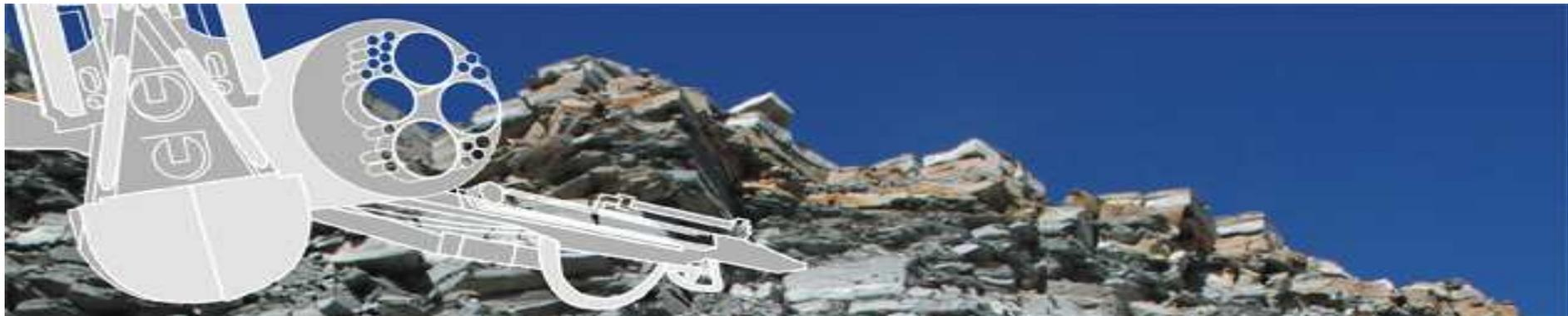




Baustoffsuspensionen für Brunnen- und Erdwärmesondenbohrungen

Dr. Jörg Dietrich, HeidelbergCement AG, Geotechnik, Ennigerloh

24.06.2014, Idstein

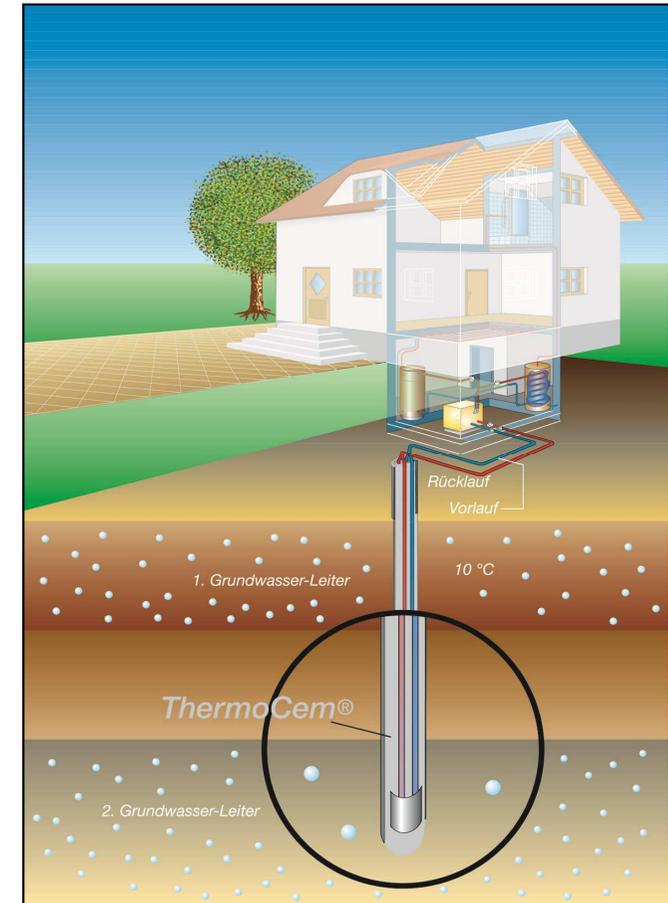


Gliederung

- Anforderungen an den Verfüllbaustoff
- Zusammensetzung
- Baustofftechnische Eigenschaften

- Qualitätssicherung
- Prüfung der Umweltverträglichkeit
- Chemischer Widerstand

- Zusammenfassung



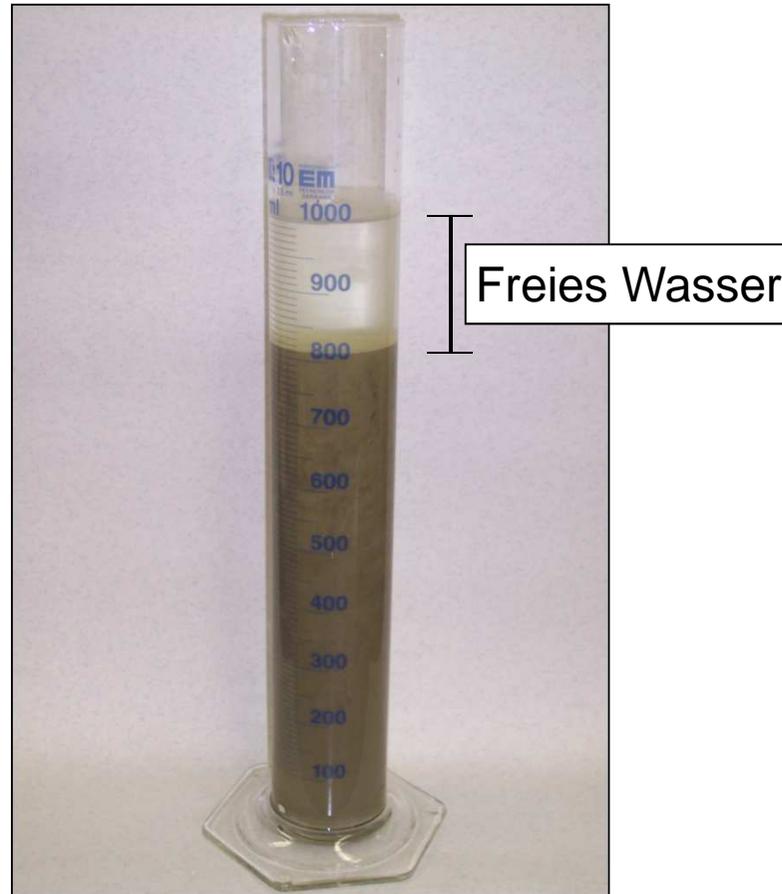
■ Anforderungen an den Verfüllbaustoff

- **Gutes Fließverhalten und Sedimentationsstabilität der frisch angemischten Baustoffsuspension**
 - ➔ **Fehlstellenfreie Verfüllung des Ringraumes**
- **Zielsichere Festigkeitsentwicklung**
 - ➔ **Kraftschlüssige Stabilisierung des Ringraumes**
- **Geringe Durchlässigkeit des erhärteten Baustoffkörpers**
 - ➔ **Erosionssichere Abdichtung des Ringraumes**
- **Umweltverträglichkeit**
- **Dauerhaftigkeit (z.B. chemischer Widerstand)**
- **Einfache und sichere Handhabung**

■ Zusammensetzung der Verfüllbaustoffe

- **Zementanteil: Normzement nach DIN EN 197 bzw. DIN 1164-10**
 - ➔ **Zement mit hohem Sulfatwiderstand**
- **Tonmineralanteil**
 - ➔ **Suspensionsstabilisierung + Abdichtfunktion**
- **Füller / Zusatzstoffe (z.B. Kalksteinmehl, Quarzmehl)**
- **ggf. Zusatzmittel (< 1%) z.B. Fließmittel (CE-Zeichen)**

■ Rheologie und Suspensionsstabilität



Zementsuspension (W/F 0,8) nach 1 Stunde Standzeit

■ Rheologie und Suspensionsstabilität



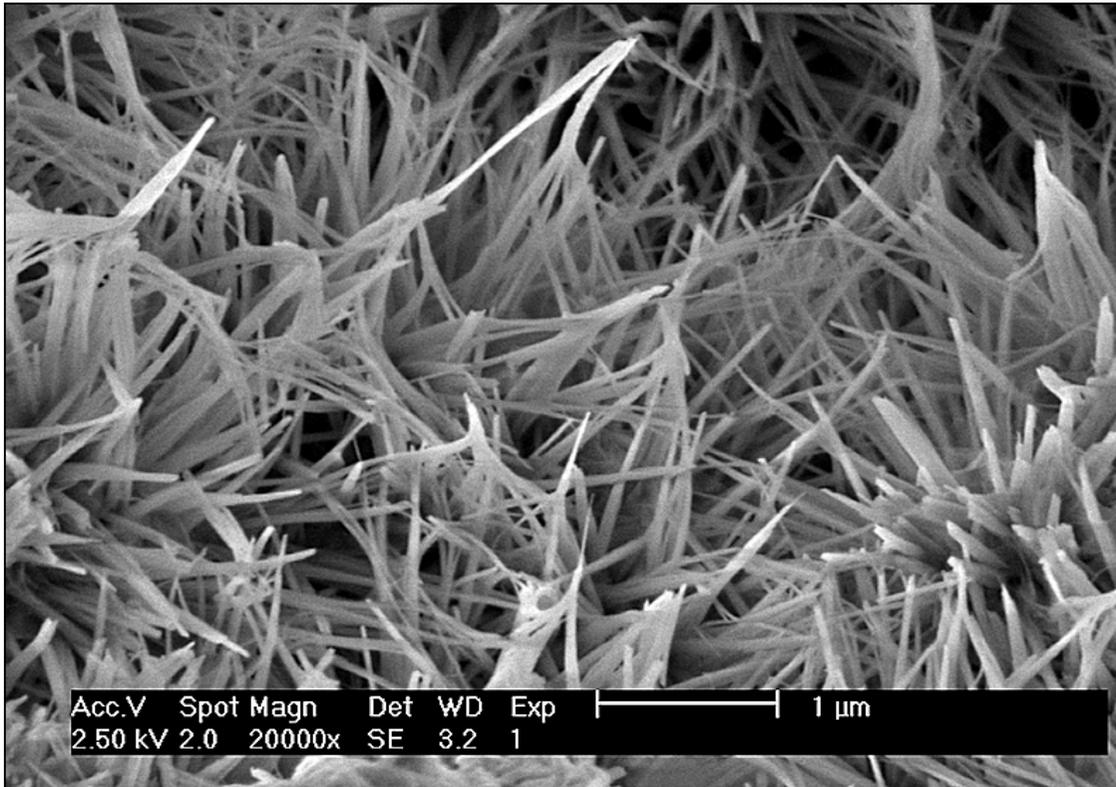
Baustoffsuspension (W/F 0,8) nach 24 Stunden Standzeit

■ Rheologie und Suspensionsstabilität



➔ Zur Aussteuerung der Fließeigenschaften und zur Stabilisierung der Suspension enthält die Baustoffrezeptur einen auf die Anwendung abgestimmten Tonmineralanteil.

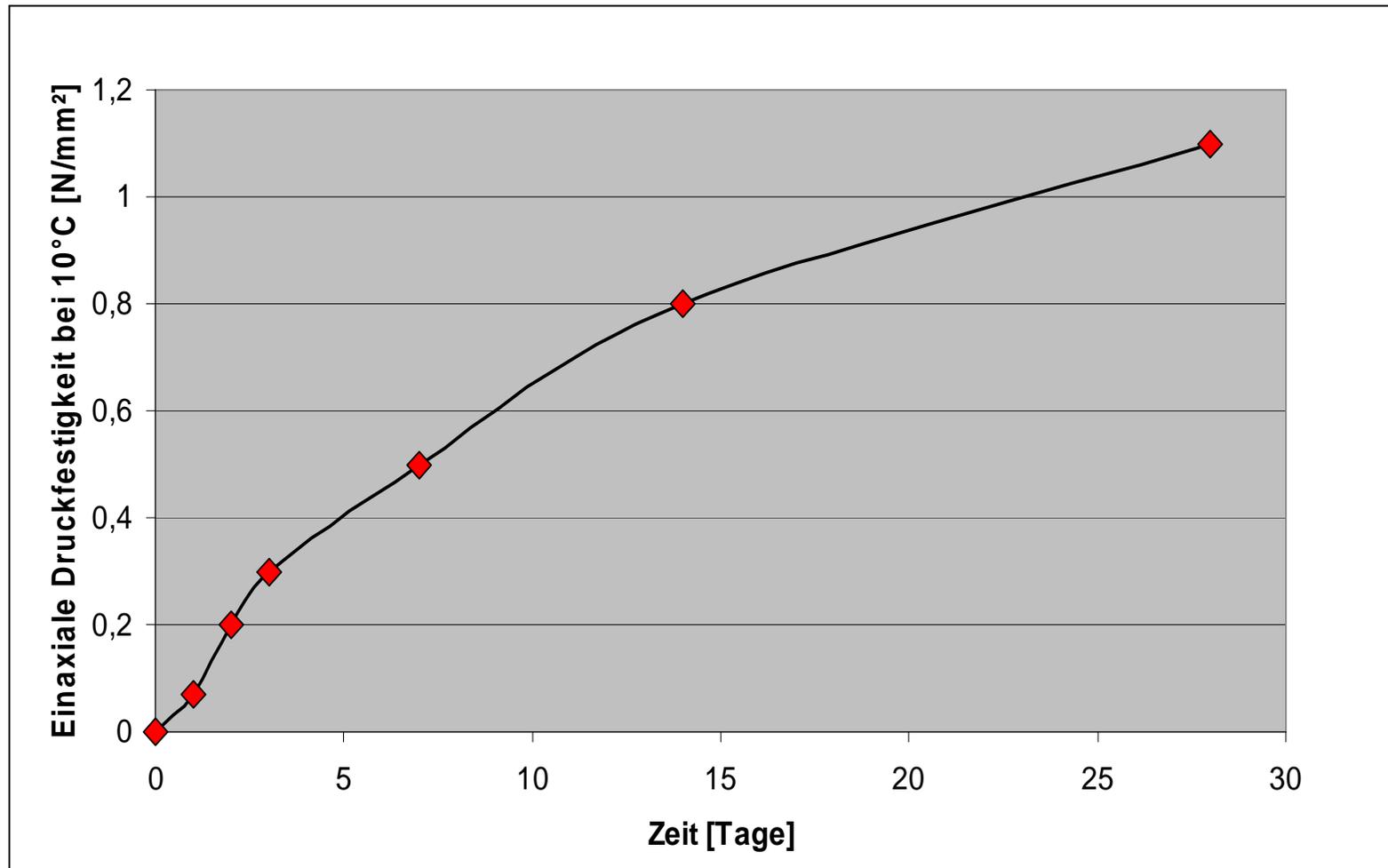
■ Festigkeitsentwicklung



Quelle: Stark et al. 2001

- Auf der Oberfläche der Bindemittelpartikel bilden sich Kristalle z.B. nadelförmige Calciumsilicathydrate (CSH-Phasen).
- Überbrücken diese Kristalle die Partikelzwischenräume, kommt es zum Erstarren und anschließenden Erhärten der Baustoffsuspension.

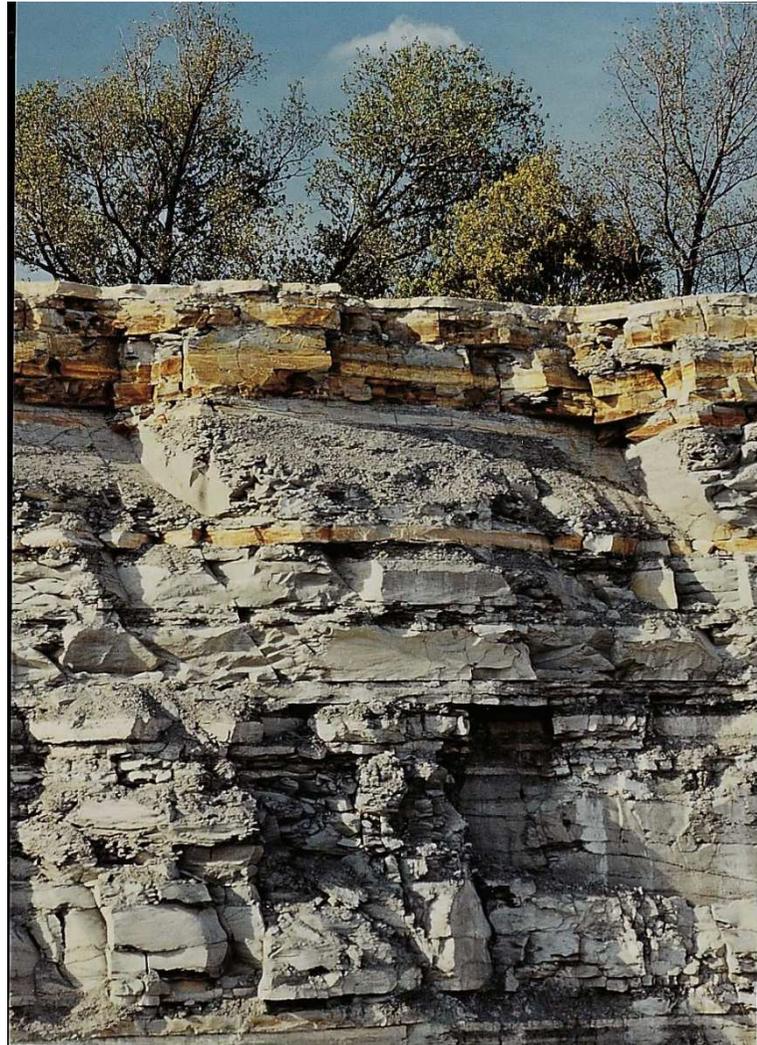
■ Festigkeitsentwicklung



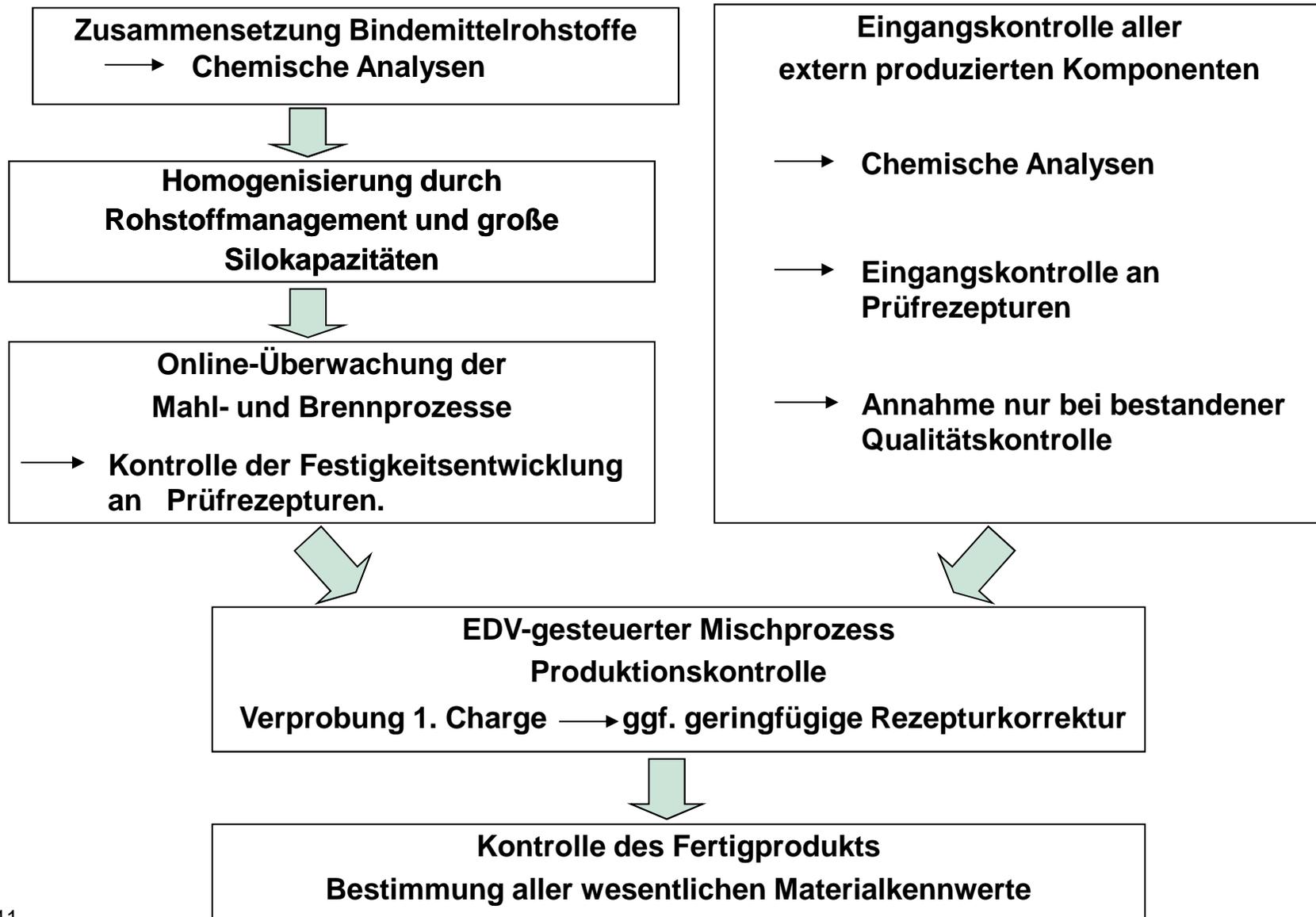
1 MPa entspricht in etwa der Festigkeit eines gut verdichteten Lehmbo­dens.

■ Qualitätsmanagement

Die Zusammensetzung der in den Lagerstätten abgebauten Rohstoffe unterliegt natürlichen Schwankungen.



■ Qualitätsmanagement



■ Qualitätsmanagement



Durch den Einsatz großer Silokapazitäten wird eine homogene Zusammensetzung der verwendeten Produktkomponenten erreicht.

■ Einfache und sichere Handhabung

Einfache Handhabung:

- Werksfertige Verfüllbaustoffe müssen auf der Baustelle nur noch mit Wasser angemischt werden.
- Die so hergestellten Suspensionen sind sofort gebrauchsfertig.

Sichere Handhabung:

- Um das an den Verfüllbaustoff gestellte Anforderungsprofil sicher zu erfüllen, ist eine gleich bleibende Produktqualität Voraussetzung.

➔ **Sicherstellung der Produktqualität durch werksseitiges Qualitätsmanagement.**

■ Überprüfung der Umweltrelevanz

- **Spezialbaustoffe z.B. für Brunnen- und Erdwärmesondenbohrungen sind nicht genormt.**
- **Untersuchung der Umweltverträglichkeit durch unabhängiges Prüfinstitut (z. B. Hygieneinstitut Gelsenkirchen).**
- **Gutachterliche Beurteilung des jeweiligen Baustoffes im Rahmen eines Hygienezeugnisses.**

■ Überprüfung der Umweltrelevanz

Bestandteile Hygienezeugnis

- Feststoffanalyse (Pulverprobe)



Parameter	Probe		MP	Zuordnungswert				Untersuchungsmethode
				Z 0	Z 1.1	Z 1.2	Z 2	
Feststoffanalyse								
Wassergehalt	W _w	%	0,90	-	-	-	-	DIN ISO 11465
Trockenrückstand	W _t	%	99,10	-	-	-	-	DIN ISO 11465
pH-Wert			12,02	5,5 - 8 / -*	5,5 - 8 / -*	5 - 9 / -*	-	DIN ISO 10390
Kupfer	Cu	mg/kg	15	40	100	200	600	DIN EN ISO 11885
Zink	Zn	mg/kg	56	120	300	500	1500	DIN EN ISO 11885
Nickel	Ni	mg/kg	11	40	100	200	600	DIN EN ISO 11885
Chrom	Cr	mg/kg	19	50	100	200	600	DIN EN ISO 11885
Cadmium	Cd	mg/kg	0,27	0,6	1	3	10	DIN EN ISO 11885
Quecksilber	Hg	mg/kg	< 0,1	0,3	1	3	10	DIN EN 1483
Blei	Pb	mg/kg	8,6	100	200	300	1000	DIN EN ISO 11885
Arsen	As	mg/kg	2,7	20	30	50	150	DIN EN ISO 11885
Thallium	Tl	mg/kg	< 0,5	0,5 / -*	1 / -*	3 / -*	10 / -*	DIN 38406-E 26
Cyanid, ges.	CN	mg/kg	< 0,05	1 / -*	10 / -*	30 / -*	100 / -*	LAGA CN 2/79 / E DIN ISO 17380
Σ Polycyclen (US-EPA)**		mg/kg	< 0,01	1	5 (20)*	15 (50)*	20/75*(100)*	LUA NRW MB 1
davon: Benzo(a)pyren		mg/kg	< 0,01	-	< 0,5	< 1,0	-	
davon: Naphthalin		mg/kg	< 0,01	-	< 0,5	< 1,0	-	
Kohlenwasserstoffe		mg/kg	< 75	100	300	500	1000	E DIN EN 14039
Benzol		mg/kg	< 0,050					
Toluol		mg/kg	< 0,050					
Ethylbenzol		mg/kg	< 0,050					
m + p - Xylol		mg/kg	< 0,050					
o-Xylol		mg/kg	< 0,050					
Σ BTEX		mg/kg	n.n.	< 1 / -*	1 / -*	3 / -*	5 / -*	DIN 38407-F 9.2
Dichlormethan		mg/kg	< 0,050					
trans-1,2-Dichlorethen		mg/kg	< 0,050					
1,1-Dichlorethen		mg/kg	< 0,050					
cis-1,2-Dichlorethen		mg/kg	< 0,050					
Trichlormethan		mg/kg	< 0,050					
1,1,1-Trichlorethen		mg/kg	< 0,050					
1,2-Dichlorethen		mg/kg	< 0,050					
Tetrachlormethan		mg/kg	< 0,050					
Trichlorethen		mg/kg	< 0,050					
1,1,2-Trichlorethen		mg/kg	< 0,050					
1,3-Dichlorpropan		mg/kg	< 0,050					
Tetrachlorethen		mg/kg	< 0,050					
Σ LHKW		mg/kg	n.n.	< 1 / -*	1 / -*	3 / -*	5 / -*	DIN EN ISO 10301
Extrah. Org. Halogenverbindungen	EOX	mg/kg	< 1,0	1	3	10 / 5*	15 / 10*	DIN 38414-S 17
Σ Polychlorierte Biphenyle***	PCB	mg/kg	n.n.	0,02	0,1	0,5	1	DIN 38414-S 20

■ Überprüfung der Umweltrelevanz

Bestandteile Hygienezeugnis

- Feststoffanalyse (Pulverprobe)
- Trogelution eines in der Aushärtephase befindlichen Prüfkörpers (7 d Probenalter) und eines ausgehärteten Probekörpers (28 d Probenalter).



Parameter	Probe		"Eluat während der Aushärtephase"	Zuordnungswert				Untersuchungsmethode
				Z 0	Z 1.1	Z 1.2	Z 2	
Eluatanalyse (DIN 38 414 - S 4)								
Farbe			farblos					
Geruch			ohne					
pH-Wert			10,85	6,5 – 9 7,0 – 12,5*	6,5 – 9 7,0 – 12,5*	6 – 12 7,0 – 12,5*	5,5 – 12 7,0 – 12,5*	DIN 38404-C 5
Elektr. Leitfähigkeit		µScm ⁻¹	207	500	500 / 1500*	1000 / 2500*	1500 / 3000*	DIN EN 27888
Chlorid	Cl ⁻	mg/l	< 5,0	10	10 / 20*	20 / 40*	30 / 150*	DIN EN ISO 10304-2
Sulfat	SO ₄ ²⁻	mg/l	< 5,0	50	50 / 150*	100 / 300*	150 / 600*	DIN EN ISO 10304-2
Cyanid, ges.	CN	mg/l	< 0,01	< 0,01 / -*	0,01 / -*	0,05 / -*	0,10* / -*	DIN EN ISO 14403 / DIN 38405-13
Cyanid, l.fr.	CN	mg/l	< 0,01	-	-	-	< 0,05* / -*	DIN EN ISO 14403 / DIN 38405-13
Kupfer	Cu	mg/l	< 0,001	0,05	0,05	0,15	0,30 / 0,200*	DIN EN ISO 11885
Zink	Zn	mg/l	< 0,005	0,10	0,10	0,30	0,60 / 0,40*	DIN EN ISO 11885
Nickel	Ni	mg/l	< 0,001	0,04	0,05	0,15 / 0,10*	0,20 / 0,10*	DIN EN ISO 11885
Chrom	Cr	mg/l	< 0,001	0,015	0,03	0,075	0,15 / 0,10*	DIN EN ISO 11885
Cadmium	Cd	mg/l	< 0,0001	0,002	0,002	0,005	0,010/0,005*	DIN EN ISO 11885
Quecksilber	Hg	mg/l	< 0,0002	0,0002	0,0002	0,0010	0,0020	DIN EN 1483
Blei	Pb	mg/l	< 0,001	0,02	0,04	0,10	0,20 / 0,10*	DIN EN ISO 11885
Arsen	As	mg/l	< 0,001	0,010	0,010	0,040	0,060/0,050*	DIN EN ISO 11969
Thallium	Tl	mg/l	< 0,001	< 0,001	0,001	0,003	0,005	DIN 38406-E 26
Phenolindex		mg/l	< 0,010	< 0,010	0,010	0,050	0,100	DIN EN ISO 14402 / DIN 38409-H 16
Chrom VI	Cr ⁶	mg/l	< 0,005	-	-	-	-	DIN 38405-D 24
gel. organischer Kohlenstoff	DOC	mg/l	1,3	-	-	-	-	DIN EN 13137

■ Überprüfung der Umweltrelevanz

Bestandteile Hygienezeugnis

- **Feststoffanalyse (Pulverprobe)**
- **Trogelution eines in der Aushärtephase befindlichen Prüfkörpers (7 d Probenalter) und eines ausgehärteten Probekörpers (28 d Probenalter).**
- **Zur Orientierung werden die Ergebnisse zudem den Vorgaben der TR LAGA Nr. 20 gegenübergestellt.**
- **Gutachterliche Bewertung der Ergebnisse aus den Feststoff- und Eluatanalysen.**

■ Überprüfung der Umweltrelevanz

Beurteilung

Unter Berücksichtigung der vorliegenden Untersuchungsergebnisse kann festgestellt werden, dass u.E. der Baustoff "Brunnen-Dämmer®" aus wasserhygienischer Sicht als unbedenklich einzustufen ist. Die im Verlaufe von Baumaßnahmen zu erwartende pH-Wert-Verschiebung und Aufsalzung von ggf. anstehendem Grund- bzw. Oberflächenwasser ist nur als temporär und nur als lokal begrenzt anzusehen.

Der Einsatz des Produktes "Brunnen-Dämmer®" in Wasserschutzzonen muss jedoch mit den zuständigen Behörden abgestimmt werden.

Unter Bezugnahme auf die eingangs genannte LAGA-Richtlinie Nr. 20, Tab. II 1.4-5 und II 1.4-6 können die von uns untersuchten Proben des Baustoffs "Brunnen-Dämmer®" in die RCL-Verwertungsklasse Z 0 eingestuft werden; der Feststoff erfüllt ebenfalls die Anforderungen der RCL-Verwertungsklasse Z 0.

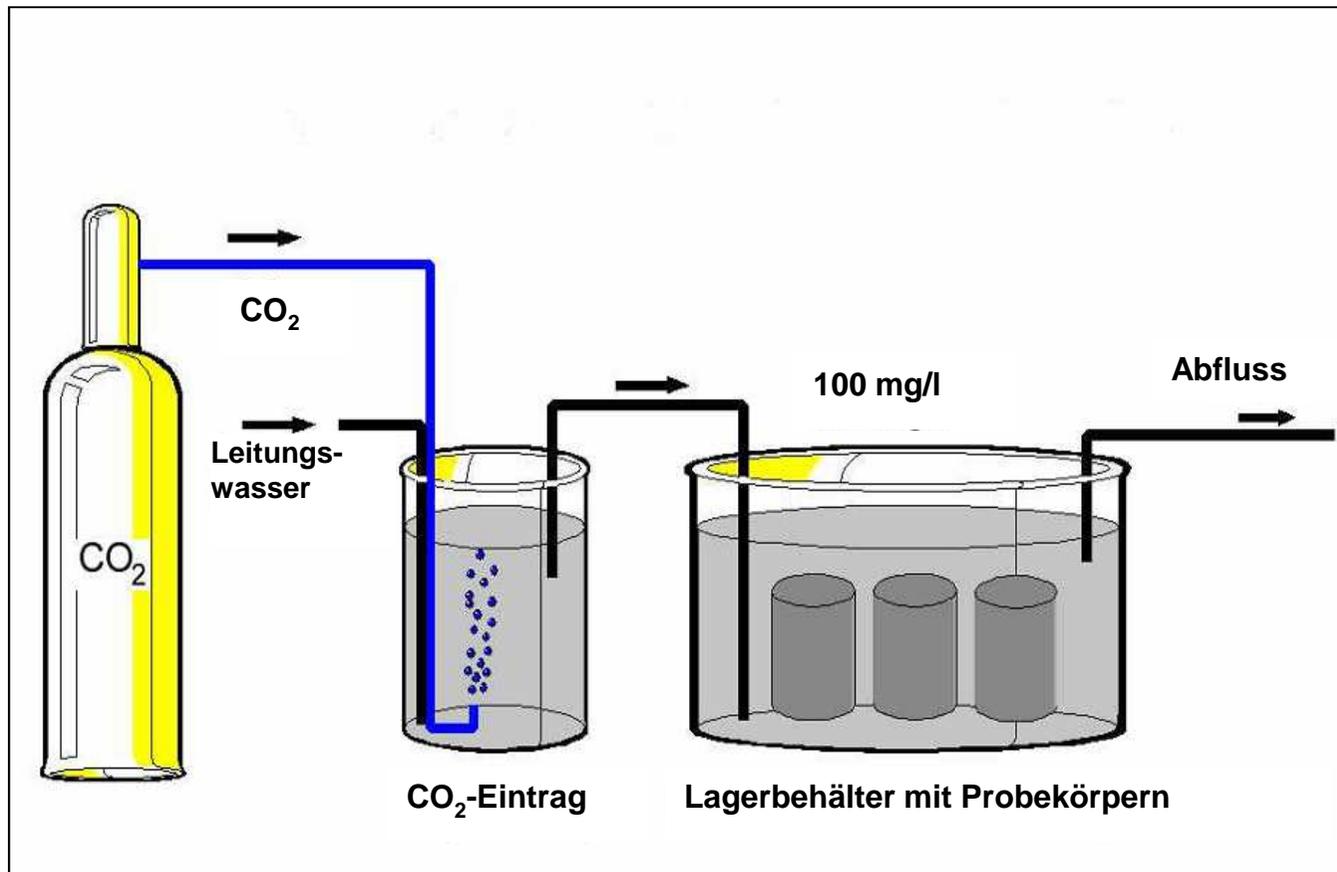
■ Chemischer Widerstand

Expositionsklassen nach DIN EN 206-1:

	Expositionsklassen		
	XA1	XA2	XA3
Wasserinhaltsstoff	schwach angreifend	mäßig angreifend	stark angreifend
SO ₄ ²⁻ [mg/l]	200 - 600	> 600 - 3.000	> 3.000 - 6.000
NH ₄ ⁺ [mg/l]	15 - 30	> 30 - 60	> 60 - 100
Mg ²⁺ [mg/l]	300 - 1.000	> 1.000 - 3.000	> 3.000
pH-Wert	6,5 - 5,5	< 5,5 - 4,5	< 4,5
CO _{2(aq)} [mg/l]	15 - 40	> 40 - 100	> 100

■ Chemischer Widerstand

ThermoCem Plus – Kalklösende Kohlensäure:

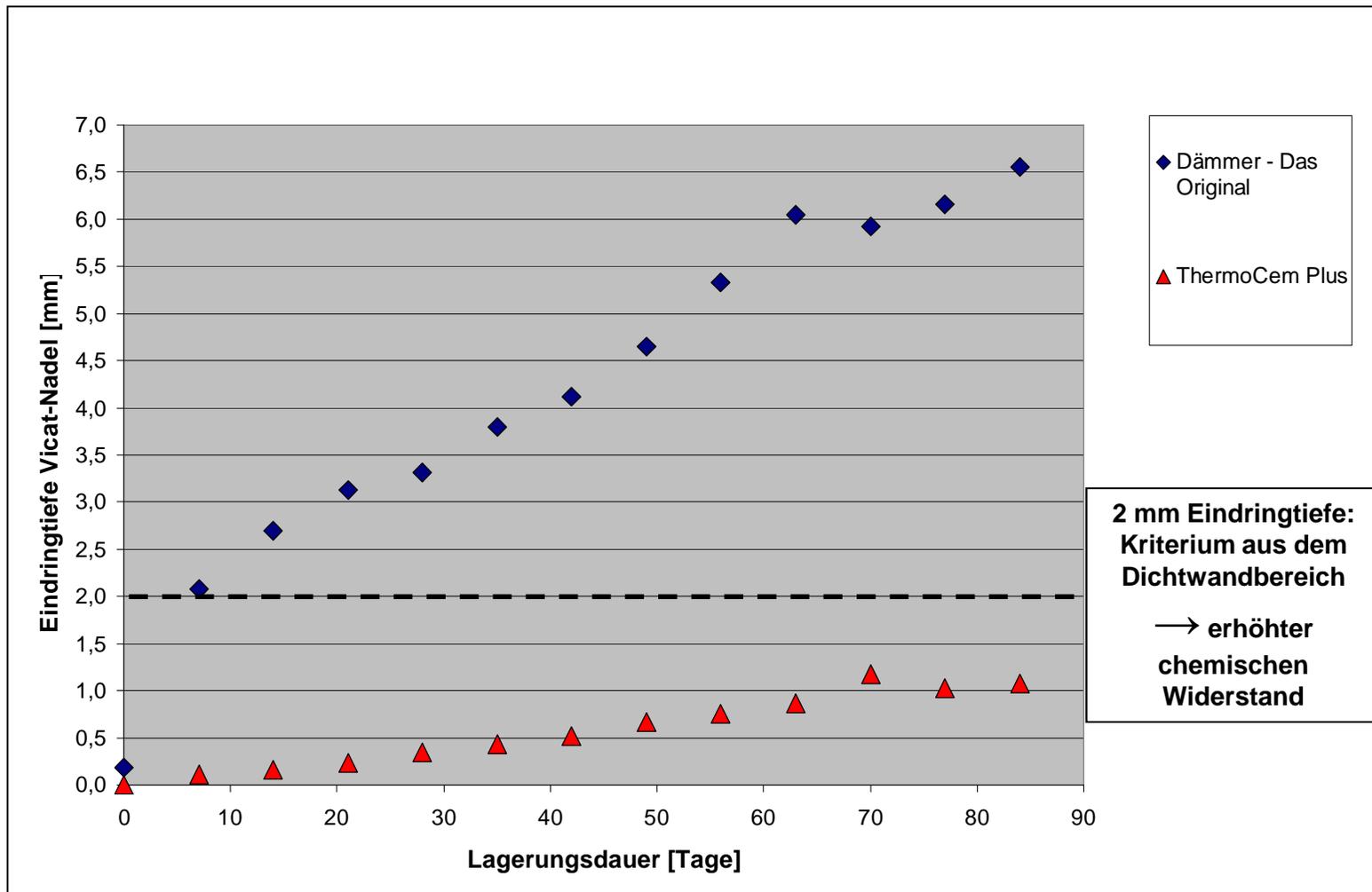


Quelle:
Wienberg 2004

Lagerungsversuch nach Wienberg

Chemischer Widerstand

Kalklösende Kohlensäure (ThermoCem Plus):



■ Chemischer Widerstand

Sulfat (ThermoCem basic):

- Durchführung von Lagerungsversuchen als Eimerlagerung (Volumenverhältnis Lagerungslösung / Prüfkörper 5:1) über 182 Tage
 - Sulfatkonzentration Lagerungslösung 3.500 mg/l (XA3)
 - Austausch der Lagerungslösung im 14tägigen Rhythmus
 - Alle 14 Tage visuelle Begutachtung sowie Bestimmung der Gewichtsänderung und der Längenänderung in Anlehnung an DIN 52450
 - Durchführung der Versuche bei 20°C und bei 10°C
- ➔ Unterschiedliche Bildungstemperaturen Ettringit/ Thaumasit

■ Chemischer Widerstand

Sulfat (ThermoCem basic):



Längenänderung nach 91 d: 0,01 mm/m

■ Anwendungstechnik

- Die technischen Kennwerte des verwendeten Baustoffes müssen das Anforderungsprofil erfüllen.
➔ Abfrage des technischen Merkblattes beim Hersteller.
- Die Angaben des technischen Merkblattes werden nur bei Einhaltung des vorgegebenen Wasser/Feststoff-Wertes erreicht.
➔ Regelmäßige Bestimmung der Suspensionsdichte während der Verfüllmaßnahme
(Stimmt die Dichte, dann stimmt der W/F-Wert!)

■ Anwendungstechnik

Bestimmung der Suspensionsdichte:



Spülungswaage



Waage + Litergefäß



Aräometer

■ Anwendungstechnik

- Die technischen Kennwerte des verwendeten Baustoffes müssen das Anforderungsprofil erfüllen.
➔ Abfrage des technischen Merkblattes beim Hersteller.
- Die Angaben des technischen Merkblattes werden nur bei Einhaltung des vorgegebenen Wasser/Feststoff-Wertes erreicht.
➔ Regelmäßige Bestimmung der Suspensionsdichte während der Verfüllmaßnahme
(Stimmt die Dichte, dann stimmt der W/F-Wert!)
- Das Mischaggregat sollte eine klumpenfreie Suspension erzeugen
- Verfüllung im Kontraktorverfahren (Verpressschlauch)
- Die Verfüllmaßnahme ist erst dann beendet, wenn die Dichte der austretenden Suspension der Suspensionsdichte im Mischer entspricht.

■ Zusammenfassung

Anforderungsprofil an Verfüllbaustoffe

- Hohe Fließfähigkeit (Auslaufzeit Marshtrichter: 40 – 100 s)
- Hohe Suspensionsstabilität (Wasserabsetzen < 3 Vol.%)
- Festigkeit ≥ 1 MPa (Erosionsstabilität, Schutz vor Punktlasten)
- Abdichtwirkung; geringe Systemdurchlässigkeit

Zusammensetzung & Qualitätssicherung

- Baustoffrezeptur aus Zement- und Tonanteil sowie Zusatzstoffe und ggf. Zusatzmittel
- Sicherstellung konstanter Baustoffqualität durch Überwachung + Kontrollmessungen in allen Produktionsschritten

Vorbereitung & Durchführung Verfüllmaßnahme

- Technisches Merkblatt des Baustoffes muss vorliegen
- Nachweis der Umweltverträglichkeit durch Hygienezeugnis
- Bei Verdacht auf baustoffaggressives Grundwasser
➡ Rücksprache mit dem Baustoffhersteller
- Überprüfung des W/F-Wertes durch Bestimmung der Suspensionsdichte



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit !

Weitere Informationen unter www.heidelbergcement.de/geotechnik

