Flüssigboden

- Baupraxis trifft Wissenschaft -

Team Hochschule Koblenz
(Projektleitung: Marcel Ramler)

Team Göttinger Entsorgungsbetriebe
(Projektleitung: Juliane Schenk)

HOCHSCHULE KOBLENZ
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

GÖTTINGER ENTSORGUNGSBETRIEBE
EIGENBETRIEB DER STADT GÖTTINGEN

Gliederung

- 19 Jahre Einbaupraxis in Göttingen
- Qualitätsvorgaben auf dem Prüfstand
- Probefelder und Prüfszenarien
- Erkenntnisse und Perspektiven

19 Jahre Einbaupraxis in Göttingen

2003

- 1. Flüssigboden-Einbau in Göttingen

Rezeptur kp

Auflager- und Haltungsbänke kp

Rezeptur kf

Ausgehärteter kf ≠ kp !!!

19 Jahre Einbaupraxis in Göttingen

Nachteile / **Besonderheiten**:

- Intensive Vorarbeiten

Flüssigboden fließt überall hin!

19 Jahre Einbaupraxis in Göttingen

Nachteile / **Besonderheiten**:

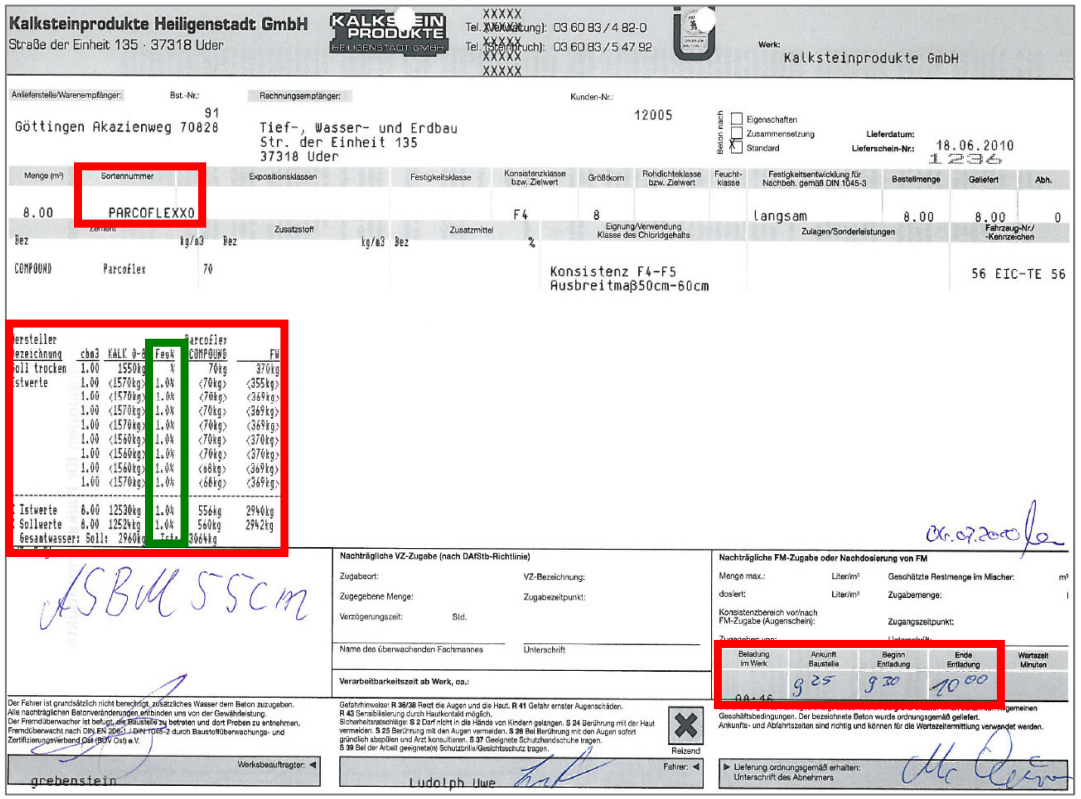
- Intensive Vorarbeiten
- Sorgfalt bei der Auftriebssicherung

Abstützung gegen den Verbau:
nur wenn statisch nachgewiesen!

19 Jahre Einbaupraxis in Göttingen

Nachteile / **Besonderheiten**:

- Intensive Vorarbeiten
- Sorgfalt bei der Auftriebssicherung
- Aushärtezeiten abhängig von Temperatur und Rezeptur



Kalksteinprodukte Heiligenstadt GmbH
Straße der Einheit 135 · 37318 Uder
Tel. (Verwaltung): 03 60 83 / 4 82-0
Tel. (Sekretariat): 03 60 83 / 5 47 92
Werk: Kalksteinprodukte GmbH

Anlieferstelle/Warenempfänger: Göttingen Akazienweg 70828
Bst.-Nr.: 91
Rechnungsempfänger: Tief-, Wasser- und Erdbau, Str. der Einheit 135, 37318 Uder
Kunden-Nr.: 12005
Beton nach: Eigenschaften / Zusammensetzung / Standard
Lieferdatum: 18.06.2010
Lieferschein-Nr.: 1234

Menge (m³)	Sortennummer	Expositionsklassen	Festigkeitsklasse	Konsistenzklasse bzw. Zielwert	Größtkorn	Rohdichteklasse bzw. Zielwert	Feuchtklasse	Festigkeitsentwicklung für Nachbeh. gemäß DIN 1045-3	Bestellmenge	Geliefert	Abh.
8.00	PARCOFLEXXO			F4	8			langsam	8.00	8.00	0

Bez	Zemente	kg/m3	Bez	Zusatzstoff	kg/m3	Bez	Zusatzmittel	%	Eignung/Verwendung Klasse des Chloridgehalts	Zulagen/Sonderleistungen	Fahrzeug-Nr./-Kennzeichen
COMPOUND	Parcoflex	70							Konsistenz F4-F5 Ausbreitmaß50cm-60cm		56 EIC-TE 56

Hersteller Bezeichnung	chm3	KALK 0-8	Feu%	Parcoflex COMPOUND	FW
Soll trocken	1.00	1550kg	%	70kg	370kg
Istwerte	1.00	<1570kg>	1.0%	<70kg>	<355kg>
	1.00	<1570kg>	1.0%	<70kg>	<369kg>
	1.00	<1570kg>	1.0%	<70kg>	<369kg>
	1.00	<1570kg>	1.0%	<70kg>	<369kg>
	1.00	<1560kg>	1.0%	<70kg>	<370kg>
	1.00	<1560kg>	1.0%	<70kg>	<370kg>
	1.00	<1560kg>	1.0%	<68kg>	<369kg>
	1.00	<1570kg>	1.0%	<68kg>	<369kg>
Istwerte	8.00	12530kg	1.0%	556kg	2946kg
Sollwerte	8.00	12520kg	1.0%	560kg	2942kg
Gesamtwasser: Soll: 2960kg			Ist:	3064kg	

ASBM 55cm

06.07.2010

Nachträgliche VZ-Zugabe (nach DAFStb-Richtlinie)
Zugabeort: VZ-Bezeichnung:
Zugegebene Menge: Zugabezeitpunkt:
Verzögerungszeit: Std.
Name des überwachenden Fachmannes: Unterschrift
Verarbeitbarkeitszeit ab Werk, ca.:

Nachträgliche FM-Zugabe oder Nachdosierung von FM
Menge max.: Liter/m³ Geschätzte Restmenge im Mischer: m³
dosiert: Liter/m³ Zugabemenge: l
Konsistenzbereich vor/nach FM-Zugabe (Augenschein): Zugangszeitpunkt:

Beladung im Werk	Ankunft Baustelle	Beginn Entladung	Ende Entladung	Wartezeit Minuten
08:45	9 25	9 30	10 00	

Der Fahrer ist grundsätzlich nicht berechtigt, zusätzliches Wasser dem Beton zuzugeben. Alle nachträglichen Betonveränderungen entbinden uns von der Gewährleistung. Der Fremdüberwacher ist befugt, die Baustelle zu betreten und dort Proben zu entnehmen. Fremdüberwacht nach DIN EN 206-1 / DIN 1045-2 durch Baustoffüberwachungs- und Zertifizierungsverband Qld (BQV Qld) e.V.

Gefahrhinweise: R 36/38 Reizt die Augen und die Haut. R 41 Gefahr ernster Augenschäden. R 43 Sensibilisierung durch Hautkontakt möglich. Sicherheitsratschläge: S 2 Darf nicht in die Hände von Kindern gelangen. S 24 Berührung mit der Haut vermeiden. S 25 Berührung mit den Augen vermeiden. S 26 Bei Berührung mit den Augen sofort gründlich abspülen und Arzt konsultieren. S 37 Geeignete Schutzhandschuhe tragen. S 39 Bei der Arbeit geeignete(s) Schutzbrille/Gesichtsschutz tragen.

Reizend

Geschäftsbedingungen. Der bezeichnete Beton wurde ordnungsgemäß geliefert. Ankunfts- und Abfahrtszeiten sind richtig und können für die Wartezeitermittlung verwendet werden.

Werksbeauftragter: grebenstein
Fahrer: Ludolph Uwe
Lieferung ordnungsgemäß erhalten: Unterschrift des Abnehmers

Offene Zeit >= 90 Minuten!

19 Jahre Einbaupraxis in Göttingen

Nachteile / **Besonderheiten**:

- Intensive Vorarbeiten
- Sorgfalt bei der Auftriebssicherung
- Aushärtezeiten abhängig von Temperatur und Rezeptur
- Zeitpunkt des Verbauziehens

19 Jahre Einbaupraxis in Göttingen

Nachteile / **Besonderheiten**:

- Intensive Vorarbeiten
- Sorgfalt bei der Auftriebssicherung
- Aushärtezeiten abhängig von Temperatur und Rezeptur
- Zeitpunkt des Verbauziehens
- Überbaubarkeit / Verdichtungsenergie

19 Jahre Einbaupraxis in Göttingen

Nachteile / **Besonderheiten**:

- Intensive Vorarbeiten
- Sorgfalt bei der Auftriebssicherung
- Aushärtezeiten abhängig von Temperatur und Rezeptur
- Zeitpunkt des Verbauziehens
- Überbaubarkeit / Verdichtungsenergie
- Grenzbebauung beachten / Abstimmung mit dem Eigentümer

19 Jahre Einbaupraxis in Göttingen

Vorteile:

- Kreislaufwirtschaft / Umwelt
- Erschütterungsfreier Einbau / Keine mechanische Verdichtung
- Zwickelverdichtung entfällt
- Weniger Emissionen
- Schutz der Bausubstanz
- Schutz des Personals
- optimale Verfüllung bei kreuzenden Leitungen

19 Jahre Einbaupraxis in Göttingen

Vorteile:

- Kreislaufwirtschaft / Umwelt
- Erschütterungsfreier Einbau / Keine mechanische Verdichtung
- Zwickelverdichtung entfällt
- Weniger Emissionen
- Schutz der Bausubstanz
- Schutz des Personals
- optimale Verfüllung bei kreuzenden Leitungen
- Verzahnung mit anstehendem Boden

19 Jahre Einbaupraxis in Göttingen

Vorteile:

- Kreislaufwirtschaft / Umwelt
- Erschütterungsfreier Einbau / Keine mechanische Verdichtung
- Zwickelverdichtung entfällt
- Weniger Emissionen
- Schutz der Bausubstanz
- Schutz des Personals
- optimale Verfüllung bei kreuzenden Leitungen
- Verzahnung mit anstehendem Boden
- Weniger Staub, Lärm, Lagerungsfläche

19 Jahre Einbaupraxis in Göttingen

Vorteile:

- Kreislaufwirtschaft / Umwelt
- Erschütterungsfreier Einbau / Keine mechanische Verdichtung
- Zwickelverdichtung entfällt
- Weniger Emissionen
- Schutz der Bausubstanz
- Schutz des Personals
- optimale Verfüllung bei kreuzenden Leitungen
- Verzahnung mit anstehendem Boden
- Weniger Staub, Lärm, Lagerungsfläche
- Spatenlösbar

19 Jahre Einbaupraxis in Göttingen

2003
- 1. Flüssigboden-Einbau in Göttingen

2005
- Aufbereitung von Aushubboden
- 1. mobil-stationäre Anlage

19 Jahre Einbaupraxis in Göttingen

2003
- 1. Flüssigboden-Einbau in Göttingen

2005
- Aufbereitung von Aushubboden
- 1. mobil-stationäre Anlage

2006
- 1. Qualitätssicherungspass Flüssigboden

Tabelle 4 *Prüfwerte*

(entsprechend dem Ergebnis der Eignungsprüfung des Grundmaterials, entsprechend der Rezep

Konsistenz	*plastisch (kp)*	*flüssig (kf)*
Kf-Wert	<= 10^{-7} m/s	
Scherfestigkeit		
Ev2 – Wert		
1-axiale Druckfestigkeit am 28. Einbautag		
Festigkeitsentwicklung von 7d-56d		
Ausbreitmaß entsprechend Konsistenzklasse		
Absetzmaß		

Bei Abweichungen von vorgegebenen Prüfwerten ist un
um gemeinsam mit dem Geologen die weitere Vorgeher

Tabelle 5 *Prüfintervalle*

	Eigenüberwachung	
Verantwortlich	Auftragnehmer (AN)	
Prüflabor [1]	Geologe: *eintragen* Prüflabor: *eintragen*	
1- axiale Druckfestigkeit	1 x / Baumaßnahme [2]	
Ausbreitmaß	1 mal / Tag (bzw. 1. und 8. Mischer)	
Absetzmaß	1 x / Baumaßnahme bei Zylinderentnahme	
Ev2	1 x / Baumaßnahme[2]	
Steifemodul	----------	ggf.
Kf-Wert	----------	ggf.
Scherfestigkeit	----------	1 x / Baumaßnahme (über Zylinder und Modifizierte Viskow

1) Die Eigen- und Fremdüberwachung erfolgt durch autorisierte Prüflabore. Dabei sind grundsätzlich unterschiedliche Institute zu wählen.
2) Die Eigen- und Fremdüberwachung erfolgt grundsätzlich je Rezeptur 2x / Baustelle (1x AN, 1x AG Baustellen längerer Dauer ist eine zusätzliche Überprüfung durch den AG durchzuführen.

Die Probennahme/der Prüfwert pro Prüfintervall ist am gleichen Ort durchzuführen.
Die Anzahl der erforderlichen Zylinder ist dem Probenbegleitschein zu entnehmen.

Tabelle 6 *Rohrauflager/Auftriebssic*

Rohrmaterial	*Rohrd messe*
	m
s. Rohrstatik (A	

1) anstelle der Haltungsbank kann als A werden, wenn der Verbau für diesen nachzuweisen.

Bei standfestem Boden beginnt die UK-Verba
Breite der Auflager- und Haltungsbänke: B=G
Länge der Auflager- und Haltungsbänke: L>=

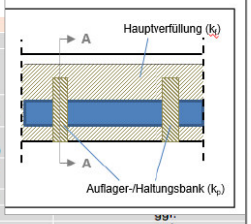


Tabelle 3 *Probenbegleitschein*

QS beim Bau: Probenbegleitschein Flüssigbodenentnahme

Allgemeine Angaben		Handz.:
Projektnummer:	xxx	
Baumaßnahme:	xxx	
Baufirma:	xxx	
PL-GEB:	Name, Telefon, Mail	
PL Büro:	Name, Telefon, Mail	

Angaben zur Probennahme		
Veranlasser:	Fremdüberwachung GEB Eigenüberwachung Baufirma	x
Baustoffgemisch:	Standardrezeptur Aushubboden	
Systemanbieter:	xxx	
Entnahmedatum:	xxx	
Entnahmeort:	Haltung xxx - xxx, Station xxx in/ge	
Rezepturnummer:	xxx	
Lieferschelnnr.:	xxx	
Lufttemperatur:	xxx	
Witterung:	xxx	

Prüfumfang / Zylindermenge	
Art der Proben:	Zylinder, H=120mm, D=100mm
Prüfumfang:	einaxiale Druckfestigkeit
	7d
	28d
	56d
	1a
	Steifemodul (Ödometer)
	7d
	28d
	1a
	Scherparameter (7d)
	kf-Wert (7d)
	Wichte (7d)
	Reserve
	Summe:

Prüfumfang: Standardrezeptur
zusätzlicher Prüfumfang: Aushubboden

QS beim Bau: Nachweis der Einbaumengen

Baustelle: Kanalsanierung | Projektnummer: | Blatt Nr.:
Baufirma: | Bauleiter: | Schachtmeister:
GEB | Projektleiter: | Ing. Büro: | Bauleiter:

	Datum	Haltung / Hausanschluss		Rezeptur		Ausbreitmaß [cm]			Feuchte d. Bodens %	Probe-zylinder Anzahl	Zeit		Temperatur > 4°C °C	Einbaumenge m3	Lieferschein-nr / Ergebnisse (Ergebnisse Kontrollprüfungen sind durch IB einzutragen)
		von	bis	steif-plast	flüssig	Ist	Soll / Ist OK	nein			Be-ladung	Ent-ladung			
1															
2															
3															
4															
5															
6															
7															
8															
9															
10															
11															
12															
13															
14															
15															

Ausbreitmaß für Rezeptur Soll: cm *entsprechend Konsistenzklasse 2 (kp) bzw. 5 (kf)* maximale offene Zeit (Zugabe des Wassers bis vollständige Entladung): 90 min.

Qualitätssicherungspass
Einbauschulung Flüssigboden

In Anlehnung an die entsprechende Werksnorm des Systemanbieters

Stand: 09.07.2021

Bauvorhaben: BG Zimmermannstraße – Städtebaulicher Vertrag
Projekt Nr.: 1368
Baufirma: Strabag
Hersteller: Kalksteinprodukte Heiligenstadt GmbH, Uder
Material: Parcoflex
Ort: Baustelle
Datum: *xx.xx.xxxx, xx:xx Uhr* Unterschrift
Teilnehmer*:

Herr Beinhauer	Bauleiter Fa. Strabag	
Herr xxx	Schachtmeister Fa. Strabag	
Herr Siebert	PL – agc	
Herr Frank	PL - agc	
Frau Schenk	PL - Göttinger Entsorgungsbetriebe	

*Wechselt das Personal, ist die Einbauschulung erneut durchzuführen!

Für die Verwendung von Flüssigboden als Rohrbettung und Verfüllung wurden nachfolgende Punkte besprochen. Die Einbauschulung verpflichtet zur Einhaltung.

Festlegungen:

Nachweise	*Festlegung*					
Statischer Nachweis/ Auftriebssicherung	Statik 1 Haltungsname	Statik 2 Haltungsname	Statik 3 Haltungsname	Statik 4 Haltungsname		
Dimension DA [mm]:	160	225	280	355	xxx	xxx
					☐	☐ ☐
mension unter „weitere						
					☐	☐ ☐
gswege beachten verfolgung führen e/Prüffeld im Lageplan						
Systemanbieter Systemanbieter						

Seite 1 von 8

19 Jahre Einbaupraxis in Göttingen

2003
- 1. Flüssigboden-Einbau in Göttingen

2005
- Aufbereitung von Aushubboden
- 1. mobil-stationäre Anlage

2006
- 1. Qualitätssicherungspass Flüssigboden

2008
- Rohrgrabenposition im MLV

von 1,76 bis 4,00 m
uBs - untere Bettungsschicht

Abrechnungslänge - Anschlussleitungen:
von der Achse des Sammlers bis zur Grundstücksgrenze, die entsprechenden Kopflöcher am Sammler und an der Grundstücksgrenze sind mit eingerechnet.

Abrechnungslänge - Sammler:
bei Reparaturstellen:
ausgewechselte Rohrlänge plus 75 cm für Arbeitsraum und Verbau am Beginn und Ende

erneuerte Haltungen:
von Mitte Schacht bis Mitte Schacht

bei Endhaltungen:
von Mitte Schacht bis Außenkante Schacht plus 75 cm

Folgende Angaben sind vom Bieter verbindlich im beiliegenden Bieterangabenverzeichnis anzugeben, wobei die benannten Angaben für alle Rohrgräben gelten:
- Lieferant / Lizenzgeber des Flüssigbodens
- Eigenüberwachung
- Fremdüberwachung

Sonst wie folgt.

tation
gemäß Qualitätssicherungspass Flüssigboden

ik unter
ärke des
ordneter

- Die Baugruben- und Rohrgrabenabsicherung entsprechend
ist im

n 150m
und einem Förderdurchfluss von 1m³/h je laufendem Meter
sowie einer Förderhöhe bis 5,00 m

Abrechnungstiefe
Rohrsohle innen bis Gelände- bzw. Straßen-OK bzw.UK Oberboden

LEITUNGSZONE

PE 80 DA b	PVC-U DN b
mm m	mm m
160 1,10	150 1,10
225 1,10	200 1,10
280 1,10	250 1,10
355 1,10	300 1,10
450 1,35	/ /
560 1,45	/ /
630 1,55	/ /

DN	Beton uBs b	Stahlbeton uBs b	GFK uBs b
mm	m m	m m	m m
300	0,15 1,10	0,15 1,10	0,15 1,10
400	0,15 1,45	0,15 1,40	0,15 1,35
500	0,15 1,60	0,15 1,55	0,15 1,45
600	0,20 1,70	0,20 1,65	0,20 1,55
700	0,20 1,85	0,20 1,75	0,20 1,65
800	0,25 2,15	0,20 2,00	0,20 1,90
900	0,25 2,25	0,20 2,15	0,20 2,00
1000	0,30 2,40	0,25 2,25	0,20 2,10
1200	0,35 2,65	0,25 2,50	0,20 2,30
1400	0,35 3,05	0,30 2,90	0,25 2,65

b - Mindestgrabenbreite mit Verbau bei Grabentiefen

erforderlichen Rezepturen erfolgt durch den Systemanbieter des Flüssigbodens. Diese sind der GEB vor Baubeginn vorzulegen.

Die Überprüfung der Frische- und Endeigenschaften des eingebauten Flüssigbodens erfolgt im Rahmen von Eigen- und Fremdüberwachungen entsprechend des "Qualitätssicherungspasses Flüssigboden" der GEB.

Es wird nur ein haltungsweises bzw. bei Punktsanierungen ein reparaturabschnittsweises Verlegen der Rohre und Verbauen des Rohrgrabens zugelassen; Verfüllabschnitte sind mit dem AG abzustimmen.
Ggfs. ist mehr als ein Verfüllvorgang pro Verfüllabschnitt durchzuführen.

Die Endeigenschaften des Flüssigbodens müssen folgende Kennwerte vorweisen:

- EV2 nach… >= 45 MN/m²
- Durchlässigkeit (kf) <= 10 -7 m/s
- Druckfestigkeit nach 28d = 0,15-0,30 N/mm²
- Festigkeitsentwicklung von 7d-56d fz <= 0,15 N/mm²
- Scherfestigkeit …

Der EP umfasst folgende Leistungen:

- Aushubmaterial des Homogenbereiches „B" einschließlich vorhandenen Straßenoberbau (Homogenbereich „A") getrennt aufnehmen.

- Aushubmaterial und Straßenoberbau zur Entsorgung transportieren.

- Entsorgung des durch die eingebauten Materialien verdrängten Bodens (z.B. durch Kanäle, Schächte, Leitungszone und Rohrgrabenverfüllung mit Flüssigboden, Straßenaufbau von 60 cm und dgl.), einschl. der erforderlichen Entsorgungsgebühren für Aufbruchsmaterial und Böden, die laut „Längsschnitt Entsorgung und Verwertung" einer Verwertung zugeführt werden können.

- Mehraushub von Boden und Mehreinbau von Flüssigboden für die Baugruben der Schächte bis DN 1500 sind mit dem Einheitspreis abgegolten sowie die Herstellung der Sauberkeitsschicht d= 15 cm aus plastischem Flüssigboden unter den Schächten, einschließlich Aushub des verdrängten Bodens für Aufbruchmaterial und Böden, die laut „Längsschnitt Entsorgung und Verwertung" einer Verwertung zugeführt werden können.

- Lieferung von Flüssigboden für die Rohrgrabenverfüllung bis Unterkante Straßen- und Gehwegaufbau einschließlich der Rohrleitungszone (inkl. Erstellen der Auflager- und Haltungsbänke)

- Sicherung der Rohrleitung gegen Auftrieb während der

Rohrgrabenarbeiten

Rohrgräben mit Flüssigboden ohne Straßenvollausbau

Rohrgraben für Abwasserrohre mit Leitungszone entsprechend der DIN EN 1610, DWA- A 139 und DIN 4124 mit Flüssigboden gemäß dem Hinweis H ZFSV der FGSV herstellen.

Rohrgraben im Homogenbereich „B" entsprechend dem Baugrundgutachten für die Verlegung von Abwasserrohren ausheben und von Rohrgraben- / Baugrubensohle bis UK Straßen- / Gehwegaufbau mit Flüssigboden abschnittsweise verfüllen.

Der im Folgenden verwendete Begriff "Flüssigboden" wird wie folgt charakterisiert:

-alle Bestandteile sind umweltökologisch unbedenklich

- ist zeitweise fließfähig und in verschiedenen Konsistenzen (fließfähig bis plastisch), selbst verdichtend ohne Bildung fremder, physikalisch starrer Bindemittelstrukturen

- besteht aus:
  1) allen Arten von gesetzlich zulässig verwertbaren natürlichen mineralischen, grobkörnigen Stoffen GW, GI, GE und SW, SI, SE nach DIN 18196 mit einer maximalen Korngröße von 16mm (z.B. Vorabsiebung, Brechsand). Bei Sanden ist eine Ungleichförmigkeitszahl cu >= 3 einzuhalten.

  2) sowie Bindemittel, Wasser, weitere Zusatzstoffe (z.B. Tonmineralien, Stabilisierer, usw.)

  - weist eine leichte Lösbarkeit per Hand nach Tabelle 1, H ZFSV FGSV auf

  - weist eine hohe Volumenkonstanz von <= 1% im Ausgangs- und Endzustand unter gleichbleibenden, äußeren Bedingungen auf und ist über das Absetzmaß nachzuweisen

- weist die Konsistenzklassen F2 (plastisch) und F5 (fließfähig) auf und ist über das Ausbreitmaß nachzuweisen

- ist nach 24h begehbar

Die Vorgaben des AG ("Qualitätssicherungspass Flüssigboden") sind bei der Herstellung, dem Transport und beim Einbau einzuhalten.

Die Herstellung des Flüssigbodens hat im Betonmischwerk bzw. in einer Flüssigbodenmischanlage entsprechend der erforderlichen Rezeptur zu erfolgen. Die Festlegung der

19 Jahre Einbaupraxis in Göttingen

2003	• 1. Flüssigboden-Einbau in Göttingen
2005	• Aufbereitung von Aushubboden • 1. mobil-stationäre Anlage
2006	• 1. Qualitätssicherungspass Flüssigboden
2008	• Rohrgrabenposition im MLV
2010	• 1. stationäre Anlage
2011	• 2. stationäre Anlage

19 Jahre Einbaupraxis in Göttingen

2003
- 1. Flüssigboden-Einbau in Göttingen

2005
- Aufbereitung von Aushubboden
- 1. mobil-stationäre Anlage

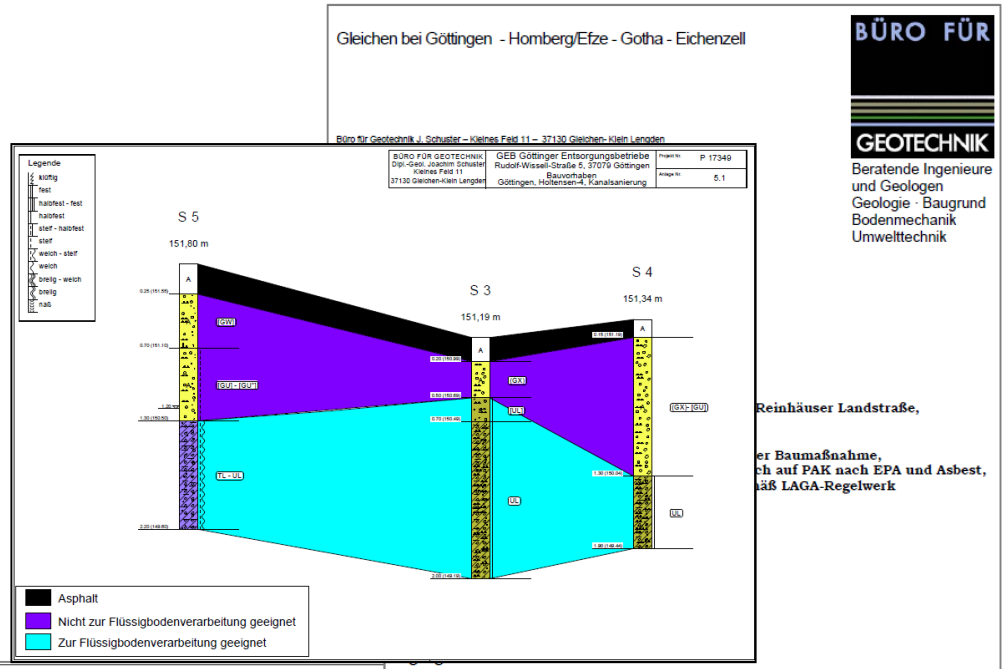
2006
- 1. Qualitätssicherungspass Flüssigboden

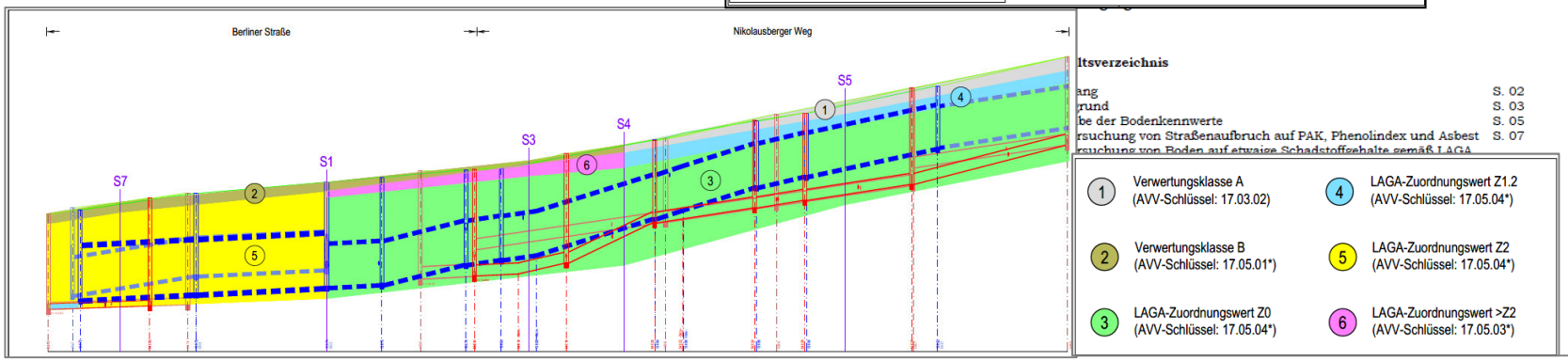
2008
- Rohrgrabenposition im MLV

2010
- 1. stationäre Anlage

2011
- 2. stationäre Anlage

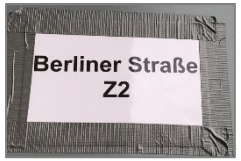
2011
- Rahmenvertrag Geologie





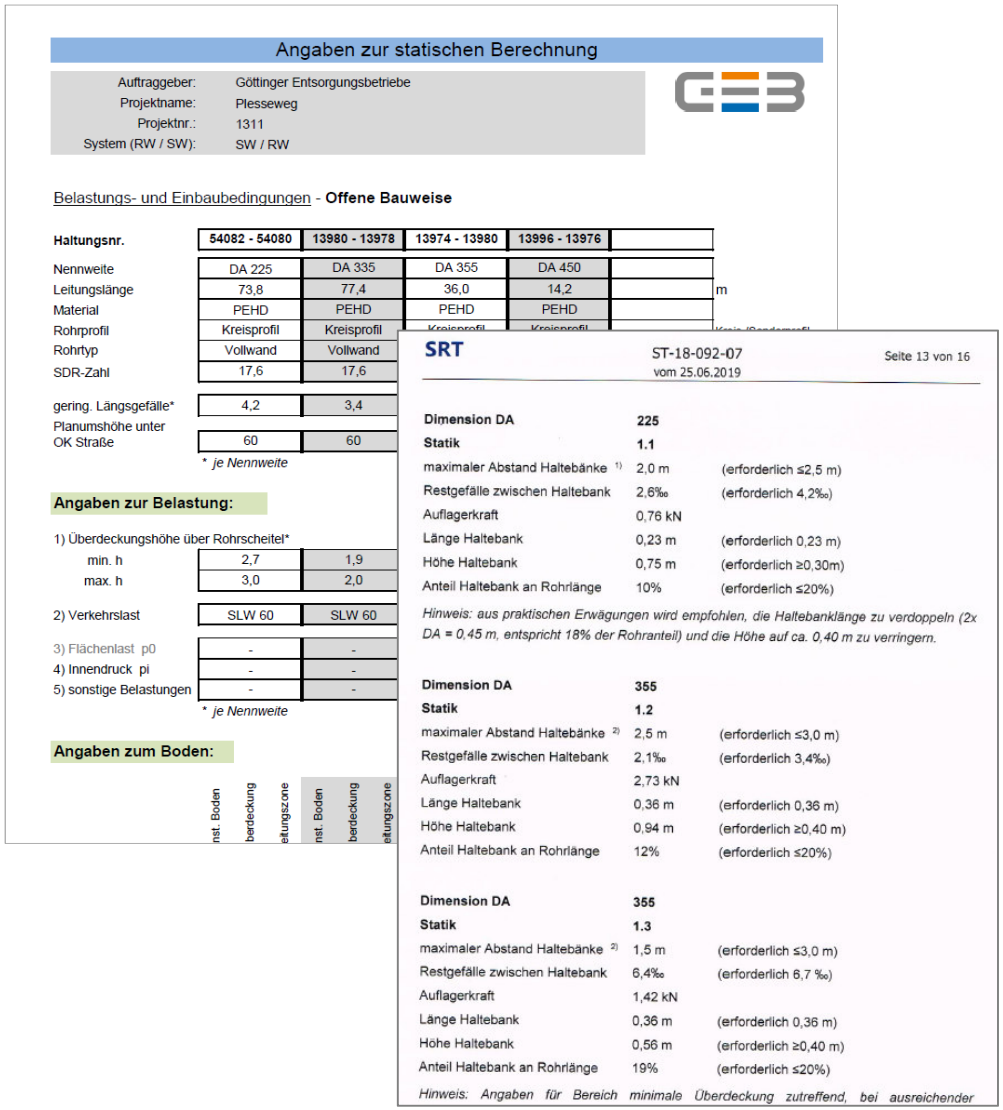
19 Jahre Einbaupraxis in Göttingen

2003	• 1. Flüssigboden-Einbau in Göttingen
2005	• Aufbereitung von Aushubboden • 1. mobil-stationäre Anlage
2006	• 1. Qualitätssicherungspass Flüssigboden
2008	• Rohrgrabenposition im MLV
2010	• 1. stationäre Anlage
2011	• 2. stationäre Anlage
2011	• Rahmenvertrag Geologie
2011	• QM-Prozess
2016	• Aufbereitung von Z1.2- und Z2-Boden



19 Jahre Einbaupraxis in Göttingen

- **2003**
  - 1. Flüssigboden-Einbau in Göttingen
- **2005**
  - Aufbereitung von Aushubboden
  - 1. mobil-stationäre Anlage
- **2006**
  - 1. Qualitätssicherungspass Flüssigboden
- **2008**
  - Rohrgrabenposition im MLV
- **2010**
  - 1. stationäre Anlage
- **2011**
  - 2. stationäre Anlage
- **2011**
  - Rahmenvertrag Geologie
- **2011**
  - QM-Prozess
- **2016**
  - Aufbereitung von Z1.2- und Z2-Boden
- **2018**
  - Rahmenvertrag Rohrstatik



Angaben zur statischen Berechnung

Auftraggeber:	Göttinger Entsorgungsbetriebe
Projektname:	Plesseweg
Projektnr.:	1311
System (RW / SW):	SW / RW

Belastungs- und Einbaubedingungen - **Offene Bauweise**

Haltungsnr.	**54082 - 54080**	**13980 - 13978**	**13974 - 13980**	**13996 - 13976**	
Nennweite	DA 225	DA 335	DA 355	DA 450	
Leitungslänge	73,8	77,4	36,0	14,2	m
Material	PEHD	PEHD	PEHD	PEHD	
Rohrprofil	Kreisprofil	Kreisprofil	Kreisprofil	Kreisprofil	
Rohrtyp	Vollwand	Vollwand			
SDR-Zahl	17,6	17,6			
gering. Längsgefälle*	4,2	3,4			
Planumshöhe unter OK Straße	60	60			

* *je Nennweite*

Angaben zur Belastung:

1) Überdeckungshöhe über Rohrscheitel*		
min. h	2,7	1,9
max. h	3,0	2,0
2) Verkehrslast	SLW 60	SLW 60
3) Flächenlast p0	-	-
4) Innendruck pi	-	-
5) sonstige Belastungen	-	-

* *je Nennweite*

Angaben zum Boden:

nst. Boden
berdeckung
etungszone
nst. Boden
berdeckung
etungszone

SRT ST-18-092-07 vom 25.06.2019 Seite 13 von 16

Dimension DA	**225**	
Statik	**1.1**	
maximaler Abstand Haltebänke [1]	2,0 m	(erforderlich ≤2,5 m)
Restgefälle zwischen Haltebank	2,6‰	(erforderlich 4,2‰)
Auflagerkraft	0,76 kN	
Länge Haltebank	0,23 m	(erforderlich 0,23 m)
Höhe Haltebank	0,75 m	(erforderlich ≥0,30m)
Anteil Haltebank an Rohrlänge	10%	(erforderlich ≤20%)

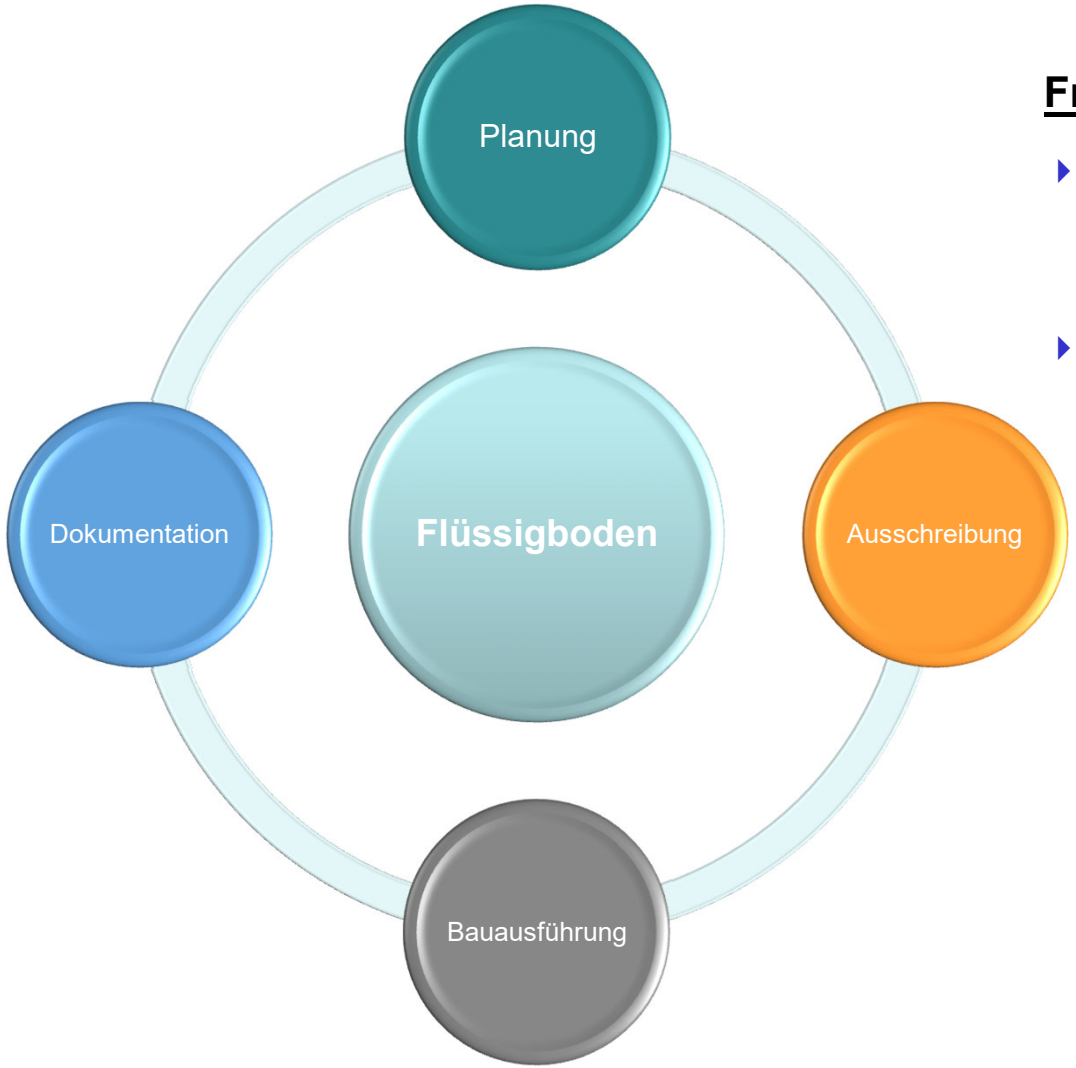
Hinweis: aus praktischen Erwägungen wird empfohlen, die Haltebanklänge zu verdoppeln (2x DA = 0,45 m, entspricht 18% der Rohranteil) und die Höhe auf ca. 0,40 m zu verringern.

Dimension DA	**355**	
Statik	**1.2**	
maximaler Abstand Haltebänke [2]	2,5 m	(erforderlich ≤3,0 m)
Restgefälle zwischen Haltebank	2,1‰	(erforderlich 3,4‰)
Auflagerkraft	2,73 kN	
Länge Haltebank	0,36 m	(erforderlich 0,36 m)
Höhe Haltebank	0,94 m	(erforderlich ≥0,40 m)
Anteil Haltebank an Rohrlänge	12%	(erforderlich ≤20%)

Dimension DA	**355**	
Statik	**1.3**	
maximaler Abstand Haltebänke [2]	1,5 m	(erforderlich ≤3,0 m)
Restgefälle zwischen Haltebank	6,4‰	(erforderlich 6,7 ‰)
Auflagerkraft	1,42 kN	
Länge Haltebank	0,36 m	(erforderlich 0,36 m)
Höhe Haltebank	0,56 m	(erforderlich ≥0,40 m)
Anteil Haltebank an Rohrlänge	19%	(erforderlich ≤20%)

Hinweis: Angaben für Bereich minimale Überdeckung zutreffend, bei ausreichender

Qualitätsvorgaben auf dem Prüfstand



Fragestellungen:

- Lassen die statischen Berechnungen ein effizienteres Bauen zu?
- Welche baubegleitenden Kontrolluntersuchungen machen Sinn (Eigen- und Fremdüberwachung)?

19 Jahre Einbaupraxis in Göttingen

2003	• 1. Flüssigboden-Einbau in Göttingen
2005	• Aufbereitung von Aushubboden • 1. mobil-stationäre Anlage
2006	• 1. Qualitätssicherungspass Flüssigboden
2008	• Rohrgrabenposition im MLV
2010	• 1. stationäre Anlage
2011	• 2. stationäre Anlage
2011	• Rahmenvertrag Geologie
2013	• QM-Prozess
2016	• Aufbereitung von Z1.2- und Z2-Boden
2018	• Rahmenvertrag Rohrstatik
2022	• Probefelder Flüssigboden

Probefelder und Prüfszenarien

<u>Team der Hochschule Koblenz:</u>

Prof. Dr.-Ing. Jürgen Quarg-Vonscheidt
- Lehrstuhl für Bodenmechanik und Vermessungskunde
- Mitglied des AK H-ZFSV der FGSV
- Mitglied der DWA AG WW-6.6: Hochverformbare Dichtwandmassen

Dr.-Ing. Katharina Sosinka
- Leitende Angestellte im bodenmechanischen Labor
- Promotion auf dem Gebiet des Entlüftungsverhaltens fließfähiger Suspensionen an der bergischen Universität Wuppertal

Marcel Ramler-Kowollik, M.Eng.
- Wissenschaftlicher Mitarbeiter im Bereich der Geotechnik und Vermessungskunde
- Promotionsverfahren an der HCU-Hamburg zum Thema der analytischen Beschreibung rheologischer Fließvorgänge / numerische Strömungsmechanik

Probefelder und Prüfszenarien

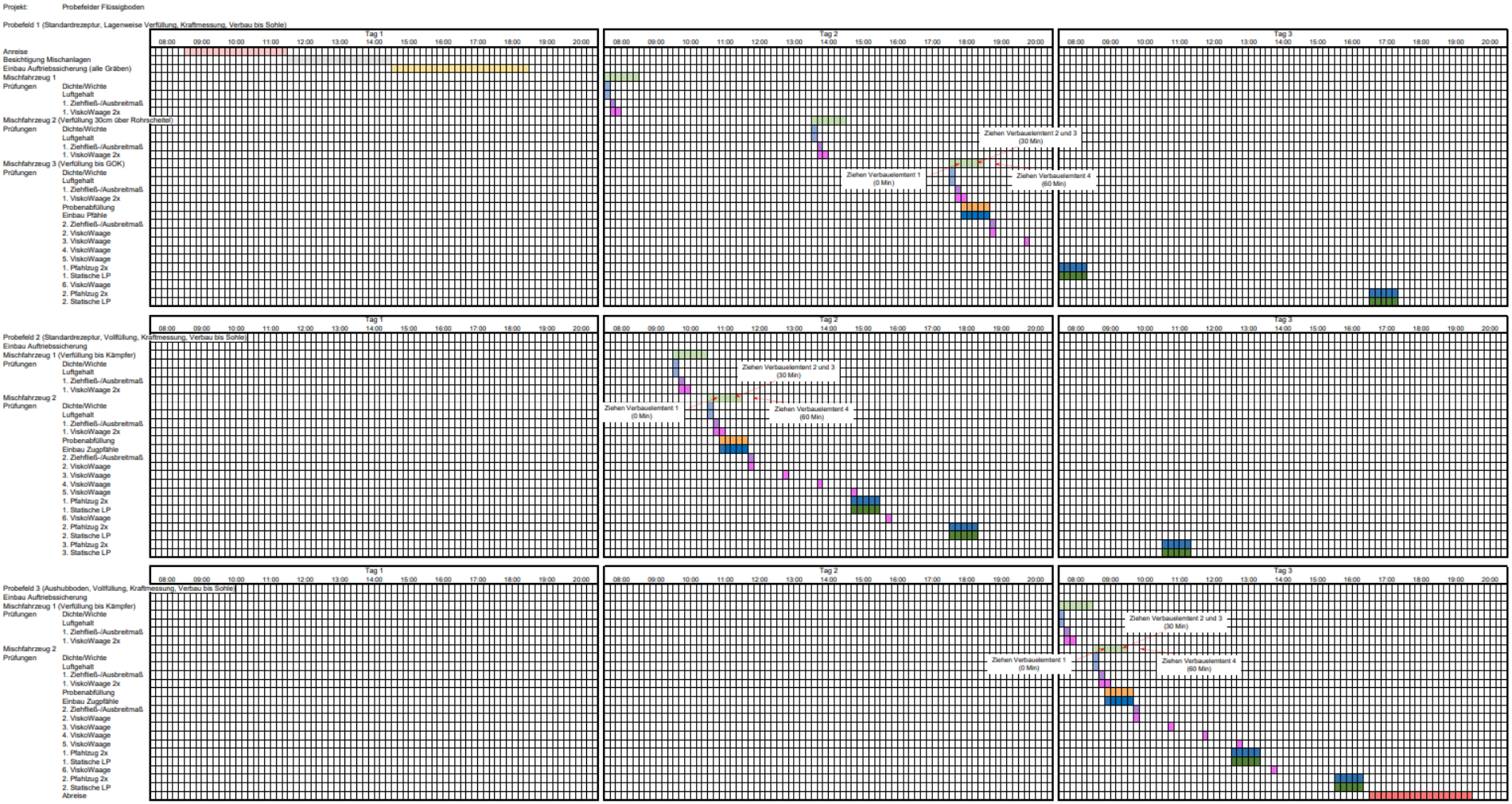
Ursprüngliches Konzept:

Feld	Bodenart	Verbau	Auflager-/Haltungsbänke (kp)	Auftriebsmessung (Kraftmessdosen)	1. Verfüllvorgang bis Kämpfer	2. Verfüllvorgang (nach 6h) bis 30cm über Rohrscheitel	3. Verfüllvorgang (nach 4h) bis GOK	Verfüllung komplett
1	Standardrezeptur	bis Sohle	-	x	x	x	x	-
2	Aushubboden	bis Sohle	-	x	x	x	x	-
3	Standardrezeptur	bis Sohle	-	x	-	-	-	x
4	Aushubboden	bis Sohle	-	x	-	-	-	x
5	Standardrezeptur	bis Sohle	x	-	x	x	x	-
6	Aushubboden	bis Sohle	x	-	x	x	x	-
7	Standardrezeptur	bis oberhalb Leitungszone	x	-	x	x	x	-
8	Aushubboden	bis oberhalb Leitungszone	x	-	x	x	x	-

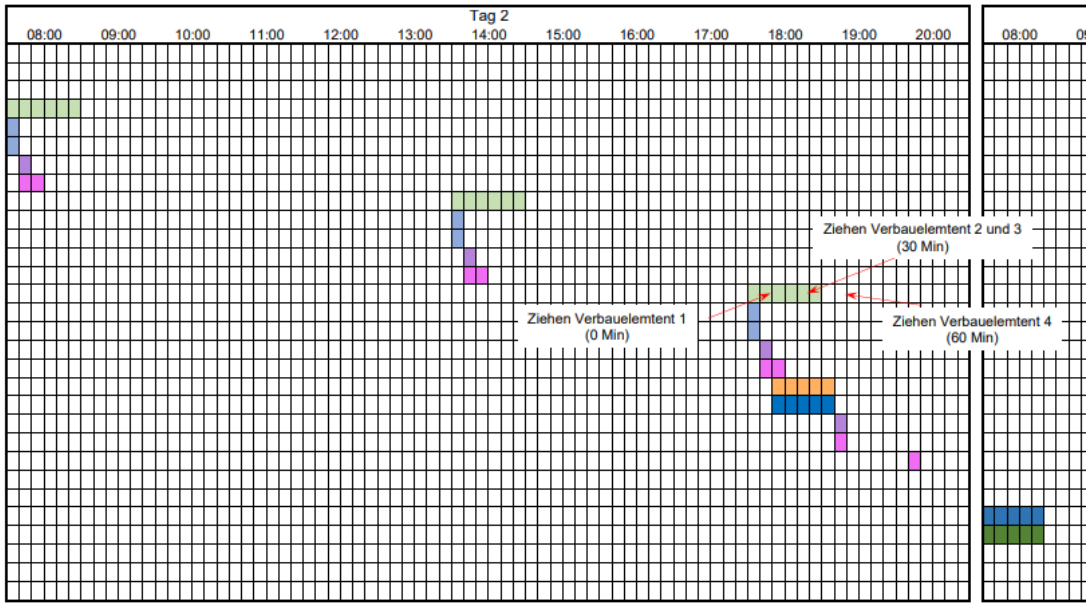
Untersuchte Probefelder:

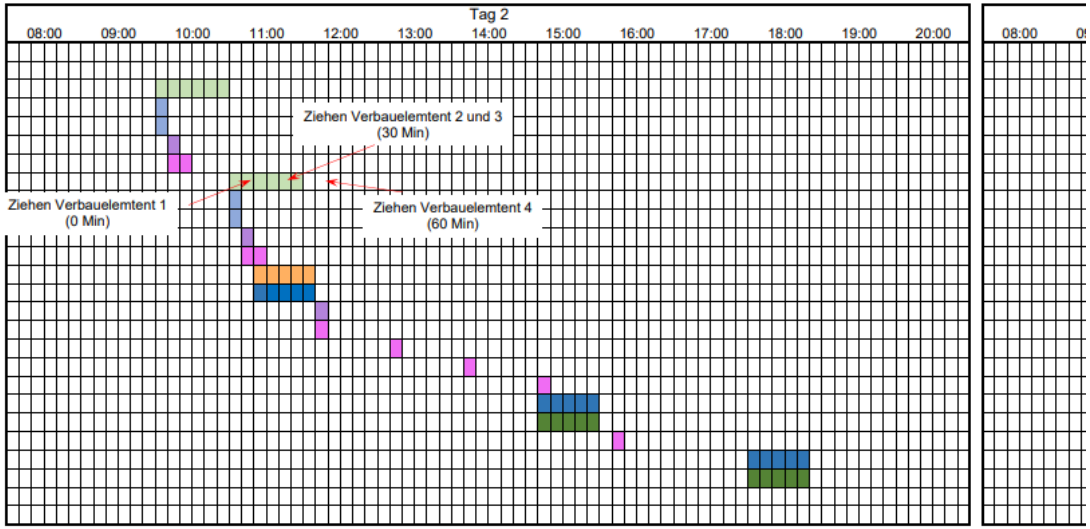
Feld	Bodenart	Verbau	Auflager-/Haltungsbänke (kp)	Auftriebsmessung (Kraftmessdosen)	Verfüllung komplett
1	Standardrezeptur	bis Sohle	-	x	-
2	Aushubboden	bis Sohle	-	x	-
3	Standardrezeptur	bis Sohle	-	x	x
4	Aushubboden	bis Sohle	-	x	x
5	Standardrezeptur	bis Sohle	x	-	-
6	Aushubboden	bis Sohle	x	-	-
7	Standardrezeptur	bis oberhalb Leitungszone	x	-	-
8	Aushubboden	bis oberhalb Leitungszone	x	-	-

Probefelder und Prüfszenarien



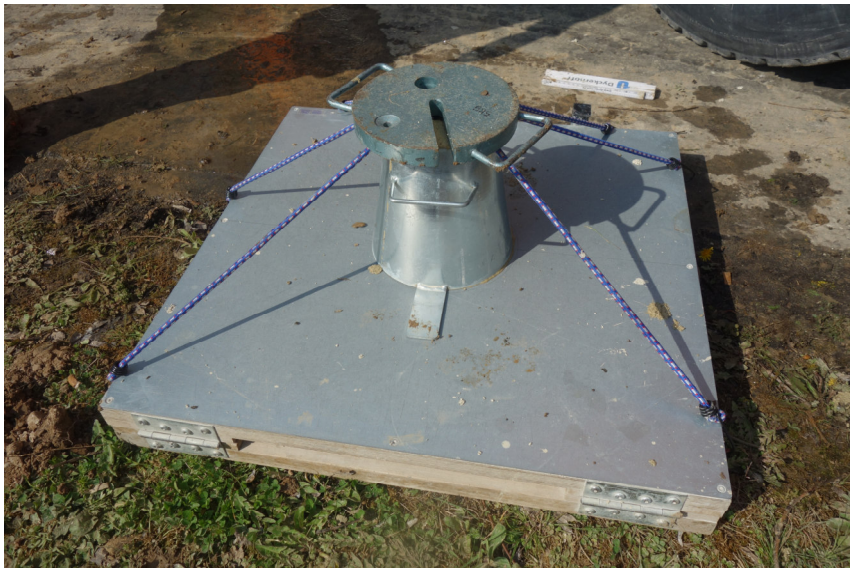
Probefelder und Prüfszenarien





Probefelder und Prüfszenarien

Probefelder und Prüfszenarien



Probefelder und Prüfszenarien

Probefelder und Prüfszenarien

Untersuchungen im fließfähigen Zustand:

- Ziehfließ- / Ausbreitmaß
- Mod. ViskoWaage
- Auftriebsmessung am Rohr
- Luftporengehalt
- Suspensionsdichte

Untersuchungen im verfestigten Zustand:

- Stat. Lastplattendruckversuche
- Pfahlzugversuche
- Einaxiale Druckversuche
- Triaxialversuche
- Rahmenscherversuche
- Kompressions- / Ödometerversuche

Zusätzliche Untersuchungen:

- Numerische Strömungssimulation des Verfüllvorgangs
- Gesamtheitliche Interpretation des Materialverhaltens

Probefelder und Prüfszenarien

Untersuchungen im fließfähigen Zustand:

- **Ziehfließ- / Ausbreitmaß**
- **Mod. ViskoWaage**
- **Auftriebsmessung am Rohr**
- Luftporengehalt
- Suspensionsdichte

Untersuchungen im verfestigten Zustand:

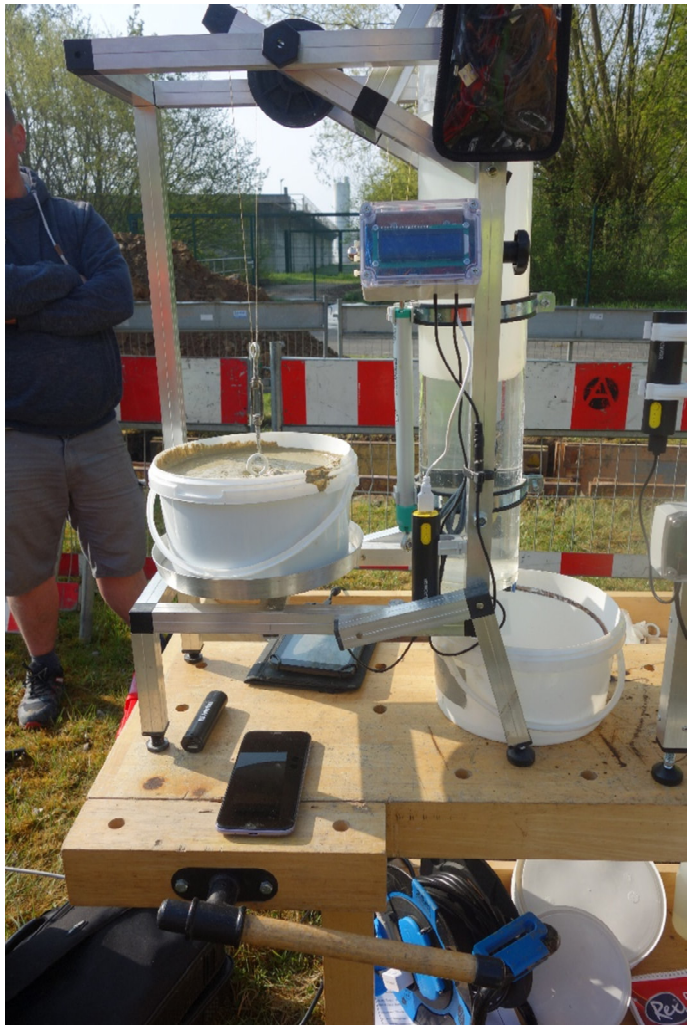
- Stat. Lastplattendruckversuche
- **Pfahlzugversuche**
- Einaxiale Druckversuche
- Triaxialversuche
- Rahmenscherversuche
- Kompressions- / Ödometerversuche

Zusätzliche Untersuchungen:

- **Numerische Strömungssimulation des Verfüllvorgangs**
- Gesamtheitliche Interpretation des Materialverhaltens

Probefelder und Prüfszenarien

Mod. ViskoWaage



Probefelder und Prüfszenarien

Mod. ViskoWaage

Schematischer Zusammenhang an Versuchsrezeptur:

Rheologische Fließgrenze τ_f [kPa]

τ_f = 0,250 kPa

Z_m = 65 cm

τ_f = 0,848 kPa

Z_m = 49 cm

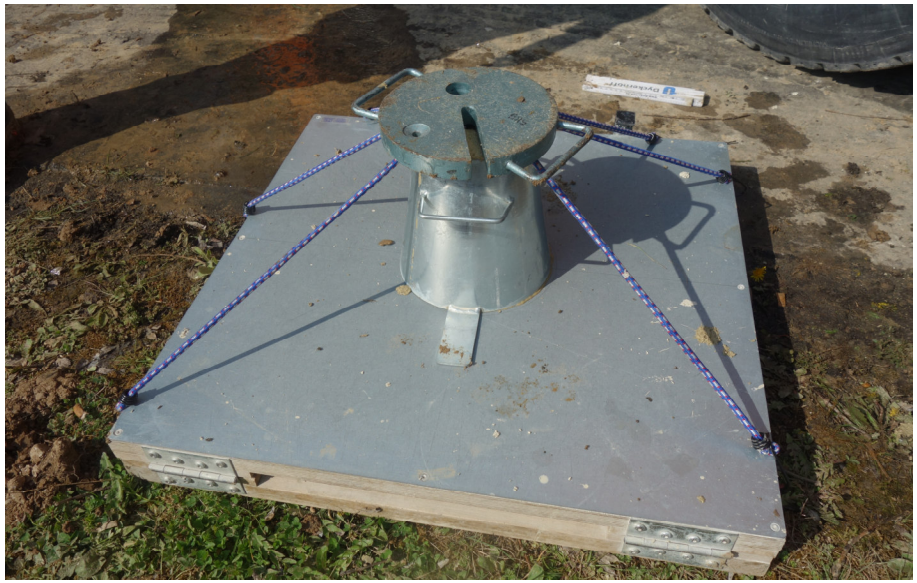
τ_f = 1,324 kPa

Z_m = 28 cm

Ziehfließmaß Z_m [cm]

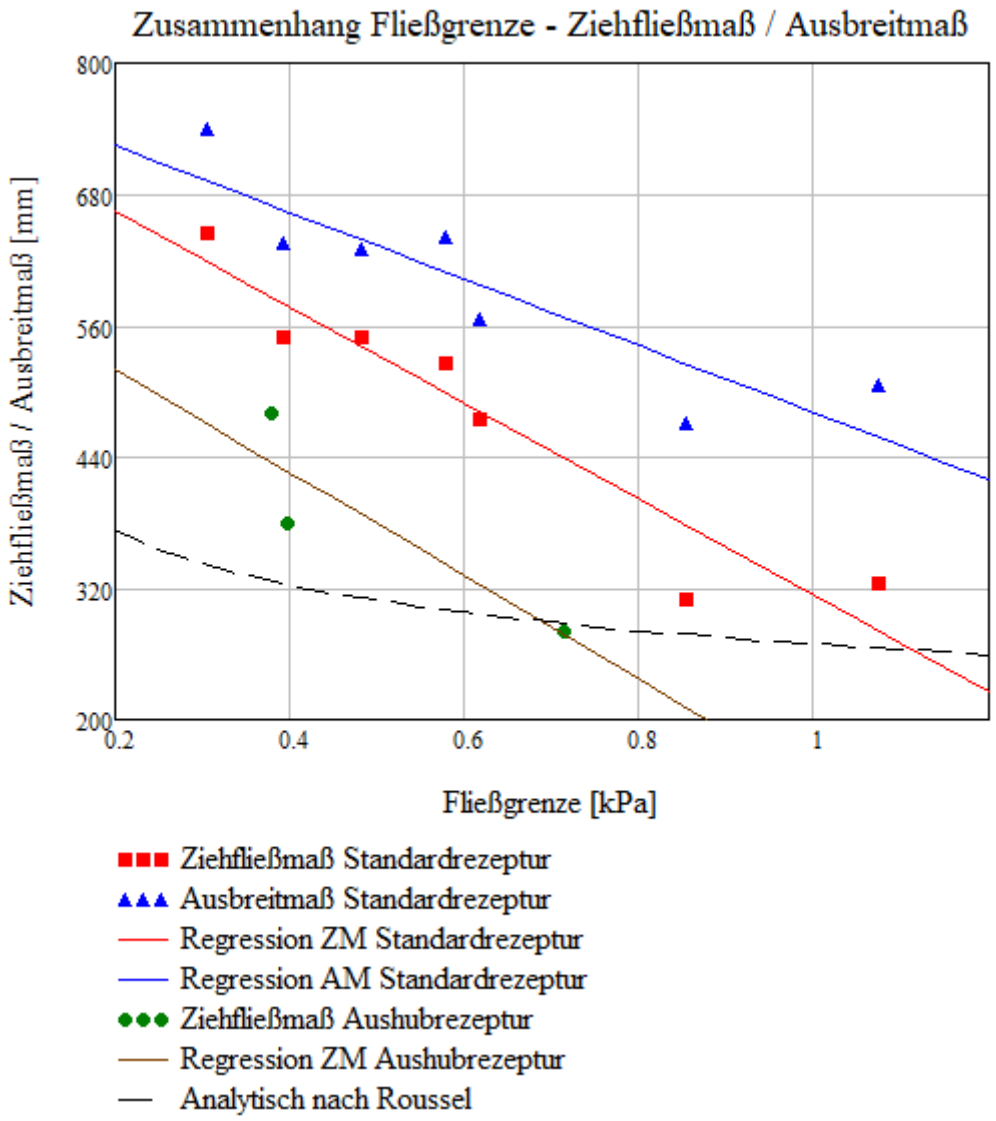
Probefelder und Prüfszenarien

Mod. ViskoWaage



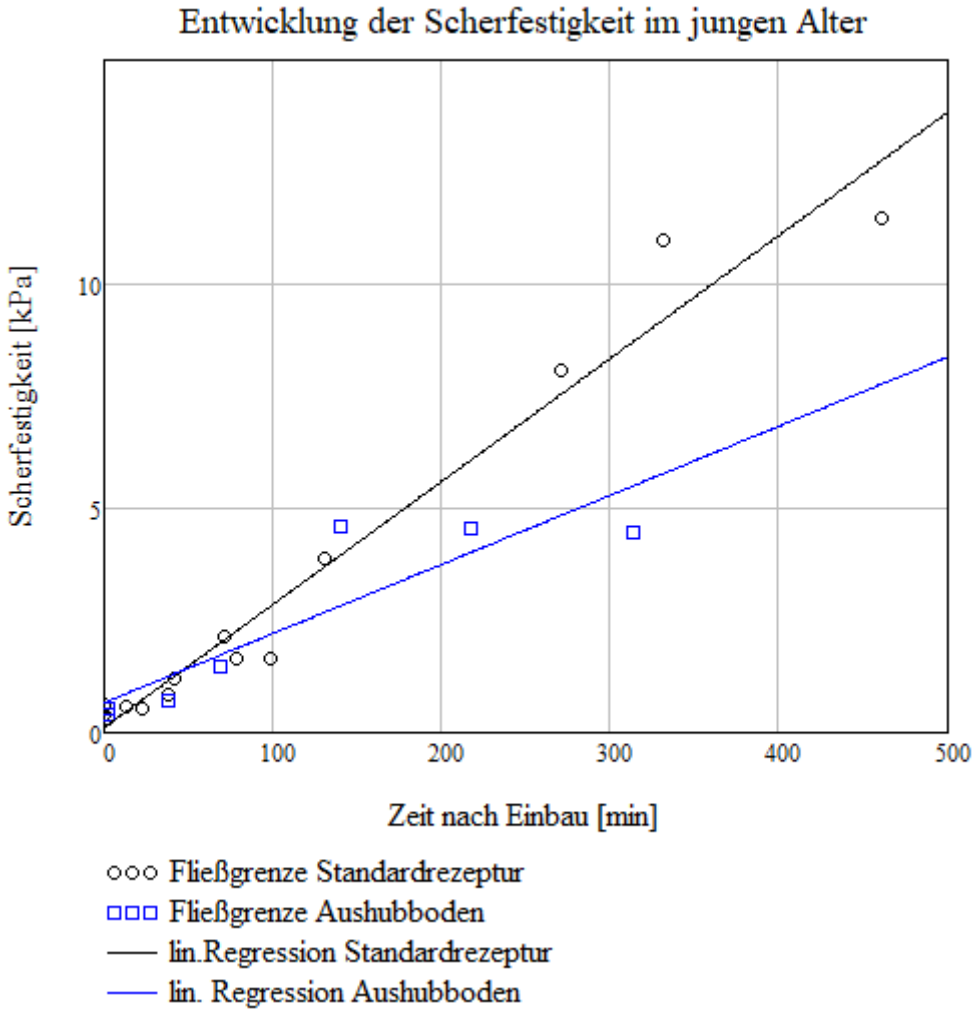
Probefelder und Prüfszenarien

Mod. ViskoWaage



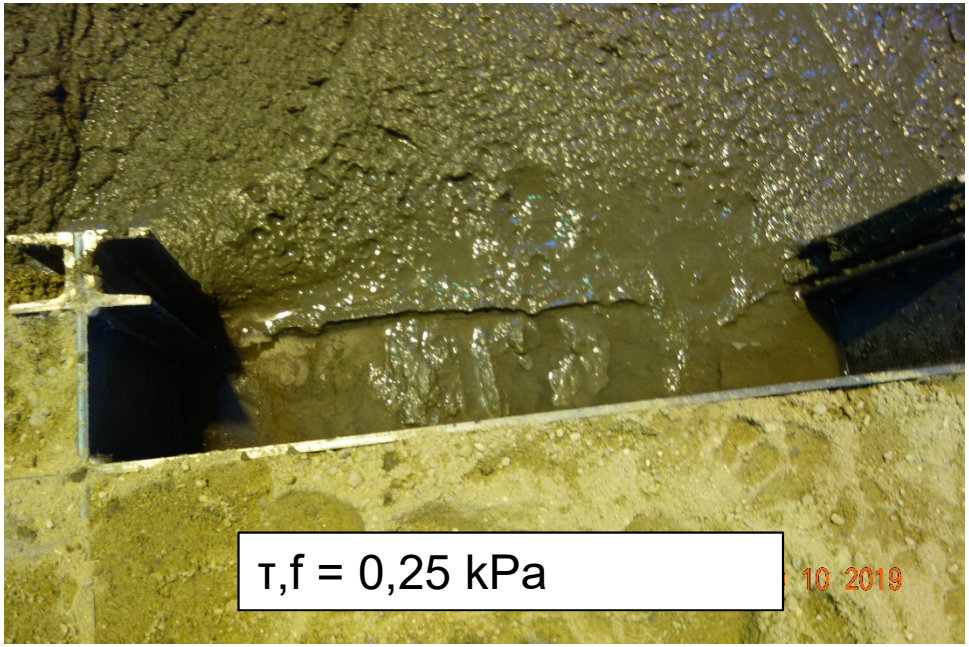
Probefelder und Prüfszenarien

Mod. ViskoWaage



Probefelder und Prüfszenarien

Mod. ViskoWaage



Probefelder und Prüfszenarien

Auftriebsmessung

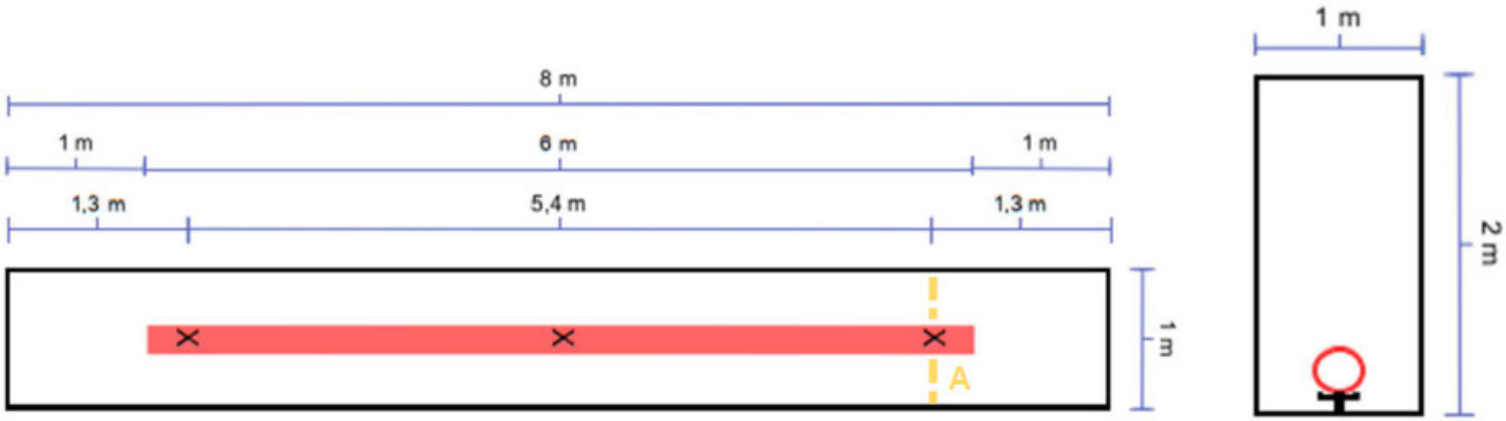
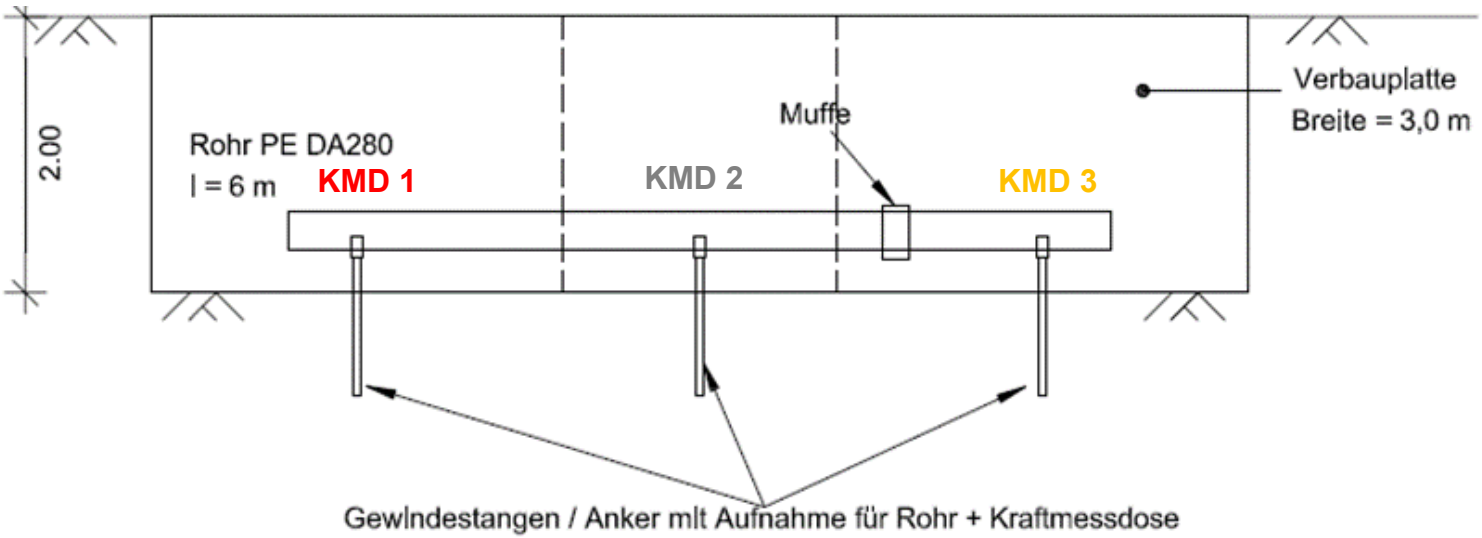
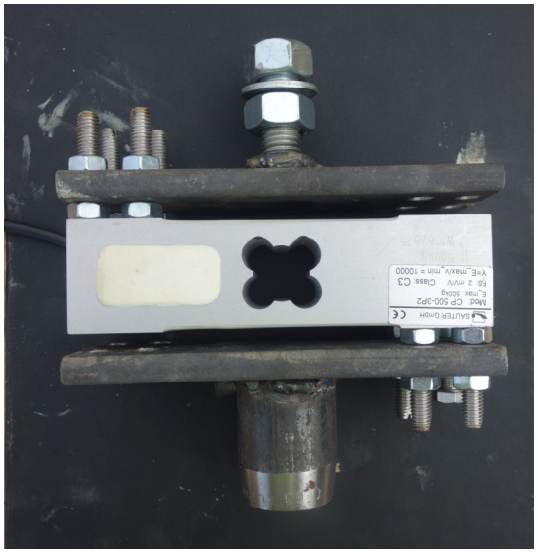


Abb. 6-1: Maßstäbliche Darstellung der Probefelder mit zusätzlichen Schnitt A



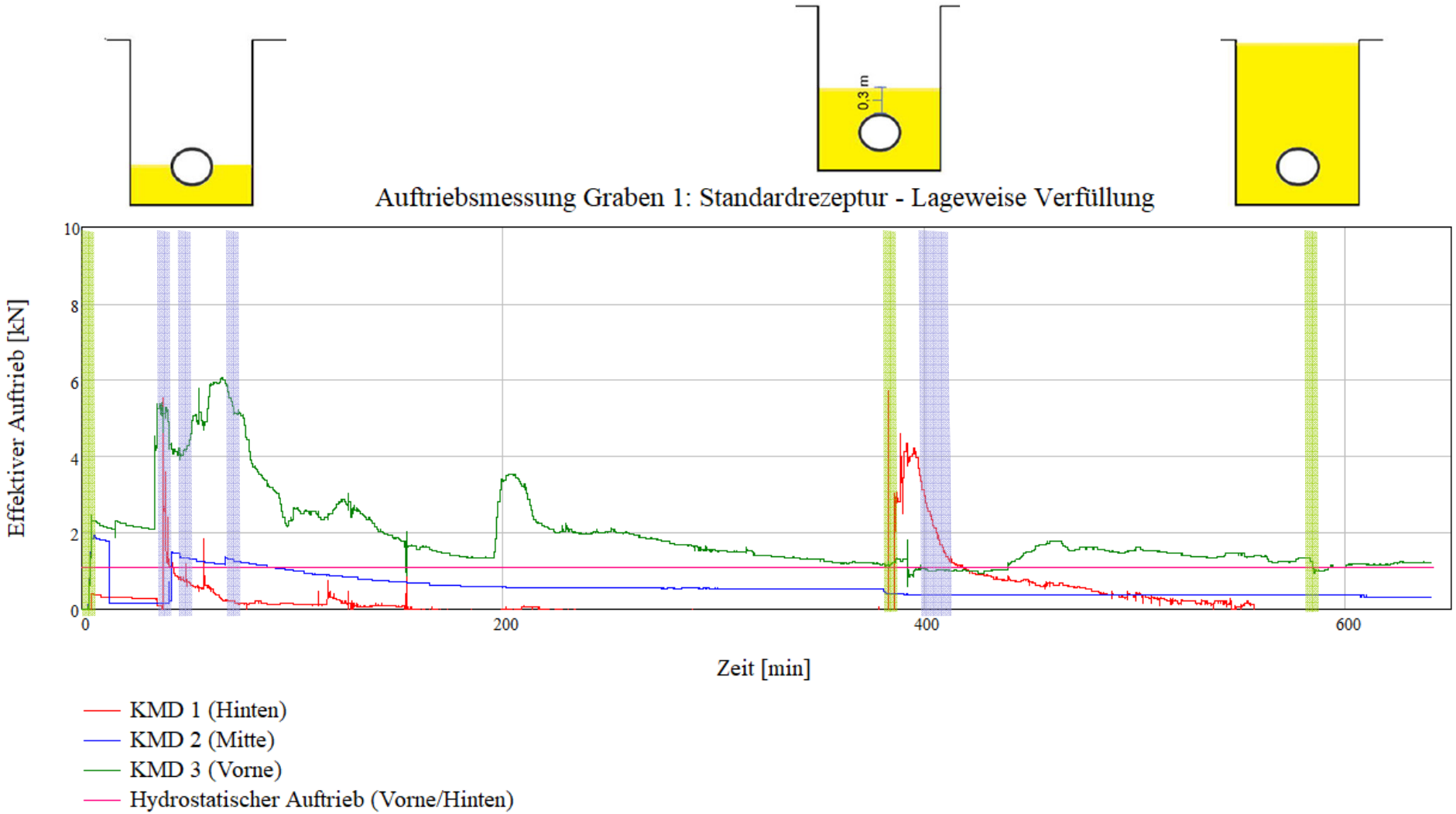
Probefelder und Prüfszenarien

Auftriebsmessung



Probefelder und Prüfszenarien

Auftriebsmessung



Probefelder und Prüfszenarien

Auftriebsmessung

Probefeld 3: Standardrezeptur - Vollfüllung

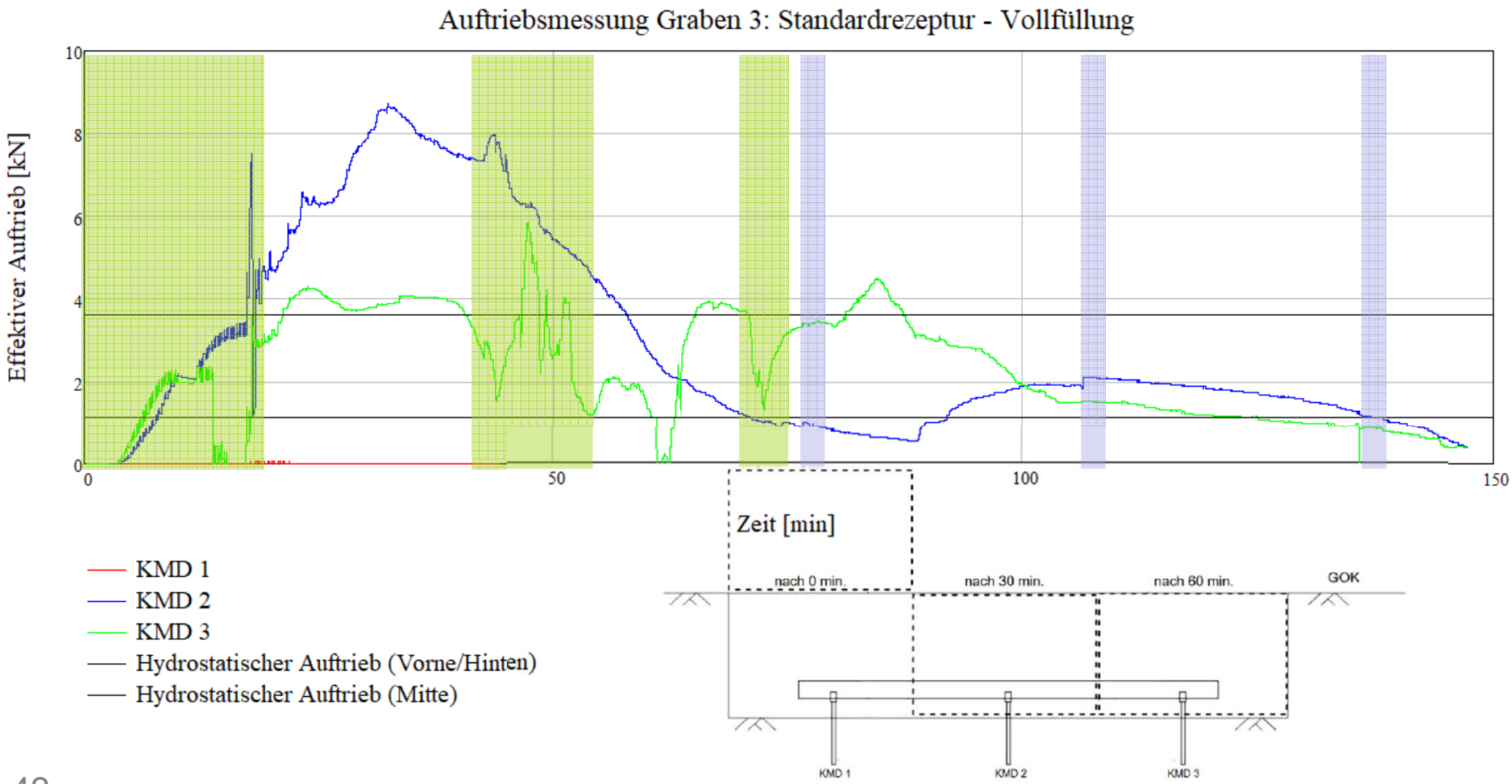


Abb. 6-4: Darstellung des Ziehens der Verbauelemente in Probefeld 3 und 4

Probefelder und Prüfszenarien

Auftriebsmessung

Aufgrund der Sedimentationsneigung wird für die Berechnung des Auftriebs nicht die gesamte Fließgrenze der Suspension herangezogen. Hieraus errechnet sich die effektive Fließgrenze der Suspension:

$$\Delta\tau_f = \tau_f - \tau_{0,min} = 538 - 42 = 496\ \frac{N}{m^2}$$

Die effektive Auftriebskraft ergibt sich aus:

$$f_{A_eff} = f_{A_stat} + f_{A_\Delta\tau_f}$$

$$f_{A_eff} = r^2 \cdot \pi \cdot \Delta\gamma_{Rohr} - 6 \cdot r_{Rohr} \cdot \pi \cdot \Delta\tau_f$$

$$f_{A_eff} = \frac{0{,}28^2}{4} \cdot \pi \cdot (-14.671) - 6 \cdot \frac{0{,}28}{2} \cdot \pi \cdot 496$$

$$f_{A_eff} = -903 - 1309 = -2212\ \frac{N}{m}$$

$$F_{A_eff} = f_{A_eff} \cdot L_{Rohr}$$

$$F_{A_eff} = (-2212) \cdot 6{,}0 = -13{,}27\ kN$$

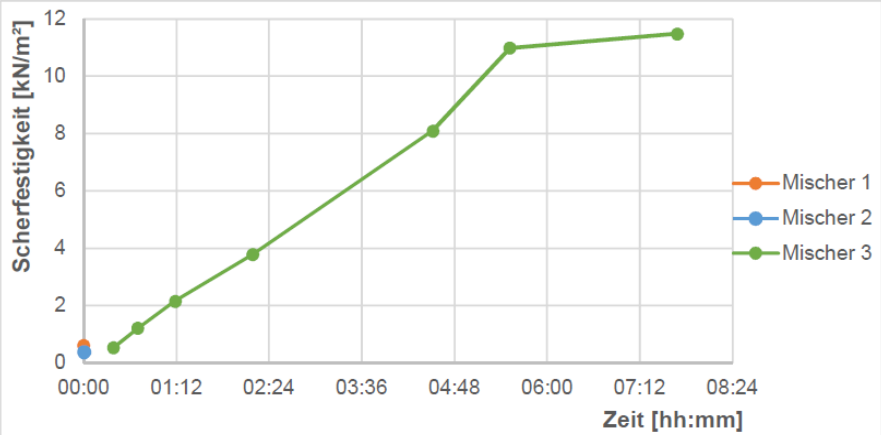


Abb 7-31: Scherfestigkeitsentwicklung des ZFSV aus PF3

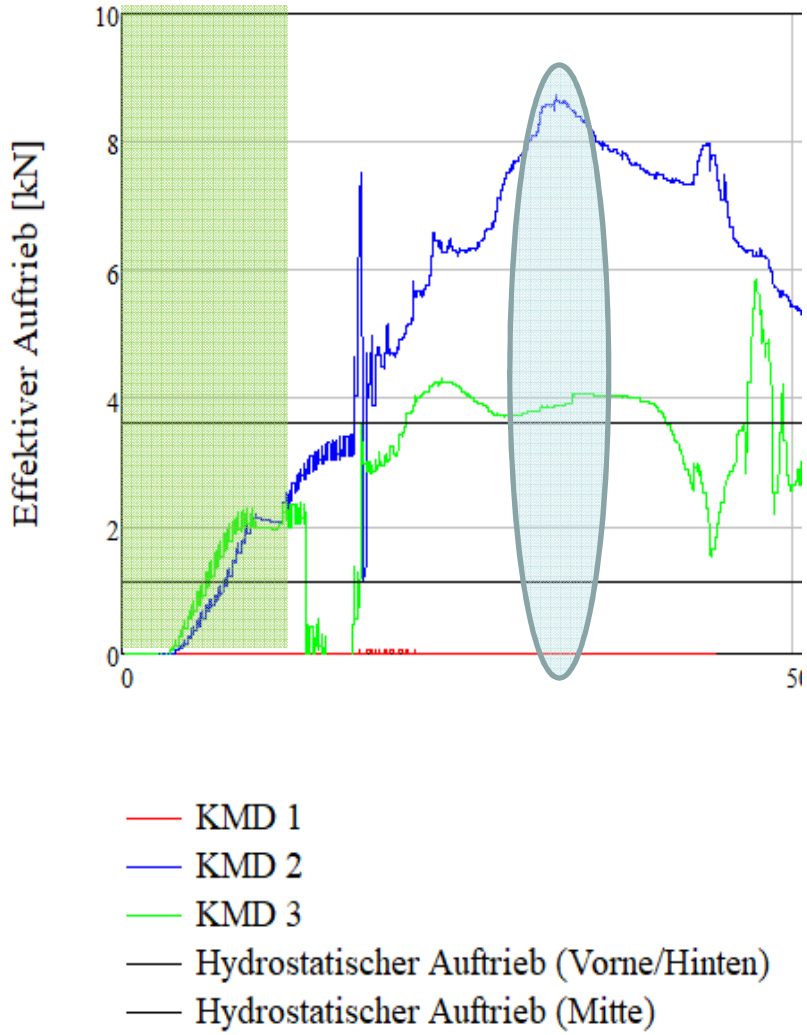
Tabelle 7-14: Versuchsergebnisse der moViwa des ZFSV aus PF3

Misch-fahrzeug	Messung	Verfüllung [Uhrzeit]	Beginn moViWa [Uhrzeit]	Differenz	Scherfestigkeit an Fließgrenze [kN/m²]
1	1	09:08	09:08	00:00	0,618
2	1	09:47	09:47	00:00	0,393
3	1	10:09	10:32	00:23	0,538
3	2	10:09	10:51	00:42	1,212
3	3	10:09	11:20	01:11	2,160
3	4	10:09	12:20	02:11	3,782
3	5	10:09	14:40	04:31	8,099
3	6.1	10:09	15:40	05:31	10,982
3	6.2	10:09	17:50	07:41	11,487

Probefelder und Prüfszenarien

Auftriebsmessung

Probefeld 3: Standardrezeptur - Vollfüllung



FA = 9.000 + 4.000 + 0 = 13.000 N

Die Größenordnung der berechneten Auftriebskraft ist plausibel, die Krafteinwirkung auf das Rohr ist jedoch ‚unberechenbar'.

Zwischenfazit

- Die Größenordnung der berechneten effektiven Auftriebskraft infolge rheologischer Fließgrenze ist plausibel.
- Die Krafteinwirkung auf das Rohr ist jedoch von der Einbausituation abhängig und weitgehend ‚unberechenbar'.
- Auch eine lagenweise Einfüllung ist kein Schutz vor erheblichen Auftriebskräften.
- Die Krafteinwirkung ist abhängig von der Umströmungsrichtung, deshalb ist es sinnvoller von einer Lagesicherung der zu verlegenden Rohrleitung zu sprechen.

Probefelder und Prüfszenarien

Numerische Berechnung

Simulation des Verfüllvorgangs mittels OpenFOAM
- **Open** Source **F**ield **O**peration **A**nd **M**anipulation –
- „Werkzeugkasten“ zur Lösung kontinuumsmechanischer Probleme / Differentialgleichungen mittels Finite Volumen Methode (FVM)

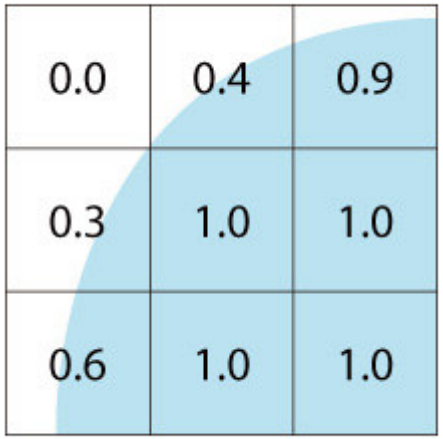
Szenario des Verfüllvorgangs im Feld wurde mittels **multiphaseInterFoam** deskritisiert und simuliert
- VOF-Methode: Volume of Fluid Methode

Impulsgleichung:

$$\frac{\partial(\rho u_i)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_j u_i) = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j}\tau_{ij} + \rho g_i + f_{\sigma i}$$

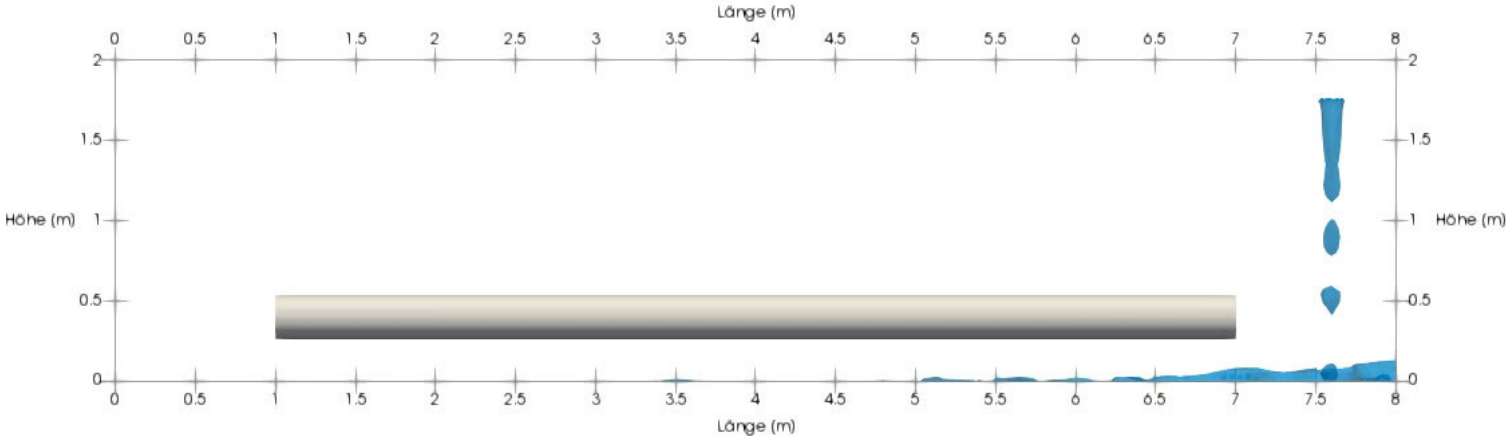
Dichte:

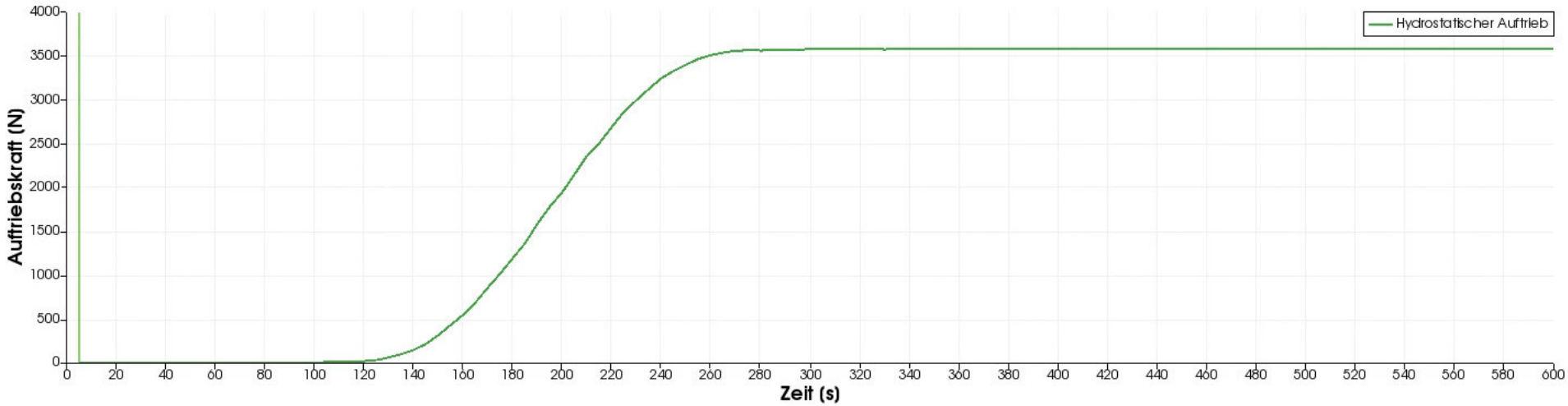
$$\rho = \alpha\rho_1 + (1-\alpha)\rho_2$$



Probefelder und Prüfszenarien

Numerische Berechnung





Probefelder und Prüfszenarien

Numerische Berechnung

Referenzsimulation: Wasser

Hydrostatischer Auftrieb anhand des verdrängten Volumens:

$$F_{stat} = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 0.28^2 \cdot 6 \cdot 9810 = 3624\ N$$

Hydrostatischer Auftrieb aus FVM-Simulation

$$F_{stat}^{FVM} = 3625\ N$$

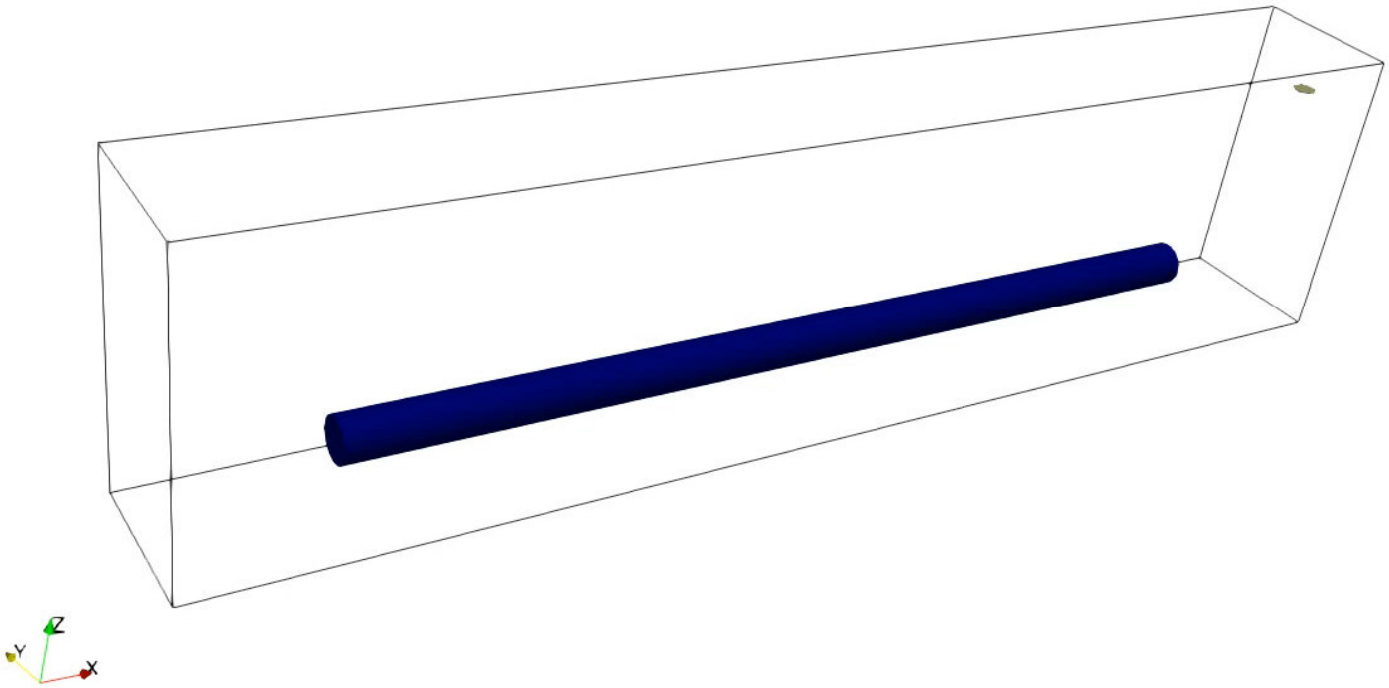
Übereinstimmung mit erwarteten Wert des Auftriebs

- **Netzfeinheit**
- **Diskretisierungsschemata**
- **Stoffparameter**

Probefelder und Prüfszenarien

Numerische Berechnung

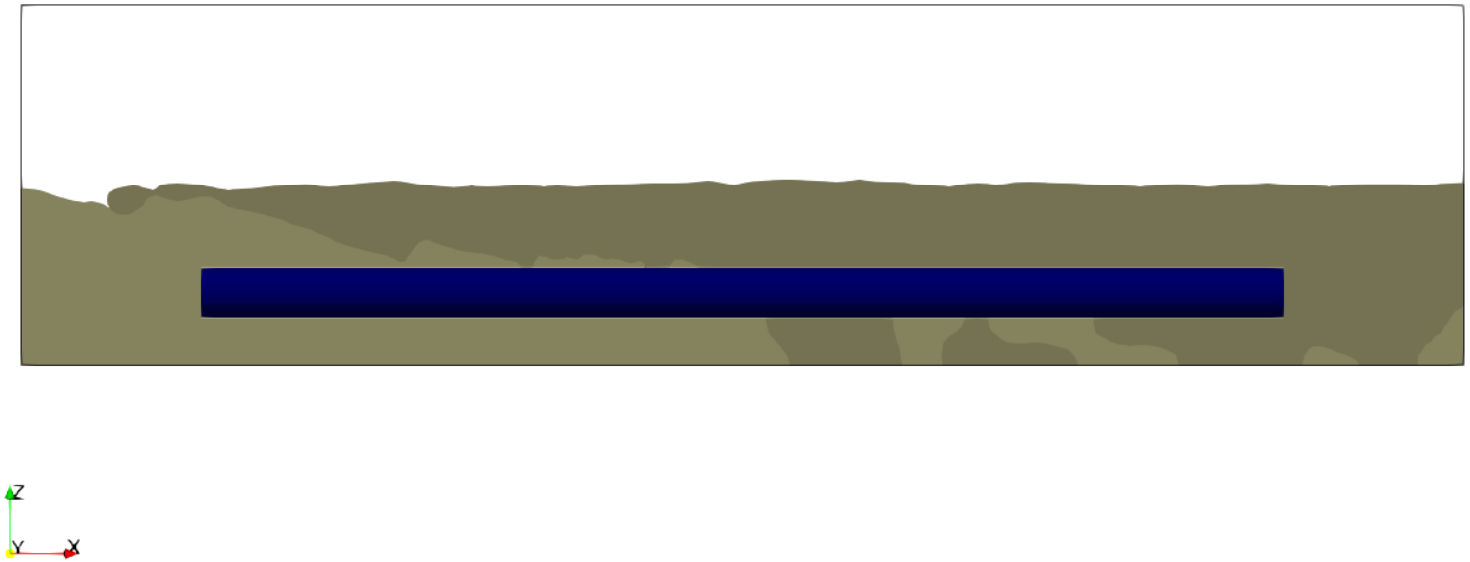
Vermischung Lage 1 & Lage 2



Probefelder und Prüfszenarien

Numerische Berechnung

ZFSV – Vermischung der Verfülllagen 1 & 2



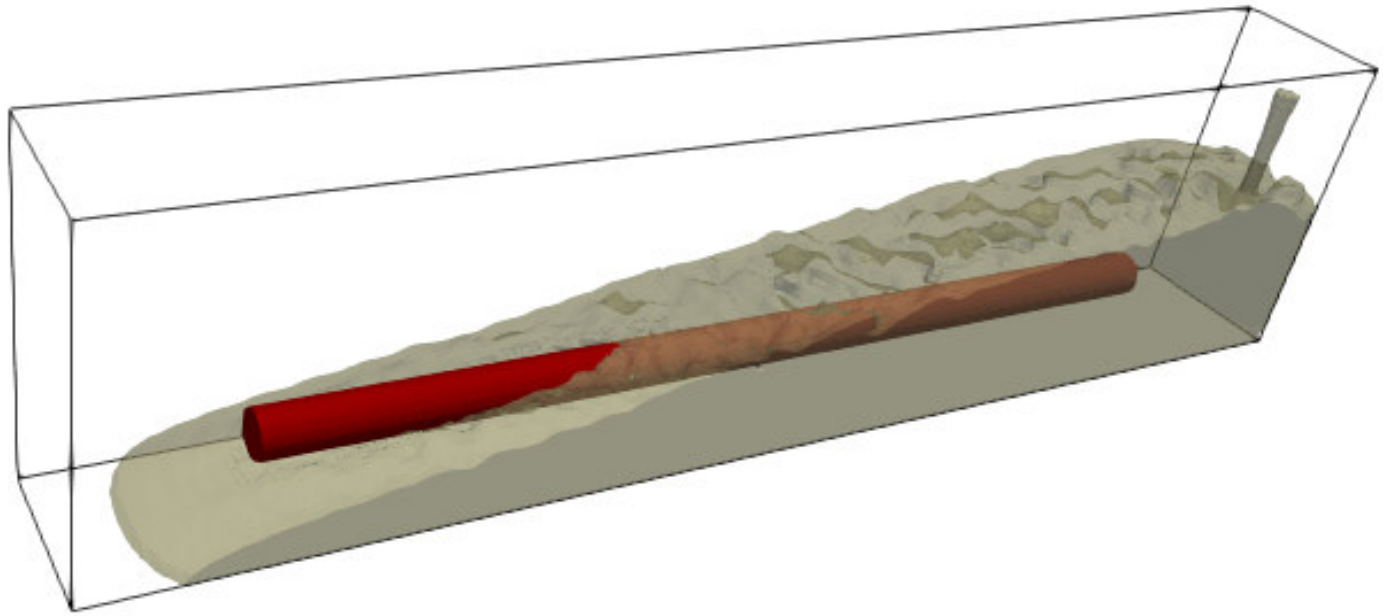
Probefelder und Prüfszenarien

Numerische Berechnung

ZFSV – Vermischung der Verfülllagen 1 & 2

Probefelder und Prüfszenarien

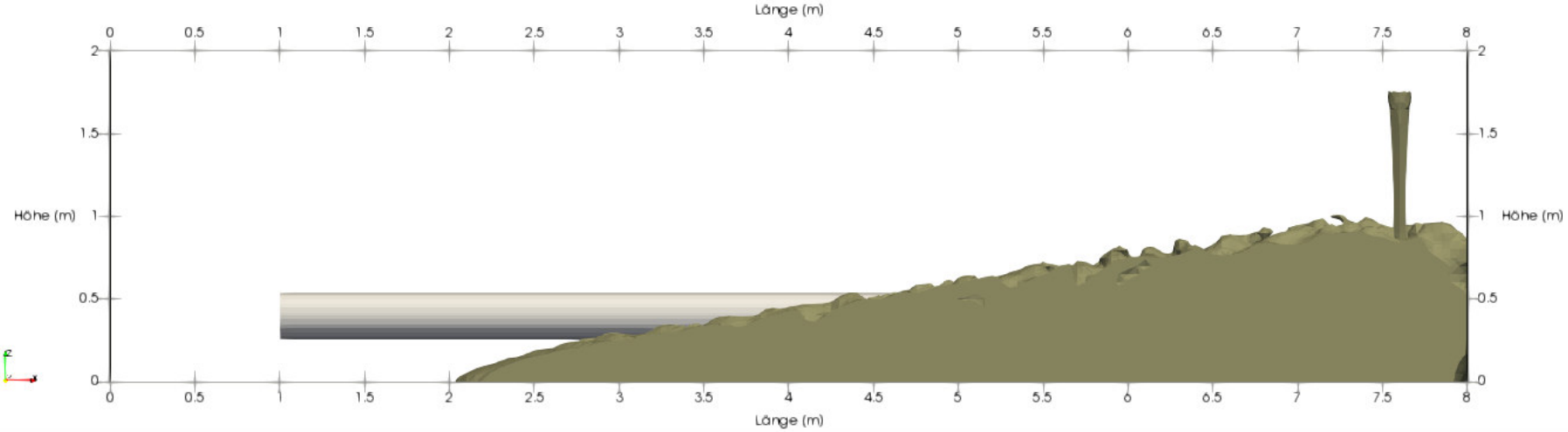
Numerische Berechnung

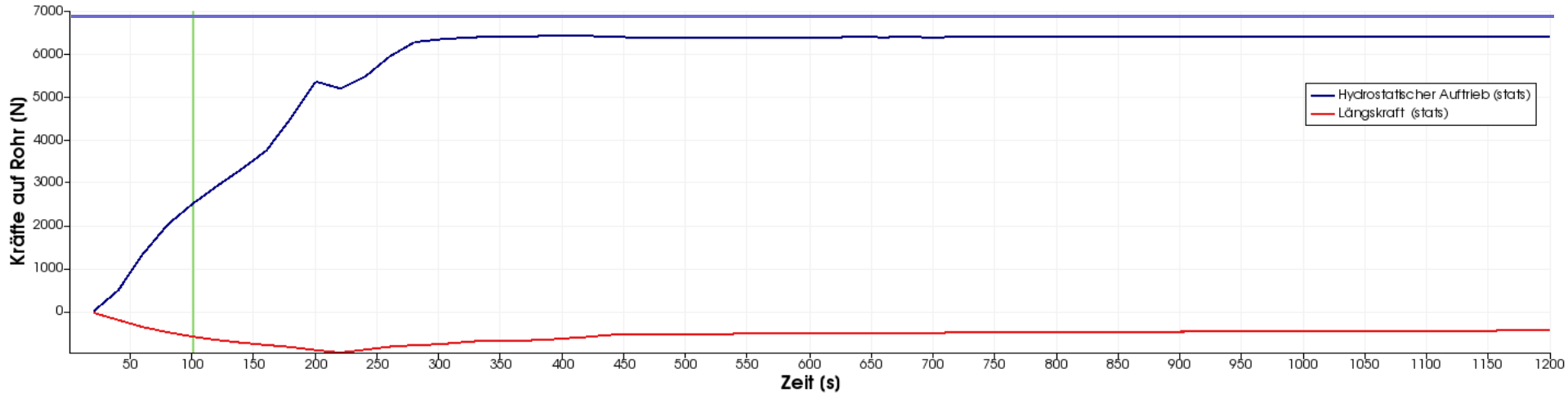


Probefelder und Prüfszenarien

Numerische Berechnung

ZFSV - Vollfüllung

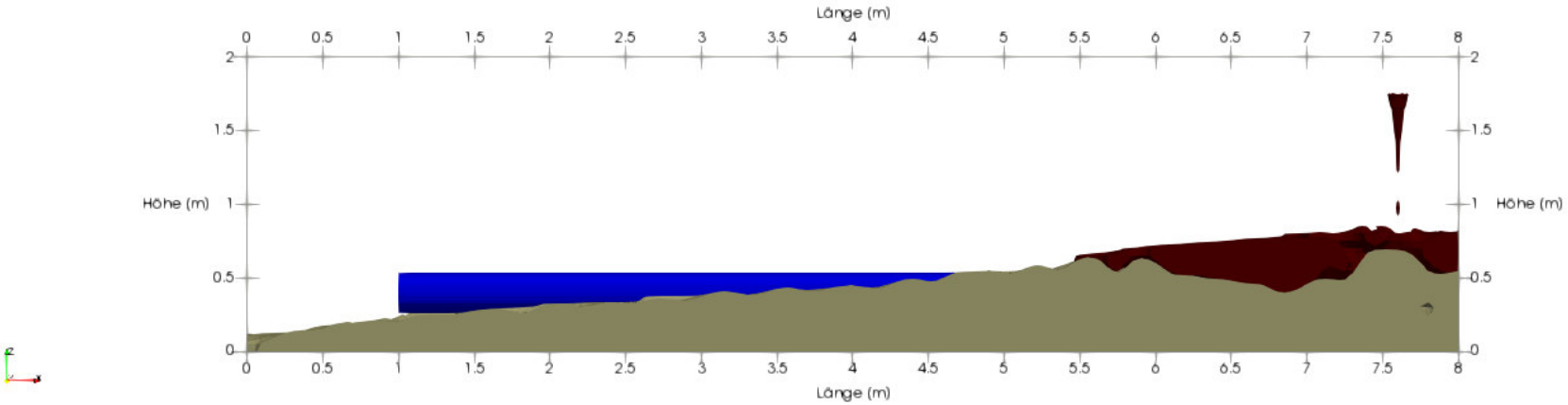


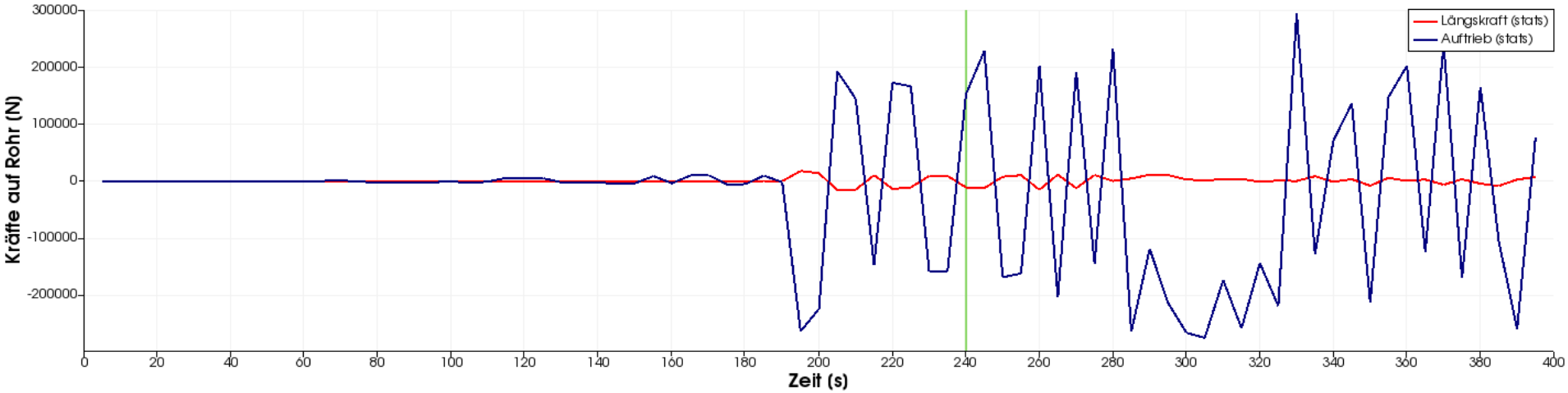


Probefelder und Prüfszenarien

Numerische Berechnung

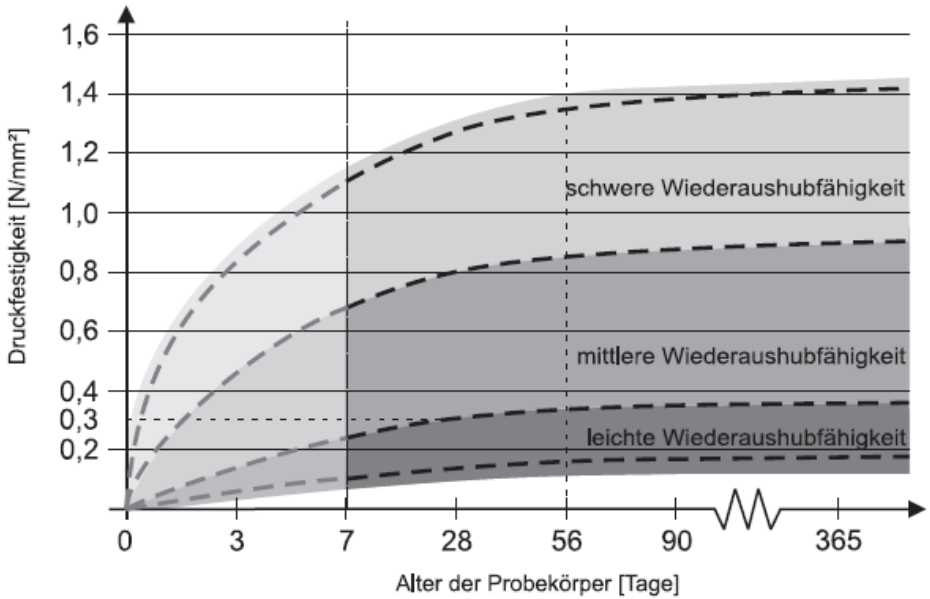
ZFSV - Lagenweise





Probefelder und Prüfszenarien

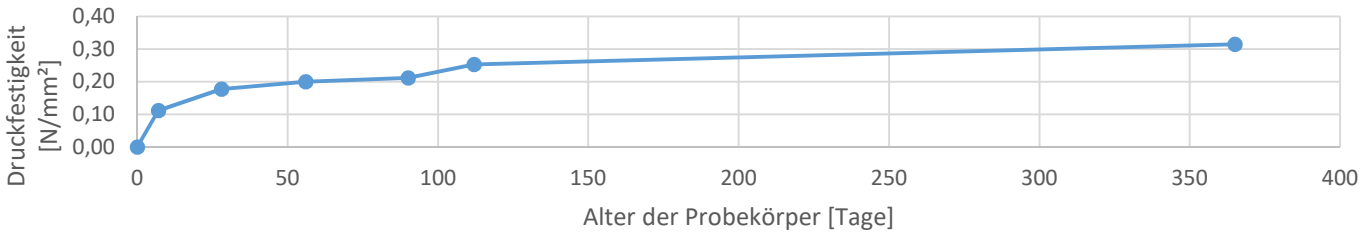
Einaxiale Druckversuche



Die dargestellten Anstiegsverläufe stellen keine begrenzenden Festlegungen dar.

Bild 6: Schematische Darstellung des Verfestigungsverlaufs

Verfestigungsverlauf Standardrezeptur



Probefelder und Prüfszenarien

Zugpfahlversuche

Zugpfahlversuch

Probefelder und Prüfszenarien

Zugpfahlversuche

Zugpfahlversuch

Probefelder und Prüfszenarien

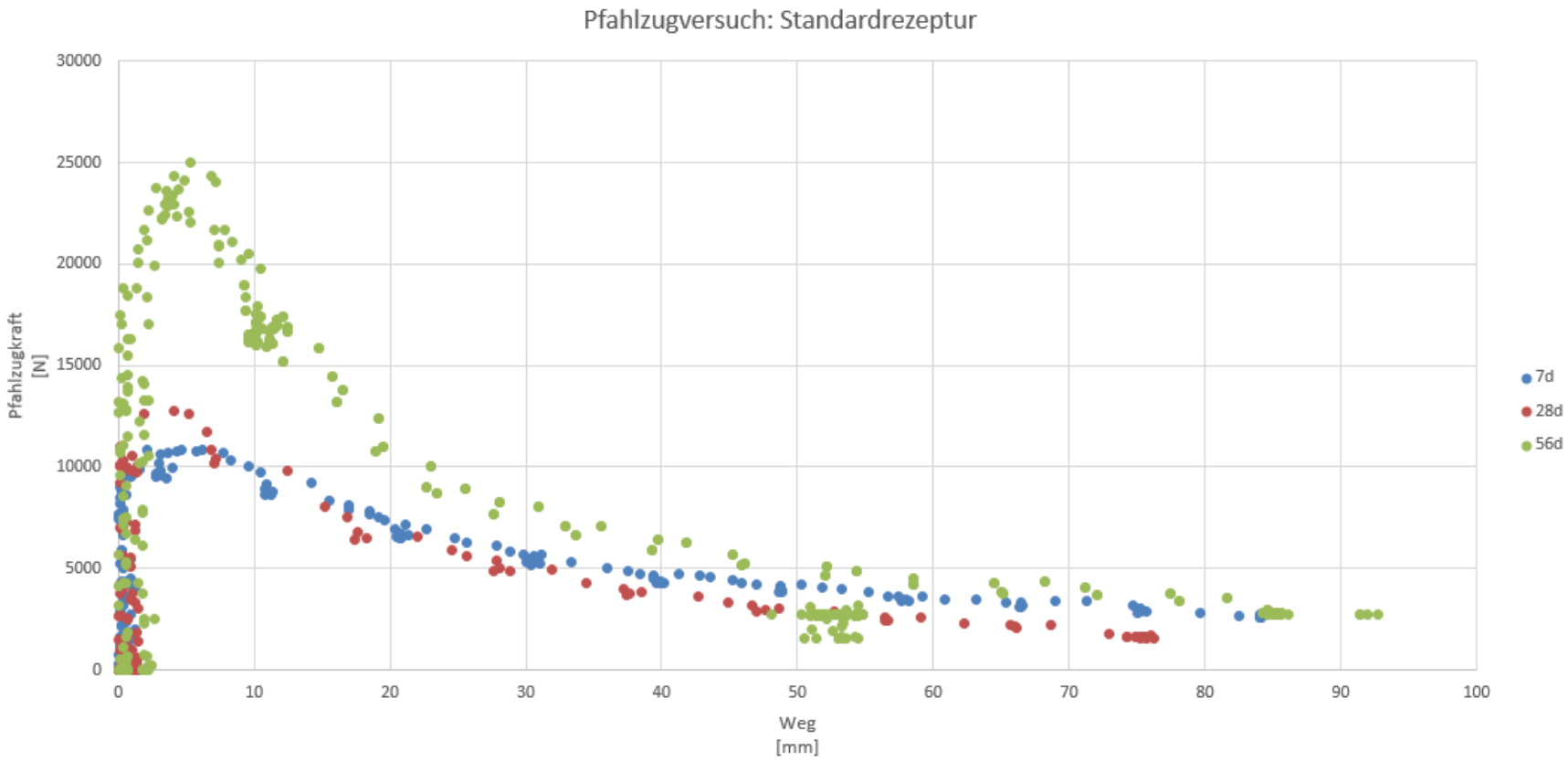
Zugpfahlversuche

Zugpfahlversuch - 24h

Probefelder und Prüfszenarien

Zugpfahlversuche

Zugpfahlversuch – Standardrezeptur nach 7d, 28d, 56d

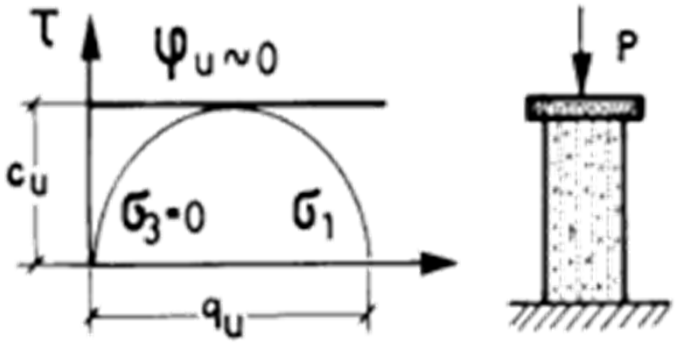


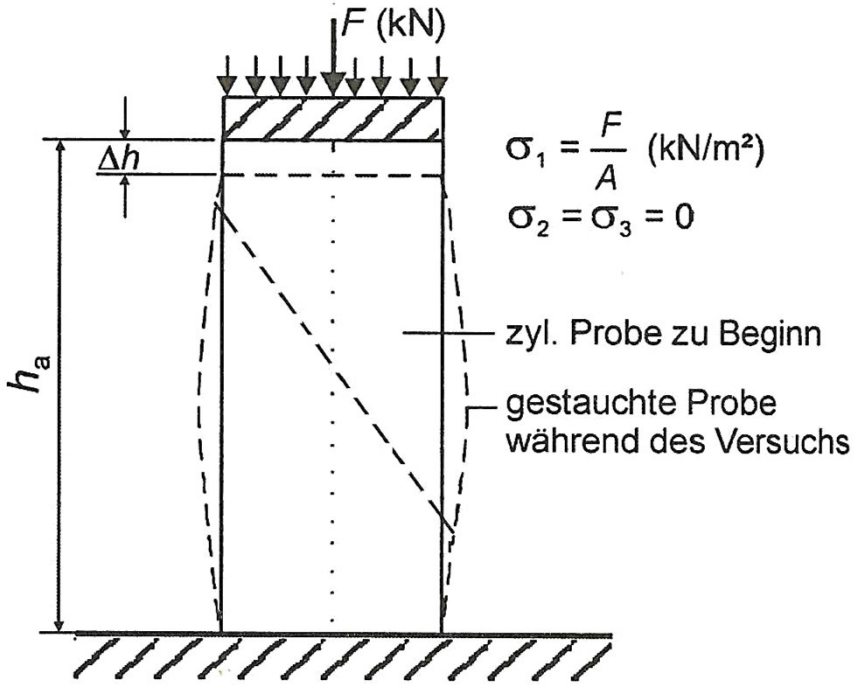
Probefelder und Prüfszenarien

Zugpfahlversuche

Einaxiale Druckfestigkeit

Undrainierte Scherfestigkeit





Einaxiale Druckfestigkeit q_u:

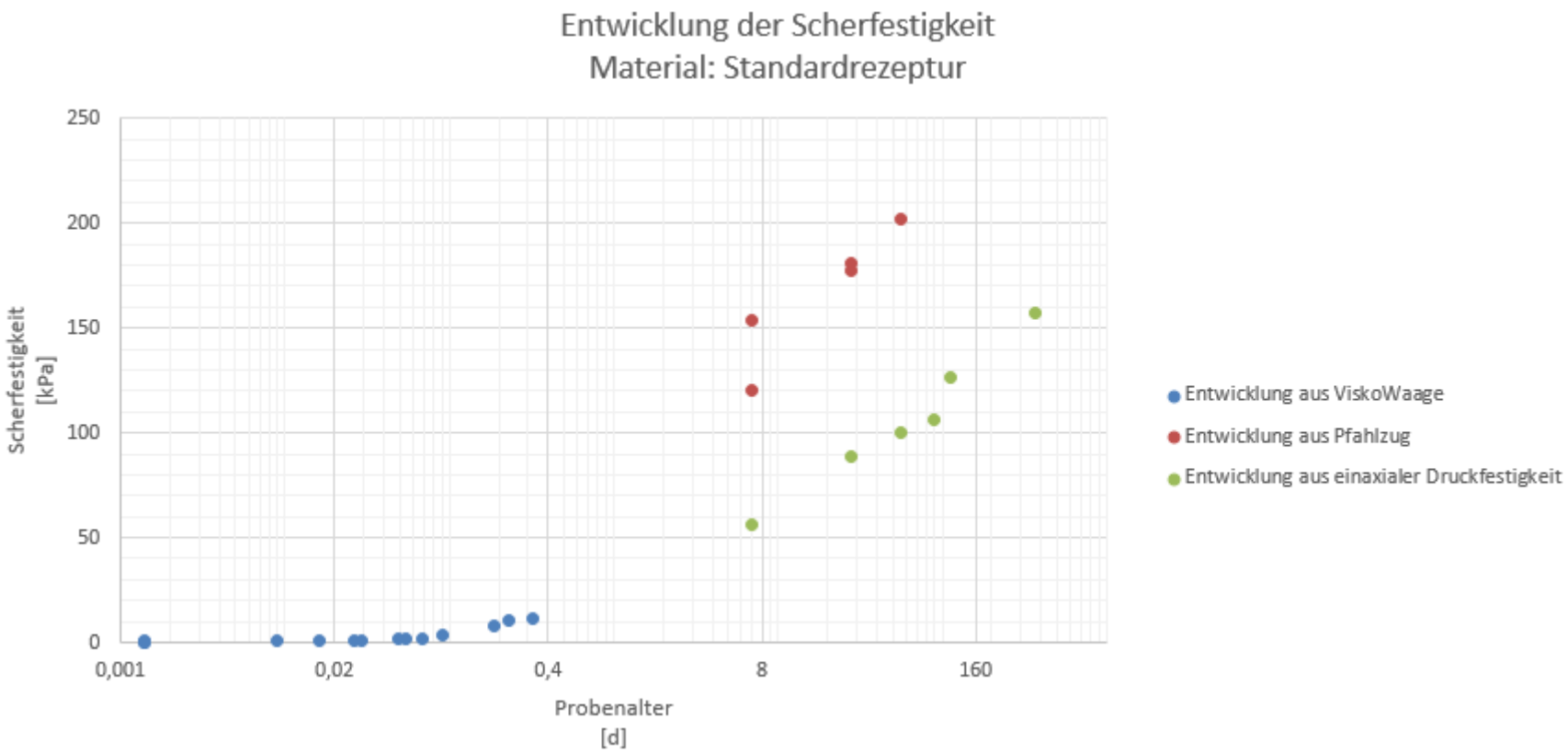
$$q_u = \sigma_1 = \frac{F}{A}$$

Undrainierte Kohäsion c_u:

$$c_u = \frac{q_u}{2}$$

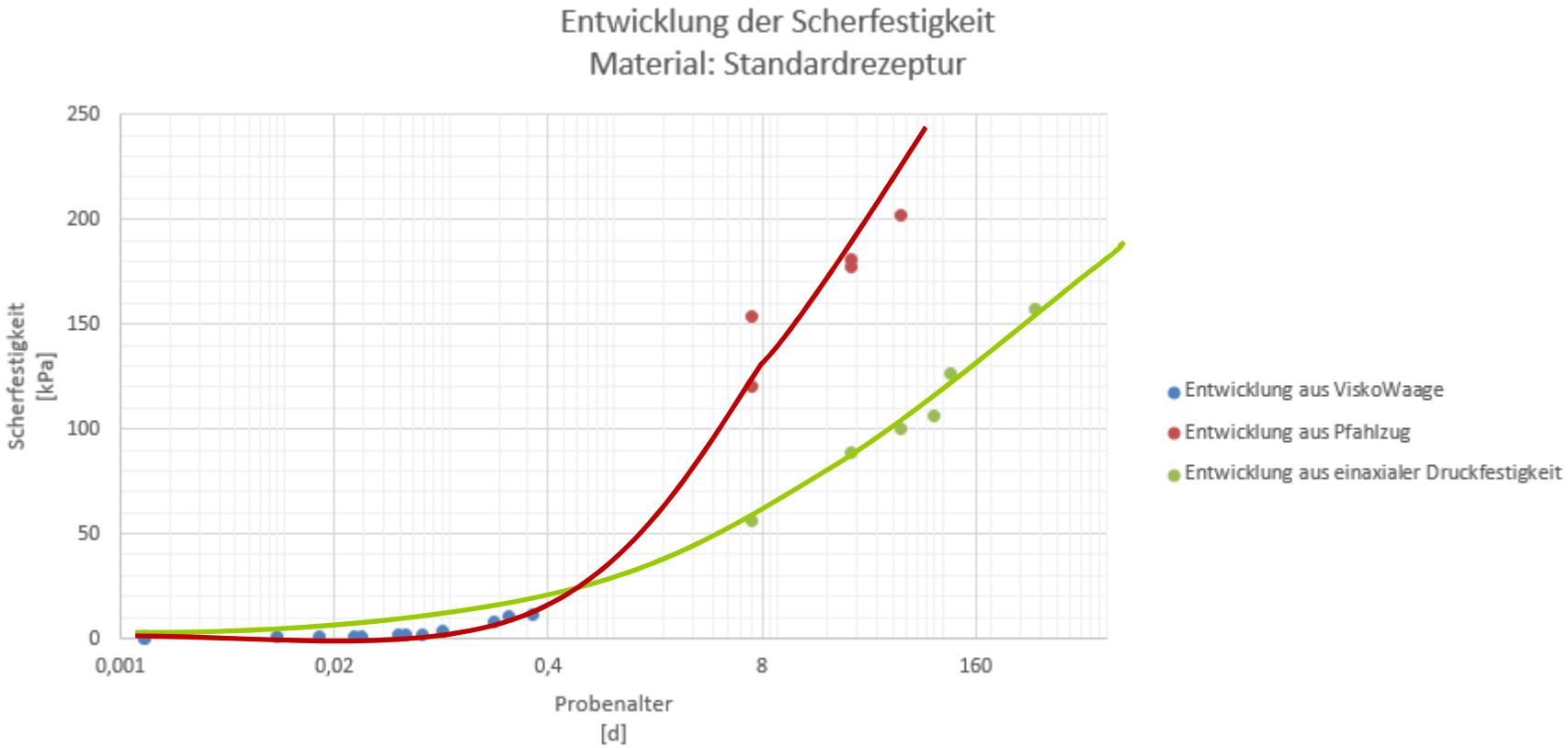
Probefelder und Prüfszenarien

Zugpfahlversuche



Probefelder und Prüfszenarien

Zugpfahlversuche



Erkenntnisse und Perspektiven

- Weiteres Probefeld unter Berücksichtigung der gewonnenen Erkenntnisse
- Überarbeitung der QS:
  - Statiker
  - Einbauschulung
  - baubegleitende Kontrollprüfungen
  - Ausschreibungen und Rahmenverträge
- Entwicklung eines rezepturspezifischen QM bzgl. der zeitlichen Materielentwicklung
- Weitere Zusammenarbeit
- Veröffentlichung der Erkenntnisse in Bautechnik (wir für Euch)