzt werden.
9. Das Flächenfiltersystem ist zur Geländeoberfläche durch bindige Böden abzudichten, um unkontrollierten Fremdwasserzufluss zu verhindern.
10. Die Ausführung der Austauschbohrungen und die erbohrten Bodenschichten sollten durch einen fachkundigen Geologen dokumentiert werden.

Ebenso sollte der Baugrubenaushub unter fachgutachterlicher Begleitung eines Geologen erfolgen. Hierbei ist der Schichtaufbau innerhalb der Baugrube zu dokumentieren.

Anhand der gewonnenen Daten wird die Anbindung des Flächenfilters an die grundwasserführenden Schichten festgelegt.



## 8. Qualitätssicherung

Die im Kapitel 2 dokumentierten Berechnungen zur Auswirkung des geplanten Flächenfilters belegen deutlich, dass die eingebauten Liefermaterialien für den Flächenfilter eine hydraulische Durchlässigkeit von mindestens  $1 \times 10^{-3}$  m/s (kf-Wert) besitzen müssen, um strömungstechnische Auswirkungen der Baumaßnahme zu minimieren.

Vor Baubeginn sind daher Eignungsprüfungen der geplanten Liefermaterialien für Zwischenfilter, Flächenfilter und Querschotte (Tonriegel) durchzuführen.


In dem vorliegenden Bericht wurden für die Zwischenfilter und den Hauptfilter Körnungsbänder entwickelt, die die Bemessungskriterien erfüllen. Die ermittelten Durchlässigkeiten sind „Rechenwerte“, die aus den Körnungslinien rechnerisch abgeleitet wurden.

Diese Annahmen müssen durch vorgeschaltete Eignungsprüfungen bestätigt werden. Hierzu sollten aus einem geeigneten Kieswerk im Umfeld der Baustelle Kiesproben labortechnisch untersucht werden. Weiterhin ist zu prüfen, welche Lieferkörnungen möglich sind und ob diese die Kriterien der Körnungsbänder für die Zwischenfilter und den Hauptfilter erfüllen. Gegebenenfalls muss hier eine Anpassung der Körnungsbänder erfolgen.

Baubegleitend sind Qualitätskontrollen der einzubauenden und eingebauten Liefermaterialien, z. B. Materialart, Korngrößenverteilung, Verdichtung, Durchlässigkeit etc. durchzuführen.

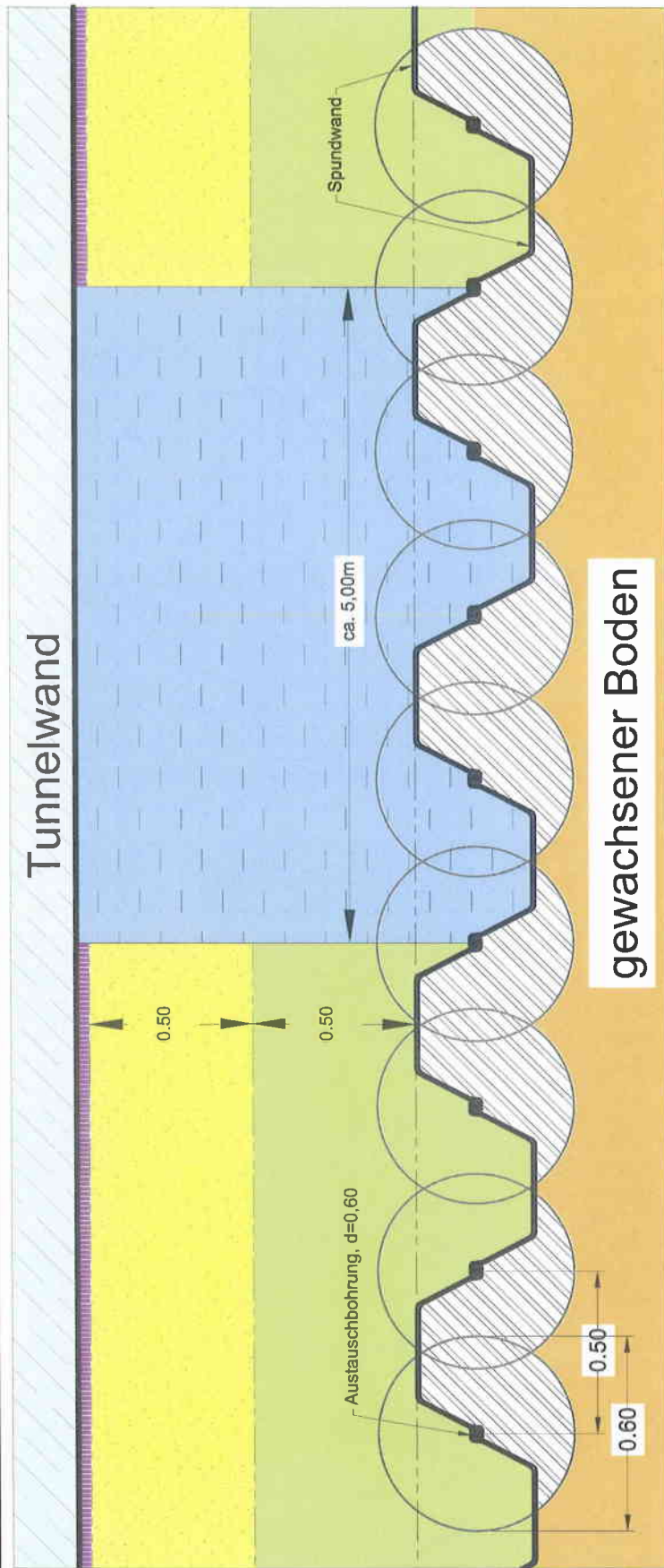
Für die Baumaßnahme ist ein detaillierter Qualitätssicherungsplan aufzustellen, in dem verbindlich die Verantwortlichkeiten und der Umfang der Eignungsprüfungen und Qualitätsprüfungen festgelegt wird.







Kassel, 18. Juni 2013

  
Dipl.-Ing. Kratsch

  
Dipl.-Geol. Deichmann

# Tunnelwand



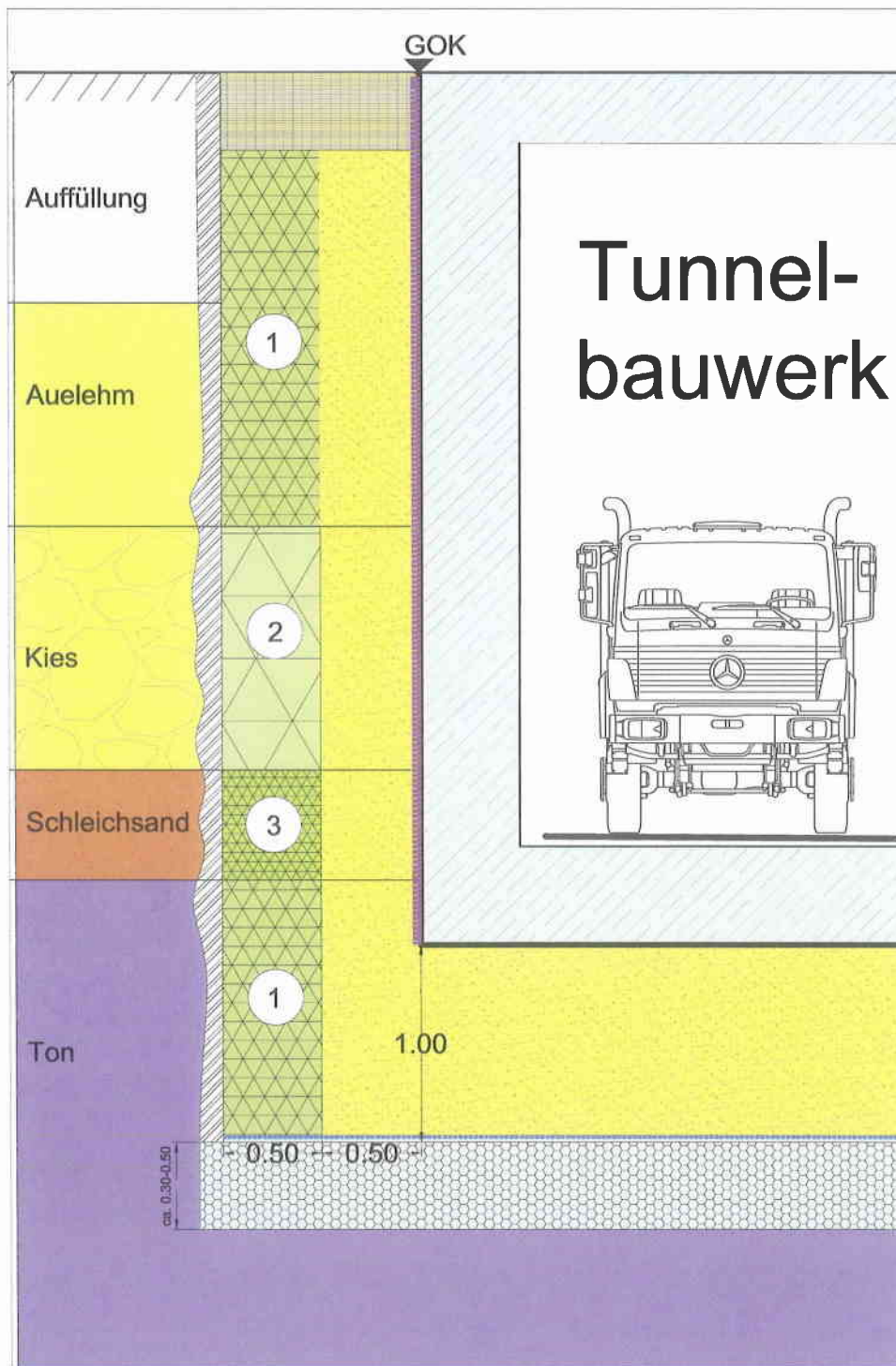
	stabiler Geokunststofffilter (Dränmatte)		Flächenfilter		diverse Zwischenfilter		Tonriegel		verbleibendes Verfüllmaterial der Austauschbohrungen für die Spundwand
	Spundwand								










Bearbeiter: Dipl.-Geol. Deichmann	Maßstab: ohne	Datum: Mai 2013
Projekt Nr.: 011/12	Gezeichnet: aH	
 <b>Hessen Mobil</b> Straßen- und Verkehrsmanagement Frankfurt am Main		
<b>BAB A 66 / A 661</b> <b>Riederwaldtunnel</b> Frankfurt am Main - Hanau		

**Systemskizze**  
 Verbau, Tonriegel und Filter

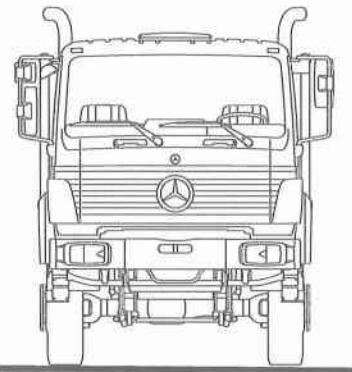
Darstellung : 

**DAS BAUGRUND INSTITUT**  
 Dipl.-Ing. Knierim GmbH  
 Wolfhager Straße 427 , 34128 Kassel-Harleshausen  
 Tel.: 0561/96994-0; Fax: 0561/96994-55, E-Mail: kassel@dasbaugrundinstitut.de



-  stabiler Geokunststofffilter (Dränmatte)
-  Trennvlies
-  Flächenfilter
-  Abdeckung
-  Grobtschlag, zur Baugrubenstabilisierung (ca. 0.30-0,50m)
-  Verfüllmaterial der Austauschbohrungen (Zwischenfilter 2: Terrassensande und -kiese, lokal Dichtungsmaterial im Bereich von Querschotten)
-  Zwischenfilter 1 - Auffüllungen, Auelehm u. Ton
-  Zwischenfilter 2 - Terrassensande und -kiese
-  Zwischenfilter 3 - Schleichsand

# Tunnelbauwerk



## Anlage 1.2

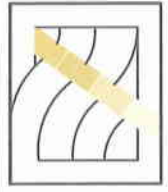
Bearbeiter: Dipl.-Geol. Deichmann    Datum: Mai 2013  
 Projekt Nr.: 011/12    Maßstab: ohne    Gezeichnet: ahe

**Hessen Mobil**  
**Straßen- und Verkehrsmanagement**  
**Frankfurt am Main**

Bauwerk: **BAB A 66 / A 661**  
**Riederwaldtunnel** Frankfurt am Main - Hanau

## Systemskizze Filteranordnung

Darstellung:



**DAS BAUGRUND INSTITUT**

Dipl.-Ing. Knierim GmbH  
 Wolfhager Straße 427, 34128 Kassel-Harleshausen  
 Tel.: 0561/96994-0; Fax: 0561/96994-55, E-Mail: kassel@dasbaugrundinstitut.de

Das Baugrund Institut  
 Dipl.-Ing. Knierim GmbH  
 Wolfhager Straße 427, 34128 Kassel  
 Tel.: 0561/96994-0 Fax: 0561/96994-55

# Körnungslinie

## Tunnel Riederwald

- Vorgabe Zwischenfilter ARCADIS -

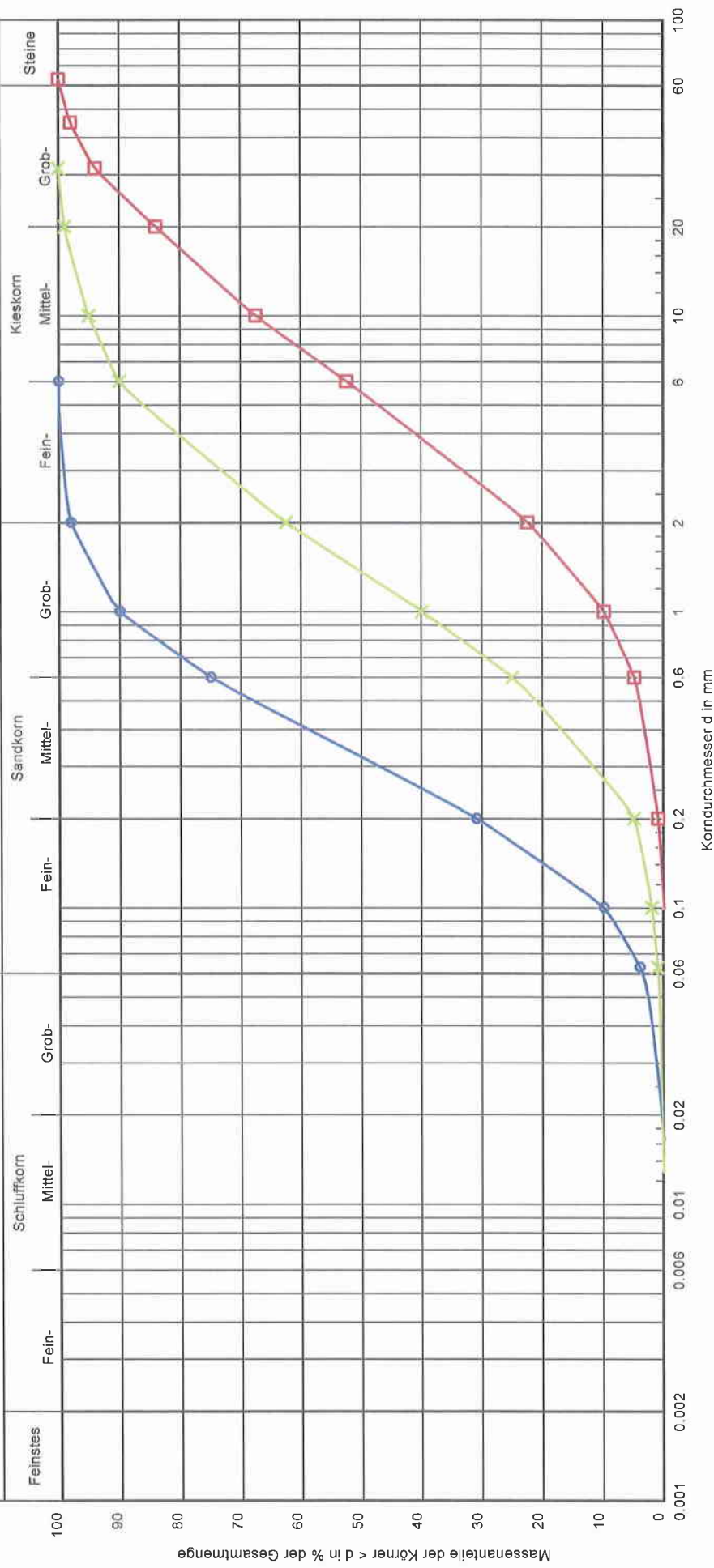
Projektnummer:  
 Probe entnommen am:  
 Art der Entnahme:  
 Arbeitsweise:

Bearbeiter:

Datum:

### Schlammkorn

### Siebkorn



Darstellung: Zwischenfilter 3: Schleichsande

Zwischenfilter 1: Auffüllung

Zwischenfilter 2: Terrassensande/-kiese

Bodenart: mS, fs, gs  
 k-Wert nach Beyer:  $8.9 \cdot 10^{-5}$   
 U/Cc: 4.1/0.9

S: lg, mp  
 $5.0 \cdot 10^{-4}$   
 G, gs  
 $7.9 \cdot 10^{-3}$   
 6.8/1.0  
 7.8/0.9

Bemerkungen:

Bericht:  
 Anlage: 2.1

Das Baugrund Institut  
 Dipl.-Ing. Knierim GmbH  
 Wolfhager Straße 427, 34128 Kassel  
 Tel.: 0561/96994-0 Fax: 0561/96994-55

# Körnungslinie

## Tunnel Riederwald

- Körnungsband Zwischenfilter Auffüllung -

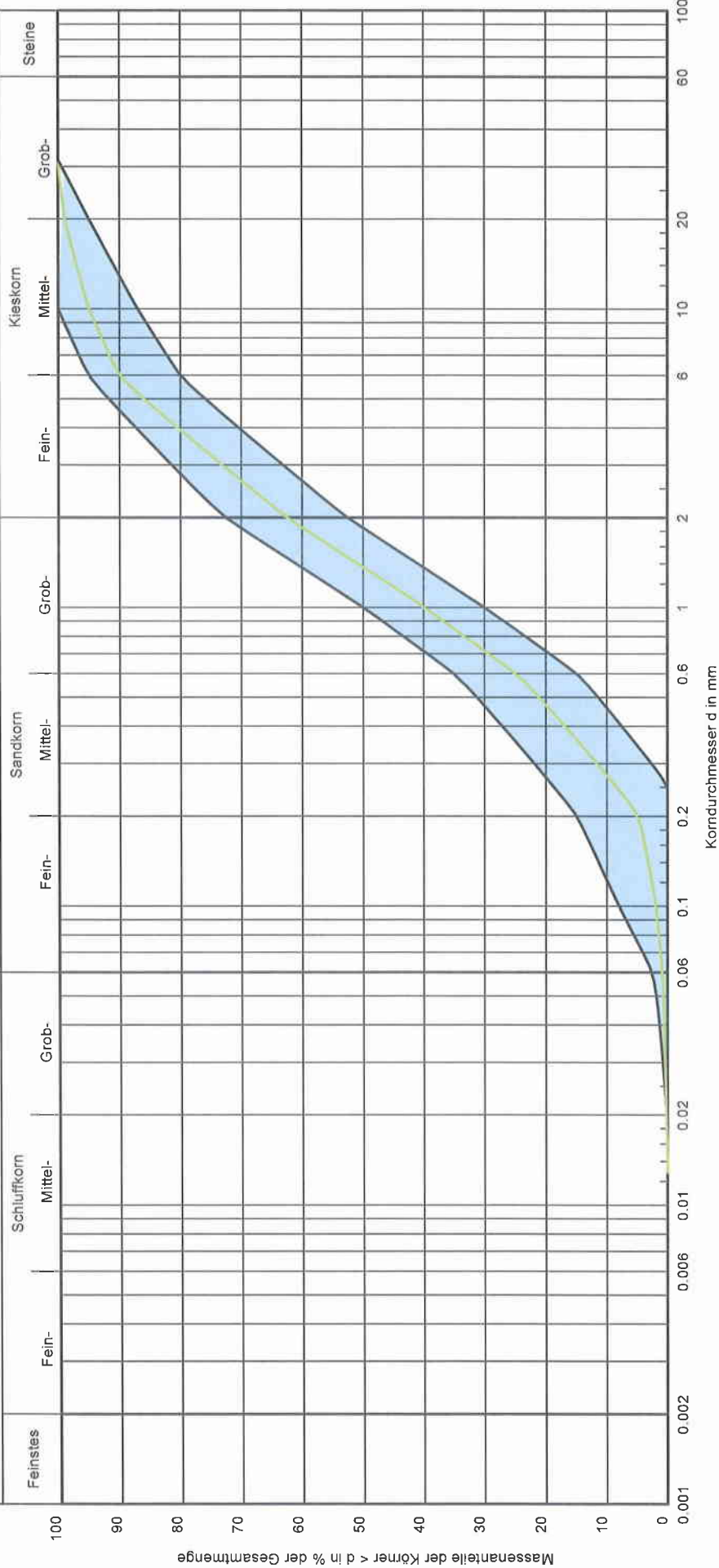
Projektnummer:  
 Probe entnommen am:  
 Art der Entnahme:  
 Arbeitsweise:

Bearbeiter:

Datum:

### Schlammkorn

### Siebkorn



Bericht:  
 Anlage: 2.2

Bemerkungen:  
 Körnungslinie stetig ohne Ausfallkörnungen

Darstellung:	untere Grenzkurve	Zwischenfilter Auffüllung	obere Grenzkurve
Bodenart:	S. fg	bevorzugtes Füllerkorn	S. G
k-Wert nach Beyer	$1.0 \cdot 10^{-4}$	$8.0 \cdot 10^{-4}$	$1.7 \cdot 10^{-3}$
U/Cc:	11.1/1.3	6.8/1.0	5.8/0.8

Das Baugrund Institut  
 Dipl.-Ing. Klierim GmbH  
 Wolfhager Straße 427, 34128 Kassel  
 Tel.: 0561/96994-0 Fax: 0561/96994-55

# Körnungslinie

## Tunnel Riederwald

- Körnungsband Zwischenfilter Terrassensande -

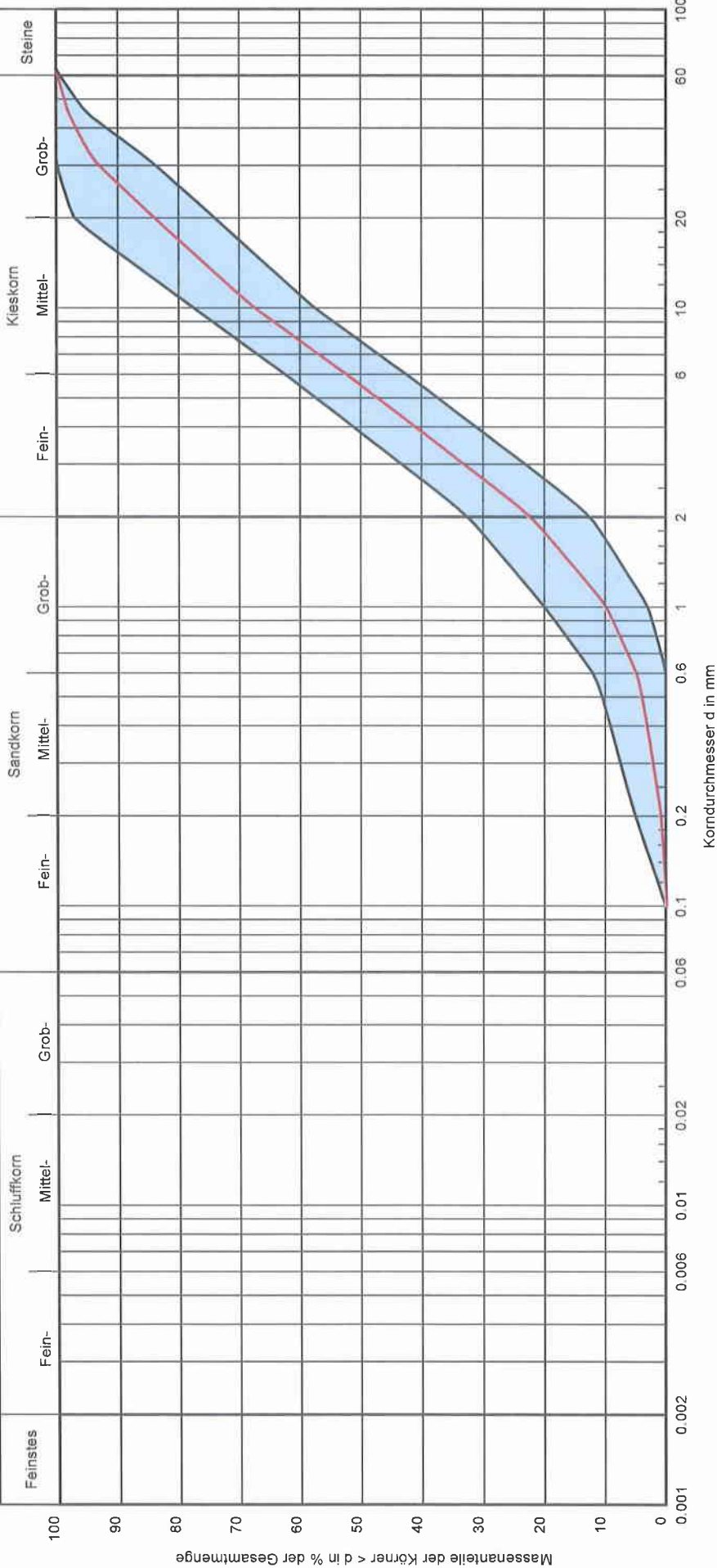
Projektnummer:  
 Probe entnommen am:  
 Art der Entnahme:  
 Arbeitsweise:

Bearbeiter:

Datum:

### Schlämkkorn

### Siebkorn



Bericht:

Anlage: 2.3

Bemerkungen:  
 Körnungslinie stetig ohne Ausfallkörnungen

obere Grenzkurve

Zwischenfilter Terrassensande/-kiese

untere Grenzkurve

Darstellung:

bevorzugtes Filterkorn

G, gs, ms'

Bodenart:

G, gs'

$7.9 \cdot 10^{-3}$

$1.5 \cdot 10^{-3}$

k-Wert nach Beyer

$2.3 \cdot 10^{-2}$

$7.8/0.9$

11.9/1.2

U/Cc:



Das Baugrund Institut  
 Dipl.-Ing. Knierim GmbH  
 Wolfhager Straße 427, 34128 Kassel  
 Tel.: 0561/969994-0 Fax: 0561/969994-55

Bearbeiter:

Datum:

# Körnungslinie

## Tunnel Riederwald

- Körnungsband Zwischenfilter Schleichsande -

Projektnummer:  
 Probe entnommen am:  
 Art der Entnahme:  
 Arbeitsweise:

### Schlammkorn

Schluffkorn

Mittel-

Grob-

### Siebkorn

Sandkorn

Mittel-

Grob-

Fein-

Grob-

Kieskorn

Mittel-

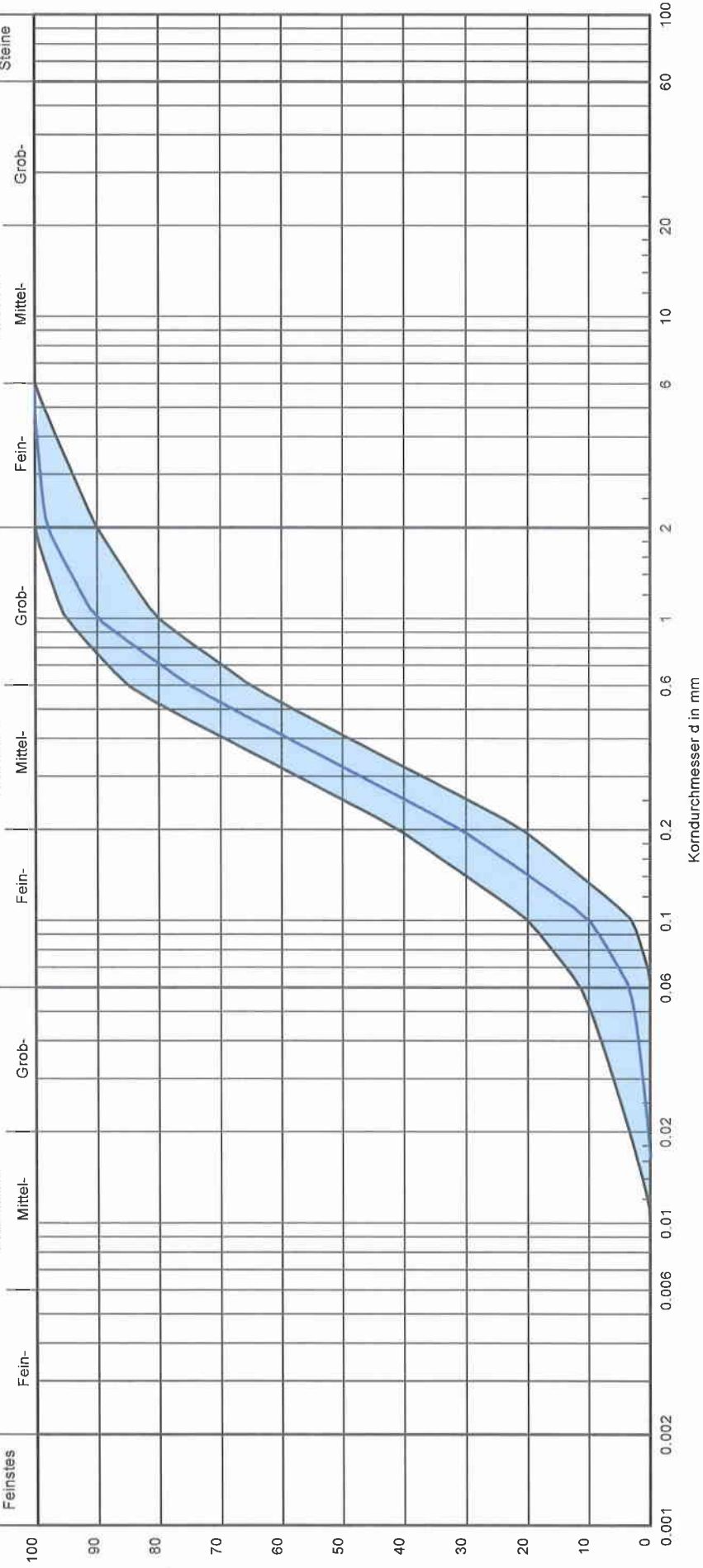
Grob-

Steine

60

100

Massenanteile der Körner < d in % der Gesamtmenge



Bericht:

Anlage: 2.4

Bemerkungen:

Körnungslinie steigt ohne Ausfallkörnungen

obere Grenzkurve

mS, fs, gs, fg'

Zwischenfilter Schleichsande

bevorzugtes Filterkorn

untere Grenzkurve

mS, fs, gs, u'

k-Wert nach Beyer

-

U/Cc:

6.1/1.2

$1.6 \cdot 10^{-4}$

$8.9 \cdot 10^{-5}$

4.1/0.9

3.9/0.9

Das Baugrund Institut  
 Dipl.-Ing. Knierim GmbH  
 Wolfhager Straße 427, 34128 Kassel  
 Tel.: 0561/96994-0 Fax: 0561/96994-55

# Körnungslinie

## Tunnel Riederwald

### - Körnungsband Flächenfilter -

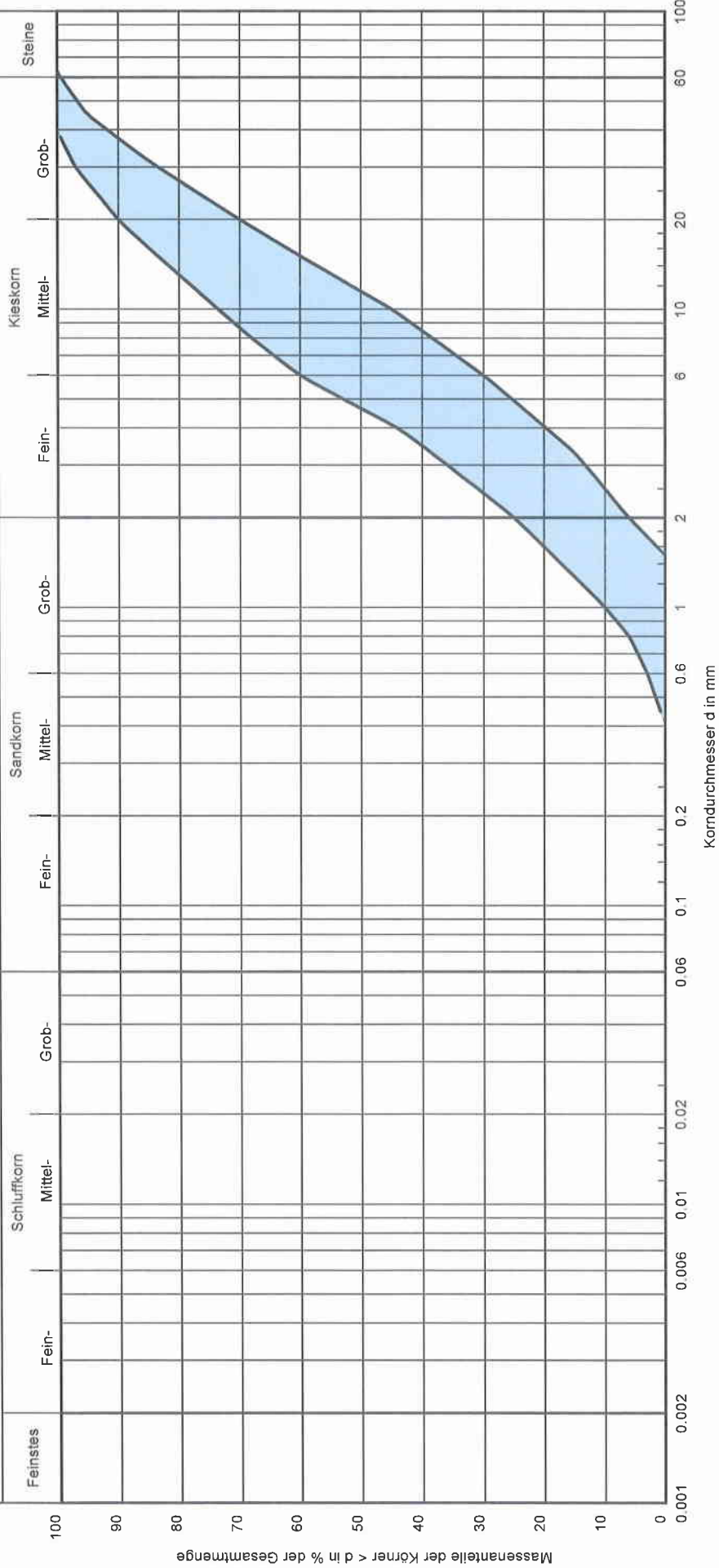
Projektnummer:  
 Probe entnommen am:  
 Art der Entnahme:  
 Arbeitsweise:

Bearbeiter:

Datum:

### Schlammkorn

### Siebkorn



Darstellung:	untere Grenzkurve Flächenfilter	obere Grenzkurve Flächenfilter
Bodenart:	G, gs	G, gs
k-Wert nach Beyer	$8.0 \cdot 10^{-3}$	$5.0 \cdot 10^{-2}$
U/Cc:	6.0/1.0	6.0/1.0

Bemerkungen:

Bericht:  
 Anlage: 2.5