

gsk

Geotechnische Serviceleistungen Krauss
Dipl.-Geol. Dietrich Krauss



- Baugrundgutachten
- Altlastengutachten

gsk Krauss – Im Wöhr 2 – 76437 Rastatt

Gemeinde Sinzheim
Ortsbauamt
Marktplatz 1

76547 Sinzheim

Bodenverbesserung von PFC belasteten Böden am Standort Leiberstung

Auftraggeber:

Gemeinde Sinzheim, Ortsbauamt, Marktplatz 1, 76547 Sinzheim

Bearbeitung:

Dipl.-Geol. Dietrich Krauss

Projektnr.: 160511

Datum: 23.09.2016

Bodenverbesserung von PFC belasteten Böden

Inhaltsverzeichnis

1	Vorgang	3
2	Probenahme	3
3	Bodenverbesserung	4
3.1	Durchgeführte Laboruntersuchungen.....	4
3.2	Empfehlung Bindemittelart und Bindemittelmenge	4
4	PFC – Analytik	5
4.1	Vor Bodenverbesserung	5
4.2	Nach Bodenverbesserung.....	6
5	Zusammenfassung / Empfehlung	10

Anlagenverzeichnis

1	Lageplan der Entnahmestellen der Bodenproben
2	Profilaufnahmen
3	Bericht zur Eignungsuntersuchung einer qualifizierten Bodenverbesserung
4.1	PFC – Analytik am Originalboden
4.2	PFC – Analytik am Kalk – Zement stabilisierten Boden
4.3	PFC – Analytik am gebrochenen Kalk – Zement stabilisierten Boden

Verwendete Unterlagen und Literatur

- [1] Eignungsuntersuchung von Oberboden an Standorten mit PFC – Belastungen für die Bodenverfestigung im Strassenbau. gsk Geotechnische Serviceleistungen Krauss, 88410 Bad Wurzach, erst. 10.06.2016
- [2] Einstufung und Bewertung der PFC – Untersuchungen Boden, NBG Leiberstung und Einzelgrundstücke in der Nähe der B3 neu, Ingenieurbüro Roth & Partner, 76061 Karlsruhe, erst. 15.03.2016
- [3] Merkblatt über Bodenverfestigung und Bodenverbesserung mit Bindemitteln; Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln; Ausgabe 2004(FGSV 551)

Bodenverbesserung von PFC belasteten Böden

1 Vorgang

Für die Erschließung des mit PFC – haltigen Böden belasteten Baugebietes in Leiberstung plant die Gemeinde Sinzheim nach einer Voruntersuchung [1] den im Bereich von geplanten Straßentrassen liegenden Oberboden zu verbessern um die Entsorgungsmengen zu reduzieren. Mit der Bodenverbesserung soll eine Nutzung des Oberbodens unterhalb wasserundurchlässiger Strassendecken erreicht werden.

Mit vorliegender Untersuchung sollen für das anstehende Bodenmaterial konkrete Vorgaben für eine Bodenverbesserung erarbeitet werden. Weiterhin soll das versuchstechnische Elutionsverhalten für PFC an dem durch Zugabe von Mischbindemittel verbessertem Boden gegenüber dem Ausgangsboden geprüft werden.

Mit Beauftragung durch die Gemeinde Sinzheim, Bauamt Herr R. Hörth, wurde mein Büro mit der Durchführung der Arbeiten beauftragt.

2 Probenahme

Bodenproben wurden für die bodenmechanischen sowie chemischen Untersuchungen im geplanten Erschließungsgebiet der Gemeinde Sinzheim im Ortsteil Leiberstung östlich der L 80, vom Flurstück Nr. 1742 und 1748 entnommen. Die Probenahme erfolgte am 29.06.2016 unter Mitwirkung des Ortbauamtes Sinzheim durchgeführt. Die Probenahme wurde als Einzelprobenahme durchgeführt.

Anlage 1 enthält einen Lageplan mit den Probenahmestellen

Entnommen wurde an der Ansatzstelle 1748, nach Abtrag des Bewuchshorizontes (O – Horizont), Probenmaterial aus der Tiefenlage des Oberbodens (A – Horizont) aus 0,05 – 0,35 m Tiefe unter GOK. Weiterhin erfolgte eine Beprobung des darunterliegenden, überwiegend verlehnten Unterbodens (B-Horizont) aus dem Tiefenbereich 0,4 – 0,7 m unter GOK.

Für beide Proben wurde die Möglichkeit einer Bodenverbesserung und ergänzend die Wirkung der Bindemittelzugabe auf das Elutionsverhalten von PFC untersucht.

Zusätzlich wurde auf beiden Flurstücken 1742 und 1748 je eine Probe für die chemische Analytik aus einer Tiefe von 1,55 m bzw. 1,6 m aus dem dort anstehenden Ausgangsboden (C – Horizont) entnommen.

Die beprobten Bodenhorizonte unterscheiden sich u.a. in der vorliegenden Bodenart. Der Oberboden (A – Horizont) wird von einem feinsandig, schwach mittelsandig, schwach tonigem Schluff mit geringem Humusanteil von gräulich brauner Farbe gebildet. Der Unterboden (B – Horizont) tritt als ein toniger - feinsandiger Schluff von rötlichbrauner Farbe auf. Das Ausgangsmaterial (C – Horizont) wird von einem schwach schluffigen Feinsand von mittel - hellbrauner Farbe gebildet.

Anlage 2 enthält die Bodenprofilaufnahmen mit Angabe der beprobten Horizonte.

Bodenverbesserung von PFC belasteten Böden

3 Bodenverbesserung

Zur Bewertung der Möglichkeiten einer bautechnischen Verbesserung der am Standort vorhandenen Böden (Oberboden) wurde ein bodenmechanisches Versuchsprogramm an der Fachhochschule Biberach durchgeführt.

3.1 Durchgeführte Laboruntersuchungen

Der für eine Verbesserung vorgesehene Boden, ist mit der Probe L 1748 aus 0,05 – 0,35 m unter GOK der Bodengruppe UL zuzuweisen; der Boden der Probe L 1748 aus 0,4 – 0,7 m unter GOK der Bodengruppe TL/TM.

Es wurde davon ausgegangen, dass im Hinblick auf eine spätere bauliche Ausführung für beide Bodenarten eine einheitliche Bodenverbesserung erfolgt. Aus diesem Grunde wurde für beide Bodenarten ein Mischbindemittel mit einem Kalk – Zement Verhältnis von 30 / 70 verwendet. Die Zugabemenge wurde mit 3 Gew. % festgelegt. Am Ausgangsmaterial erfolgte die Bestimmung der Wassergehalte sowie der organischen Anteile mittels Natronlaugeverfahren. Folgende Probekörper bestehend aus Boden und 3 % Mischbindemittelanteil wurden hergestellt:

- Probe L 1748 aus 0,05 – 0,35 m Tiefe
- Probe L 1748 aus 0,4 – 0,7 m Tiefe

Untersucht wurde an den Probekörpern die erreichbare Tragfähigkeit durch die CBR – Wert Bestimmung nach einer Lagerungszeit von 28 Tagen. Weiterhin erfolgte die Prüfung der einaxialen Druckfestigkeit nach einer Lagerzeit von 28 Tagen sowie nach einer weiteren Lagerzeit von 51 Tagen. Zur Feststellung der Verdichtungseigenschaften wurden am Ausgangsmaterial der vorliegenden Böden Proctorversuche ausgeführt.

3.2 Empfehlung Bindemittelart und Bindemittelmenge

Nach den Ergebnissen ist für die Bodenverbesserung unter den zum Beprobungszeitpunkt vorliegenden Bedingungen ein Mischbindemittel im Verhältnis Kalk – Zement von 30 / 70 mit einer Zugabemenge von 3 Gew. % zu empfehlen.

Wie die Ergebnisse zeigen, weist der Unterboden aus 0,4 – 0,7 m unter GOK bessere Versuchswerte als der darüber liegende Oberboden aus 0,05 – 0,35 m unter GOK auf. Sinnvoll wäre demnach m.E. nach, bei der Ausführung der Bodenverbesserung mit einer Frästiefe von 0,5 m zu arbeiten, um eine zumindest partielle Durchmischung der Bodenarten zu bewirken.

Die Bodenverbesserung sollte auf jeden Fall unter Trockenwetterverhältnissen ausgeführt werden, da der Bodenwassergehalt einen wesentlichen Einfluss auf das Ergebnis hat. Statische Plattendruckversuche auf Testfeldern mit unterschiedlicher Bindemittelzugabe (3, 4 und 5 Gew. %) sind im Vorfeld der Bauausführung einzuplanen.

Der ausführliche Bericht zu den Laboruntersuchungen mit Ergebnisdarstellung ist in **Anlage 3** enthalten.

gsk Geotechnische Serviceleistungen Krauss,
Im Wöhr 2, 76437 Rastatt / Moorentenstraße 7, 88410 Bad Wurzach
email : info@gsk-ka.de mobil 0172 76 13 202
Sparkasse Karlsruhe - Ettlingen IBAN DE 72 6605 0101 0009 2228 94
Ust.ID : DE 180200453

Bodenverbesserung von PFC belasteten Böden

4 PFC – Analytik

4.1 Vor Bodenverbesserung

Die unter Kapitel 2 Probenahme aufgeführten Proben wurden in ihrer Originalsubstanz jeweils auf Einzelsubstanzen per fluorierter Tenside entsprechend dem Erlass Baden - Württemberg vom 17.06.2015 analysiert und den GFS - Werten gem. Umweltbundesamt (03/ 2015) gegenübergestellt. Die GFS – Werte bilden die Grenze zwischen einer geringfügigen Veränderung der chemischen Beschaffenheit des Grundwassers und einer schädlichen Verunreinigung.

Nachfolgende Tabelle 1 enthält die Analysenergebnisse der Elution des Originalbodens:

Parameter	Probenbezeichnung / Entnahmetiefe				GFS - Wert
	L1742 1,5 m	L 1748 1,6 m	L 1748 0,4 - 0,7 m	L 1748 0,05 - 0,35 m	
Perfluorbutansäure	< 0,01	< 0,01	0,04	0,02	7,0
Perfluorbutansulfonsäure	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	3,0
Perfluorpentansäure	0,03	0,02	0,09	0,04	3,0
Perfluorhexansäure	0,04	0,04	0,06	0,03	1,0
Perfluorhexansulfonsäure	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,3
Perfluorheptansäure	0,05	0,05	0,05	0,04	0,3
Perfluoroktansäure PFOA	0,51	0,17	0,24	0,24	0,3 PFOA +PFOS / 0,23 PFOS
Perfluoroktansulfonsäure PFOS	< 0,01	< 0,01	0,01	0,05	
Perfluoroktansulfonsäureamid	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	-
Perfluornonansäure	< 0,01	< 0,01	0,02	0,10	0,3
Perfluordecansäure	< 0,01	< 0,01	0,01	0,19	0,3
Perfluordecansulfonsäure	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	-
Perfluordodecansäure	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	-
Summe PFT/ Additionsregelwert	0,63 / 1,91*	0,28 / 0,78*	0,52/ 1,20*	0,71 / 2,04*	1,0*

Tab.1: Zusammenstellung Analysenergebnisse Originalproben und vorl. GFS - Werte
 *nach Anwendung Additionsregel gem. TRGS 403

Bodenverbesserung von PFC belasteten Böden

Wie die Tabelle 1 zeigt, treten bei den folgenden Proben GFS – Wert bzw. Additionsregelwert - Überschreitungen auf:

- **Probe L 1742 aus 1,5 m Tiefe**,
PFOA+PFOS – Wert > 0,3 und Summe PFT nach Additionsregel: 1,91
- **Probe L 1748 aus 0,4 – 0,7 m Tiefe**, Summe PFT nach Additionsregel: 1,20
- **Probe L 1748 aus 0,05 – 0,35 m Tiefe**, Summe PFT nach Additionsregel: 2,04

Die **Probe L 1748 aus 1,6 m Tiefe** überschreitet mit keinem Einzelwert die GFS – Werte; die Summe PFT nach Additionsregel liegt < 1 (0,78)

Die Ergebnisse der Proben der Entnahmestelle 1748 lassen eine Abnahme der Belastung mit zunehmender Tiefe erkennen. Der höchste Wert ist im Oberboden anzutreffen.

Dagegen liegt der Wert der Entnahmestelle L 1742 aus 1,5 m Tiefe in Anbetracht der Entnahmetiefe vergleichsweise hoch. Möglicherweise sind entsprechend noch höhere Belastungen im Oberboden anzutreffen.

Die vorgefundenen Gesamtgehalte an PFT stimmen grundsätzlich mit den für den Standort vorliegenden Befunden der Untersuchungen Büro Roth vom 15.03.2016 [1] überein.

Die Laborprotokolle der PFC - Eluatergebnisse der unbehandelten Bodenproben enthält **Anlage 4.1**

4.2 Nach Bodenverbesserung

Neben den geotechnischen Anforderungen an die Tragfähigkeit des Erdplanums im Straßenbau sollte weiterhin eine Überprüfung des Elutionsverhaltens für den Schadstoff PFC in dem durch Mischbindemittel vergüteten Bodenkörper untersucht werden.

Dazu wurden gleichartige Prüfkörper wie für die bodenmechanischen Versuche mit der unter Kapitel 3.1 genannten Bindemittelart und Bindemittelmenge für eine Trogelution im chemischen Labor hergestellt.

Folgende Probekörper wurden untersucht:

- Probe L 1748 aus 0,05 – 0,35 m Tiefe (Probe A und B)
- Probe L 1748 aus 0,4 – 0,7 m Tiefe (Probe A und B)

Bodenverbesserung von PFC belasteten Böden

Die Elution an den Kalk – Zement stabilisierten Probenkörpern erfolgte im Trogeluat (1 : 10) und wurde nach Abschluss einer 28 tägigen Lagerungszeit durch das SGS Institut Fresenius GmbH in Radolfzell durchgeführt.

Nachfolgende Tabelle 2 enthält die Analysenergebnisse der Trogelution der mittels Mischbindemittel vergüteten Probekörper:

Parameter	Probenbezeichnung / Entnahmetiefe				GFS - Wert
	L 1748 0,4 - 0,7 m (A)	L 1748 0,4 - 0,7 m (B)	L 1748 0,05 - 0,35 m (A)	L 1748 0,05 - 0,35 m (B)	
Perfluorbutansäure	< 0,1	< 0,1	< 0,01	< 0,01	7,0
Perfluorbutansulfonsäure	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	3,0
Perfluorpentansäure	0,06	0,06	0,05	0,04	3,0
Perfluorhexansäure	0,04	0,04	0,03	0,03	1,0
Perfluorhexansulfonsäure	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,3
Perfluorheptansäure	0,03	0,02	0,02	0,02	0,3
Perfluoroktansäure PFOA	0,09	0,07	0,05	0,05	0,3 PFOA +PFOS / 0,23 PFOS
Perfluoroktansulfonsäure PFOS	< 0,01	< 0,01	0,01	0,01	
Perfluoroktansulfonsäureamid	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	-
Perfluornonansäure	< 0,01	< 0,01	0,02	0,02	0,3
Perfluordecansäure	< 0,01	< 0,01	0,05	0,04	0,3
Perfluordecansulfonsäure	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	-
Perfluordodecansäure	-	-	-	-	-
Summe PFT/ Additionsregelwert	0,22 / 0,46*	0,19 / 0,36*	0,23 / 0,59*	0,21 / 0,55*	1,0*

Tab.2: Zusammenstellung Analysenergebnisse Kalk – Zement stabilisierte Prüfkörper und vorl. GFS - Werte
*nach Anwendung Additionsregel gem. TRGS 403

Bodenverbesserung von PFC belasteten Böden

Wie die Tabelle 2 zeigt, treten bei keiner der untersuchten Proben für die untersuchten Einzelwerte GFS – Wert - Überschreitungen auf. Weiterhin liegt der Summenwert nach der Additionsregel jeweils unter 1.

Der Vergleich der Eluatwerte des unbehandelten Bodens mit den Werten der Kalk – Zement stabilisierten Prüfkörper zeigt eine deutliche geringere eluierbare Schadstoffmenge für die untersuchten PFT. Im Eluat des mit Kalk – Zement stabilisierten Prüfkörpers liegt der PFT Summenwert bei etwa 30 – 40 % des Ausgangswertes des Originalbodens.

Die PFC - Eluatergebnisse der durch Kalk -Zementzugabe behandelten Bodenproben enthält **Anlage 4.2**

Ergänzend zur Untersuchung der mit Bindemittel verfestigten Probekörper sollte die Frage zum Elutionsverhalten für ein nach einer durchgeführten Verbesserung wieder zerkleinertes Material (Zwischenlagerung / Weiterverwendung) beantwortet werden.

Dazu wurden zwei Extraproben der o.g. Probekörper nach einer Lagerungszeit von über 51 Tagen im Zuge der Probenvorbereitung gebrochen und zerkleinert und anschließend in einem Trogeluat 1 : 10 eluiert. Das Ergebnis ist in nachfolgender Tabelle 3 dargestellt:

Parameter	Probenbezeichnung / Entnahmetiefe		GFS - Wert
	L 1748 0,4 - 0,7 m LZ 56 t	L 1748 0,05 - 0,35 m LZ 56 t	
Perfluorbutansäure	0,05	< 0,2	7,0
Perfluorbutansulfonsäure	< 0,01	< 0,01	3,0
Perfluorpentansäure	0,14	0,09	3,0
Perfluorhexansäure	0,10	0,07	1,0
Perfluorhexansulfonsäure	< 0,01	< 0,01	0,3
Perfluorheptansäure	0,07	0,05	0,3
Perfluorheptansulfonsäure	< 0,01	< 0,01	0,3
Perfluoroktansäure PFOA	0,27	0,19	0,3 PFOA +PFOS / 0,23 PFOS
Perfluoroktansulfonsäure PFOS	0,01	0,02	

Fortsetzung der Tabelle auf nächster Seite

Bodenverbesserung von PFC belasteten Böden

	Probenbezeichnung / Entnahmetiefe			
Perfluoroktansulfonsäureamid	< 0,1		< 0,1	-
Perfluornonansäure	0,02		0,04	0,3
Perfluordecansäure	< 0,01		0,06	0,3
Perfluordecansulfonsäure	< 0,01		< 0,01	-
Perfluordodecansäure	-		-	-
1H, 1H, 2H, 2H - Perfluoroktansulfonsäure PFOS	< 0,01		< 0,01	-
Summe PFT/ Additionsregelwert	0,66 / 1,4*		0,52 / 1,12*	1,0*
Tab.3: Zusammenstellung Analysenergebnisse <u>gebrochener</u> Kalk – Zement stabilisierter Prüfkörper und vorl. GFS - Werte *nach Anwendung Additionsregel gem. TRGS 403				

Wie die Tabelle 3 zeigt, treten bei beiden Proben für die untersuchten Einzelwerte keine GFS – Wert Überschreitungen auf. Geringfügige Überschreitungen ergeben sich jedoch für die Additionsregelwerte:

- **Probe L 1748 aus 0,4 – 0,7 m Tiefe, vergütet und gebrochen,**
Summe PFT nach Additionsregel: 1,40
- **Probe L 1748 aus 0,05 – 0,35 m Tiefe, vergütet und gebrochen,**
Summe PFT nach Additionsregel: 1,12

Die im Eluat der gebrochenen Kalk – Zement stabilisierten Prüfkörpermaterialien analysierten PFT Summenwerte entsprechen weitgehend den Ausgangswerten des unbehandelten Originalbodens.

Die PFC - Eluatergebnisse der gebrochenen kalk- /zementstabilisierten Prüfkörper enthält **Anlage 4.3**

Bodenverbesserung von PFC belasteten Böden

5 Zusammenfassung / Empfehlung

Nach den Ergebnissen der bodenmechanischen Laboruntersuchungen ist eine Verbesserung der Verformungseigenschaften des örtlichen Oberbodens und Unterbodens zur Sicherstellung eines Erdplanumswertes von 45 MN/m^2 am untersuchten Standort durch die Zugabe eines Mischbindemittels grundsätzlich möglich.

Einschränkungen ergeben sich bezüglich der Anforderungen an eine qualifizierte Bodenverbesserung für das Material des Oberbodens aus 0,05 – 0,35 m Tiefe, für den aus den Versuchsergebnissen eine Tragfähigkeit von etwa $E_{v2} 30 - 40 \text{ MN/m}^2$ abgeleitet wurde, wohingegen das Material aus 0,4 – 0,7 m Tiefe die Anforderungen für eine qualifizierte Bodenverbesserung mit Tragfähigkeitswerten von $E_{v2} 70 \text{ MN/m}^2$ erreicht.

Durch Maßnahmen wie der partiellen Durchmischung der beiden Böden über eine Frästiefe von etwa 0,5 m sowie eine evtl. Erhöhung des Mischbindemittelgehaltes um 1 – 2 Gew. % kann für beide Böden von einem Erdplanumswert $\geq 45 \text{ MN/m}^2$ ausgegangen werden.

Damit kann aus bautechnischer Sicht anstehender Boden vor Ort belassen und mit einem Strassenoberbau überbaut werden. Der PFT belastete Boden würde damit vor Niederschlagswasser geschützt und wäre unzugänglich.

Überdies weisen die durchgeführten Analysen der Trogeluate an mit Kalk - Zement vergüteten Prüfkörpern, die den Einbauzustand des vergüteten Bodens wiedergeben, im Vergleich mit Eluatanalysen der Originalsubstanz der PFT belasteten Böden eine um mehr als die Hälfte verringerte Freisetzung von PFT auf. Die Ursache hierfür ist vermutlich in erster Linie in einer reduziert zugängliche Oberfläche im Elutionsprozess zu sehen. Kein genereller Unterschied ist bei der Schadstofffreisetzung eines vergüteten und anschließend wieder zerkleinerten Boden im Vergleich zum Originalboden zu beobachten.

Vorbehaltlich der Zustimmung der zuständigen Fachbehörde halte ich die Verwertung von vergütetem PFC - belastetem Bodenmaterial unterhalb von wasserundurchlässigen Strassendecken für vertretbar.

Für ergänzende Erläuterungen sowie zur Klärung von evtl. noch offenen Fragen, stehe ich Ihnen gerne zur Verfügung.



Dietrich Krauss

Anlagen

Anlage 1



Entnahmestellen Bodenproben
mit Flurstücksnummer

Breit

L 1748

L 1742



L 80

Langmattweg



gsk Krauss
Moorentenstraße 7
88410 Bad Wurzach
Tel 0172 76 13 202

Zeichnerische Darstellung von
Bohrprofilen nach DIN 4023

Anlage: 2.1

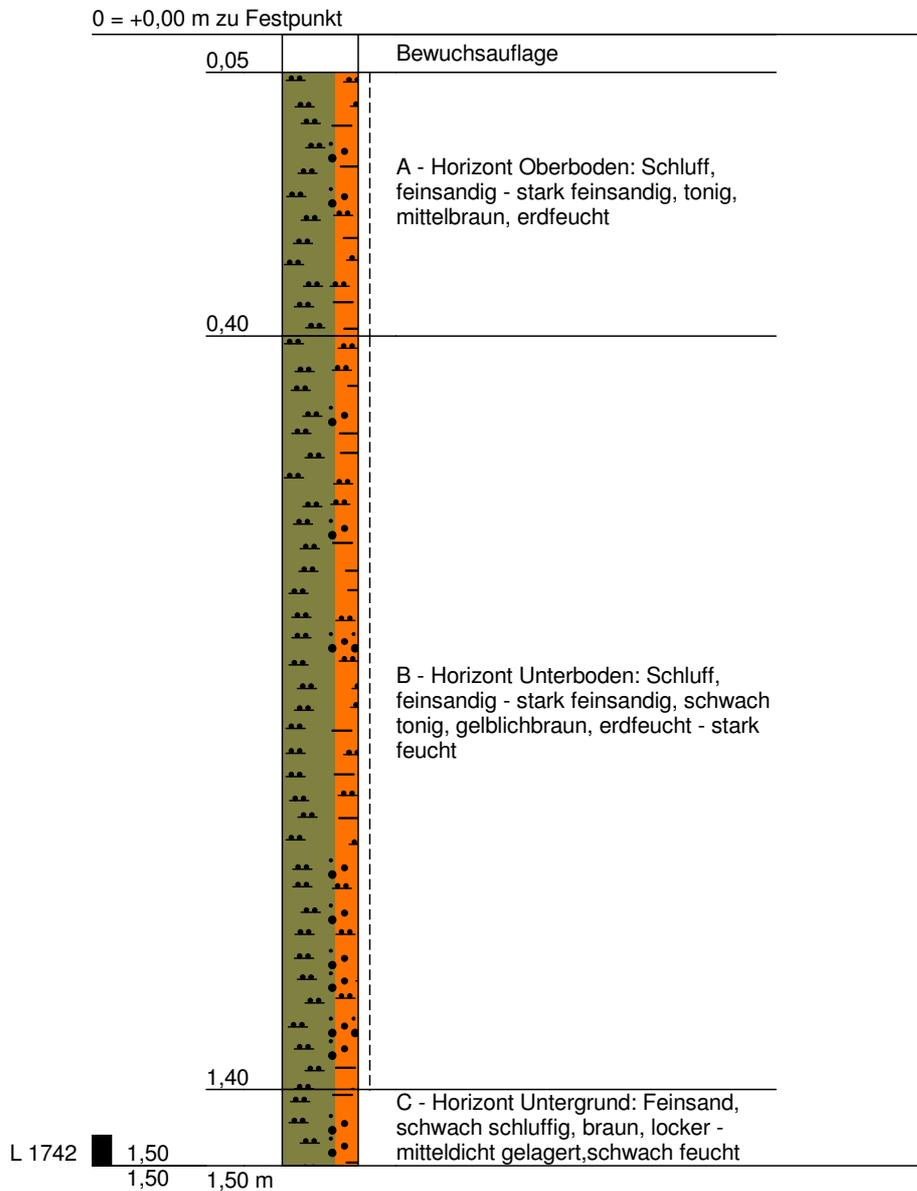
Projekt: BV Sinzheim, Erschließung
Baugebiet Leiberstung,

Auftraggeber: Gemeinde Sinzheim, Bauamt

Bearb.: D. Krauss

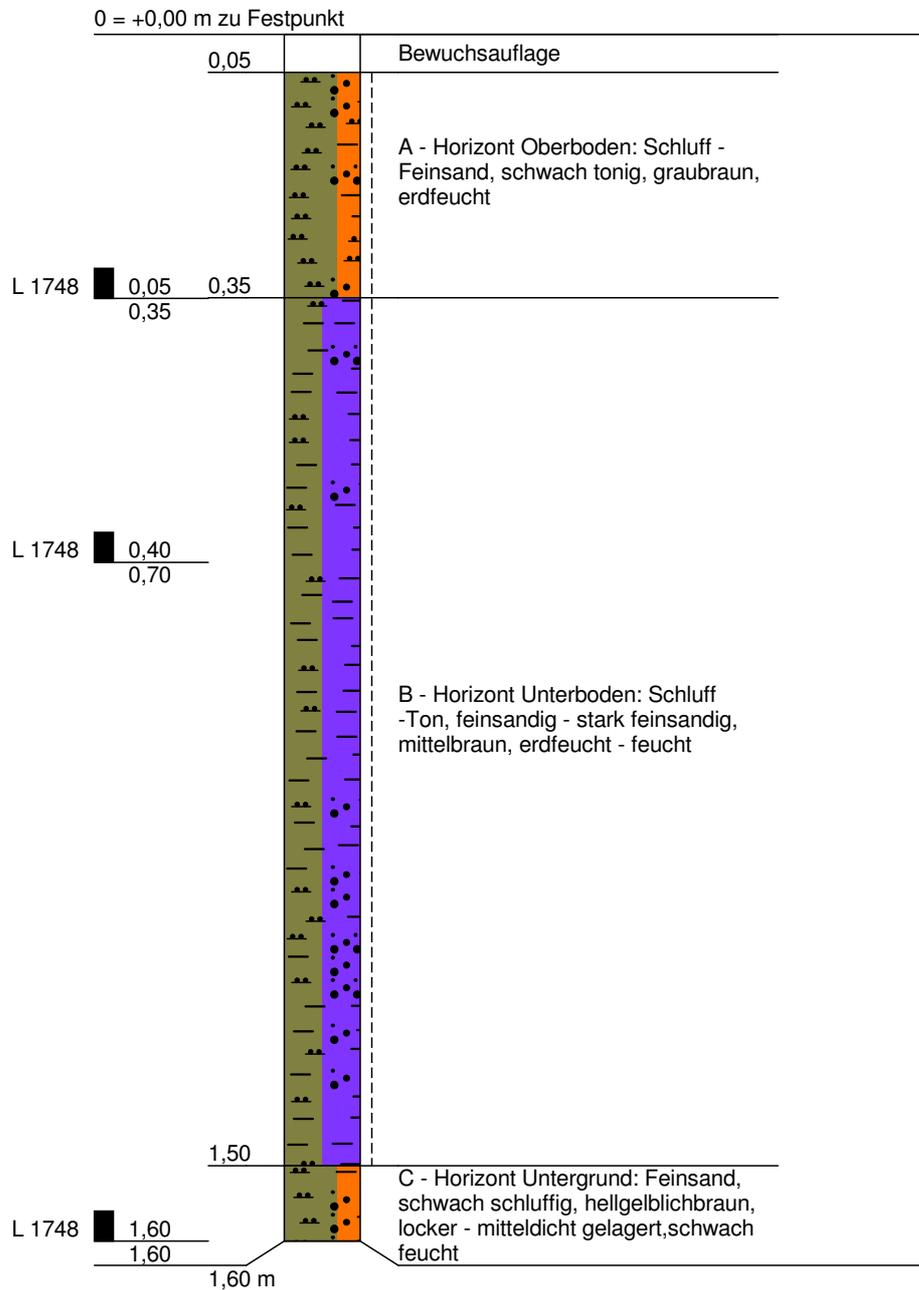
Datum: 27.05.2016

Schürfgrube L 1742



Höhenmaßstab 1:10

Schürfgrube L 1748



Höhenmaßstab 1:10

**Bericht zur Eignungsuntersuchung einer qualifizierten Bodenverbesserung
erstellt durch Hochschule Biberach**

Hochschule Biberach · Karlstraße 11 · 88400 Biberach/Riß

gsk Geotechnische Serviceleistungen Krauss
Herr Krauss
Moorentenstraße 7

88410 Bad Wurzach

Telefon: 07351 582-510
Telefax: 07351 582-519
E-Mail: schad@hochschule-bc.de

Datum: 29.08.2016

**Prüfstelle nach RAP Stra 2010 für Baustoffe
und Baustoffgemische im Straßenbau**

Fachgebiet A - ZTV E
Böden einschließlich Bodenverbesserungen

Fachgebiet H - ZTV Beton
Tragschichten aus hydraulischen Bindemitteln und
Fahrbahndecken aus Beton, Bodenverfestigungen

Fachgebiet I - ZTV SoB
Baustoffgemische für Schichten ohne Bindemittel
und für den Erdbau

Projekt: L1740

Bericht: Eignungsuntersuchungen für die Ausführung einer
Qualifizierten Bodenverbesserung

Auftraggeber: gsk Geotechnische Serviceleistungen Krauss
Moorentenstraße 7
88410 Bad Wurzach

Ausführung: Hochschule Biberach
Prüfstelle für Geotechnik
Karlstraße 7
88400 Biberach

Inhalt

1.0 Allgemeines

2.0 Untersuchungsergebnisse des Ausgangsbodens

2.1 Wassergehalt der Proben bei Anlieferung

2.2 Organische Bestandteile

3.0 Untersuchungen am Boden-Bindemittel-Gemisch

3.1 Wahl des Bindemittels

3.2 Abschätzung der erreichbaren Tragfähigkeit durch den CBR-Wert

3.3 Nachweis der Einaxialen Druckfestigkeit

3.4 Nachweis der Verdichtungseigenschaften des Boden-Bindemittel-Gemisches

4.0 Empfehlungen für die Ausführung der Bodenverbesserung

Verzeichnis der Anlagen:

Anlage	Untersuchungen am Ausgangsboden
	1 Wassergehalt
	Untersuchungen am Boden-Bindemittel-Gemisch
	2 CBR-Versuche
	3 Einaxiale Druckversuche
	4 Proctorversuche

1.0 Allgemeines

Die Prüfstelle für Geotechnik der Hochschule Biberach wurde durch das Büro gsk, Geotechnische Serviceleistungen Krauss, vertreten durch Herrn Krauss, beauftragt, eine Eignungsprüfung für die Ausführung einer Qualifizierten Bodenverbesserung durchzuführen. Die zu untersuchenden Bodenproben wurden durch Herrn Krauss entnommen und am 01.07.2016 der Prüfstelle für Geotechnik zugestellt.

Als Grundlage für die Eignungsprüfung wurden durch den Auftraggeber die Anforderungen einer Qualifizierten Bodenverbesserung an die Tragfähigkeit gemäß den ZTV E-StB 09 wie folgt festgelegt:

Anforderung an die Tragfähigkeit: $E_{v2} \geq 70 \text{ MN/m}^2$

Zum Nachweis der Tragfähigkeit wurden im Rahmen der Eignungsprüfung am Baustoffgemisch CBR-Versuche und einaxiale Druckversuche durchgeführt.

2.0 Untersuchungsergebnisse des Ausgangsbodens

2.1 Wassergehalt der Proben bei Anlieferung

Zur Beurteilung der erreichbaren Verdichtung und Tragfähigkeit wurde der Anlieferungswassergehalt der für die Durchführung der Eignungsuntersuchungen maßgebenden Einzelproben bestimmt:

MP 1: Drei Eimerproben aus einer Tiefe von 0,09 – 0,35 m

MP 2: Drei Eimerproben aus einer Tiefe von 0,40 – 0,70 m

Die Wassergehaltsbestimmung ergab folgendes Ergebnis:

	Ansprache und Konsistenz DIN 4022 DIN EN ISO 14688	Wassergehalt Eimerproben	Wassergehalt Mischprobe
MP 1 0,09 – 0,35 m	Schluff, tonig, stark feinsandig Konsistenz: steif, humos	18,6 M.-% 18,4 M.-% 18,8 M.-%	18,1 M.-%
MP 2 0,4 – 0,7 m	Schluff, tonig, stark feinsandig Konsistenz: steif	17,8 M.-% 17,1 M.-% 18,5 M.-%	17,0 M.-%

Für die weiteren Untersuchungen wurde aus den Eimerproben eine Mischprobe hergestellt.

2.1 Organische Bestandteile

In den oberflächennahen Schichten waren im Boden humose Beimengungen erkennbar, daher wurde der Nachweis von abbindestörenden Stoffen durch das Natronlaugeverfahren an den maßgebenden Proben ausgeführt.

Die Reaktion mit der Natronlauge ergab folgendes Ergebnis:

	MP 1a + 1b
Verfärbung der Natronlauge	

Die bei der Reaktion mit 3%-iger Natronlauge entstandene schwarze Verfärbung der Mischprobe 1 lässt darauf schließen, dass der humose Anteil bzw. die im Boden vorhandenen Huminsäuren das Abbindeverhalten der Qualifizierten Bodenverbesserung stark beeinflussen. Die in einer Tiefe von 0,4 – 0,7 m entnommene Mischprobe 2 zeigt eine hellbraune Verfärbung. Dies bedeutet, dass das Abbindeverhalten durch die organischen Stoffe nicht maßgebend beeinflusst wird.

3.0 Untersuchungen am Boden-Bindemittel-Gemisch

3.1 Wahl des Bindemittels

Für die Durchführung der Eignungsprüfung wurde durch den Auftraggeber das Bindemittel Dorosol C30 festgelegt. Hinsichtlich der angegebenen baustofftechnischen Eigenschaften des Bindemittelherstellers entspricht dies einem Gemisch aus 70 % Zement und 30 % Branntkalk.

Die Untersuchungen am Boden-Bindemittel-Gemisch wurden in Anlehnung an die technische Prüfvorschrift TP BF-StB, Teil B 11.3, Eignungsprüfung bei Bodenverbesserungen mit Bindemitteln, Ausgabe 2010 durchgeführt.

Entsprechend den Angaben der Prüfvorschrift wurde das Boden-Bindemittel-Gemisch unter Verwendung des zementbasierenden Mischbindemittel eine Stunden lang in einem geschlossenen Behältnis gelagert, um dem Bindemittel die Sofortreaktion mit dem feuchten Boden zu ermöglichen.

Nach der Reaktionszeit erfolgten ein weiterer Mischprozess und danach die Herstellung der Probekörper mit der Verdichtungsenergie des Proctorversuches.

3.2 Abschätzung der erreichbaren Tragfähigkeit durch den CBR-Wert

Zur Beurteilung der zu erreichenden Tragfähigkeit in Abhängigkeit von der Bindemittelart und -menge wurden CBR-Versuche durchgeführt. Beim CBR-Versuch wird der Stempeldringwiderstand bei konstanter Vorschubgeschwindigkeit in Abhängigkeit von der Eindringtiefe gemessen. Der CBR-Wert errechnet sich als prozentuales Verhältnis des Stempeldruckes der untersuchten Probe zum Stempeldruck eines Standardbodens.

Für die Abschätzung der erreichbaren Tragfähigkeit wurden CBR-Versuche mit einer Bindemittelmenge von 3 M.-% nach einer Abbindezeit von 28 Tagen ausgeführt. Ermittelt wurden die CBR-Werte nach 28 Tagen Feuchtlagerung und nach 28 Tagen Feuchtlagerung und 24 Stunden Wasserlagerung.

Ergebnisse der CBR-Versuche:

	Mischprobe 1 0,09 – 0,35 m		Mischproben 2 0,4 – 0,7 m	
Bodenart und Bodengruppe	Schluff, tonig, stark feinsandig Konsistenz: steif, humos		Schluff, tonig, stark feinsandig Konsistenz: steif	
Einbauwassergehalt	ca. 18 M.-%		ca. 17 M.-%	
Bindemittel	3 % Dorosol C 30		3 % Dorosol C 30	
Prüfalter	28 Tage FL	28 Tage FL + 24 h WL	28 Tage FL	28 Tage FL + 24 h WL
CBR-Werte	14 %	9,3 %	67 %	65 %
E_{v2} – Werte¹⁺²⁾	≥ 30 – 40 MN/m ²		> 70 MN/m ²	

1) E_{v2} – Werte wurden aus den CBR-Werten abgeschätzt

2) Materialkennwert, der Einfluss des Bodens im Bereich der Wirkungstiefe wird nicht berücksichtigt

Die Ergebnisse der CBR-Versuche der Mischprobe 2 zeigen, dass nach einer Abbindezeit von 28 Tagen mit einer Bindemittelmenge von 3 M.-% die Anforderungen an eine Qualifizierte Bodenverbesserung erreicht werden. Der CBR-Wert bleibt nach 24 Stunden Wasserlagerung nahezu konstant.

Die Ergebnisse der Mischprobe 1 zeigen, dass aufgrund des humosen Anteils, der CBR-Wert die Anforderungen an eine Qualifizierte Bodenverbesserung nicht erfüllt. Aufgrund der Reduzierung des Wassergehaltes liegt die aus den Versuchsergebnissen abschätzbare Tragfähigkeit des verbesserten Bodens bei E_{v2} ≈ 35 – 40 MN/m².

3.3 Nachweis der Einaxialen Druckfestigkeit

Des Weiteren wurden an Probenkörpern $\varnothing = 100$ mm, $h = 120$ mm die Druckfestigkeit bestimmt.

Die Prüfung nach 28-Tagen ergab folgendes Ergebnis:

Lagerung Probe	28 Tage Druckfestigkeit		28 Tage + 24 h WL	
	Einzelwerte [N/mm ²]	Mittelwert [N/mm ²]	Einzelwerte [N/mm ²]	Mittelwert [N/mm ²]
MP 1 0,09 – 0,35 m	0,32 0,31 0,32	0,32	0,21 0,22 0,21	0,21
MP 2 0,4 – 0,7 m	0,9 0,85 0,85	0,86	0,80 0,73 0,77	0,77

Für die humose oberflächennahe Probe Mischprobe 1 wurde zusätzlich die Druckfestigkeit nach 51 Tagen bestimmt.

Die Prüfung nach 51-Tagen ergab folgendes Ergebnis:

Lagerung Probe	51 Tage - Druckfestigkeit		50 Tage + 24 h WL - Druckfestigkeit	
	Einzelwerte [N/mm ²]	Mittelwert [N/mm ²]	Einzelwerte [N/mm ²]	Mittelwert [N/mm ²]
MP 1 0,09 – 0,35 m	0,31 0,32	0,32	0,22 0,25	0,23

Die Ergebnisse der Druckfestigkeitsbestimmung zeigen, dass aufgrund der abbindestörenden organischen Bestandteile / Huminsäuren der oberflächennahen Mischprobe 1 die Anforderung an eine Qualifizierte Bodenverbesserung nicht erreicht werden kann. Mit einer Bindemittelmenge von 3 M.-% Dorosol C30 konnte nach 28 Tage eine Druckfestigkeit von 0,32 N/mm² nachgewiesen werden. Nach Wasserlagerung bleibt noch eine Strukturfestigkeit von ca. 0,23 N/mm² erhalten.

Eine Steigerung der Druckfestigkeit zwischen 28 Tagen und 56 Tagen konnte nicht nachgewiesen werden.

Die Ergebnisse der Druckfestigkeitsprüfung der Mischprobe 2 zeigen, dass nach einer Abbindezeit von 28 Tagen mit einer Bindemittelmenge von 3 M.-% die Anforderungen an eine Qualifizierte Bodenverbesserung erreicht werden.

3.4 Nachweis der Verdichtungseigenschaften des Boden-Bindemittel-Gemisches

Zum Nachweis der Verdichtungseigenschaften wurde an den mit 3 % Dorosol C 30 verbesserten Mischproben ein Proctorversuch nach DIN 18127 ausgeführt:

	mittlerer Ausgangswassergehalt bei Anlieferung	Ausgangswassergehalt für eine optimaler Verdichtung (Proctor)	Grenzwassergehalte für $D_{Pr} \approx 98 \%$
Mischprobe 1 3% Dorosol C 30	18,1 M.-%	16,5 M.-%	15 – 19 M.-%
Mischprobe 2 3% Dorosol C 30	17,0 M.-%	15,5 - 16 M.-%	14 – 18,5 M.-%

Unter Verwendung der Mindestbindemittelmenge für die Ausführung einer Qualifizierten Bodenverbesserung von 3 M.-% kann der geforderte Verdichtungsgrad von $D_{Pr} \geq 98 \%$ erreicht werden.

4.0 Empfehlungen für die Ausführung der Bodenverbesserung

Als Grundlage für die Eignungsprüfung wurden durch den Auftraggeber folgende Anforderungen einer Qualifizierten Bodenverbesserung gemäß den ZTV E-StB 09 zugrunde gelegt.

- **Anforderung an die Tragfähigkeit:** $E_{v2} \geq 70 \text{ MN/m}^2$
- **Anforderung an die Verdichtung:** $D_{Pr} \geq 98 \%$

Zum Nachweis der Tragfähigkeit wurden im Rahmen der Eignungsprüfung CBR-Versuche und einaxiale Druckversuche durchgeführt.

Nach den Laborergebnissen kann die geforderte Tragfähigkeit und Dauerhaftigkeit einer Qualifizierten Bodenverbesserung mit der untersuchten Bindemittelmenge von 3 M.-% des Bindemittels Dorosol C30 für die oberflächennahe Mischprobe MP1 aus einer Tiefe von 0,09 – 0,35 m nicht nachgewiesen werden. Es kann lediglich eine Strukturfestigkeit / Tragfähigkeit von $E_{v2} \approx 30 \text{ MN/m}^2$ abgeschätzt werden. Dies lässt sich auf die organischen Bestandteile / Huminsäuren der oberflächennahen Probe zurückführen. Erfahrungsgemäß führt eine Erhöhung der Bindemittelmenge nur zu einer geringen Verbesserung der Tragfähigkeit. Eine ausreichende Verdichtung von $D_{Pr} \geq 98 \%$ kann aufgrund des günstigen Ausgangswassergehaltes erreicht werden.

Die Untersuchungsergebnisse der Mischprobe 2 (Tiefe 0,4 – 0,7 m) zeigen, dass nach einer Abbindezeit von 28 Tagen mit einer Bindemittelmenge von 3 M.-% die Anforderungen an eine Qualifizierte Bodenverbesserung mit ausreichender Sicherheit erreicht werden.

Für die Ausführung der Qualifizierten Bodenverbesserung mit dem in einer Tiefe von 0,4 – 0,7 m anstehenden Boden empfehlen wir für das Erdplanum folgende Ausstreumengen:

	Bindemittelmenge	Ausstreumenge
Erdplanum	3 % Dorosol C 30	54 kg/m ³ Frästiefe 40 cm: 22 kg/m ²

Bei den durchgeführten Laboruntersuchungen wurden Austrocknungseffekte aufgrund einer sehr günstigen Witterung bei Bauausführung nicht berücksichtigt.

Liegt der Boden bei Bauausführung aufgrund der aktuellen Witterung deutlich feuchter vor, sollte der Wassergehalt nochmals bestimmt und die Bindemittelmenge auf die Ausgangsbedingungen angepasst werden.

Biberach, 29.08.2016

Leiter der Prüfstelle



Prof. Dipl.-Ing. Rolf Schrodi



Von der Industrie- und Handelskammer
 Ulm öffentlich bestellter und
 vereidigter Sachverständiger für
 Erd- und Grundbau; Felsböschungen



M.Sc. Dpl.-Ing. (FH) Monika Schad

5.0 DIN Normen, Regelwerke und Unterlagen

- [1] DIN 18121 Baugrund; Untersuchungen von Bodenproben, Wassergehalt, Bestimmung durch Ofentrocknung, April 1998
- [2] DIN 18127 Baugrund, Untersuchungen von Bodenproben, Proctorversuch
- [3] TP BF-StB, Teil B 7.1 Prüfverfahren zur Bestimmung des CBR-Wertes, Ausgabe 2012
- [4] DIN 18196 Erd- und Grundbau; Bodenklassifikation für bautechnische Zwecke, 2011
- [5] TP BF-StB, Teil B 11.3 Eignungsprüfung bei Bodenverbesserungen mit Bindemitteln
FGSV, Arbeitsgruppe Erd- und Grundbau, Ausgabe 2010
- [6] ZTVE-StB 09 Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für
Erdarbeiten im Straßenbau, FGSV Ausgabe 2009
- [7] Merkblatt zur Herstellung, Wirkungsweise und Anwendung von Mischbindemitteln, FGSV 2012
- [8] Merkblatt über Bodenverfestigungen und Bodenverbesserungen mit Bindemittel, FGSV 2004
- [9] Untersuchungen zum Reaktionsverhalten von Mischbindemitteln zur Bodenbehandlung,
Forschung, Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 939, Ausgabe 2006

Wassergehalt nach DIN 18 121

L1740

Eignungsprüfung Qualifizierte Bodenverbesserung

Bearbeiter: Thomma

Datum: 04.07.2016

Prüfungsnummer:

Entnahmestelle:

Tiefe:

Bodenart: Schluff, tonig, stark feinsandig

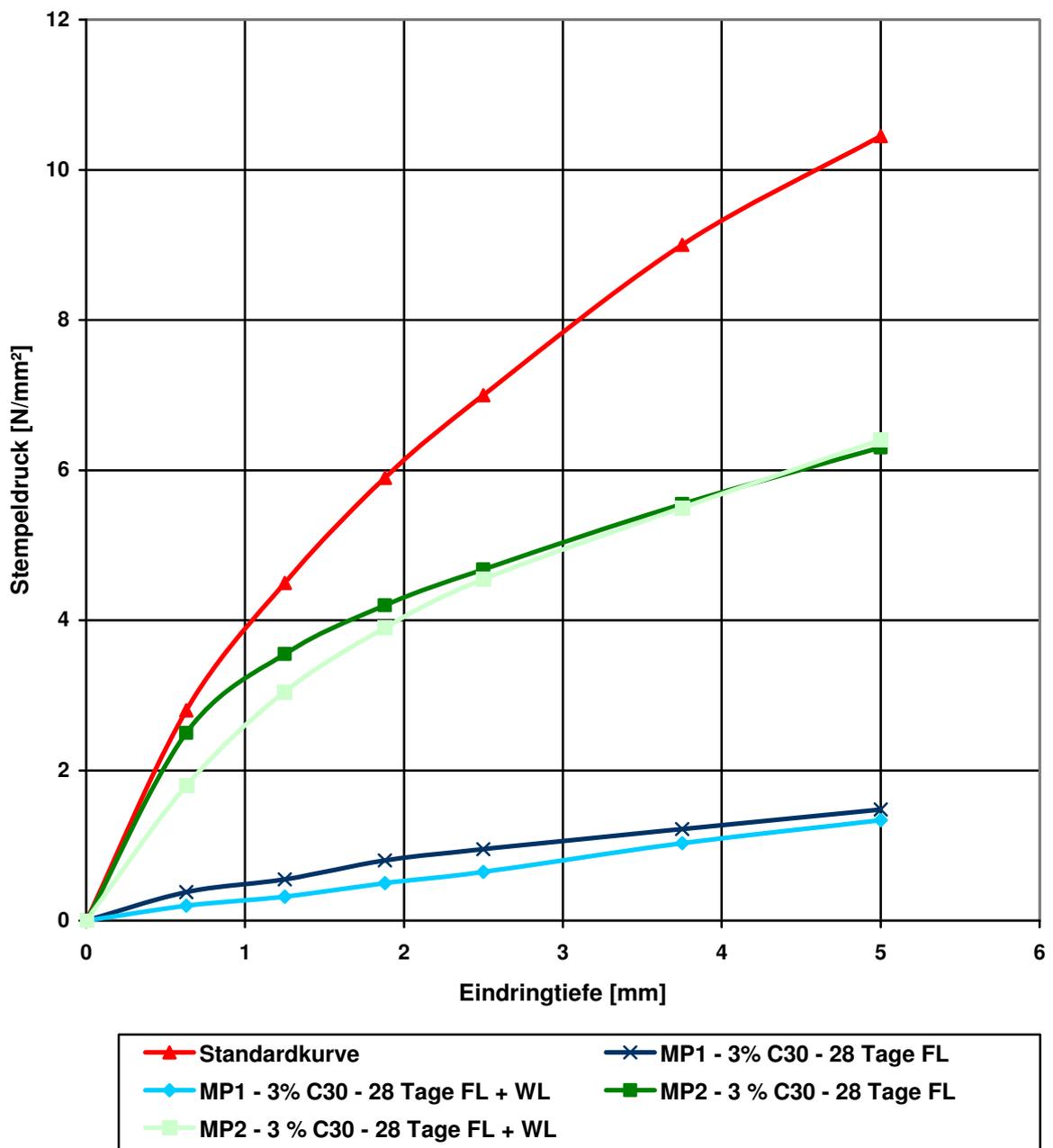
Art der Entnahme: gestörte Probe

Probe entnommen am: 29.06.2016 (Krauss)

Probenbezeichnung:	1/1-0,09-0,35m	1/2-0,09-0,35m	1/3-0,09-0,35m
Feuchte Probe + Behälter [g]:	346.52	333.88	349.94
Trockene Probe + Behälter [g]:	325.62	314.71	327.73
Behälter [g]:	213.19	210.24	209.53
Porenwasser [g]:	20.90	19.17	22.21
Trockene Probe [g]:	112.43	104.47	118.20
Wassergehalt [%]	18.59	18.35	18.79

Probenbezeichnung:	2/1-0,4-0,70m	2/2-0,4-0,70m	2/3-0,4-0,70m
Feuchte Probe + Behälter [g]:	335.05	308.92	327.61
Trockene Probe + Behälter [g]:	316.55	294.43	309.28
Behälter [g]:	212.62	209.85	209.96
Porenwasser [g]:	18.50	14.49	18.33
Trockene Probe [g]:	103.93	84.58	99.32
Wassergehalt [%]	17.80	17.13	18.46

CBR-Versuch



Probe	Bindemittel- gehalt	CBR-Wert bei 2,5mm	
		6 Tage	7 Tage + 24 h WL
Mischprobe 1 0,09 – 0,35 m	3% Dorosol C30	14 %	9,3 %
Mischprobe 2 0,40 – 0,70 m	3% Dorosol C30	67 %	65 %

Hochschule Biberach Prüfstelle für Geotechnik Prof. Dipl.-Ing. R. Schrodi Karlstraße 7, 88400 Biberach	L1740 – Eignungsprüfung Qualifizierte Bodenverbesserung Ergebnisse der CBR-Versuche – MP1 / MP2	Datum: 08.08.2016
		Anlage: 2

Einaxiale Druckfestigkeit (Zylinder)

Projekt:

L1740

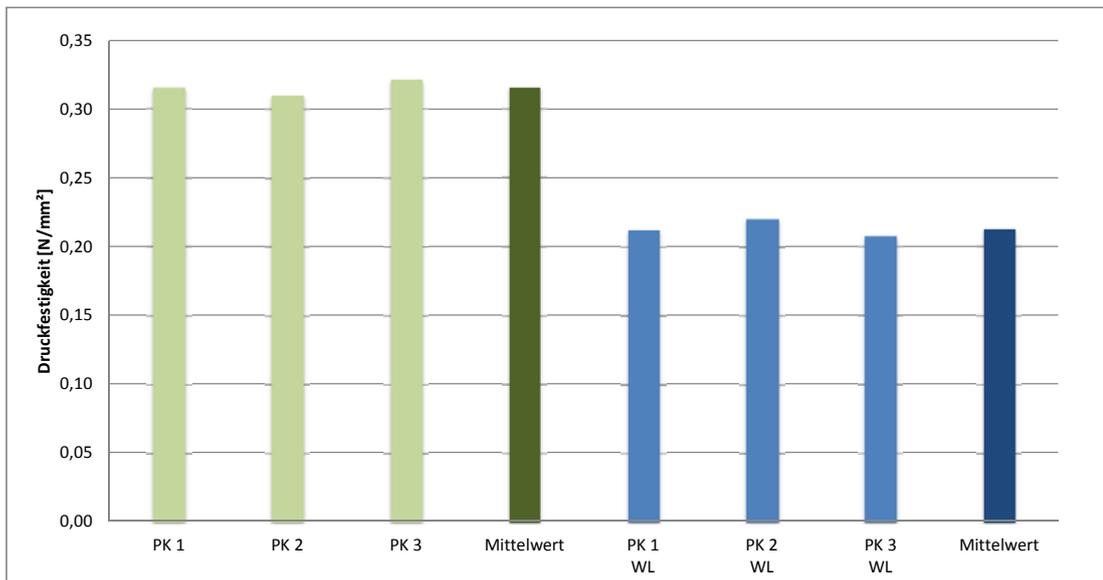
Einaxiale Druckversuche der Qualifizierten Bodenverbesserung

Entnahmestellen:

0,09 - 0,35 m + 3% Dorosol C30

Probenherstellung:	04.07.2016	04.07.2016	04.07.2016	04.07.2016	04.07.2016	04.07.2016
Probenprüfung:	01.08.2016	01.08.2016	01.08.2016	02.08.2016	02.08.2016	02.08.2016

Probe Nr.		PK 1 28 Tage	PK 2 28 Tage	PK 3 28 Tage	PK 1 28 d + 1 d WL	PK 2 28 d + 1 d WL	PK 3 28 d + 1 d WL
Durchmesser d	[mm]	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Probenhöhe h	[mm]	122,5	122,1	122,9	122,6	122,5	122,1
Fläche A	[mm ²]	7854,0	7854,0	7854,0	7854,0	7854,0	7854,0
Volumen V	[cm ³]	962,1	959,0	965,3	962,9	962,1	959,0
Feuchtmasse m	[g]	1933,5	1931,3	1935,3	1941,1	1929,2	1937,3
Feuchtdichte ρ	[g/cm ³]	2,01	2,01	2,00	2,02	2,01	2,02
Bruchlast F	[kN]	2,48	2,44	2,53	1,67	1,73	1,63
Druckfestigkeit q	[N/mm ²]	0,32	0,31	0,32	0,21	0,22	0,21
Mittelwert	[N/mm ²]	0,32			0,21		



Hochschule Biberach Prüfstelle für Geotechnik Karlstraße 7 88400 Biberach	Mischprobe 1 Einaxiale Druckfestigkeit der Qualifizierten Bodenverbesserung	Anlage: 3.1.1 Datum: 02.08.2016
--	--	------------------------------------

Einaxiale Druckfestigkeit (Zylinder)

Projekt:

L1740

Einaxiale Druckversuche der Qualifizierten Bodenverbesserung

Entnahmestellen:

0,09 - 0,35 m + 3% Dorosol C30

Probenherstellung:

04.07.2016

04.07.2016

04.07.2016

04.07.2016

Probenprüfung:

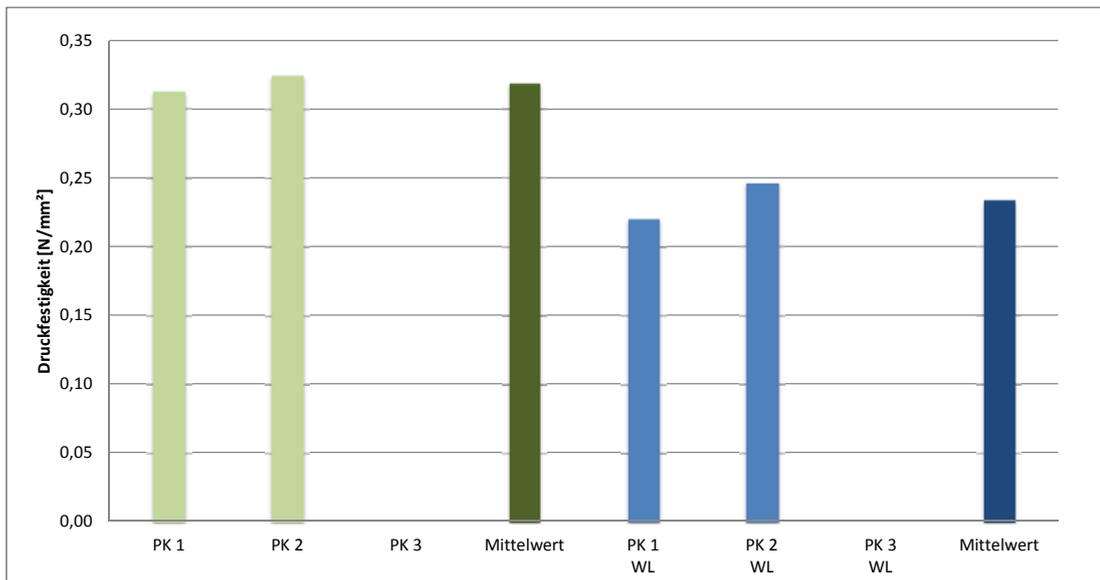
24.08.2016

24.08.2016

24.08.2016

24.08.2016

Probe Nr.		PK 1 51 Tage	PK 2 51 Tage		PK 1 50 d + 1 d WL	PK 2 50 d + 1 d WL	
Durchmesser d	[mm]	100,1	100,0		100,0	100,1	
Probenhöhe h	[mm]	124,6	123,6		124,5	124,2	
Fläche A	[mm ²]	7869,7	7854,0		7854,0	7869,7	
Volumen V	[cm ³]	980,6	970,8		977,8	977,4	
Feuchtmasse m	[g]	1922,9	1922,7		1924,0	1922,7	
Feuchtdichte ρ	[g/cm ³]	1,96	1,98		1,97	1,97	
Bruchlast F	[kN]	2,46	2,55		1,73	1,94	
Druckfestigkeit q	[N/mm ²]	0,31	0,32		0,22	0,25	
Mittelwert	[N/mm ²]	0,32			0,23		



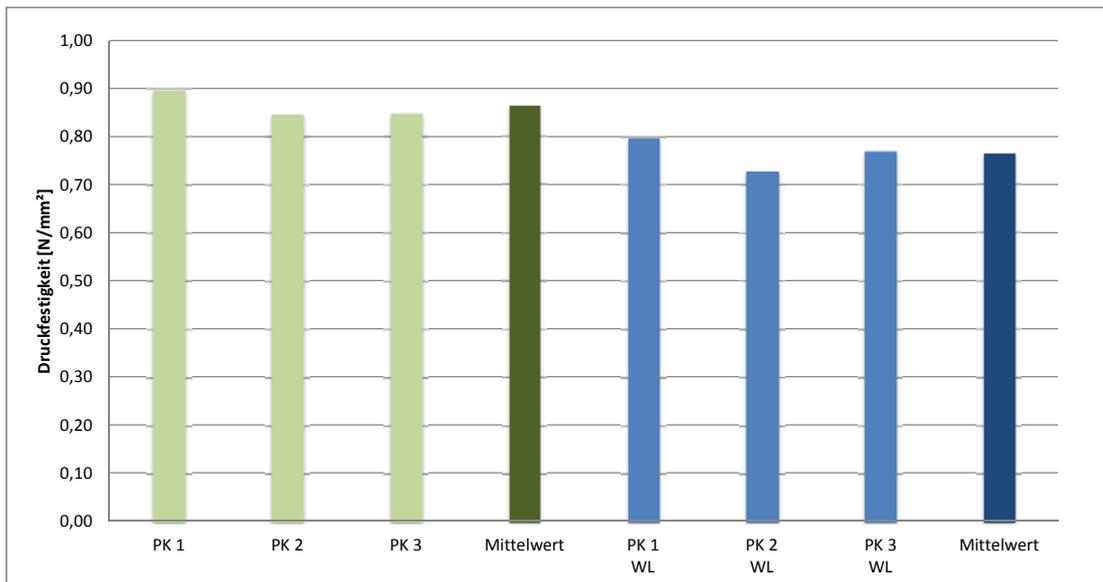
Hochschule Biberach Prüfstelle für Geotechnik Karlstraße 7 88400 Biberach	Mischprobe 1 Einaxiale Druckfestigkeit der verbesserten Probekörper	Anlage: 3.1.2
		Datum: 02.08.2016

Einaxiale Druckfestigkeit (Zylinder)

Projekt: L1740
Einaxiale Druckversuche der Qualifizierten Bodenverbesserung
Entnahmestellen: 0,4 - 0,7 m + 3% Dorosol C30

Probenherstellung: 04.07.2016 04.07.2016 04.07.2016 04.07.2016 04.07.2016 04.07.2016
Probenprüfung: 01.08.2016 01.08.2016 01.08.2016 02.08.2016 02.08.2016 02.08.2016

Probe Nr.		PK 1 28 Tage	PK 2 28 Tage	PK 3 28 Tage	PK 1 28 d + 1 d WL	PK 2 28 d + 1 d WL	PK 3 28 d + 1 d WL
Durchmesser d	[mm]	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Probenhöhe h	[mm]	119,2	119,6	119,8	118,7	118,9	118,4
Fläche A	[mm ²]	7854,0	7854,0	7854,0	7854,0	7854,0	7854,0
Volumen V	[cm ³]	936,2	939,3	940,9	932,3	933,8	929,9
Feuchtmasse m	[g]	1918,0	1927,2	1923,2	1928,7	1930,8	1929,7
Feuchtdichte p	[^g/cm³]	2,05	2,05	2,04	2,07	2,07	2,08
Bruchlast F	[kN]	7,05	6,66	6,67	6,27	5,73	6,05
Druckfestigkeit q	[^N/mm²]	0,90	0,85	0,85	0,80	0,73	0,77
Mittelwert	[^N/mm²]	0,86			0,77		



Hochschule Biberach Prüfstelle für Geotechnik Karlstraße 7 88400 Biberach	Einaxiale Druckfestigkeit der Qualifizierten Bodenverbesserung	Anlage: 3.2
		Datum: 02.08.2016

Proctorkurve

L1740
 Qualifizierte Bodenverbesserung
 3% Dorosol C30

Bearbeiter: Thomma

Datum: 08.07.2016

Prüfungsnummer:

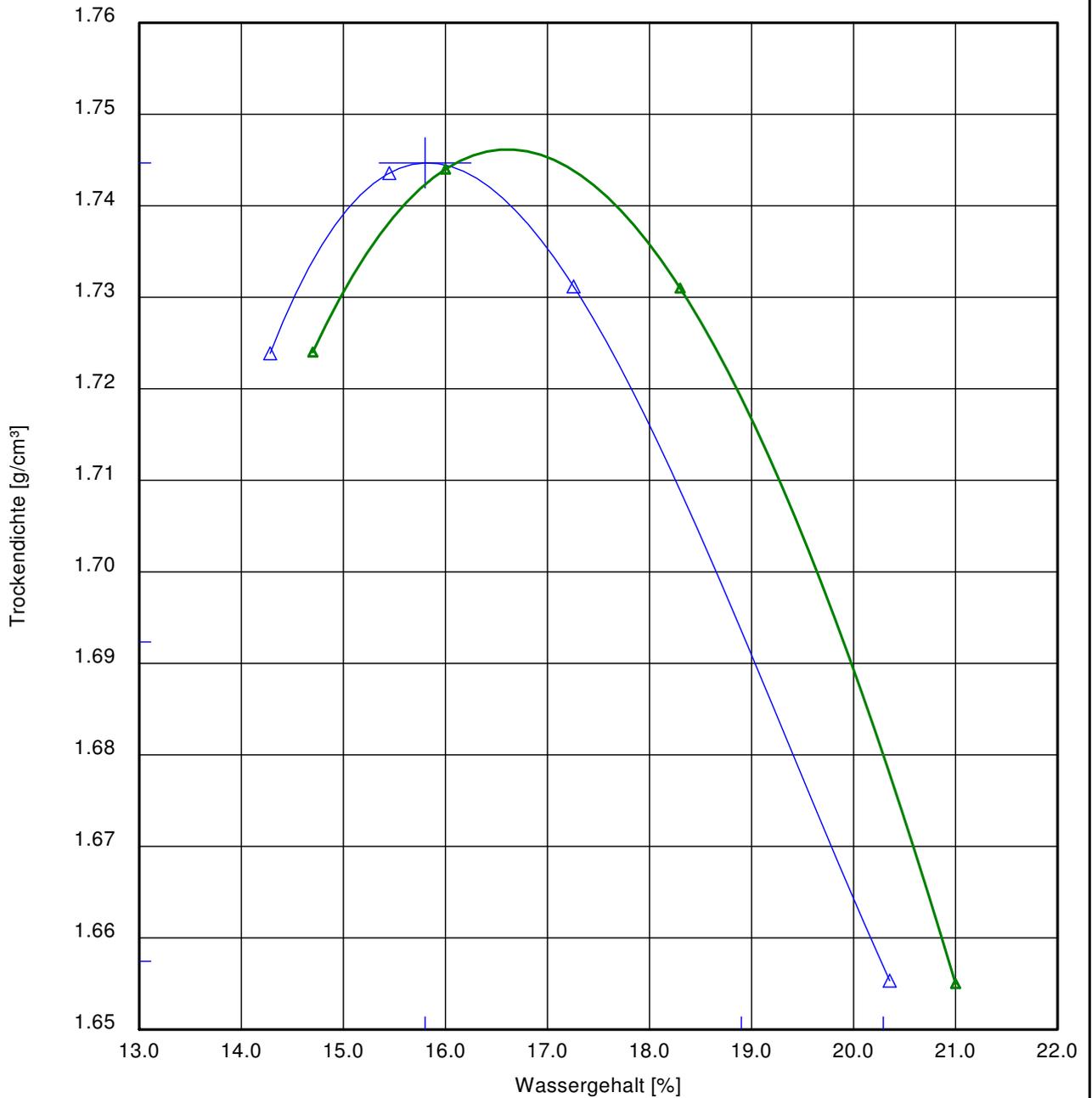
Entnahmestelle:

Tiefe: 0,09 - 0,35 m

Art der Entnahme: gestörte Probe

Bodenart: Schluff, tonig, stark feinsandig - humos

Probe entnommen am: 29.06.2016



100 % der Proctordichte $\rho_{Pr} = 1.745 \text{ g/cm}^3$

Optimaler Wassergehalt $w_{Pr} = 15.8 \%$

97.0 % der Proctordichte $\rho_d = 1.692 \text{ g/cm}^3$

min/max Wassergehalt $w = - / 18.9 \%$

95.0 % der Proctordichte $\rho_d = 1.657 \text{ g/cm}^3$

min/max Wassergehalt $w = - / 20.3 \%$

Proctorkurve

L1740
 Qualifizierte Bodenverbesserung
 3% Dorosol C30

Bearbeiter: Thomma

Datum: 08.07.2016

Prüfungsnummer:

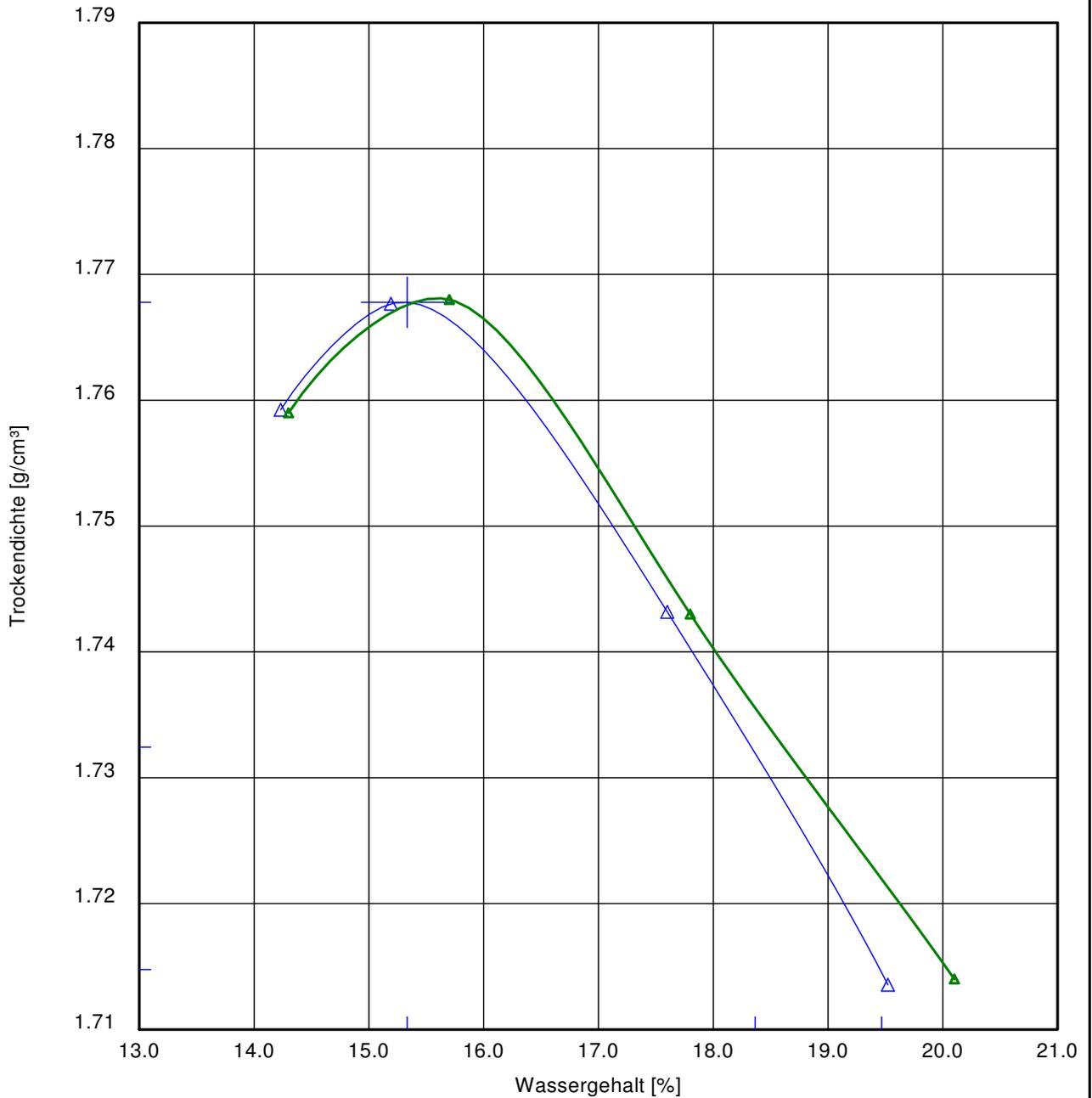
Entnahmestelle: MP 2

Tiefe: 0,4 - 0,7 m

Art der Entnahme: gestörte Probe

Bodenart: Schluff, tonig, stark feinsandig

Probe entnommen am: 29.06.2016



100 % der Proctordichte $\rho_{Pr} = 1.768 \text{ g/cm}^3$

Optimaler Wassergehalt $w_{Pr} = 15.3 \%$

98.0 % der Proctordichte $\rho_d = 1.732 \text{ g/cm}^3$

min/max Wassergehalt $w = - / 18.4 \%$

97.0 % der Proctordichte $\rho_d = 1.715 \text{ g/cm}^3$

min/max Wassergehalt $w = - / 19.5 \%$

**Bodenverbesserung von PFC belasteten Böden
Analytik Originalboden**

SGS INSTITUT FRESENIUS GmbH Güttinger Straße 37 D-78315 Radolfzell

gsk Krauss
Moorentenstr. 7
88410 Bad Wurzbach

Prüfbericht 3014168
Auftrags Nr. 3804793
Kunden Nr. 10149567

Herr Peter Breig
Telefon +49 7732/94162-30
Fax +49 89/125040640-90

Environment, Health and Safety

SGS INSTITUT FRESENIUS GmbH
Güttinger Straße 37
D-78315 Radolfzell



Radolfzell, den 18.07.2016

Ihr Auftrag/Projekt: Leiberstung
Ihr Bestellzeichen: .
Ihr Bestelldatum: 01.07.2016

Prüfzeitraum von 04.07.2016 bis 18.07.2016
erste laufende Probenummer 160677028
Probeneingang am 04.07.2016

SGS INSTITUT FRESENIUS

i.V. Peter Breig
Projektleiter

i.A. Björn Menberg
Projektleiter

Leiberstung

Prüfbericht Nr. 3014168
Auftrag Nr. 3804793

Seite 2 von 4
18.07.2016

Proben durch IF-Kurier abgeholt Matrix: Boden

Probennummer	160677028	160677029	160677030
Bezeichnung	L 1748 0,05-0,35m	L 1748 0,4-0,7m	L 1748 1,6m

Eingangsdatum:	04.07.2016	04.07.2016	04.07.2016
----------------	------------	------------	------------

Parameter	Einheit				Bestimmungs Methode -grenze	Lab
-----------	---------	--	--	--	--------------------------------	-----

Feststoffuntersuchungen :

Trockensubstanz	Masse-%	83,8	83,8	85,6	0,1	DIN EN 14346	HE
-----------------	---------	------	------	------	-----	--------------	----

Proben durch IF-Kurier abgeholt Matrix: Boden

Probennummer	160677031
Bezeichnung	L 1742 1,5m

Eingangsdatum:	04.07.2016
----------------	------------

Parameter	Einheit				Bestimmungs Methode -grenze	Lab
-----------	---------	--	--	--	--------------------------------	-----

Feststoffuntersuchungen :

Trockensubstanz	Masse-%	87,0			0,1	DIN EN 14346	HE
-----------------	---------	------	--	--	-----	--------------	----

Leiberstung

Prüfbericht Nr. 3014168
Auftrag Nr. 3804793

Seite 3 von 4
18.07.2016

Proben durch IF-Kurier abgeholt

Matrix: Boden

Probennummer	160677028	160677029	160677030
Bezeichnung	L 1748 0,05-0,35m	L 1748 0,4-0,7m	L 1748 1,6m
Eingangsdatum:	04.07.2016	04.07.2016	04.07.2016

Parameter	Einheit				Bestimmungs Methode -grenze	Lab
PFT :						
Perfluorbutansäure	µg/l	0,02	0,04	< 0,01	0,01	DIN 38407 - 42 TS
Perfluorbutansulfonsäure	µg/l	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,01	DIN 38407 - 42 TS
Perfluorpentansäure	µg/l	0,04	0,09	0,02	0,01	DIN 38407 - 42 TS
Perfluorhexansäure	µg/l	0,03	0,06	0,04	0,01	DIN 38407 - 42 TS
Perfluorhexansulfon- säure	µg/l	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,01	DIN 38407 - 42 TS
Perfluorheptansäure	µg/l	0,04	0,05	0,05	0,01	DIN 38407 - 42 TS
Perfluoroctansäure	µg/l	0,24	0,24	0,17	0,01	DIN 38407 - 42 TS
Perfluoroctansulfonsäure	µg/l	0,05	0,01	< 0,01	0,01	DIN 38407 - 42 TS
Perfluoroctansulfonsäure amid	µg/l	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,1	DIN 38407 - 42 TS
Perfluomonansäure	µg/l	0,10	0,02	< 0,01	0,01	DIN 38407 - 42 TS
Perfluordecansäure	µg/l	0,19	0,01	< 0,01	0,01	DIN 38407 - 42 TS
Perfluordecansulfonsäure	µg/l	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,01	DIN 38407 - 42 TS
Perfluordodecansäure	µg/l	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,01	DIN 38407 - 42 TS
Summe nachgewiesener PFT	µg/l	0,71	0,52	0,28	0,01	TS

Leiberstung

Prüfbericht Nr. 3014168

Seite 4 von 4

Auftrag Nr. 3804793

18.07.2016

Proben durch IF-Kurier abgeholt Matrix: Boden

Probennummer 160677031
 Bezeichnung L 1742
 1,5m

Eingangsdatum: 04.07.2016

Parameter	Einheit		Bestimmungs Methode -grenze	Lab
PFT :				
Perfluorbutansäure	µg/l	< 0,01	0,01	DIN 38407 - 42 TS
Perfluorbutansulfonsäure	µg/l	< 0,01	0,01	DIN 38407 - 42 TS
Perfluorpentansäure	µg/l	0,03	0,01	DIN 38407 - 42 TS
Perfluorhexansäure	µg/l	0,04	0,01	DIN 38407 - 42 TS
Perfluorhexansulfon- säure	µg/l	< 0,01	0,01	DIN 38407 - 42 TS
Perfluorheptansäure	µg/l	0,05	0,01	DIN 38407 - 42 TS
Perfluoroctansäure	µg/l	0,51	0,01	DIN 38407 - 42 TS
Perfluoroctansulfonsäure	µg/l	< 0,01	0,01	DIN 38407 - 42 TS
Perfluoroctansulfonsäure amid	µg/l	< 0,1	0,1	DIN 38407 - 42 TS
Perfluomonansäure	µg/l	< 0,01	0,01	DIN 38407 - 42 TS
Perfluordecansäure	µg/l	< 0,01	0,01	DIN 38407 - 42 TS
Perfluordecansulfonsäure	µg/l	< 0,01	0,01	DIN 38407 - 42 TS
Perfluordodecansäure	µg/l	< 0,01	0,01	DIN 38407 - 42 TS
Summe nachgewiesener PFT	µg/l	0,63	0,01	TS

Die Laborstandorte der SGS Gruppe Deutschland und Schweiz gemäß den oben genannten Kürzeln sind aufgeführt unter <http://www.institut-fresenius.de/filestore/89/laborstandortkuerzelsgs2.pdf>.

**Bodenverbesserung von PFC belasteten Böden
Analytik Kalk – Zement stabilisierte Probenkörper**

SGS INSTITUT FRESENIUS GmbH Güttinger Straße 37 D-78315 Radolfzell

gsk Krauss
Moorentenstr. 7
88410 Bad Wurzbach

Prüfbericht 3056910
Auftrags Nr. 3841562
Kunden Nr. 10149567

Herr Peter Breig
Telefon +49 7732/94162-30
Fax +49 89/125040640-90

Environment, Health and Safety

SGS INSTITUT FRESENIUS GmbH
Güttinger Straße 37
D-78315 Radolfzell



Radolfzell, den 25.08.2016

Ihr Auftrag/Projekt: Projekt L 1748 Prüfkörper
Ihr Bestellzeichen: .
Ihr Bestelldatum: 05.08.2016

Prüfzeitraum von 08.08.2016 bis 23.08.2016
erste laufende Probenummer 160738460
Probeneingang am 05.08.2016

Sehr geehrte Damen und Herren,

nachstehend erhalten Sie die Analysenergebnisse der uns zum o.g. Projekt übergebenen Probe(n).

Das Eluat wurde als 1:10 Trogeluat hergestellt.

Wir bitten Sie die Ergebnisse auszuwerten und stehen Ihnen für Rückfragen gerne zur Verfügung.

Mit freundlichen Grüßen

SGS INSTITUT FRESENIUS

i.V. Peter Breig
Projektleiter


i.A. Björn Menberg
Projektleiter

Seite 1 von 4

Projekt L 1748 Prüfkörper

Prüfbericht Nr. 3056910
Auftrag Nr. 3841562

Seite 2 von 4
25.08.2016

Proben von Ihnen gebracht		Matrix: Boden				
Probennummer		160738460	160738461	160738462		
Bezeichnung		0,09-0,35 m A 3% C30 05.07.16	0,09-0,35 m B 3% C30 05.07.16	0,4-0,7 m A 3% C30 04.07.16		
Eingangsdatum:		05.08.2016	05.08.2016	05.08.2016		
Parameter	Einheit				Bestimmungs Methode -grenze	Lab
Feststoffuntersuchungen :						
Trockensubstanz	Masse-%	86,8	86,6	86,8	0,1	DIN EN 14346 HE
Eluatuntersuchungen :						
Trogeluat (T1)						LAGA EW 98 T HE
Proben von Ihnen gebracht		Matrix: Boden				
Probennummer		160738463				
Bezeichnung		0,4-0,7 m B 3% C30 04.07.16				
Eingangsdatum:		05.08.2016				
Parameter	Einheit				Bestimmungs Methode -grenze	Lab
Feststoffuntersuchungen :						
Trockensubstanz	Masse-%	86,8			0,1	DIN EN 14346 HE
Eluatuntersuchungen :						
Trogeluat (T1)						LAGA EW 98 T HE

Projekt L 1748 Prüfkörper

Prüfbericht Nr. 3056910

Seite 3 von 4

Auftrag Nr. 3841562

25.08.2016

Proben von Ihnen gebracht

Matrix: Boden

Probennummer	160738460	160738461	160738462
Bezeichnung	0,09-0,35 m A 3% C30	0,09-0,35 m B 3% C30	0,4-0,7 m A 3% C30
Eingangsdatum:	05.07.16	05.07.16	04.07.16
	05.08.2016	05.08.2016	05.08.2016

Parameter	Einheit				Bestimmungs Methode -grenze	Lab
PFT :						
Perfluorbutansäure	µg/l	< 0,10	< 0,10	< 0,10	0,01	DIN 38407 - 42 TS
Perfluorbutansulfonsäure	µg/l	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,01	DIN 38407 - 42 TS
Perfluorpentansäure	µg/l	0,05	0,04	0,06	0,01	DIN 38407 - 42 TS
Perfluorhexansäure	µg/l	0,03	0,03	0,04	0,01	DIN 38407 - 42 TS
Perfluorhexansulfon- säure	µg/l	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,01	DIN 38407 - 42 TS
Perfluorheptansäure	µg/l	0,02	0,02	0,03	0,01	DIN 38407 - 42 TS
Perfluorheptansulfon- säure (PFHpS)	µg/l	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,01	DIN 38407 - 42 TS
Perfluoroctansäure	µg/l	0,05	0,05	0,09	0,01	DIN 38407 - 42 TS
Perfluoroctansulfonsäure	µg/l	0,01	0,01	< 0,01	0,01	DIN 38407 - 42 TS
Perfluoroctansulfonsäure amid	µg/l	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,1	DIN 38407 - 42 TS
Perfluormonansäure	µg/l	0,02	0,02	< 0,01	0,01	DIN 38407 - 42 TS
Perfluordecansäure	µg/l	0,05	0,04	< 0,01	0,01	DIN 38407 - 42 TS
Perfluordecansulfonsäure	µg/l	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,01	DIN 38407 - 42 TS
1H,1H,2H,2H- Perfluoroctansulfonsäure	µg/l	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,01	DIN 38407 - 42 TS
Summe nachgewiesener PFT	µg/l	0,23	0,21	0,22	0,01	TS

Projekt L 1748 Prüfkörper

Prüfbericht Nr. 3056910

Seite 4 von 4

Auftrag Nr. 3841562

25.08.2016

Proben von Ihnen gebracht Matrix: Boden

Probennummer	160738463
Bezeichnung	0,4-0,7 m B 3% C30 04.07.16
Eingangsdatum:	05.08.2016

Parameter	Einheit		Bestimmungs -grenze	Methode	Lab
PFT :					
Perfluorbutansäure	µg/l	< 0,10	0,01	DIN 38407 - 42	TS
Perfluorbutansulfonsäure	µg/l	< 0,01	0,01	DIN 38407 - 42	TS
Perfluorpentansäure	µg/l	0,06	0,01	DIN 38407 - 42	TS
Perfluorhexansäure	µg/l	0,04	0,01	DIN 38407 - 42	TS
Perfluorhexansulfon- säure	µg/l	< 0,01	0,01	DIN 38407 - 42	TS
Perfluorheptansäure	µg/l	0,02	0,01	DIN 38407 - 42	TS
Perfluorheptansulfon- säure (PFHpS)	µg/l	< 0,01	0,01	DIN 38407 - 42	TS
Perfluoroctansäure	µg/l	0,07	0,01	DIN 38407 - 42	TS
Perfluoroctansulfonsäure	µg/l	< 0,01	0,01	DIN 38407 - 42	TS
Perfluoroctansulfonsäure	µg/l	< 0,1	0,1	DIN 38407 - 42	TS
amid					
Perfluomonansäure	µg/l	< 0,01	0,01	DIN 38407 - 42	TS
Perfluordecansäure	µg/l	< 0,01	0,01	DIN 38407 - 42	TS
Perfluordecansulfonsäure	µg/l	< 0,01	0,01	DIN 38407 - 42	TS
1H, 1H, 2H, 2H- Perfluoroctansulfonsäure	µg/l	< 0,01	0,01	DIN 38407 - 42	TS
Summe nachgewiesener PFT	µg/l	0,19	0,01		TS

Die Laborstandorte der SGS Gruppe Deutschland und Schweiz gemäß den oben genannten Kürzeln sind aufgeführt unter <http://www.institut-fresenius.de/filestore/89/laborstandortkuerzelsgs2.pdf>.

**Bodenverbesserung von PFC belasteten Böden
Analytik gebrochene Kalk – Zement stabilisierte Probenkörper**

SGS INSTITUT FRESENIUS GmbH Güttinger Straße 37 D-78315 Radolfzell

gsk Krauss
Moorentenstr. 7
88410 Bad Wurzbach

Prüfbericht 3085469
Auftrags Nr. 3877582
Kunden Nr. 10149567

Herr Peter Breig
Telefon +49 7732/94162-30
Fax +49 89/125040640-90

Environment, Health and Safety

SGS INSTITUT FRESENIUS GmbH
Güttinger Straße 37
D-78315 Radolfzell



Radolfzell, den 19.09.2016

Ihr Auftrag/Projekt: Leiberstung
Ihr Bestellzeichen: .
Ihr Bestelldatum: 06.09.2016

Prüfzeitraum von 08.09.2016 bis 19.09.2016
erste laufende Probennummer 160932568
Probeneingang am 07.09.2016

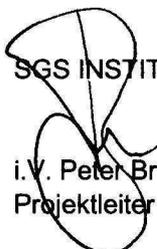
Sehr geehrte Damen und Herren,

nachstehend erhalten Sie die Analysenergebnisse der uns zum o.g. Projekt übergebenen Probe(n).

Das Eluat wurde als 1:10 Trogeluat hergestellt.

Wir bitten Sie die Ergebnisse auszuwerten und stehen Ihnen für Rückfragen gerne zur Verfügung.

Mit freundlichen Grüßen



SGS INSTITUT FRESENIUS
i. V. Peter Breig
Projektleiter



i. A. Björn Menberg
Projektleiter

Seite 1 von 3

Leiberstung

Prüfbericht Nr. 3085469
Auftrag Nr. 3877582

Seite 2 von 3
19.09.2016

Proben von Ihnen übergeben

Matrix: Feststoff

Probennummer	160932568	160932568 T1	160932569
Bezeichnung	LH 1748 0,05-0,35 LZ 56t, verg.	LH 1748 0,05-0,35 LZ 56t, verg.	LH 1748 0,4-0,7m LZ 56t, verg.
Eingangsdatum:	07.09.2016	07.09.2016	07.09.2016

Parameter	Einheit			Bestimmungs Methode -grenze	Lab
Feststoffuntersuchungen :					
Trockensubstanz	Masse-%	85,8	-	86,3	0,1 DIN EN 14346 HE
Eluatuntersuchungen :					
Trogeuat (T1)		-		-	LAGA EW 98 T HE

Proben von Ihnen übergeben

Matrix: Feststoff

Probennummer	160932569 T1
Bezeichnung	LH 1748 0,4-0,7m LZ 56t, verg.
Eingangsdatum:	07.09.2016

Parameter	Einheit		Bestimmungs Methode -grenze	Lab
Eluatuntersuchungen :				
Trogeuat (T1)			LAGA EW 98 T	HE

Leiberstung

Prüfbericht Nr. 3085469
Auftrag Nr. 3877582

Seite 3 von 3
19.09.2016

Proben von Ihnen übergeben

Matrix: Feststoff

Probennummer	160932568	160932569
Bezeichnung	LH 1748 0,05-0,35 LZ 56t, verg.	LH 1748 0,4-0,7m LZ 56t, verg.
Eingangsdatum:	07.09.2016	07.09.2016

Parameter	Einheit			Bestimmungs Methode -grenze	Lab
PFT :					
Perfluorbutansäure	µg/l	< 0,20	0,05	0,01	DIN 38407 - 42 TS
Perfluorbutansulfonsäure	µg/l	< 0,01	< 0,01	0,01	DIN 38407 - 42 TS
Perfluorpentansäure	µg/l	0,09	0,14	0,01	DIN 38407 - 42 TS
Perfluorhexansäure	µg/l	0,07	0,10	0,01	DIN 38407 - 42 TS
Perfluorhexansulfon- säure	µg/l	< 0,01	< 0,01	0,01	DIN 38407 - 42 TS
Perfluorheptansäure	µg/l	0,05	0,07	0,01	DIN 38407 - 42 TS
Perfluorheptansulfon- säure (PFHpS)	µg/l	< 0,01	< 0,01	0,01	DIN 38407 - 42 TS
Perfluoroctansäure	µg/l	0,19	0,27	0,01	DIN 38407 - 42 TS
Perfluoroctansulfonsäure	µg/l	0,02	0,01	0,01	DIN 38407 - 42 TS
Perfluoroctansulfonsäure amid	µg/l	< 0,1	< 0,1	0,1	DIN 38407 - 42 TS
Perfluomonansäure	µg/l	0,04	0,02	0,01	DIN 38407 - 42 TS
Perfluordecansäure	µg/l	0,06	< 0,01	0,01	DIN 38407 - 42 TS
Perfluordecansulfonsäure	µg/l	< 0,01	< 0,01	0,01	DIN 38407 - 42 TS
1H,1H,2H,2H- Perfluoroctansulfonsäure	µg/l	< 0,01	< 0,01	0,01	DIN 38407 - 42 TS
Summe nachgewiesener PFT	µg/l	0,52	0,66	0,01	TS

Die Laborstandorte der SGS Gruppe Deutschland und Schweiz gemäß den oben genannten Kürzeln sind aufgeführt unter <http://www.institut-fresenius.de/filestore/89/laborstandortkuerzelsgs2.pdf>.

Leiberstung

Anlage zum Prüfbericht Nr. 3085469
Auftrag Nr. 3877582

Seite 1 von 1
19.09.2016

Proben durch IF-Kurier abgeholt

Matrix: Feststoff

Probennummer	160932568	160932569
Bezeichnung	LH 1748	LH 1748
	0,05-0,35	0,4-0,7
	LZ 56t, verg.	LZ 56t, verg.

Eingangsdatum: 07.09.2016 07.09.2016

Untersuchungsergebnis:

Parameter	Einheit			Bestimmungs- grenze	Lab
Perfluorpentansulfonsäure	µg/l	< 0,01	< 0,01	0,01	TS

Die Messung erfolgte mittels LC-MS/MS.

Für die Auswertung wurde die gesamte Peakfläche der detektierten Isomeren eines Stoffes ermittelt und über die Kalibrierung der jeweiligen unverzweigten Verbindung ausgewertet.

Die Laborstandorte der SGS Gruppe Deutschland und Schweiz gemäß den oben genannten Kürzeln sind aufgeführt unter <http://www.institut-fresenius.de/filestore/89/laborstandortkuerzelsgs2.pdf>.

SGS Institut Fresenius GmbH