

# Sicherer Einsatz biolöslicherer Faserdämmstoffe in Atmosphären von Thermoprozessanlagen

Safer use of more highly bio-soluble fibrous insulating materials in the atmospheres of thermal processing installations

Von Jürgen Rank, Volker Uhlig, Dimosthenis Trimis, Hubertus Semrau

Ziel des Projektes war es, die Unsicherheit über die zulässigen Einsatzbedingungen der biolöslicheren Hochtemperaturwollen deutlich zu verringern. Für die Anwender im Thermoprozessanlagenbau werden Aussagen bereitgestellt, um Erzeugnisse aus AES-Materialien sicherer auszuwählen und einzusetzen. So können für die Anlagenbauer und für die Anlagenbetreiber wirtschaftliche Schäden durch den Einsatz biolöslicherer Wollen unter für sie ungeeigneten Bedingungen vermieden werden. Es kann den Vorgaben des Gesetzgebers und dem Wunsch der Anlagenbetreiber nach dem weitestgehenden verantwortbaren Einsatz solcher Materialien entsprochen werden.

The aim of this project was the achievement of a significant reduction of the uncertainty concerning the permissible service conditions for more bio-soluble high-temperature insulating wools. Information permitting more reliable selection and use of products made from AES materials is provided for users in thermal processing-plant engineering. Economic damage caused by the use of more highly bio-soluble wools under unsuitable conditions can therefore be avoided by plant engineers and operators. It is then possible to conform with the stipulations of the legislator and the plant operators' desire for the most extensive possible responsible utilization of these materials.

Wärmedämmstoffe aus Hochtemperaturwolle (HTW) werden aufgrund ihrer Eigenschaften wie niedrige Wärmeleitfähigkeit, niedrige Rohdichte und dadurch geringe Masse sowie wegen ihrer Elastizität für viele Anwendungen in Hochtemperaturanlagen bevorzugt verwendet [1]. Mit der Diskussion zu Faserstäuben hinsichtlich einer eventuellen kanzerogenen Wirkung beim Menschen wurden auch die Aluminiumsilikatwollen (ASW – früher auch Refractory Ceramic Fibres – RCF), welche oft zur Wärmedämmung in Thermoprozessanlagen verwendet werden, ins Blickfeld gerückt [2]. Auf der Grundlage von Tierversuchen wurden ASW-Wollen in die Kategorie 2 eingestuft [3, 7]. Als mögliche Ersatzmaterialien werden Wollen des Systems CaO-MgO-SiO<sub>2</sub> angeboten. Die von den Herstellern ange-

gebene Klassifikationstemperatur dieser biolöslicheren Hochtemperaturwollen (High Temperature Glass Fibres / Alkaline Earth Silicate = HTGF / AES) liegt bei Temperaturen bis 1300 °C. Damit sind

Thermoprozessanlagen zur Erwärmung und Wärmebehandlung von Stahl sowie Brennöfen der Fein- und Grobkeramik ins Einsatzfeld dieser Hochtemperaturwollen eingeordnet [4].

Die Untersuchungen erfolgten im Rahmen eines AiF-Projektes, das sich mit dem Einsatz biolöslicherer AES-Materialien in Thermoprozessanlagen beschäftigte. Dazu wurden vier kommerziell verfügbare, biolösliche Materialien zusammen mit einem ASW-Vergleichsmaterial (**Tabelle 1**) bei definierten Temperaturen, Zeiten und unterschiedlichen Atmosphären ausgelagert. Es erfolgten Untersuchungen bezüglich Schrumpfung, Rückstellvermögen, Wärmeleitfähigkeit sowie chemischer und kristallographischer Veränderungen.

Um eine gute Vergleichbarkeit zwischen den unterschiedlichen Versuchen zu gewährleisten, wurden ausschließlich Matten der Materialien mit einer Dichte von ca. 128 kg/m<sup>3</sup> als Probenmaterial ausgewählt. Das Versuchsprogramm zu Temperatur- und Zeiteinfluss umfasste Kurzzeitversuche über 24 h und Lang-

**Bild 1:** Schrumpfung nach 24 h

**Fig. 1:** Shrinkage after 24 h

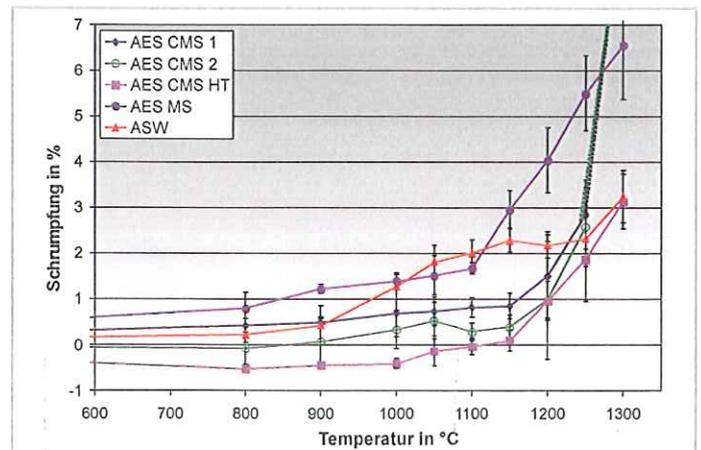


Tabelle 1: Materialübersicht (Herstellerangaben)

Table 1: Material overview (manufacturer's information)

	CMS 1	CMS 2	CMS HT	MS	ASW
Klassifizierungstemperatur in °C	1100	1200	1300	1250	1260
Dichte in kg/m <sup>3</sup>	128	130	128	130	130
Schrumpfung nach 24 h in % bei					
1000 °C	<1				
1200 °C		<1			
1250 °C			<2	<2,5	3,3
Chemische Analyse in %					
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	–	–	–	–	42–47
SiO <sub>2</sub>	62–68	61–67	70–80	72–77	53–58
CaO	26–32	27–33	18–25	–	–
MgO	3–7	2,5–6,5	–	19–26	–
andere	<1	1–2	<3	0–4	–
Wärmeleitfähigkeit in W/mK bei					
200 °C	0,06	0,05	0,05	0,06	–
400 °C	0,1	0,08	0,09	0,1	0,09
600 °C	0,16	0,12	0,16	0,14	0,12
800 °C	0,23	0,18	0,25	0,2	0,18
1000 °C	0,29	–	0,36	0,27	0,28
1200 °C	–	–	0,5	–	–

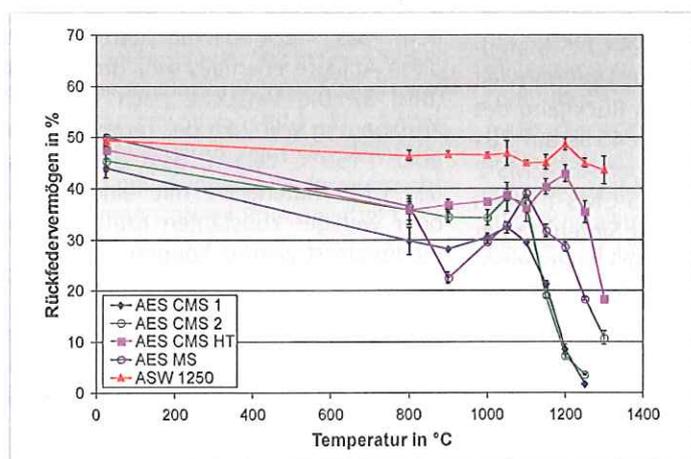


Bild 2: Rückfedervermögen nach 24 h  
Fig. 2: Resilience after 24 h

## Ergebnisse

### Zeit- und temperaturabhängige Schrumpfung

Das Schrumpfungsverhalten der untersuchten Materialien (Bild 1) ist von deutlichen Unterschieden geprägt. Die beiden AES-CMS-Materialien zeigen bis 1200 °C eine geringere Schrumpfung in Roll- und Querrichtung als das konventionelle ASW-Vergleichsmaterial. Eine Richtungsabhängigkeit der Schrumpfung kann nicht festgestellt werden und ist bei beiden untersuchten Materialien nahezu identisch. Ab 1200 °C tritt bei den AES-CMS-Materialien eine verstärkte Sinterung und somit auch eine höhere Schrumpfung ein. Nach Auslagerung bei 1300 °C über 24 h ist diese größer als 8 %.

zeitversuche bis 700 h. Die Versuche zu chemischen Einflüssen erfolgten über eine Haltezeit von 24 h bei der jeweiligen Temperatur. Es wurden Untersuchungen

in reduzierenden Atmosphären durchgeführt. Außerdem wurden der Ofenatmosphäre gezielt korrosiv wirkende Stoffe zugesetzt.

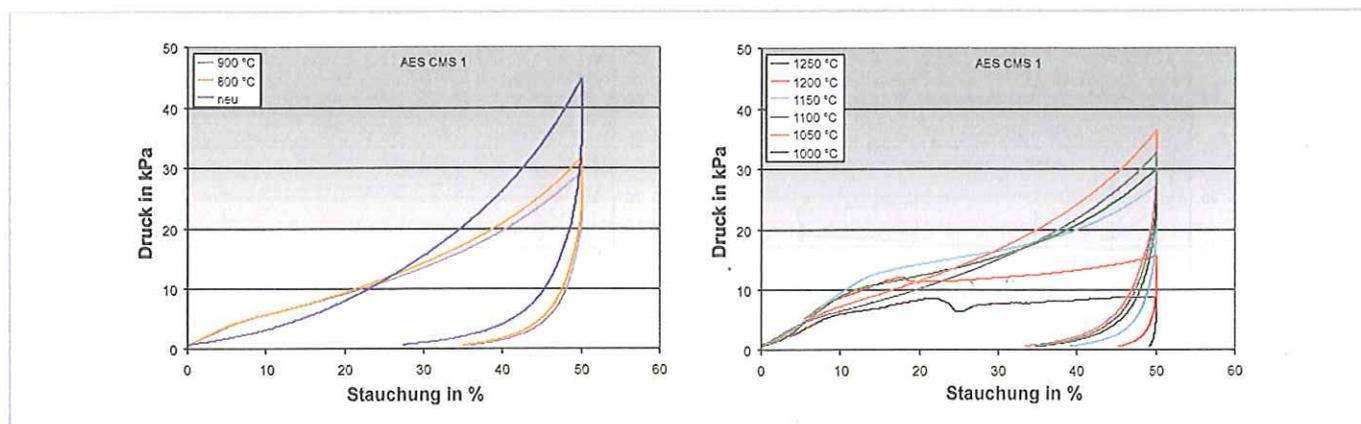


Bild 3: Rückfederverhalten AES-CMS 1 nach 24 h

Fig. 3: Resilient behaviour of AES-CMS 1 after 24 h

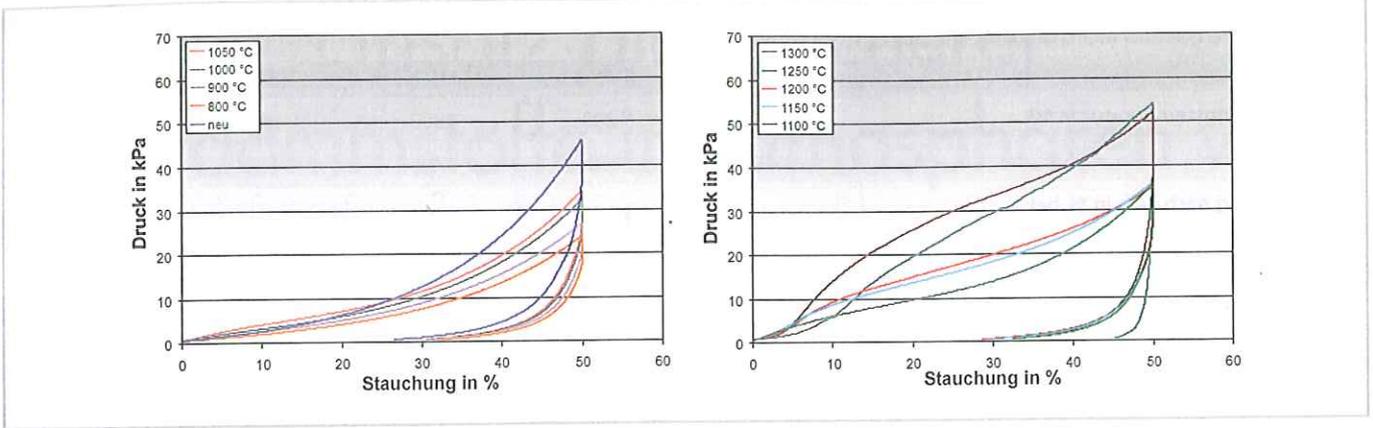


Bild 4: Rückfederverhalten AES-CMS-HT nach 24 h  
 Fig. 4: Resilient behaviour of AES-CMS-HT after 24 h

Eine zunehmende Schrumpfung weisen auch die anderen Materialien bei höheren Temperaturen auf. Die MS-Wolle zeigt ein solches Verhalten schon ab 1150 °C, die AES-CMS-HT-Wolle ab 1200 °C. Bei dem ASW-Vergleichsmaterial wird eine zunehmende Schrumpfung erst bei Temperaturen von 1300 °C, also oberhalb der Klassifikationstemperatur, festgestellt.

Die Schrumpfung aller Materialien ist nach 24 h weitgehend abgeschlossen. In Abhängigkeit von der Temperatur findet je nach Material nur ein leichtes Nachschrumpfen bis zu einer Auslagerungszeit von 100h statt.

**Rückfederverhalten**

Die Messung des Rückfedervermögens bzw. des Rückstellereffekts geschieht weitestgehend nach DIN EN 1094 [8]. Dabei wird eine Probe mit einer Grundfläche von 100x100mm<sup>2</sup> um 50 % ihrer Ausgangsdicke zusammengedrückt und

nach 5 min Haltezeit wieder entlastet. Im Anschluss wird die sich einstellende Enddicke bestimmt. Abweichend von der Norm erfolgt die Dickenmessung vor und nach den Versuchen direkt in der Prüfmaschine bei einem Druck von 725 Pa. Die Messung geschieht stets bei Raumtemperatur. Die AES-CMS-Materialien zeigen nach 24 h Auslagerungszeit bis 900 °C einen leichten Rückgang des Rückfedervermögens von 45 % auf 28-35 %, wobei die Werte der AES-CMS 2 leicht über denen der AES-CMS 1 liegen (Bild 2). Mit beginnender Sinterung der Materialien wird das Rückfedervermögen nach 24 h etwas höher, bricht aber mit steigender Temperatur aufgrund der fortschreitenden Kristallisation der Materialien wieder ein. Nach Auslagerung bei 1200 °C ist bei den AES-CMS-Materialien praktisch kein Rückstellereffekt mehr zu messen. Das Rückfedervermögen der AES-MS-Matten als auch das der AES-CMS-HT-Matte ist gegenüber dem ASW-Vergleichsmaterial ebenfalls

geringer, wobei prinzipiell dieselben Beobachtungen wie bei den AES-CMS-Materialien gemacht werden, allerdings nach Auslagerung bei etwas höheren Temperaturen.

Die Druck-Weg-Kurven der Messungen, das Rückfederverhalten, geben diese Abläufe ebenfalls sehr gut wieder (Bild 3). Die Versuche nach Kurzauslagerung von 24h bei Temperaturen über 1150 °C zeigen, dass die Proben der CMS-Materialien mit einer mehr oder weniger konstanten Kraft zusammengepresst werden können.

Die Druck-Weg-Verläufe des CMS-HT- und des MS-Materials zeigen keinen Rückgang der notwendigen Druckkraft bei höheren Temperaturen (Bild 4). Das ASW-Vergleichsmaterial weist nach Auslagerung bis 1100 °C kaum Unterschiede zu neuem Material auf.

Anders als bei der Schrumpfung ist beim Rückstellverhalten eine deutliche

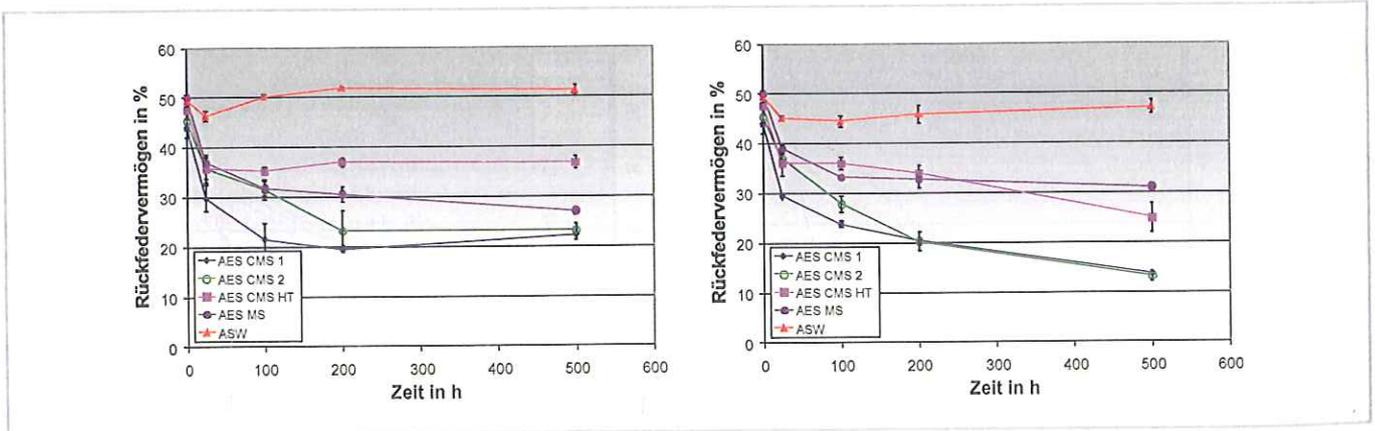


Bild 5: Rückfedervermögen nach Auslagerung bei 800 °C und bei 1100 °C  
 Fig. 5: Resilience after exposure to 800 °C and 1100 °C

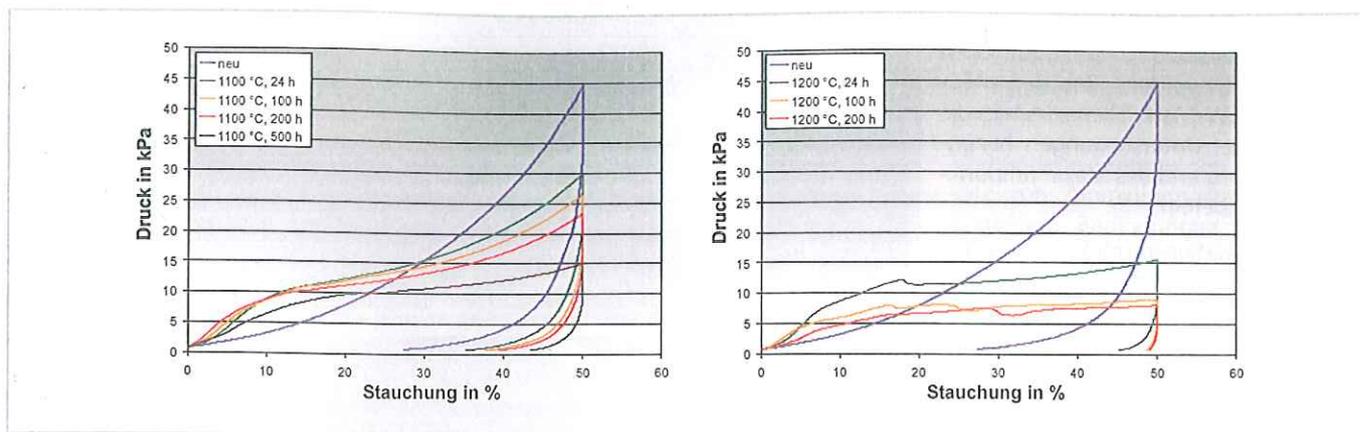


Bild 6: Rückfederverhalten AES-CMS 1 nach Auslagerung bei 1100 °C und 1200 °C

Fig. 6: Resilient behaviour of AES-CMS 1 after exposure to 1100 °C and 1200 °C

Abhängigkeit von der Auslagerungszeit bei Temperaturen über der Kristallisationstemperatur festzustellen. Die fortschreitende Kristallisation aller AES-Materialien verringert zunehmend die Festigkeit der Einzelfasern, sodass diese unter Belastung brechen. Die AES-CMS-Wollen zeigen nach 500 h bei 1100 °C schon bedenklich niedrige Werte beim Rückfedervermögen (Bild 5). Anders als die AES-Matten zeigt das ASW-Vergleichsmaterial innerhalb der Versuchszeiten einen stabilen Rückstellereffekt.

Auch nach 500 h Auslagerungszeit bei 1100 °C können die AES-CMS-Materialien mit einer mehr oder weniger konstanten Kraft zusammengedrückt werden. Die AES-CMS-HT- und die AES-MS-Materialien schneiden etwas besser als die AES-CMS-Materialien ab. Der Zeiteinfluss bei den Versuchen ist weniger stark ausgeprägt. Die besten Ergebnisse werden aber von der ASW 1250 erreicht. Erst bei 1200 °C wird eine Zeit-

abhängigkeit innerhalb der Versuchszeit festgestellt (Bild 6 und 7).

#### Kristallographische Untersuchungen

Rasterelektronische Aufnahmen (REM) der Proben unterstützen die Ergebnisse der Rückfedermessungen. Die AES-CMS-Materialien zeigen bis 900 °C keine Veränderungen. Nach Auslagerung über 700 h bei 1000 °C sind erste Sinterungen zwischen den einzelnen Fasern zu erkennen (Bild 8). Zudem sind vereinzelt auch Kristallite sichtbar. Nach 24 h bei 1200 °C ist bei dem Material eine weit fortgeschrittene Kristallisation festzustellen.

Ähnlich sehen auch die REM-Aufnahmen der anderen AES-Proben aus. Bei den AES-CMS-HT-Proben sind bei 1000 °C Spuren der Kristallisation zu erkennen, bei 900 °C sind sie noch wesentlich schwächer ausgeprägt. Die AES-MS-Probe verhält sich ebenso wie die AES-CMS-HT-Probe. Auch hier sind einzelne

Kristallite nach 700 h Auslagerung bei 1000 °C zu erkennen.

Die Bestimmung der Kristallisationstemperatur erfolgt mittels DSC-(Differential Scanning Calorimetry)-Messung. Das ASW-Material kristallisiert bei ca. 990 °C. Die Untersuchungen der AES-Materialien zeigen hingegen schon ab 890-940 °C deutliche Anzeichen für eine Kristallisation. Die beiden CMS-Wollen zeigen dabei ein identisches Verhalten. Die Kristallisationstemperatur wird bei der MS-Wolle mit ca. 920 °C gemessen, wobei die Entglasung schon bei Temperaturen unter 900 °C beginnt. Die CMS-HT zeigt hingegen zwei ineinanderlaufende Peaks, einen bei 925 °C und einen bei 970 °C. Dies deutet auf die Bildung mehrerer kristalliner Phasen hin, die sich bei unterschiedlichen Temperaturen bilden.

Die Ergebnisse der Versuche decken sich mit denen von Tonnesen et al. [5]. Kleinere Abweichungen bei den AES-MS- und AES-CMS-HT-Materialien können

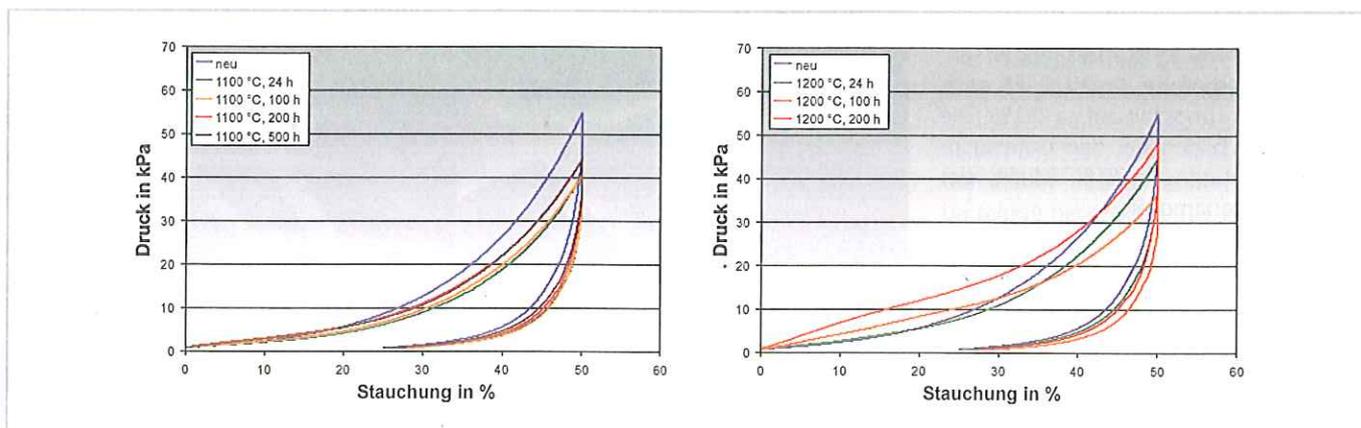


Bild 7: Rückfederverhalten ASW 1250 nach Auslagerung bei 1100 °C und 1200 °C

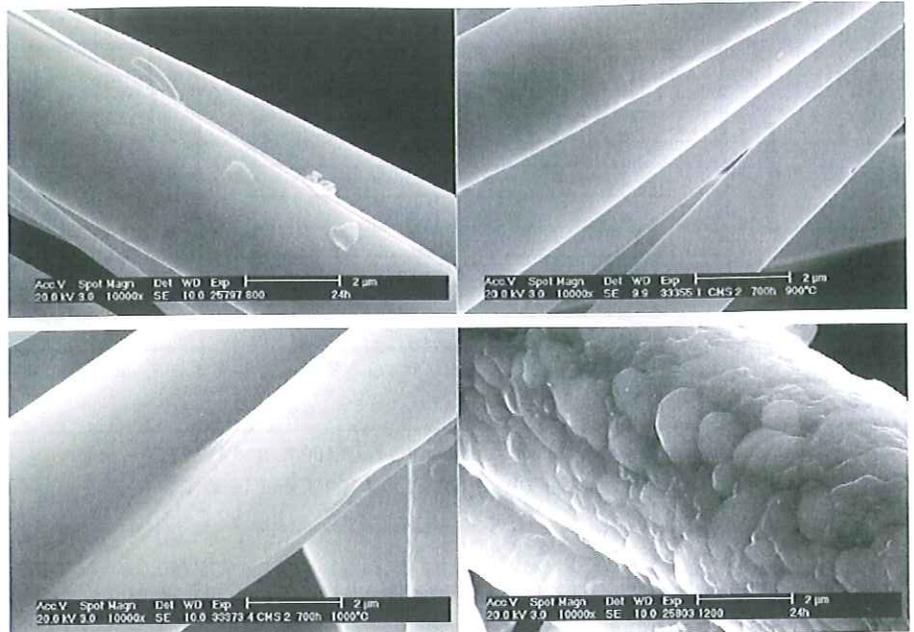
Fig. 7: Resilient behaviour of ASW 1250 after exposure to 1100 °C and 1200 °C

möglicherweise auf Schwankungen in der Zusammensetzung der Materialien zurückgeführt werden. Bei den AES-CMS- und ASW-Materialien stimmen die Ergebnisse der Untersuchungen bezüglich des Beginns und des Maximumpunktes sehr gut überein.

Die Kristallisationsprodukte wurden mittels quantitativer Röntgenbeugung (XRD) bestimmt [6]. Dazu wurden Messungen nach Auslagerung bei 1000 °C und 1100 °C mit einem Zinkoxid-Standard durchgeführt. Die beiden AES-CMS-Proben zeigen nach 700 h bei 1000 °C als Kristallisationsprodukt ca. 50 % Ferrobustamit, eine trikline Kristallphase ( $\text{Ca}(\text{Fe}^{2+}, \text{Ca}, \text{Mn})\text{Si}_2\text{O}_6$ ). Der amorphe Anteil im Material sinkt mit der Auslagerungszeit. Nach 700 h sind noch ca. 30 % des Materials röntgenamorph. Bei der AES-CMS 1 werden zudem ca. 7 % Cristobalit gemessen. Nach der Auslagerung bei 1100 °C werden hauptsächlich Wollastonit und Pseudowollastonit als Kristallisationsprodukte gemessen. Zudem steigt der Cristobalitanteil der AES-CMS-Proben auf ca. 20 %. Je nach Zusammensetzung lassen sich auch kleinere Mengen Quarz nachweisen. Die AES-CMS-HT-Probe bildet nach Auslagerung bei 1000 °C ca. 30 % Pseudowollastonit und ca. 17 % Wollastonit. Mit steigender Auslagerungszeit erhöht sich auch langsam der Quarzanteil auf ca. 15 %. Nach Auslagerung bei 1100 °C findet sich hauptsächlich Cristobalit. Auch hier werden ca. 25 % Wollastonit und 20 % Pseudowollastonit gemessen. Die AES-MS-Probe weist mit 75 % den größten amorphen Anteil aller untersuchten Materialien nach 700 h Auslagerung bei 1000 °C auf. Als Hauptkristallisationsprodukt bildet sich Enstatit (ca. 23 %) und kleine Mengen Quarz (ca. 2 %). Enstatit findet sich in ähnlichen Mengen auch nach Auslagerung bei 1100 °C. Zudem werden ca. 40 % Cristobalit gemessen. Der röntgenamorphe Anteil sinkt nach 200 h Auslagerungszeit auf ca. 20 %. Die ASW-Proben bilden bei den untersuchten Temperaturen ca. 70 % Mullit, der Rest ist röntgenamorph.

### Versuche zum Korrosionsverhalten

Neben dem Temperatur-Zeit-Einfluss wurden im Rahmen der Untersuchungen auch atmosphärische und chemische (korrosive) Einflüsse untersucht. Dazu wurden die Materialien über 24 h in  $\text{H}_2$ , Endogas (40 %  $\text{H}_2$ , 40 %  $\text{N}_2$ , 20 %  $\text{CO}$ ) und unter Einfluss von  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{HCl}$ ,  $\text{H}_3\text{PO}_4$



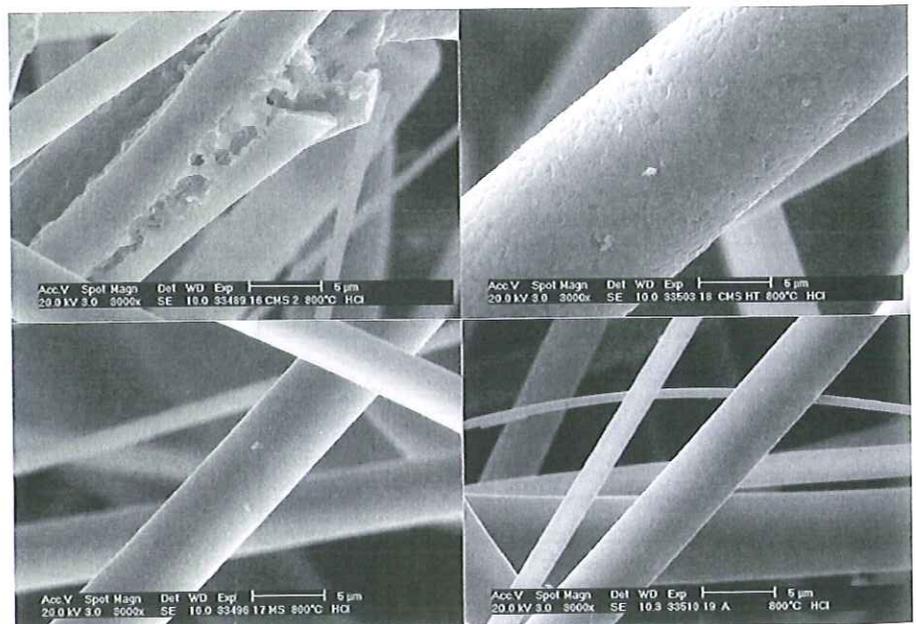
**Bild 8:** AES-CMS 2 nach 24 h bei 800 °C, nach 700 h bei 900 °C, 1000 °C und nach 24 h bei 1200 °C  
**Fig. 8:** AES-CMS 2 after 24 h at 800 °C, after 700 h at 900 °C, 1000 °C and after 24 h at 1200 °C

sowie  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  in Verbrennungsatmosphären bei Temperaturen von 400 °C bis 1100 °C ausgelagert.

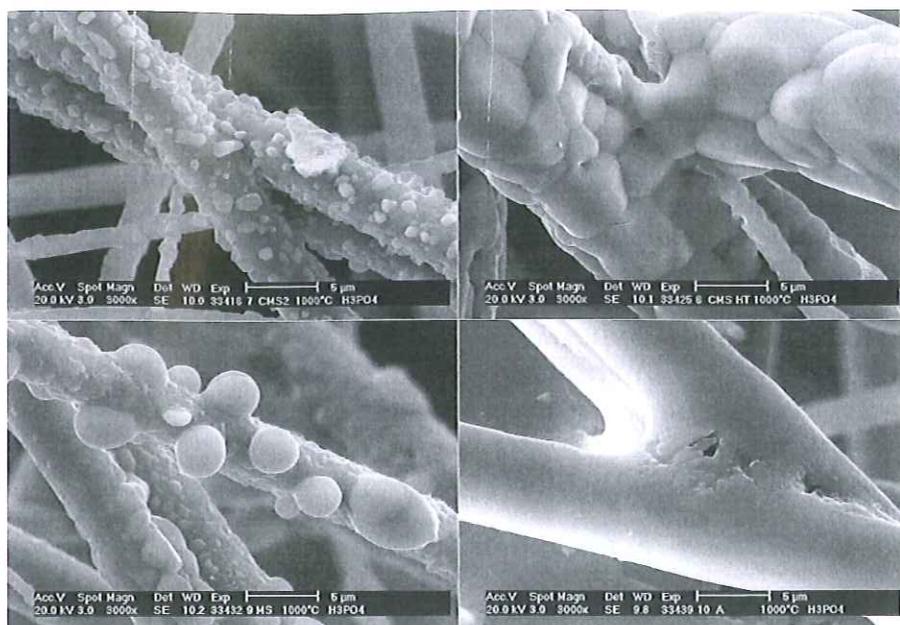
Innerhalb der Versuchszeit in den reduzierenden Atmosphären können keine Unterschiede zwischen den AES-Materialien und ASW-Vergleichsmaterial festgestellt werden. Sowohl die AES- als auch das ASW-Proben zeigen unter diesen Bedingungen eine minimal höhere Schrumpfung im Vergleich zu den Versu-

chen, die an Luft durchgeführt wurden. Lediglich die REM-Aufnahmen der AES-Materialien weisen bei 900 °C schon Spuren der beginnenden Entglasung/Kristallisation auf, die unter Luftatmosphäre nach 24 h weniger stark ausgeprägt sind.

In den Endogasversuchen wird tendenziell eine Massezunahme der Proben bei niedrigen Auslagerungstemperaturen beobachtet, welche auf Kohlenstoffabla-



**Bild 9:** AES-CMS (links oben), AES-CMS-HT (rechts oben), AES-MS (links unten) und ASW 1250 (rechts unten) nach 12 h Auslagerung bei 800 °C und 50 ppm HCl, Verbrennungsatmosphäre  
**Fig. 9:** AES-CMS (top left), AES-CMS-HT (top right), AES-MS (bottom left) and ASW 1250 (bottom right) after 12 h exposure to 800 °C and 50 ppm HCl, combustion atmosphere



**Bild 10:** AES-CMS (links oben), AES-CMS-HT (recht oben), AES-MS (links unten) und ASW 1250 (rechts unten) nach 24 h Auslagerung bei 1000 °C und 50 ppm  $H_3PO_4$ , Verbrennungsatmosphäre

**Fig. 10:** AES-CMS (top left), AES-CMS-HT (top right), AES-MS (bottom left) and ASW 1250 (bottom right) after 24 h exposure to 1000 °C and 50 ppm  $H_3PO_4$  combustion atmosphere

gerungen zurückzuführen ist. Eine Karbonatisierung der AES-Proben konnte innerhalb der Versuchszeit nicht festgestellt werden.

Der Einfluss chemischer Verunreinigungen in der Atmosphäre führt zu teilweise deutlichen Unterschieden zwischen den AES- und ASW-Materialien als auch untereinander (**Bild 9**). Säuren reagieren mit den enthaltenen CaO- und MgO-Anteilen in den AES-Materialien, und das in allen untersuchten Temperaturbereichen.

Die Schädigungen der AES-MS-Proben sind dabei meist weniger stark ausgeprägt als an den AES-CMS- bzw. AES-CMS-HT-Proben. Das ASW-Vergleichsmaterial schneidet aufgrund seiner chemischen Zusammensetzung bei diesen Untersuchungen besser ab als die AES-Materialien. Doch auch die ASW-Proben werden von  $H_3PO_4$  bei hohen Temperaturen angegriffen (**Bild 10**).

Unter diesen Bedingungen muss mit einer Zerstörung der Materialien innerhalb einer sehr kurzen Zeit gerechnet werden.

## Fazit

Die Schrumpfung der Materialien ist nach 24 h zum größten Teil abgeschlossen. Je nach Auslagerungstemperatur wurden für die meisten Materialien leichte Nachschrumpfungen bis 100 h Auslagerungszeit gemessen. Grundsätzlich zeigen die

AES-Materialien im untersuchten Temperaturbereich eine geringe Schrumpfung. Wird die Klassifikationstemperatur erreicht bzw. überschritten, verhalten sich die AES-Materialien wesentlich anfälliger als vergleichbar klassifizierte Aluminiumsilikatwollen.

Die AES-Proben weisen in den durchgeführten Versuchen ein schlechteres Rückfedervermögen als das ASW-Vergleichsmaterial auf. Das Rückfedervermögen ist neben der Auslagerungstemperatur auch stark von der Auslagerungszeit abhängig. Dies gilt insbesondere beim Überschreiten der Kristallisationstemperaturen. Zudem wird bei den AES-CMS-Matten eine Veränderung des Rückfederungsverhaltens bereits ab 800 °C beobachtet. Diese Veränderungen treten bei AES-CMS-HT-Matten bei 1000 °C, bei AES-MS ab 1100 °C und bei der ASW 1250 erst ab 1200 °C auf.

Die Kristallisation der AES-Materialien beginnt bei Temperaturen um 900 °C. Die untersuchten ASW-Materialien kristallisieren erst bei ca. 980 °C. Bei der Kristallisation der AES-Wollen werden neben Wollastonit, Pseudowollastonit, Enstatit auch Quarz und Cristobalit gebildet. Wird das Material dann erosiv beansprucht, sollte eine Freisetzung der Stäube verhindert werden. Beim Ausbau der Materialien sind entsprechende Schutzmaßnahmen (z.B. Tragen von Atemschutzmasken) zu beachten. Ein

Einfluss der Kristallisation auf die Wärmeleitfähigkeit der Materialien konnte im Rahmen der Versuche nicht festgestellt werden.

Vorhandene Erfahrungen aus dem Einsatz von Aluminiumsilikatwollen unter korrosiven Bedingungen können nicht direkt auf die AES-Materialien projiziert werden. Die AES-Materialien zeigen aufgrund ihrer chemischen Zusammensetzung ein anderes Verhalten als ASW-Materialien. Beim Einsatz von AES-Wollen ist daher genau auf Verunreinigungen zu achten, die im Prozess freigesetzt werden. Zwischen den verschiedenen Materialien gibt es jedoch Unterschiede. Die AES-MS-Wolle schneidet bei den Kurzzeitversuchen gegenüber den AES-CMS- und AES-CMS-HT-Materialien oft besser ab. Es ist aber anzunehmen, dass die Prozesse nur langsamer ablaufen als bei den AES-CMS-Materialien. Ob dies ausreicht, um ähnliche Lebensdauern wie bei den ASW-Materialien unter gleichen Bedingungen zu erreichen, bleibt an dieser Stelle offen. Dies sollte durch Langzeituntersuchungen geklärt werden.

Der Einsatz jeglicher AES-Materialien sollte bei Auftreten von  $HF$ ,  $H_3PO_4$ ,  $H_2SO_4$ ,  $NaOH$ ,  $KOH$  oder  $HCl$  prinzipiell vermieden werden. Die Anfälligkeit der AES-Materialien gegenüber Kondensaten schränkt die Verwendbarkeit weiter ein. Werden Kondensate in der Ofenwand gebildet, muss mit der vollständigen Auflösung der AES-Materialien innerhalb von wenigen Tagen bzw. Wochen gerechnet werden. In diskontinuierlich arbeitenden Anlagen ist je nach Prozess das Risiko einer Taupunktunterschreitung durch das Aufheizen und Abkühlen der Anlage höher. Sollen AES-Materialien eingesetzt werden, muss dieser Umstand Beachtung finden.

Die durchgeführten Untersuchungen basieren auf einer allseitigen Erwärmung des Dämmstoffes. Es ist zu beachten, dass sich bei realen Anwendungen eine Temperaturdifferenz zwischen beiden Seiten einstellt. In der Praxis wird neben der früher häufig verwendeten Lagenbauweise heutzutage die Modulbauweise verwendet. Durch die Vorverdichtung der Module wird der Schrumpfung durch Ausnutzen des Rückstellvermögens teilweise vorgebeugt.

Ziel der Untersuchungen war es, die Unsicherheit über die zulässigen Einsatzbedingungen der biolöslicheren AES-Wollen deutlich zu verringern. Für die Anwender im Thermoprozessanla-

genbau sollten Aussagen bereitgestellt werden, um Erzeugnisse aus AES-Materialien sicherer auswählen und einsetzen zu können. So können für die Anlagenbauer und für die Anlagenbetreiber wirtschaftliche Schäden durch den Einsatz biolöslicherer AES-Wollen unter für sie ungeeigneten Bedingungen vermieden werden. Gleichzeitig kann den Vorgaben des Gesetzgebers und dem Wunsch der Anlagenbetreiber nach einem weitgehend verantwortbaren Einsatz solcher Materialien entsprochen werden.

### Danksagung

Dieser Bericht ist das wissenschaftliche Ergebnis einer Forschungsaufgabe, die von der Forschungsgemeinschaft Industrieofenbau e. V. (FOGi) in Frankfurt über das Forschungskuratorium Maschinenbau e.V. gestellt und am Lehrstuhl für Gas- und Wärmetechnische Anlagen unter Leitung von Herrn Prof. Dr.-Ing. D. Trimis bearbeitet wurde. Die Arbeit wurde durch das Bundesministerium für Wirtschaft (BMW, Bonn) über die Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen „Otto von Guericke“ e.V. (AiF-Nr. 15430BR/1) finanziell gefördert.

### Literatur

- [1] Wimmer, H.: Hochtemperaturwolle: Übersicht, Anwendung, Vorteile. VDI-Berichte 1776 (2003) S. 37-47
- [2] Sedlbauer, K.; König, N.: Sind Maßnahmen zur Verminderung der Risiken durch künstliche Mineralfasern erforderlich und welche Alternativen gibt es? WKS – Zeitschrift für Wärme, Kälte, Schall, Brandschutz (1998) 42, S. 33-39
- [3] Draeger, U.: Einstufung von Mineralwolle nach der EU-Richtlinie 97/69/EG 23. Anpassung der Stoffrichtlinie 67/548/EWG. Gefahrstoffe Reinhaltung der Luft; 58 (1998) 3, S. 93-96
- [4] Bolender, T.: Untersuchung zur Temperaturstabilität von „biolöslichen“ Keramikfasern im Vergleich zu Keramikfasern des Systems Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiO<sub>2</sub>. Gaswärme International 50 (2001) 9, S. 405-410
- [5] Tonnesen, T.; Dietrichs, P.; Telle, R.: Linear Shrinkage, Resilience and Microstructural Changes in High Temperature Insulating Wools in Maximum Use Temperature Range. Advances in Applied Ceramics 104 (2005) 5, S. 249-255
- [6] Binde, G.; Bolender, T.: Rekristallisation und Cristobalitbildung in Hochtemperaturglasfasern (AES) nach thermischer Belastung. Gefahrstoffe, Reinhaltung der Luft, Air Quality Control 62 (2002) 6, S. 273-278
- [7] TGRS 619 Technische Regel für Gefahrstoffe: Substitution für Produkte aus Aluminiumsilikatwolle
- [8] DIN EN 1094 – Feuerfeste Erzeugnisse für Wärmedämmzwecke

**Jürgen Rank**  
Promat GmbH, Ratingen



Tel.: 021 02/49 32 78  
E-Mail:  
technik3@promat.de

**Dr.-Ing. Volker Uhlig**  
Wärmetechnische Anlagen  
Chemnitz, Chemnitz



Tel.: 03 71/42 68 91  
E-Mail:  
wac-mueller@t-online.de

**Prof. Dr.-Ing. Dimosthenis Trimis**  
TU Bergakademie Freiberg,  
Freiberg  
Institut für Wärmetechnik und  
Thermodynamik



Tel.: 037 31/39 39 40  
E-Mail: trimis@iwtt.tu-freiberg.de

**Prof. Dr.-Ing. Hubertus Semrau Frauenstein**



Tel.: 03 73 26/8 49 00  
E-Mail:  
prof\_semrau@semrau.se

# WISSEN für die ZUKUNFT

Besuchen Sie uns auf dem  
Härterei-Kolloquium 2010 und  
profitieren Sie von unseren  
einmaligen TOP-Angeboten.

Vulkan-Verlag, Halle 9, Stand 916



OLDENBOURG INDUSTRIEVERLAG GMBH  
VULKAN-VERLAG GMBH

