



Technisches Merkblatt

Füllbinder® L-hs

Spezialbindemittel für Brunnen-, Grund- und Tiefbau, Geothermie

Werk Mergelstetten

Zusammensetzung:

Füllbinder® L-hs ist ein Spezialbindemittel, das aus hydraulischen Bindemitteln sowie ausgewähltem Gesteinsmehl zusammengesetzt ist.

Anwendung:

Füllbinder® L-hs ist geeignet für die Verfüllung von Hohlräumen jeglicher Art, wie Tanks, Rohrleitungen, Ringräumen, Stollen, Kanälen, Schächten u.a., für die Hinterfüllung von Stützmauern oder für die Abdichtung von Brunnen und Deponien etc. Füllbinder® L-hs kann weiterhin für die Einbettung von Erdwärmesonden im Bereich der Geothermie verwendet werden.

Eigenschaften:

Füllbinder® L-hs wird in der Regel gemäß den Anforderungen an die Druckfestigkeit und Fließfähigkeit als Suspension mit einem Wasser/Füllbinder®-Wert von 0,6 bis 1,0 verarbeitet. Dabei entstehen stabile Mischungen, die sehr gut pump- und fließfähig sind.

Füllbinder® L-hs hat eine sehr geringe Wasserdurchlässigkeit und zeigt eine Beständigkeit gegenüber Frost-Tauwechsel-Beanspruchungen.

Füllbinder® L-hs weist einen hohen Sulfatwiderstand auf.

Füllbinder® L-hs ist chromatarm.

Füllbinder® L-hs erfüllt die hygienischen Anforderungen an zementgebundene Werkstoffe im Trinkwasserbereich gemäß DVGW Arbeitsblatt W 347. Daher kann das Produkt aus grundwasserhygienischer Sicht im Trinkwasserbereich und entsprechenden Schutzzonen eingesetzt werden.

Verarbeitung:

Füllbinder® L-hs kann in branchenüblichen Mischern unter Zugabe von Wasser zu einer pumpfähigen Suspension angemischt werden. Das Mischen im Transportbetonwerk oder mit der Silomischpumpe »quadro-mat« oder einem Spezialmischer mit direkter Beschickung vom Silofahrzeug ist möglich. In sog. Kolloidalmischern wird Füllbinder® L-hs optimal aufgeschlossen. Eine ausreichende Mischzeit und Mischintensität ist einzuhalten. Es ist darauf zu achten, dass die Suspension knollenfrei und homogen angemischt und eingebaut wird.

Füllbinder® L-hs soll unmittelbar nach dem Anmischen, spätestens jedoch innerhalb 1 Stunde bei einer Temperatur der Suspension von 20 °C verarbeitet werden. Die Verarbeitungszeit wird durch die Temperaturbedingungen, die verwendete Mischtechnik und die Mischzeit beeinflusst und muss gegebenenfalls angepasst werden.

Das Einbringen von Füllbinder®-Suspensionen unter Wasser ist mittels Kontraktorverfahren möglich, da die Füllbinder®-Suspension hydraulisch, d.h. auch unter Wasser erhärtet. Hierbei ist ein niedriger Wasser/Füllbinder®-Wert zu wählen. Um Vermischungen mit anstehendem Wasser zu vermeiden, ist auf eine niedrige Fließgeschwindigkeit der Suspension zu achten.

Dem Füllbinder® können je nach Anwendung Zusatzmittel zugegeben werden. Bei Verwendung von Zusatzmitteln ist eine zusätzliche Eignungsprüfung durchzuführen.

Technisches Merkblatt

Füllbinder® L-hs

Spezialbindemittel für Brunnen-, Grund- und Tiefbau, Geothermie

Werk Mergelstetten

Qualitätsüberwachung:

Füllbinder® L-hs unterliegt bei der Herstellung einer strengen Qualitätskontrolle und Eigenüberwachung in unserem Werklaboratorium.

Lieferwerke:

Allmendingen (Sackware), Mergelstetten

Lieferung:

In Säcken mit 25 kg Inhalt, lose Ware im Silozug oder im Baustellensilo mit Silomischpumpe »quadro-mat«.

Lagerung:

Füllbinder® L-hs ist trocken zu lagern und vor Feuchtigkeit zu schützen.

Lagerfähigkeit:

Füllbinder® L-hs ist bei sachgerechter trockener Lagerung als Sackware für mindestens 6 Monate ab Herstellungsdatum, lose Ware für mindestens 2 Monate ab Lieferdatum lagerfähig.

Technische Daten:

Schüttdichte: ~1,0 t/m³

Die Kennwerte für Füllbinder® L-hs wurden mit einem hochoffizierten Mischer unter Laborbedingungen bei 20 °C ermittelt. Die angegebenen Füllbinder®- und Wassermengen sowie Ergiebigkeiten wurden rechnerisch ermittelt.

Wasser/Füllbinder®-Wert		0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
Menge Füllbinder® L-hs	t/m³	1,03	0,93	0,85	0,79	0,73
Menge Wasser	l/m³	620	650	680	710	730
Ergiebigkeit	l/t	970	1.070	1.170	1.270	1.370
Suspensionsdichte	kg/l	1,65	1,59	1,54	1,50	1,46
Auslaufzeit ¹⁾²⁾ (Marsh-Trichter)	s/l	-	> 70	> 50	> 40	> 30
Absetzmaß ¹⁾³⁾	Vol. %	0,5	1,0	1,5	2,0	3,0
Druckfestigkeit ⁴⁾ (Prismen 40 x 40 x 160 mm)						
1 d	N/mm²	0,1	-	-	-	-
2 d	N/mm²	0,3	0,2	0,1	0,1	-
7 d	N/mm²	1,1	0,7	0,5	0,4	0,4
28 d	N/mm²	5,0	3,4	2,5	1,6	1,2

¹⁾ Anhaltswert, abhängig von Mischzeit, Mischerart, Temperatur u.a.

²⁾ Auslaufdurchmesser 4,76 mm

³⁾ Standzylinder (1000 ml), Absetzmaß gleich prozentuale Höhe des freien Wassers über der sedimentierten Suspension nach 24 Stunden.

⁴⁾ Probekörperlagerung bei 20 °C in abgedeckten Styroporformen.

Technisches Merkblatt

Füllbinder® L-hs

Spezialbindemittel für Brunnen-, Grund- und Tiefbau, Geothermie

Werk Mergelstetten

Bereich Geothermie:

Wasser/Füllbinder®-Wert	0,7	
	Lose Ware	Sackware
Menge Füllbinder® L-hs	1000 kg	25 kg
Menge Wasser	700 l	~17,5 l
Ergiebigkeit	1.070 l	~26,8 l
Suspensionsdichte	1,59 kg/l	
Auslaufzeit ¹⁾²⁾ (Marsh-Trichter)	> 70 s	
Absetzmaß ¹⁾³⁾	1,0 Vol. %	
Druckfestigkeit ⁴⁾ (Prismen 40 x 40 x 160 mm)		
1 d	-	
2 d	0,2	
7 d	0,7	
28 d	3,4	
Wärmeleitfähigkeit	~1,0 W/(mK)	
Wasserdurchlässigkeit	< 5·10 ⁻¹⁰ m/s	
Sulfatwiderstand	ja	
Frostwiderstand	ja	
Einsatz im Trinkwasserbereich gemäß DVGW W 347	ja	

¹⁾ Anhaltswert, abhängig von Mischzeit, Mischerart, Temperatur u.a.

²⁾ Auslaufdurchmesser 4,76 mm

³⁾ Standzylinder (1000 ml), Absetzmaß gleich prozentuale Höhe des freien Wassers über der sedimentierten Suspension nach 24 Stunden.

⁴⁾ Probekörperlagerung bei 20 °C in abgedeckten Styroporformen.

Hinweis:

Alle angegebenen Werte in diesem technischen Merkblatt sind durch Versuche unter Laborbedingungen mit den üblichen messtechnischen Toleranzen ermittelt. Sie geben einen Anhaltswert für die grundsätzliche Eignung und sind durch den Verarbeiter auf ihre Aussagekraft für die konkreten Baustellen- und Einsatzbedingungen zu prüfen.

Prüfzeugnisse:

Auf Anfrage

Technische Beratung:

Ulm Telefon: +49 731 9341-120 · Telefax: +49 731 9341-396
Bernburg Telefon: +49 3471 358-500 · Telefax: +49 3471 358-516
Karlstadt Telefon: +49 9353 797-451 · Telefax: +49 9353 797-499
E-Mail info.vertrieb@schwenk.de

Stand: Juni 2017

SCHWENK Spezialbaustoffe GmbH & Co. KG
Hindenburgring 15 · 89077 Ulm
Telefon: +49 731 9341-0 · Telefax: +49 731 9341-396
E-Mail: info@schwenk.de · www.schwenk.de

Die Angaben in dieser Druckschrift beruhen auf derzeitigen Kenntnissen und Erfahrungen. Sie geben einen Anhaltswert für die grundsätzliche Eignung und sind durch Prüfungen und Versuche vom Verarbeiter auf den konkreten Anwendungsfall abzustimmen. Dafür sind die entsprechend gültigen Gesetze, Normen und Richtlinien sowie die allgemein anerkannten Regeln der Bautechnik zu beachten. Mit der Herausgabe dieses technischen Merkblatts verlieren frühere technische Merkblätter ihre Gültigkeit. Änderungen im Rahmenprodukt- und anwendungstechnischer Weiterentwicklungen bleiben vorbehalten. Es gelten für alle Geschäftsbeziehungen unsere Verkaufs- und Lieferbedingungen in der jeweils aktuellen Version.



Untersuchungsbericht

Projekt-Nr. 7101030076

Produktfamilie Spezialbaustoffe

Einlagerungsversuche zur Sulfatbeständigkeit

**Füllbinder L -hs
-Werk Mergelstetten-**

Karlstadt, den 21.03.2011

i.V. Dipl.-Ing. Th. Neumann
- Leiter Forschung + Entwicklung -

i.A. Dipl.-Ing. S. Rasch
- Projektleiter F + E -

Inhaltsverzeichnis

1. Ausgangssituation und Prüfumfang	3
2. Versuchsbeschreibung und Prüfmatrix	4
2.1. Festigkeiten	4
2.2. Langzeit-Sulfatlagerung mit 3.000 mg/l SO ₄ ⁻²	4
2.3. Sulfatlagerung - SVA-Verfahren	5
3. Ergebnisse	5
3.1. Festigkeiten	5
3.2. Langzeit-Sulfatlagerung	6
3.3. SVA-Verfahren	12
4. Zusammenfassung und Bewertung	13



1 Ausgangssituation und Prüfumfang

Der Einsatz von Füllbindern erstreckt sich im Allgemeinen über die verschiedensten Bereiche des Tiefbaus. So werden diverse Füllbinder, wie der hydraulische Spezialmörtel SCHWENK Füllbinder L -hs, u. a. für Hohlraumverfüllungen und Abdichtungen jeglicher Art (z. B. im Brunnen und Rohrleitungsbau), Injektionen, Fundamentunterfangungen mittels Düsenstrahlverfahren, Verfestigung von Böden und Lockergesteinen sowie für Geothermianwendungen eingesetzt. In diesem breiten Einsatzfeld ist der Kontakt des Füllbindermaterials mit sulfathaltigen Wässern und Böden vielfach unvermeidbar. Vor diesem Hintergrund stellt sich die Frage nach der Sulfatbeständigkeit der Füllbinder im Boden bzw. im Grundwasser bei Sulfatangriff.

Im ersten Schritt wurde eine praxisnahe Lagerung bei einer SO_4^{2-} -Konzentration von 3.000 mg/l und konstanter Lagerungstemperatur von $+10^\circ\text{C}$ gewählt. Es wurden dabei Wasser-Feststoff-Werte von $w/f=0,5$ und $w/f=1,0$ eingestellt, da diese Zusammensetzung den Einsatz des Füllbinders L -hs als Bindemittelsuspension in der Praxis widerspiegelt. Die praxisnahe Langzeitlagerung erfolgte über einen Zeitraum von 2 Jahren (730 Tage). Durch die geringe Umgebungstemperatur von $+10^\circ\text{C}$ und der langen Lagerungszeit wurde bewusst eine mögliche Bildung des Schadminerals Thaumasit provoziert.

Als Bewertungskriterium für die Sulfatbeständigkeit des Füllbinders L -hs wurde neben der Massenänderung und Dehnung während der Sulfatlagerung abschließend die Beurteilung des Gefüges vorgenommen. Die Überprüfung auf das möglich Vorhandensein gefügeschädigender Phasen wie Ettringit und Thaumasit sowie eine Rasterelektronenmikroskopische Gefügebeurteilung schließt die Bewertung der Sulfatbeständigkeit ab. Zur Überprüfung des "pessimalen" Falls wurden die Füllbinderproben einem weiteren, Prüfprogramm unterworfen, dem so genannten SVA-Verfahren. Hier wurden die Probekörper (Normprismen nach DIN EN 196-1, $w/f=0,5$) über 91 Tage einer SO_4^{2-} -Konzentration von ca. 30.000 mg/l bei $+20^\circ\text{C}$ ausgesetzt.

Es handelt sich bei dem untersuchten Füllbinder L -hs um ein fertiges Versandprodukt aus der laufenden Produktion ohne jegliche weitere Materialoptimierung.



2. Versuchsbeschreibung und Prüfmatrix

2.1 Festigkeiten

Im Vorfeld der Sulfatlagerung erfolgte zunächst die Prüfung der Mörteldruckfestigkeiten im Alter von 28 Tagen (Einlagerungsbeginn Langzeittest). Analog der unter 2.2 aufgeführten Versuchsbeschreibung wurden Mörtelprismen ($40 \times 40 \times 160$ mm) mit $w/f=0,5$ und $w/f=1,0$ hergestellt und bis zum 28. Tag wassergelagert. Die ermittelten Mörteldruckfestigkeiten spiegeln somit den Materialzustand zu Beginn des Langzeit-Einlagerungsversuches wieder. Zum direkten Nachweis einer möglichen Gefügeschädigung erfolgten nach der Langzeit-Sulfatlagerung (siehe 2.2) Festigkeitsprüfungen an den eingelagerten Probekörpern.

2.2 Langzeit-Sulfatlagerung mit 3.000 mg/l SO_4^{2-}

Als Prüfparameter für die praxisnahe Sulfatlagerung wurde eine SO_4^{2-} -Konzentration von 3.000 mg/l bei konstanter Lagerungstemperatur von 10°C festgelegt. Dieser Fall simuliert den Einsatz von Füllbindern im Boden bei der Exposition XA2 (mäßiger chem. Angriff). Es erfolgte die Herstellung der Probekörper mit $w/f=0,5$ und $w/f=1,0$. Dabei wurden je drei Prismen mit den Abmessungen $40 \times 40 \times 160$ mm hergestellt. Die Prismen wurden mit Messzapfen an den Stirnseiten versehen und bis zum Einlagerungsbeginn nach 28 Tagen wassergelagert. Zu Beginn der Einlagerung sowie nach 7, 14, 28, 56, 91, 180, 271, 365, 455, 545, 635, 730 Tagen wurden die Längen der Probekörper mit einer digitalen Messuhr (Messgenauigkeit bis 0,001 mm) sowie die Massenänderungen ermittelt. In regelmäßigen Zeitabständen (3 Wochen) erfolgte der komplette Austausch der Prüfflüssigkeit, um einer Veränderung der Sulfatkonzentration in der Lösung entgegenzuwirken. Der Langzeit-Einlagerungsversuch erfolgte über einen Zeitraum von zwei Jahren (730 Tagen).

2.3 Sulfatlagerung – SVA-Verfahren

Das SVA-Verfahren (Prüfplan für die Zulassungsprüfung eines von DIN 1045 abweichenden Betons mit hohem Sulfatwiderstand, DiBt Berlin, 02/1998) wird seit längerem dazu eingesetzt, die Sulfatbeständigkeit von Zementen zu beurteilen. Mit dem Füllbinder L-hs wurden in Anlehnung an den SVA-Test Normprismen mit Normsand nach DIN EN 196-1 mit $w/f=0,5$ und mit Messzapfen an den Stirnseiten hergestellt.

Flachprismen sind wegen der geringen Festigkeit ungeeignet. Aufgrund der im Vergleich zu Normzement (nach DIN EN 197-1) hohen Durchlässigkeit des Produktes, kann die Bewertung jedoch analog zum SVA-Verfahren erfolgen.

Die Probekörper wurden entsprechend den definierten SVA-Prüfbedingungen nach zwei Tagen ausgeschalt und 12 Tage in gesättigter Ca(OH)_2 -Lösung gelagert. Im Anschluss an diese Vorlagerung wurden die Prismen in zwei Gruppen aufgeteilt. Die Referenzlagerung erfolgte in gesättigter Ca(OH)_2 -Lösung über den Prüfzeitraum von 91 Tagen. Demgegenüber wurden die für die Sulfatbeanspruchung separierten Prismen ebenfalls über einen Prüfzeitraum von 91 Tagen gemäß SVA-Verfahren in der 4,4%igen Na_2SO_4 -Lösung (Sulfatkonz. von ca. 30.000 mg/l, monatlicher Lösungswechsel) gelagert.

Als maßgebliches Bewertungskriterium für eine sulfatbeständige Bindemittelmatrix gilt eine max. Längenänderung der sulfatgelagerten Proben von 0,5 mm/m nach 91 Tagen gegenüber der Referenzlagerung (in gesättigter Ca(OH)_2 -Lösung). Die Längen der Probekörper wurden mit einer digitalen Messuhr (Messgenauigkeit bis 0,001 mm) zu Beginn der Einlagerung und nach 14, 28, 56 und 91 Tagen ermittelt. Die Lagerungs- und Mess-temperatur betrug gemäß SVA-Verfahren $+20^\circ\text{C}$.

3 Ergebnisse

3.1. Festigkeiten

Zur besseren Einschätzung der Probenbeschaffenheit erfolgten die Prüfungen der Prismendruckfestigkeiten gemäß DIN EN 196-1 an den gemäß Pkt. 2.1 hergestellten und bis zur Prüfung in Wasser gelagerten Füllbinderprismen. Analog dazu wurden die über 730 Tage sulfatgelagerten Füllbinderprismen nach der Sulfatlagerung gegengeprüft. Eine Schadreaktion im Randbereich der Probekörper (z.B. Etringit oder Thaumasil) muss sich besonders durch einen Abfall der Biegezugfestigkeit bemerkbar machen.

Material	w/f	Einlagerungsbeginn Alter der Probekörper: 28d		Einlagerungsende Alter der Probekörper: 758d	
		Biegezug- festigkeit [MPa]	Druckfestig- keit [MPa]	Biegezug- festigkeit [MPa]	Druckfestig- keit [MPa]
Füllbinder L -hs	0,5	1,2	4,5	2,5	9,8
	1,0	0,4	0,9	0,9	1,5

Tab. 1: Festigkeitsergebnisse vor und nach dem Langzeit-Sulfatlagerungsversuch

3.2 Langzeit-Sulfatlagerung

Die nachfolgende Tabelle enthält die Zusammenfassung der Untersuchungsergebnisse der Langzeit-Sulfatlagerung über den Einlagerungszeitraum von 730 Tagen.

Füllbinder L -hs			
Prüfung		Bewertung	
		$w/f=0,5$	$w/f=1,0$
Dehnung nach 180 d [mm/m]		-0,015	0,302
Dehnung nach 365 d [mm/m]		0,06	0,392
Dehnung nach 730 d [mm/m]		0,112	0,533
Gefügeschädigung nach 730 d (Rasterelektronenmikroskop)		nein	
Thaumasil im Gefüge nach 730 d (Röntgendiffraktometrie)		nein	
sulfatbeständig, aufgrund der vorliegenden Ergebnisse nach 730 d		ja	

Tab. 2: Ergebnisse Langzeit-Sulfatlagerung

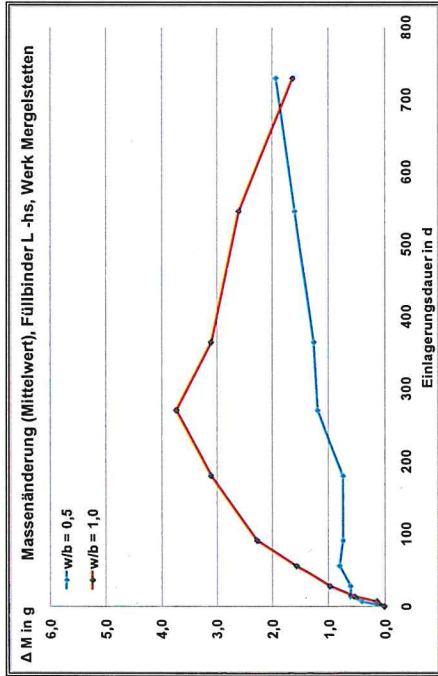


Bild 1: Füllbinder L -hs, Werk Mergelstetten, Massenänderung nach Sulfatlagerung

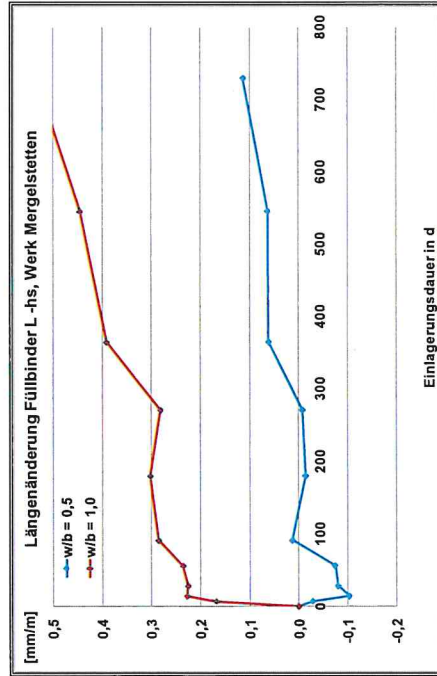


Bild 2: Füllbinder L -hs, Werk Mergelstetten, Längenänderung nach Sulfatlagerung



Bild 3: Füllbinder L -hs, Werk Mergelstetten, w/f=0,5, Sulfatlagerung 730 d



Bild 4: Füllbinder L -hs, Werk Mergelstetten, w/f=1,0, Sulfatlagerung 730 d

Gefügeuntersuchungen nach Beendigung der Sulfatlagerung

Nach Beendigung der zweijährigen Langzeitsulfatlagerung erfolgten an den beaufschlagten Prismen Gefügeuntersuchungen zum Nachweis schädigender Ettringit- oder Thaumasitbildung. Dabei wurden im Röntgendiffraktometer die Mineralphasen der gelagerten Füllbinder L -hs - Prismen bestimmt. Weiterhin erfolgten im Rasterelektronenmikroskop Untersuchungen zum Gefügezustand.

Mineralphase nach Rietveld	Füllbinder L -hs w/f = 0,5	Füllbinder L -hs w/f = 1,0
	Anteil [M.-%]	
amorpher Anteil	10,4	4,8
Quarz	7,3	7,7
Dolomit	0,2	0,9
Calcit	75,0	84,2
Gips	0,6	0,7
Ettringit	6,5	1,6
Thaumasit	--	--

Tab. 3: Ergebnisse XRD-Mineralphasenbestimmung

Die Untersuchungen im Rasterelektronenmikroskop zeigten nach der zweijährigen Langzeit-Sulfatlagerung keine Anzeichen für gefügeschädigende Reaktionen. Das Material wies ein dichtes, nahezu rissfreies Gefüge auf, wie in Bild 5 und 6 exemplarisch an der Probe Füllbinder L -hs w/f=1,0 dargestellt ist.

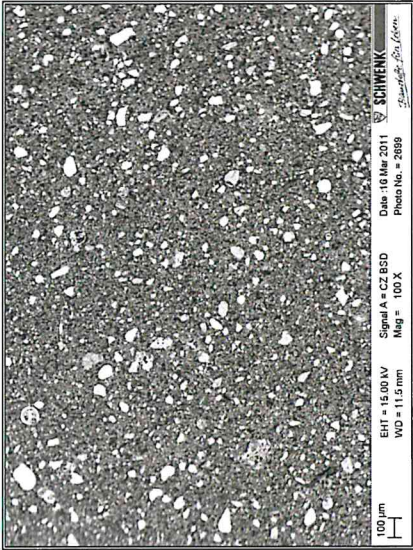


Bild 5: Gefüge Füllbinder L -hs nach 730 d Sulfatlagerung, Vergrößerung: 100fach

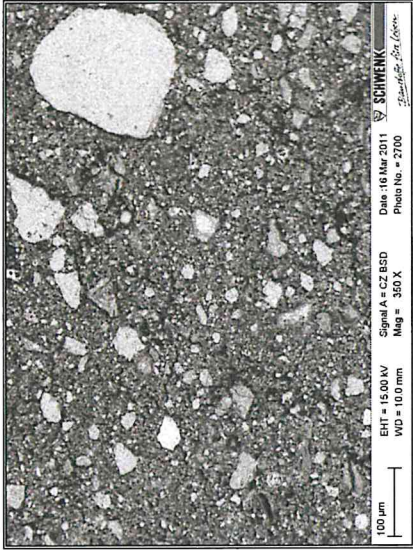


Bild 6: Gefüge Füllbinder L -hs nach 730 d Sulfatlagerung, Vergrößerung: 350fach

Im Gegensatz dazu sind in Bild 7 und 8 REM-Aufnahmen eines Portlandzementes CEM I 42,5 R (w/z=1,0) dargestellt, der nach der Langzeit-Sulfatlagerung eine deutliche Schädigung durch Thaumasil aufwies.

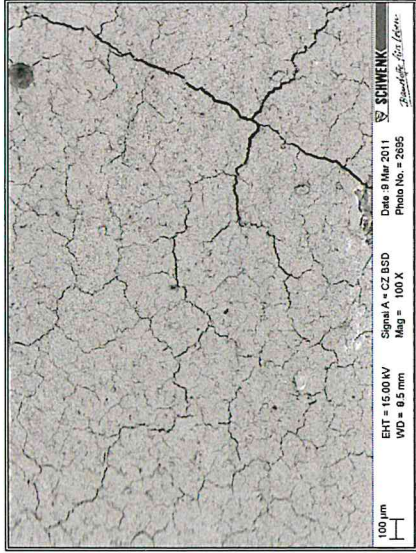


Bild 7: Gefüge CEM I 42,5 R nach 730 d Sulfatlagerung, Vergrößerung: 100fach

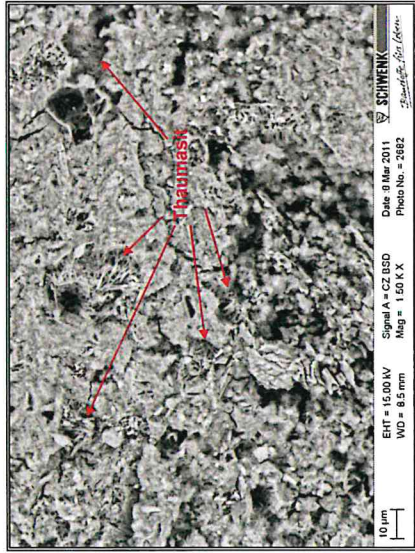


Bild 8: Gefüge CEM I 42,5 R nach 730 d Sulfatlagerung, Vergrößerung: 1500fach, deutliche Thaumasilbildung im geschädigten Gefüge

3.3 SVA-Verfahren

Nachfolgend sind die Ergebnisse der Sulfatlagerung nach dem SVA-Verfahren dargestellt.

Einlagerungsdauer [d]	Dehnung [mm/m]	
	Füllbinder L -hs	
0	0,000	
14	0,081	
28	0,100	
56	0,119	
91	0,127	

Tab. 4: Ergebnisse SVA-Test, Füllbinder L -hs Lieferwerk Mergelstetten

Der untersuchte Füllbinder besteht das SVA-Kriterium (Dehnung < 0,5 mm/m nach 91 d Sulfatlagerung in Bezug auf Referenzlagerung).

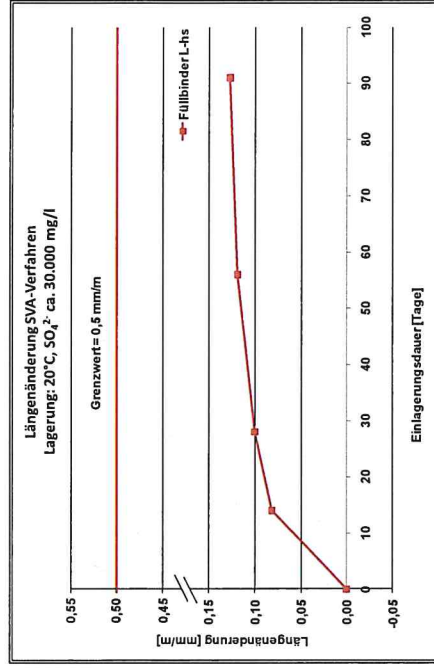


Bild 9: Dehnung Füllbinder L -hs Werk Mergelstetten, SVA-Verfahren (Sulfatlagerung im Vergleich zur Referenzlagerung)

4. Zusammenfassung und Bewertung

Zur Abschätzung der Sulfatbeständigkeit wurde der Füllbinder L -hs aus dem Lieferwerk Mergelstetten verschiedenen Lagerungsversuchen in sulfathaltigem Medium unterzogen.

Im ersten Versuch wurde eine praxisnahe Lagerung bei einer SO_4^{2-} -Konzentration von 3.000 mg/l und konstanter Lagerungstemperatur von +10°C gewählt. Es wurden dabei Wasser-Feststoff-Werte $w/f=0,5$ und $w/f=1,0$ eingestellt, da diese Zusammensetzungen dem Füllbindereinsatz in der Praxis entsprechen.

Die Längenänderung in der praxisnahen Lagerung nach 2 Jahren war unkritisch und nicht gefügeschädigend. Die ermittelte Massenänderung im Langzeit-Sulfatlagerungsversuch ist ebenfalls als unkritisch zu werten. Lediglich an den Oberflächen der Prüfkörper ist eine geringfügige Absandung bzw. Kantenabrundung zu erkennen, die jedoch nicht mit einem Sulfatangriff in Verbindung steht, sondern der verhältnismäßig geringen Druckfestigkeit bei permanenter Umspülung der Prüflinge geschuldet ist. Durch die Sulfatlagerung über zwei Jahre konnte jedoch kein Abfall der Druck- und Biegezugfestigkeiten festgestellt werden. Am Füllbinder L -hs ließ sich eine Nacherhärtung im Lagerungsversuch über 2 Jahre gegenüber der 28Tage-Festigkeit messen.

Die abschließende Gefügeuntersuchung mittels Rasterelektronenmikroskop und Röntgendiffraktometer brachte keinen Hinweis auf schädigende Reaktionen infolge Thaumasil- bzw. Etringitbildung.

Zusätzlich wurde der Füllbinder L -hs einem weiteren Prüfprogramm unterworfen, dem so genannten SVA-Verfahren. Hier wurden die Probekörper (Normprismen mit Normsand nach DIN EN 196-1, $w/f=0,5$) über 91 Tage einer SO_4^{2-} -Konzentration von ca. 30.000 mg/l bei +20°C ausgesetzt.

Im SVA-Verfahren zeigten die Prüfkörper eine Längenänderung deutlich unterhalb des Abnahmekriteriums von 0,5 mm/m.

Aufgrund der vorliegenden Ergebnisse aus dem SVA-Test und dem praxisorientierten Langzeit-Sulfatlagerungsversuch über 2 Jahre kann der Füllbinder L -hs aus dem Lieferwerk Mergelstetten als sulfatbeständig eingestuft werden.

PRÜFBERICHT

1. AUFTRAGGEBER:

SCHWENK Zement KG
Hindenburgergring 15
D-89077 Ulm

2. AUFTRAGSDATUM:

Auftrag vom 27.07.2017 durch Herrn Dipl.-Ing. (FH) Walter Erben (gemäß
Probeneingangsprotokoll)

3. PRÜFUNGSGEGENSTAND:



Prüfgut: Füllbinder L-hs

Anlieferung: 12 Probekörper Ø ca. 10 cm

Anlieferungsdatum: 17.08.2017

Herstellung Probekörper: 01.08.2017

Prüfdatum: 05.09. – 03.10.2017

4. PRÜFAUFTRAG:

Bestimmung der Beständigkeit gegenüber Frost-Tauwechselbeanspruchung sowie der Druckfestigkeit in Anlehnung an den technischen Endbericht „Eignungsuntersuchung von Verpressmaterialien für Erdwärmesonden“ des Landes Oberösterreichs vom Februar 2008:

- Bestimmung der Druckfestigkeit ohne FT-Wechsel
- Bestimmung der Druckfestigkeit nach 10 FT-Wechseln
- Bestimmung der Druckfestigkeit nach 28 FT-Wechseln

5. PRÜFUNGSDURCHFÜHRUNG:

Vom AG wurden 12 Stk Probekörper Ø ca. 10 cm hergestellt, in Kunststoffolie verpackt und in das Labor der BPS angeliefert.

Die Bestimmung der Beständigkeit gegenüber Frost-Tauwechselbeanspruchung sowie der Bestimmung der Druckfestigkeit erfolgte in Anlehnung an den technischen Endbericht „Eignungsuntersuchung von Verpressmaterialien für Erdwärmesonden“ des Landes Oberösterreichs vom Februar 2008.

Die Prüfung der Druckfestigkeit erfolgte mittels einer computergesteuerten Druckprüfmaschine.

Nach 28 Tagen Aushärtungszeitraum wurde die Druckfestigkeit an drei Probekörpern ohne Frost-Tauwechselbeanspruchung bestimmt.

Die Frost-Tauwechselbelastung erfolgte mit einem automatisch temperaturgesteuerten Frostschrank. Dabei erfolgte der Frost-Tau-Wechsel analog Abbildung 6 des technischen Endberichts. Die Tauphase erfolgte in lufttrockenem Zustand.

An drei Probekörpern wurde die Druckfestigkeit nach 10 Frost-Tau-Wechseln bzw. an drei Probekörpern nach 28 Frost-Tau-Wechseln bestimmt. Die gefrosteten Probekörper wurden nach der Frost-Tauwechselbeanspruchung zusätzlich visuell beurteilt.

Die restlichen Probekörper wurden nicht geprüft.

6. PRÜFUNGSERGEBNISSE:

6.1 Druckfestigkeit ohne Frostbeanspruchung:



Bezeichnung	Ø [mm]	Höhe [mm]	Rohdichte [kg/m³]	Druck- festigkeit [N/mm²]	MW Druck- festigkeit [N/mm²]
1	100	103	1589	3,3	3,6
2	100	103	1595	3,8	
3	100	104	1585	3,7	

6.2 Druckfestigkeit nach 10 Frost-Tau-Wechseln:

visuelle Beurteilung: Rissbildungen an der Oberfläche der Probekörper erkennbar



Bezeichnung	Ø [mm]	Höhe [mm]	Rohdichte [kg/m³]	Druck- festigkeit [N/mm²]	MW Druck- festigkeit [N/mm²]
4	101	104	1560	2,2	2,4
5	101	104	1559	2,6	
6	101	103	1570	2,3	



6.3 Druckfestigkeit nach 28 Frost-Tau-Wechseln:

visuelle Beurteilung: Rissbildungen an der Oberfläche der Probekörper erkennbar



Bezeichnung	Ø [mm]	Höhe [mm]	Rohdichte [kg/m³]	Druck- festigkeit [N/mm²]	MW Druck- festigkeit [N/mm²]
7	100	104	1563	3,2	2,8
8	100	104	1521	2,4	
9	100	103	1563	2,9	

7. BEURTEILUNG:

Die Druckfestigkeit betrug nach 28 Tagen im Mittel 3,6 N/mm² und entsprach der Mindestanforderung gemäß Tabelle 36 des technischen Endberichts „Eignungsuntersuchung von Verpressmaterialien für Erdwärmesonden“ des Landes Oberösterreichs von $\geq 0,6$ N/mm².

Der Festigkeitsabfall nach 10 Frost-Tauwechseln betrug im Mittel 33 % und entsprach der Mindestanforderung gemäß Tabelle 36 des technischen Endberichts „Eignungsuntersuchung von Verpressmaterialien für Erdwärmesonden“ des Landes Oberösterreichs von maximal 35 %.

Der Zeichnungsberechtigte:
Ing. Mader



Der Leiter:

Dipl.-Ing. Rockenschaub

Untersuchungsbericht

Projekt-Nr. 7101030092

Produktfamilie Spezialbaustoffe

Prüfung der Frostbeständigkeit

Füllbinder L -hs -Werk Mergelstetten-

Karlstadt, den 04.09.2013



i.V. Dipl.-Ing. Th. Neumann
- Leiter Forschung + Entwicklung -



i.A. Dipl.-Ing. S. Rasch
- Projektleiter F + E -

1 Ausgangssituation und Prüfumfang

Der Einsatz von Füllbindern erstreckt sich im Allgemeinen über die verschiedensten Bereiche des Tiefbaus. So werden diverse Füllbinder u. a. für Hohlraumverfüllungen und Abdichtungen jeglicher Art (z. B. im Brunnen und Rohrleitungsbau), Injektionen, Fundamentunterfangungen mittels Düsenstrahlverfahren, Verfestigung von Böden und Lockergesteinen sowie für Geothermianwendungen eingesetzt. In diesem speziellen Einsatzgebiet der Füllbinder gegenüber Frost-Tauwechseln, die sich infolge des Bener Beständigkeit der Füllbinder gegen Frost-Tauwechseln, die sich infolge des Betriebs einer Wärmepumpe mit entsprechend niedriger Rücklauftemperatur ereignen können. Um die Funktionalität der Abdichtung des eingebauten Füllbinders zu gewährleisten, muss das Material gegenüber den in der Einbauumgebung vorherrschenden Expositionen stabil sein und eine Wasserdurchlässigkeit verhindern.

Vor diesem Hintergrund wurden im Labor Karlstadt entsprechende Frostprüfungen an Probekörpern durchgeführt und die Wasserdurchlässigkeit (k_f -Wert) vor und nach den Befrostungszyklen bestimmt.

Es handelt sich bei dem untersuchten **Füllbinder L -hs** um ein fertiges Versandprodukt aus der laufenden Produktion des Werkes Mergelstetten ohne jegliche weitere Materialoptimierung.

2 Versuchsbeschreibung

2.1 Festigkeiten

Im Vorfeld der Frostprüfung erfolgte zunächst die Prüfung der Druckfestigkeiten der erhärteten Suspension im Alter von 28 Tagen bei Umgebungstemperaturen von 10°C (praxisnahe Lagerung) und 20°C (Laborbedingungen). Dabei wurden Prismen (40x40x160 mm) mit einem Wasser/Feststoffverhältnis von $w/f=0,7$ hergestellt und bis zum 28. Tag verdunstungsgeschützt gelagert. Die ermittelten Druckfestigkeiten spiegeln somit den Materialzustand zu Beginn der Frost-Tauwechselversuche wider. Zusätzlich erfolgte eine Festigkeitsprüfung nach 56d bei der 20°C – Lagerung.

2.2 Frost-Tauwechselfprüfung

Es erfolgte die Herstellung der Probekörper mit einem Wasser-Feststoff-Verhältnis von $w/f=0,7$. Dabei wurden Zylinder mit 100 mm Durchmesser für den Frost-Tauwechselfversuch mit Bestimmung der Durchlässigkeitsbeiwerte (kf-Wert) hergestellt. Als Prüfparameter für die praxisnahe Frostprüfung wurde zur Materialerhärtung eine konstante Lagerungstemperatur von 10°C bis zum 28. Tag festgelegt. Dieser Fall simuliert den Einsatz von Füllbindern im Boden bei entsprechend niedrigen Umgebungstemperaturen.

Die zu befestigenden Probekörper wurden vor dem Frost-Tauwechselfversuch 72 h bis zur Wassersättigung vorgelagert und anschließend verdunstungsgeschützt mit Folie verpackt. Die Befrostung der wassergesättigten, verdunstungsgeschützten Probekörper erfolgte über 10 Frost-Tauwechsel. Dabei wurde folgendes Temperaturprofil eingestellt:

8 h abkühlen von + 10°C auf -10°C

4 h konstant -10°C

8 h aufthauen von - 10°C auf + 10°C

8 h konstant + 10°C

Als maßgebliches Prüfkriterium wird neben der äußeren Beschaffenheit der Durchlässigkeitsbeiwert (kf-Wert) der befestigten Prüfkörper herangezogen. Die Prüfung des Durchlässigkeitsbeiwertes erfolgte vor und nach den Frost-Tauwechselfversuchen in einer Triaxialzelle gemäß DIN 18130 mit einem hydraulischen Gradienten von $i=30$.

3 Ergebnisse

3.1. Festigkeiten

Zur besseren Einschätzung der Probenbeschaffenheit zum Prüfzeitpunkt erfolgten die Prüfungen der Prismendruckfestigkeiten in Anlehnung an die DIN EN 196-1 an den nach Pkt. 2.1 hergestellten und bis zur Prüfung bei 10°C bzw. 20°C gelagerten Füllbinderprismen.

Material	w/f	Temp. Vorlagerung [°C]	Beginn der Frostprüfung Alter der Probekörper: 28d		Alter der Probekörper: 56d	
			Biegezugfestigkeit [MPa]	Druckfestigkeit [MPa]	Biegezugfestigkeit [MPa]	Druckfestigkeit [MPa]
Füllbinder L-hs	0,7	10	0,7	1,3	-	-
		20	1,6	3,6	1,7	4,7

Tab. 1: Festigkeitsergebnisse bei unterschiedlichen Lagerungsbedingungen

3.2 Frost-Tauwechselfprüfung und Wasserdurchlässigkeitsbeiwert

Die nachfolgende Tabelle enthält die Zusammenfassung der Untersuchungsergebnisse der Frost-Tauwechselfprüfung und der Wasserdurchlässigkeit vor und nach den Frost-Tauwechseln.

Füllbinder L-hs	
Prüfung	Ergebnis
w/b-Wert [-]	0,7
Suspensionsdichte [g/cm³]	1,6
äußere Beschaffenheit nach 10 Frost-Tauwechseln	keine sichtbaren Schädigungen
kf-Wert vor Befrostung [m/s]	$< 1 \cdot 10^{-10}$
kf-Wert nach 10 Frost-Tauwechseln [m/s]	$< 1 \cdot 10^{-10}$

Tab. 2: Ergebnisse



Bild 1: Füllbinder L -hs, Prüfkörper vor Befrostung



Bild 2: Füllbinder L -hs, Prüfkörper nach 10 Frost-Tauwechseln

4. Zusammenfassung und Bewertung

Für die Prüfung und Bewertung der Frostbeständigkeit von Verfüllbaustoffen in der Geothermie gibt es derzeit kein normativ geregeltes und allgemein anerkanntes Prüfverfahren. Zur Abschätzung der Frostbeständigkeit wurde der Füllbinder L -hs aus dem Lieferwerk Mergelstetten daher einer Frost-Tauwechselprüfung unter den oben beschriebenen Bedingungen unterzogen.

Wie die Versuche zeigten, konnten unter den dargestellten Bedingungen keine sichtbaren Beschädigungen der Prüfkörper sowie keine Erhöhung der Wasserdurchlässigkeit (kf-Werte) nach den Frost-Tauwechseln verzeichnet werden.

Unter den dargestellten Prüfbedingungen weist der Füllbinder L -hs eine Beständigkeit gegenüber Frost-Tauwechseln auf.

PRÜFBERICHT

Chemische Elementbestimmung (Absolutgehalte) nach DVGW Arbeitsblatt W 347

Auftraggeber : Schwenk Zement KG
Werksgruppe Süd -Werk Allmendingen
Fabrikstraße 62
89604 Allmendingen

Prüfgegenstand : 1 Probe Füllbinder L-hs (365/2)

Prüfziel : Ermittlung der Absolutgehalte der Elemente Arsen, Cadmium, Chrom, Nickel, Blei gemäß Technische Regel, Arbeitsblatt 347, Mai 2006, Hygienische Anforderungen an zementgebundene Werkstoffe im Trinkwasserbereich-Prüfung und Bewertung

Probeneingang : 16.03.2015

Prüftermin : ab 16.03.2015

Prüfverfahren : DIN 38 414, S 7 Königswasseraufschluss
DIN 38 406, AAS

Die angewandten Messverfahren entsprechen geltenden DIN- Vorschriften oder sind als Hausvorschriften hinterlegt. Die auszugsweise Vervielfältigung oder sonstige Art der teilweisen Wiedergabe des Prüfberichtes ist nur mit Zustimmung des Auftrag nehmenden Labors gestattet. Der Prüfbericht bezieht sich ausschließlich auf den Prüfgegenstand und besteht aus 1 Seite.

Prüfergebnisse : Elementbestimmung nach DVGW Arbeitsblatt W 347

Bezeichnung Eing.-Nr. Labor		Füllbinder L-hs (365/2)	Absolutgehalte Elemente gemäß Arbeitsblatt W 347
Arsen	[Masse-%]	0,00065	0,01
Cadmium	[Masse-%]	0,000011	0,001
Chrom _(gesamt)	[Masse-%]	0,0028	0,05
Nickel	[Masse-%]	0,0015	0,05
Blei	[Masse-%]	0,00033	0,05

Bewertung von Prüfergebnisse

In der geprüften Füllbinderprobe L-hs wurden die Absolutgehalte Elemente unterschritten. Damit entspricht das Prüfgut ohne das weitere Prüfwasseruntersuchungen erforderlich sind, den hygienischen Anforderungen zementgebundener Werkstoffe im Trinkwasserbereich gemäß Arbeitsblatt W 347.



F. Hildebrandt, Laborleiter