

Beiträge zum

3. Internationalen Freiberger Fachkolloquium

Baustoffe und Versatz

05. - 06. Oktober 2017



Mischo - Krichler - Meyer


Symposium **FreiBERGbau**
Rohstoffabbau und Spezialverfahren unter Tage



TECHNISCHE UNIVERSITÄT
BERGAKADEMIE FREIBERG

The University of Resources. Since 1765.

Das Flüssigbodenverfahren und die Anforderungen nach RAL GZ 507 – Ein Instrument zur Nutzung variabel in den erforderlichen Eigenschaften einstellbarer Versatzmaterialien für den Bergbau

OLAF STOLZENBURG

FIFB Forschungsinstitut für Flüssigboden GmbH

o.stolzenburg@fi-fb.de



Abstract

Das Flüssigbodenverfahren als Instrument und Hilfsmittel zur Herstellung eines Versatzmaterials, der mittels dieses Verfahrens ideal und sehr variabel an die Erfordernisse des jeweiligen Einsatzfalles angepasst werden und der aus allen anfallenden Aushub- bis Abraummassen flexibel vor Ort hergestellt und an alle technologisch relevanten Bedingungen wie z. B. Pumpen, variable Rückverfestigungsgeschwindigkeit, Einbau am Hang ohne wegzulaufen usw. durch Variation seiner rheologischen Eigenschaften angepasst und so auf die Erfordernisse der Baustelle eingestellt werden kann.

Ergänzt wird dieser Vortrag durch die Vorstellung von Beispielen von Verfüllungen mit Flüssigboden nach RAL GZ 507 in verschiedenen Einbausituationen, von historischen Kellern und Tunneln bis hin zu Bahnstollen, Unterführungen und Hinterfüllungen.

Verfahrensbeschreibung

Das Flüssigbodenverfahren ist ein Verfahren, das auf allen anfallenden Aushub- bis Abraummassen flexibel vor Ort angewendet werden kann, um aus diesen Massen Verfüllmaterial herzustellen, das in seinen bodenmechanischen Eigenschaften wie z. B. Druckfestigkeiten, Kohäsion, Scherfestigkeit usw., speziellen Gebrauchseigenschaften wie z. B. Wasserdurchlässigkeit, Wärmeleitfähigkeit, Schwingungsabsorption, Reibkraftausbildung usw. und auch technologisch relevanten Eigenschaften wie z. B. Rückverfestigungsgeschwindigkeit, Pumpbarkeit, Viskosität und andere rheologische Eigenschaften gezielt an die Anforderungen der jeweiligen Baustelle angepasst wird.

Dabei erfolgt eine mechanische Aufbereitung des Ausgangsmaterials und die Herstellung einer temporär ungesättigten Suspension nach den Vorgaben des RSS Flüssigbodenverfahrens. Dieses zeitweise fließfähige Material besteht aus dem Ausgangsmaterial (ca. 95 – 97 %), einem hydraulischen Bindemittel, das jedoch infolge seines zeitlichen Reaktionsverhaltens bei der Rückverfestigung des zeitweise fließfähigen Materials nur für die gezielte Veränderung der Fließfähigkeit in Plastizität zu einem einstellbaren Zeitpunkt sorgt und einem Stabilisator auf der Grundlage von Schichtmineralien, die die Masse des benötigten Zugabewassers stabil und dauerhaft anlagern und dabei eine steuerbare Kohäsion ausbilden. Bei die-

sem Herstellprozess spielen neben dem mechanischen Mischvorgang vor allen reaktionskinetische Prozesse eine Rolle, die stark abhängig vom Ausgangsmaterial sind und mittels der für die Flüssigbodenherstellung entwickelten Herstelltechnik sichergestellt werden (Abbildung 1).



Abbildung 1 Herstellung des Flüssigbodens nach RAL-GZ 507

Flüssigboden als Verfüllmaterial für Hohlräume

Mittels der über die Rezeptur einstellbaren technologischen Eigenschaften des hergestellten Flüssigbodens kann der Flüssigboden entsprechend der technologischen Erfordernisse des Einbauprozesses in den relevanten Eigenschaften gezielt eingestellt werden. So ist es möglich ihn sowohl horizontal als auch vertikal über hunderte von Metern zu pumpen, ihn im und unter Wasser suffosionstabil und abrasionsfest einzubauen, an Hängen einzusetzen, ohne dass der Flüssigboden den Hang wieder zurück läuft, seine Rückverfestigungsgeschwindigkeit an den Einbauprozess und seine Erfordernisse in bestimmten Grenzen anzupassen und vieles mehr (Abbildungen 2 und 3).

Ausgangsstoffe für die Herstellung von Flüssigboden als Versatzmaterial

Für die Herstellung von Flüssigboden nach RAL GZ 507 können alle anfallenden Gesteine und Abraummassen, aber auch alle typischen Bodenarten, Recyclingmaterialien und viele Reststoffe, selbst kontaminierte Ausgangsmaterialien verwendet werden. Beispielsweise konnten bei Tunnelbauarbeiten



Abbildung 3 RSS Flüssigboden bei der hohlraumfreien Verfüllung historischer Keller und bei Vortriebsbohrungen (FiFB)



Abbildung 2 RSS Flüssigboden bei Tunnelbauanwendungen (FiFB)

im luxemburgischen Esch Belval anfallende Abfallstoffe der Hüttenindustrie, die einer Deponieklasse 3 entsprachen, in Form von RSS Flüssigboden als lastverteilende Schicht unter der Autobahn eingesetzt werden, die nach Wirkungspfad Boden – Grundwasser geprüft, ein Eluat der Zuordnungsklasse Z0 aufwies.

So kann RSS Flüssigboden sowohl aus reinen Tonen, lehmigen Böden, Böden mit huminen Inhaltsstoffen, Schlämmen, Sanden, Kiesen, gebrochenen Materialien, Abraum und RC Materialien aller Art, Schlacken, anfallenden Reststoffen verschiedenster industrieller Prozesse und allen Arten von Abraum hergestellt werden. Dabei können die physikalischen und bodenmechanischen, aber auch technologisch relevante Eigenschaften des so hergestellten RSS Flüssigbodens in bestimmten Grenzen variabel an die Erfordernisse des jeweiligen Projektes angepasst und auch während des Einbaus an sich verändernde Baustellenverhältnisse flexibel angepasst werden. Die nachfolgenden Bilder sollen einen kleinen Eindruck der Vielfalt der für die Flüssigbodenherstellung auf der Grundlage des RSS Flüssigbodenverfahrens nutzbaren Ausgangsmaterialien vermitteln (Abbildungen 4 und 5).



Abbildung 4 Lehmige Aushubmassen bis hin zu reinem Blauton und humin belasteten Böden (IB LOGIC)

Allgemeine Anforderungen an ein Versatzmaterial

Die Anforderungen an ein Versatzmaterial leiten sich einerseits aus den Anforderungen des Gesetzgebers an eine umweltgerechte Arbeitsweise ab, andererseits aus den gewünschten Gebrauchseigenschaften, die aus der Nutzung im eingebauten Zustand erwachsen und in einer dritten Gruppe von Eigenschaften aus den technologischen und logistischen Anforderungen an den Prozess der Herstellung, des Transportes und vor allem des Einbaus des Versatzmaterials (Abbildung 6).

Ohne Anspruch auf Vollständigkeit lässt sich aus der Sicht der Möglichkeiten des Flüssigbodenverfahrens eine entsprechende Systematisierung der Anforderungen herleiten, die bei der Planung von Versatzmaßnahmen und der optimalen Abstimmungen der benötigten Materialeigenschaften auf die konkrete Aufgabe bei der Verfüllung gezielt genutzt werden kann.

Im Sinne dieser Vorgehensweise sollen die allgemeinen Anforderungen an ein Versatzmaterial nach umweltrechtlichen Aspekten und nach Gebrauchseigenschaften unterschieden werden.

Die umweltrechtlichen Anforderungen sind durch den Gesetzgeber klar vorgegeben: Diese Anforderungen stehen unter der Überschrift, dass alle schädigenden Einflüsse auf die Umwelt durch den Einbau eines Versatzmaterials sicher und nachprüfbar vermieden werden müssen. Umweltschäden sind mit



Abbildung 5 Kontaminierte Böden in Luxemburg (DK 3), Esch Belval- Tunnelbau (IB LOGIC)

allen Mitteln zu vermeiden. Daher gelten die drei nachfolgenden Anforderungen für ein Versatzmaterial aus umweltrechtlicher Sicht grundlegend.

1. Das Versatzmaterial muss umweltunbedenklich sein und darf daher an Boden und Grundwasser keine umweltschädigenden Immissionen abge-

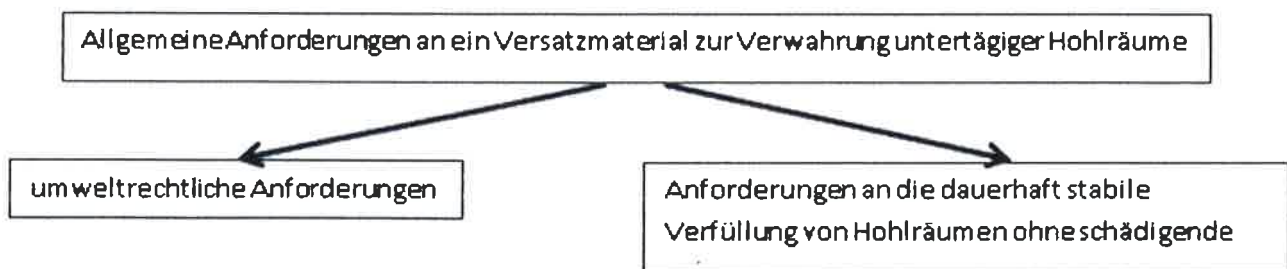


Abbildung 6 Anforderungen an ein Versatzmaterial

ben.

2. Mögliche Kontaminationen des Ausgangsmaterials müssen daher bei einer materialeitigen Lösung in der Materialmatrix fest und ohne gefährliche Elutionen eingebunden oder auch chemisch gebunden und so für die Umwelt ungefährlich sein.
3. Kann das Material selbst diese Forderungen nicht erfüllen, kann es nur in einem eingeschränkten Umfang in einer dauerhaft wasserdichten Umgebung als Versatzmaterial genutzt werden.

Die physikalisch bedingten Anforderungen an eine dauerhaft stabile Verfüllung: Eine primäre Forderung an das einzusetzende Versatzmaterial besteht in der Ausbildung eines Festkörpers in dem zu verfüllenden Hohlraum und ist bei aus Kostengründen erfolgenden Teilverwahrungen auch aus den projektspezifischen Situationen (z. B. Statik) herzuleiten. Dabei muss das Versatzmaterial eine sichere Lagestabilität auch bei Grund- und Grubenwasserfließbewegungen gewährleisten.

1. Flüssigboden als Versatzmaterial muss in seiner Wasserdurchlässigkeit an die Anforderungen der hydrogeologischen Situation anpassbar, also in gewissen Grenzen variabel sein, um keine langfristigen Schäden im Untergrund verursachen zu können.
2. Bei Einfluss von Grund- und Grubenwasser darf der Flüssigboden als Versatzmaterial keine Sufusion aufweisen und muss gegen Abrasion stabil sein, ohne einen Fremdkörper zu bilden, der die hydrogeologische Situation im Untergrund nachteilig beeinflusst.
3. In diesem Zusammenhang sollte das Versatzmaterial keine Schwindungen und damit keine Bildung unbekannter Wasserwegungen durch Risse und Spalte aufweisen, da dies zu einer nachteiligen Beeinflussung der Situation im Untergrund führen kann.
4. Volumenstabilität und damit Schwindungsfreiheit muss aber auch deshalb als wichtige Eigenschaft von einem Versatzmaterial gefordert werden, um keine Folgesetzungen und damit Bewegungen im Untergrund als Ergebnis der Schwindungen des Materials und als neue Schadensursache hinnehmen zu müssen.
5. Die Volumenstabilität gilt aber auch für den Ausschluss von Quellvorgängen z. B. bei der Gefahr von Ettringitreiben, auch Sulfatreiben genannt, das ein Versatzbaustoff nicht aufweisen sollte, um so nicht Quellschäden verursachen zu können.
6. Die Langzeitstabilität des Versatzmaterials muss gegeben sein. Es darf keine langfristig wirkenden Prozesse geben, die zu Reaktionen führen, die die relevanten physikalischen Eigenschaften des Versatzmaterials nachhaltig verändern wie z. B.

Langzeitschwindungen mit Folgen für die Bildung neuer Hohlräume und Wasserwegungen.

7. Bei Versatzmaßnahmen unter Einfluss dynamischer Lasten, die z. B. durch Zugüberfahrten oder in Tunneln durch deren Nutzung verkehrsbedingt entstehen können, sollten die eingesetzten Versatzmaterialien an den Umgebungsboden angepasste Eigenschaften besitzen z. B. Dichte und Elastizitätsverhalten, um nicht zu einem natürlichen Schwingersystem zu werden und zur Ausbildung neuer Hohlräume und damit zu neuen Gefahren zu führen.
8. Bei Einflüssen aus dynamischen Lasteinwirkungen darf auch kein Versatzmaterial eingesetzt werden, das Probleme mit Strukturfestigkeiten aufweist, weil es beispielsweise einen zu großen Porengehalt besitzt.
9. Im Falle dynamischer Lasteinwirkungen sollte ein Versatzmaterial nach Möglichkeit schwingungsdämpfend bzw. absorbierend sein, um Schwingungen nur in geringem Maße weiterzuleiten und keine Resonanzfälle zu verursachen.
10. Bei Verwendung von Ausgangsstoffen, die Kontaminationen enthalten, sollte das Versatzmaterial diese Kontaminationen dauerhaft und fest binden, um so bei Wasserzutritt, schädliche Elutionen sicher zu vermeiden. Dies ermöglicht den Einsatz eines solchen Versatzmaterials dann auch für die Verfüllung von Hohlräumen in einer nicht wasserdichten Umgebung und unter Wassereinfluss.

Projektspezifische, technologisch relevante Anforderungen an einen Versatzbaustoff

Da die Einbaubedingungen für einen Versatzbaustoff sehr unterschiedlich sein können, er beispielsweise horizontal oder vertikal ausgebildete Hohlräume verfüllen können muss oder ein Einbau in trockener Umgebung aber auch unter Wasser erforderlich sein kann, sollte ein Versatzbaustoff den Einbau in der jeweiligen Situation durch seine technologisch relevanten Eigenschaften unterstützen. Diese Eigenschaften sollten daher für ein gut geeignetes und wirtschaftlich einbaubares Versatzmaterial an die örtlichen Bedingungen flexibel angepasst werden können. Damit ist auch eine Möglichkeit gegeben, um das Versatzmaterial wirtschaftlich zu seinem Einbauort zu transportieren und hohlraumfrei zu verfüllen. Zu solchen technologisch relevanten Eigenschaften gehören beispielsweise die folgenden.

1. Das Verfahren und die Technik zur Herstellung des Versatzmaterials sollten die Fähigkeit des Ausgleichs von Schwankungen der Eigenschaften des Ausgangsmaterials besitzen, um die Einbaueigenschaften bei Bedarf konstant zu halten oder an veränderliche Einbaubedingungen anzupassen.

2. Die Viskosität eines Versatzbaustoffes sollte veränderlich sein, um gezielt unterschiedliche Reibungswinkel bei dem eingebauten Materialkörper zu erzeugen. So kann beispielsweise auch in aufsteigenden Bereichen vom Tiefpunkt aus gepumpt und sicher und hohlraumfrei verfüllt werden.
3. Seine Pumpbarkeit muss gewährleistet sein, wobei dies mit unterschiedlichen Viskositäten möglich sein muss, um die verschiedenen Einbausituationen sicher meistern zu können. Ein beispielsweise unter Wasser eingebautes Material benötigt eine höhere Viskosität, als ein Material, das in einen trockenen Hohlraum gepumpt werden soll.
4. Der Flüssigboden als Versatzmaterial muss entmischungstabil sein, bei Einbau im Grundwasser bzw. bei vorhandenen Wasserströmungen im Untergrund suffusionsstabil und abrasionsfest einstellbar sein.
5. Die Rückverfestigungsgeschwindigkeit des Flüssigbodens als Versatzmaterial muss variabel (in bestimmten Grenzen) einstellbar sein, um so der jeweiligen Aufgabe angepasst werden zu können.
6. Die rheologischen Eigenschaften müssen gezielt veränderbar sein, um sie für die Lösung von

technologischen Aufgaben gezielt nutzen zu können wie z. B. ein temporär thixotropes Verhalten, das den hohlraumfreien Rückbau von Schalelementen zu einem definierten, steuer- und messbaren Zeitpunkt gestattet.

Die Möglichkeiten des Flüssigbodenverfahrens zur Steuerung von Eigenschaften

Das Flüssigbodenverfahren kann einerseits mit den verschiedensten Ausgangsmaterialien arbeiten (s. Punkt 3), andererseits aber auch gezielt die unter den Punkten 4 und 5 beschriebenen Eigenschaften variabel an die Anforderungen des jeweiligen Projektes anpassen. Der Gütesicherungsprozess nach den Anforderungen des RAL Gütezeichens 507 stellt die Vorgehensweise zur gezielten Nutzung einer solchen Möglichkeit, Eigenschaften variabel an die Aufgabe für das Versatzmaterial anpassen zu können, zur Verfügung. Diese Eigenschaften werden im Rahmen der Gütesicherung nach RAL GZ 507 in 3 Gruppen unterschieden.

Die Vorgabe der gewünschten Eigenschaften ist dabei eine Aufgabe der Planung, die über den Umweg eines Fachplaners für Flüssigbodenanwendungen mit der Erarbeitung einer Rezeptur und der Nachweis-



Abbildung 7 Eigenschaften (oben) und Darstellung des Prozesses (unten) der Gütesicherung nach RAL GZ 507

führung der gewünschten Eigenschaften verbunden ist. Sobald diese Nachweisführung erfolgt ist, stehen die Kriterien der Gütesicherung für den Einbau fest, die Haftungsfrage ist klar geregelt und ein Gütesicherungsplan schafft die Möglichkeit, die korrekte Anwendung absichern zu können. Der Prozess der Gütesicherung nach RAL GZ 507 von der Planung bis zum Einbau und der dazugehörigen Nachweisführung stellt sich in Abbildung 6 unten dar.

Über diesen Prozess sind die Verantwortlichkeiten klar geregelt, Schnittstellen definiert und die Sicherheit für eine erfolgreiche und schadensfreie Umsetzung der Herstellung von Flüssigboden als Versatzmaterial gegeben. Die detaillierten Vorgaben an diesen Prozess sind in den RAL Güte- und Prüfbestimmungen des Gütezeichens 507 (Flüssigboden) zu finden. Die aktuelle Version der Güte- und Prüfbestimmungen wird derzeit gerade überarbeitet, so dass 2018 eine neue Version zu erwarten ist.

Zusammenfassung - Flüssigboden als variables Hilfsmittel für die Lösung von Problemen im Bergbau und offen für neue Herausforderungen

Das RSS Flüssigbodenverfahren, das den Anforderungen der Gütesicherung nach RAL Gütezeichen 507 entspricht, ist ein wirksames Hilfsmittel zur Herstellung von Versatzmaterialien, die in ihren Eigenschaften variabel und gezielt an die Erfordernisse des jeweiligen Einsatzfalles angepasst werden können. Erstmals können dabei nicht nur die umweltrechtlichen Forderungen des Gesetzgebers erfüllt und die aus der Anwendung ableitbaren physikalischen Eigenschaften solch eines Materials ideal an die jeweiligen Einsatzbedingungen angepasst werden. Somit können jetzt auch technologisch relevante Eigenschaften eines so hergestellten Versatzbaustoffes gezielt an die Einbaubedingungen des Projektes angepasst werden. Diese variabel einstellbaren Gebrauchseigenschaften und technologisch relevanten Eigenschaften sind die Grundlage für viele neue technologische und technische Möglichkeiten mit hohem Einfluss auf eine verbesserte Wirtschaftlichkeit.

Da das Verfahren auch die sichere und dauerhafte Immobilisierung kontaminierter Ausgangsmaterialien ermöglicht, können aus solchen Materialien hergestellte Versatzmaterialien sicher zum Versatz unterirdischer Hohlräume eingesetzt werden, selbst wenn die Umgebungsböden derartiger Einbausituationen keine wasserdichten Schichten sein sollten und auch Grundwasser in diesen Schichten ansteht.

Variabel einstellbare Eigenschaften von Flüssigboden als Versatzmaterial führen zu einer Aufwertung der planerischen Tätigkeiten. Denn jetzt ist es der Planer, der nicht nur die Eigenschaften im Sinne der späte-

ren Gebrauchseigenschaften vorgibt, sondern die Wirtschaftlichkeit des Einbauprozesses signifikant beeinflussen kann, indem er die technologisch relevanten Eigenschaften des Flüssigbodens aus den spezifischen Einbaubedingungen des jeweiligen Anwendungsfalles herleitet und vorgibt. Dabei kann er mit der Unterstützung eines Fachplaners für Flüssigbodenanwendungen arbeiten, einer neuen Fachrichtung, die sich mit der Entwicklung immer neuer Anwendungen für Flüssigboden herauszubilden begonnen hat.

Zahlreiche Anwendungsfälle im In- und Ausland werden in dem, zu diesem Artikel gehörenden Vortrag vorgestellt, die die Variabilität der Eigenschaften von Flüssigboden als Versatzbaustoff auch praktisch nacherlebbar machen.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass Flüssigboden nach RAL GZ 507 als Versatzmaterial den Planern und Anwendern von Versatzmaterialien ein neues und sehr umfassendes Instrumentarium in die Hand gibt, mit dessen Hilfe sowohl die Nachhaltigkeit und Qualität der Erfüllung der technischen Aufgabe verbessert und die Anforderungen der jeweiligen Einbausituation in einer optimalen Form erfüllt werden, als auch eine Wirtschaftlichkeit bei Beherrschung des Verfahrens sicher gestellt werden kann, die gezielt zur signifikanten Kostenreduzierung eingesetzt werden kann.

Beiträge zum

3. Internationalen

Freiberger Fachkolloquium

Baustoffe und Versatz - 05. - 06. Oktober 2017

Nachdem sich die letzten Kolloquien mit den Themen Bewetterung, Gase, Stäube und Schachtbau beschäftigten, widmet sich das diesjährige Symposium FreiBERGbau den Themenkomplexen Versatz und Einsatzmöglichkeiten moderner Baustoffe im untertägigen Bergbau.

The logo for Dräger, featuring the word "Dräger" in a bold, blue, sans-serif font on a white background.

Dräger ist ein international führendes Unternehmen der Medizin- und Sicherheitstechnik. Das 1889 in Lübeck gegründete Familienunternehmen besteht in fünfter Generation und hat sich zu einem globalen börsenorientierten Konzern entwickelt. "Technik für das Leben" ist die Leitidee des Unternehmens. Ob im Operationsbereich, auf der Intensivstation, bei der Feuerwehr oder im Rettungsdienst: Dräger-Produkte schützen, unterstützen und retten Leben.

Gegründet 1881 und heute in fünfter Generation inhaberführend, gehört die Fried. ISCHEBECK GmbH national und international zu den führenden Herstellern auf dem Gebiet der Geotechnik sowie den Bereichen Schalungs- und Verbausysteme. Sie beschäftigt am Stammsitz im westfälischen Ennepetal etwa 180 Mitarbeiter und weitere 250 in den 18 ausländischen Vertriebsgesellschaften weltweit. Entwickelt und produziert wird in Deutschland nach deutschen und internationalen Stadndards.

The logo for ISCHEBECK TITAN, featuring the word "ISCHEBECK" in black and "TITAN" in red, both in a bold, sans-serif font, with a registered trademark symbol (®) to the right of "ISCHEBECK".The logo for Putzmeister, featuring a stylized "PM" in black and yellow above the word "Putzmeister" in a bold, black, sans-serif font.

Solid Pumps supplies pumping systems which are used in the mining industry for pumping high density slurries, tailings and paste. The pumping system consists of a mixer, agitating trough, piston pump, a hydraulic power pack to drive the pump and an electric cabinet with PLC and pipelines. Our piston pumos are able to operate with a solid content of up to 85% and a discharge pressure of 150 bar reaching pumping distances off 11 km and a pumping flow of 400 m³/h.

