



Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages



Abschlussbericht Forschungs- und Entwicklungsprojekt Anlage 1

**ZIM-Kooperationsprojekt "MagnesiaHSM"
K33 Brandschutz - Steinlehner Riedner Wagner
Architekten Partnerschaft
Förderkennzeichen: ZF 4093501HF5**

Gefördert durch:

Zentrales Innovationsprogramm Mittelstand (ZIM) des
Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie
(BMWi) – FuE Kooperationsprojekte

AiF Projekt GmbH
ZIM - Kooperationsprojekte
Tschaikowskistraße 49
13156 Berlin

München, 14.Juni.2017

www.EcoMagHSM.eu
info@ecomag.tech

Vorwort

Der vorliegende Abschlussbericht zum Thema "MagnesiaHSM - ein ökologischer Schamottersatz" entstand im Rahmen eines ZIM-Kooperationsprojekts zwischen der ARGE K33.AI in München und der Fraunhofer Gesellschaft Institut für Bauphysik IBP in Stuttgart und Valley.

Unser Dank gilt dem Bundesministerium für Wirtschaft und Energie und der AiF Projekt GmbH für die administrative und finanzielle Unterstützung dieses Forschungsprojekts. Ein besonderer Dank geht an Frau Christiane Wodtke für Ihre persönliche Unterstützung und an Herrn Maik Hoffmann für die kompetente Projektbegleitung als Fachgutachter.

Danken möchten wir auch den Firmen Wodtke GmbH, Angerer GmbH, Schiwietz GmbH, Harbeck GmbH, Brunner GmbH, Haas+Sohn GmbH, Bichlmaier+Bartl GmbH, Viking D.O.O und der Lehmann+Voss+Co.KG für Ihre fachliche Unterstützung bei der Umsetzung.

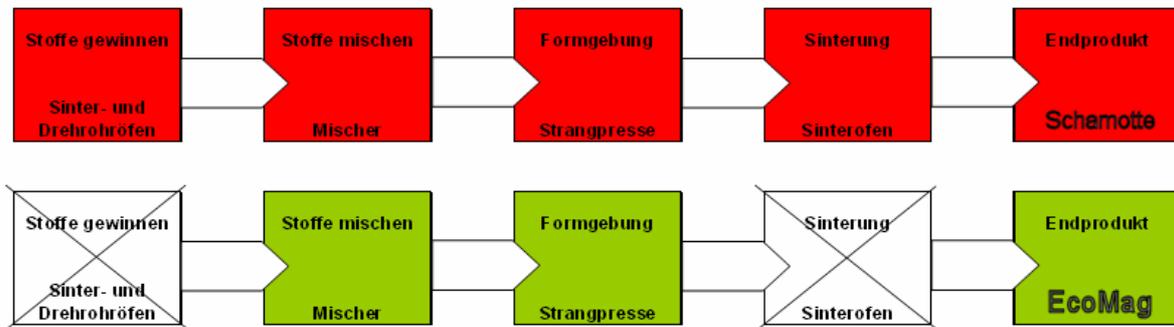
Ferner gilt unser Dank natürlich allen Mitarbeitern der Fraunhofer Gesellschaft in München, Valley und Stuttgart | Koordination Dr.-Ing. Mohammad Aleysa.

Inhaltverzeichnis

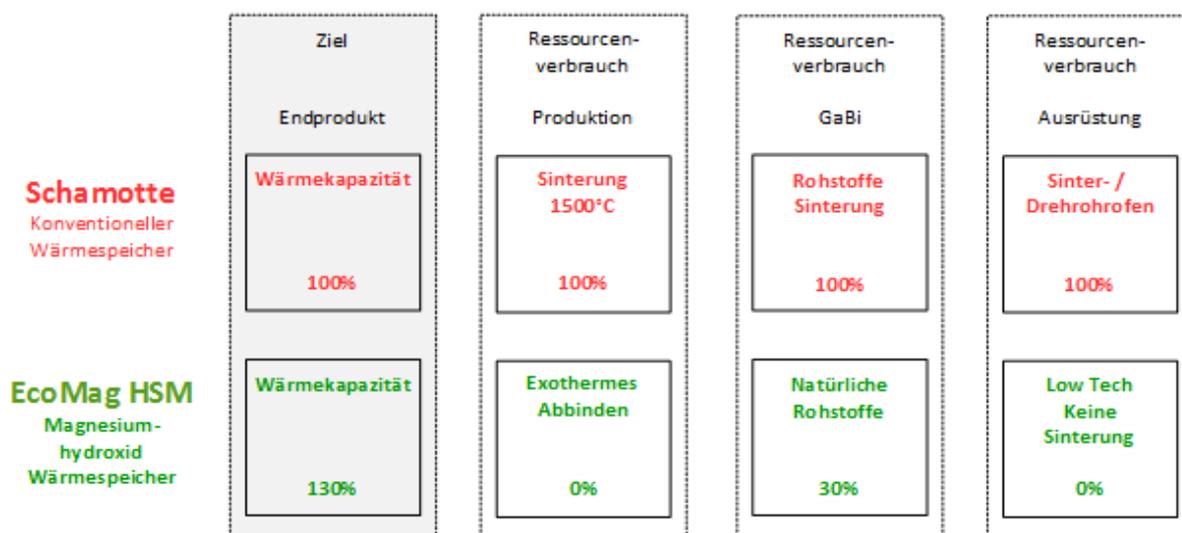
Einleitung	3
Stand der Technik	4
Arbeitspakete AP 1 - 3	5
Arbeitspakete AP 3.1 - 3.3	6
Arbeitspakete AP 3.4 - 3.7	7
Arbeitspakete AP 3.8 - 3.11	8
Arbeitspakete AP 3.12 - 3.15	9
Arbeitspakete AP 4 - 4.1	10
Arbeitspakete AP 4.2 - 5	11
Arbeitspakete AP 5.1 - 5.2	12
Arbeitspakete AP 5.3	13
Zusammenfassung	13

Einleitung

Die Wärmespeicherindustrie in Deutschland und Europa wird von Schamott dominiert. Mit seiner Fähigkeit, Wärme aufzunehmen und die gespeicherte Energie als Strahlungswärme wieder abzugeben, ist Schamott insbesondere in Kaminöfen als Wärmespeichermaterial (HSM, Heat Storing Material) seit über einem Jahrhundert beliebt und weit verbreitet, da es kaum sinnvolle Alternativen gibt.



Sowohl Produzenten als auch Verbraucher nehmen mit der Nutzung von Schamott jedoch erhebliche Nachteile in Kauf. Ton, der Hauptbestandteil des keramischen Schamotts, wird im Verlauf der Herstellung von Schamott bei 1500°C gebrannt, dann wieder grob zerkleinert, in Form gegossen, verdichtet und bei 1250°C erneut gebrannt. Das ist nicht nur teuer, zeitaufwändig und energieintensiv, sondern aufgrund des hohen CO₂-Ausstoßes auch stark umweltbelastend. Beim Verarbeiten wird pro kg Rohstoff etwa 1,5 kg an schädlichem CO₂ frei, was bei mehr als 200.000 Tonnen Schamott, der laut aktuellen Statistiken jährlich im Ofenbau verwendet wird, zu über 300.000 Tonnen vermeidbarem CO₂-Ausstoß und über einer Terra-Watt-Stunde unnötig verbrauchter Energie führt.



Außerdem wird Schamott sehr häufig als HSM in Nachtspeicheröfen (Radiatoren) verwendet. Hierzu werden jährlich ca. 2,5 Mio. Tonnen hergestellt und somit weitere 3,75 Mio. Tonnen CO₂ ausgestoßen. *Quelle: Institut für Anorganische Materialwissenschaften für Glas und Keramik, Rheinland-Pfalz, Deutschland*

Stand der Technik

In handelsüblichen Kaminöfen wird Schamott als Verkleidung der Brennkammer aber auch als wärmespeichernde Ummantelung verwendet. Schamott findet bei letzterer vor allem auf Grund seiner langen Tradition weiterhin breite Verwendung.

Die traditionelle Verwendung von Schamott rührt vom Grundofenprinzip, das aber regelmäßige und längere Aufheizung voraussetzt, um eine ausreichende Wärmespeicherung bzw. Strahlungswärme zu gewährleisten. Das liegt daran, dass Schamott erst nach 4-6 Stunden seine sogenannte "Beharrung" erreicht hat. Anheizzeiten sind heutzutage aber fast immer erheblich kürzer, was durch andere Lebensumstände und Niedrigenergiehäuser zu erklären ist. Wenn ein Schamottofen jedoch nur für realistischere 2-3 Stunden angeheizt wird, füllt sich das Material nicht mit genug Energie, um langfristig Wärme abstrahlen zu können, und ist deshalb schnell wieder kalt. Damit ist Schamott als HSM für viele Verbraucher wenig geeignet.

Die konventionellen Öfen aus Schamott sind in Anbetracht der modernen Lebensumstände aufgrund ihrer Trägheit damit nicht mehr zeitgemäß. Gewünscht werden heutzutage umweltschonende Öfen mit geringer Aufheizzeit von weniger als 2 Stunden.

Das neue Wärmespeichermaterial soll nicht nur diese sozialen Aspekte befriedigen, sondern auch die ökonomischen Ansprüche erfüllen, da es mindestens 30 % effektiver in der Wärmespeicherung und gleichzeitig mindestens 30 % günstiger in der Herstellung ist. Darüber hinaus ist es bei vergleichbarer Druckfestigkeit bis zu 30 % leichter und somit günstiger im Transport und auch ideal für Renovierungen und Sanierungen von Altbauten.

Als Speicher wird auch gerne Speckstein angeboten, weil dieser Wärme sehr schnell aufnimmt und der Ofen beim Kunden auch schnell "Wohlfühlwärme" abgibt. Speckstein kann Wärme aus gleichem Grund leider aber auch nicht speichern. Daneben wird auch mit Schamott-Speckstein-Mischungen und Schamott-Graphit-Mischungen versucht die niedrige Wärmeleitfähigkeit von Schamott zu erhöhen, was aber wie bei Speckstein aufgrund der unverändert niedrigen Wärmekapazität nur zu einer noch schnelleren Wärmeabgabe führt.

Die Nachteile traditionell verwendeter Materialien – hoher Zeitaufwand und Energieverbrauch beim Beheizen, resultierend hohe Umweltbelastung, geringe Wirksamkeit als Wärmespeicher – veranlassten die ARGE K33.AI bereits im Jahr 2010 dazu, mit der Entwicklung eines neuartigen Wärmespeichermaterials zu beginnen.

Der Lösungsansatz für ein effektives, preisgünstiges und ökologisches Wärmespeichermaterial ist auf das Interesse der privaten Haushalte abgestimmt.

Aufgrund der bereits genannten Vorteile ermöglicht das Material sowohl die Anwendung in wärmespeichernden Systemmodulen als auch Feuerstättenverkleidungen.

Das flexible Herstellungsverfahren ist gleichermaßen für die industrielle und handwerkliche Herstellung geeignet und steht für verschiedenste Typen von Heiz- und Speichersystemen zur Verfügung.

Alternative Materialien mit einer ähnlich positiven Kombination von ökonomischen und ökologischen Vorteilen sind für diesen Markt nicht vorhanden.

Arbeitspakete (APs)

AP 1 Recherche

AP 1.1 Projektbegleitende Patent- und Literaturrecherche

Im Laufe der EU-Experten-Patent-Recherche (Espacenet Euopäisches Patentamt EPA) wurden über 500 Patente auf – auch nur geringfügige – Übereinstimmungen überprüft, z.B. Nutzung von Magnesiumhydroxid in jedweder zufälligen Implementierung (keine verwandten Materialien oder Anwendungen für Magnesiumhydroxid im Bereich Wärmespeicherung, Anwendung im Ofen oder benachbarten Bereichen). Keine einzige Übereinstimmung wurde gefunden, was bedeutet, dass es kein vergleichbares Material auf dem Markt gibt. Die Patent-Literatur wird von Schamott dominiert.

Danach wurden auch im weitesten Sinne vergleichbare Materialien recherchiert, z.B. Schamott-Mischungen und deren Varianten. Anhand einer systematischen Literatur- und Patentrecherche wurde festgestellt, dass es bisher kein mit dem MagnesiaHSM vergleichbares Konzept weder in der Anwendung noch in der Entwicklung gibt.

AP 2 Pflichten- und Lastenheft des Wärmespeichermaterials

Ein detailliertes Pflichtenheft wurde erarbeitet und in zahlreichen Treffen zwischen den Kooperationspartnern abgeglichen, aktualisiert und dokumentiert.

Detailliert abgestimmt wurden im Pflichtenheft auch die dem jeweiligen Kooperationspartner zugeordneten Aufgaben, z.B.: *"Die ARGE K33.AI ist verantwortlich für die Rezeptur des neuen Materials, also für die Analyse und Bewertung geeigneter Rohstoffe, die Entwicklung und Durchführung der Materialanalyse sowie die Konzeption und Evaluierung der Prozessparameter des Herstellungsverfahrens."*

Damit war auch das Gesamtkonzept fertiggestellt und festgelegt (= Milestone 1 = MS1).

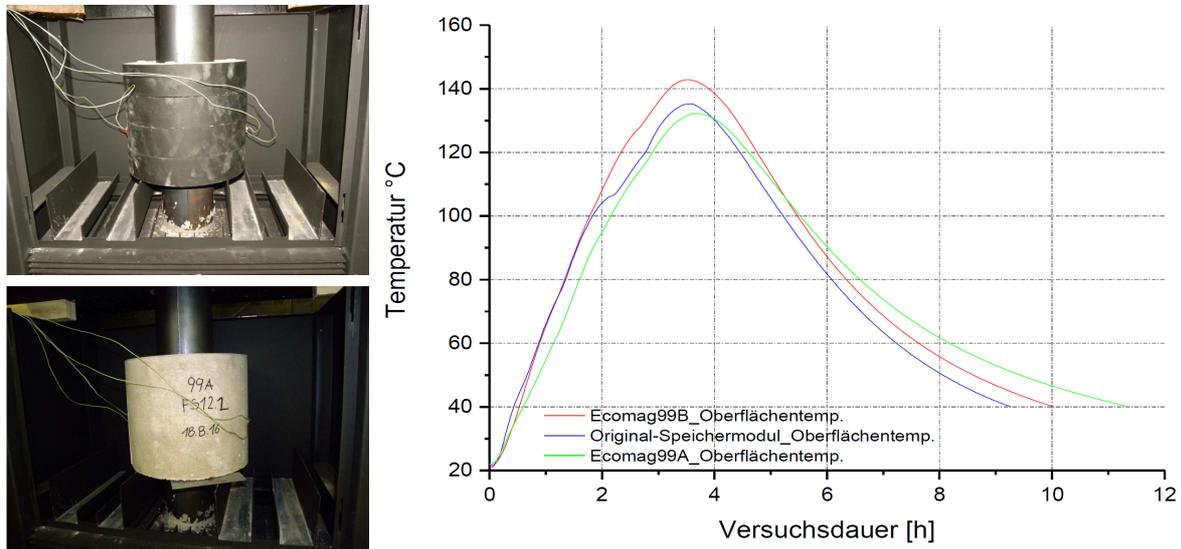
AP 3 Materialzusammensetzung des Wärmespeichermaterials



Die Zusammensetzung (Rezeptur) des Materials nahm erwartungsgemäß die meiste Zeit in Anspruch. Bei der Entwicklung der Materialrezeptur wurden mehr als 100 Versuchsreihen mit je 4-10 Probekörpern verschiedenster Größen evaluiert. Mehr als 500 kg MagnesiaHSM-EcoMag-Prüfkörper wurden von der ARGE K33.AI an das "IBP-Verbrennungssysteme" geliefert.

AP 3.1 Konzeption und Konstruktion eines Messstandes unter Realbedingungen

Auf Basis der Ergebnisse aus AP 3 wurden unterschiedliche Rezepturen in Abhängigkeit der geplanten Anwendung entwickelt und in verschiedenen Messständen unter reproduzierbaren Bedingungen untersucht.



Das um 11,5 kg (= 34 %) leichtere EcoMag Speichermodul 99B (rot) kann aufgrund seiner höheren spezifischen Wärmekapazität die im Vergleich zum Original-Speichermodul deutlich geringere Speichermasse sogar überkompensieren. Betrachtet man die Dauer der jeweiligen Entladephase der drei Speichermodule lässt sich feststellen, dass diese beim EcoMag Speichermodul 99A (grün, 8h) i.Vgl. zum Original-Speichermodul (blau, 6h) um ca. 2 h und somit um 33 % länger andauert. Die Ergebnisse konnten auch in den vergleichenden Modellversuchen zur Abkühlzeit nachgewiesen werden (siehe auch AP 3.11).

AP 3.2 Synthese / Charakterisierung / Bewertung des Wärmespeichermaterials

Die ersten MagnesiaHSM-Mischungen unseres FuE-Projektes unterschieden sich - wie bei den Schamotten - je nach zukünftigem Einsatzbereich; z.B. sind nur die Schamott HBO+ Rauchzüge (Wolfshöhe) für den Einsatz im Feuerraum zugelassen, die Schamott-Qualitäten HSM und HST explizit aber nicht. Deshalb wurde zunächst - wie bei den Schamott-Herstellern - in schwere Qualität "EcoMag HSM+", leichte Qualität "EcoMag HSM" und für den Feuerraum geeignete Qualität "EcoMag FIRE" differenziert. EcoMag FIRE entsprach weitestgehend EcoMag HSM, wurde aber mit Zitronensäure, Polysaccharid, Fe_2O_3 und TSZ auf Feuerfestigkeit, geringere WLZ bei höherer WKAP und etwas geringeres Gewicht ausgelegt.

AP 3.3 Entwicklung der Materialrezeptur (versch. Brucite, Disperger, Zement, feuerbest. Zement)

Im Brennraum wird der Zement (CEM) immer zerstört (auch angeblicher "Feuerzement"). Ersatz wäre hier eine nachfolgende Kern-Karbonatisierung durch das Citrat. Dies geht Citrat-Verbindungen ein mit feinem Brucit Luvomag mesh 200, ebenso feinem Löschkalk CaO mesh 200 und auch mit WKH mesh 200 aber eben nicht mit grobem, kaum reaktivem CaCO_3 (= Kalkstein Gesteinsmehl) oder grobem Brucit (Sieblinie 0-2mm + 3-6mm). Die Kalke sind in unterschiedlichen Verhältnissen auch im hydraulisch erhärtenden Baukalk enthalten. Mit der aus AP 3.3 resultierenden Rezeptur war nach 5 Monaten Milestone 2: "Materialrezeptur abgeschlossen" erfüllt.

AP 3.4 Analyse und Bewertung der Dispersionsmedien (Citrat, Zucker, Essigsäure, ...)

Um in **MagnesiaHSM** die Zerstörung des Zements zu verhindern muss gewährleistet sein, dass die Neutralisation enthaltener (schwacher) Säuren bereits abgeschlossen ist und der CEM in eine pH-neutrale – also säurefreie – Mischung gegeben wird. Dies ist eine der Voraussetzungen bei der Betonherstellung n. DIN (z.B. "kaltes säurefreies Leitungswasser"), um zur Festigkeit nötige Abbindeprozesse sicher zu stellen. Die exakte Bestimmung, z.B. des nötigen aber für den CEM unschädlichen Zitronensäure-Anteils nahm einen wichtigen Aufgabenbereich ein. Nur empirisch konnte hier in über 30 Versuchsreihen das optimale Verhältnis für die Rezeptur bestimmt werden, da die zunächst angewandte Stöchiometrie sich als nur grundlegendes mathematisches Hilfsmittel herausstellte. Sie führt nur dann zu reproduzierbaren Ergebnissen, wenn z.B. Mesh, Temperatur, Konzentration (= Verteilung in der Flüssigkeit) aller beteiligten Substanzen absolut identisch sind. Dies ist bei einem Baustoff leider nicht der Fall. Deshalb waren zahlreiche weitere empirische Testreihen nötig...

AP 3.5 Evaluierung des Brucits (Magnesiumhydroxid), Zusammensetzung (Fremdstoffe, z.B. MgO)

Hauptbestandteile unseres MagnesiaHSM sind natürliches schiefrißiges Magnesiumhydroxid - typische evaluierte chemische Werte :

Mg(OH)₂	%	ca.	90,00 - 95,00
MgO	%	ca.	60,00 - 65,00
SiO₂	%	ca.	5,50
CaO	%	ca.	3,00
Al₂O₃	%	ca.	0,25
Fe₂O₃	%	ca.	0,35
Cl	%	max.	0,10

Magnesium-Hydroxid enthält ~33% Kristallwasser, ist temperaturbeständig, wird als Rohstoff in Brandschutzmaterialien aber auch in vielen Lebensmitteln und Medikamenten verwendet.

AP 3.6 Untersuchung des hydraulisch erhärtenden Baukalks

Der hydraulisch erhärtende Baukalk (CaOX) ermöglicht eine festigkeitserhöhende Kernkarbonatisierung. An der Oberfläche kommt es wegen des sog. "Kalkkreislaufs" zu keiner dauerhaften Karbonatisierung. Vorteilhaft ist auch die sofortige Neutralisation von zementschädigenden Säureüberschüssen, z.B. aus der Zitronensäure, die als Disperger und zur Bildung von Magnesium-Citrat-Komplexen (PCM) genutzt wird.

AP 3.7 Entwicklung des Reaktionsverfahrens (Mischung: Mischphasen und Kristallisationen)

Durch Zumischen von den Schmelzpunkt senkendem Fe₂O₃ konnte eine ideale Umstrukturierung der kristallinen Magnesiastrukturen erreicht werden. Die ersatzweise Verwendung von Polysaccharid als Disperger führte zum ersten Konzept einer 1-komponentig herstellbaren Allround-Mischung. Damit war das Reaktionsverfahren definiert (Milestone MS3).

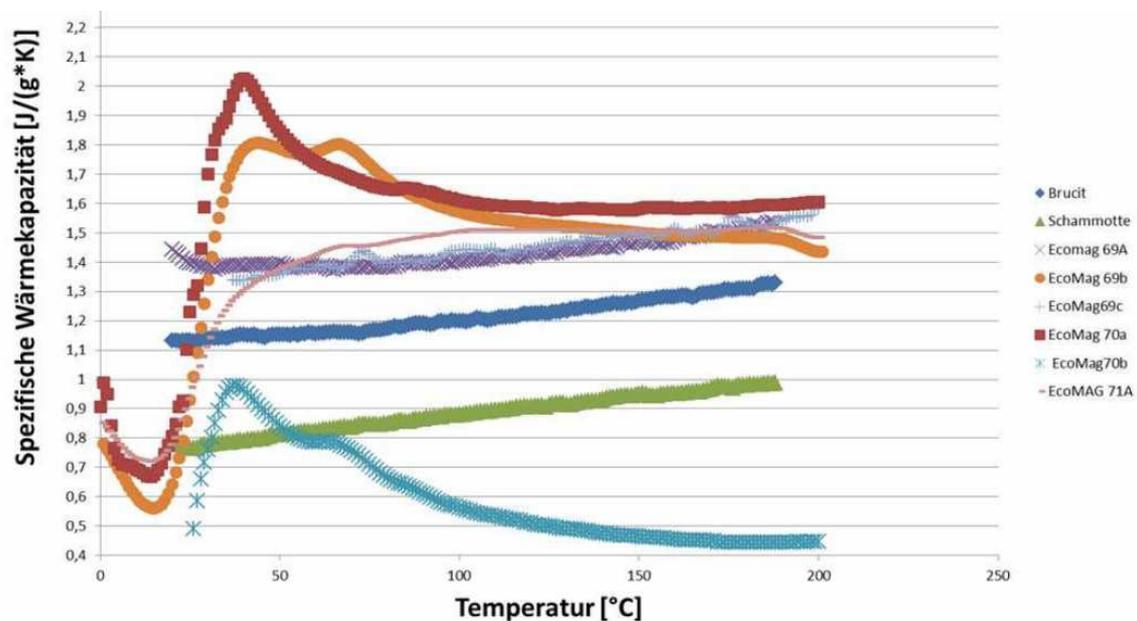
AP 3.8 Untersuchung zur Verarbeitung (3-Komponenten : Reduktion auf 2- oder 1-Komponente)

Die Untersuchung zur Verarbeitung/Reduktion auf 2- oder 1-komponentig wurde auch auf Polysaccharid und eine Röntgendiffraktometrie (XRD) ausgeweitet, um eine praxisingerechtere Mischung zu ermöglichen. Durch die XRD-Analyse gelang es 3 Rezepturen zu 1 Allround-Mischung vereinen - Ergebnis: **MagnesiaHSM = EcoMag[®]HSM**. Die Untersuchungsergebnisse konnten von der ARGE K33.AI auch empirisch bestätigt werden.

AP 3.9 Analyse und Bewertung der Reaktionsparameter

Beim Vergleich von neuen und bereits im Jahr 2010 verbauten Materialproben konnte man eine Alterung des Materials auch nach 5 Jahren in Betrieb nicht feststellen. Damit war davon auszugehen, daß die Reaktionsparameter korrekt verstanden und interpretiert wurden. Aufgrund der Analysen konnte das Material in über 100 Testreihen bereits hinsichtlich Herstellung und Eigenschaften als Wärmespeichermaterial optimiert werden.

AP 3.10 Kalkulation der Wärmekapazitäten

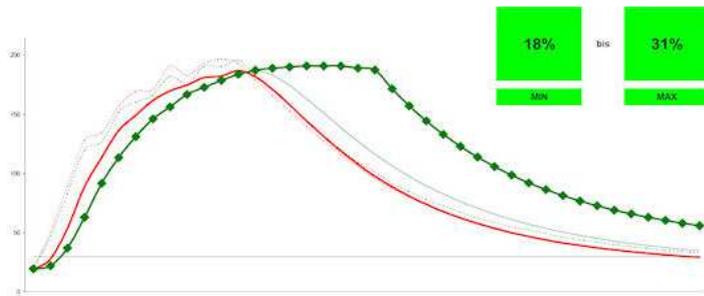
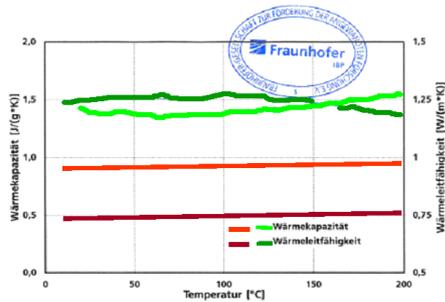


z.Vgl.: Schamotte (HBO+) hier in grün = 1,0 max vs. EcoMag MagnesiaHSM = 1,6 max

Im Ergebnis liegt das neue MagnesiaHSM dauerhaft bis zu 60% über der Wärmespeicherkapazität von herkömmlichem Schamott. Damit waren die Wärmekapazitäten abschliessend berechnet (Milestone MS4).

AP 3.11 Modellversuche zur Bestimmung der Abkühlzeit (vergleichend mit Schamott inkl. Zusätzen)

Die Abkühlzeit wird bestimmt von der Größe des Wärmereservoirs (WKAP) und vom Verhältnis von WKAP und WLZ zueinander. Die absolute Wärmekapazität (WKAP-abs.) ist der entscheidende Faktor, weil sie das Wärmereservoir darstellt. Die Wärmekapazität ist bei Schamott bis zu 30% niedriger. Die Wärmeleitzahl ist nur bei Konvektion relevant, die Wärmekapazität auch bei Strahlung, d.h. ohne Konvektion ist vor allem die hohe Wärmekapazität von EcoMagHSM ausschlaggebend.



Im Gegensatz zu den Werten von **Schamott (rot)** passen die **EcoMag-Werte (grün)** von WKAP und WLZ zueinander, d.h. sie liegen in der passenden Größenordnung. Vergleich der Abkühlzeiten: MagnesiaHSM hält die Temperatur um 18 - 31% länger als versch. Schamotte.

AP 3.12 Entwicklung der Materialkonsistenz

Angestrebt war eine sowohl industriell als auch handwerklich verarbeitbare Mischung. Dazu muss der Konsistenzbereich von "erdfeucht" bis "plastisch" reichen. In beiden Fällen darf überschüssiges Anmachwasser nicht an die Oberfläche aufsteigen. Dies wurde beispielsweise in der optimierten Rezeptur durch einen passenden Anteil von Fe_2O_3 erreicht. Damit konnte auch die Materialkonsistenz verifiziert und festgeschrieben werden (Milestone MS5).

AP 3.13 Ermittlung des Verdichtungs-, Ausbreit- und Setzmaßes (ggf. in Anlehnung an Baunormen)



d = 32 cm



d = 36 cm



d = 37 cm

In Anlehnung an Baunormen (SLUMP-Test, Regelsieblinien n. DIN 1045-2) wurden Verdichtungs-, Ausbreit- und Setzmaß ermittelt um z.B. Verarbeitbarkeit und resultierende Rohdichte bei industrieller Produktion abschätzen zu können.

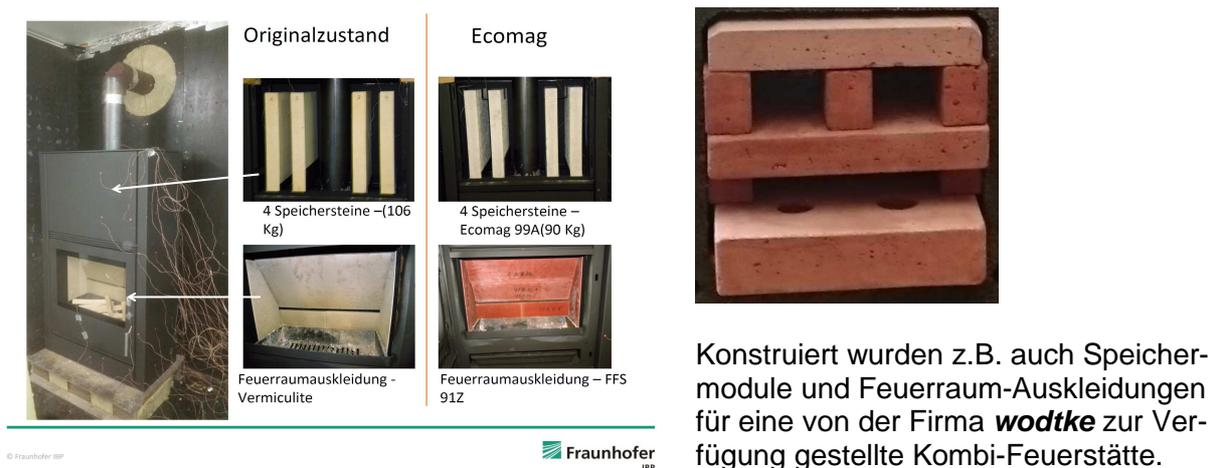
AP 3.14 Analyse und Bewertung der Abbindezeit (Setzzeit)

Setzmaß und Setzzeit wurden entsprechend DIN EN 12350 untersucht, um daraus auf die Konsistenz zu schließen. Die Mischung konnte so auf die Ausbreitmassklassen F1-F2, also "steif bis plastisch" eingestellt werden. Die Analyse der Setzzeiten führte zum Ergebnis, dass EcoMagHSM während des Abbindens (und auch danach) kaum schwindet und im für eine industrielle Produktion brauchbaren Konsistenzbereich nach DIN 1045-2 liegt.

AP 3.15 Konstruktion des wärmespeichernden Materials

Im Rahmen dieses Arbeitspakets wurde das geeignete Mischungsverhältnis aller verwendeter Komponenten unter Konstruktionsprämissen festgelegt. Dazu wurde das Endprodukt nochmals einer Materialanalyse zur Bestimmung spezieller physikalischer Eigenschaften, wie beispielsweise die Wärmeleitfähigkeit, die spezifische Wärmekapazität, die mechanische und chemische Beständigkeit von der Arbeitsgruppe Wärmekennwerte und labortechnische Klimasimulation des Fraunhofer Instituts für Bauphysik IBP durchgeführt.

AP 4 Entwicklung / Konstruktion / Bau des wärmespeichernden Materials



AP 4.1 Prozessintegration: Elemente, Rezeptur, Stoffkonzentrationen, Reaktionsbedingungen

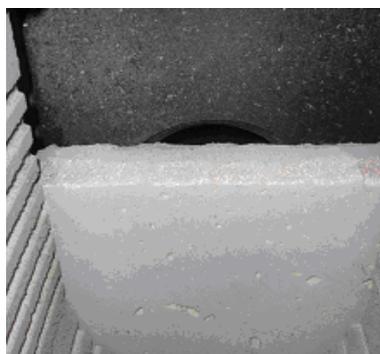
Im Einsatzbereich als Wärmespeicher (EcoMagHSM) ist das Material nur Temperaturen unterhalb seines chemischen Umwandlungsbereiches ausgesetzt. Im Rauchgasbereich ist mit Temperaturen zwischen 180-300°C zu rechnen, die aber immer noch unter der Umwandlungs-/Zersetzungstemperatur des Materials liegen.

Im Brennraumbereich hingegen liegen die Temperaturen deutlich höher. Bei der Verwendung unseres MagnesiaHSM im Feuerraum eines Ofens ist das Material Temperaturen ausgesetzt, die über den theoretischen Zersetzungstemperaturen liegen (Brucit 350°C, Nebenbestandteile 180°C). Zur Optimierung der konträren Einsatzgebiete als Wärmespeicher (HSM) und auch im Brennraum (FIRE) wurden die Materialeigenschaften entsprechend angepasst.

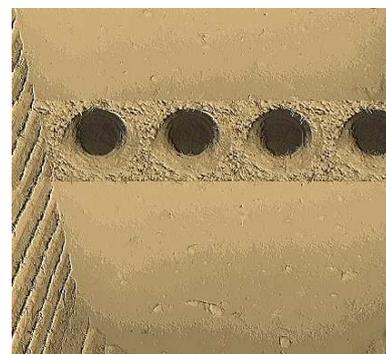
Gezeigt hat sich auch hier, dass sich die Größen w/z-Wert und Sieblinie stark beeinflussen. Beide sind z.B. für die Standfestigkeit im Brennraum ausschlaggebend, d.h. nur feine Sieblinien (0-3mm) sind geeignet. EcoMagHSM Speichersteine können nun auch im Feuerraum eingesetzt werden, wenn der Temperaturbereich von 600°C bis 900°C nicht langfristig überschritten wird.



Prallplatte oben



ohne Zyklone



mit Zyklonen

Die Prallplatte senkt die Abgastemperatur von max. 200°C auf 150°C, also um 25%, weil die Abgasführung im Brennraum optimiert und die Abgasverweildauer verlängert wird. Sie spart 25% Holz, weil die Wärmestrahlung über die Frontscheibe aufgrund besserer Verbrennung deutlich ansteigt. Wärmespeicherung bzw. Wärmestrahlung werden kaum beeinflusst : nur ca. 2°C Unterschied.

AP 4.2 Prozessintegration: Konsistenz, Materialeigenschaften, Beschaffenheit, Maschinenelemente

Eine gut handwerklich verarbeitbare Mischung mit feiner Sieblinien (0-3mm) erschwert aber die industrielle Produktion, weil sie in großen langsam laufenden Mischanlagen gerne zur Verklumpung des Materials führt. Dem konnte aber durch Anpassung der Sieblinie, also Zugabe eines in der Rezeptur exakt bestimmten Anteils an sog. Stützmaterial (= Brucit mit Sieblinie 3-6mm) begegnet werden.

AP 4.3 Preparationskonzept

Brunner HKD 6.1

Nennwärmeleistung 9 kW
 Feuerungsleistung 10 kW
 Holzumsatz 2,2 t/gh
 Gewicht Einsatz/Schamott 80/55 kg

Speicherofen zu:		leichter Bauweise	mittlerer Bauweise	schwerer Bauweise
Spezifische Wärmeleistung für Auslegung	W/m ²	700 - 800	500 - 700	300 - 500
Wärmeabgabe	h	4 - 6	6 - 8	8 - 14
Mittlere Oberflächentemperatur	°C	60 - 80	40 - 60	30 - 40
Speicher Masse bezogen auf 1 kg Brennstoff (Holz)	kg	40 - 50	50 - 70	70 - 90

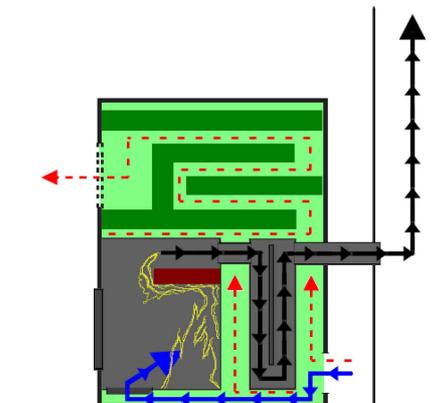
Angaben ohne Heizkasten sind in der Praxis nach 2-3 Abstrichen erreicht

Tabelle 1. Der Speicherofen - Zusammenhang zwischen Heizleistung, Oberflächentemperatur und Speicher Masse.

Grundofen ¹⁾		
Bauart		Schwere Bauweise
Wärmeabgabe	h	8 - 12
Spezifische Heizleistung der Oberflächfläche (Strahlungswärme)	kW/m ²	0,3 - 0,8
Oberflächentemperatur	°C	30 - 40
Heizleistung Schürbe (Wärmeluft)	kW	0,5 - 2
Speicher Masse	kg	800 - 1200
Holzmenge	kg	5 - 20
Verwendung		gedämmte Einfamilienhäuser/Neubau

¹⁾ Angabene Heizkasten sind in der Praxis nach 2-3 Abstrichen erreicht

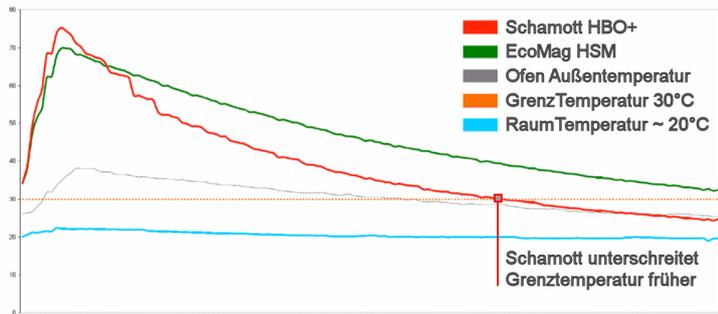
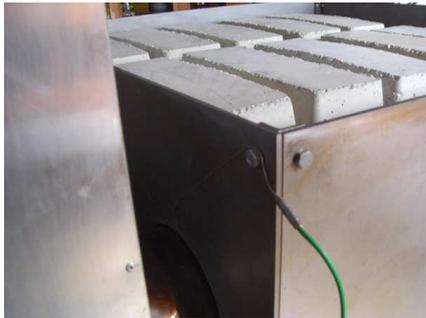
Ofen mit Heizsinsatz	
Bauart	mit Speicher Masse
Wärmeabgabe	6 - 8 h
Spezifische Heizleistung der Oberflächfläche (Strahlungswärme)	0,4 - 0,5 kW/m ²
Oberflächentemperatur	40 - 50 °C
Wärmefleistung (schwache Wärme)	2 - 4 kW
Speicher Masse	300 - 700 kg
Holzmenge	5 - 10 kg
Verwendung	Einfamilienhäuser



Mit Unterstützung mehrerer Fachfirmen wurden für den neuen EcoMag KombiOfen = Demonstrator II ein Hypokaustensystem entworfen, eine passende Feuerstätte (BRUNNER HKD 6.1) mit Nachheizkasten (NHK) gewählt und detaillierte Konstruktionszeichnungen angefertigt, sodass eine Stahlbaufirma die Konstruktion effizient umsetzen konnte.

AP 4.4 Durchführung des Materialprototyps im freistehenden Realumgebungs-Demonstrator





Demonstrator II bestückt mit EcoMagHSM Speichersteinen | mind. 30% besser als Schamott Milestone MS6: Real Umgebung / Prototyp / Demonstrator II fertiggestellt und evaluiert

AP 4.5 Implementierung: HMI / Mensch Material Schnittstelle (Rezeptur, Verarbeitungsparameter)

Die Speichersteine wurden handwerklich mit der auch industriell verarbeitbaren Mischung im "Gießverfahren" hergestellt. Dazu wurde der Konsistenzbereich der Rezeptur von "plastisch" zu "weich bis fließfähig" (F3-F5 n. DIN 1045-2) erweitert.

Dadurch konnte auch die möglichst kurze Abbinde-/Verarbeitungszeit der industriellen Mischung auf ein zur handwerklichen Verarbeitung geeignetes Maß verlängert werden. Alle Bauteile wurden auch auf manuelles Handling ausgelegt (z.B. Gewichtsbegrenzung der Einzelkomponenten).

AP 5 Redesign / Modifikation Bebilderungsmaschinen - Versuchsträger



Im Rahmen der nachfolgenden Messungen wurden Temperaturfühler an verschiedenen Messstellen angebracht, Daten-Logger programmiert und die Daten in eigens erstellten Programmen miteinander verglichen (s.a. AP 4.4: Materialtemperaturen Oberfläche und Kern, Ofentemperaturen außen und innen, Raumtemperatur, Außentemperatur, Aufheiz- und Abkühlzeiten, etc.).

Getauscht und modifiziert wurden sowohl Hypokaustensystem und Brennraum (mit/ohne Prallplatte) als auch die Speichermaterialien (Schamott vs. MagnesiaHSM).

Dokumentiert wurden diese Modifikationen in zahlreichen Tabellen und Bildern.

AP 5.1 Physikalische / chemische Anpassung einzelner Prozesseinheiten

Zur Optimierung der konträren Einsatzgebiete als Wärmespeicher (HSM) vs. Brennraum (FIRE) wurden die Materialeigenschaften entsprechend angepasst. Gezeigt hat sich hinsichtlich Verarbeitung und Früh-/Endfestigkeit, daß sich die Größen w/z-Wert und Sieblinie stark beeinflussen. Auch die Zugabe verschiedener Disperger führt zu höchst unterschiedlichen Abbindezeiten. Der Einfluss der Mischungszusammensetzung, der Einbaugeschwindigkeit, der Schalldicke, der Fließgrenze, der Konsistenz, der Schalungsgeometrie, sowie der Betontemperatur musste hier noch intensiver untersucht werden. Die verschiedenen Varianten wurden von der ARGE K33.AI vorab im Brennofen getestet, um die Anzahl der vom "IBP-Verbrennungssysteme" zu evaluierenden Kandidaten einzugrenzen.



Holzbrand 5 Stunden 600°C, nachfolgend 24 Stunden Abkühlzeit, dann Messung...

AP 5.2 Feinabstimmung Prozesseinheiten (Rezeptur, Verarbeitungshinweise)

EcoMag®
Technisches Datenblatt

ZIM Zentrales Innovationsprogramm Mittelstand
Gefördert durch: Bundesministerium für Wirtschaft und Energie
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

ZIM Kooperation
Fraunhofer IPT
ARGE K33.AI

	Wärmekapazität kJ/(kg · K) bei 20°C	Wärmeleitfähigkeit W/(m·K) bei 20°C	Rohdichte kg/m³	Druckfestigkeit N/mm²
EcoMag HSM	1,3 - 1,5	1,3 - 1,5	1,8 - 2,0	10 - 20

Wärmekapazität, Wärmeleitfähigkeit, Rohdichte und Druckfestigkeit von EcoMag HSM können über die Anmachwassermenge (w/z-Wert) gesteuert werden. Die Maximal-Werte sind bei leichteren Mischungen, d.h. Mischungen mit höherem Anmachwasseranteil, prozentual zu verringern.

Aufgrund des optimalen Verhältnisses von hoher Wärmekapazität und Wärmeleitfähigkeit nimmt EcoMag HSM erheblich mehr Wärme schneller auf und gibt sie dennoch langsamer ab als alle geprüften Schamottemischungen. Die Wärmekapazität ist der entscheidende Faktor, weil sie den Wärmespeicher abbildet. Die erhöhte Wärmeleitfähigkeit ermöglicht ein schnelles Befüllen des Wärmespeichers und sollte idealerweise proportional zur Wärmekapazität sein, um eine lang anhaltende Speicherung zu gewährleisten.

Hauptbestandteile natürliches schiefriges Magnesiumhydroxid - typische chemische Werte:

Mg(OH) ₂	%	ca.	90,00 - 95,00
MgO	%	ca.	60,00 - 65,00
SiO ₂	%	ca.	5,50
CaO	%	ca.	3,00
Al ₂ O ₃	%	ca.	0,25
Fe ₂ O ₃	%	ca.	0,35
Cl	%	max.	0,10

Dieses Produkt wird aus einem mineralischen Rohstoff hergestellt und unterliegt daher trotz sorgfältiger Verarbeitungsmethoden sowie laufenden Kontrollen gewissen Schwankungen. Nicht registrierungspflichtig gemäß Anhang V der REACH Verordnung - Vorregistrierungsnummer: LW161304-17.

Nebenbestandteile CEM,TSZ,TE od. vergleichbar,Dispergierer,Mineralisator (Kristallisations)

Verarbeitung & Lagerung

Mörtel mit sauberem Wasser entsprechend Rezeptur mit geeignetem Werkzeug zu einer knollenfreien, plastischen Konsistenz anmischen und sofort verarbeiten. Das erste Aufheizen sollte langsam und stufenweise bis zur zulässigen Betriebstemperatur erfolgen. EcoMag HSM sollte nicht im Feuerraum eingesetzt werden (kurzfristige Anwendung bis 900 °C ist aber möglich, z.B. als Rauchgas-Präziplatt). Magnesiumhydroxid nimmt aufgrund seiner Reaktivität leicht CO₂ und H₂O auf. Gebinde sind generell luftdicht zu verschließen, trocken und geschützt zu lagern. Die Lagerzeit sollte 3 Monate nicht überschreiten.

Sicherheitshinweise & Einstufung lt. Chemikalien-Gesetz (s.a.: nachfolgendes TSM)

Darf nicht in die Hände von Kindern gelangen (P102). Chromatam nach TRGS 613. Reizt die Augen und die Haut. Einatmen von Staub vermeiden.

ZIM-FuE-Projekt **Fraunhofer Gesellschaft IBP "MagnesiaHSM"** EcoMag® ARGE K33.AI
<http://www.EcoMagHSM.eu> - <mailto:webmaster@EcoMagHSM.eu>

EcoMag®
Technisches Sicherheits Merkblatt

ZIM Zentrales Innovationsprogramm Mittelstand
Gefördert durch: Bundesministerium für Wirtschaft und Energie
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

ZIM Kooperation
Fraunhofer IPT
ARGE K33.AI

Das Technische Sicherheits Merkblatt (TSM) und das Technische Datenblatt (TM) sind Grundlage der technischen Dokumentation im Sinne der BauPVO sowie der produktbezogenen technischen Datenblätter. Die nachfolgend genannten, neben denen des Technischen Datenblattes (TM) die vereinbarten technischen Eigenschaften dar.

Körnung 0-3 mm

Lässt sich in dünnen Schichten ab 3 mm Stärke auftragen, ist aber auch zum Ausgleichen, für Verspachtelungen und Verfüllungen jeglicher Dicke geeignet. Hochwertige natürliche Rohstoffe in Verbindung mit Spezial-Bindemitteln erlauben eine maximale Dauertemperatur von 350°C (kurzfristige Anwendung bis 900 °C möglich).

Abbindezeit: hydraulisch
Schüttgewicht: ca. 1,8 kg/dm³
Wassersatz: ca. 2,5 - 4,5 Liter je 25 kg Sack (w/z 0,4 - 0,7)
Verarbeitungszeit: 15 - 30 Min.
Brandverhalten: A 1



Einstufung lt. Chemikalien-Gesetz

Chromatam nach TRGS 613
Reizend

R-Sätze: Reizt die Augen und die Haut

S 2: Darf nicht in die Hände von Kindern gelangen

S 22: Staub nicht einatmen

S 24/25: Bei Berührung mit den Augen und der Haut vermeiden

S 26: Bei Berührung mit den Augen gründlich mit Wasser abspülen und Arzt konsultieren

S 37/39: Bei der Arbeit geeignete Schutzhandschuhe und Schutzhelm/Gesichtsschutz tragen

S 49: Bei Verschlucken sofort ärztlichen Rat einholen und Verpackung oder Etikett vorzeigen

Verordnung (EG) Nr 1907/2006 (REACH) P301 und P304 + P340 und P312

Verarbeitung

Mörtel mit sauberem Wasser entsprechend Rezeptur mit geeignetem Werkzeug zu einer knollenfreien, plastischen Konsistenz anmischen und sofort verarbeiten. Angetrockneten Mörtel wegwerfen, nicht mehr verwenden. Nach der Arbeit das Werkzeug sofort mit Wasser reinigen. Bei der Verarbeitung von größeren Mengen zuvor den ganzen Sack trocken durchmischen.

Hinweise

Nicht unter + 5 °C und nicht über 35 °C Wand-, Untergrund- und Lufttemperatur verarbeiten und abtrocknen lassen. Hohe Luftfeuchtigkeit und tiefe Temperaturen können die Abbindezeit deutlich verlängern. Unsere anwendungstechnischen Empfehlungen, die wir zur Unterstützung des Käufers/Verarbeiters aufgrund unserer Erfahrungen geben, gelten nur als unverbindliche Hinweise, entsprechen dem derzeitigen Erkenntnisstand und begründen kein vertragliches Rechtsverhältnis und keine Nebenverpflichtungen aus dem Kaufvertrag. Sie entbinden den Käufer nicht davon, unsere Produkte auf ihre Eignung für den vorgesehenen Verwendungszweck selbst zu prüfen. Anwendung, Verwendung und Verarbeitung liegen ausschließlich im Verantwortungsbereich des Käufers/Verarbeiters. Die allgemeinen Regeln der Bautechnik müssen eingehalten werden. Änderungen, die dem technischen Fortschritt und der Verbesserung des Produktes oder seiner Anwendung dienen, behalten wir uns vor. Mit Erscheinen dieser Technischen Information sind frühere Ausgaben ungültig. Aktuelle Informationen entnehmen Sie unseren Internet-Seiten. Es gelten für alle Geschäftsfälle unsere aktuellen Verkaufs- und Lieferbedingungen.

ZIM-FuE-Projekt **Fraunhofer Gesellschaft IBP "MagnesiaHSM"** EcoMag® ARGE K33.AI
<http://www.EcoMagHSM.eu> - <mailto:webmaster@EcoMagHSM.eu>

Erstellt wurden auch Datenblätter mit denen die Rezeptur und die Verarbeitung festlegt wurden. Das Technische Sicherheits Merkblatt (TSM) und das Technische Datenblatt (TM) sind Grundlage der technischen Dokumentation im Sinne der BauPVO sowie der produktbezogenen technischen Datenblätter.

AP 5.3 Anpassung Material / Redesign Wärmespeichermaterial / Optik / Haptik



Die ARGE K33.AI konnte mittlerweile als Ergebnis weiterer Variantenuntersuchungen und Anpassungen eine aktuell bereits 1-komponentig verarbeitbare Allround-Mischung konzipieren und herstellen. Durch Zugabe verschiedener Mineralisatoren und Kristallisatoren konnten sowohl Haptik (Abstauben der Oberfläche) und im Vertrieb/Marketing auch entscheidende Optik (Farbtöne) des Endprodukts optimiert werden.

Zusammenfassung

Das ZIM-Projekt "MagnesiaHSM ein ökologischer Schamottersatz" wurde erfolgreich abgeschlossen. Die optimierte Rezeptur speichert Wärme dauerhaft und erheblich effizienter als alle geprüften Schamottmischungen. EcoMagHSM kann auch bei weniger umweltbewussten Verbrauchern aufgrund Beständigkeit, günstiger Anschaffung und kurzer Amortisation eine hohe Nachfrage erzeugen.

Aufgrund der Analysen durch das Fraunhofer IBP konnte das Material in mehr als 100 Testreihen hinsichtlich Verarbeitung und Eigenschaften optimiert werden. Die empirischen Versuche zu Wärmekapazität, Wärmeleitfähigkeit, Rohdichte, Druckfestigkeit, etc. konnten verifiziert werden. Die optimierte Rezeptur kann unter bestimmten Voraussetzungen auch im Feuerraum eingesetzt werden, z.B. als Prallplatte inkl. Zyklonabscheider. Die abschließende Optimierung der Rezeptur bezüglich w/z-Wert, Binderverbrauch, Festigkeit, Verdichtungs-, Ausbreit- und Setzmaß führte zu einer sowohl handwerklich als auch industriell verarbeitbaren Mischung. Diese wird im Laufe der nächsten Monate industriell in Deutschland produziert und unter dem mittlerweile eingetragenen Markennamen EcoMag® angeboten. Um die Transportstrecken zum jeweiligen Einbau-/Verbrauchsort und damit auch die Frachtkosten zu minimieren, soll das Material deutschlandweit von bereits etablierten Herstellern unter Lizenz produziert werden. Damit würde es dezentral ohne lange Transportwege mit durchgängig positiver Ökobilanz hergestellt.

Speziell zur Vermarktung und Weiterentwicklung der ZIM-Ergebnisse dieses Projektes wurde mittlerweile die EcoMag GmbH aus der ARGE K33.AI ausgegründet. EcoMagHSM kann damit ab sofort im Portfolio der etablierten Hersteller als zusätzliche Alternative zu den erheblich teureren Schamott-Gießmörteln angeboten werden.

Die EcoMag GmbH sucht auch zukünftig nach neuen Forschungs- und Entwicklungspartnern, z.B. um den Kombiofen in Serie auf den Markt zu bringen, aber auch für andere mögliche Geschäftsideen. Interessenten finden alle Informationen zu EcoMagHSM kurz zusammengefasst im Prospekt und auf den Homepages:

www.EcoMagHSM.eu | www.EcoMag.tech | www.LTplus.eu | ...