

ThermoCem®

**Natürlich gut –
der Trockenbaustoff mit
überragender Wärmeleitfähigkeit**

[heidelbergmaterials.de](https://www.heidelbergmaterials.de)



**Heidelberg
Materials**

Inhalt

1.	Produktbeschreibung	03
2.	Erreichbarkeit von Wärmeleitfähigkeiten	04
3.	Suspensionseigenschaften	06
3.1	Marshzeit	06
3.2	Wasserabsetzen	07
4.	Verarbeitungshinweise	08
4.1	Wasserzugabe	08
4.2	Qualitätssicherung auf der Baustelle	09
4.3	Veränderung des W/F-Wertes	09
5.	Maschinentechnik	10
5.1	Mischverfahren	11
6.	Verfüllung der Bohrung	12
6.1	Verfüllvorgang im Kontraktorverfahren	12
6.2	Beendigung des Verfüllvorganges	13
7.	Festigkeits- und Hydratationswärmeentwicklung	14
7.1	Abbindeprozess	14
7.2	Früh- und Endfestigkeitsentwicklung	15
8.	Bohrlochwiderstand	16
9.	Chemischer Widerstand gegenüber aggressivem Grundwasser	17
9.1	Einstufung des Angriffsgrades	17
9.2	Widerstand gegen Sulfat und kalklösende Kohlensäure	18
10.	Frost-Tau-Widerstand	20
11.	Geophysikalischer Nachweis der Ringraumverfüllung	22





1. Produktbeschreibung ThermoCem® PLUS

Optimal für nahezu jede Anforderung

- ThermoCem® PLUS ist rein pulverförmig.
- ThermoCem® PLUS enthält keine Quarzsande und verhält sich gegenüber Mischer/Pumpe nicht abrasiv.
- ThermoCem® PLUS ist ein Fertigprodukt und nach Zugabe der vorgegebenen Wassermenge einsatzfähig.
- ThermoCem® PLUS enthält u. a. quellfähige Tonminerale.
- ThermoCem® PLUS enthält ein spezielles Bindemittel, das einen sehr hohen Widerstand gegenüber betonaggressiven Wässern (z. B. Sulfate, kalklösende Kohlensäure) aufweist.
- ThermoCem® PLUS unterliegt einer internen sowie externen Qualitätsüberwachung, daher ist eine gleichbleibend hohe Qualität gesichert.
- ThermoCem® PLUS besteht aus ausgesuchten Rohstoffen und ist daher in Bezug auf die Wasserhygiene für den Einsatz in Wasserschutzzonen geeignet.

2. Erreichbarkeit von Wärmeleitfähigkeiten

Zielsicher die richtige Wärmeleitfähigkeit erreichen

Um die Wärmeleitfähigkeit eines Baustoffes zu erhöhen, sind verschiedene Möglichkeiten gegeben. Eine Basis wäre z. B. das Zugeben von abgestuften Quarzsanden, also Zuschlägen. Um hier annähernd eine Wärmeleitfähigkeit von 2,0 zielsicher zu erreichen, ist ein relativ hoher Massenanteil erforderlich. Anders bei unserem ThermoCem PLUS. Wir bedienen uns eines speziellen Zusatzstoffes, um die Wärmeleitfähigkeit (λ) von $\approx 2,0 \text{ W}/(\text{m}^*\text{K})$ sicher zu erreichen. Bedarfsmenge und Rheologie sind dabei auf den Anwendungsfall abgestimmt.

Die Wärmeleitfähigkeit der ThermoCem®-Produktfamilie





3. Suspensionseigenschaften

**Gute Verarbeitungseigenschaft,
hohlraumfreie Verfüllung,
gute Anbindung an Sonde und Erdreich**

3.1 Marshzeit

Sie dient der Einschätzung der Viskosität bzw. Verarbeitungseigenschaft einer Suspension. Messgröße ist die Zeit, die ein Liter Suspension benötigt, um aus dem Trichter (Trichterinhalt ca. 1,5 l) mit einem Auslaufdurchmesser von ca. 5 mm zu fließen.

Richtwerte für Marshzeiten

- Wasser: ca. 28 Sekunden
- Marshzeiten von 40–100 Sekunden sind in der Regel gut verarbeitbar

Durch die im ThermoCem enthaltenen Tonkomponenten stellt sich nach einiger Zeit eine Tixotropie in der Suspension ein. D. h., dass die Tonminerale den freien Wasseranteil in der Suspension wie ein Schwamm aufnehmen. Dadurch wird die Suspension schrittweise im Ruhezustand „steifer“. Vorteilhaft gerade bei vertikalen Verfüllungen in den Untergrund.



Beginnende Tixotropie



Tixotropieeffekt nach Ruhezustand

Ermittlung der Marshzeit nach dem Anmischen



Rezepteinhaltung, Stabilisierung durch Tonminerale, Abstimmung des Mischers auf den Baustoff

3.2 Wasserabsetzen

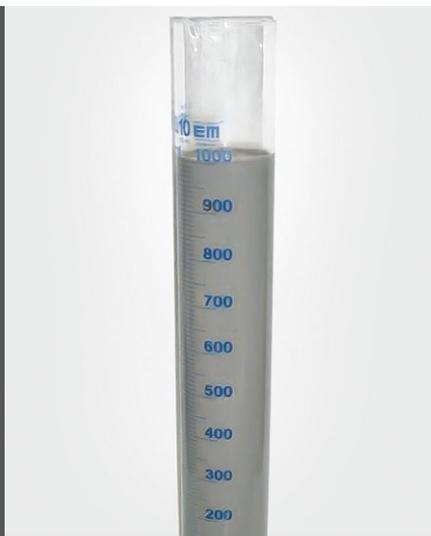
Das Wasserabsetzen dient als Maßstab der Stabilität einer Suspension. Je höher das Wasserabsetzen ist, umso instabiler ist die Suspension. Der Grenzwert bei einer gut zu verarbeitenden Konsistenz sollte bei 1 bis max. 2 % liegen.

Mögliche Ursachen für hohes Wasserabsetzen

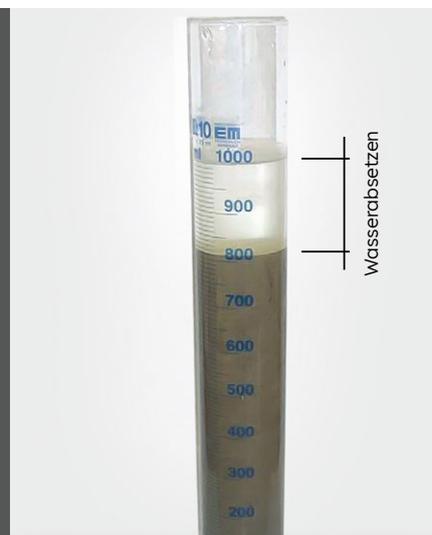
- nicht aufeinander abgestimmte Inhaltsstoffe
- zu hoher W/F-Wert
- nicht ausreichende Aufbereitungsintensität
- nicht ausreichende Aufbereitungszeit

Mögliche Folgen aus hohem Wasserabsetzen

- Suspensionsverlust der Füllsäule in der Bohrung
- Abriss der Füllsäule und Fehlstellen im Bohrloch
- Erhöhte Sedimentation möglicher Zuschlagsstoffe



Ermittlung des Wasserabsetzens von ThermoCem PLUS bei W/F-Wert 0,8.



Ermittlung des Wasserabsetzens einer Zementsuspension bei W/Z-Wert 0,8.



4. Verarbeitungshinweise

Die perfekte Mischung für eine homogene Ringraumverfüllung

4.1 Wasserzugabe

ThermoCem PLUS ist ein Fertigprodukt, dem auf der Baustelle nur noch Wasser zugegeben werden muss. Technische Eigenschaften die wir für unseren ThermoCem PLUS angeben, können nur dann erreicht werden, wenn der Baustoff mit der dafür vorgegebenen Wassermenge angemischt wird.

Der somit wichtigste Faktor beim Anmischen ist der sog. Wasser-/Feststoffwert (W/F-Wert). Er ist der Massequotient aus der benötigten Wasser- und Baustoffmenge. Der W/F-Wert wird durch unser Rezept festgelegt. Wird der ThermoCem mit einem Chargenmischer angemischt, ist auf die Füllmenge pro Charge zu achten. Die Rezeptierung sollte auf ca. 85 % des Mischervolumens ausgelegt sein. Dadurch kann ein „Überschwappen“ der Suspension vermieden werden.

Beispiel: Nutzvolumen Mischer 150 l x 0,85 = 127,5 l

Die Baustoffzugabe wird günstigerweise immer auf ganze Säcke abgestimmt, da Teilmengen eher schwer abzuschätzen sind. Für dieses Beispiel ergibt sich die Zugabe wie folgt:

Zuerst 80 Liter Wasser vorlegen und dann 4 Sack ThermoCem zugeben -> das ergibt ca. 120 Liter Suspension.

Mischtabelle ThermoCem® PLUS bei W/F-Wert 0,8

Anzahl Sack	Menge ThermoCem® PLUS	Zugabemenge Wasser	Suspensionsmenge
[Stck.]	[kg]	[l]	[l]
1	25	20	30
2	50	40	60
3	75	60	90
4	100	80	120
5	125	100	150
6	150	120	180

Um 1.000 Liter Hohlraum zu füllen, werden:

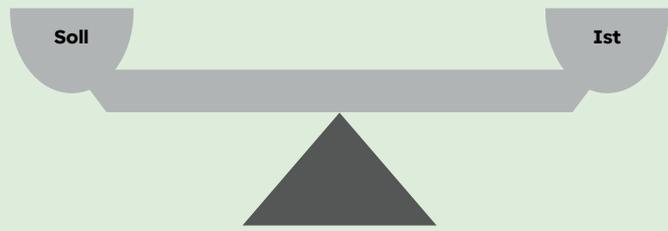
839 kg ThermoCem PLUS und 671 Liter Wasser für ca. 1.510 kg/m³ Suspensionsdichte benötigt.

Mit dem W/F-Wert lässt sich dann auch der Wasserbedarf pro 25 kg-Sack ermitteln: **25 kg ThermoCem PLUS x 0,8 = 20 Liter Wasser.**

Die daraus resultierende Ergiebigkeit pro 25 kg Sack ThermoCem PLUS liegt bei ca. 30 Liter.



© Steffen Fuchs



4.2 Qualitätssicherung auf der Baustelle

Als Maßstab für das richtige Mischungsverhältnis dient alleine die Suspensionsdichte. Regelmäßige Kontrolle während des Verfüllvorganges ist unabdingbar, um die Einbauqualität sicherzustellen. Die DVGW Studie (2003) „Untersuchungen zur Bestimmung von Qualitätskriterien

im Brunnenbau“ hat gezeigt, dass es zusätzlich sinnvoll ist, auch die Suspensionsdichte am Mischer mit der am Bohrloch austretenden Suspension zu vergleichen. Stimmen beide Dichten überein, ist davon auszugehen, dass der Hohlraum homogen verfüllt ist.

Folgende Verfahren der Dichtemessung auf der Baustelle sind üblich:



Dichtebestimmung mit dem Aräometer



Dichtebestimmung mit der Spülungswaage



Dichtebestimmung mit einer Haushaltswaage (5 kg) und einem definierten Litergefäß

4.3 Veränderung des W/F-Wertes

Aber was stellt sich ein, wenn der W/F-Wert verändert wird? Einen kleinen Überblick über die Veränderung der technischen Eigenschaften bei Nichteinhaltung des vorgegebenen Wasseranteils soll die folgende Tabelle geben:

Technische Eigenschaften	Wasseranteil erhöhen:	Wasseranteil verringern:
Viskosität	Verringerung der Viskosität	Erhöhung der Viskosität
Wasserabsetzen	Erhöhung des Wasserabsetzens	Verringerung des Wasserabsetzens
Wärmeleitfähigkeit	Verringerung der WLF	Erhöhung der WLF
Festigkeiten	Verringerung der Festigkeiten	Erhöhung der Festigkeiten
Widerstand gg. Frost-Tau	Geringerer Widerstand	Verbesserter Widerstand
Wasserdurchlässigkeit	Erhöhung der Wasserdurchlässigkeit	Verringerung der Wasserdurchlässigkeit
Baustoffbedarf	Verringerung des Baustoffverbrauches	Erhöhung des Baustoffverbrauches

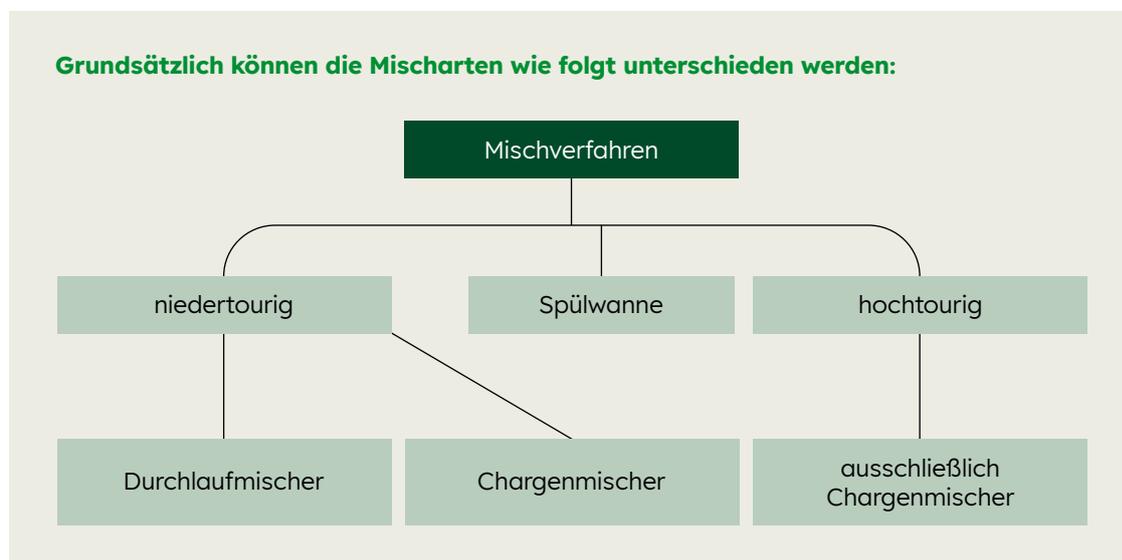


5. Maschinentechnik

Optimales Anmischen für stabile und leistungsstarke ThermoCem®-Suspensionen

Die Qualität der zu verarbeitenden Suspension zeigt sich nicht allein in der gezielten Auswahl der Einzelkomponenten. Genannte Eigenschaften können nur mit dem dafür abgestimmten Mischverfahren erreicht und gar verbessert werden.

Grundsätzlich können die Mischarten wie folgt unterschieden werden:





5.1 Mischverfahren

Niedertourige Mischer sind hauptsächlich für den gemischtkörnigen Bereich konzipiert, in denen pumpfähige Konsistenzen angemischt bzw. gepumpt werden. Oftmals werden Durchlaufmischsysteme für Geothermiebaustellen verwendet. Je nach Fabrikat kann die Qualität der angemischten ThermoCem-Suspension ausreichend sein. Jedoch ist bei Anschaffung einer neuen Maschine eine Eignungsprüfung zu empfehlen.

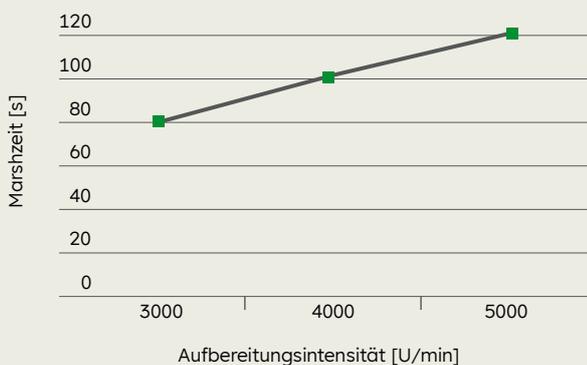
Kolloidalmischer dagegen arbeiten mit sehr hohen Scherkräften und Turbulenzen. So dispergierte ThermoCem PLUS-Suspensionen erreichen einen optimalen Aufschluss.

Der weitere Vorteil ist, dass Kolloidalmischer immer Chargenmischer sind. D. h. der Anwender ist immer in der Lage, Mischung für Mischung den W/F-Wert nahezu exakt einzuhalten.

Zusätzlich ist die Suspension visuell begutachtbar. Müssen Suspensionen aufgrund geologischer Gegebenheiten (Klüfte, Porenräume) viskoser eingestellt werden, ist dies nicht allein über die Reduzierung des W/F-Wertes (gleichbedeutend mit Mehrbedarf an Baustoff) einstellbar, sondern in diesem Fall auch über die Mischdauer im Kolloidalmischer.

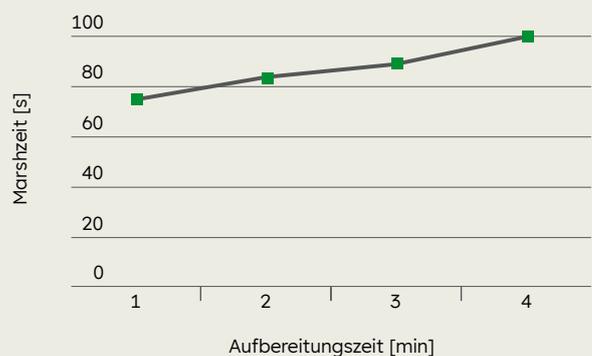
Viskosität ThermoCem® PLUS in Abhängigkeit von der Aufbereitungsintensität

(Aufbereitungsdauer: 2 min.)



Viskosität ThermoCem® PLUS in Abhängigkeit von der Aufbereitungsdauer

(Aufbereitungsintensität: 1250 min⁻¹)



Als Sonderform eines „Mischers“ darf die klassische Spülwanne nicht unerwähnt bleiben. Je nach Konzeption von Wannengröße und Schneckenpumpe für die Umwälzung erzielt man gute bis sehr gute Mischergebnisse. Der Vorteil liegt in der Dauer der Aufbereitung.

Durch den Zeitaufwand, der notwendig ist, um eine Mischung in der Wanne anzusetzen, wird die ThermoCem PLUS-Suspension gut durchgemischt. Anhand der erreichten Viskosität und Suspensionsdichte lassen sich geothermische Bohrungen qualitativ gut mit ThermoCem PLUS verfüllen. Ausreichende Suspensionsmenge (z. B. 1000 l) in Kombination mit einer sehr hohen Pumprate sind vorteilhaft für die Verdrängung einer eventuell vorhandenen Bohrspülung.

6. Verfüllung der Bohrung

Vollständige und volumenbeständige Bohrlochverpressung mit ThermoCem®

6.1 Verfüllvorgang im Kontraktorverfahren

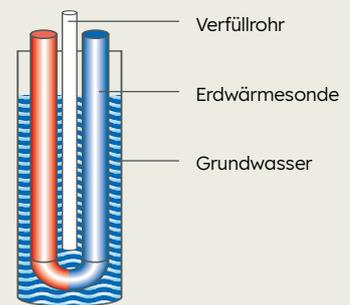
Grundsätzlich ist die Verfüllung einer geothermischen Bohrung im Kontraktorverfahren durchzuführen. Dies bedeutet, dass ein zusätzlicher Verfüllschlauch, der am Sondenfuß angebracht ist, oder ein Verpressgestänge, das bis zum Bohrlochtieftsten abgelassen wird, Ausgangspunkt für die Verfüllung sein muss.

Die nun im Schutze der eigenen Suspension folgende Verfüllung ist Voraussetzung für

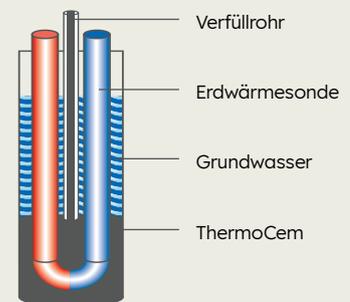
- Das kontrollierte Verdrängen einer evtl. vorhandenen Bohrspülung
- Das Verhindern von Entmischungen der Suspension
- Das hohlraumfreie Verfüllen

Bei Missachtung dieser Vorgehensweise kommt es beim Baustoff zu einer Entmischung. D. h. das „Fallen“ der Suspension durch das im Bohrloch stehende Wasser oder Spülgemisch bringt zwangsläufig einen Verdünnungseffekt. Der Wasseranteil in der Suspension erhöht sich und kann soweit ansteigen, dass teilweise die Erhärtung ausbleibt.

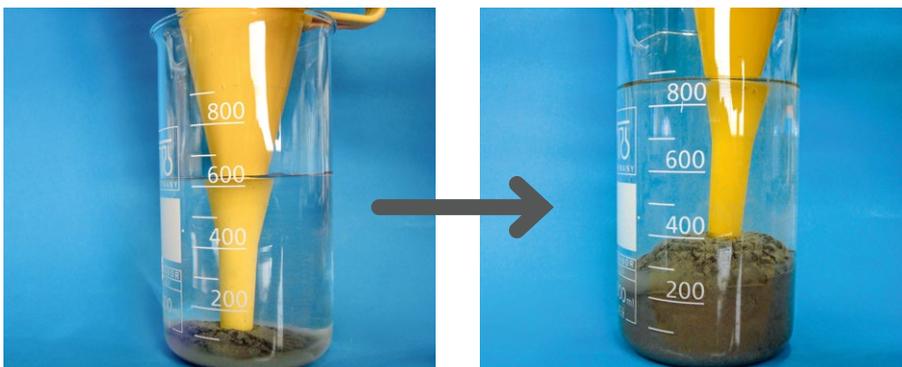
01 Vor dem Verfüllvorgang



02 Während des Verfüllvorgangs



Anwendungsbeispiele:



Kontraktorverfahren; homogene Suspension.



„Fallen“ durch das Wasser = Entmischung.



6.2 Beendigung des Verfüllvorganges

Während des Verfüllvorganges ist das Mischungsverhältnis anhand der Suspensionsdichte regelmäßig zu kontrollieren.



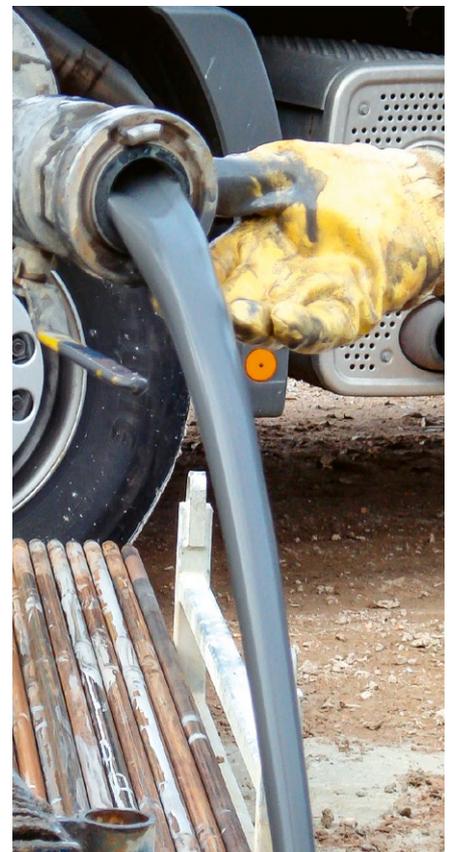
Die DVGW Studie (2003) „Untersuchungen zur Bestimmung von Qualitätskriterien im Brunnenbau“ hat gezeigt, dass es gerade bei Spülbohrungen sinnvoll ist, die Suspensionsdichte am Mischer mit der Dichte der am Bohrlochmund austretenden Suspension zu vergleichen. Stimmen beide Dichten überein, ist davon auszugehen, dass die Bohrspülung komplett verdrängt wurde.



Überlauf des im Bohrloch verdrängten Wassers.



Überlauf der Mischzone Wasser/ThermoCem.



Überlauf reiner ThermoCem-Suspension.

7. Festigkeits- und Hydratationswärmeentwicklung

Erosionsbeständigkeit, Responsetest, sichere Bettung der Sonden

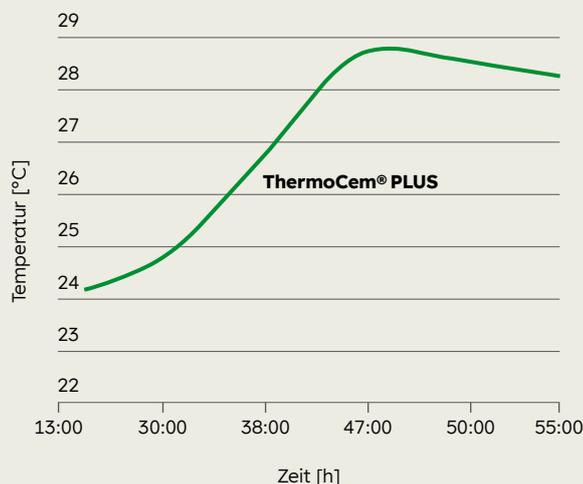
7.1 Abbindeprozess

Nach dem Anmischen des ThermoCem mit Wasser erhalten Sie eine gut zu verarbeitende Suspension. Durch die im ThermoCem enthaltenen Tonminerale stellt sich beim Stillstand der Suspension ein Tixotropieeffekt ein. Erst eine Weile danach beginnt der eigentliche Erstarrungsprozess. D.h. auf der Oberfläche der Bindemittelpartikel bilden sich Kristalle.

Überbrücken diese Kristalle die Partikelzwischenräume, kommt es zum Erstarren und anschließendem Erhärten der Baustoffsuspension. Diese Hydratation ist eine exotherme Reaktion, d. h. beim Abbindeprozess entsteht Wärme (Hydratationswärme).

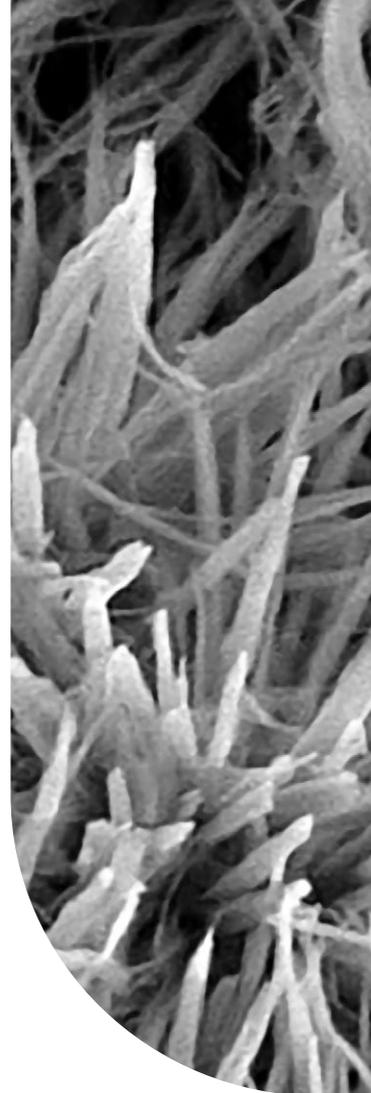
Suspensionsphase (flüssig) → **Tixotrope Phase** (gelieren) → **Erstarrung** (fest) → **Erhärtung** (fest)

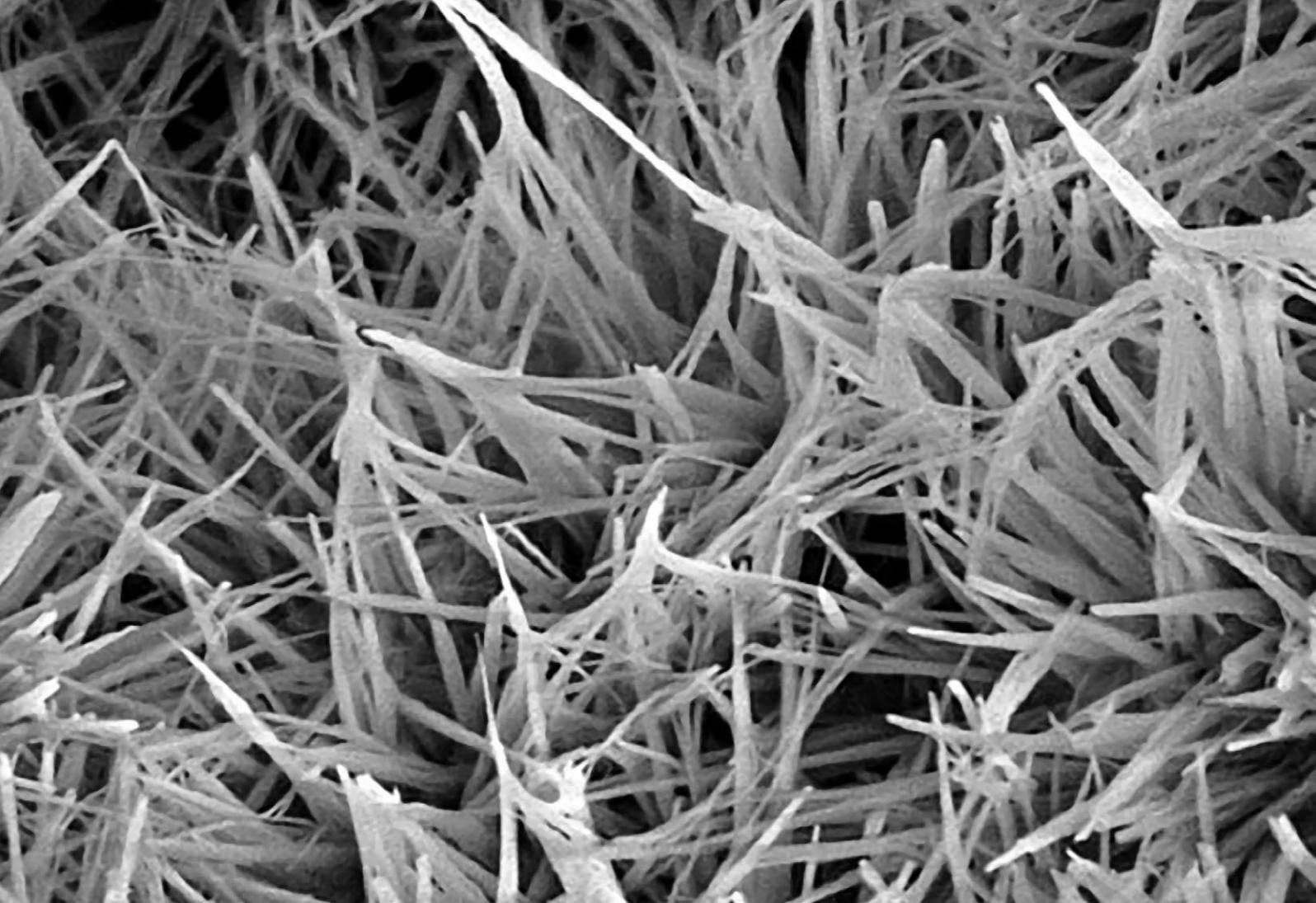
Temperaturentwicklung in einem ThermoCem®-Prüfkörper unter adiabatischen Bedingungen



Die Abschätzung der entstehenden Temperatur beim Abbindeprozess des ThermoCem erfolgt unter adiabatischen Bedingungen. Diese Messung greift den schlimmstmöglichen Fall ab.

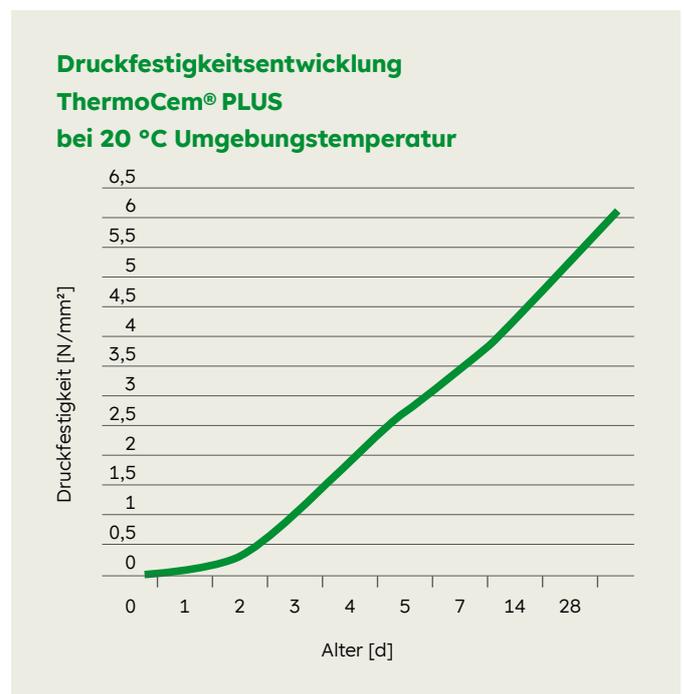
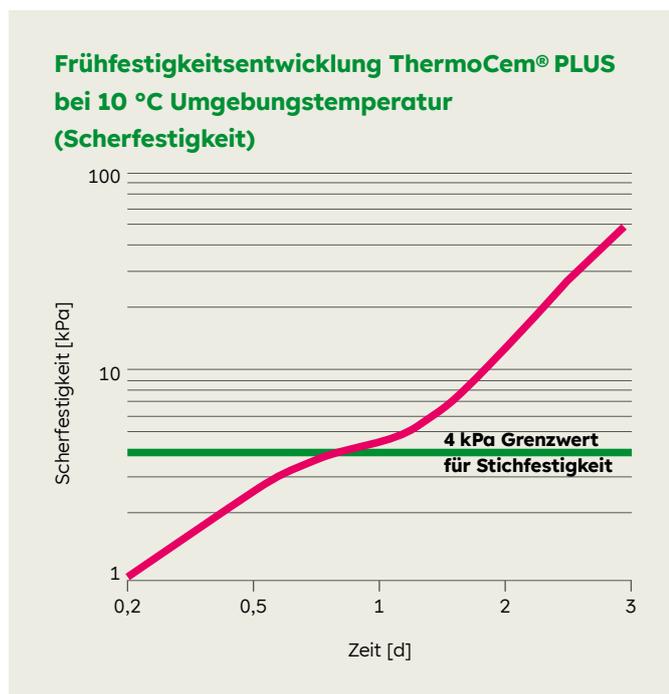
Anhand des Laborergebnisses lässt sich bei einer Starttemperatur von 24 °C eine maximale Temperaturerhöhung von 5 °C festhalten. Im Bohrloch ist dieser Temperaturanstieg nicht zu erwarten, da die Umgebungsverhältnisse andere sind. D.h. die Starttemperatur liegt in der Regel niedriger und die entstehende Wärme kann in das umliegende Erdreich abfließen.





7.2 Früh- und Endfestigkeitsentwicklung

Die Festigkeitsentwicklung des ThermoCem ist maßgeblich von der Umgebungstemperatur abhängig. Generell gilt, je kälter die Umgebungstemperatur ist, umso langsamer ist die Festigkeitsentwicklung.



8. Bohrlochwiderstand

Systemsicherheit, Wärmeübergang und Optimierung

Der Wärmetransport bei EWS von der Wärmeträgerflüssigkeit an den Untergrund und umgekehrt hängt von der Geometrie des Bohrloches, dem Einbau der Sondenrohre im Bohrloch sowie den Eigenschaften der verwendeten Materialien ab. Um Wärme übertragen zu können, ist als treibende Kraft ein ausreichendes Temperaturgefälle notwendig. Bei der Wärmeübertragung durch Wärmeleitung ist die thermische Leitfähigkeit bestimmend. Je größer diese ist, desto geringer muss das Temperaturgefälle sein.

Demnach ist der sich einstellende Gesamtwiderstand von folgenden beeinflussbaren Faktoren abhängig:

- Thermische Leitfähigkeit des Verfüllmaterials
- Sondenmaterial
- Schenkelabstand der Sonden
- Bohrlochgeometrie

Dieser Gesamtwiderstand wird auch als Bohrlochwiderstand R_b bezeichnet. In einer rein analytischen Betrachtung bezieht er sich auf einen Punkt in einer beliebigen Tiefe. Mit einem Thermal Response Test kann der effektive Bohrlochwiderstand R_b^* über die gesamte Bohrlochlänge ermittelt werden.

Der Bohrlochwiderstand bestimmt das erforderliche Temperaturgefälle zum Übertragen einer bestimmten Leistung.

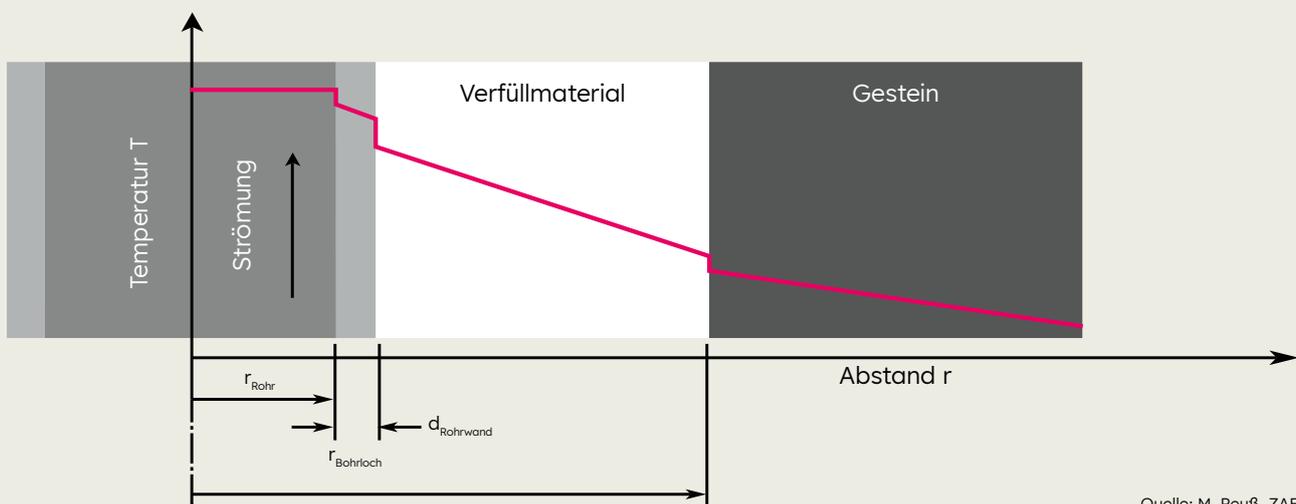
Beispiel:

- Entzugsleistung: 50 W/m
- Bohrlochwiderstand R_b^* (Wärmeleitfähigkeit Verfüllmaterial $\lambda \approx 0,8 \text{ W/(mK)} = 0,12 \text{ K/(W/m)}$)
- Bohrlochwiderstand R_b^* (Wärmeleitfähigkeit ThermoCem PLUS $\lambda \approx 2,0 \text{ W/(mK)} = 0,07 \text{ K/(W/m)}$)
- $50 \text{ W/m} \times 0,12 \text{ K/(W/m)} = 6 \text{ K}$
- $50 \text{ W/m} \times 0,07 \text{ K/(W/m)} = 3,5 \text{ K}$

In dem hier aufgeführten Beispiel ist der Temperaturverlust zwischen Wärmeträgermedium und Gestein bei einem mit ThermoCem verfülltem Bohrloch um ca. 2,5 K geringer als die Verfüllung mit einem Standardmaterial. Je nach Betrachtung, ob Heizen oder Kühlen, kann die Verbesserung des Bohrlochwiderstandes zur deutlichen Steigerung der Leistungsfähigkeit einer geothermischen Anlage beitragen.



Berechnung Bohrlochwiderstand



Quelle: M. Reuß, ZAE

9. Chemischer Widerstand gegenüber aggressivem Grundwasser

Dauerhaftigkeit, Widerstand und betonaggressives Grundwasser

9.1 Einstufung des Angriffsgrades

Eine sichere Trennung verschiedener Grundwasser-Stockwerke und eine kraftschlüssige Stabilisierung des Ringraumes kann langfristig nur dann erreicht werden, wenn der verwendete Verfüllbaustoff einen ausreichenden chemischen Widerstand gegenüber vor Ort anstehenden Wässern aufweist. Im Fall von zementgebundenen Verfüllbaustoffen kann die Stärke eines chemischen Angriffes behelfsweise mit Hilfe von DIN EN 206 abgeschätzt werden.

Diese Norm gibt als betonaggressiv einzustufende Wasserinhaltsstoffe und pH-Werte an. Für jeden betonaggressiven Wasserinhaltsstoff sind Konzentrationsbereiche definiert, die denen der Expositionsklassen XA1 (schwacher Angriff), XA2 (mäßiger Angriff) oder XA3 (starker Angriff), entsprechen.

Die höchste Expositionsklasse, die bei der Betrachtung aller Einzelschadstoffe auftritt, bestimmt die Gesamtbeurteilung. Liegt ein chemischer Angriff vor, so ist dies bei der Auswahl des Verfüllbaustoffes zu berücksichtigen.

Wir weisen darauf hin, dass die ggf. vorhandene Baustoffaggressivität eines vor Ort anstehenden Grundwassers stets projektspezifisch durch eine entsprechende Wasseranalyse zu prüfen ist. Zur Beurteilung des Angriffspotenzials des Grundwassers sollten im Rahmen der Analyse mindestens der pH-Wert, die elektrische Leitfähigkeit sowie die Konzentrationen der nach DIN EN 206 als betonaggressiv einzustufenden Wasserinhaltsstoffe Sulfat, Magnesium, Ammonium und kalklösende Kohlensäure bestimmt werden.

Betonaggressive Wasserinhaltsstoffe

Grenzwerte der Expositionsklassen nach DIN EN 206. Quelle: DIN

Expositionsklasse	XA1	XA2	XA3
Wasserinhaltsstoff	schwach angreifend	mäßig angreifend	stark angreifend
SO ₄ ²⁻ [mg/l]	200-600	> 600-3000	> 3000-6000
NH ₄ ⁺ [mg/l]	15-30	> 30-60	> 60-100
Mg ²⁺ [mg/l]	300-1000	> 1000-3000	> 3000 bis zur Sättigung
pH-Wert	6,5-5,5	< 5,5-4,5	< 4,5 und ≥ 4,0
CO ₂ (aq) [mg/l]	15-40	> 40-100	> 100 bis zur Sättigung



9.2 Widerstand gegen Sulfat und kalklösende Kohlensäure

Um eine hohe chemische Resistenz von ThermoCem PLUS gegenüber sulfathaltigen Wässern zu erreichen, kommt in dieses Produkt ausschließlich ein Zement mit hohem Sulfatwiderstand nach DIN 1164 zum Einsatz. Darüber hinaus ist die Rezeptur dieses Baustoffes so konzipiert, dass er im Vergleich zu einem Standardverfüllbaustoff (z. B. Dämmert – Das Original) einen deutlich erhöhten chemischen Widerstand gegen saure Angriffe (z. B. kalklösende Kohlensäure) aufweist.

Der chemische Widerstand von ThermoCem PLUS gegenüber einem Kohlensäureangriff wurde in unseren Labors in umfangreichen Versuchsserien untersucht. Kern dieser Untersuchungen waren Lagerungsversuche, bei denen die eingelagerten Baustoffkörper über 90 Tage mit kohlensäurehaltigem Wasser umströmt und die Oberflächenaufweichung der Prüfkörper dokumentiert wurde. Die Messung der Oberflächenaufweichung erfolgte über die Eindringtiefe der Vicat-Nadel nach DIN EN 196-3.

Die Kohlensäurekonzentration des Lagerungswassers betrug 100 mg pro Liter und entspricht somit der Expositionsstufe XA3 (starker chemischer Angriff). Die permanente Umströmung der Prüfkörper mit frischem kohlensäurehaltigem Wasser simuliert ein „Worst-case“-Szenario.

Im Vergleich zur Situation bei einer realen Baumaßnahme wird im Lagerungsversuch demnach eine beschleunigte Aufweichung des Baustoffes provoziert und somit ein Zeitraffereffekt erzeugt. Dies ermöglicht es, trotz der begrenzten Versuchsdauer eine Abschätzung des Schadstoffeinflusses über einen längeren Zeitraum vorzunehmen.

Auch unter diesen extremen Versuchsbedingungen zeigt ThermoCem PLUS nur eine geringfügige Oberflächenaufweichung.

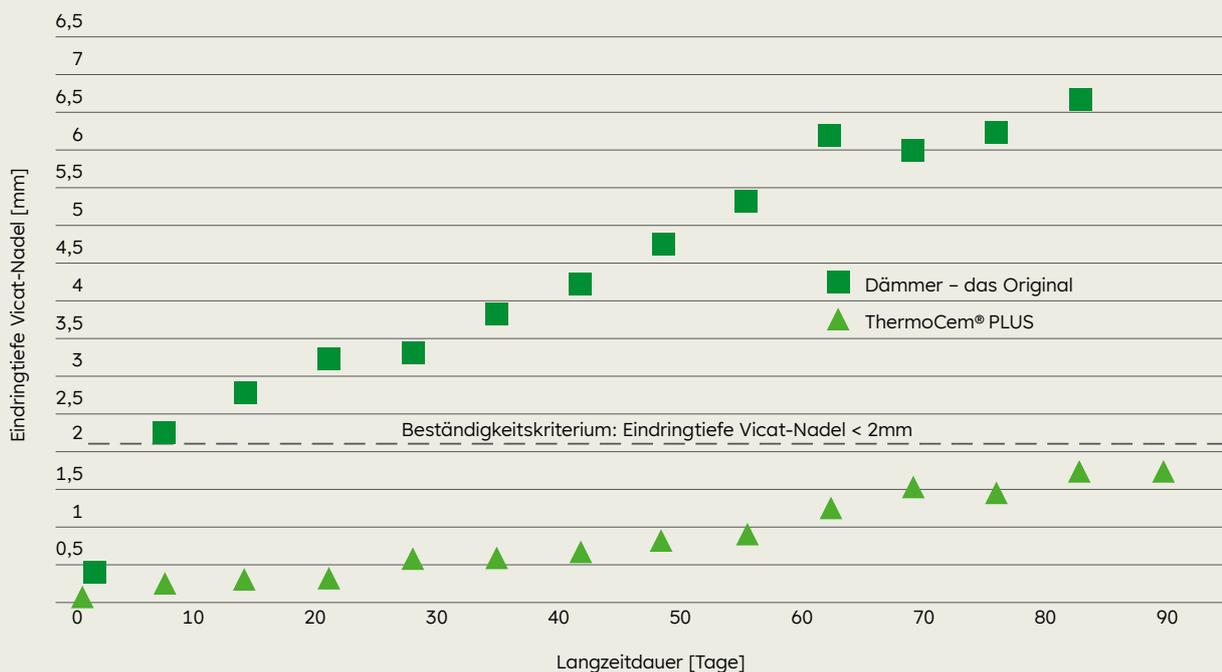


ThermoCem PLUS erfüllt das aus dem Dichtwandbereich bekannte Beständigkeitskriterium einer Nadeleindringtiefe von < 2 mm nach 90 Tagen Lagerungsdauer.

Die Oberflächenaufweichung eines Standardverfüllbaustoffes (Dämmen - Das Original) überschreitet dieses Beständigkeitskriterium hingegen um mehr als das Dreifache.

Chemischer Widerstand gegen kalklösende Kohlensäure

Zeitliche Entwicklung der Oberflächenaufweichung. Kohlensäurekonzentration des Lagerungswassers 100 mg/l (Expositionsklasse XA3, starker chemischer Angriff).



10. Frost-Tau-Widerstand von ThermoCem® PLUS und ThermoCem® Basic

Sicheres Verfüllen ohne Gefügeschäden und Beeinträchtigung der Abdichtwirkung

Wird dem Untergrund durch die Erdwärmesonde mehr Wärme entzogen als nachfließen kann (z. B. fehlerhaft bemessene Anlage oder veränderte Nutzungsbedingungen), kommt es zu einer zunehmenden Abkühlung und ggf. zu einem Gefrieren der unmittelbaren Umgebung um die Sonde.

Treten derartige Betriebszustände aufgrund von temporär hohen Entzugsleistungen zur Abdeckung von Spitzenlasten mehrfach auf, so wird der die Sonde umgebende Verfüllbaustoff einer Frost-Tau-Belastung ausgesetzt. Bei Verfüllbaustoffen, die keinen ausreichend hohen Frost-Tau-Widerstand aufweisen, kommt es zur Bildung von Rissen und zum Auftreten von Gefügeschäden.

Bisher existieren keine verbindlichen Richtlinien, nach denen der Frost-Tau-Widerstand von Verfüllbaustoffen für Erdwärmesonden beurteilt werden kann.

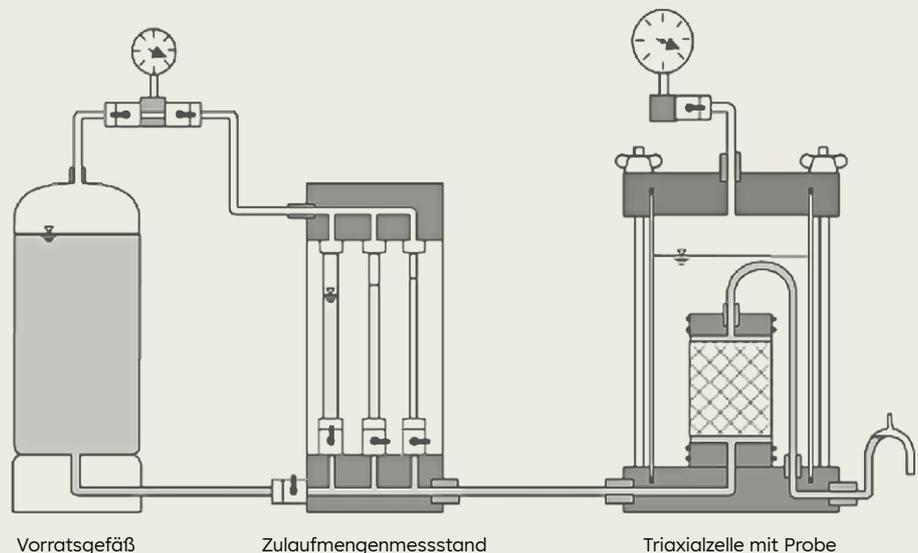
Daher haben wir einen Frost-Tau-Versuch entwickelt, der auf vergleichbaren Versuchen aus dem Betonbereich basiert und auf die speziellen Gegebenheiten bei Erdwärmesonden adaptiert wurde.

Bei diesem Frost-Tau-Versuch werden 28 Tage alte Baustoffzylinder (Höhe 100 mm; Durchmesser 100 mm) 10 Frost-Tau-Zyklen ausgesetzt.

Jeder Einzelzyklus entspricht dabei einem Temperaturprofil in Anlehnung an die österreichische Betonnorm B3303:

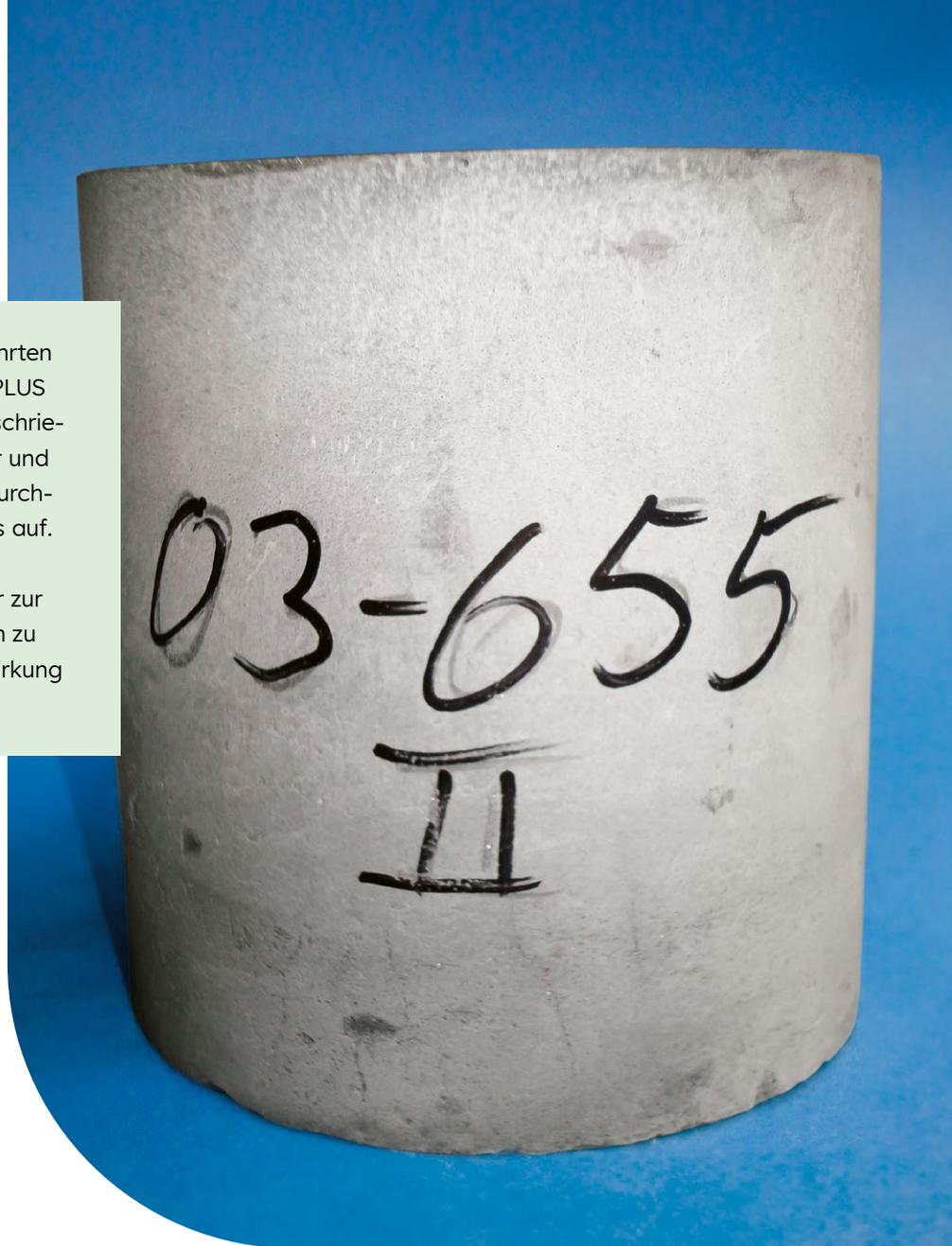
- 8 Stunden abkühlen von +10 °C auf -10 °C
- 4 Stunden konstant -10 °C
- 8 Stunden erwärmen von -10 °C auf +10 °C
- 4 Stunden konstant +10 °C

Triaxialzelle nach DIN 18130 (aus Horst 1997)



Bei den in unseren Labors durchgeführten Versuchsserien wiesen ThermoCem PLUS und ThermoCem Basic unter den beschriebenen scharfen Prüfbedingungen vor und nach dem Frost-Tau-Versuch einen Durchlässigkeitsbeiwert von $\leq 1 \cdot 10^{-10}$ m/s auf.

Die Frost-Tau-Belastung führte weder zur Ausbildung von Gefügeschäden noch zu einer Beeinträchtigung der Abdichtwirkung der Baustoffe.



ThermoCem PLUS nach 10 Frost-Tau-Zyklen; permanente Wasserlagerung.



ThermoCem Basic nach 10 Frost-Tau-Zyklen; permanente Wasserlagerung.

Die Prüfkörper werden verdunstungsgeschützt gelagert. Die Prüfkörperunterseite befindet sich dabei permanent in einem Wasserbad. Durch den Wasserkontakt wird der Zutritt von Grundwasser in den vom Frost-Tau-Wechsel betroffenen Bereich um die Erdwärmesonde simuliert.

Als Prüfkriterium wird der Durchlässigkeitsbeiwert (kf-Wert) der befestigten Prüfkörper verwendet. Der Durchlässigkeitsbeiwert des Baustoffkörpers wird dabei vor und nach dem Frost-Tau-Versuch in einer Triaxialzelle nach DIN 18130 mit einem hydraulischen Gradienten von $i = 30$ bestimmt.

Ein Verfüllbaustoff kann seine Abdichtungsfunktion nur dann dauerhaft erfüllen, wenn er vor und nach dem Frost-Tau-Versuch eine geringe Durchlässigkeit aufweist.

11. Geophysikalischer Nachweis der Ringraumverfüllung

Vollständige Ringraumverfüllung für den Bau von Erdwärmesonde

Verfüllkontrolle mit magnetisch dotiertem ThermoCem® PLUS

Die weiterentwickelten Qualitätsrichtlinien für den Bau von Erdwärmesonden fordern den Nachweis einer vollständigen Ringraumverfüllung.

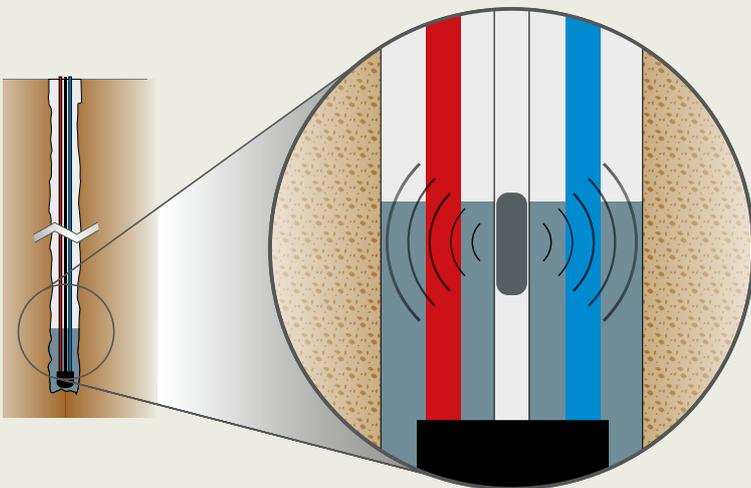
Eine Möglichkeit ist der Nachweis mit Hilfe geophysikalischer Methoden. Beispielsweise können magnetisch dotierte Verfüllbaustoffe durch den Einsatz von Magnetometersonden eindeutig nachgewiesen werden. Die Miniaturisierung dieser Messtechnik macht es möglich, mit kleinbauenden Magnetometern die Rohre gängiger Erdwärmesonden zur Tiefe hin zu befahren.

ThermoCem PLUS „dotiert“ ist ein magnetisch dotierter Verfüllbaustoff. Hierdurch lässt sich mit der beschriebenen Messtechnik das Vorhandensein oder Nichtvorhandensein des Verfüllbaustoffes im Ringraum über die Messung der magnetischen Suszeptibilität eindeutig nachweisen.

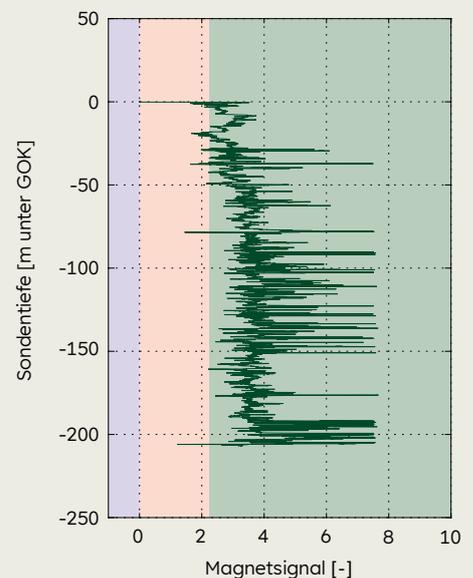
Die Verwendung von ThermoCem PLUS „dotiert“ ermöglicht neben der Messung des Anstiegs der Suspensionssäule während der Ringraumverfüllung auch wiederholende Messungen zu einem späteren Zeitpunkt.

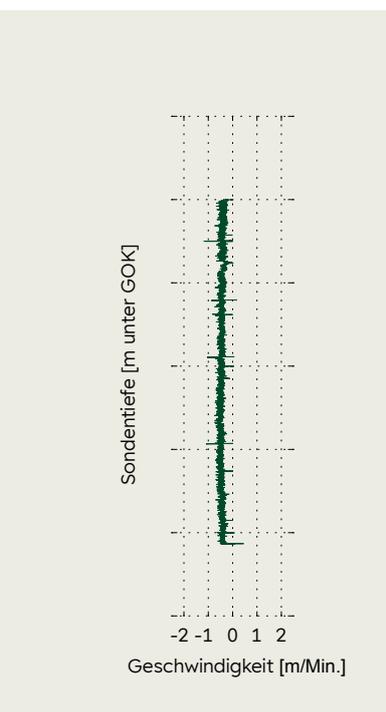


Nachweis der Ringraumverfüllung



Beispielhafte Messwertdarstellung





Sensor, Inkrementalgeber, Datenerfassung und Stromversorgung auf Kabeltrommel. SENSYS GmbH



Messsonde. SENSYS GmbH



Wir weisen ausdrücklich darauf hin, dass das Erreichen erwähnter Eigenschaften eine geeignete Herstellung und Verarbeitung des Baustoffes sowie eine sachgerechte, nach dem Stand der Technik durchzuführende Vorbereitung auf der Baustelle voraussetzt.