



Internationale Forschungs Kooperation mit der Slowakei:

Poröse Sinterkeramikformstoffe mit katalytischer Wirkung durch thermische Behandlung von mit Zeolithen hochgefüllten Schaumstoffen auf der Basis von Recyclaten

Martin Lorko, Peter Oravec, Karl-Heinz Schmidt, Hans-Dieter Hunger, Gerhard Behrendt

1 Einleitung

Poröse Sinterkeramikwerkstoffe mit unterschiedlichen Porenstrukturen werden heute in vielen Bereichen der Wirtschaft eingesetzt, z. B. als Trennmembranen, als Katalysatorträger, als Trägermaterialien in der Biotechnologie. Dabei sind zwei Arten von Sinterkeramiken zu unterscheiden: zum einen wabenförmige Sinterkeramiken und zum anderen schaumförmige Sinterkeramiken. Die wabenförmigen, oft als Strang hergestellten Sinterkeramiken, werden in immer größerem Maße als Trennmedien, z. B. in der Wasser- und Abluftreinigung, verwendet. Sie sollen hier jedoch nicht weiter betrachtet werden. Die schaumförmigen Sinterkeramiken mit unterschiedlich großer Zellgröße bzw. Zellgrößenverteilung werden als Träger oder als Hochtemperaturisolation eingesetzt. Sie werden nach zwei verschiedenen Technologien hergestellt: zum einen durch die Füllung der keramischen Massen mit organischem Material, das beim Brennprozess verdampft wird, und zum anderen durch Beschichten von Schaumstoffen mit Keramikschlämmen und deren Brennen, wobei während des Brennens das organische Schaummaterial verdampft wird.

An der Technischen Universität Kosice werden Untersuchungen mit schalldämmenden Materialien für Verbrennungskraftmaschinen durchgeführt, für die verschiedene Stoffe eingesetzt und mittels schalltechnischer Messungen untersucht werden. Weiterhin stehen in der Slowakischen Republik natürliche Zeolithe zur Verfügung, die bereits bei relativ niedrigen Temperaturen zu sintern beginnen. An der Technischen Fachhochschule Wildau wurden im Rahmen von Forschungs Kooperationen mit der mittelständischen Wirtschaft Hartschaumstoffsysteme speziell für einen hohen Füllstoffgehalt auf der Basis von Recyclaten entwickelt. Aus diesen Recyclat-Systemen und den Zeolithen der slowakischen Partnerinstitution wurde ein Verfahren zur Herstellung von Sinterkeramikwerkstoffen entwickelt (1).

In einem vom Internationalen Büro des BMBF geförderten Forschungsvorhaben wurden in den Jahren 2000 bis 2003 Untersuchungen zur Herstellung von keramischen Schaumstoffen und ihrer Charakterisierung hinsichtlich der Schalldämmung sowie der Adsorption von Schadstoffen auf ihrer Oberfläche durchgeführt. Die gemeinsam erhaltenen Ergebnisse sollen hier kurz dargestellt werden.

2 Materialien und Methoden

2.1 Verwendete Materialien

2.1.1 Zeolithe

Als keramisches Basismaterial wurden in der Slowakischen Republik natürlich vorkommende Zeolithe der Lagerstätte Ni•ný Hrabovec verwendet (Abbildung 1).



Abb. 1: Zeolith aus der Grube Ni•ný Hrabovec (Originalzustand)

Die Zusammensetzung der Mineralien ist
 Clinoptilolit 60,0 % Plagioklas 5,2 % Quarz 3 %
 Cristobalit 8,6 % amorphe Phase 8,0 % Biotit 1 %

Die chemische Zusammensetzung ist:

Al ₂ O ₃	11,5 - 13,10 %	CaO	2,70 - 5,20 %
K ₂ O	2,2 - 3,40 %	Fe ₂ O ₃	0,70 - 1,90 %
MgO	0,6 - 1,20 %	MnO	0,12 %
FeO	0,39 %	Na ₂ O	0,20 - 1,30 %
SiO ₂	65,0 - 71,30 %	TiO ₂	0,10 - 0,30 %

Die Ionenaustauschereigenschaften sind:

Austauscherkapazität:	Ca ²⁺	0,64 - 0,98 mol/kg
	K ⁺	0,22 - 0,45 mol/kg
	Mg ²⁺	0,06 - 0,19 mol/kg
	Na ⁺	0,01 - 0,19 mol/kg

Gesamtaustauscherkapazität: 1,20 - 1,50 mol/kg

Erweichungstemperatur: 1260°

Dichte: 2200 - 2440 kg/m³

Schmelztemperatur: 1340 °C

Das Schmelzverhalten der Zeolithe wurde durch die Bestimmung der Schmelzpeaks in der DTA bestimmt und zeigt folgendes Ergebnis:



1. Schmelzpeak 832 - 956 °C
2. Schmelzpeak 1087 - 1123 °C
3. Schmelzpeak 1335 - 1378 °C

Durch den niedrigen Schmelzbeginn konnte für die Herstellung der Keramiksäume eine niedrige Sintertemperatur gewählt werden.

Zur Einarbeitung in die schäumfähigen Gemische wurden verschiedene Mahlgutqualitäten mit unterschiedlichen Teilchengrößen verwendet. Das eingesetzte Mahlgut hatte folgende mittlere Teilchengrößen

MGZ 3	2 mm,
MGZ 7	0,5 mm,
MGZ 11	0,1 mm.

Die Abbildungen 2 bis 4 zeigen die Teilchengrößenverteilungen der verwendeten Mahlgüter.

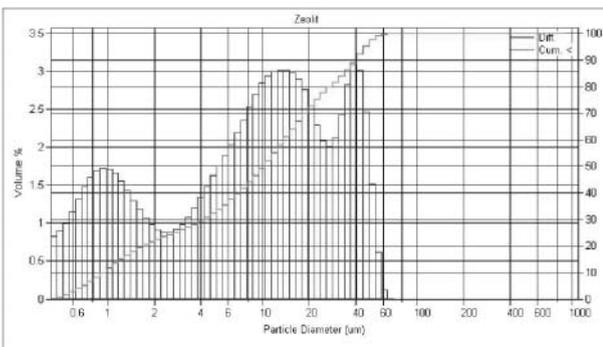


Abb. 2: Korngrößenverteilung des verwendeten Zeolith-Pulvers

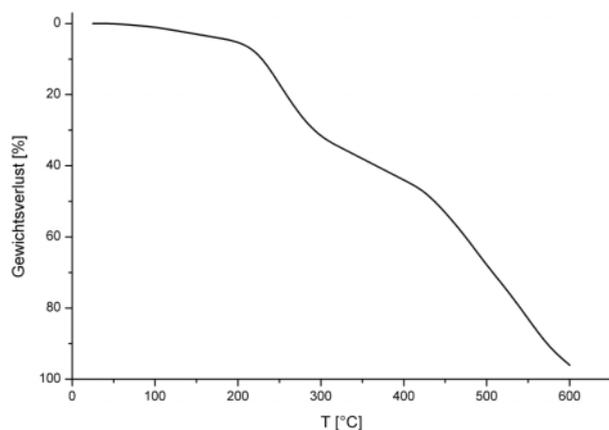


Abb. 3: TGA-Kurve des Polyurethanhartschaumstoffs auf der Basis von P-185

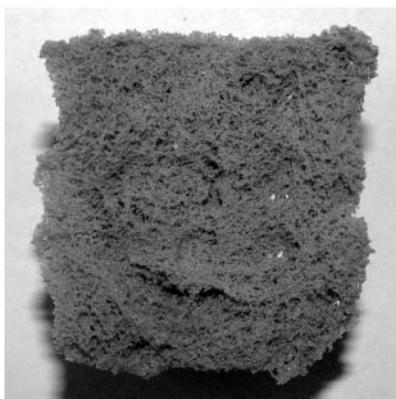


Abb. 4: Sinterkeramikschaumstoff 51 nach dem Brennprozess

Das Mahlgut wurde mit der jeweiligen Polyolkomponente auf der Brabender® Labstation mit Knetervorsatz 30 Minuten homogenisiert und in dieser Form mit den weiteren Formulierungsbestandteilen versetzt und verschäumt.

2.1.2 Herstellung der Hartschaumstoffsysteme

Als Hartschaumstoffsysteme wurden Zwei-Komponenten-Systeme auf Polyurethanbasis eingesetzt. Die Formulierungen wurden mit Polyolen entwickelt, die durch Solvolyse von Polyurethan-Weichschaumstoffen (RP-V02) (1) bzw. durch Glykolyse von Polyethylenterephthalat (P-185) (2) hergestellt wurden.

Die Basisformulierungen sind in der folgenden Tabelle zusammengestellt:

Komponente/Formulierung	RP-213	RP-238
Polyol RP-V02	172,5	
Polyol P-185		153,7
Dimethylethanolamin	0,5	0,6
Dimethylcyclohexylamin		0,3
Polycat NP-40	0,3	0,2
Tegostab B-	0,4	0,5
Wasser	4,5	4,5
Lupranat M 20 A®	202,5	200,0
Rührzeit im Handansatz (s)	10	10
Startzeit (s)	16	18
Steigzeit (s)	68	72
Abbindezeit (s)	90	94

Tab. 1: Basisformulierungen für PUR-Hartschaumstoffe auf der Basis von PUR-Recyclatpolyol (RP-V02) und aromatischem Polyesterpolyol (P-185)

Bei den größeren Mahlgütern wurden 100, 200 und 300 Gew.-Prozent bezogen auf die A-Komponente, bei den feineren Mahlgütern 250, 400, 500 und 600 Gew.-Prozent bezogen auf die A-Komponente verwendet. Die Schaumstoffe wurden zunächst im Handansatz in 1 Liter-Bechern freiverschäumt hergestellt. Für die Brennversuche wurden die Schaumstoffe in einer 2 Liter-Aluminiumform von 10 x 10 x 20 cm unter Druck hergestellt. Aus den Schaumstoffblöcken wurden nach einer einwöchigen Nachhärtungszeit drei Prüfkörper von 5 x 5 x 5 cm solcherart herausgeschnitten, dass jeweils 2,5 cm der Außenzonen als Verschnitt entstanden und ausschließlich die Innenzonen für die Versuche verwendet wurden. An diesen Schaumstoffen wurden die Rohdichten und eine mittlere Zellgröße bestimmt.

2.2 Ausbrennversuche

Die Schaumstoffwürfel wurden einer thermischen Behandlung in einem Carbolite-Hochtemperatur-Muffelofen Typ 2408 unterworfen. Die thermische Behandlung wurde mit den vorher auf der Basis von DTA-Messungen bestimmten Abbautemperaturen festgelegt. Die Temperaturprogramme berücksichtigen insbesondere die maximalen Abbaugeschwindigkeiten der organischen Komponente, die nach TGA/DTA folgende Maxima aufweist (Beispiel RP-238 ohne Füllstoff, die Formulierung RP-213 weicht nur unwesentlich von diesen Werten ab):



1. Maximum bei 249°C
2. Maximum bei 432°C
3. Maximum bei 539°C

Der Gewichtsverlust wurde über die TGA bestimmt (siehe Abbildung 5). Der maximale Gewichtsverlust erfolgt im Bereich oberhalb 420°C.

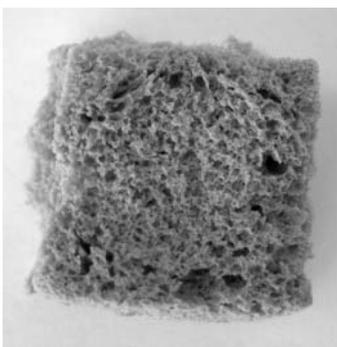


Abb. 5: Sinterkeramikschaumstoff 36 nach dem Brennprozess

Die zum Ausbrennen verwendeten Temperaturprogramme wurden so ausgelegt, dass bei 600°C noch ein Rest an organischem Material zur Bindung der Zeolithe vorhanden sein soll; in Tabelle 2 sind die im wesentlichen angewandten Temperaturprogramme dargestellt:

Temperaturbereich/ Programm	TP1	TP3	TP6	TP9
20 – 250°C	3 h	2 h	2 h	2 h
250 – 500°C	2 h	2 h	1,5 h	2 h
500 – 680°C	2 h	1,5 h	2 h	1,5 h
680 – 900°C	4 h	3 h	3 h	1,5 h
900 – 1050°C			3 h	3 h
900 – 1250°C	4 h			

Tab. 2: Beispiele für Temperaturprogramme der Ausbrennversuche

Weitere Beispiele für individuelle Ausbrennprogramme werden unter Punkt 5 „Diskussion der Ergebnisse“ unter Bezugnahme auf die damit erhaltenen Keramikschaumstoffe dargestellt. Nach dem Ende des Temperaturprogramms wurden der Ofen mit dem Material über Nacht heruntergekühlt und das Material am folgenden Tag entnommen (Abkühlzeit 14 Stunden).

2.3 Charakterisierung der Keramikschaumstoffe

Die nach dem Brennvorgang erhaltenen Materialien wurden hinsichtlich ihrer Farbe und ihrer visuellen Erscheinung geprüft. Weiterhin wurde die Dimensionsveränderung (Schrumpfung) gemessen. Die Offenporigkeit wurde durch die aufgenommene Menge an Wasser (über Dichtemessungen) bestimmt. Nach dieser Methode wurde ein Offenporigkeitsgrad von >97 % bei allen Keramikschaumstoffen ermittelt.

Die Schrumpfung der Keramikschaumstoffe wurde durch Ausmessen mit einer Schublehre und mit Bezug auf die Ausgangsdimensionen bestimmt; bei einer Schrumpfung unter 10 % wurden die Keramikschaumstoffe einem Testprogramm zur Ermittlung der Schalldämmung und der Adsorption von Gasen unterworfen.

Die Schalldämmung wurde mit einem Modul-Schallpegel-Analysator „Investigator“ mit BZ7210 sowie einem Uni-Gain-DetaShear-Beschleunigungsaufnehmer 1pC/ms-2 von Brüel & Kjaer gemessen. Dazu wurde folgende Versuchsanordnung verwendet: Die Schadstoffadsorption wurde an einem 50 mm langen Material in einem Abgasstrom eines Dieselmotors (Skoda 120 bzw.

Skoda Favorit 136 L) in einem 50 mm Abgasrohr bestimmt, indem die Zusammensetzung des Abgasstromes bei konstant laufender Verbrennungskraftmaschine vor und nach dem Adsorptionsmaterial über 24 Stunden mittels GC-MS (Hewlett-Packard GC Typ 5890, MS Typ 5970) sowie die an Aktivkohle absorbierten polycyclischen Kohlenwasserstoffe (PAK) mittels HPLC bestimmt wurden. Aus der Differenz der Schadstoffe im Gasstrom vor und nach der Passage des Filtermaterials wurden der Adsorptionsgrad über 24 Stunden errechnet und eine Adsorptionskurve ermittelt.

3 Ergebnisse

3.1 Herstellung von Keramikschaumstoffen nach dem Verfahren des direkten Ausbrennens gefüllter PUR-Hartschaumstoffe

Keramikschaumstoffe wurden mit unterschiedlichen Gehalten an Zeolithen in der Polymermatrix (Anteil zwischen 22 und 50 Gew.-Prozent) unterschiedlichen Temperaturen und Temperaturprogrammen unterworfen. Die Schaumstoffe wurden aus aromatischen Polyesterpolyolen (auf PET-Basis durch Umesterung in einem Glykollgemisch nach (2) hergestellt) bzw. aus Recyclatpolyolen auf der Basis von PUR-Schaumstoffen (3), in die durch Kneten die erforderliche Menge an Zeolithpulver eingearbeitet worden war, in Gegenwart von tertiären Aminen als Katalysatoren, Wasser als Treibmittel und einem Silikonpolyether als Stabilisator im direkten Freischäumverfahren bzw. im Druckschäumverfahren in der geschlossenen Form hergestellt (siehe Tabelle 1). Die Knettechnik zur Herstellung der Premixes und daraus der A-Komponente des Polyurethan-Systems erwies sich als der günstigste Weg zur Herstellung der hochgefüllten Hartschaumstoffe. Das Polyol hatte dabei auf die Verarbeitungseigenschaften wenig Einfluss, da sich die Viskositäten der beiden ausgewählten Polyole bei 25°C nur wenig unterschieden. Wasser als Treibmittel wurde gewählt, um ein hohes Maß an Offenporigkeit zu gewährleisten. Darüber hinaus ist Wasser das umweltfreundlichste Treibmittel und erzeugt beim Schäumprozess aus der Umsetzung mit dem Polyisocyanat Kohlendioxid, das langsam aus den Zellen diffundiert.

Eine erste Serie von gefüllten Hartschaumstoffen wurde mit 22 bis 25 Gew.-Prozent Zeolith hergestellt (Versuche 5, 8, 9). Diese Schaumstoffe wurden in einer ersten Ausbrennreihe verschiedenen Temperaturprogrammen unterworfen: Der Hartschaumstoff aus Versuch 5 mit 24 Gew.-Prozent Zeolith wurde schnell auf 900°C erwärmt und drei Stunden bei dieser Temperatur gehalten. Anschließend wurde eine Sinterzeit von vier Stunden bei 1150°C gewählt. Im Ergebnis wurde ein stark geschrumpftes Produkt mit sehr geringer Festigkeit erhalten, das für die weiteren Untersuchungen ohne Nachbehandlung nicht geeignet war. Es erfolgte eine weitere Sinterung des keramischen Produktes bei 1200°C über fünf Stunden. Das führte zu einem teilweisen Verschmelzen der Schaumstoffzellen, so dass die Sintertemperatur zu hoch eingestellt worden war.



Mit dem Hartschaumstoff aus Versuch 8 mit 24,5 Gew.-Prozent Zeolith wurde der Versuch wiederholt, jedoch wurde das Temperaturprogramm folgendermaßen eingestellt: Aufheizrate 30 Minuten auf eine Temperatur von 800°C, Ausbrennen bei 800°C innerhalb einer Stunde, Sintervorgang bei 1000°C über sechs Stunden. Das Ergebnis war ein feinporiger keramischer Schaumstoff mit einer guten Festigkeit, jedoch mit einer Schrumpfung von 36 % in der Länge. Der Versuch wurde mit dem Hartschaumstoff aus Versuch 9 mit 24 Gew.-Prozent Zeolith wiederholt. Es wurde jedoch eine weitere Variante eines Temperaturprogramms verwendet: Zunächst wurde der Schaumstoff innerhalb von drei Stunden auf 380°C erwärmt, danach innerhalb einer Stunde auf 500°C, danach innerhalb von zwei Stunden weiter auf 920°C und schließlich innerhalb weiterer zwei Stunden auf 1150°C. Als Ergebnis wurde ein stark geschrumpfter Keramikschaumstoff mit geringer Festigkeit erhalten.

In einer zweiten Versuchsserie wurden 35 Gew.-Prozent Zeolith in das schaumfähige Gemisch eingearbeitet und die Ausbrennversuche weitergeführt, um die Ausbrennbedingungen weiter zu optimieren (Versuche 2, 28, 41, 51, 52, 72). Die Temperaturprogramme wurden weiter variiert:

Nr.	2	28	41	51	52	71
1. Schritt (°C/h)	900/3	380/3	800/2	800/2,5	1000/6	800/2
2. Schritt (°C/h)	1150/4	500/1	1000/6	1000/1		1000/1
3. Schritt (°C/h)		920/3		1100/2		1100/4
4. Schritt (°C/h)		1150/2				

Tab. 3: Temperaturprogramme für die Ausbrennversuche von Hartschaumstoffen mit 35 Gew.-Prozent Zeolith

Das beste Ergebnis wurde beim Versuch 51 erhalten: ein Keramikschaumstoff mit einer Schrumpfung von 11 %, einer sehr feinen Struktur (Zellgröße zwischen 0,4 und 1,8 mm) und einer ausreichenden Festigkeit, so dass eine Weiterverarbeitung (Formgebung) möglich ist. Bei der Anwendung eines Temperaturprogramms wie im Versuch 52 wird bei gleicher Zusammensetzung des Schaumstoffs eine wesentlich höhere Schrumpfung und eine deutlich größere Zellstruktur festgestellt.

In einer dritten Serie wurden die Hartschaumstoffe mit 44 bis 47 Gew.-Prozent Zeolith hergestellt und wiederum dem Brennprozess bei unterschiedlichen Temperaturen unterworfen. Ausgewählt wurden die Schaumstoffe der Versuche 16 und 36 (45 Gew.-Prozent Zeolith). Diese wurden jeweils zwei unterschiedlichen Temperaturprogrammen unterworfen:

Nr.	16	16	36	36
1. Schritt (°C/h)	380/3	350/2	380/3	350/2
2. Schritt (°C/h)	500/2	600/2	500/2	600/3
3. Schritt (°C/h)	920/2,5	1150/4	920/2	1150/4
4. Schritt (°C/h)	1150/1		1150/2	

Tab. 4: Ausbrennprogramme der Hartschaumstoffe mit 45 Gew.-% Zeolith

Die Hartschaumstoffe mit höherem Gehalt an Zeolithen (Versuche 16 und 36) wiesen trotz unterschiedlicher Ausbrennprogramme eine deutlich schlechtere Festig-

keit als die Schaumstoffe mit 35 Gew.-Prozent Zeolith auf. Außerdem war überraschenderweise die Schrumpfung wieder größer als im Falle der Schaumstoffe mit ca. 35 Gew.-Prozent Zeolith. Die aus den Versuchen 16 und 36 mit 45 Gew.-Prozent Zeolith hergestellten Keramikschaumstoffe wurden auf Grund ihrer schlechteren Qualität für die weiteren Versuche nicht verwendet.

3.2 Untersuchungen zur Schadstoffadsorption an Keramikschaumstoffen auf der Basis von Zeolithen

Zielrichtung des Einsatzes der Keramikschaumstoffe sind die Schalldämpfung und die Eliminierung von Schadstoffen bei Verbrennungskraftmaschinen (4). Als Verbrennungsmotoren wurden als Modell zwei Serienmotoren aus den Skoda-Werken verwendet (Skoda 120 und Skoda Favorit 136 L). An diese wurde in das Abgasrohr ein zusätzliches Rohrstück mit dem eingepassten Keramikschaum angeschlossen. Die Länge des Keramikschaumstoffs betrug 100 mm bei einem Durchmesser von 65 mm. Die Messungen wurden jeweils über einen Zeitraum von einer Stunde in Intervallen von fünf Minuten durchgeführt, wobei die Motoren eine Drehzahl von 1500 min⁻¹ hatten.

ŠKODA 120	Interval of measurements [min]	CO [%]	C _x H _y [ppm]	revs./min [min ⁻¹]
Cold start without filter	5	7,57	843	638
Warm motor without filter	5	8,66	920	673
Warm motor with cold filter	5	6,61	517	667
Warm motor, warm filter	5	7,57	492	252
Warm motor, warm filter	5	7,76	534	710

Tab. 5: Ergebnis der Messungen der Kohlenwasserstoffe und von Kohlenmonoxid beim Motor Skoda 120

ŠKODA FAVORIT 136	Intervals of measurements [min]	Temp. of exhaust gases [°C]	Temp. of environment [°C]	rev./min [min ⁻¹]	CO [%]	CO ₂ [%]	C _x H _y [ppm]
Cold motor without filter	6	40	21	911	1,02	13,55	333
Cold filter	6	30	21	899	0,77	11,87	298
Warm filter	6	50	21	954	0,53	9,93	211

Tab. 6: Ergebnisse der Messungen von Kohlenwasserstoffen und Kohlenmonoxid beim Motor Skoda Favorit 136 L

Bei der Verbrennung in Motoren entstehen neben dem Hauptverbrennungsprodukt Kohlendioxid (CO₂) Kohlenmonoxid und Kohlenwasserstoffe unterschiedlicher Art (aliphatische Kohlenwasserstoffe aus der unvollständigen Verbrennung und PAK aus Zusätzen bzw. durch thermische Prozesse im Motorenraum) sowie Stickoxide (bei Temperaturen oberhalb 700°C aus den Elementen im Verbrennungsraum) (6). Die Mengen an Kohlenmonoxid



und Kohlendioxid aus der Verbrennung in Abhängigkeit von der Art des Adsorbens sind in den Tabellen 5 und 6 dargestellt. Die Untersuchung der cyclischen Kohlenwasserstoffe erfolgte an Proben, die vom Keramikschaum desorbiert wurden. Ihre Zusammensetzung war folgende (HPLC):

Pyrene	310,43 ppb
Phenanthrene	2,5 ppb
Benzo(a)pyrene	0,37 ppb
Benzo(a)anthracene	31,4 ppb
Benzo(b)fluoranthene	11,7 ppb
Dibenzo(a,h)anthracene	2,09 ppb

Damit konnte nachgewiesen werden, dass zum einen die Zeolithe nach der thermischen Behandlung noch zur Adsorption von Schadstoffen befähigt sind und zum anderen die adsorbierte Menge an Kohlenmonoxid ca. 50 %, die der cyclischen Kohlenwasserstoffe ca. ein Drittel beträgt.

4 Diskussion der Ergebnisse

Auf der Basis von Recyclat-Polyolen, die zum einen aus PET und zum anderen aus PUR-Schaumstoffen durch Glykolyse erhalten wurden, konnten Formulierungen zur Herstellung von PUR-Hartschaumstoffen entwickelt werden, in die auf das Polymer bezogen bis zu 50 Gew.-Prozent an anorganischen Füllstoffen in Form natürlich vorkommender Zeolithe eingearbeitet werden konnten. Die mit Zeolithen gefüllten PUR-Hartschaumstoffe wurden verschiedenen Ausbrennprogrammen unterworfen, durch die die organische Schaumstoffmatrix abgebaut und in gasförmige Bestandteile umgewandelt wurde. Dadurch verbleibt ein rein anorganisches Gerüst, das durch eine erhöhte Temperatur seine Schaumstruktur behält. Die Temperatur zum Sintern der Zeolith-Teilchen beträgt nur 1100°C und liegt damit wesentlich unter den meisten gegenwärtig eingesetzten keramischen Materialien, aber mit einer Einsatztemperatur bis 950°C immer noch so hoch, dass die Keramikschaumstoffe in der Schalldämmung oder als Entgiftungsmatrizes bei Verbrennungskraftmaschinen eingesetzt werden können. Der gesamte Ausbrennprozess dauert bei einem optimierten Temperaturprogramm fünf bis sechs Stunden zuzüglich der Abkühlzeit. Unter Berücksichtigung der Tatsache, dass als Polymermatrix zu ca. 50 % kostengünstige Recyclingmaterialien und als keramisches Material ein natürlich vorkommendes Mineral verwendet werden und der Herstellungsprozess vergleichsweise einfach ist, steht mit diesem Verfahren und diesem Material eine kostengünstige Alternative zur Verfügung. Wie die bisherigen Untersuchungen an Verbrennungskraftmaschinen gezeigt haben, behalten die gesinterten Zeolithe in der Schaumstruktur ihre Adsorptionsfähigkeit bei und adsorbieren ca. 50 % der mit dem Abgas transportierten Schadstoffe (5). Überraschend ist in diesem Zusammenhang, dass auch der Kohlenmonoxidanteil im Abgas um ca. 50 % gesenkt wird. Wesentlich ist, dass polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) zu einem großen Teil aus dem Abgas bereits bei relativ kleinen Filterlängen entfernt und an die Matrix gebunden werden.

5 Anmerkungen/Literatur

- (1) H.-D. Hunger, G. Behrendt, R. Langenstraßen, K.-H. Schmidt: Poröse Sinterkeramikwerkstoffe und Verfahren zu ihrer Herstellung, DE-OS 199 63 554 (22.12.1999/05.07.2001)
- (2) G. Behrendt, A. Lobeda, M. Pohl: Verfahren zur Herstellung von Polyesteralkoholen sowie Polyesteralkohole, DE Anm. 198 17 538.8 vom 16.04.1998, PCT WO 99/54380 (28.10.99)
- (3) G. Behrendt, M. Pohl: Verfahren zur Herstellung von Polyolen und diese Polyole, DE Anm. 198 17 536.1 vom 19.04.1998, DE-OS 199 17 932 (21.10.99)
- (4) M. Lorko, I. Pandova: The possibilities of zeolites utilisation on manufacture of the filters for the combustion engines exhaust systems, Manufacturing engineering, 1/2003
- (5) M. Sucha, T. Gondova, I. Pandova, K. Florian, K. Reiffova, P. Oravec, J. Macala: The utilisation of zeolites for exhaust gases contaminant adsorption, Chemické listy 96/2002.
- (6) I. Pandova: The possibilities of zeolites for detoxikation of exhaust of the combustion engines, Acta Montanistica Slovaca, 6/2001

Danksagung

Die Autoren danken dem Internationalen Büro des BMBF für die finanzielle Unterstützung des Vorhabens. Weiter gilt der Dank der Autoren der Th. Goldschmidt AG für die kostenlose Überlassung der Stabilisatoren sowie Herrn Prof. Dr.-Ing. Tietgens für die Bestimmung der Korngrößenverteilungen der Zeolithe.

Autoren

Prof. Dr.-Ing. Martin Lorko

Technickej univerzitet Košice
Fakulta Vyrobných Technologii
Plzenska 10, SK-08001 Prešov, Slowakei
Telefon +421 51 7723012
E-Mail: lorko.martin@vft.sk

Dr. Peter Oravec

Technickej univerzitet Košice
Fakulta Vyrobných Technologii
Plzenska 10, SK-08001 Prešov, Slowakei

Dipl.-Ing. (FH) Karlheinz Schmidt

Technische Fachhochschule Wildau
Fachbereich Ingenieurwesen/Wirtschaftsingenieurwesen
Telefon +49 3375 508-176
E-Mail: khschmid@igw.tfh-wildau.de

Dr. sc. nat. Hans-Dieter Hunger

Technische Fachhochschule Wildau
Fachbereich Ingenieurwesen/Wirtschaftsingenieurwesen
Telefon +49 3375 508-176
E-Mail: hdhunger@igw.tfh-wildau.de

Prof. Dr. rer. nat. Gerhard Behrendt

Technische Fachhochschule Wildau
Fachbereich Ingenieurwesen/Wirtschaftsingenieurwesen
Telefon +49 3375 508-591
E-Mail: behrendt@vt.tfh-wildau.de