

Das Projekt im Überblick

Innovative Rußfilter für LKW-Dieselmotoren (INNOTRAP)
Technologiefeld/Branche: Dieselabgasnachbehandlung, Schüttgut-Fördertechnik, Materialflusstechnik
Laufzeit: 01.02.2005 bis 31.12.2007
Projektkosten: 1.736.705 Euro
Förderungssumme: 1.104.979 Euro

Projektpartner Forschung

Fraunhofer Institut Keramische Technologien und Sinterwerkstoffe (IKTS Dresden), Jörg Adler
 Bereich Strukturkeramik
 Winterbergstr. 28, 01277 Dresden
 Tel. 0351 2553-515, Fax: 0351 2554-333
 E-mail: Joerg.Adler@ikts.fhg.de
 www.ikts.fhg.de
Projektschwerpunkt: Werkstoffentwicklung keramische Folientechnologie

DLR, Institut für Technische Thermodynamik, Dr. Thomas Fend
 Linder Höhe, 51147 Köln
 Tel.: 02203 601-2101, Fax: 02203 601-66900
 E-mail: thomas.fend@dlr.de
 www.dlr.de
Projektschwerpunkte: Thermophysikalische Eigenschaften, Filtration, Permeabilität

Lehrstuhl für Strömungsmechanik, FAU Erlangen-Nürnberg (LSTM Erlangen), Dr.-Ing. Dimosthenis Trimis
 Cauerstr. 4, 91058 Erlangen
 Tel.: 09131 85-29490, Fax: 09131 85-29503
 E-mail: dimos@lstm.uni-erlangen.de
 www.lstm.uni-erlangen.de
Projektschwerpunkte: Numerische Simulation, Experimentelle Untersuchung der Regeneration

Fachhochschule Aachen, Solar Institut Jülich (SIJ)
 Prof. Dr. Bernhard Hoffschmidt
 Heinrich-Mußmann-Str. 5, 52428 Jülich
 Tel.: 02461 99-3529, Fax: 02461 99-3570
 E-mail: hoffschmidt@sj.fh-aachen.de
 www.sij.fh-aachen.de
Projektschwerpunkt: Filterdesign Motortests

Projektpartner Industrie

Bauer RaD, Jörg Bauer
 Parcusstr. 3, 64293 Darmstadt
 Tel.: 06151 25687, Fax: 06151 25687
 E-mail: info@bauer-rad.de
 www.bauer-rad.de
Branche: Werkstofftechnologische Forschung und Entwicklung
Projektschwerpunkt: Partikelfilter Testkörper auf der Basis des Direct Typing Process

GERO Hochtemperaturöfen GmbH, E. Kimmich
 Hesselbachstr. 15, 75242 Neuhausen
 Tel.: 07234 9522-0, Fax: 07234 9522-55
 E-mail: ekimmich@gero-gmbh.de
 www.gero-gmbh.de
Branche: Industrieöfen
Projektschwerpunkte: Endbehandlung von Filterprototypen, Strategien zur Markteinführung

Flow Control and Computing Systems GmbH (FCS GmbH)
 Dr.-Ing. Bernd Genenger
 Erlanger Str. 9, 91083 Baiersdorf
 Tel.: 09133 767-113, Fax: 09133 767-111
 E-mail: bernd.genenger@fcs-gmbh.de
 www.fcs-gmbh.de
Branche: Strömungsmesstechnik, Strömungsberechnung
Projektschwerpunkte: Integration von Modulen zur Berechnung von Partikelfiltern in auf dem Markt erhältlicher Software

Industrie-Partner GmbH, Thomas Jänicke
 An der Walze 11, 01640 Coswig
 Tel.: 03523 831-15, Fax: 03523 831-31
 E-mail: jaenicke@ip-coswig.de
 www.ip-coswig.de
Branche: Anlagenbau
Projektschwerpunkt: Anlagen für die Verarbeitung keramischer Folien

Kerafol GmbH, Dipl.-Ing. Thomas Betz
 Keramische Folien GmbH
 Stegenthumbach 4-6, 92676 Eschenbach
 Tel.: 09645 88-420, Fax: 09645 88-490
 E-mail: betz@kerafol.com
 www.kerafol.com
Branche: Keramik
Projektschwerpunkt: Herstellung keramischer Folien

Deutz AG, R. Miebach
 Ottostr. 1, 51149 Köln
 Tel.: 0221 822-4598, Fax: 0221 822-5711
 E-mail: miebach.r@deutz.de
 www.deutz.de
Branche: Dieselmotorenentwicklung und -herstellung
Projektschwerpunkte: Design und Motortests

Innovative Rußfilter für LKW-Dieselmotoren (INNOTRAP)

Das Projekt

Ziel des vorgeschlagenen F&E-Vorhabens ist die konzeptionelle Entwicklung eines Partikelfilters für LKW- und andere große Dieselmotoren (kleine Nutzfahrzeuge, Industriemotoren, Schiffe etc.).

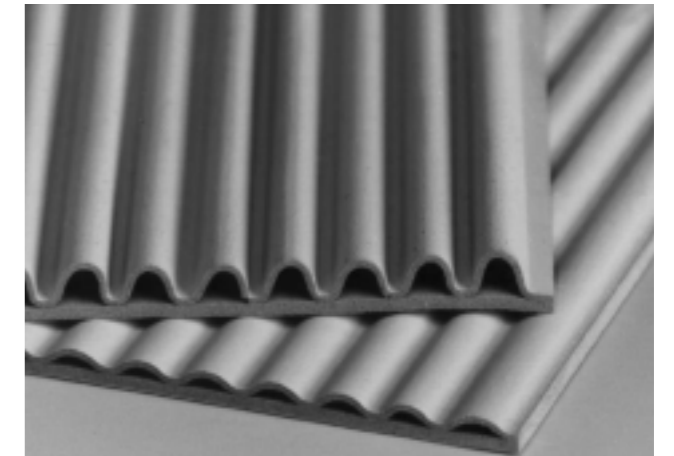
Der zu entwickelnde Prototyp weist gegenüber dem Stand der Technik ein integriertes passives Aschemanagementsystem und ein verbessertes Verhalten bei der thermischen Regeneration auf. Die spätere industrielle Umsetzbarkeit soll durch die Entwicklung kostengünstiger und kontinuierlicher Herstellungsverfahren vorbereitet werden.

Mit den experimentellen und numerischen Untersuchungen der beteiligten Forschungsinstitute soll ein grundlegendes Verständnis für die Strömungsvorgänge in den zum Einsatz kommenden offenporigen Materialien und Kanalgeometrien aufgebaut werden, das für die Beherrschung der physikalischen Vorgänge beim Betrieb des Filters notwendig ist.

Die Kooperation

Das geplante Verbundvorhaben soll im Rahmen eines Netzwerkes realisiert werden, das sich in den vergangenen fünf Jahren teilweise formiert hat, und das nun gezielt im Hinblick auf die geplanten Aufgaben erweitert wurde. Aufgrund ähnlicher Strömungsphänomene im Bereich der Technik solarer Hochtemperatursysteme, im Porenbrenner und bei der Regeneration in Dieselrußfiltern hat sich ein interdisziplinäres Konsortium aus Werkstoff- und Strömungsspezialisten sowie Anwendern zusammengefunden. Mit der Deutz AG ist ein großer Motorenhersteller im Konsortium, der ein vitales Interesse an einer beschleunigten Entwicklung im Bereich der Abgasnachbehandlung großer Dieselmotoren hat, und der sich auch zu einem großen Anteil mit an der Finanzierung des Projektes beteiligt.

Das Institut für Technische Thermodynamik des deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt arbeitet an der Nutzbarmachung von hocheffizienten Energieumwandlungstechnologien und der beschleunigten Einführung erneuerbarer Energieträger. Schwerpunkte sind solarthermische Strom- und Prozesswärmeerzeugung und die Solare Stoffumwandlung. Im Rahmen solarthermischer Verfahren wurden zahlreiche Forschungsaktivitäten auf dem Gebiet des solaren Luftreceivers durchgeführt.



Themenschwerpunkte waren hier insbesondere die thermischen Eigenschaften und Fragestellungen der Durchströmung mit Luft. Sowohl was die eingesetzten Materialien als auch was die strömungsmechanischen Phänomene angeht bestehen wesentliche Parallelen zum Bereich der Abgasnachbehandlung insbesondere der Regeneration beim Partikelfilter. Das Institut verfügt über eine große Zahl an Messeinrichtungen zur Charakterisierung und Erprobung dieser Materialien.

Kernthemen der applikationsorientierten Forschung am Fraunhofer IKTS Dresden sind Werkstoff-, Verfahrens- und Bauteilentwicklungen auf dem Gebiet anorganisch-nichtmetallischer Hochleistungswerkstoffe. Im Zentrum stehen Strukturkeramiken, Funktionskeramiken und Cermets für innovative Lösungen in vielen Branchen der Wirtschaft, z.B. in der Mikroelektronik / Mikrosystemtechnik, im Maschinen- und Anlagenbau, Fahrzeugbau, Werkzeug- und Medizintechnik, Luft- und Raumfahrt, Verkehrstechnik, Energiewirtschaft, Metallurgie, Messtechnik und in der Umwelttechnik. Insbesondere besitzt das IKTS ein großes Know-how im Bereich der Herstellung von Keramiken für die Filtrationstechnik, sowie bei Fertigungstechnologien für keramische Bauteile.

Der Lehrstuhl für Strömungsmechanik gehört der Fachrichtung Chemie-Ingenieurwesen der Technischen Fakultät der Universität Erlangen-Nürnberg an. Der Forschungsbereich Strömungen mit chemischen Reaktionen (Verbrennungstechnik) beschäftigt sich hauptsächlich mit Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten zur Porenbrennertechnik. Mehrere Preise unterstreichen die Qualität und den Erfolg der am LSTM-Erlangen durchgeführten Forschungs- und Entwicklungsarbeiten. Zur Simulation der Verbrennung in porösen Medien wurden leistungsfähige Finite-Volumen-Codes geschrieben, die neben der Anwendung in der Verbrennung auch bereits für die Solarthermie eingesetzt wurden. Diese ermöglichen eine sehr detaillierte Beschreibung des Wärmetransportprozesses in den porösen Medien, wie es mit konventionellen kommerziellen Programmen nicht möglich ist.

Das Solar-Institut Jülich ist eine zentrale wissenschaftliche Einrichtung der Fachhochschule Aachen, an der interdisziplinär die Forschungs- und Entwicklungstätigkeiten im Bereich der Nutzung von Solarenergie sowie der rationellen Energieverwendung gebündelt werden. Im Rahmen der Forschungs- und Entwicklungsarbeiten werden grundsätzlich anwendungsorientierte Problemstellungen bzw. Ziele verfolgt. Durch die Übernahme der Institutsleitung durch Prof. Dr. Hoffschmidt, der auf dem Gebiet der Durchströmung poröser Strukturen arbeitet, wurde das Know-how im Institut auf diesem Gebiet erweitert. Herr Prof. Hoffschmidt ist Miterfinder des einen im Projekt applizierten neuen Filterdesigns mit integrierter Ascheabscheidung. Prof. Schwarzer als Mitglied im Vorstand des Solar-Instituts leitet das Thermodynamiklabor der FH-Aachen innerhalb dessen ein Motorenprüfstand zur Vermessung der Abgasströmungen zur Verfügung steht.

Die Firma Bauer RaD entwickelt überwiegend neue Verfahren und Materialien. Neben technischen Anwendungen, wie dem Direct-Typing-Process, liegt das Firmeninteresse auf dem Gebiet der Biomaterialien. Dabei werden neben konventionellen Patenten auch zukunftsweisende neue Biomaterialien in den Patentpool aufgenommen. Partnerschaften unterstützen die Aktivitäten dieser Einrichtung. Der Investitionsphase der letzten 2 Jahre folgt jetzt der systematische Ausbau der Entwicklungsaktivitäten. In jüngerer Zeit hat die Firma für das DLR an der Entwicklung eines keramischen Solarreceivers mitgearbeitet.

Die GERO Hochtemperaturöfen GmbH ist auf dem Gebiet der Wärmebehandlung vom Standardprodukt bis hin zur kundenspezifischen Systemlösung tätig. Ausgehend von einem umfangreichen Standard-Ofenprogramm (Rohr- und Kammeröfen) werden kundenspezifische Komplettlösungen für komplexe Wärmebehandlungsprozesse entwickelt und gefertigt. GERO ist zurzeit eines der führenden Unternehmen im Bereich des Sonderofenbaus für Hochtemperaturanwendungen unter Vakuum, Schutzgas oder reaktiver Atmosphäre (z.B. Wasserstoff).

Die FC²S GmbH führt experimentelle Untersuchungen sowie numerische Berechnungen zu Strömungen mit und ohne Wärme- und Stofftransport im Kundenauftrag durch. Geschäftsbereiche sind die Laborabzugstechnik mit Entwicklungsarbeiten, Typprüfungen und Onsite-Messungen an Laborabzügen sowie numerische Berechnungen und experimentelle Untersuchungen zu unterschiedlichen Aufgabengebieten. Zudem werden Nebelgeneratoren zur Sichtbarmachung von Strömungen, Laborabzugsfunktionsanzeigen und Messgeräte für Strömungsgeschwindigkeiten von Gasen angeboten. Ein besonderes Merkmal der Arbeiten im Bereich numerische Berechnungen ist die Erweiterung des kommerziellen CFD-Programms CFX 5 um Berechnungsmodelle für besondere Aufgabenstellungen. Die Modell- und Programmentwicklung sichert in diesem Bereich einen Wettbewerbsvorteil gegenüber der Konkurrenz.

Die Firma Industrie-Partner GmbH Radebeul-Coswig (IP) bietet folgende Leistungen an: Sondermaschinen- und Anlagenbau, Vorrichtungsbau; Mess- und Prüftechnik; Entwicklung, Konstruktion und Fertigung von Maschinen- und Anlagenbaugruppen auf Kundenwunsch; Mess-, Steuer- und Regeltechnik; Hydraulik, Pneumatik, Drucklufttechnik. Die Firma kann auf zahlreiche Referenzen von Großunternehmen, KMU und

Forschungseinrichtungen verweisen und exportiert Maschinen und Anlagen nach Europa, Asien und USA. Auch mit dem Fraunhofer-IKTS und anderen Instituten der Fraunhofer-Gesellschaft wurde bereits erfolgreich kooperiert.

Die Firma Kerafol GmbH produziert keramische Folien über das Foliengießverfahren und hat sich dank der langjährigen Erfahrungen auf dem Gebiet oxidischer und nichtoxidischer keramischer Materialien zu einem weltweit anerkannten Spezialisten für keramische Folien sowie zu einem bedeutenden Hersteller technischer Keramik entwickelt. Für Kerafol hat die Entwicklung neuer Produkte neben der Optimierung bestehender Konzepte oberste Priorität. Schwerpunkte von FuE-Projekten sind u. a. die Materialentwicklung und die Weiterentwicklung der Foliengießtechnik. Die flexiblen organisatorischen Strukturen der Firma garantieren eine hohe Effizienz der Entwicklungsarbeiten. Die gute Zusammenarbeit der Firma Kerafol mit dem Fraunhofer-IKTS hat sich bereits in Kooperationen zu anderen Themen erfolgreich bewährt.

Die Deutz AG ist Entwickler und Hersteller von Industrie- und Schiffsdieselmotoren sowie in Kooperation mit Volvo/RVI Entwickler und Hersteller von Nutzfahrzeugmotoren für weltweite Märkte. Die Deutz AG hat bereits mit großem finanziellem Aufwand Systeme für die Abgasnachbehandlung von Dieselmotoren erforscht, entwickelt und im Pilotumfang hergestellt und vermarktet. Deutz besitzt zahlreiche Schutzrechte für Kerntechnologien der Abgasnachbehandlung und plant, in Zukunft Abgasnachbehandlungssysteme serienmäßig für eine breite Palette von Industrie- und Fahrzeugmotoren anzubieten.

Die Industriepartner unter Führung der Deutz AG, die der wichtigste Know-how Träger auf der Motorseite ist, üben im Projektverlauf ein fachliches Controlling auf die Forschungsinstitute aus. Die Beteiligung der Firmen aus der Werkstoff-Technologie ermöglicht die Weiterentwicklung der bereits erprobten Technologien unter Berücksichtigung der speziellen Probleme der Fertigung großer Stückzahlen. Alle beteiligten Firmen würden großen Nutzen aus einer möglichen und realistischen Vermarktung der entwickelten Filter ziehen können und haben daher ein starkes Interesse an den Forschungs- und Entwicklungsergebnissen.

Die Perspektiven

Marktsituation

Die wirtschaftliche Bedeutung eines geeigneten Filters ist außerordentlich hoch, da aufgrund der existierenden und weiter absehbaren Grenzwerte in Zukunft nahezu alle LKW und größere Diesel-Motoren mit Abgasnachbehandlungstechnik aus- bzw. nachgerüstet werden müssen. Seit der Einführung der keramischen Partikelfilter im PSA-Konzern für PKW Diesel-Motoren wurden beginnend Ende 1999 mittlerweile mehr als 600.000 Filter in Pkw eingesetzt. Aktuell liefert allein die Firma Faurecia ca. 1000 Filter pro Tag. Das entspricht einer geschätzten Filterfläche von ca. 2000 m²/d, etwa 1,85t/d Hochleistungskeramik und einem Keramikumsatz von ca. 80 T Euro/d. Mit der angekündigten Einführung der Filter bei nahezu allen namhaften Pkw-Herstellern ab 2004 werden sich diese Zahlen explosionsartig erhöhen. Für die in der Zielstellung genannten

größeren Diesel-Motoren kann – neben ähnlichem Umfang – aufgrund der Vielfalt und des unterschiedlichen Entwicklungsstandes der Motoren eine wesentlich stärkere Diversifizierung der Produkte vorausgesagt werden. Auch wird im Gegensatz zu den Pkw-Anwendungen ein erheblicher Anteil der Filter für die Nachrüstung vorhandener Motoren eingesetzt werden, so dass neben dem Markt für die Keramik und deren Weiterverarbeitung zum Filtersystem (Canning, Regelung etc.) der Bedarf an Engineering-Leistungen steigt. Auch auf dem Dienstleistungssektor (Werkstätten) dürfte ein zusätzlicher Markt für kleine und mittelständische Unternehmen entstehen. Die Produktdiversifizierung wird auch dazu führen, dass es neben Großserien-Produkten viele anwenderangepasste und flexible Filtertypen in kleineren Stückzahlen geben wird, die ebenfalls verstärkt von KMU hergestellt und verarbeitet werden können. Folgende Auflistung gibt einen Überblick über den entstehenden Bedarf aufgrund der aktuellen und zukünftigen Gesetzgebung:

- Nutzfahrzeugmotoren: ab Euro 4/5 und ab US 07
- Leichte Nutzfahrzeuge / Industriemotoren für Sondermärkte ab Verfügbarkeit innovativer Nachbehandlungssysteme
- Industriemotoren flächendeckend ab Com 4
- Nachrüstung Nutzfahrzeuge Europa, USA, weltweit ab Verfügbarkeit innovativer Nachbehandlungssysteme

Die wesentlichen Innovationen der diesem Projektvorschlag zugrunde liegenden Lösungsidee sind der verbesserte Aschetransport und die Beherrschung der bei der Regeneration auftretenden thermischen Spannungen. Während beim Filter konventioneller Bauart Ein- und Auslasskanäle parallel angeordnet sind (Kreuzungswinkel 0°), können diese bei der vorgeschlagenen Lösung im Winkelbereich von ca. 30°-150° angeordnet sein, so dass die Einlasskanäle in dafür vorgesehene Aschebehälter einmünden können. Die neue Möglichkeit der Anordnung der Kanäle zueinander wird durch die vorgeschlagenen innovativen Herstellungsverfahren möglich, die keramische Folientechnik und das keramische Siebdruckverfahren. Die Folientechnik wurde vom Antragsteller IKTS entwickelt und bereits in früheren Projekten erprobt. Die keramische Siebdrucktechnik wurde in jüngster Zeit von der zum Konsortium gehörenden Fa. Bauer RaD als Prototyping-Verfahren entwickelt. Mit dieser Technik liegen bereits erste Erfahrungen vor. Der Einsatz für Partikelfilter ist in beiden Fällen jedoch völlig neu und wirft Fragestellungen auf, die im Rahmen des Projekts gelöst werden müssen.

Die zweite wesentliche Innovation betrifft das Verhalten des Filters während der thermischen Regeneration. Bei einfachen Kanalstrukturen kann es während der Regeneration zu Strömungsblockaden durch heiße Zonen und damit zu einer thermischen Überbelastung des Materials kommen. Die dreidimensionalen Gestaltungsmöglichkeiten bei der Formgebung, die die vorgeschlagenen innovativen Herstellungsverfahren bieten, erlauben eine gezielte Einstellung des Druckverlustverhaltens und der Wärmetransporteigenschaften der Filterstrukturen, mit dem sich das Auftreten der Strömungsblockaden ausschließen lässt.

Die Lösungsideen sind von Partnern aus dem beantragenden Konsortium entwickelt worden und wurden im Vorfeld des Projektantrages bereits patentrechtlich geschützt.

Umsetzungskonzept für die Realisierung

Seitens der beteiligten Firmen, insbesondere der Deutz AG, wurde der mögliche Markt und die im Markt erzielbaren Grenzpreise für LKW-Russfilter bereits vor einiger Zeit ermittelt. Diese Daten, insbesondere mengenabhängige Stückpreise, sind noch durch den im Markt präsenten Anwender zu autorisieren. Als Richtpreis und ohne derzeit die Investitionen und damit machbare Mengen für eine Stückkostenkalkulation im Detail zu kennen, muss in diesem Projekt davon ausgegangen werden, dass die Marktpreise für Ilden Medien nicht überschritten werden können. Diese liegen z.Zt. bei ca. 40 Euro pro Liter Filtermaterial. Ilden diktiert als Marktführer die Preise über stetig steigende Massenfertigung und Preisreduktionen. Auch wenn die in diesem Projekt vorgeschlagenen Filter bessere Eigenschaften besitzen und für ein Marktsegment vorgesehen sind (Nutzfahrzeuge), indem konventionelle Ilden-Filter nicht eingesetzt werden können, ist dieser Preis ein wichtiger Orientierungspunkt. Sobald Testkörper mit beiden vorgesehenen Herstellungsverfahren gefertigt sind, werden seitens der beteiligten Firmen Bauer RaD, Kerafol GmbH und GERO Investitions- und Stückkostenrechnungen für ein industrielles Umsetzungskonzept durchgeführt werden. Erst wenn die Stückkosten über die erforderlichen Investitionen und damit die machbaren Kapazitäten im angestrebten Zielpreis definiert sind, kann ein realistisches Umsetzungskonzept, das industriellen Charakter hat, hergestellt werden. Anhand des im Projekt entwickelten Konzeptes für eine industrielle Serienfertigung sind anschließend evtl. noch vorhandene Defizite in der Fertigungskette durch Einbeziehung weiterer Partner bzw. Zulieferer zu schließen.

Darüber hinaus und ausgehend von den entwickelten Prototypen sind von Bauer RaD, IP, Kerafol GmbH und GERO analoge oder schrittweise weiter verbesserte Kleinserienmuster herzustellen und den standardisierten Tests der Automobilindustrie zu unterziehen. Parallel werden erste Fertigungskapazitäten, z. T. unter Nutzung schon vorhandener Anlagen-technik aufgebaut.

Mit der Umsetzung der Lösungsideen sind technische Risiken verbunden, da insbesondere physikalische Vorgänge wie der Aschetransport und die Regeneration bislang ungenau berechnet oder vorhergesagt werden konnten. Unklar ist auch noch die resultierende Gesamtgröße eines typischen Filters, da mit der einfachen schichtweisen Trennung von Ein- und Auslasskanälen die zur Verfügung stehende Filterfläche im Vergleich zu den bekannten Systemen halbiert wird. Erste Abschätzungen der möglichen Kompaktheit ergaben, dass dieses Problem gut beherrschbar ist. Weiterhin ist die thermische und mechanische Belastbarkeit der zum Einsatz kommenden keramischen Materialien zwar prinzipiell bekannt und für die angedachte Anwendung ausreichend, bei den zu entwickelnden Kanalstrukturen jedoch hängen diese Eigenschaften stark von der sich ergebenden Geometrie und der Qualität der zu entwickelnden Verbindungstechniken ab. Ob sie den harten Anforderungen beim Einsatz als Partikelfilter genügen, muss experimentell nachgewiesen werden.