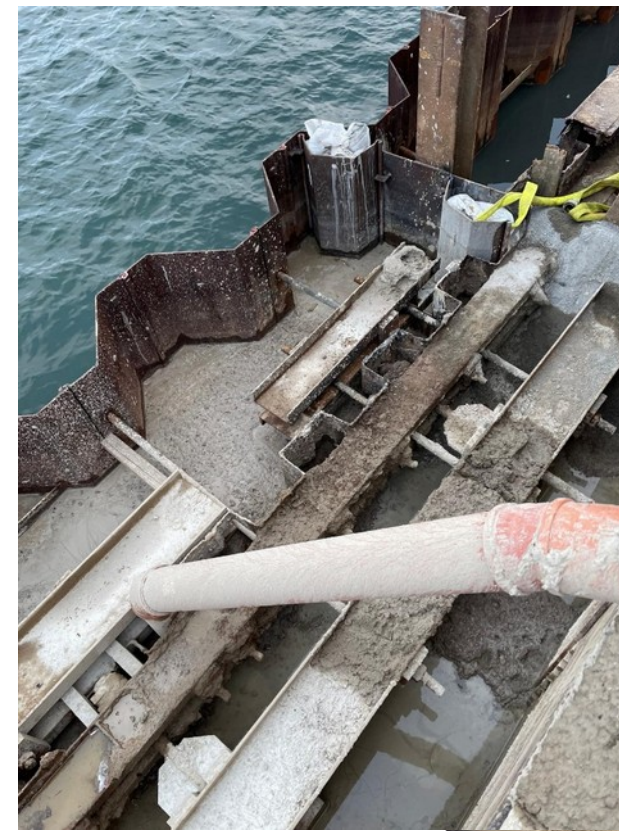


Flüssigboden - Anwendungsbeispiele

Eike Sophie Winkler
eike.winkler@fluessigbodennord.de

Was ist Flüssigboden?

- Flüssigboden ist ein zeitweise fließfähiger selbstverdichtender Verfüllbaustoff (ZFSV), welcher aus
 - dem natürlich anstehenden Boden,
 - aus **aufbereiteten Böden**, aus **Recyclingbaustoffen**,
 - aus Primärrohstoffen, oder **Gemischen** hergestellt werden kann
- Dem Grundstoff werden Bindemittel (Zement **und** Tonminerale) sowie Wasser zugesetzt
- Flüssigboden kann eingesetzt werden zur
 - zur Verfüllung **von Leitungsgräben und Baugruben**, als **(Spundwand-) Hinterfüllung**, zur **Immobilisierung von Schadstoffen**, als **Brückenwiderlager**, als **Gründungs-/Bodenplatte**
- Der Baustoff fließt bei korrekter Herstellung und Anwendung ohne Einwirkung zusätzlicher Energie
- Die Aushärtung erfolgt kohäsiv friktional (Tonminerale) und hydraulisch (Zement)
- Es soll grundsätzlich langfristig bodenähnliche Eigenschaften aufweisen (Wiederaushubbar mit leichtem Gerät)





Bodenaufbereitung
g „mobil“ im
Baufeld: Anlage
kann abgestellt
werden oder
auf dem 4 Achser
verbleiben

- Maße: 7,50 m x 2,50 m
- Leergewicht: 11,35 t



- „Große“ Herausforderungen erfordern kluge Lösungen





Anwendung, Kiel – Herstellen eines Fernwärmegrabens



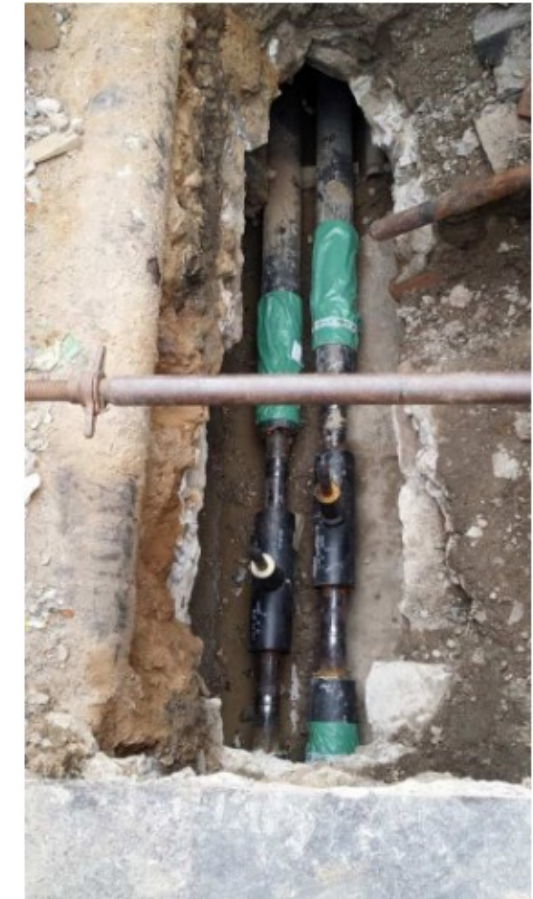
Ausheben des Bodens aus dem Leitungsgraben (mit der **Saugbox** aufgrund diverser Versorgungsleitungen),
Laut Baugrundgutachten **LAGA Einbaukasse Z 1.2**

Anwendung, Kiel - Verfüllen des Fernwärmegrabens



Nachmittags: Verfüllen der Leitungsgräben mit Flüssigboden, hergestellt aus dem Aushubmaterial

Folgetag: Überbauen



Verfüllen anderer UNERWÜNSCHTER Hohlräume



Erfahrungsaustausch an der Hafen City Universität

Energiewende eröffnet Flüssigboden neue Perspektiven

Am ersten Veranstaltungstag hatten die Teilnehmenden Gelegenheit, sich auf einer Hamburger Baustelle einen Eindruck von der Anwendung von Flüssigboden in der Praxis zu verschaffen. | Fotos: RAL Gütegemeinschaft Flüssigboden



Eike Sophie Winkler von Flüssigboden SH berichtete über die vielfältigen Einsatzmöglichkeiten von Flüssigboden.

beln vorgestellt sowie Aspekte der bestehenden Regelwerke und der Qualitätssicherung diskutiert. So sollten im Rahmen dieses Erfahrungsaustausches auf der Basis von fundierten Fachinformationen Vorbehalte und Verunsicherung gegenüber dem Einsatz von Flüssigboden abgebaut und Vertrauen in diese Verfahrenstechnik mit ihren Vorteilen und Einsatzmöglichkeiten gestärkt werden.

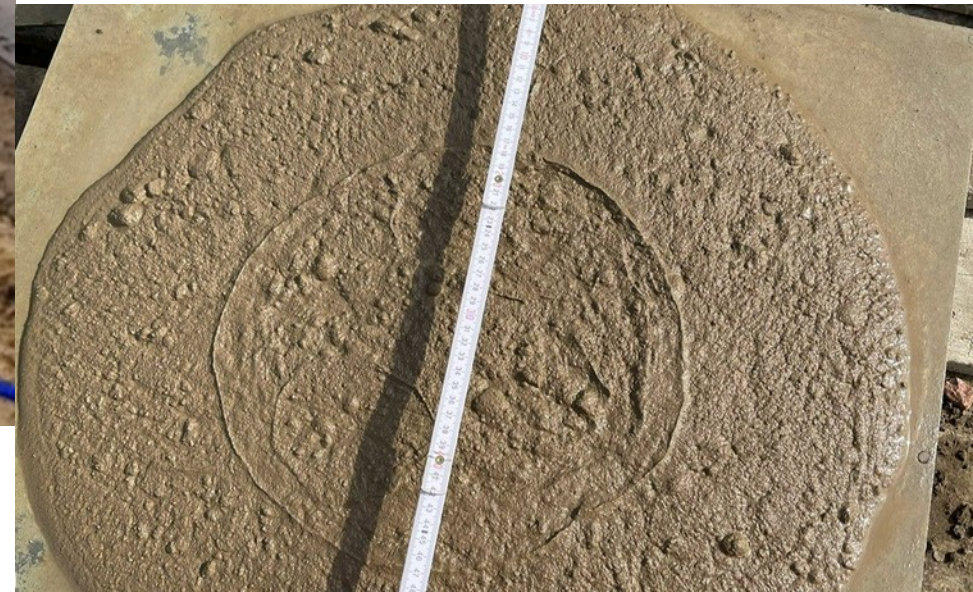
Nach dem erfolgreichen Auftakt soll diese Veranstaltung zukünftig alle zwei Jahre in Hamburg stattfinden und sich mit der ähnlich gestalteten DACH-Tagung zum Thema Flüssigboden in Dresden für Interessierte im Süden Deutschlands abwechseln.

Gütesicherung: Das Ergebnis zählt

Am Rande der Veranstaltung hatten wir Gelegenheit, mit dem Geschäftsführer der Gütegemeinschaft Flüssigboden, Axel Lobenstein, dem Obmann des Güteausschusses, Prof. Dr. Bernd Märtner, und Prof. Dr.-Ing. Markus Weber von der Hochschule für angewandte Wissenschaft Coburg über aktuelle Themen und Entwicklungen im Bereich der Flüssigbodentechnologie zu sprechen.

B_1 umweltbau: \ die neuen Regeln verordnung in dis mungen der RAL sigboden aufgen sich vor diesem h den Einsatz von f Blick auf die großen anstehenden Infrastrukturprojekte?

Prof. Bernd Märtner: Wir befinden uns ja gerade hier in Norddeutschland, wo jetzt die großen Projekte der Erdkabelverlegung auf den Starkstromtrassen losgehen. Zum zweiten kommunalen Wärmenetze in den Städten Bereichen sehe für den Einsatz vor



[Großprojekt Graben | 300 Kilometer Tiefbau für ein Stromkabel](#)

Beispiel Anforderungen an den Flüssigboden

Folgende Parameter müssen eingehalten werden:

- für DN 800, PE-Mantelrohrdurchmesser 1100 mm
- minimaler Dehnungswiderstand zwischen ZFSV und PE-Mantelrohr: 11 kN/m
Dies entspricht einer Dehnungsbehinderung von 0,01 MPa.
- maximaler Dehnungswiderstand zwischen ZFSV und PE-Mantelrohr: 22 kN/m
Dies entspricht einer Dehnungsbehinderung von 0,02 MPa.
- maximaler Dehnungswiderstand zwischen ZFSV und PE-Mantelrohr beim ersten Anfahren: 55 kN/m
Dies entspricht einer Dehnungsbehinderung von 0,05 MPa.

Rezeptur

0249-01a

Boden

S, g'

Herstelldatum

02.08.2023

Rezeptur in kg (Boden 0 M.-% Feuchte)

	Volumen [dm³]	kg/m³
CEM I 42,5 R	12	37
Multicompound	17	45
Boden	626	1660
Wasser	345	345
Σ	1000	2087

Wassergehalt Boden

4

M.-%

Wassergehalt Frischsuspension

19,8%

M.-%

Ziehmaß

23 / 22

cm

Ausbreitmaß

54 / 55

cm

Frischrohdichte

2060

kg/m³

Absetzmaß

0,665

Vol.-%

Suspensionsstabilität:

homogen, suspensionsstabil

Mischempfehlung:

5 min sind ausreichend

	Rezeptur in Abhängigkeit vom Feuchtegehalt des Ausgangsbodens in kg														
	1%	2%	3%	4%	5%	6%	7%	8%	9%	10%	11%	12%	13%	14%	15%
CEM I 42,5 R	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37
Multicompound	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45
Boden	1677	1693	1710	1726	1743	1760	1776	1793	1809	1826	1843	1859	1876	1892	1909
Wasser	328	312	295	278	262	245	229	212	195	179	162	146	129	112	96



Mobile Mischanlage am Kopf der Baugrube, Schotts am Bauabschnittende



Beispiel Nachweispflichten Flüssigboden_Ausschnitt Bericht EÜ

3. Abgebundener Zustand (Endzustand)

Die Probekörper wurden im Labor bis zum Prüfzeitpunkt in verschlossenen Behältern bei $(20 \pm 2) ^\circ\text{C}$ gelagert. Die Ergebnisse der Prüfungen im Endzustand sind in der Anlage 4 bis 6 ausführlich dargestellt.

Parameter	Anforderung	Ergebnis
Einaxiale Druckfestigkeit $[\text{N}/\text{mm}^2]$ (Anlage 4)	$q_u (56\text{d}) \leq 0,3 \text{ N}/\text{mm}^2$ $f_z\text{-Wert} \leq 0,10 \text{ N}/\text{mm}^2$	$q_u (56\text{d}) = 0,15 \text{ N}/\text{mm}^2$ $f_z = 0,03 \text{ N}/\text{mm}^2$
Volumenstabilität [%] (Anlage 6)	$\leq 3,0 \%$	0,06 %
Mantelreibungen τ_{max} und τ_{res} (Anlage 5)	---	$\tau_{\text{max}} = 0,031 \text{ MPa}$ $\tau_{\text{res}} = 0,005 \text{ MPa}$

4. Exemplarische Berechnung der Dehnungswiderstände

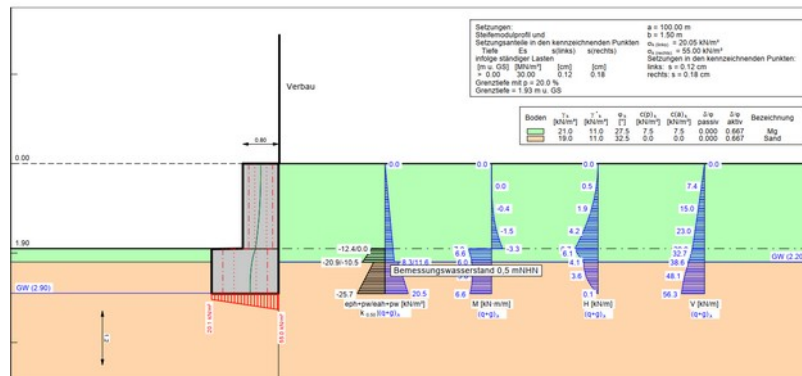
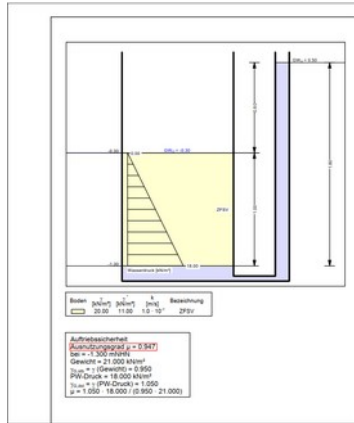
Die exemplarische Berechnung der Dehnungswiderstände ist im Kurzbericht zur technischen Auswertung von Stabscherversuchen für den Fernwärmeleitungsbau von Prof. Dr.-Ing. Ingo Weidlich in Anlage 5 ausführlich dokumentiert.

Der exemplarischen Berechnung der Dehnungswiderstände sind folgende Annahmen und Kenngrößen zu Grunde gelegt:

- 1) einaxiale 28-Tage-Druckfestigkeit des ZFSV aus der Eignungsprüfung: $q_{u,28} = 0,13 \text{ MPa}$
- 2) Ableitung der undränierten Scherfestigkeit des ZFSV zu: $c_u = q_u / 2$
- 3) Ableitung des inneren Reibungswinkels des ZFSV aus c_u und der maximalen Korngröße des Ausgangsbodens aus Literaturwerten zu: $\varphi = 26^\circ$
- 4) Maximalwert der Adhäsion als Mittelwert aus der Eignungsprüfung: $\tau_{\text{max}} = 0,031 \text{ MPa}$
- 5) Residualwert der Adhäsion als Mittelwert aus der Eignungsprüfung: $\tau_{\text{res}} = 0,005 \text{ MPa}$
- 6) Reibungskoeffizient zwischen ZFSV und Rohrummantelung: $\mu = \tan(\varphi/2/3)$
- 7) Gewichtskraft des Rohres nach EN 253 zu: DN800 $\rightarrow 6,7141 \text{ kN/m}$
- 8) Wichte des Überdeckungsmaterials: $20,2 \text{ kN/m}^3$
- 9) Höhe der Überdeckung über Rohrscheitel: 1 m

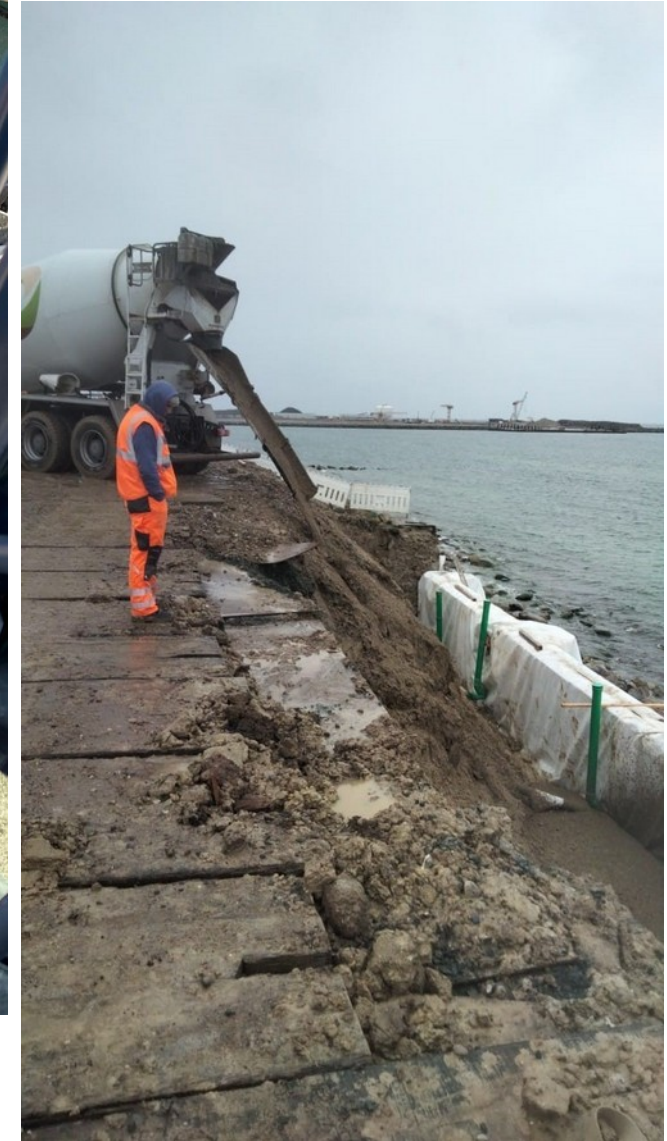


Foto: T. Banning, GEF Ingenieure
Abwasserkolloquium Hafencity Universität Hamburg



„Holländische Bauweise“- Bemessungsbeispiel, Baugrube, artesischer GWL

Flüssigbodeneinbau Spundwände, enge Arbeitsräume, Unterwassereinbau



Flüssigbodeneinbau Maschineneinsatz mobil

Abwasserkolloquium Hafencity Universität Hamburg

Flüssigbodeneinbau Trommelmischer 16

Schwergewichtswand als Alternative zur Trägerbohlwand

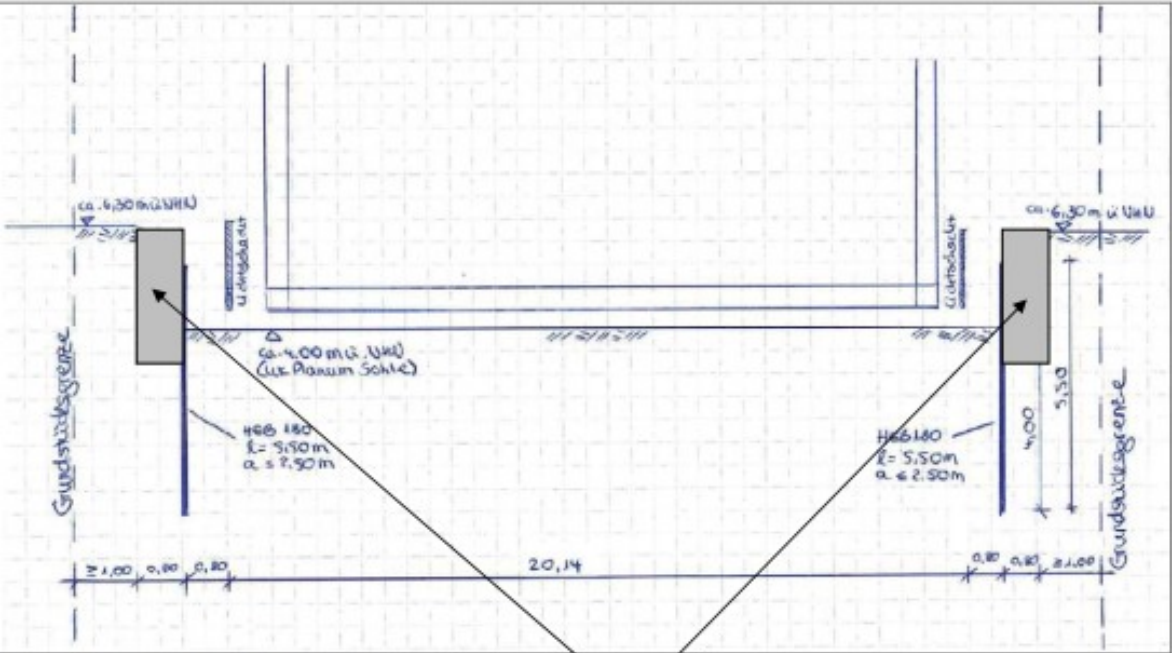
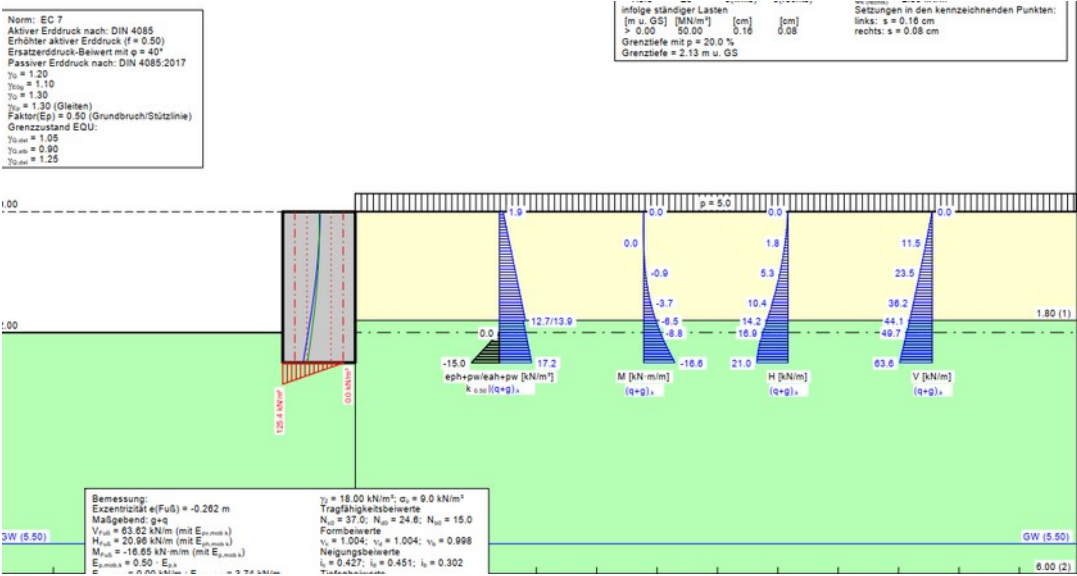


Abb.1 Prinzipschnitt für die geplante Baugrube

Schwergewichtswand

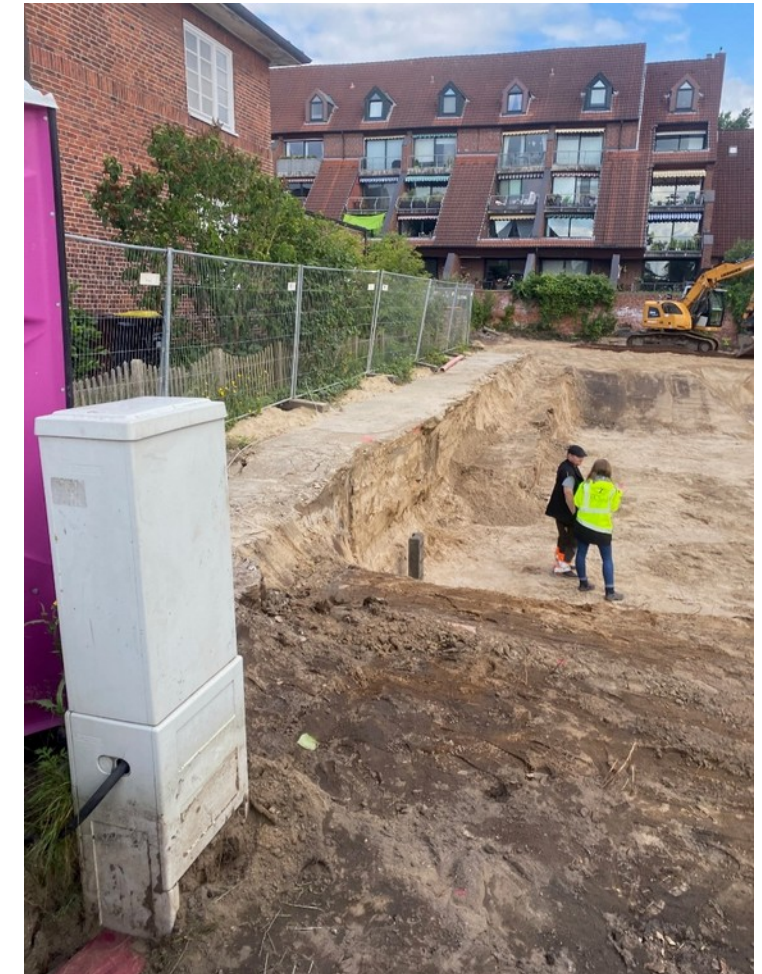
Ergebnis: 1,2 m breit, 0,5 m tief eingebunden



Beispiel: Schaffen einer Schwergewichtswand als Alternative zur Grundwasserabsenkung oder zur Trägerbohlwand



(holländische Bauweise) > keine Aufbereitung des kontaminierten anstehenden GW nötig, da keine Einleitung



Schwergewichtswand als Alternative zur TBW, da Platzmangel für Anker und nahe stehende Nachbargebäude

Praxisbeispiel zur Vermeidung von Abfall und Energie durch den Flüssigbodeneinsatz

Aufgabe: Herstellen einer Bodenplatte EFH als Alternative zu Tief-oder Pfahlgründung

Tabelle 1: vereinfachter Schichtenaufbau im Untersuchungsgebiet

Schicht	Stratigraphie	Genese	Mächtigkeit [m]	UK Schicht [m u. GOK]	Zustandsform
1	humose Deckschicht Feinsand, mittelsandig, humos	umgelagerter Mutterboden	0,8 bis 1,4	0,8 bis 1,4	locker
2	gemischtkörnige Sande Mittelsand, feinsandig, grobsandig, kiesig	fluvial	0,3 bis $\geq 4,8$	2,1 bis $\geq 8,0$	locker bis mitteldicht
3	Torf schwach zersetzt, orga- nisch, schluffig, sandig	holozän	0,6	2,7 bis 4,4	-
4	Schluffmudde Schluff, tonig, feinsandig, organisch	holozän	0,2 bis 3,7	2,9 bis 7,5	überwiegend weich
5	Geschiebemergel Schluff-/Ton, sandig, kie- sig, kalkhaltig	glazigen	$\geq 0,6$ bis $\geq 1,7$	$\geq 6,0$ bis $\geq 8,0$	steif

Fazit:
Minder tragfähig

Stark kompressibel

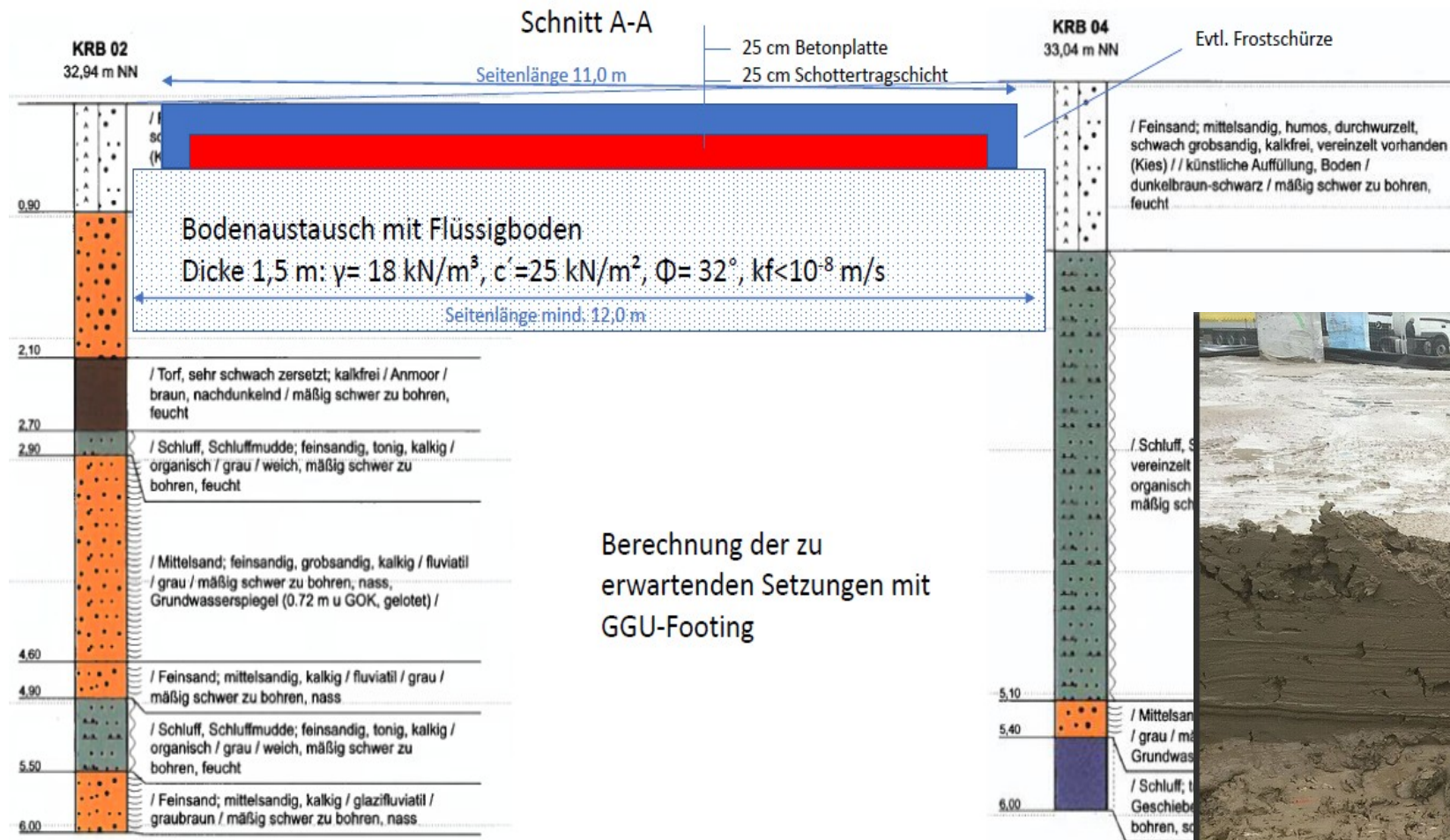
Setzungsempfindlich

**Ungeeignet für den
Lastenabtrag**

**Gravierende Auswirkungen auf
die umgebene Bebauung u.A.
durch
Wasserhaltungsmaßnahmen**

Lösung zur Vermeidung von Abfall und Energie

Durch Herstellen einer Bodenplatte aus ZFSV



stierende Bodenverbesserung mit monolithischem Baustoff

Praxisbeispiel zum Einsatz von Sekundärrohstoffen durch den Flüssigbodeneinsatz, Herstellen einer Bodenplatte



Ausgangslage: mit Bauschutt verfüllter Bombenkrater, setzungsempfindlich, minder tragfähig

Ergebnis: nach unten abgedichtetes Fundament, Lagerplatz und Schwerlastverkehr



Was ist bei der Planung zu beachten?

- Beschaffenheit des Ausgangs-/ Aushubbodens
- Ggf. LAGA oder EBK zum Preisvergleich
- Grundwasser/ Absenktrichter
- Menge und Dichte unterirdischer Leitungen oder Hohlräume
- Bebauung/ Erschütterungsrisiko
- ...
- **Vergleich mit den Kosten für das konventionelle Bauen inkl. Beseitigung, Wasserhaltung, Überwachung,...**

Baugrube mit diversen Versorgungsleitungen



Auszug Ergebnistabelle aus Baugrundgutachten

Tabelle 4 Ergebnisse der chemischen Analysen gemäß LAGA

Mischprobe	Boden	Bereich	maßgebliche Parameter gem. LAGA	Einbauklasse
MP 1	Auffüllung (nichtbindig)	2. BA Neubau West	Summe PAK (EPA), pH-Wert, Leitfähigkeit	EBK 2 (EBK 1.2)
MP 2	Auffüllung (nichtbindig)	2. BA Neubau West	Kupfer und Sulfat (Eluat)	EBK 1.2
MP 3	Auffüllung (nichtbindig)	1. BA Neubau Ost (nördl. Bereich)	Blei, Kupfer, Quecksilber, Zink, TOC	EBK 1
MP 4	Auffüllung (nichtbindig)	1. BA Neubau Ost (nördl. Bereich)	Summe PAK (EPA), Sulfat (Eluat)	EBK 2 (EBK 1.2)
MP 5	Auffüllung (nichtbindig)	1. BA Neubau Ost (südl. Bereich)	Blei, Kupfer, Quecksilber, TOC	EBK 1
MP 6	Auffüllung (nichtbindig)	1. BA Neubau Ost (westl. Parkfläche)	-	EBK 0
MP 7	Auffüllung (nichtbindig)	1. BA Neubau Ost (südl. Parkfläche)	-	EBK 0

Wie und wo kann ich 4 Haufwerke nur für die Auffüllung schaffen?!



Beispiele für Überwachung/ Gütesicherung

- Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Kulturbau, Bodenschutz, Abwasser- und Abfalltechnik Regelwerk DWA – A 139
- **Deutsches Institut für Gütesicherung und Kennzeichnung e.V. RAL-Gütezeichen 507**
- Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Arbeitsgruppe Erd- und Grundbau (FGSV)
- Bundesqualitätsgemeinschaft Flüssigboden (BQF)

Umdenken erwünscht!

a) bautechnisch:

Geänderter Bauablauf: Taktbauweise



Flüssigboden als Arbeitserleichterung und als ein Weg für mehr Mitarbeiterzufriedenheit

Abwasserkolloquium Hafencity Universität Hamburg

Hier der Link zu dem Gesetzesentwurf der Landesregierung SH:

<https://www.landtag.ltsh.de/infothek/wahl20/drucks/02500/drucksache-20-02553.pdf>

hier steht:

§ 7 Klimaschutz in den Gemeinden, Kreisen und Ämtern; Berücksichtigungsgebot

- (1) Den Gemeinden, Kreisen und Ämtern kommt im Rahmen der Energiewende und des Klimaschutzes eine Vorbildfunktion zu.
- (2) Die Gemeinden, Kreise und Ämter haben im Rahmen ihrer Zuständigkeit bei Planungen und Entscheidungen die Belange der Energiewende und des Klimaschutzes zu berücksichtigen.
- (3) Den Gemeinden, Kreisen und Ämtern wird empfohlen, für die Planung und Ausschreibung von Baumaßnahmen oberhalb eines Schwellenwertes von 500.000 Euro in eigener Zuständigkeit einen CO₂-Schattenpreis in Orientierung an den vom Umweltbundesamt empfohlenen Kostensatz für Kohlendioxid- und andere Treibhausgasemissionen gemäß der jeweils aktuellen Empfehlung für die Bewertung von Treibhausgasemissionen einzuführen.“

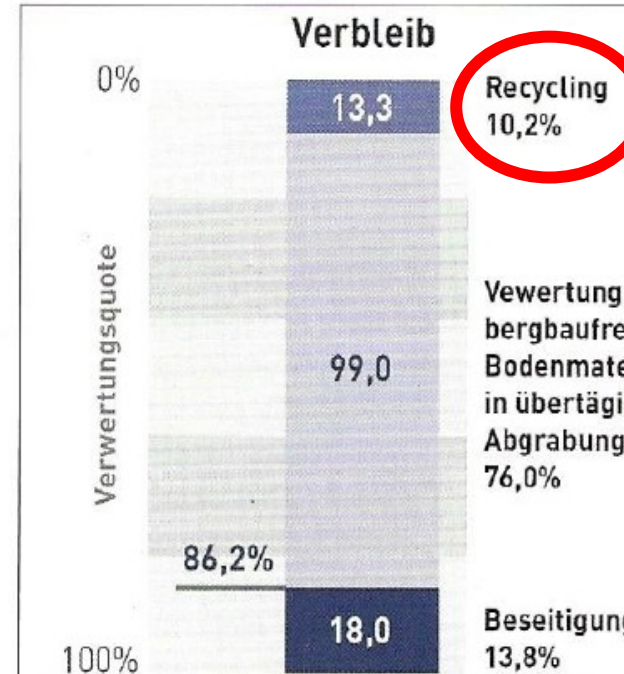
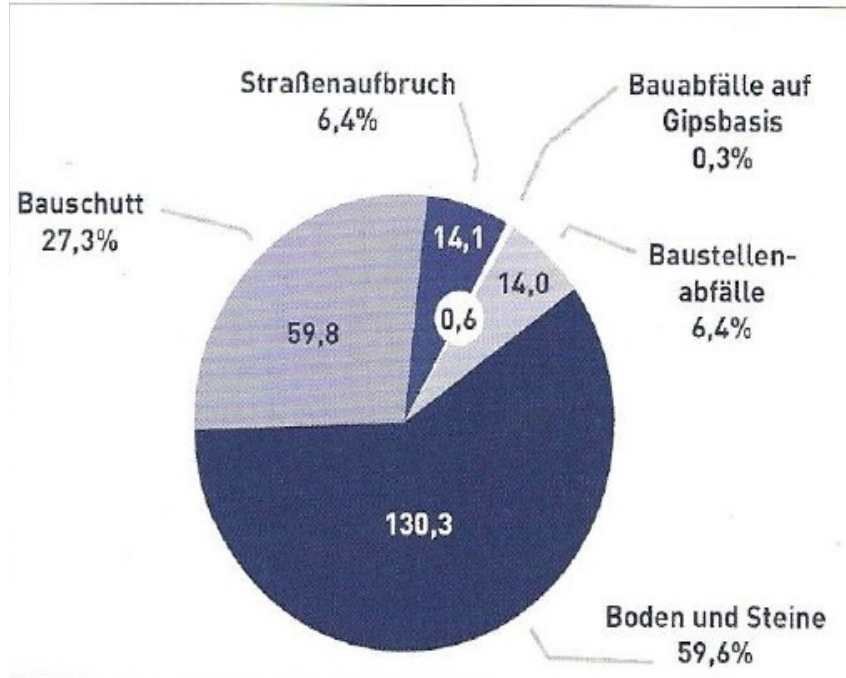
Laut Umweltbundesamt liegt der Kostensatz pro Tonne CO₂ aktuell bei 235€!

Umdenken erwünscht!

b) abfallrechtliche Einordnung:

Bodenwiedereinbau am Entstehungsort oder Recyclen

Zusammensetzung der Bauabfälle und dessen Verbleib



„Lediglich 10,2% der mineralischen Bauabfälle verbleiben als Baustoffe im Stoffkreislauf“

Statistisch erfasste Mengen mineralischer Bauabfälle und der Verbleib von Boden,
Quelle: BBSE 2021

Wie damit umgehen, wenn der Boden/ unsere Baustoffe die technischen Anforderungen an das Bauwerk nicht erfüllen?



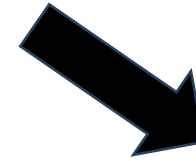
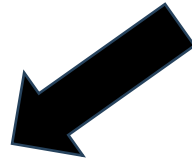
LANGE RECHT DER KIES-VORRAT IN SCHLESWIG-HOLSTEIN NICHT MEHR. ACHIM MESSERSCHMIDT

Abfall



Bodenaushub

Boden



Entsorgen

Beseitigen

Verwerten

energetisch

stofflich

Lärmschutzwall,...

Recycling

Flüssigboden als Produkt

Verbrennung

Verfüllung Abgrabungen

Bereitstellen

Flüssigboden als
Verfahren

Trockenaufberei-
tung (Sieben,...)

Boden andienen

Eigenschaften des Aushubbodens gezielt anpassen
Boden verbessern
„Gleiches zu Gleichem“
(Verschlechterungsverbot)



g



Vielen Dank!

MSc. Eike Sophie Winkler
eike.winkler@fluessigbodennord.de
04351 – 469006