

Feuerfeste Aluminiumoxid-Schäume für den Einsatz in Wasserstofftechnologien



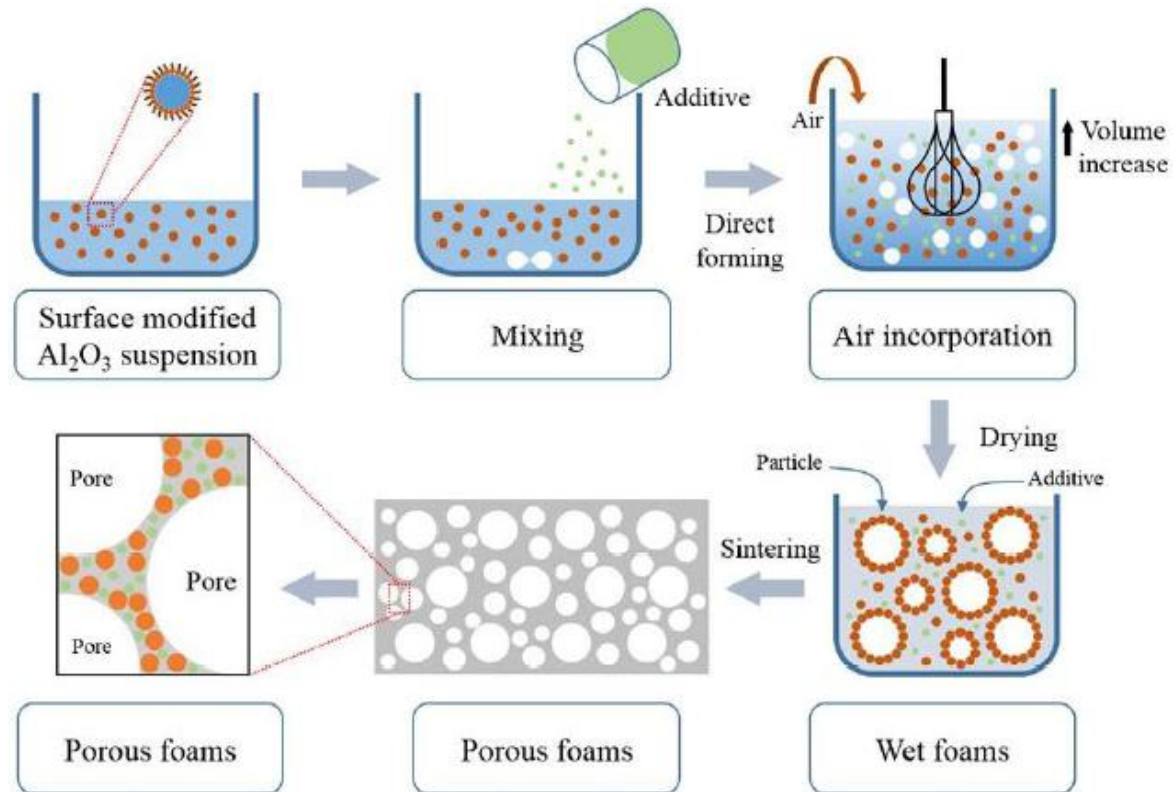
M. Rozumek, F. Luthardt, O. Lavrentyeva

Morgan Advanced Materials Haldenwanger GmbH

Herstellung von HalFoam Alumina™

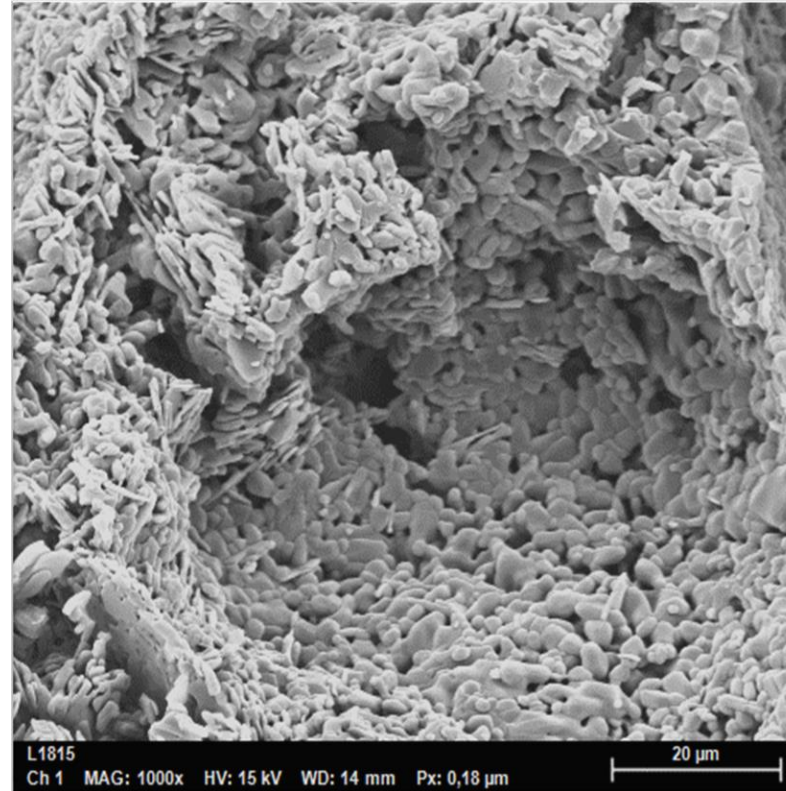
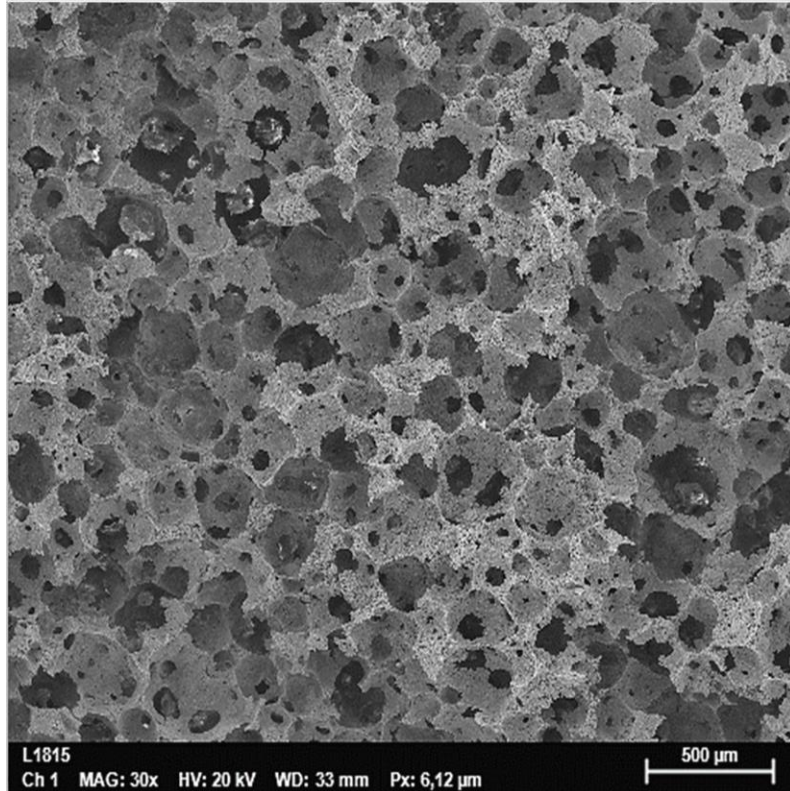


Herstellung durch das mechanische Direkt-Schäumungsverfahren



(*) Source: <http://www.intechopen.com/books/advanced-ceramic-processing>

Mikrostruktur und Eigenschaften von HalFoam Alumina™



Dichte DIN EN 1094-4	0,7 g/cm ³
--------------------------------	-----------------------

Porosität DIN EN 1094-4	75 - 80 vol.%
-----------------------------------	---------------

3-Punkt-Biegefestigkeit DIN EN 993-6	3,5 MPa
--	---------

Druckfestigkeit DIN EN ISO 8895	5,0 MPa
---	---------

Wärmeleitfähigkeit Laser Flash Technik (LFA) DIN EN 821-2	@1200 0,47 W/mK
	@1500 0,57 W/mK
	@1600 0,71 W/mK

Verfügbarkeit & Bearbeitbarkeit von HalFoam Alumina™

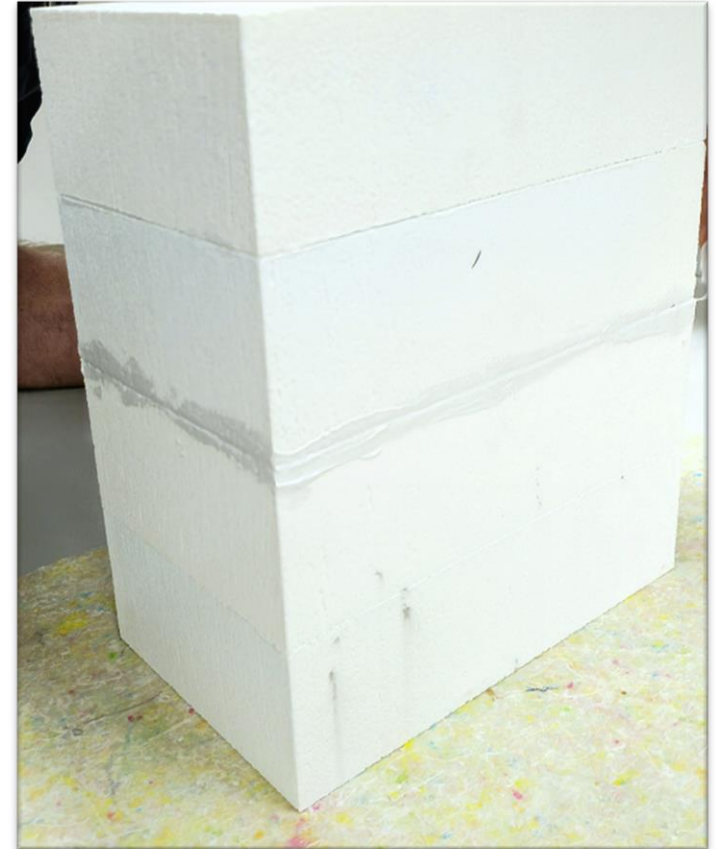
- Rohling mit Abmessungen 360mm x 250mm x 90mm
- Bearbeitung mit Diamantwerkzeugen
- Gebrannt, auf Bandsäge: +/- 1,5mm Toleranz
- Gebrannt, trocken auf CNC-Fräse: +/- 0,5mm Toleranz
- Gebrannt, nasse Bearbeitung: +/- 0,02mm
- **Stäube bei der Bearbeitung sind ungefährlich**



Kleben von HalFoam Alumina™



Feuerfest-Kitt WH-1800

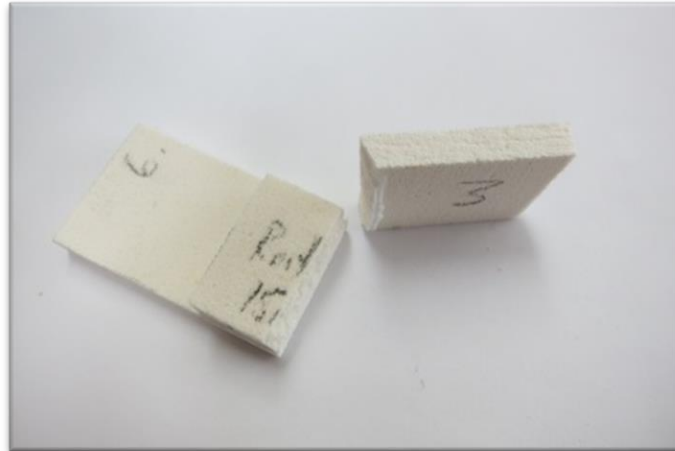


Kleben von HalFoam Alumina™

Realisierung dickwandiger / mehrlagiger Bauteile im Hochtemperaturbereich



Kitt WH 1800; 165 N Bruchkraft



Rath 1800; 186 N Bruchkraft



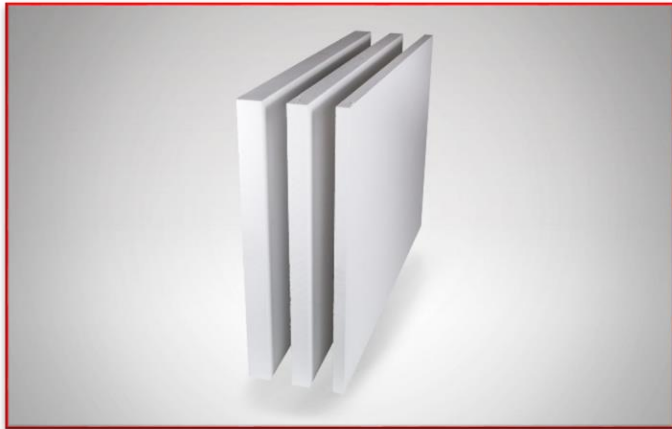
Schupp 1800; 189 N Bruchkraft

- Ein Test gängiger Hochtemperatur-Kitte zeigte gute Haftverbindungen bereits nach Austrocknen bei Raumtemperatur
- Nach dem Tempern bei 1.500°C und 1 Stunde Haltezeit zeigten alle Haftverbindungen gute Festigkeit
- Generell sind alle verwendeten Kite geeignet, um HalFoam Alumina™ zu fügen

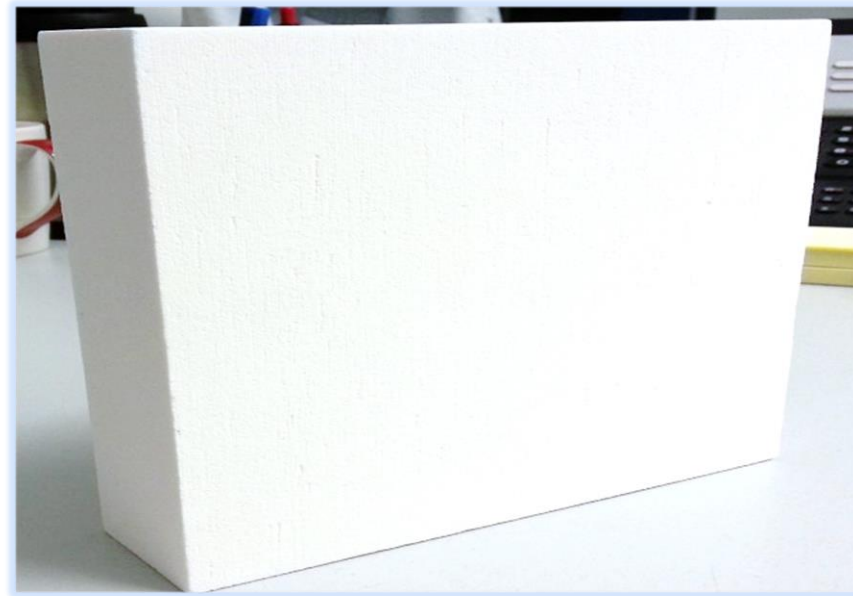
Hochtemperatur-Wärmedämmstoffe



PCW Faserdämmplatten — 82% Al_2O_3 , 18% SiO_2



ASW Faserdämmplatten — 65% Al_2O_3 , 34% SiO_2



Keramische Dämmplatte **HalFoam Alumina™** (98.5% Al_2O_3)
Fa. Morgan Haldenwanger GmbH (80 x 260 x 360)



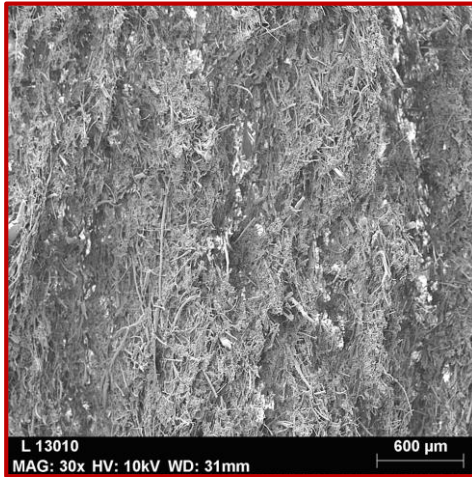
Hohlkugelkorund — 87% Al_2O_3 , 12% SiO_2



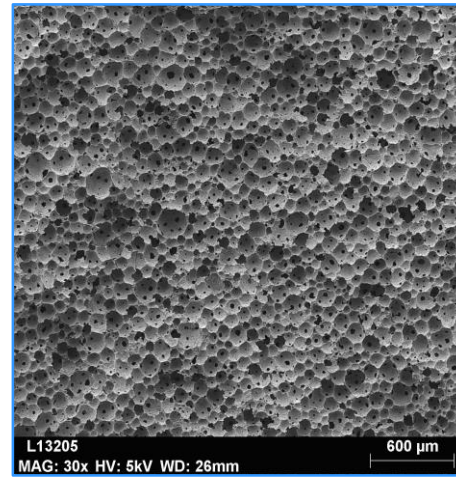
Feuerleichtstein IFB **JM-30** — 72% Al_2O_3 , 25% Alumosilikat
Fa. Morgan Thermal Ceramics

WLF@1.400°C von unterschiedlichen Wärmedämmstoffen + Porosität

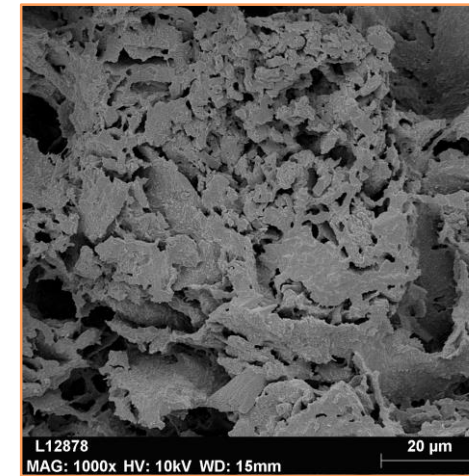
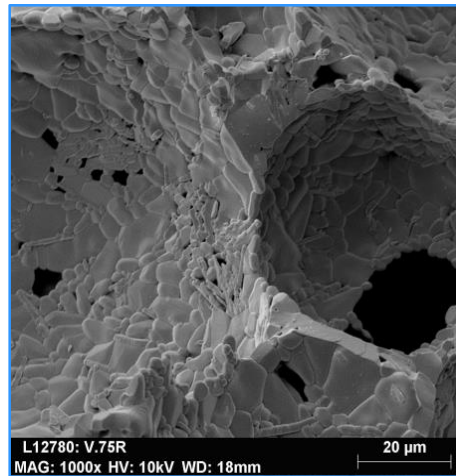
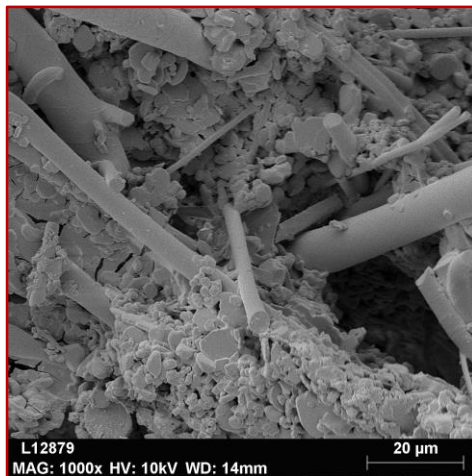
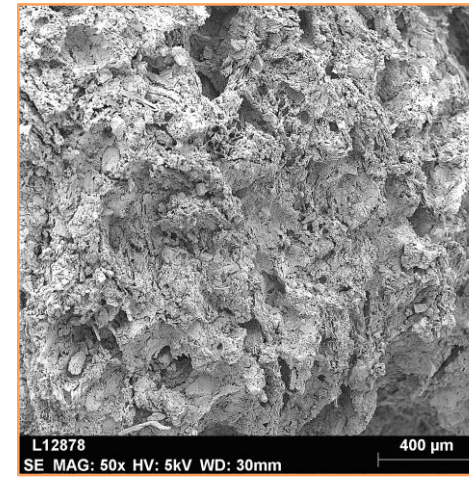
Faserdämmstoffe



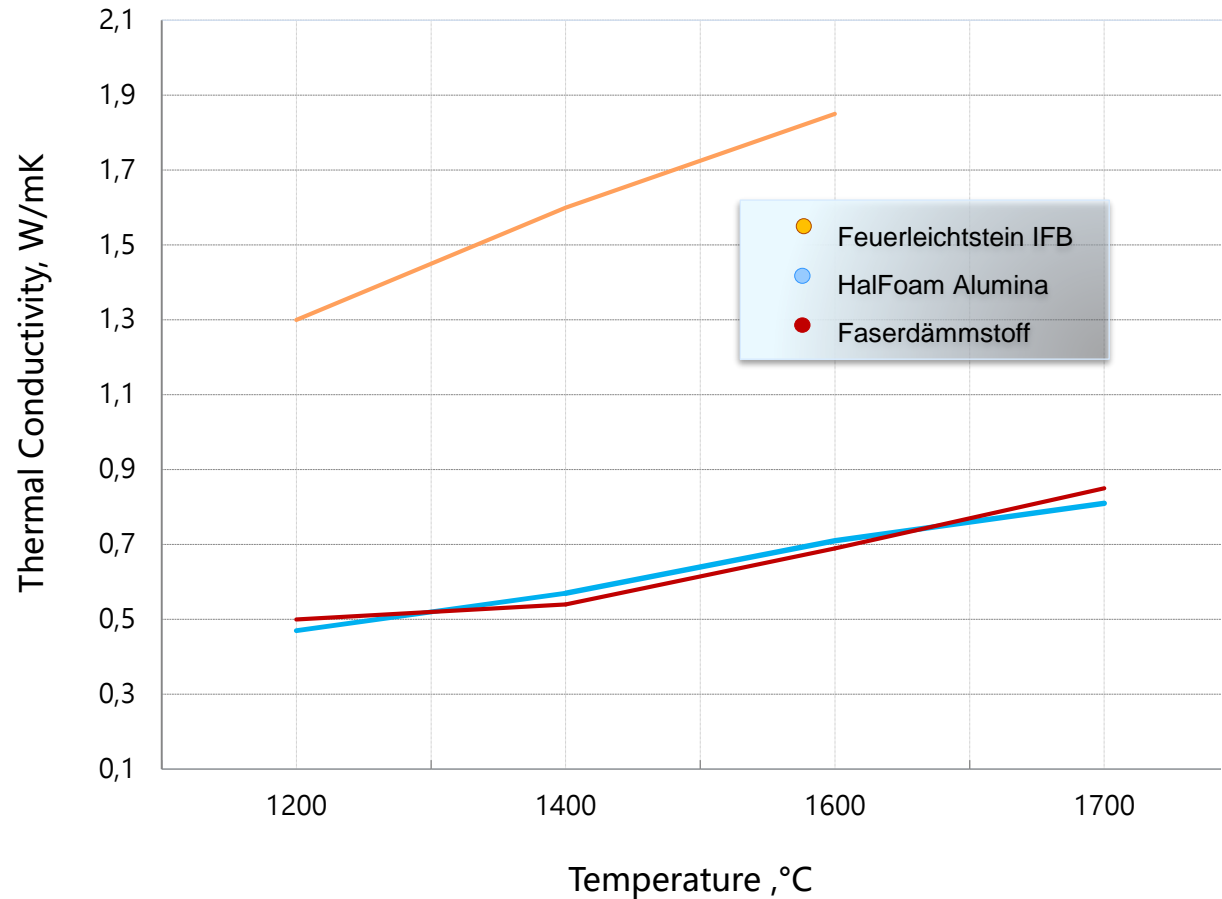
HalFoam Alumina



Feuerleichtsteine (IFB)

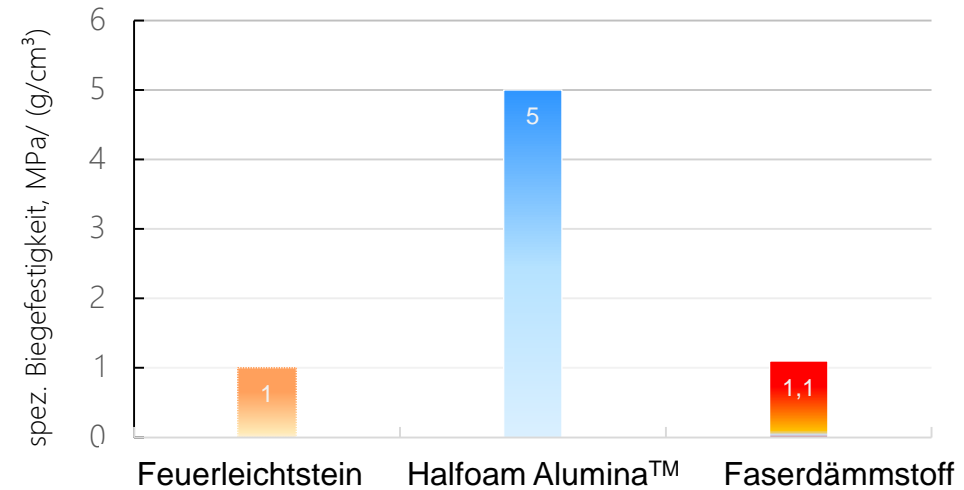
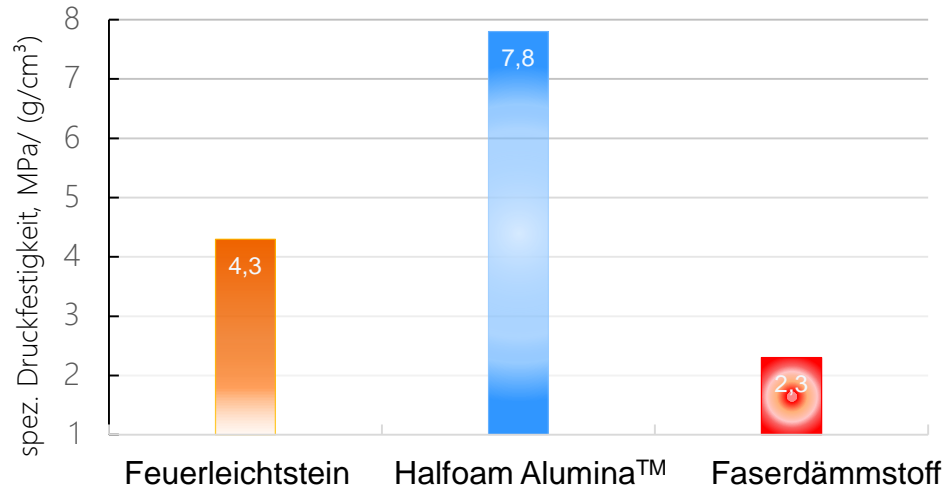


Wärmeleitfähigkeit von HalFoam Alumina™ im Vergleich



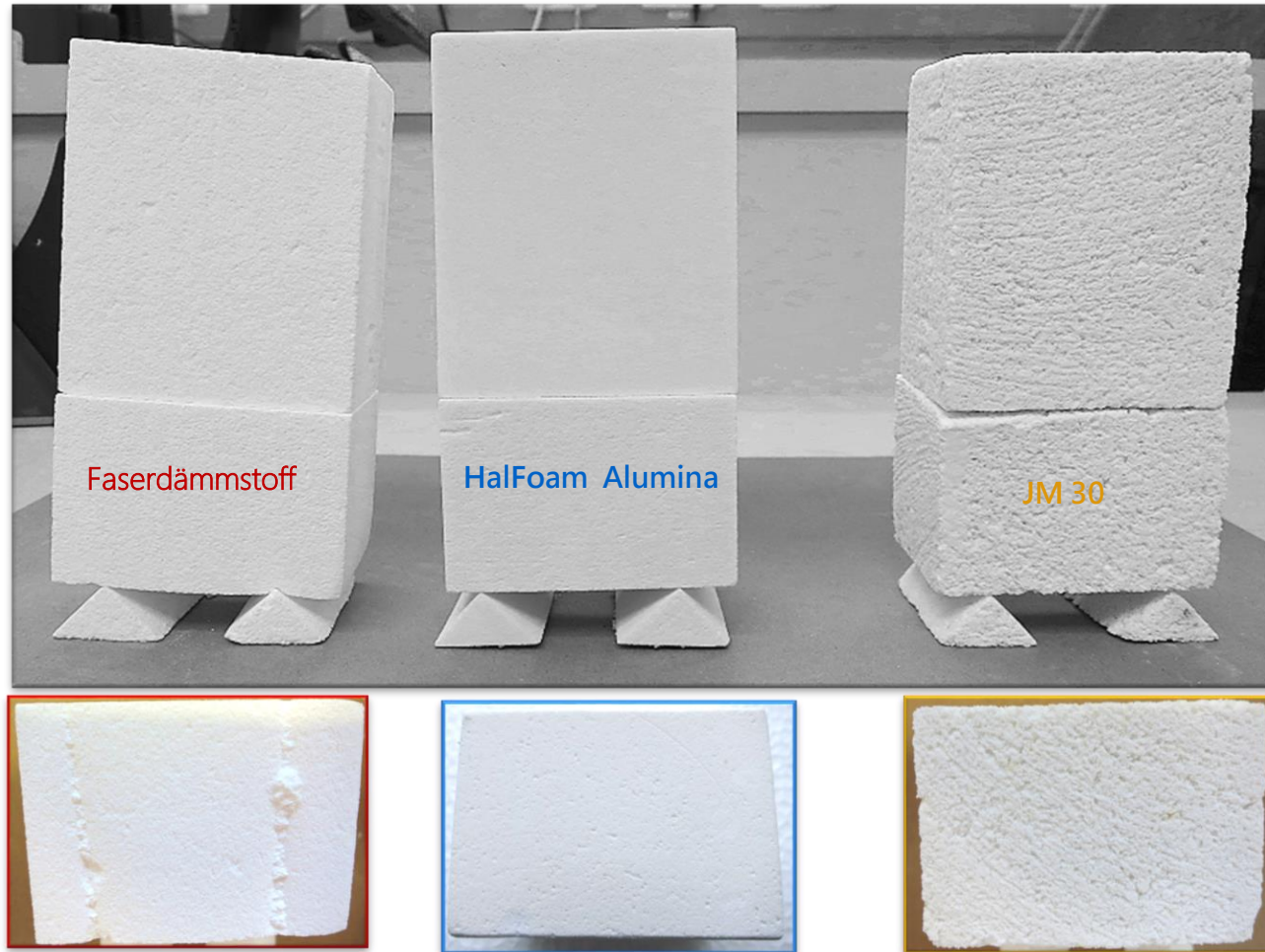
- ✓ HalFoam Alumina™ zeigt gegenüber Faserdämmstoffen ab 1.200°C vergleichbare thermische Isolationseigenschaften
- ✓ Aufgrund der erhöhten Dichte des Feuerleichtsteins (1,53 g/cm³) liegt die WLF des IFB deutlich höher im Vergleich zu den HalFoam Alumina™ (0,7 g/cm³) und zum Faserdämmstoff (0,7 g/cm³)

Festigkeit von HalFoam Alumina™ im Vergleich



- Bei vergleichbarer Klassifikation bietet HalFoam Alumina™ eine höhere spezifische Druck-/ Biegefestigkeit
- Die geringere Festigkeit von Faserwerkstoffen führt zur Versprödung der exponierten Hochtemperatur-Zone nach wenigen Brennzyklen
- Die thermische Masse von HalFoam Alumina™ ist gegenüber FL-Stein bis zu 50% reduziert und trotzdem stabil
- Aufgrund sehr homogener Struktur, sowie der mechanischen Belastbarkeit von HalFoam Alumina™ ist eine verlängerte Lebensdauer bei Temperaturen ab 1.500°C zu erwarten

Heißstandfestigkeit — 24h@1.700°C



- Bereits gebrannter HalFoam Alumina™ zeigt nach dem Nachbrand bei HZ 24h@1.700°C gegenüber Faserwerkstoffen & IFB eine sehr gute mechanische Stabilität (keine Deformationen)
- Aufgrund der homogenen Struktur und seiner Zusammensetzung ist HalFoam Alumina™ im Vergleich zum IFB rißfrei
- Faserplatten & IBF verdichten sich in Abhängigkeit von der Temperatur kontinuierlich während des Einsatzes. Bei HalFoam Alumina™ tritt eine Nachschwindung (-0,7%) einmalig auf und ist danach abgeschlossen

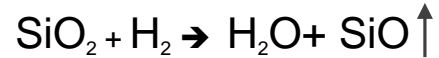
Heißstandfestigkeit — 55h@1.720°C



Chemische Beständigkeit in H₂-Atmosphäre

1.400°C / 100h in 100% H₂

- Der Masseverlust hängt ab vom SiO₂-Gehalt im Werkstoff und der Einsatztemperatur

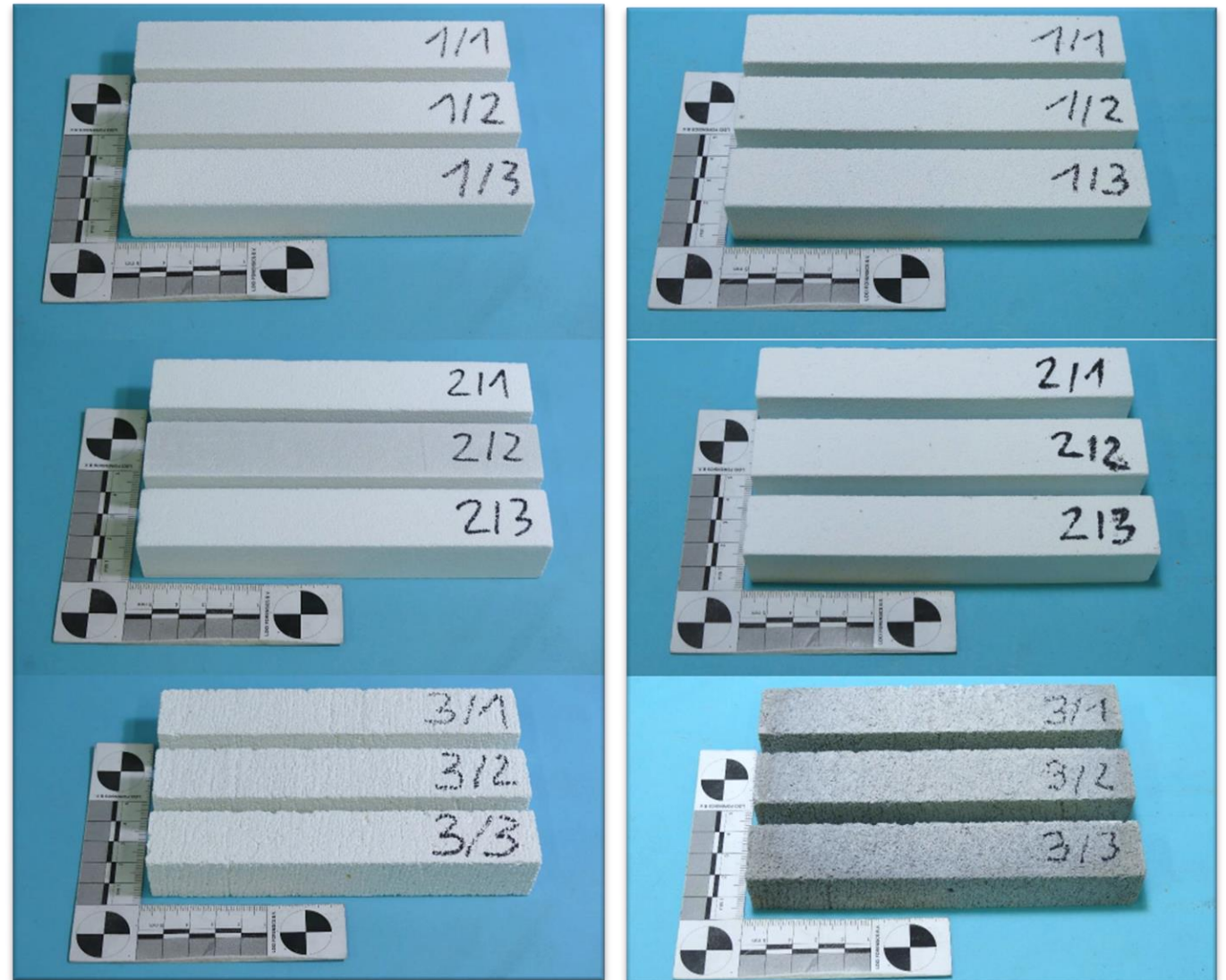


HalFoam Alumina™
Kein SiO₂
→ kein Gewichtsverlust!

Faserdämmstoff
- 13 % Gewichtsverlust

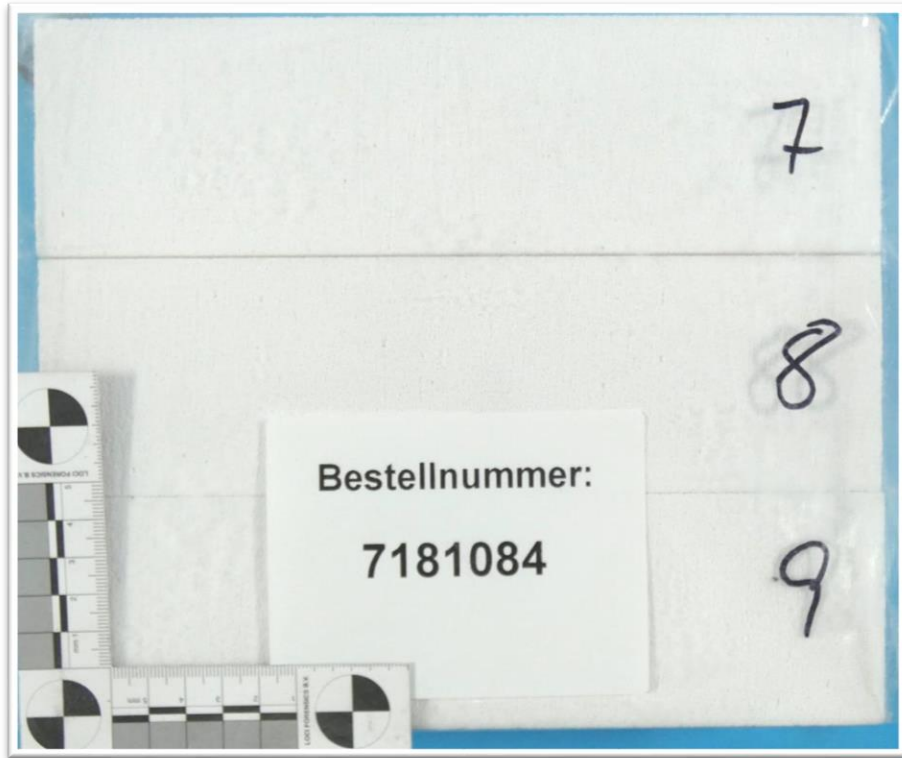
- Die IFB werden aufgrund ihrer kleineren Oberfläche weniger angegriffen als Faserwerkstoffe

IFB JM-30
- 8 % Gewichtsverlust



CO-Beständigkeit von HalFoam Alumina™

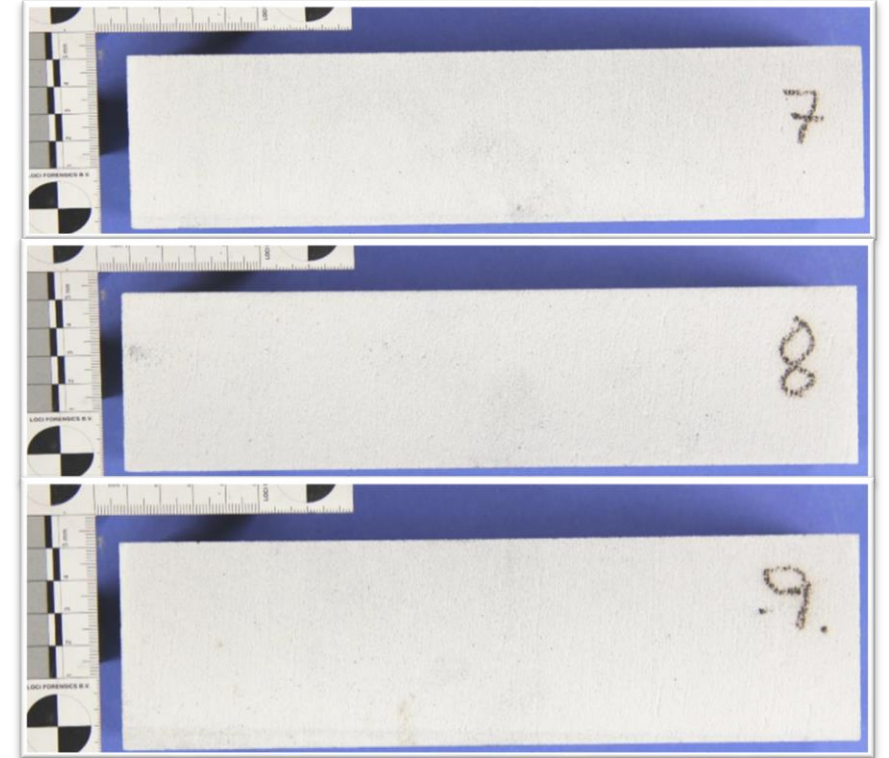
nach ASTM C288



→ Klasse A — „unaffected“

→ Klasse A — „unaffected“

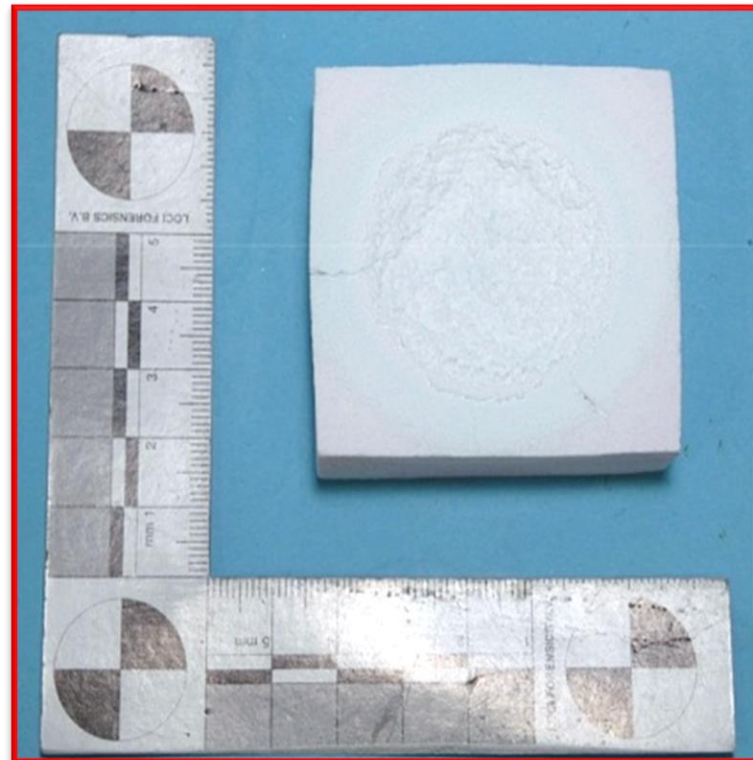
→ Klasse A — „unaffected“



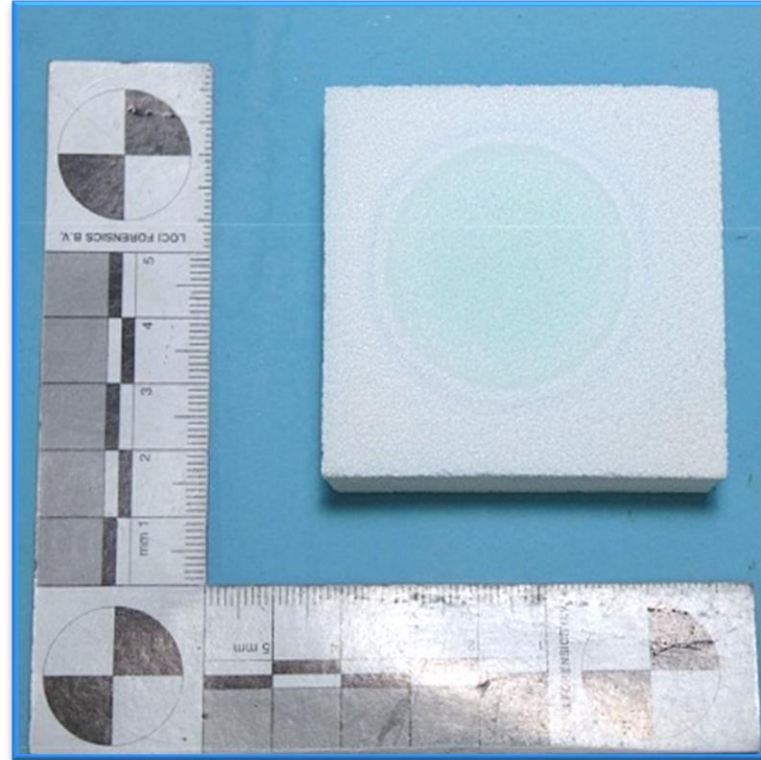
Chemische Beständigkeit in alkalihaltigen Rauchgasen

bei 1.450°C / 24h nach ASTM C 987 (Na₂CO₃+ K₂CO₃)

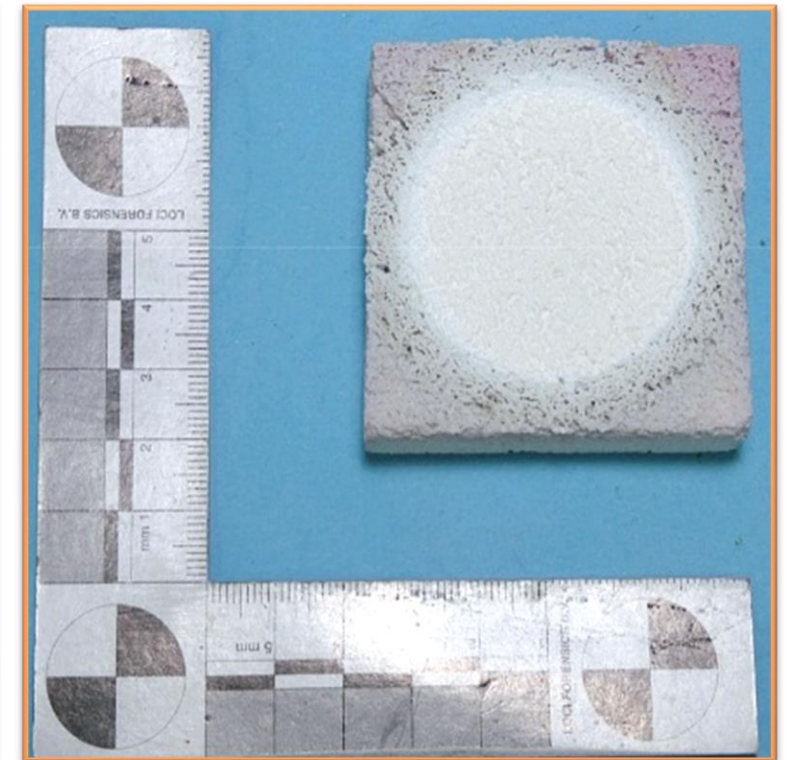
Faserdämmplatte



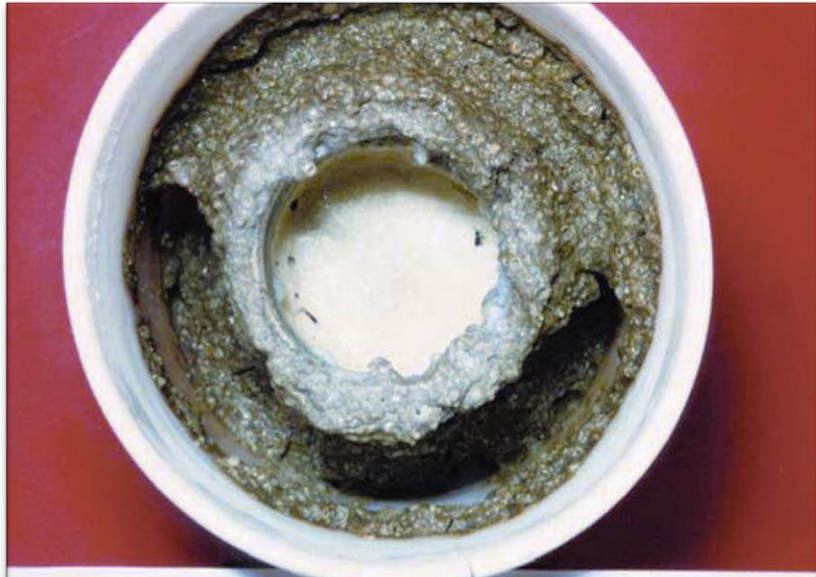
HalFoam Alumina™
Morgan Haldenwanger



Feuerleichtstein IFB JM-30
Morgan Thermal Ceramics



Chemische Beständigkeit in alkalihaltigen Rauchgasen



Hohlkugelkorund-Formstein
nach Alkalikorrosionstest bei 1500°C/96 Stunden

87% Al₂O₃, 10% SiO₂ (Hohlkugelkorund)



Feuerleichtstein JM 30
nach Alkalikorrosionstest 1500°C/12 Stunden

IFB JM-30, 72% Al₂O₃, 12% SiO₂ (Alumosilikat)

Quelle: DIFK; Bonn

....beide Arten des Feuerleichtsteins
erweichten und zerfielen bereits nach 12
Stunden...

- ✓ Zwei handelsübliche Feuerleichtsteine wurden bei 1.500°C für 96 Stunden einer Mischung aus Alkalisalzen über die Gasphase ausgesetzt
- ✓ „In-situ-getestete“ Schaumblöcke 320 x 250 x 60 HalFoam Alumina™ als Wärmeisolation auskleidung zeigten nach 4-monatigem Betrieb keine Korrosionserscheinungen!

Chemische Beständigkeit in alkalihaltigen Salzschnmelzen

bei 1.500°C / 96h nach ASTM C 454 (K_2CO_3)

- HalFoam Alumina™ und Hohlkugelkorund werden stark angegriffen, in der Tendenz der Hohlkugelkorund aber weniger

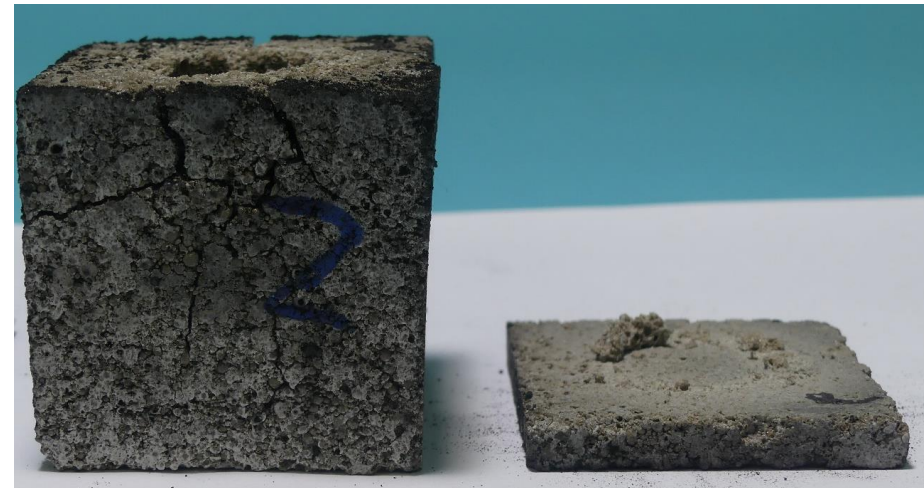
HalFoam Alumina™

→ „cracked“



Hohlkugelkorund, 87% Al_2O_3

→ „cracked“



HalFoam Alumina™ im Vergleich

Eigenschaften	HT-Wärmedämmstoffe			
	Faserdämmstoffe	HalFoam Alumina™	Feuerleichtsteine (IFB)	Hohlkugelkorund
WLF	sehr gut	gut	schlecht	gut
Festigkeit	moderat	gut	sehr gut	gut
Heißstandfestigkeit	moderat	sehr gut	schlecht	sehr gut
H ₂ -Beständigkeit	schlecht	sehr gut	schlecht	tbd
CO-Beständigkeit	moderat	sehr gut	tbd	tbd
Beständigkeit in Alkali-Dämpfen	schlecht	sehr gut	schlecht	moderat
Beständigkeit in Alkali-Schmelzen	tbd	moderat	tbd	moderat

sehr gut
gut
moderat
schlecht
s. schlecht

Danke