

# Literaturrecherche Gefährdungseinschätzung des Einsatzes von Flüssigboden



## **Verfasser**

Thomas Pohl

Umtec Technologie AG (UTech AG)  
Eichtalstrasse 54, 8634 Hombrechtikon  
Tel: 055 211 02 82

Datum: 23.11.2021

---

Im Auftrag von ERZ Entsorgung & Recycling Zürich, Projektleitung ERZ: Hans Lamp

## Inhalt

1	Zusammenfassung.....	4
2	Einleitung.....	5
2.1	Ausgangslage .....	5
2.2	Problemanalyse .....	5
2.3	Zielsetzung .....	6
2.4	Berater .....	8
3	Literaturrecherche .....	8
3.1	Definition Flüssigboden .....	8
3.2	Historie Flüssigboden und Anwendungsgebiete .....	10
3.3	Flüssigbodenherstellung .....	12
3.4	Einbau Flüssigboden .....	13
3.5	Player im Schweizer Flüssigboden Markt .....	14
3.6	Rezepturen Flüssigboden.....	16
3.7	Anforderungen Flüssigboden.....	16
3.8	Gefährdungseinschätzung .....	18
3.9	Stellungnahme BAFU .....	25
4	Fazit .....	26
	Referenzen.....	27
	Begriffe und Abkürzungen.....	29
	Tabellen .....	30

Quelle Titelbild: eigenes Foto einer Baustelle der Firma EcoSoil AG in Küssnacht ZH

## 1 Zusammenfassung

In der Schweiz gibt es einige Hersteller, die bereits Flüssigboden anbieten. Allerdings existieren noch keine einheitlichen Regelwerke oder standardisierten technische Unterlagen. Deshalb gibt es auch keine normierten Rezepturen, auf denen aufbauend technische Parameter definiert sind. Aktuell laufen jedoch Bestrebungen in diese Richtung. Neben den technisch-baulichen Aspekten, drängen sich vor allem aus Sicht öffentlich-rechtlicher Bauherrschaften, Fragen zur Umweltverträglichkeit und abfallrechtlichen Einordnung von Flüssigboden auf.

Bei Entsorgung & Recycling Zürich (ERZ) bestehen offene Fragen zu Randbedingungen sowie zur umweltrechtlichen Situation betreffend des Einsatzes von Flüssigboden. Einerseits liegen offene Fragen hinsichtlich der Veränderung hydrogeologischer Parameter im Bereich des Grund- und Hangwassers vor (Stichwort Kalkzugabe, pH-Wert). Andererseits führen Additive (Zement und Compound) im Flüssigboden zu Unsicherheit hinsichtlich der Umweltverträglichkeit. Ein anderer Aspekt sind Bereiche von sanierten Altlasten mit Überwachungskonzepten, da es dort problematisch sein könnte, wenn neue Stoffe aus dem Baugrund in die Überwachungszone gelangen und die Messungen beeinflussen. Des Weiteren ist unklar, ob jeder Aushub (Feuchtigkeitsgehalt, Korngefüge, Zusammensetzung etc.) für die Erstellung von Flüssigboden geeignet ist.

Die Umtec Technologie AG (UTech AG) ist im Rahmen einer Literaturrecherche, diverser Gespräche mit Flüssigboden-Stakeholder und mittels Zusammentragen bereits gemachter Erfahrungen diesen Fragen nachgegangen. Zuvor erstellte die UTech AG eine umfassende Ökobilanz für den Einsatz von Flüssigboden für Grabenverfüllungen im Auftrag des Tiefbauamts des Kantons Zürichs. Diese Studie ist noch nicht veröffentlicht, da das Tiefbauamt auf die abfallrechtliche Einordnung des BAFU wartet um die Meinungsbildung in Sachen Flüssigboden auf ihrem Kantonsgebiet abschliessend vorzunehmen. Die Recherchen von UTech AG führen zu folgendem Fazit:

Gespräche mit Flüssigbodenherstellern, Online-Recherchen, Recherchen bei Behörden sowie auch bereits vorhandene Erfahrungen zeigen, dass Flüssigboden ein sehr spannender und vielseitig einsetzbarer Baustoff ist, der noch grosses Ausbaupotenzial hat. Hinsichtlich der abfallrechtlichen Einordnung gilt abzuwarten, was das BAFU vorgibt. Bei der Umweltverträglichkeit deuten eine Vielzahl an Eluat-Analysen sowie eine erste hydrogeologische Untersuchung (vom AfU des Kantons Schwyz) darauf hin, dass Flüssigboden grundsätzlich umweltverträglich ist. Bei der vom Kanton Schwyz bereits durchgeführten hydrogeologischen Untersuchung waren eh-Werte und vereinzelt Salzwerte zeitweise leicht erhöht, haben sich jedoch mittelfristig wieder auf normalem Niveau eingependelt.

Wir empfehlen ERZ bei ersten Anwendungen von Flüssigboden ein Monitoring der hydrogeologischen Situation vorzunehmen, um durch weitere Daten die Einordnung der Umweltverträglichkeit zu erhärten und abschliessend zu beurteilen. Besonders aussagekräftig wäre ein hydrogeologisches Monitoring bei einem Projekt mit einem Abstand zum Grundwasserhöchstspiegel unter 2 Metern zum Bauprojekt. Bei Projekten, bei denen der Grundwasserhöchststand mehr als 2 Meter tiefer liegt als das Bauprojekt, wird ohnehin kein negativer Einfluss des Flüssigbodens erwartet.

## 2 Einleitung

### 2.1 Ausgangslage

In der Schweiz gibt es einige Hersteller, die bereits Flüssigboden anbieten. Allerdings existieren noch keine einheitlichen Regelwerke oder standardisierten technische Unterlagen. Deshalb gibt es auch keine normierten Rezepturen, auf denen aufbauend technische Parameter definiert sind. Aktuell laufen jedoch Bestrebungen in diese Richtung. Neben den technisch-baulichen Aspekten, drängen sich vor allem aus Sicht öffentlich-rechtlicher Bauherrschaften, Fragen zur Ökonomie und Ökologie auf. Diese Fragen konnte Thomas Pohl im Rahmen einer umfassenden Ökobilanz und Ökoeffizienzanalyse im Auftrag des Tiefbauamts des Kantons Zürich klären [1]. Die Ergebnisse dieser Studie werden demnächst durch das Tiefbauamt des Kantons Zürich veröffentlicht. Das Tiefbauamt des Kantons Zürich wartet noch mit der Veröffentlichung, bis das BAFU eine Stellungnahme zur abfallrechtlichen Einordnung (Einstufung des Verschmutzungsgrades) des Flüssigbodens herausgegeben hat. Zurzeit läuft eine Studie von SwissGrid in Zusammenarbeit mit der Gruner AG, die den Einsatz von Flüssigboden für erdverlegte Hoch- und Höchstspannungsleitungen prüft. Parallel und auch unabhängig dazu hat sich eine SIA-Kommission aus Forschung, Wirtschaft und Behörden zusammengeschlossen. Ziel dieser Kommission ist es, physikalisch-technische Anforderungen an Flüssigboden im Einsatz von Rohrleitungsumhüllungen (Bettungsmaterial) als Ersatz von Hüllbeton festzulegen und in einem Merkblatt festzuhalten.

**Keine Norm für Flüssigboden**

### 2.2 Problemanalyse

Gespräche zwischen dem Tiefbauamt des Kantons Zürich und Entsorgung und Recycling Zürich (ERZ) haben ergeben, dass weitere offene Fragen zu den Randbedingungen sowie zur umweltrechtlichen Situation beim Einsatz von Flüssigboden bestehen. Ein Aspekt ist der Kalk, der dem Flüssigboden zugesetzt wird und möglicherweise den pH-Wert des Grund- und Hangwassers sowie der Oberflächengewässer beeinflusst. Dies ist insbesondere in Gewässerschutzbereichen  $A_0$  und  $A_u$  sowie im Zuströmbereich umweltrechtlich abzuklären. Es ist bekannt, dass bei einer Erhöhung des pH-Werts ein Anstieg des DOC (engl. für dissolved organic carbon = gelöster organischer Kohlenstoff) verzeichnet werden kann. Neben dem pH-Wert könnten weitere Bestandteile (z.B. die Additive Zement und Compound) des Flüssigbodens lokal zu einer höheren Salz- oder Schwermetall-Fracht führen. In diesem Zusammenhang gilt es auch die Auswirkung auf angrenzende Grundwasserschutzzonen zu beachten. Ein anderer Aspekt sind Bereiche von sanierten Altlasten mit Überwachungskonzepten, da es dort problematisch sein könnte, wenn neue Stoffe aus dem Baugrund in die Überwachungszone gelangen und die Messungen beeinflussen. Des Weiteren ist unklar, ob jeder Aushub<sup>1</sup> (Feuchtig-

**Einbau im Gewässerschutzbereich: pH-Wert und Schwermetalle**

---

<sup>1</sup> Mit der Bezeichnung «Aushub» ist der Unterboden respektive der C-Horizont gemeint. Oberboden im bodenkundlichen Sinn bzw. A- und B-Horizont gehören nicht dazu.

keitsgehalt, Korngefüge, Zusammensetzung etc.) für die Erstellung von Flüssigboden geeignet ist.

Ein weiterer wichtiger Aspekt ist die Klärung der abfallrechtlichen Einstufung des verbauten Flüssigbodens. Es gilt zu prüfen, wie die für die Herstellung des Flüssigbodens benötigten Zusätze (Bentonit und Zement) mit einem Anteil von 3% bis 9% zu qualifizieren sind. Denn falls die zuständige Behörde den Flüssigboden-Compound (Bentonit) und den Zement gesamthaft als Fremdstoffe beurteilen, so würde Flüssigboden nicht mehr als unbelasteter Aushub gelten. Gemäss dem Vollzugshilfemodulteil «Verwertung von Aushub- und Ausbruchmaterial» des BAFU darf unverschmutzter Aushub nicht mehr als 1% (Massenprozent) an mineralischen Bauabfällen enthalten. Ob die zuständige Behörde den Zement und den Bentonit als mineralische Bauabfälle klassiert, ist allerdings unklar. Diesbezüglich ist die Erarbeitung weiterer faktenbasierter Vorgaben unerlässlich. Wenn die zuständige Behörde den Flüssigboden-Compound und den Zementbeschleuniger aufgrund ihrer überwiegend mineralischen Zusammensetzung hingegen nicht als Fremdstoffe beurteilen, ist die chemische Zusammensetzung der Zusätze oder des Flüssigbodens als Produkt mit den Grenzwerten gemäss Anhang 3 Ziffer 2 der VVEA zu vergleichen. Daraus ergibt sich, dass Flüssigboden analog zu herkömmlichem Aushub- und Ausbruchmaterial zu verwerten ist.

### **Abfallrechtliche Einordnung**

## **2.3 Zielsetzung**

Der Leiter des Geschäftsbereichs «Entwässerung» von ERZ Entsorgung & Recycling Zürich kam auf die Umtec Technologie AG (UTech AG) zu, mit folgenden zu klärenden Punkten/offenen Fragen:

- Veränderung des pH-Wertes des Grund- und Hangwassers insbesondere in den Gewässerschutzbereichen  $A_o$  und  $A_u$
- Veränderung des pH-Wertes des Grund- und Hangwassers in Grundwasserschutzzonen
- Bereich von Altlasten und Überwachungskonzepten: Probleme mit dem Einbringen neuer Stoffe aus dem Baugrund, welche die Überwachung beeinflussen
- Welches Material (Aushub) eignet sich für die Erstellung von Flüssigboden? Stichwort Wassergehalt, Wasserdurchlässigkeit, mechanisch-physikalische Eigenschaften etc.
- Abfallrechtliche Frage beim Rückbau / Entsorgung: Wie muss verbauter Flüssigboden am Ende seiner Nutzungsphase abfallrechtlich behandelt werden? Deshalb erfolgen im Rahmen dieses Projektes auch Abklärungen zur Wiederverwertbarkeit und Entsorgung des Flüssigbodens in der Branche.
- Zusammenstellung üblicher Rezepturen
- Auffinden von unbedenklichen Anwendungen im Bereich der Stadt Zürich

### **Offene Fragen betreffend Einsatz von Flüssigboden im Gewässerschutzbereich**

Zur Klärung der im Zusammenhang des Einsatzes von Flüssigboden ausgelösten umwelttechnischen und -rechtlichen Fragen, wurde ERZ ein zweistufig-

ges Vorgehen vorgeschlagen.

1. Literaturstudie zur Sammlung, Konsolidierung und Erhebung der aktuellen Datenlage und des Kenntnisstandes. Dazu werden die bereits durch die Flüssigbodenhersteller erstellten Eluat-Analysen zusammengefasst, weitere Daten aus Deutschland und der Schweiz zusammengetragen und analysiert. Zusätzlich sollen die Erfahrungen des Einsatzes und der hydrogeologischen Überwachung des Amtes für Umwelt des Kantons Schwyz ermittelt und eingebracht werden. Thomas Pohl hat einen sehr guten Überblick und einen «guten Draht» zu den Flüssigbodenherstellern sowie zu diversen Umweltämtern in der Schweiz. Somit kann er durch Experteninterviews weitere Erfahrungen und Daten zum Einsatz und zu verschiedenen Zusammensetzungen von Flüssigboden in Erfahrung bringen. Diese Daten und Erkenntnisse werden konsolidiert und in Form des vorliegenden Berichts zu Händen von ERZ dokumentiert.

**Stufe 1:  
Literatur-  
recherche**

2. Falls nach Abschluss der Literaturrecherche weiterer Klärungsbedarf hinsichtlich der Gefährdungseinstufung des Einsatzes von Flüssigboden besteht, wird eine hydrogeologische Untersuchung mit Probenahme und -analyse von Grundwasser an einem konkreten Flüssigboden-Bauprojekt konzeptioniert. Dabei arbeitet die UTech AG mit dem Umweltanalyse-Labor Bachema AG zusammen und erstellt zu Händen von ERZ Messungen relevanter Wasserparameter (Salze, pH- und eh-Wert, DOC, Schwermetalle, PAK, Cyanide etc.). Zusammen mit den Experten der Bachema AG werden diese Messresultate analysiert und zu Händen des Auftraggebers interpretiert. Eine solche hydrogeologische Untersuchung und Beurteilung sollte ein konkretes Flüssigboden-Einbauprojekt ca. 1 Jahr mit regelmässigen Messungen begleiten, um eine erhärtete Aussage zur Gefährdungseinschätzung zu erlangen.

**Stufe 2:  
Hydrogeologische  
Untersuchung**

## 2.4 Berater

Thomas Pohl unterhält zu ERZ Entsorgung & Recycling Zürich keine persönliche Beziehung, Verpflichtung oder finanzielle Abhängigkeit und ist der wissenschaftlichen Neutralität verpflichtet. Thomas Pohl arbeitet als Bereichsleiter Umweltberatung an der UTech AG und als Dozent an der Ostschweizer Fachhochschule OST. Er greift auf eine langjährige Erfahrung in der Erstellung von Umweltbilanzen und Ökoeffizienzanalysen SEBI im Bereich der Abfalltechnik und des Recyclings sowie in der Bauwirtschaft zurück. Die UTech AG verfügt über ausgewiesene Kompetenz in den Bereichen der Bauwirtschaft und Ökobilanzierung von Rohstoffkreisläufen. Dies bezieht sich nicht nur auf die wissenschaftlich/technischen Aspekte, sondern auch auf die Einbindung wirtschaftlicher Betrachtungen. Anfang 2021 erarbeitete Thomas Pohl eine umfassende Ökobilanz für den Einsatz von Flüssigboden für Grabenverfüllungen im Auftrag des Tiefbauamts des Kantons Zürich. Im Rahmen dieses Projekts wurden Baustellen sowie Produktionsstätten von Flüssigboden besichtigt und Expertengespräche mit Stakeholder aus Forschung, Behörden und der Industrie geführt. Thomas Pohl verschaffte sich im Rahmen dieses Projekts einen guten Überblick der Thematik sowie der wichtigsten «Player» im Flüssigboden-Markt, was die Ausgangslage dieser Studie bildete.

**UTech AG verfügt bereits über Knowhow in Sachen Flüssigboden und hat in der jüngeren Vergangenheit eine Ökobilanz im Auftrag des TBA ZH gerechnet**

## 3 Literaturrecherche

### 3.1 Definition Flüssigboden

Flüssigboden ist ein Gemisch aus natürlichem Aushub (C-Horizont, hauptsächlich mineralische Körnung) oder Kiesschlamm (Pressschlamm) als Korngerüst, einem hydraulischen Bindemittel zur Verfestigung und zum Wasserentzug beim Härten (in der Regel CEM I, 42.5 R Zement), einem Gleitmittel (Compound, in der Regel Mischung von Bentoniten) und Wasser für die Fließfähigkeit. Teilweise wird auch noch Kalk zur Bindung der Aushubfeuchtigkeit eingesetzt. Flüssigböden werden auch als «zeitweise fließfähige selbstverdichtende Verfüllbaustoffe» ZFSV bezeichnet.

**Keine einheitliche Definition, keine Normierung**

Aktuell (Ende Jahr 2021) gibt es noch keine technische Norm für Flüssigboden, weshalb es keine einheitliche Definition mit entsprechenden physikalischen und chemischen Spezifikationen gibt. Einige Flüssigbodenhersteller in der Schweiz berufen sich auf die von der RAL Gütergemeinschaft Flüssigboden e.V. aus Deutschland definierten Anforderungen in der RAL GZ 507 [2]. Dort wird klar festgehalten, dass Flüssigboden als friktional – kohäsiv rückverfestigendes Material ohne zwängende, starre Fremdstrukturen, definiert ist. Im Gegensatz dazu gibt es die hydraulisch abbindenden Materialien mit zwängenden, starren Fremdstrukturen (z.B. Zementstrukturen), die nicht als Flüssigboden gelten. Diese Stoffe werden im Hinweisblatt des FGSV (Forschungsgesellschaft Strassen- und Verkehrswesen) geregelt [3].



Der Grundsatz des Flüssigboden-Verfahrens ist, dass die Erhaltung wichtiger Eigenschaften des Aushubbodens bestehen bleibt. Der Flüssigboden soll sich bauphysikalisch vergleichbar mit dem Umgebungsboden verhalten, die gleiche Tragfähigkeit sowie gleiches Konsolidierungsverhalten haben wie der Umgebungsboden. Damit sollen Differenzsetzungen/Hebungen, Risse in Strassen und der Einbau eines «Fremdkörpers» verhindert werden. Je nach Rezeptur können gezielte bautechnische Eigenschaften auch verändert werden: die Rückverfestigungsgeschwindigkeit, die Pumpbarkeit, der Auftriebsverlauf, die Retentionsfähigkeit und die Entmischungsstabilität. Flüssigbodenhersteller unterstreichen folgende Eigenschaften als gezielt positiv veränderbar:

- Elastizitätsverhalten
- Biege- und Längszugfestigkeit
- Scherfestigkeit
- Schwingungsdämpfung
- Dichte
- Wasserdurchlässigkeit
- Wärmespeicherung, -ableitung und -dämmung
- Verbesserung des Korrosionsschutzes
- Kohäsion und Adhäsion

Wichtig ist, dass für jede Anwendung die Rezeptur geeignet abgestimmt wurde. Die erforderlichen Mischverhältnisse der Komponenten und deren zusätzliche, reaktionskinetischen Beeinflussung sollten im Optimalfall mittels computergesteuerten Programmen errechnet werden [4]. Der einzige Parameter, der bei allen Mischvarianten nicht direkt zu verändern ist, ist die Durchlässigkeit. Die Bearbeitung verursacht eine geringfügige Veränderung der Eigenschaften gegenüber dem Ausgangsmaterial. Als Faustregel: Flüssigboden hat eine 10-er-Potenz tiefere hydraulische Durchlässigkeit als das Ausgangsmaterial, z.B. vorher  $10^{-5}$  m/s im Ausgangsmaterial, zu Flüssigboden verarbeitet, liegt die Durchlässigkeit bei  $10^{-6}$  m/s.

Die nachfolgenden Werte variieren in Abhängigkeit von der Bodenklassifikation nach DIN 18196 des Ausgangsbodens [5]:

- Rohdichte: 1.6 – 2.1 kg/dm<sup>3</sup> (Einbau-/Endzustand identisch)
- Druckfestigkeit nach DIN 18136: 28 Tage = 0.1-0.8 N/mm<sup>2</sup>
- Lösbarkeit nach DIN 18300: Bodenklasse<sup>2</sup> 3-5
- EV<sup>3</sup>-Wert nach DIN 18134: nach 28 Tage > 45 MN/m<sup>2</sup>
- Wasserdurchlässigkeit nach DIN 18310:  $10^{-5}$ –  $10^{-10}$  m/s

## Eigenschaften des Flüssigbodens

## Technische Daten

---

<sup>2</sup> Unterteilung von Böden im Baugewerbe nach der Lösbarkeit und den erdbautechnischen Eigenschaften in insgesamt sieben Boden- und Felsklassen (vereinfachend umgangssprachlich «Bodenklassen» genannt). Die Einteilung geht von Bodenklasse 1 «Oberboden» bis hin zu Bodenklasse 7 «schwer lösbarer Fels».

<sup>3</sup> Verformungsmodul, beschreibt das Spannungsverformungsverhalten von Böden bei behinderter Seitenausdehnung, z.B. im Plattendruckversuch.

### 3.2 Historie Flüssigboden und Anwendungsgebiete

In Deutschland wird Flüssigboden landesweit schon seit ca. 30 Jahren für eine breite Palette von Anwendungen eingesetzt. Seit 1998 gibt es die RAL Gütegemeinschaft Flüssigboden e.V., der auch Schweizer Mitglieder angehören. Diese Gütegemeinschaft bildet die Basis der Anforderungen an Flüssigbodenanwendungen und Grundlage des RAL Gütezeichens 507 [2]. Mehrere tausend Projekte unterschiedlichen Umfangs wurden bereits in verschiedenen Ländern realisiert. Die technischen Voraussetzungen wurden im FiFB Forschungsinstitut für Flüssigboden GmbH, Leipzig, unter der Leitung von Olaf Stolzenburg geschaffen. Das Flüssigbodenverfahren wurde im Rahmen zahlreicher deutscher und internationaler Forschungs- und Entwicklungsprojekte entwickelt und mitfinanziert [4].

Vor 30 Jahren starteten die ersten Anwendungen in Deutschland mit der Entwicklung eines Kombischachtsystems für Regen- und Schmutzwasser und für sonstige Versorgungsleistungen. Dabei ermöglichte die Verwendung von Flüssigboden erstmals ein bodenähnliches bis bodengleiches Verhalten des Verfüllmaterials und somit gleiche Tragfähigkeit im Untergrund. Das verbaute Material zeigte sich als volumenstabil und gleichzeitig elastisch, den Eigenschaften des Umgebungsbodens ähnlich bis gleich. Die Entwicklungsarbeiten ermöglichen seit 1998 technische und technologische Lösungen, die die spätere Zugänglichkeit aller übereinander liegenden Leitungen sicherstellen [4], [6]. Flüssigboden lässt sich wie das umgebende Erdreich einfach bearbeiten und kann beispielsweise mit einem Saugbagger entfernt werden. Die spätere Zugänglichkeit aller übereinander liegenden Leitungen ist damit sichergestellt. Auch wenn zu einem späteren Zeitpunkt im mit Flüssigboden verfüllten Bereich erneut ausgehoben werden muss, stellt dies kein Problem dar. Flüssigboden bindet während des Erhärtens nicht hydraulisch ab, im Gegensatz zu Bodenmörtel oder anderen hydraulisch abbindenden Materialien, die aussteifen und schwinden. Flüssigboden behält seine bodentypischen Eigenschaften.

Seit rund 15 Jahren wird das Flüssigboden-Verfahren auch in der Schweiz praktiziert. Der Wissenstransfer lief vor allem über die aus Deutschland stammende Firma RSS-Flüssigboden. Im Gegensatz zu Deutschland wird in der Schweiz das Flüssigboden-Verfahren weniger häufig eingesetzt, da es vielerorts noch nicht etabliert ist. Viele Bauherren sind skeptisch in Bezug auf den Einsatz von Flüssigboden. Dies hat mehrere Gründe:

- 1. Bei Ausschreibungen setzen viele Bauherren auf bekannte und bewährte Verfahren
- 2. Offene Fragen hinsichtlich der Ökologie und Ökonomie (hier wird auf die Studie [1] von UTech AG verwiesen, die vom Tiefbauamt des Kantons ZH demnächst veröffentlicht wird)
- 3. Mögliche Verwechslung mit Bodenmörtel oder anderen zementgebundenen Verfüllbaustoffe, die eine starre Struktur aufweisen und meistens auch wasserundurchlässig sind
- 4. Abfallrechtliche Einordnung noch nicht abschliessend geklärt, da das Material Fremdstoffe (Zement und Compound) enthält und beim

**Flüssigboden wurde in DE vor ca. 30 Jahren erfunden und kommt nun auch in der Schweiz immer mehr auf**

**Erste Anwendungen für Regen- und Schmutzwasserleitungen**

**In der Schweiz herrscht seitens Bauherren teilweise Skepsis gegenüber Flüssigboden**

Rückbau möglicherweise nicht als unverschmutzter Aushub gilt.

- 5. Bedenken hinsichtlich der Umweltverträglichkeit in Gewässerschutzbereichen und weiteren Anwendungen im Zusammenhang mit Grund- und Hangwasser.

In der Schweiz gibt es einige Hersteller, die bereits Flüssigboden anbieten. Allerdings existieren noch keine einheitlichen Regelwerke oder einheitliche technische Unterlagen. Deshalb gibt es auch keine normierten Rezepturen, auf denen aufbauend technische Parameter definiert sind. Die Fachhochschule Nordwestschweiz FHNW forscht aktuell zusammen mit der Ostbayerischen Technischen Hochschule OTH Regensburg an unterschiedlichen technisch-baulichen Eigenschaften des Flüssigbodens [7].

Mittlerweile existieren über 190 verschiedene Anwendungen von Flüssigboden für viele Bereiche des Hoch- und Tiefbaus. Die meisten Anwendungen sind dem Tiefbaubereich zu zuordnen.

Nachfolgend werden die wichtigsten Anwendungen aufgeführt (nur eine Auswahl, keine abschliessende Liste) [6]:

- Grabenverfüllungen im Kanal- und Rohrleitungsbau
- Einsatz für Strassen-, Autobahn-, Tunnel- und Bahnbauanwendungen
- Bauen im und unter Wasser
- Strom- und Fernwärmeübertragung im Untergrund → Trassenbau, Erdkabel, erdverlegte Hochspannungsleitungen
- Wasserbau
- Hafenanlagen, Küstenschutz und Offshore Aufgaben
- Bauen auf instabilen Untergründen, an Hängen
- Hangstabilisierungen
- Grundbruchverhinderungen
- Sanierung von Industriebrachen
- Schwingungsentkopplungen, z.B. im Gleisbau
- Baugruben unter komplizierten Bedingungen, z.B. im Grundwasser
- Anwendungen auf Baustellen mit beengten Platzverhältnissen
- Abdichtungen diverser Art
- Statische Unterstützung im Fundamentbereich gegen Ausspülungen und Erosionen
- Böschungsstabilisierungen (Strassen, Autobahnen, Gleise und Trassen)
- Denkmalschutz: Verbesserung unterirdischer Bauwerke gegen drückendes Wasser, oder Schutz von sensiblen Fundamentbereichen
- Hohlraumverfüllungen für unzugängliche Bereiche oder Bereiche mit speziellen Anforderungen
- Bei schwimmenden Bodenplatten auf nicht tragfähigen Untergründen für die Errichtung von Bauwerken / als Strassenuntergründe
- Etc.

**Es existieren über 190 Anwendungen, die meisten davon liegen im Bereich Tiefbau**

### 3.3 Flüssigbodenherstellung

In der Schweiz hat die Firma RSS Flüssigboden die Erkenntnisse der Deutschen Muttergesellschaft RSS Flüssigboden übernommen und etabliert. In Deutschland wurde vom Forschungsinstitut für Flüssigboden FiFB seit 1998 kontinuierlich am Baustoff Flüssigboden und am Produktionsverfahren geforscht und weiterentwickelt. Die Erkenntnisse flossen in die RAL Gütegemeinschaft Flüssigboden und in die RAL GZ 507 ein, auf die sich die Firma RSS Flüssigboden stützt.

Mittlerweile existieren unterschiedliche Produktionsverfahren für Flüssigboden. Der grösste Unterschied stammt in unterschiedlichen Korngerüsten: Aushub ist das häufigste Material fürs Korngerüst. Einige Hersteller verwenden auch entwässerten Kiesschlamm (sogenannter Pressschlamm, Feinfraktion aus dem Kieswerk, der durch das Waschen von Primärkies entsteht). Ein anderer Unterschied besteht im Hinzufügen von Kalk zur Erhöhung der Rieselfähigkeit. Nicht alle Flüssigbodenhersteller setzen dem Ausgangsmaterial (Aushub oder Pressschlamm) Kalk zu. Beim Pressschlamm ist dies nicht nötig. Beim Aushub gibt es auch Flüssigbodenhersteller, die keinen Kalk dazugeben.

Nachfolgend wird das Produktionsverfahren der Firma RSS Flüssigboden beschrieben:

Zur Produktion kommen stationäre Kompakt-Mischanlagen mit computergesteuerter Prozessführung zum Einsatz, die auch mit wechselnden Böden und mit unterschiedlichen Eigenschaften umgehen können. Dafür werden Materialdepots (am besten überdacht), drei Silos für Kalk, Zement und Bentonit, ein Radlader mit einem Schaufelseparator sowie die Dosiereinheit, die Wasserzuleitung und ein Förderband benötigt.

Zuerst wird der Feuchtegehalt des Aushubmaterials bestimmt. Danach wird je nach Gehalt etwas ungelöschter Kalk (aus separatem Silo) hinzugefügt und mit dem Aushub Material vermengt. Danach wird das Material rieselfähig und kann durch einen Radlader mit Schaufelseparator aufgeladen und sortiert werden. Durch Rüttelbewegungen wird die nötige Trennenergie eingebracht. Das Grobgut (i.d.R. >35 mm) bleibt auf dem Schaufelseparator liegen und das Feingut (i.d.R. <35 mm) gelangt in den Beladeschacht (Bunker) vor dem Förderband. Die Dosiereinheit belädt das Förderband entsprechend der vorgegebenen Rezeptur mit Zement und Compound. In der Regel wird ein Portlandzement Cem I, 42.5 R, verwendet. Der Compound besteht aus einer Mischung verschiedener, teilweise sogar lebensmitteltauglichen, Bentoniten, deren spezifische Oberfläche durch spezielle Lasertechnologie vergrössert wurde. Das Förderband führt die Materialien zum Einlass eines Fahrmischers. Beim Einlass des Fahrmischers wird ebenfalls das nötige Wasser (abhängig von der Ausgangsfeuchte des Aushubmaterials) dazugegeben.

Es gibt auch Flüssigbodenhersteller in der Schweiz, die kein Schaufelseparator im Einsatz haben, sondern den Aushub mittels einer mobilen Mehrdeck-Siebmaschine sortieren.

Das Grobgut wird in beiden Fällen als Wertstoff wiederverwendet, entweder in der Betonproduktion, im Gartenbau oder direkt vor Ort auf der Baustelle.

**Flüssigbodenherstellung wurde vom FiFB in Deutschland entwickelt**

**Aushub vs. Kiesschlamm**

**Unterschiedliche Produktionsverfahren**

Die Anlagen zur Flüssigbodenproduktion sind i.d.R. stationär, können allerdings bei grösseren Baustellen auch vor Ort errichtet werden.

**Typische Transportdistanzen**

Gemäss Expertengesprächen ist es technisch möglich, den Flüssigboden bis zu 45 Minuten Fahrzeit zu transportieren, was je nach Verkehrssituation ca. 30 km bis 40 km entspräche. Gemäss Angaben von Flüssigbodenherstellern ist diese Distanz in der Praxis häufig zu weit und es wird auf die lokale Lieferung fokussiert. Idealerweise liegen Baustellen 5 bis 10 km entfernt vom Produktionsstandort des Flüssigbodens.

### **3.4 Einbau Flüssigboden**

Der Einbau erfolgt über Fahrmischer (ca. 8 bis 12 m<sup>3</sup> je LKW), die über eine Rutsche und einen Schlauch den Flüssigboden einbringen. Dazu braucht es i.d.R. nur zwei Personen, jemand der den Mischer fährt und jemand, der die Flüssigboden-Einfüllung über den Schlauch bedient. Es sind keine Verdichtungsvorgänge mit teilweise lauten Verdichtungsmaschinen nötig. Bei Grabenverfüllungen werden Rohrleitungen durch eine Auftriebssicherung gesichert. Die Firma RSS Flüssigboden hat ein System entwickelt, das basierend auf mobilen Widerlagerbalken auch den Auftrieb mittels Manometer ablesen lässt. Damit lässt sich der aktuelle Druck auf die Rohrleitung verfolgen und auch den idealen Zeitpunkt bestimmen um die Steigschalung rauszuziehen. Wird zu früh rausgezogen, so fällt der Graben zusammen. Wird zu spät rausgezogen, so bilden sich Risse. Das ideale Zeitfenster kann über die Verfolgung des Auftriebs am Messinstrument der Auftriebssicherung identifiziert werden, typischerweise ist das Zeitfenster zwischen 60 und 120 Minuten (abhängig von der Rezeptur). Der Einbau ist im Vergleich zur konventionellen Bauweise (z.B. bei Grabenverfüllungen) schneller, weniger Baumaschinen-intensiv und dadurch auch lärmtechnisch von Vorteil für die Anwohner, besonders in dicht-besiedelten Gebieten wie in einer Stadt. Ein weiterer Aspekt liegt in der Dimensionierung der Baustelle. Beim Flüssigboden kann z.B. bei einer Grabenverfüllung die Breite des Grabens gegenüber der konventionellen Bauweise reduziert werden, da nicht mit entsprechenden Verdichtungsmaschinen gebaut wird. Es muss weder maschinell verdichtet noch muss das Material maschinell verteilt werden. Eingefüllt wird der Flüssigboden etappenweise. Dies hat den Vorteil, dass längere Baustellen getaktet durchgeführt werden können, sodass es zu minimalen Beeinträchtigungen der Anwohnenden oder des Strassenverkehrs kommt. Vor dem Einbau sollte mittels Ausbreitmass die Güte des Flüssigbodens verifiziert werden [4].

**Einfacher und schneller Einbau**

Flüssigboden wurde in einigen Interviews als der «Problemlöser» bezeichnet. Damit ist gemeint, dass besonders in für herkömmliche Bauverfahren schwierigen Situationen, der Flüssigboden einen guten Dienst erbringen kann. So zum Beispiel zur Verfüllung von Gräben oder von Hochdruckleitungen am Hang. Auch bei Neigungen von 40 bis 45° fliesst der Flüssigboden mit entsprechender Rezeptur und bei korrektem Einbau nicht weg. Auch beim Einbau auf beengten Verhältnissen aller Art, z.B. enge Stollen oder Gänge, kann Flüssigboden den Einbau erleichtern und damit die Baukosten verringern und Bauzeit verkürzen [6].

**Flüssigboden der «Problem-Löser»**

Ein weiterer interessanter Aspekt ist der Einbau im Grundwasser. Verfüllungen sind auch im Grundwasserbereich möglich, ohne dass eine Wasserhaltung nötig ist [6], [8]. Bauen im und unter Wasser ist mit Flüssigboden möglich.

### 3.5 Player im Schweizer Flüssigboden Markt

Der grösste Player im Schweizer Markt ist RSS Flüssigboden, die als Tochtergesellschaft der RSS Flüssigboden aus Deutschland das Know-How in die Schweiz brachte. Auch andere Flüssigbodenhersteller haben ihren Flüssigboden-Produktionsprozess basierend auf dem RSS Flüssigboden-Verfahren aufgebaut – teilweise mit einigen Modifikationen. RSS Flüssigboden ist im Kanton Aargau stationiert. Sie sind Dienstleister für die Aufbereitung aller gängigen Bodenarten mit dem RSS Flüssigbodensystem nach RAL GZ 507. Der RSS Flüssigboden ist als Markenname geschützt. Die Firma RSS Flüssigboden verfügt über patentierte Einbauhilfen / Rohrverlegehilfen. Sie verfügt über ein ausgeklügeltes Auftriebsicherungssystem mit integrierter Auftriebsmessung. Mittels dieser Auftriebsicherung mit integrierter Auftriebsmessung lässt sich auch der Zeitpunkt der Entnahme der Steigschalung ermitteln. Sie verkauft auch Anlagen an weitere Flüssigbodenhersteller und liefern den benötigten Compound (Bentonit-Mischung).

**RSS  
Flüssigboden**

Die KIBAG führt in ihrem Baustoffe-Produktportfolio ebenfalls Flüssigboden. Die Anlage sowie der Herstellungsprozess richten sich ebenfalls nach RAL GZ 507 [2]. Die Anlage hat die Firma KIBAG von RSS Flüssigboden Schweiz abgekauft. Produziert wird in Kemptthal im Kanton ZH. Aktuell wurde allerdings relativ wenig Flüssigboden durch die KIBAG produziert.

**KIBAG**

Die Firma Logbau AG hat in Zusammenarbeit mit der Ostschweizer Fachhochschule (ehemals Hochschule für Technik Rapperswil HSR) mit dem Institut für Umwelt- und Verfahrenstechnik UMTEC ein eigener Baustoff mit der Bezeichnung «REB - Ragazer Erdbeton®» als Bindemittel zur Bodenstabilisierung entwickelt. Dabei ersetzt Holzasche einen Teil des Zements. Das Portfolio alternativer Baustoffe wurde von der Logbau erweitert durch Hinzunahme eines Flüssigbodens. Die Logbau AG bietet einen eigenen Flüssigboden mit der Bezeichnung «RFB – Ragazer Flüssigboden»® an. Dieser Flüssigboden verwendet Pressschlamm aus dem Kieswerk in Bad Ragaz SG (entwässerter Kiesschlamm) als Korngerüst für den Flüssigboden. In Lizenz produziert in Eschenbach LU ein weiteres Kieswerk den RFB® (teilweise auch als «Regionaler Flüssigboden» bezeichnet).

**Logbau AG**

Die Firma EcoSoil AG in Forch ZH produziert Flüssigboden in einer stationären Anlage, deren Verfahrensschema auf dem RSS Flüssigboden basiert. EcoSoil AG hat jedoch zwischenzeitlich einige verfahrenstechnische Anpassungen an der Anlage von RSS vorgenommen. So verwendet die Firma EcoSoil AG zur Sortierung des angelieferten Aushubs eine mobile Siebmaschine anstelle eines Radladers mit Schaufelseparator. Zusätzlich werden grössere Körner mittels Prallbrecher einer unselektiven Zerkleinerung zugeführt, damit 100% des angelieferten Aushubs (C-Horizont) wieder in Flüssigboden verarbeitet werden können. Der positive Nebeneffekt des dabei entstehenden feinen Steinmehls (hauptsächlich bestehend aus Kalkstein) äussert sich im Outputmaterial des Prallbrechers, welches rieselfähig gemacht wird. EcoSoil verwendet daher keinen extern hinzugefügten Kalk in ihren Rezepturen. Mittlerweile hat die Firma EcoSoil AG schon erfolgreich rund ein Dutzend eigene Rezepturen im Einsatz. EcoSoil AG hat sich, abgesehen vom Compound, vom RSS Flüssigbodenverfahren losgelöst. Dies betrifft die Rezeptur und auch die Qualitätssicherung. Hier geht die Firma EcoSoil ihren eigenen Weg. Auch der Compound soll in naher Zukunft aus einer anderen Quelle bezogen werden. Eigene Rezepturen wurden unter anderem erfolgreich in der Gemeinde Küsnacht und der Stadt Zürich eingesetzt.

#### **EcoSoil AG**

Die Firma EcoSoil AG hat zurzeit zwei Anlagen im Einsatz, eine stationäre Anlage in Forch ZH und eine mobile Anlage. Ziel ist ein jährliches Produktionsvolumen von ca. 7'000 bis 10'000 m<sup>3</sup> Flüssigboden je Anlage zu erreichen. Expansionspläne sind ebenfalls vorhanden, sodass in naher Zukunft noch weitere Anlagen in der Schweiz dazukommen werden.

Die Firma Marti bietet in ihrem Baustoffpark in Walliswil einen Flüssigboden mit der Bezeichnung SmartFill® an. Das Korngerüst bildet ebenfalls Pressschlamm. Basis des Pressschlammes bildet, analog wie bei der Firma Logbau AG, der entwässerte Kiesschlamm aus der nassmechanischen Kiesaufbereitung im Kieswerk vor Ort.

#### **Marti AG**

Die Firma Birchmeier Holding ist vertikal in der Bauwirtschaft integriert und bietet von der Rohstofflieferung, über den Einbau, weiteren Bauleistungen bis zu Rückbau und Entsorgung alles an (im Hoch- und Tiefbau). Die Birchmeier Bau AG hat bereits erste Flüssigboden Einsätze durchgeführt mit einer mobilen Anlage. Die mobile Anlage besteht aus einem grossen hydraulischen Raupenbagger und einer Flüssigbodenschaufel, auch «Löffel» genannt. Damit wird der Aushub direkt vor Ort mit Flüssigboden Compound (Bentonit und Zement) gemäss Rezeptur in der Flüssigbodenschaufel gemischt. Dazu kommt je nach Bedarf das Zugabewasser über einen Schlauch, das über einen Einlass mit integriertem Zähler in die Flüssigbodenschaufel gelangt.

#### **Birchmeier Bau AG**

Zwischen der Herstellung / dem Einsatz von Flüssigboden und der Gewinnung konventioneller Baustoffe bestehen mögliche Interessenskonflikte. Dies betrifft Unternehmen, die in der Bereitstellung von primärer Gesteinskörnung, mit der damit verbundenen Wertschöpfungskette (Zement und Beton) und / oder mit der Deponierung von Aushub ihren Hauptumsatz erzielen. Diese wirtschaftsstarke herkömmlichen Geschäftsbereiche könnten durch forcierten Einsatz von Flüssigboden konkurrenziert werden.

#### **Marktsituation und mögliche Interessenskonflikte**

### 3.6 Rezepturen Flüssigboden

In der vorliegenden Studie wurden folgende Flüssigboden-Rezeptur aus [7], [8] und [9]. verwendet, siehe Tabelle 3-1. Das sind Rezepturen für sehr unterschiedliches Ausgangsmaterial, von Seeton bis hin zu Kies und Schluff. Wichtig zu erwähnen ist, dass sich die projektspezifischen Gebrauchs- sowie auch technologisch relevanten Endeigenschaften des Flüssigbodens auf die zwingend erforderliche Rezepturermittlung auswirken. Die Dichte des Ausgangsmaterials (Aushub) ist keineswegs der alleinige Parameter für die erforderlichen Additive und kann somit je nach Ausgangsmaterial stark abweichen.

*Tabelle 3-1: Verwendete Flüssigboden Durchschnitts-Rezepturen aus [7], [8] und [9]. Mengen sind in Kilogramm für einen Kubikmeter (1 m<sup>3</sup>) Flüssigboden angegeben.*

Komponente	Aushub, Pressschlamm [kg]	Zement [kg]	Compound (Bentonit) [kg]	Kalk [kg]	Wasser [kg]
Rezeptur 1	1'325	37.5	37.5	0	400
Rezeptur 2	1'500	45.0	35.0	15	340
Rezeptur 3	1'320	27.3	34.0	0	410
Rezeptur 4	767	47.0	33.0	0	668
Rezeptur 5	1'222	28.0	28.0	0	505
Rezeptur 6	1'083	51.0	37.0	0	561
Rezeptur 7	1'317	47.0	27.0	0	478
Rezeptur 8	1'203	59.0	27.0	0	517
Rezeptur 9	1'478	25.0	33.0	0	406
Rezeptur 10	1'293	38.0	33.0	0	472

### 3.7 Anforderungen Flüssigboden

Aufgrund der noch fehlenden Normen und Regelwerke für Flüssigboden stellen sich aktuell Bauherren die Frage, welche Anforderungen in Ausschreibungen an Flüssigboden zu stellen sind. Die nachfolgende Auflistung soll Bauherren in der Ausarbeitung eines Anforderungskatalogs für Flüssigboden unterstützen:

Wichtig ist, dass der Flüssigboden basierend auf einem Gütesicherungsplan hergestellt, eingebaut und überprüft wird. Der Gütesicherungsplan beinhaltet im besten Fall eine Projektbeschreibung, listet die Verantwortlichen (Auftraggeber, Planer, Baugrundgutachter, Flüssigbodenhersteller, Baufirma etc.) auf, führt relevante Baustellenspezifika auf, hält Qualitätskontrollen (interne und externe) für den Flüssigboden fest, regelt den Einbau, legt die nötigen Prüfungen inkl. Prüfkriterien fest, gibt Vorgehen bei Abweichungen vor und enthält Massnahmen beim Auftreten von kontaminiertem Aushub sowie Arbeitsschutzhinweise.

**Problemstellung  
Ausschreibung**

**Gütesicherungsplan**



Wichtig ist, dass der Flüssigbodenhersteller technische Nachweise erbringt im Zusammenhang mit der Lösbarkeit entsprechend der Bodenklasse 3-5, Druckfestigkeit, Absetzmass, Ausbreitmass (an der Entladestelle) sowie Nachweis der Umlaufzeit durch einen Lieferschein mit Aufdruck der Herstell- und Einbauzeit. Die Dichte des Flüssigbodens ist hauptsächlich durch das verwendete Ausgangsmaterial (Aushub) gegeben. Die Rezeptur muss auf die Anwendung respektive auf das Ausgangsmaterial gut abgestimmt werden. Dafür ist eine Bodenansprache des Ausgangsmaterials, eine Bodenansprache des Umgebungsmaterials sowie eine angepasste Rezeptur je Anwendung und Bauweise (Kontraktorverfahren, hängende Bauweise, getaktete Bauweise etc.) nötig.

#### **Anforderung an Flüssigbodenhersteller**

Zur Sicherung der Qualität sind eigene Prüfungen im Sinne der Eigenüberwachung der Hersteller und Anwender sowie Fremdüberwachung eines spezialisierten und zertifizierten Bauprüfstofflabors wichtig. Bei der Eigenüberwachung geht es um die Sichtprüfung des Ausgangsmaterials, der Prüfung des Ausbreitungsmasses sowie der Eigenfeuchte des Grundmaterials (Aushub). Der Flüssigbodenhersteller sollte nach einer fixierten Menge (Kubatur zwischen 200 m<sup>3</sup> bis 500 m<sup>3</sup>) Flüssigboden Probezylinder herstellen und diese in vorgegebenen Zeitintervallen auf bautechnische und bodenmechanische Eigenschaften überprüfen (DIN 18136) wie z.B. die Tragfähigkeit, Dichte etc.

#### **Qualitätskontrollen Flüssigboden**

Beim Einbau hilft eine gute Dokumentation (Einbautagebuch). Typischerweise wird der Flüssigboden über einen Fahrmischer und eine Rutsche (Auslaufschurre) eingebaut. Je nach örtlichen Gegebenheiten sind weitere Einbauhilfen wie Betonpumpen, Schüttrohre, Auslaufschutz für Auslaufschurren, Rüttelflaschen, Trichter, Betonkübel, Betonsilos etc. zu verwenden.

#### **Einbau Flüssigboden**

Hinsichtlich der Haftung ist es wichtig, dass die Haftungsübernahme der Rezepturerarbeiter (i.d.R. Flüssigbodenhersteller) trägt inklusive des Nachweises der Rohrstatik, Statik bei besonderen Anwendungen etc.

#### **Haftungsübernahme**

Es sollte darauf geachtet werden, dass eine Versicherungsgarantie gegeben ist.

Folgende technische Parameter können für den Flüssigboden Einsatz seitens Bauherrschaft im Anforderungskatalog verlangt werden:

- Zeitweise fließfähiges und selbstverdichtendes Material ohne hydraulisch starre Strukturen, Zementgehalt bis max. 3 M.-%, nur CEM I, bei höherem Zementanteil bilden sich starre Strukturen und man spricht dann von Flüssigmörtel, was nicht mehr als Flüssigboden zählt
- Lösbarkeit nach DIN 18300 entsprechend Bodenklasse 3-5
- Tragfähigkeit ME-Wert:  $>40 \text{ MN/m}^2$
- Druckfestigkeit nach DIN 18136 nach 28 Tagen: 0.3 bis 0.8 N/mm<sup>2</sup>
- Rohdichte und Wasserdurchlässigkeit hängen vom Ausgangsmaterial ab, deshalb wird hier kein Sollwert angegeben

#### Technische Parameter

### 3.8 Gefährdungseinschätzung

Die zentrale Frage von ERZ an den Auftragnehmer (Umtec Technologie AG) bezieht sich auf die Umweltverträglichkeit des Einbaus von Flüssigboden. Vor allem die dem natürlichen Aushub (C-Horizont) oder Pressschlamm (entwässertes Kiesschlamm) zusätzlich zugesetzten Komponenten (Zusatzstoffe), Compound und Zement, rücken in den Fokus der Umweltverträglichkeit.

#### Zentrale Fragestellung

Hinsichtlich der Umweltverträglichkeit stellt sich bei den zugegebenen Komponenten des Flüssigbodens, dem Compound und dem Zement, die Frage, ob diese Schadstoffe (organische oder anorganische) enthalten und ob diese in der Nutzungsphase austreten und den Boden und das Grundwasser kontaminieren können.

#### Belastung durch den Zement?

Im Fokus steht dabei vor allem der Zement: Bei den anorganischen Schadstoffen geht es vor allem um Schwermetalle wie Arsen, Zink oder Chromat aus dem Zement des Flüssigbodens. Flüssigbodenhersteller verwenden aus diesem Grund aktuell Portlandzement ohne Zusätze wie Flugaschen, Hüttensand oder Mischabbruchgranulat. Trotzdem können Schwermetalle über die eingesetzten Haupt- und Nebenbestandteile, über Calciumsulfate und die Zementzusätze in den Zement eingetragen werden. Eine Untersuchung des Deutschen Umweltbundesamtes hat diesbezüglich gezeigt, dass die meisten Elemente innerhalb der Spannweiten von natürlichen Gesteinen liegen [10]. Gemäss der genannten Analyse des Deutschen Umweltbundesamtes können lediglich die Gehalte für Arsen, Blei, Zink und Chrom aufgrund der Rohstoffzusammensetzung und der Brennbedingungen erhöht sein. Chrom kann bis zu 20% als Chromat (Chrom(VI)) vorliegen, das im Gegensatz zu Chrom(III) eine hohe Löslichkeit aufweist und somit stärker ausgelaugt werden kann. Allerdings haben Langzeittests (Schüttel- und Langzeitstandtests) gezeigt, dass vorhandene Schwermetalle im Portlandzementklinker grösstenteils dort verbleiben und eingebunden werden [10].

Neben dem Zement wird dem Flüssigboden ein Compound zugegeben. Dieser Compound besteht beim RSS-Flüssigboden® aus einer lebensmitteltauglichen Bentonit-Mischung. In der Schweiz ist dieser Compound auch bei anderen Flüssigbodenhersteller im Einsatz. Daher ist nicht davon auszugehen, dass vom Compound eine Umweltgefährdung ausgeht. Eine Analyse des Umwelthygiene und Toxikologie-Instituts des Ruhrgebiets HY kommt zum Schluss, dass der RSS-Breitbandcompound® kein negatives ökotoxikologisches Wirkpotential auf den Boden und auf vorhandenes Grundwasser hat und die Verwendung aus ökotoxikologischer Sicht unbedenklich ist [11], [12].

## **Belastung durch den Compound?**

Zur weiteren Abschätzung der Umweltgefährdung des Einsatzes von Flüssigboden wurden Einschätzungen vorgenommen. Dazu wurden bisherige Erfahrungen und Messungen (VVEA-konforme Eluat-Analysen) sowie die Resultate einer hydrogeologischen Untersuchung herangezogen. Nachfolgend werden die wichtigsten Flüssigbodenhersteller im Schweizer Markt hinsichtlich der Umweltverträglichkeit ihres Flüssigbodens beurteilt.

## **Eluat-Analysen und Messdaten**

Vom RSS-Flüssigboden® wurden in vergangenen Bauprojekten diverse VVEA-konforme Eluat-Analysen erstellt, die dem Autor zur Erstellung dieses Berichts zur Akteneinsicht zur Verfügung gestellt wurden. Die Prüfberichte wurden dem Autor unter Vertraulichkeit zugestellt. Für weitere Auskünfte wird auf Herrn Markus Roeschli von RSS-Flüssigboden verwiesen.

## **RSS-Flüssigboden**

Alle Eluat-Analysen zeigten, dass keine besonderen Vorkommnisse während der Eluation und Analytik beobachtet wurden. Die Ergebnisse aus den durchgeführten Eluattests lassen den Schluss zu, dass durch Auswaschen der Prüfkörper keine nennenswerten, für die Umwelt schädigenden Schadstoffe generiert wurden. Alle Schadstoff-Messwerte, ob Schwermetalle oder organische Schadstoffe wie PAK und organische Summenparameter C10 bis C40, lagen im gesetzlichen Rahmen der VVEA (resp. der damaligen TVA, Abfallverordnungsvorgänger der VVEA) [13], [14], [15] und [16]. Auch in Deutschland wurden Prüfkörper von RSS-Flüssigboden auf ihre Umweltverträglichkeit analysiert – mit dem gleichen Resultat: Es wurden keine nennenswerten, die Umwelt schädigenden Schadstoffe gefunden [17]. Eine Stellungnahme des Amts für Umweltschutz des Kantons Schwyz hat in einer umfassenden Grundwasserüberwachung diverse Parameter wie eh-, pH-Wert, Ammonium-, Sulfatkonzentrationen sowie auch die Konzentration diverser Schwermetalle gemessen [18]. Das AfU des Kantons Schwyz kommt in dieser Grundwasserüberwachung zum Schluss, dass davon ausgegangen werden kann, dass der Einbau von Flüssigboden («RSS-Flüssigboden®») im genannten Fall) keine schädlicheren Auswirkungen auf das Grundwasser hat als der konventionelle Leitungsbau. Das AfU des Kantons Schwyz genehmigte darauf den Einsatz von «RSS-Flüssigboden®» auf dem gesamten Kantonsgebiet im Gewässerschutzbereich A<sub>U</sub> [18].

Die Firma Magma AG hat im Auftrag der KIBAG eine Beurteilung der abfall- und altlastenrechtlichen Situation des Einsatzes von Flüssigboden erstellt [19], die dem Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft AWEL vorlag. Die KIBAG hat zudem ein Grundwasserüberwachungsbericht bei der Überbauung Kreuzplatz in Lachen zu Händen des Amtes für Umwelt und Energie des Kantons Schwyz erstellt [20]. Beide Berichte sind vertraulich (bitte direkt bei KIBAG, Herrn Raphael Bühler, melden für Informationen zu den genannten Berichten) und wurden dem Autor, mit Einwilligung der KIBAG, vom AWEL resp. vom Amt für Umwelt und Energie Kanton Schwyz (AfU Kanton SZ) zur Akteneinsicht zur Verfügung gestellt. In diesem Bericht wurden unter anderem auch Eluattests von Flüssigboden der KIBAG erwähnt. Die Eluattests der Flüssigbodenproben stammen aus einem Prüfbericht der EMPA. Gemäss [19] und [20] konnten keine Schwermetalle sowie kein Nitrit, Sulfid, Sulfid und Phosphat nachgewiesen werden. Damit zeigen die Eluattests auch in diesem Fall keinen relevanten Schadstoffaustrag. Einzig eine Erhöhung des pH-Werts und der Leitfähigkeit wurde gemessen. Beide Werte haben sich jedoch mittelfristig (nach ca. 9 Monaten) wieder auf normalem Niveau eingependelt. Zeitweise lag auch ein leicht erhöhter Sulfat-Wert vor, der sich jedoch auch wieder legte. Es wird vermutet, dass die leichte Erhöhung des pH-Wertes (ca. 0.5 pH-Einheiten) eine Mobilisierung von Sulfat bewirkte [20]. Dies wurde auch in der Stellungnahme des AfU SZ erwähnt. Alle zeitweilig erhöhten Mess-Parameter haben sich nach einer gewissen Zeit (ca. 9 bis 12 Monate nach Einbau) wieder normalisiert [18], [20]. In [19] werden auch Eluatversuche von Flüssigbodenherstellern aus Deutschland erwähnt. Insgesamt erscheinen die geringen Schwermetallgehalte aus den Eluatversuchen der deutschen Flüssigbodenhersteller ebenfalls als umwelttechnisch wenig problematisch [19].

Die Grundwasserüberwachung in Lachen SZ hat gezeigt, dass sich die Umgebung nach 12 Monaten wieder an den Ursprungszustand angenähert hat. Es wird davon ausgegangen, dass eine längerfristige Beeinflussung des Grundwassers durch das Einbringen von Flüssigboden ausgeschlossen werden kann. Die Grundwasseranalysen haben somit gezeigt, dass kein Schadstoffeintrag stattfindet, eine Schädigung der Umwelt ausgeschlossen werden kann und das Grundwasser nicht beeinträchtigt wird [20].

Im Jahr 2011 startete am Institut für Umwelt- und Verfahrenstechnik UMTEC der OST Ostschweizer Fachhochschule (ehemals Hochschule für Technik Rapperswil HSR) in Zusammenarbeit mit der Firma Logbau AG eine längere Versuchsreihe zur Erstellung eines neuen Bindemittels zur Bodenstabilisierung. Die Idee war den ökologisch und ökonomisch relevanten Zement in Erdbeton durch Abfallstoffe, nämlich durch Holzaschen aus Feuerungen, zu substituieren und zusammen mit dem Kiesschlamm aus dem Kieswerk (Feinfraktion) zu einem Bindemittel zur Bodenstabilisierung zusammen zu mischen. Im Jahr 2014 stand das daraus hervorgegangene Produkt mit dem Namen «Ragazer Erdbeton®», welches seither erfolgreich von der Logbau AG eingesetzt wird. Zwischen 2011 und 2014 wurden an der Hochschule in Rapperswil am Institut UMTEC umfassende Versuche zur Umweltverträglichkeit des Ragazer Erdbetons gefahren: Laborversuche, Technikumsversuche bis hin zum Massstab eines Pilotversuchs in der Praxis. Insbesondere das Eluat wurde untersucht, da Holzaschen Schwermetalle enthalten und man sichergehen wollte, dass keine nennenswerten Auswaschungen stattfinden. Neben der Holzasche wollte man

**KIBAG****Logbau AG**

auch sichergehen, dass der Kiesschlamm keine Probleme verursacht. Dies konnte durch eine umfangreiche Messkampagne bestätigt werden [21].

Etwas später brachte die Logbau AG den «Ragazer Flüssigboden®» auf den Markt. Dieser basiert ebenfalls, wie der Ragazer Erdbeton, auf dem Kiesschlamm resp. auf dem entwässerten Kiesschlamm, dem sogenannten Pressschlamm. Dem Autor wurde von der Logbau AG eine Eluat-Analyse zweier Ragazer-Flüssigboden-Proben zur Einsicht zur Verfügung gestellt. Diese Einsicht wurde in Vertraulichkeit zur Verfügung gestellt. Für weitere Auskünfte wird auf Herrn Rudolf Tobler von der Logbau AG verwiesen. Die genannten, VVEA-konformen Eluat-Analysen zeigen, dass der Ragazer-Flüssigboden® alle Grenzwerte einhält und keine nennenswerten Umweltschädigungen daraus zu erwarten sind [22]. Gemäss Logbau AG wird auch der Pressschlamm regelmässig überprüft, da zur Ablagerung in einer Deponie ein entsprechender Nachweis zur Einhaltung der Grenzwerte der VVEA erbracht werden muss. Diese Grenzwerte werden konstant alle eingehalten.

Vom Flüssigbodenhersteller EcoSoil erhielt der Autor ebenfalls Einsicht in einen durch IMP Bautest AG VVEA-konform durchgeführten Eluatversuch von Flüssigboden [23]. Auch dieser Bericht wurde dem Autor zur Akteneinsicht unter Vertraulichkeit zugänglich gemacht (bitte direkt bei EcoSoil AG, Herrn Sandro Mariani, melden für Informationen zum genannten Eluatversuchs-Bericht). Der Eluatversuch von IMP Test für die Firma EcoSoil AG bestätigt, dass die Grenzwerte eingehalten werden und die ausgelaugten Schwermetallkonzentration damit sehr tief sind. Auch die anderen gemessenen Parameter wie pH-, Leitfähigkeitswert, Nitrit, Phosphat, Sulfid und weitere Parameter lagen unter dem Grenzwert.

#### **EcoSoil AG**

Die eingangs im Kapitel «Zielsetzung» von ERZ an den Auftragnehmer, Umtec Technologie AG, gestellten Fragen werden nachfolgend beantwortet:

*Veränderung des pH-Wertes des Grund- und Hangwassers insbesondere in den Gewässerschutzbereichen  $A_o$  und  $A_u$ ?*

**Veränderung des pH-Wertes**

*Veränderung des pH-Wertes des Grund- und Hangwassers in Grundwasserschutzzonen?*

Die hydrogeologische Untersuchung des Amtes für Umweltschutz des Kantons Schwyz hat gezeigt, dass der eingebaute Flüssigboden nicht zu einer nennenswerten Veränderung des pH-Wertes führte [18], [20]. In genannter Untersuchung kam es während ca. 9 Monaten zu einer leichten Erhöhung des eh- und pH-Wertes (ca. 0.5 pH-Einheiten), welche sich allerdings wieder einpendelte. Auch ein zeitweilig erhöhter Sulfat-Wert wurde gemessen. Hier wird vermutet, dass die zeitweilige leichte Erhöhung des pH-Wertes zu einer Mobilisierung von Sulfat geführt hat. Diese Einwirkung hat sich jedoch nach 9 Monaten auch wieder gelegt [20].

Weder im Gewässerschutzgesetz noch in der Gewässerschutzverordnung oder in der Vollzugshilfe Grundwasserschutz des BAFU gibt es einen direkten Hinweis, dass eine solche pH-Veränderung nicht gestattet ist. Auf der kantonalen Ebene sieht dies jedoch anders aus. Gemäss der Broschüre «Bauvorhaben in Grundwasserleitern und Grundwasserschutzzonen der Baudirektion Zürich des AWEL Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft, ist das Einbringen von Kalk- oder Zementstabilisierungen von anstehendem oder eingebrachtem Bodenmaterial (wozu Flüssigboden zählt) in Grundwasserschutzzonen und im Gewässerschutzbereich  $A_u$  nicht zulässig, wenn nicht mindestens ein 2-Meter Abstand zum höchsten Grundwasserspiegel besteht [24].

*Bereich von Altlasten und Überwachungskonzepten: Probleme mit dem Einbringen neuer Stoffe aus dem Baugrund, welche die Überwachung beeinflussen?*

**Altlasten und Überwachungskonzepte**

Aus Interviews mit Flüssigbodenherstellern ging hervor, dass Flüssigboden eine adsorbierende Eigenschaft auf Schadstoffe im Boden hat. Vereinzelt wurde der Flüssigboden sogar zur Immobilisierung von Schadstoffen im Untergrund eingesetzt. Ein grosses Projekt, bei dem Flüssigboden zur Immobilisierung von Schwermetallen im Untergrund zum Einsatz kam, war der Fall Arcelor/Mital Esch Belval in Luxemburg. Es wurden gezielt Schwermetalle wie Arsen und Blei aus abgelagerten kontaminierten Schlämmen und Schlacken mittels Flüssigboden adsorbiert und dadurch immobilisiert [6].

Aus [19] (hydrogeologische Untersuchung einer Grabenverfüllung mittels Flüssigboden) ist bekannt, dass der eh- und pH-Wert kurzzeitig nach dem Einbau leicht erhöht waren. Dies hat sich nach ca. 9 Monaten wieder auf normales Niveau gelegt. Bei einer Altlast mit Überwachungskonzept müsste vor dem Einbau des Flüssigbodens allenfalls der eh- und pH-Wert gut beobachtet werden, sodass ein allfälliger zusätzlicher Einfluss des Flüssigbodens besser eingeschätzt werden kann.

*Welches Material (Aushub) eignet sich für die Erstellung von Flüssigboden, Stichwort Wassergehalt, Wasserdurchlässigkeit, mechanisch-physikalische Eigenschaften etc.?*

**Geeignetes  
Ausgangsmaterial**

Alle Flüssigbodenhersteller, die Aushub (C-Horizont) als Ausgangsmaterial für das Korngerüst verwenden, haben bestätigt, dass jeder Aushub (ausser Fels) von Seeton, über kiesig-schluffige Böden bis hin zu Torf verwendet werden kann. Wichtig ist, dass je nach Ausgangsmaterial entsprechend die Rezeptur angepasst wird. Dafür hat z.B. die Firma RSS ein ausgeklügeltes Vorgehen mit computergesteuerter Modellierung der Rezeptur. Der Wassergehalt des Bodens wird durch eine allfällige Zugabe von Kalk (Stichwort: rieselfähig machen) und auch allfälliger Zugabe von zusätzlichem Wasser reguliert. Die mechanisch-physikalischen Eigenschaften sind identisch zum Ausgangs-/Umgebungsboden resp. können auch gezielt leicht variiert werden (je nach Rezeptur). Die Wasserdurchlässigkeit ist im Bereich  $10^{-5}$  bis  $10^{-10}$  m/s. Das bedeutet, die Wasserdurchlässigkeit wird als «schwach durchlässig bis sehr schwach durchlässig» bezeichnet. Die Wasserdurchlässigkeit kann jedoch nicht durch Veränderung der Rezeptur hin zur höheren Durchlässigkeit verändert werden. Die Wasserdurchlässigkeit kann höchstens verkleinert werden [6]. Typischerweise verkleinert sich die Wasserdurchlässigkeit um eine 10-er-Potenz zwischen Ausgangsmaterial und Flüssigboden (Faustregel). Durch hydrogeologische Modellierungen (Simulationen mittels SEM, structural equation modelling) zur Quantifizierung der Grundwasserströme wird bei grösseren Bauprojekten die Grundwassersituation modelliert. Dies soll Einstaus als Folge von reduzierten Wasserdurchlässigkeiten von Flüssigboden verhindern, indem bereits in der Planungsphase gezielt Durchlässe eingeplant werden.

*Abfallrechtliche Frage beim Rückbau / Entsorgung: Wie muss verbauter Flüssigboden am Ende seiner Nutzungsphase abfallrechtlich behandelt werden? Deshalb erfolgen im Rahmen dieses Projekts auch Abklärungen zur Wiederverwertbarkeit und Entsorgung des Flüssigbodens in der Branche.*

## **Abfall- und altlastenrechtliche Einordnung**

Alle Flüssigbodenhersteller haben bestätigt, dass der eingebaute Flüssigboden bei erneutem Aushub zur Herstellung von neuem Flüssigboden wiederverwendet werden kann. Trotzdem stellen sich hinsichtlich der abfallrechtlichen Einordnung noch Fragen:

Gemäss [9] und [8] kann der Flüssigboden als sauberer Aushub deponiert oder wieder zur Herstellung von neuem Flüssigboden verwendet werden. In [19] wurde die abfall- und altlastenrechtliche Situation des Einsatzes von Flüssigboden beurteilt. Dabei wurde erwähnt, dass zu prüfen ist, wie die für die Herstellung des Flüssigbodens benötigten Zusätze (Bentonit und Zement) mit einem Anteil von 3% bis 9% zu qualifizieren sind. Denn falls die zuständige Behörde den Flüssigboden-Compound (Bentonit) und den Zement gesamthaft als Fremdstoffe beurteilen, so würde Flüssigboden nicht mehr als unbelasteter Aushub gelten. Gemäss [25] darf unverschmutzter Aushub nicht mehr als 1% (Massenprozent) an mineralischen Bauabfällen enthalten. Ob die zuständige Behörde den Zement und den Bentonit als mineralische Bauabfälle klassiert, ist allerdings unklar. Diesbezüglich ist die Erarbeitung weiterer faktenbasierter Vorgaben unerlässlich. Wenn die zuständige Behörde den Flüssigboden-Compound und den Zementbeschleuniger aufgrund ihrer überwiegend mineralischen Zusammensetzung hingegen nicht als Fremdstoffe beurteilt, ist die chemische Zusammensetzung der Zusätze oder des Flüssigbodens als Produkt mit den Grenzwerten gemäss Anhang 3 Ziffer 2 der VVEA [26] zu vergleichen. In diesem Fall wäre Flüssigboden analog zu herkömmlichem Aushub- und Ausbruchmaterial zu verwerten.

*Unbedenkliche Anwendungen im Bereich der Stadt Zürich?*

## **Unbedenkliche Anwendungen**

Gemäss [18] wird die Anwendung von RSS-Flüssigboden® auf dem Kantonsgebiet des Kantons Schwyz im Gewässerschutzbereich A<sub>u</sub> als unbedenklich für Grabenverfüllungen eingestuft. Ob dies auch für die Stadt Zürich gilt, muss die kantonale Behörde (AWEL, Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft des Kantons Zürich) entscheiden. Vereinzelt wurden im Kanton Zürich auch schon Grabenverfüllungen mit Flüssigboden vorgenommen.

Das grösste Potenzial für Flüssigboden-Einsätze in der Stadt Zürich sehen die Flüssigbodenhersteller in folgenden Anwendungen:

- Kanalisationsrohrverlegungen
- Fernwärmeleitungsverlegungen
- Abschottung von kontaminierten Böden
- Erschütterungsentkopplungen
- Trockenlegungen



### 3.9 Stellungnahme BAFU

Das BAFU äusserte sich am 1. April 2021 per E-Mail zu einem durch die Firma Gruner AG verfassten Arbeitspapier in Sachen Flüssigboden. Das genannte Arbeitspapier entstand im Zusammenhang mit der aktuell (bis Ende 2021/anfangs 2022) laufenden Flüssigboden Studie zu erdverlegten Hoch- und Höchstspannungskabeln im Auftrag von Swissgrid. Grundsätzlich wurde die Unbedenklichkeit von Flüssigboden hinsichtlich Boden, Wasser und Naturschutz anerkannt. Zum Thema Recycling / Entsorgung wurden konkrete Angaben zur umweltrechtlichen Einordnung gemacht. Im Austausch mit der Gruner AG, erhielt die Umtec Technologie AG, die wortwörtlich wiedergegebene nachfolgende Zusammenfassung der Stellungnahme des BAFU [27]:

*«Soweit der Boden bzw. die Bodenfunktionen (im Sinne von Art. 7 USG und Art. 2 VBBö) durch die Nutzung des Flüssigbodens nicht verändert werden, z.B. durch die Verwendung von Bodenaushub als Bestandteil des Flüssigbodens, sind keine Umweltauswirkungen im Bereich des Bodenschutzes zu erwarten.»*

*«Die Eluattests zeigen kein Risiko für das Grundwasser. Das beigefügte Sicherheitsdatenblatt und die Ökotox-Studie [12] sind gut und zeigen, dass dieses Produkt RSS FBC unproblematisch ist.»*

*«Solange also die Bodenfunktionen nicht verändert werden, sind keine nachteiligen Effekte auf Natur und Landschaft zu erwarten. Wo für den Biotopschutz erforderlich, ist die optimale Durchwurzelbarkeit des Flüssigbodens sicherzustellen. Die geringere Wasserdurchlässigkeit von Flüssigboden ist zu beachten.»*

*«Grundsätzlich kann der Flüssigboden entweder als Aushubmaterial oder als mineralischer Bauabfall klassiert werden. Da für diese zwei Abfallkategorien andere Vorgaben für die Entsorgung gelten, muss zuerst geklärt werden, ob rückgebauter Flüssigboden Aushub- oder Rückbaumaterial ist.»*

- *«Aus Entsorgungssicht ist eine Minimierung der Additive anzustreben. Zudem sind Bentonitsuspensionen und spezielle Schichtmineralien ohne chemische Zusätze unproblematischer als Zement oder gebrannter Kalk.»*
- *«Wenn ausschliesslich natürliche Tonmineralien (Bentonit) als Additive verwendet werden, ist eine Entsorgung als Aushubmaterial denkbar. Dabei muss ausgeschlossen werden, dass durch die mineralischen Tonmineralien Schadstoffe in den Flüssigboden eingebracht werden.»*
- *«Wenn dem Flüssigboden >1% Zement oder gebrannter Kalk zugegeben wird, besteht der Flüssigboden nicht mehr zu mindestens 99 Gewichtsprozent aus Lockergestein oder gebrochenem Fels und im Übrigen aus anderen mineralischen Bauabfällen (Anforderungen an unverschmutztes Aushubmaterial gemäss Anhang 3 Ziffer 1 VVEA). In diesem Falle kann der Flüssigboden bestenfalls als schwach verschmutztes Aushubmaterial gemäss Anhang 3 Ziffer 2 VVEA klassiert werden, wenn die Grenzwerte eingehalten werden. Dies führt dazu, dass dieser Flüssigboden nach dem Ausbau entweder für die Herstellung von hydraulisch oder bituminös gebundenen Baustoffen verwertet werden kann (Art. 19 Abs. 2 VVEA) oder gemäss Anhang 5 Ziffer 2.1 Bst. g auf einer Deponie Typ B abgelagert werden muss.»*

**Schreiben BAFU an Gruner AG**

**Bodenfruchtbarkeit & -vielfalt (Bodenorganismen)**

**Wassergefährlichkeit (Zusatzstoffe)**

**Fauna und Flora**

**Recycling & Entsorgung**

Anmerkung Gruner AG [27]: Da Flüssigboden weder einen hydraulisch noch einen bituminös gebundenen Baustoff darstellt, müsste hinsichtlich der Wiederverwertung als Flüssigboden auf Art. 19 Abs. 2d VVEA verwiesen werden (Verwertung bei Tiefbauarbeiten auf dem durch Abfälle belasteten Standort, auf dem das Material anfällt).

- *«Wenn der Flüssigboden so viel Zement enthält, dass eine hydraulische Bindung einsetzt, muss er nach dem Rückbau als mineralisches Rückbaumaterial entsorgt werden.»*
- *«Wenn die Vorgaben gemäss Art. 19, Abs. 3 Bst. b VVEA eingehalten werden, könnte das [wenig verschmutzte] Aushubmaterial grundsätzlich auch als Flüssigboden wieder eingebracht werden. Jedoch beschränkt sich der Einsatz auf den Perimeter der Altlastensanierung, eine Zu- oder Abfuhr von wenig verschmutztem Aushubmaterial zur Verwertung als Flüssigboden ist nicht zulässig.»*

## 4 Fazit

Gespräche mit Flüssigbodenherstellern, Online-Recherchen, Recherchen bei Behörden sowie auch bereits vorhandene Erfahrungen zeigen, dass Flüssigboden ein sehr spannender und vielseitig einsetzbarer Baustoff ist, der noch grosses Ausbaupotenzial hat. Hinsichtlich der abfallrechtlichen Einordnung gilt abzuwarten, was das BAFU vorgibt. Bei der Umweltverträglichkeit deuten eine Vielzahl an Eluat-Analysen sowie eine erste hydrogeologische Untersuchung (vom Kanton Schwyz) darauf hin, dass Flüssigboden grundsätzlich umweltverträglich ist. Bei der vom Kanton Schwyz bereits durchgeführten hydrogeologischen Untersuchung waren eh- und pH-Wert zeitweise leicht erhöht, haben sich jedoch mittelfristig wieder auf normalem Niveau eingependelt.

Wir empfehlen ERZ bei ersten Anwendungen von Flüssigboden ein Monitoring der hydrogeologischen Situation vorzunehmen, um durch weitere Daten die Einordnung der Umweltverträglichkeit zu erhärten und abschliessend zu beurteilen. Besonders aussagekräftig wäre ein hydrogeologisches Monitoring bei einem Projekt mit einem Abstand zum Grundwasserhöchstspiegel unter 2 Metern zum Bauprojekt. Bei Projekten bei denen der Grundwasserhöchststand mehr als 2 Meter tiefer liegt als das Bauprojekt, wird ohnehin kein negativer Einfluss des Flüssigbodens erwartet.

## Referenzen

- [1] T. Pohl, „Ökobilanzierung von Flüssigboden im Einsatz von Grabenfüllungen,“ Baudirektion Kanton Zürich - Tiefbauamt TBA ZH, Zürich, 2021.
- [2] Deutsches Institut für Gütesicherung und Kennzeichnung e.V., „Flüssigboden - Gütesicherung RAL GZ 507,“ RAL Gütezeichen, Sankt Augustin, 2014.
- [3] Forschungsgesellschaft für Strassen- und Verkehrswesen - Arbeitsgruppe Erd- und Grundbau, „Hinweise für die Herstellung und Verwendung von zeilweise fließfähigen, selbstverdichtenden Verfüllbaustoffen im Erdbau, Ausgabe 2012,“ FGSV, Köln, 2012.
- [4] C. Bertoldi, „Boden bleibt Boden,“ *Baublatt*, Nr. August, pp. 18-22, 2020.
- [5] PROV Produktions- und Vertriebsgesellschaft GmbH, „RSS®Systems,“ PROV Produktions- und Vertriebsgesellschaft GmbH, [Online]. Available: <https://rss-system.de/rss-fluessigboden/>. [Zugriff am 27 10 2021].
- [6] RSS Flüssigboden, „DAs RSS®-Flüssigbodenverfahren entsprechend RAL Gütezeichen 507, Technische Grundlagen und planerische Möglichkeiten - Eine Entwicklung des Forschungsinstituts für Flüssigboden FIFB seit 1998,“ RSS Flüssigboden, Stein, 2019.
- [7] T. Neidhart und U. Trunk, „Einsatz von Flüssigboden in der Geotechnik,“ Ostbayerische Technische Hochschule Regensburg und Fachhochschule Nordwestschweiz FHNW, Regensburg, 2020.
- [8] S. Mariani, Interviewee, *Geschäftsführer EcoSoil AG: Angaben zum Flüssigboden der EcoSoil AG*. [Interview]. 19 März 2021.
- [9] R. Bühler, Interviewee, *Projektleiter KIBAG Bauleistungen AG Infra: Angaben zum Flüssigboden der KIBAG*. [Interview]. 9 März 2021.
- [10] R. Ehrnsperger und W. Misch, „Gesundheits- und Umweltkriterien bei der Umsetzung der EG-Bauprodukten-Richtlinie (BPR) - Studie im Auftrag des Umweltbundesamtes UBA,“ Deutsches Institut für Bautechnik (DIBt), Berlin, 2005.
- [11] Hygiene-Institut des Ruhrgebiets - Institut für Umwelthygiene und Toxikologie, „Produkt RSS FBC Breitbandcompound,“ HY Hygiene-Institut des Ruhrgebiets, Gelsenkirchen, 2018.
- [12] PROV Produktions- und Vertriebsgesellschaft mbH, „Zusammensetzung RSS Flüssigboden-Compound,“ PROV Produktions- und Vertriebsgesellschaft mbH, Eilenburg, 2011.
- [13] Basler Baulabor BBL, „Chemische Untersuchung von Feststoffen am Objekt Umgestaltung Städtli in Liestal mit Flüssigboden,“ Implenia Schweiz AG, Basel, 2017.
- [14] EMPA, „2 Proben Baumaterial (Aushub natur und RSS Flüssigboden fertig eingebaut),“ RSS-Flüssigboden, Dübendorf, 2014.
- [15] Bachema AG Analytische Laboratorien, „RSS Flüssigboden,“ Griso Prüflabor AG Untervaz, Schlieren, 2020.
- [16] VIATEC Institut für Bautechnologie, „Schadstoffuntersuchung VVEA, Flüssigboden

- Benkenstrasse Binningen,“ Gemeinde Binningen, Abt. Verkehr, Tiefbau u. Umwelt, Basel, 2021.
- [17] M&S Umweltprojekt GmbH, „Untersuchung eines aus RSS-Flüssigboden® gewonnenen Prüfkörpers nach Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung, Wirkungspfad Boden-Grundwasser,“ LOGIC Logistic Engineering GmbH, Leipzig, 2010.
- [18] Amt für Umweltschutz des Kantons Schwyz, „Überbauung Kreuzplatz, Lachen - Stellungnahme zum ergänzten Schlussbericht Grundwasserüberwachung,“ AfU SZ, Schwyz, 2013.
- [19] R. Philipp und C. Gruber, „Flüssigboden - Abfall- und altlastenrechtliche Beurteilung im Auftrag der KIBAG Bauleistungen AG, Infra,“ Magma AG, Winterthur, 2015.
- [20] KIBAG, „Überbauung Kreuzplatz, Lachen - Ergänzter Schlussbericht Grundwasserüberwachung,“ KIBAG Bauleistungen AG - Infra, Zürich, 2013.
- [21] R. Bunge und M. Behl, „Bindemittel zur Bodenstabilisierung,“ Hochschule für Technik Rapperswil HSR, Rapperswil, 2014.
- [22] Bachema AG Analytische Laboratorien, „Untersuchungsbericht Ragazer Flüssigboden RFB,“ KSB Produktions AG Maienfeld, Schlieren, 2019.
- [23] F. Gosta, „VVEA-Eluat 1 CO<sub>2</sub> und VVEA-Eluat 2 H<sub>2</sub>O für Flüssigboden der Firma EcoSoil AG in Forch,“ IMP Bautest AG, Oberbuchsiten, 2021.
- [24] AWEL Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft, „Bauvorhaben in Grundwasserleitern und Grundwasserschutz-zonen,“ Baudirektion Kanton Zürich, Zürich, 2019.
- [25] Bundesamt für Umwelt BAFU, „Modul: Verwertung von Aushub- und Ausbruchmaterial,“ Schweizerische Eidgenossenschaft, Bern, 2021.
- [26] Schweizerische Bundesrat, „Verordnung vom 4. Dezember 2015 über die Vermeidung und die Entsorgung von Abfällen (Abfallverordnung VVEA),“ Schweizerische Eidgenossenschaft, Bern, 2015 (Stand 1. Januar 2021).
- [27] K. Hitzfeld, „E-Mail von Kai Hitzfeld, Gruner AG, in Sachen Flüssigboden und Stellungnahme BAFU,“ Gruner AG, Basel, 2021.

## **Begriffe und Abkürzungen**

AfU	Amt für Umwelt (und Energie)
CEM	Zement, engl. Cement
DOC	Engl. für dissolved organic carbon = gelöster organischer Kohlenstoff
E.V.	Eingetragener Verein (Rechtsform)
ERZ	Entsorgung und Recycling Zürich
FBC	Flüssigboden-Compound
FGSV	Forschungsgesellschaft Strassen- und Verkehrswesen
FiFB	Forschungsinstitut für Flüssigboden GmbH Deutschland
GZ	Gütezeichen
$k_f$	Wasserdurchlässigkeit in m/s
ME-Wert	Bodenmechanischer Wert zur Bestimmung der Tragfähigkeit in MN/m <sup>2</sup>
PAK	Polyaromatische Kohlenwasserstoffe
RAL	Deutsches Institut für Gütesicherung und Kennzeichnung
TBA	Tiefbauamt
VBBö	Verordnung über die Belastung des Bodens
VVEA	Verordnung über die Vermeidung und Entsorgung von Abfällen
ZFSV	Zeitweise fliessfähige selbstverdichtende Verfüllbaustoffe

## Tabellen

Tabelle 3-1: Verwendete Flüssigboden Durchschnitts-Rezepturen aus [7], [8] und [9]. Mengen sind in Kilogramm für einen Kubikmeter (1 m<sup>3</sup>) Flüssigboden angegeben. ....16