



(19)  
Bundesrepublik Deutschland  
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 102 32 754 A1** 2004.02.05

(12)

## Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **102 32 754.8**  
(22) Anmeldetag: **18.07.2002**  
(43) Offenlegungstag: **05.02.2004**

(51) Int. Cl.<sup>7</sup>: **F16L 9/18**  
F16L 59/14, F16L 59/22, F01N 7/10

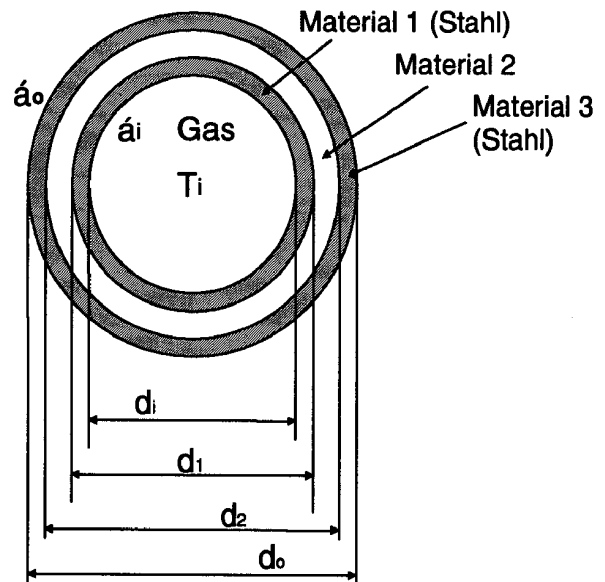
(71) Anmelder:  
**Bayerisches Zentrum für Angewandte  
Energieforschung eV, 97074 Würzburg, DE**

(72) Erfinder:  
**Erfinder wird später genannt werden**

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Wärmedämmtes Rohr oder Gehäuse zur Führung heißer Abgase**

(57) Hauptanspruch: Doppelwandiges, wärmedämmtes Rohr oder Gehäuse zur Führung heißer Abgase, insbesondere für Abgaskrümmter und Turboladersysteme, dadurch gekennzeichnet, dass der Zwischenraum mit einem verdichteten und vibrationsbeständigen Pulvergemisch gefüllt ist, das aus mikroporösem Silica und Zusatzstoffen hergestellt wird, wobei mindestens ein Zusatzstoff ein Infrarot-Trübungsmittel ist und mindestens ein Zusatzstoff eine volumenstabilisierende Wirkung auf das verdichtete Pulvergemisch ausübt.



**Beschreibung**

[0001] Die Erfindung betrifft ein doppelwandiges, wärmegeädämmtes Rohr oder Gehäuse zur Führung heißer Abgase nach Patentanspruch 1. Insbesondere dient es für den Einsatz bei Abgaskrümmern und Turboladegeräusen in Verbrennungsmotoren, um die Wärmeverluste über die Wandungen drastisch zu reduzieren.

[0002] Die Wände der Abgasführungen sind doppelwandig ausgeführt und der entstehende Hohlraum mit einem volumenkonstanten, hocheffizienten Hochtemperaturwärmedämmmaterial ausgefüllt. Das im Hohlraum eingesetzte, mikroporöse Dämmmaterial ist bis zu Temperaturen von 1000°C und bei mechanischen Wechselbelastungen von bis zu 400 m/s<sup>2</sup> einsetzbar. Die sehr guten Wärmedämmeigenschaften ermöglichen geringe Dämmstärken von wenigen Millimetern, d.h. die thermodynamisch optimierten Abgaskrümmern und Turboladersysteme lassen sich problemlos in vorhandene Motorenkonstruktionen integrieren. Das aus einem erfindungsgemäß gedämmten Abgaskrümmern ausströmende Verbrennungsgas besitzt höheren Energieinhalt als bei konventionellen Krümmern. Dieser Energiegehalt steht beispielsweise einem nachstehenden Turbolader zur Verfügung, der damit den Wirkungsgrad des Motorsystems verbessert. Gleichzeitig werden durch die verbesserte Wärmedämmung in wesentlich kürzeren Zeiten als dies bisher üblich ist, die optimalen Betriebstemperaturen erreicht. Dies verringert die Schadstoffzeugung des Motors und ist für den optimalen Einsatz und den ökologischen Betrieb von Katalysatoren von entscheidender Bedeutung (Verbesserung der Kaltstarteigenschaften).

[0003] Realisiert wird das Wärmedämmsystem durch das Füllen der doppelwandigen Schale des Abgassystems mit einem speziellen volumenstabilen Hochtemperaturwärmedämmstoffmischung (HT-WD-Mischung) auf der Basis von verdichtetem Pulver aus mikroporösem Silica, Infrarot-Trübungsmitteln und Zusatzstoffen, die Agglomerations- oder Absetzungserscheinungen unter dynamischer Belastung verhindern. Der Einsatz von hochporösem Silica, z.B. hochdispenser Fällungskieselsäure, pyrogener Kieselsäure oder Silica-Aerogel, reduziert die Gaswärmeleitung durch das eingeschlossene Gas aufgrund seiner feinporigen Struktur und vermindert gleichzeitig die Wärmeleitung über das Festkörpergerüst wirkungsvoll. Die Verwendung von Infrarot-Trübungsmitteln vermindert den Wärmetransport durch Wärmestrahlung, welcher vor allem bei hohen Temperaturen dominierend ist

**[Problemstellung]**

[0004] Bei Fahrzeugmotoren mit Abgasturboladern steht bei einer plötzlichen Vollastbeschleunigung nicht die volle Motorleistung, wie sie im stationären Betrieb vorhanden ist, zur Verfügung. Ursache sind neben der mechanischen Trägheit des Antriebsystems in nicht unerheblichem Umfang Wärmeverluste über die Wandungen des Abgaskrümmers und des Turboladersystems und die zur Erreichung stationärer Temperaturverhältnisse in die Wandungen einzubringende (fühlbare) Wärme. Besonders dramatisch ist dieser Effekt, wenn der Leistungsbedarf nach einer längeren Schwachlastphase auftritt, z.B. Leerlauf mit anschließender Beschleunigung. Gleichzeitig ist die schnelle Erreichung von optimalen Betriebstemperaturen für die Funktionalität von Abgaskatalysatoren (und Russfiltern bei Dieselmotoren) technisch und ökologisch dringend notwendig.

[0005] Hierfür stellt die erfindungsgemäße Konstruktion eine Lösung dar.

**[Stand der Technik]**

[0006] Für die Wärmedämmung von Abgaskrümmern gibt es derzeit unterschiedliche Konzepte:

Es werden keramische Inliner (Beschichtungen) eingesetzt, die jedoch zahlreiche Nachteile aufweisen- Aufgrund der unterschiedlichen thermischen Ausdehnungskoeffizienten zwischen Keramik und Metall (Edelstahl), sind ausreichend hohe Haftkräfte notwendig. Besonders bei stärkeren, d.h. besser wärmedämmenden Keramikschichten sind diese Haftkräfte bei Betriebsbedingungen, d.h. bei vibrierenden, schockbelasteten Oberflächen, nicht ausreichend. Im Fall von Turboladersystemen besteht bei der Verwendung von keramischen Inlinern zudem die Gefahr, dass sich Teile der Keramik bei mechanischer Belastung ablösen und in die schnell rotierenden Schaufeln geraten, was zur sofortigen Zerstörung des Turboladers führt.

[0007] Die Wärmeleitfähigkeit von typischen Keramiken liegt im Bereich von 1 W/(mK), die Wärmeleitfähigkeit von Edelstahl liegt im Bereich von 20 W/(mK). Bei höheren Temperaturen sind darüber hinaus Keramiken für Wärmestrahlung zunehmend transparent, so dass die wärmedämmenden Eigenschaften nicht ausreichend sind.

[0008] Eine weitere Möglichkeit der thermischen Dämmung von Abgaskrümmern und Turboladersystemen bietet der Einsatz von außenliegenden wärmedämmenden Formteilen, auch thermische Schutzschilde genannt. Nachteilig ist hier, dass eine größere Oberfläche gedämmt werden muss, d.h. das ganze gedämmte System wird großvolumiger. Die Formteile müssen speziell, d.h. dauerhaft rüttel- und vibrationsbeständig gehalten werden. Thermodynamisch weist diese Art der Wärmedämmung den großen Nachteil auf, dass die thermische Masse des Systems (Abgaskrümmern, Turboladersystem) deutlich vergrößert wird d.h. Ansprechzeiten,

beispielsweise von Teil- zu Vollastbetrieb werden nicht verkürzt.

[0009] Eine neuere Entwicklung ([http://www.nanopore.com/High\\_Temperatur.html](http://www.nanopore.com/High_Temperatur.html)) stellt der Einsatz eines mit Vakuumisolationspaneelen wärmegegedämmten Abgaskrümmers dar. Unabhängig vom eingesetzten Füllmaterial (in Vakuumisolationspaneelen wird ein Füllmaterial, z.B. nanoporöses Silica oder Glasfasern, evakuiert) gibt es für den Einsatz dieser Systeme erhebliche Einschränkungen: Produktionstechnisch ist die Herstellung dauerhaft vakuumdichter Schweißnähte für höhere Einsatz-Temperaturen bei gleichzeitiger mechanischer Belastung sind äußerst schwierig zu realisieren. Bei Versagen der Schweißnähte wird die dämmende Wirkung erheblich reduziert. Selbst für Anwendungen bei niedrigen Temperaturen stellt die Herstellung eines VIP-gegedämmten Abgaskrümmers einen technisch aufwendigen Prozess dar. Die Fragen der Produktkontrolle, d.h. auch die Garantie einer Mindestlebensdauer, sind bis heute, selbst bei einfachen Vakuumisolationspaneelen nicht gelöst.

[0010] Weiterhin wird in der erwähnten Anwendung durch Einsatz von Vakuumpaneelen eine relativ hohe Wandstärke erreicht. Die Dämmung von stark unregelmäßig gekrümmten Oberflächen, wie sie bei der Integration von Abgaskrümmern in kompakten Motorkonstruktionen und bei Abgasturboladern vorkommen, ist technisch nur schwer zu realisieren.

#### [Aufgabe der Erfindung]

[0011] Die Erfindung ermöglicht eine kompakte Ausführung von hochwärmegegedämmten Abgaskrümmern und Turboladersystemen. Damit lassen sich bei kompakten Motorkonstruktionen eine deutliche Leistungssteigerung erreichen sowie der Schadstoffausstoß durch die verkürzten Aufwärmphasen reduzieren.

[0012] Die abgasführenden Rohre oder Gehäuse sind doppelwandig ausgeführt. Der Zwischenraum beträgt mindestens 0,5 mm und höchstens 10 mm.

[0013] Die erfindungsgemäße Füllung besteht aus einem speziellen Gemisch aus mikroporösem Silica, Infrarot-Trübungsmitteln und Zusatzstoffen, die eine volumenstabilisierende Eigenschaften haben. Dies können fasrige Stoffe sein, vorzugsweise aber Substanzen, die sich bei erhöhten Temperaturen aufblähen. Dies gilt beispielsweise für Pulver aus Wasserglas (getrocknet), Glimmer, Graphit oder Perlit. Ebenso können organische Bindemittel als volumenstabilisierende Substanzen eingesetzt werden.

[0014] Der Einsatz von mikroporösem Silica, z.B. hochdispenser Fällungskieselsäure, pyrogene Kieselsäure oder Silica-Aerogel wird die Wärmeleitung durch das eingeschlossene Gas aufgrund ihrer feinporigen Struktur reduzieren und gleichzeitig eine geringe die Wärmeleitung über das Festkörpergerüst wirkungsvoll reduziert. Die Verwendung von Infrarot-Trübungsmitteln (z.B. Titandioxid, Siliziumkarbid, Graphit, Zirkonoxid oder Zirkonsilikat) vermindert den Wärmetransport durch Wärmestrahlung, welcher vor allem bei hohen Temperaturen dominierend ist.

[0015] Das Pulvergemisch wird vor dem Einfüllen in den Zwischenraum vorzugsweise zu Formkörpern verdichtet. Nach dem Einbringen in den Zwischenraum sollen sich das Pulvergemisch, bzw. die Formkörper bei erhöhten Temperatur ausdehnen und gegen die Wandung drücken. Durch diesen „Innendruck“ des Pulvergemisches auf die umgebenden Wände wird verhindert, dass es sich bei mechanischen oder thermischen Belastungen setzt oder verrutscht oder Agglomerate bildet und somit Hohlräume im Zwischenraum erzeugt. Nach dem Einbringen des Pulvers kann das Bauteil z.B. in einem Ofen höheren Temperaturen ausgesetzt werden oder es dehnt sich während des ersten Betriebes des Motors etc. durch die heißen Abgase aus.

[0016] Es gibt zwei mögliche Arten von volumenstabilisierenden Substanzen, die erreichen, dass sich das Pulvergemisch im Zwischenraum „ausdehnt“:

Einmal wird das Ausdehnen des Pulvergemisches im Zwischenraum der Doppelwandung erreicht, indem sich die Zusatzstoffe während einer Temperaturbehandlung aufblähen.

[0017] Die Volumenstabilität der hochwärmedämmenden Füllung (HT-WD-Mischung) muss bei dynamischen Beschleunigungen bis 400 m/s<sup>2</sup> gewährleistet sein, d.h. es dürfen während der Systemlebenszeit keine Setzungserscheinungen auftreten. Die Dichte der volumenstabilen HT-WD-Mischung liegt beispielsweise zwischen 50 und 500 kg/m<sup>3</sup>. Die Volumenstabilität wird auch dadurch erreicht, dass spezielle Silicatypen verwendet werden, die durch Ausbildung von Oberflächenkräften, z.B. elektrostatischer Aufladungen, ein Verrutschen der Pulverteilchen gegeneinander verhindern.

[0018] Eine weitere Möglichkeit besteht in der Herstellung von Formpresslingen höherer Dichte, als in der Anwendung erforderlich ist. Die damit im Vergleich mit den Abmessungen des Schalenhohlraums der Doppelwandung kleineren Pressteile lassen sich einfach in den Hohlraum einbringen. Die Herstellung der Presslinge wird durch den Einsatz von organischen Bindemitteln ermöglicht, welche dann bei höheren Temperaturen im entgültigen Einbauzustand oxidiert werden. Durch die thermische Zerstörung des Bindemittels zerfallen die Presslinge und expandieren unter geringen mechanischen Belastungen in Pulver (volumenstabile HT-WD Mischung), welches nun den Hohlraum in der gewünschten Solldichte dauerhaft ausfüllt.

[0019] Die Anwendungsgrenztemperatur der volumenstabilen HT-WD-Mischung liegt bei maximal 1100°C. Die Wärmeleitfähigkeit der volumenstabilen HT-WD-Mischung bewegt sich beispielsweise zwischen 0.015

W/(mK) bei 300 K und 0.080 W/(mK) bei 1000°C.

[0020] Im Weiteren werden die Funktionsweise der doppelschaligen Bauweise mit integrierter volumenstabiler HT-WD-Mischung (Hochtemperaturwärmedämmstoff-Mischung) anhand eines Beispiels eines Abgasrohres verdeutlicht. Die thermodynamischen Vorteile lassen sich direkt auf Turboladersysteme übertragen:

[0021] **Fig. 1** zeigt eine schematische Darstellung eines Querschnitts durch ein Abgaskrümmrohr:  $d_i$  bezeichnet den Innendurchmesser des Abgaskrümmers,  $d_1$  den Außendurchmesser des inneren Rohres,  $d_2$  den Innendurchmesser des äußeren Rohres und  $d_0$  den Außendurchmesser des Abgaskrümmers. Material **1** und Material **3** bestehen beispielsweise aus Edelstahl, Material **2** ist ein hochwärmedämmendes, volumenstabiles Pulvergemisch (HT-WD-Mischung).  $\alpha_i$  und  $\alpha_0$  bezeichnen die Wärmeübergangskoeffizienten an der inneren und äußeren Wandung des Abgaskrümmers. Innerhalb der Doppelschale wird die volumenstabile HT-WD-Mischung eingebracht. Die Wandstärke  $((d_1 - d_i)/2, \text{Fig. 1})$  der inneren Wandung, welche beispielsweise aus Edelstahl besteht, bewegt sich im Bereich von 0.5 mm bis 5 mm. Die Dämmstärke  $((d_2 - d_1)/2, \text{Fig. 1})$ , d.h. der Abstand der beiden Schalen beträgt beispielsweise 1 mm bis 10 mm. Die Wandstärke  $((d_0 - d_2)/2, \text{Abb. 2})$  der äußeren Wandung, welche beispielsweise aus Edelstahl besteht, bewegt sich im Bereich von 0.5 mm bis 5 mm.

[0022] Erfindungsgemäß werden durch den neuartigen Wandaufbau die Wärmeverluste im Abgassystem merklich reduziert. **Fig. 2** zeigt den deutlich gesteigerten Wärmewiderstand eines beispielhaften Systems (Konstruktion **2**) im Vergleich zu zwei Referenzszenarien. Die dazugehörigen thermischen Eigenschaften und Dichten der eingesetzten Materialien für einen Abgaskrümmers sind in folgender Tabelle aufgelistet:

Material	Wärmeleitfähigkeit $\Lambda$ bei ca. 600 K [Wm <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> ]	Spez. Wärmekapazität $c_p$ [Jkg <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> ]	Dichte $\Delta$ [kgm <sup>-3</sup> ]
Stahl	20	500	8000
Volumenstabile HT-WD-Mischung	0.03	1000	300
Keramik	1	500	3200

[0023] In **Fig. 2** werden dabei drei unterschiedliche Wandkonstruktionen betrachtet:

Konstruktion **1**: 0.006 m Stahl,

Konstruktion **2**: 0.001 m Stahl + 0.004 m volumenstabile HT-WD-Mischung + 0.001 m Stahl

Konstruktion **3**: 0.001 m Stahl + 0.004 m Keramik + 0.001 m Stahl.

[0024] Der Vorteil des doppelschaligen Wandaufbaus mit integrierter volumenstabiler HT-WD-Mischung zeigt sich auch an den berechneten Werten der lokalen Abgastemperatur und der lokalen Wärmeverluste entlang des Abgaskrümmers für die unterschiedlichen Wandaufbauten (**Fig. 3a** und **Fig. 3b**).

[0025] **Fig. 4** verdeutlicht das verbesserte Ansprechverhalten der Wandinnentemperatur mit dem erfindungsgemäßen Wandaufbau. Durch den erhöhten Wärmewiderstand nahe der Innenwandung des Abgaskrümmers, wird die thermische Masse des Abgaskrümmers für kurzzeitige thermische Belastungen (z.B. eine sprunghafte Änderung der Abgastemperatur von 750K auf 1025K) deutlich reduziert. Damit verbessert sich das Kaltstartverhalten und das Verhalten bei schnellen Belastungswechseln von zum Beispiel Teil- auf Volllastbetrieb.

### Patentansprüche

1. Doppelwandiges, wärmegeprägtes Rohr oder Gehäuse zur Führung heißer Abgase, insbesondere für Abgaskrümmers und Turboladersysteme, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Zwischenraum mit einem verdichteten und vibrationsbeständigen Pulvergemisch gefüllt ist, das aus mikroporösem Silica und Zusatzstoffen hergestellt wird, wobei mindestens ein Zusatzstoff ein Infrarot-Trübungsmittel ist und mindestens ein Zusatzstoff eine volumenstabilisierende Wirkung auf das verdichtete Pulvergemisch ausübt.

2. Pulvergemisch für ein doppelwandiges, wärmegeprägtes Rohr oder Gehäuse nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das Pulvergemisch mindestens 50 Gewichtsprozent-Anteilen Silica und mindestens 5 Gewichtsprozent-Anteilen Infrarot-Trübungsmittel und mindestens 1 Gewichtsprozent-Anteil an volumenstabilisierenden Substanzen enthält.

3. Pulvergemisch nach Anspruch 2 der Anmeldung, dadurch gekennzeichnet, dass die volumenstabilisierende Substanz ganz oder teilweise aus einem sich bei erhöhten Temperaturen aufblähenden Material besteht.

4. Pulvergemisch nach Anspruch 2 der Anmeldung, dadurch gekennzeichnet, dass die volumenstabilisierende Substanz ganz oder teilweise aus einem organischen Bindemittel besteht.

5. Volumenstabilisierende Substanz nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Substanz aus Wasserglas, Glimmer, Graphit oder Mischungen davon besteht.

6. Pulver nach Anspruch 1, 2, 3 oder 4, dadurch gekennzeichnet, dass das Infrarot-Trübungsmittel aus Titandioxid, Siliziumkarbid, Graphit, Zirkonoxid, Zirkonsilikat oder Mischungen daraus besteht.

7. Doppelwandiges, wärmegeämmtes Rohr oder Gehäuse zur Führung heißer Abgase nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der mit Pulver gefüllte Zwischenraum mindesten 0.5 mm und maximal 10 mm beträgt.

8. Verfahren zur Herstellung eines abgasführenden Rohres oder Gehäuses nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass ein Pulver, das Substanzen enthält, die sich bei höheren Temperaturen aufblähen, zu Formkörpern verpresst wird und diese Formkörper weitgehend spielfrei in die Doppelwandungen eingesetzt werden.

9. Verfahren zur Herstellung eines abgasführenden Rohres oder Gehäuses nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass ein Pulver organische Bindemittel enthält, zu Formkörpern verpresst wird und diese Formkörper weitgehend spielfrei in die Doppelwandungen eingesetzt werden.

Es folgen 3 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

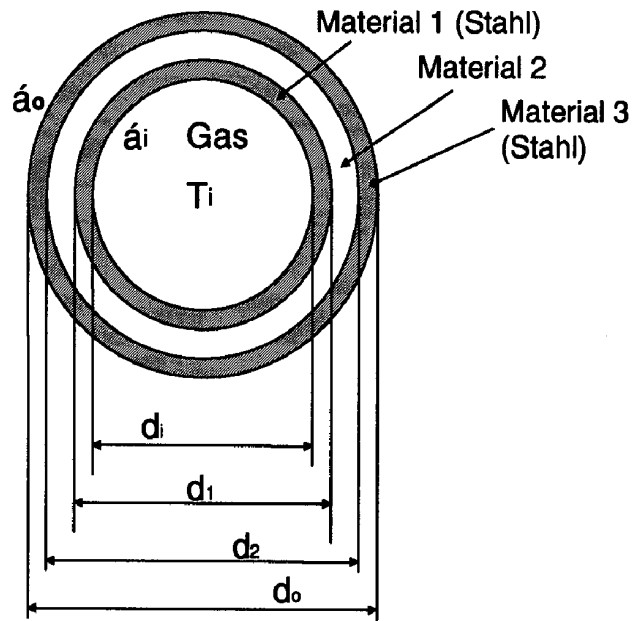


Fig. 1

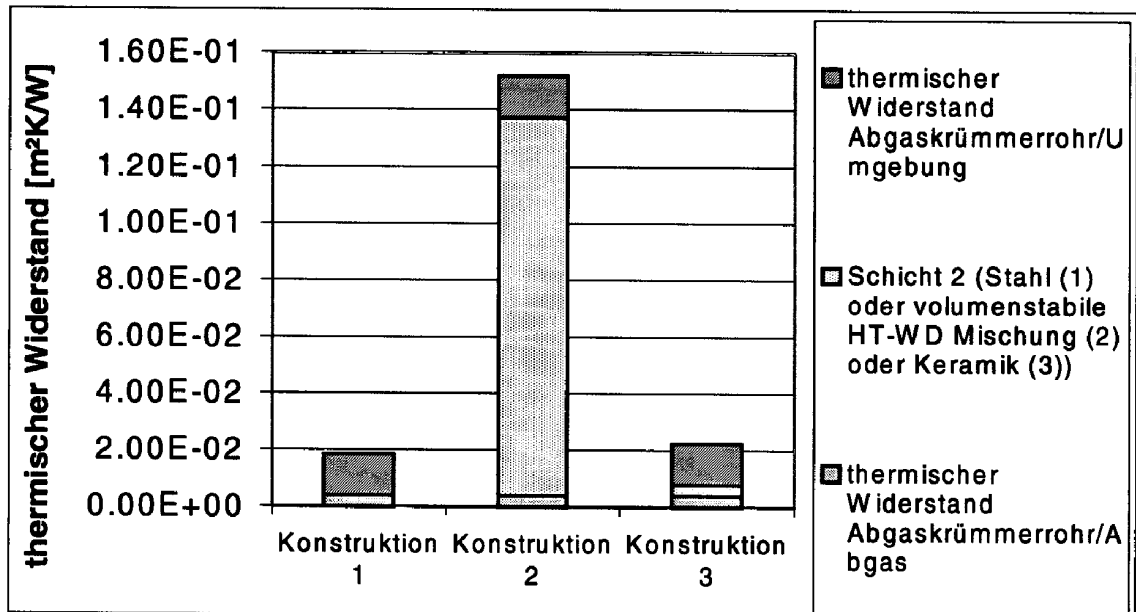


Fig.2

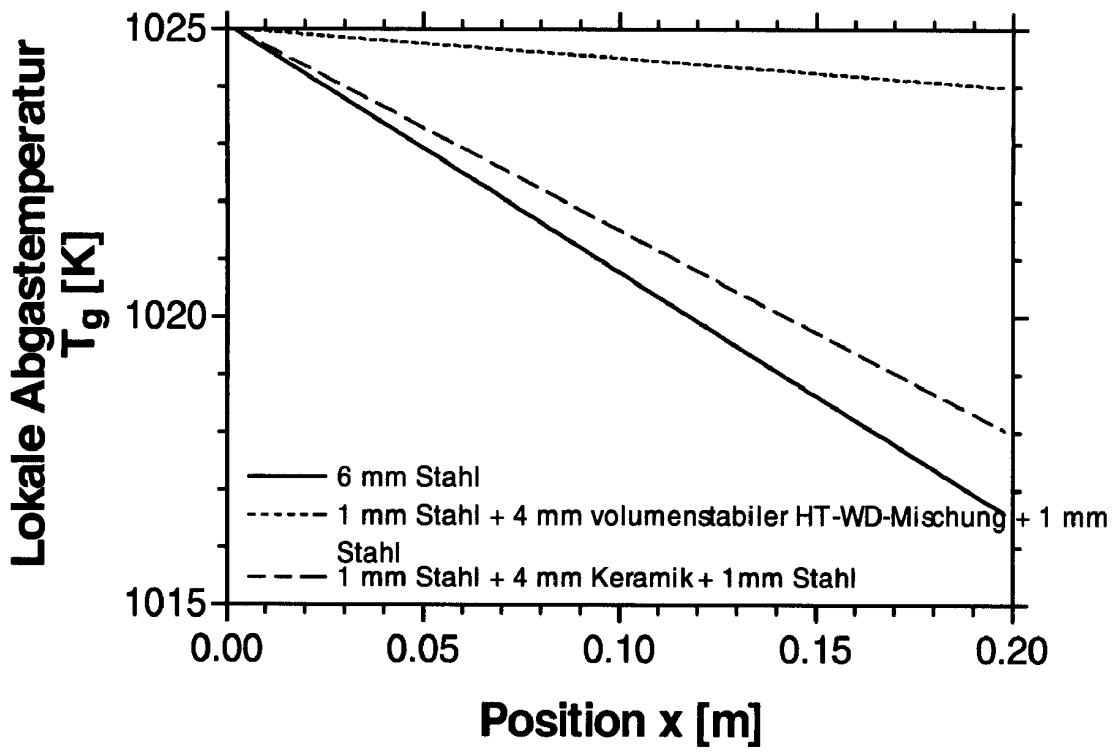


Fig. 3a

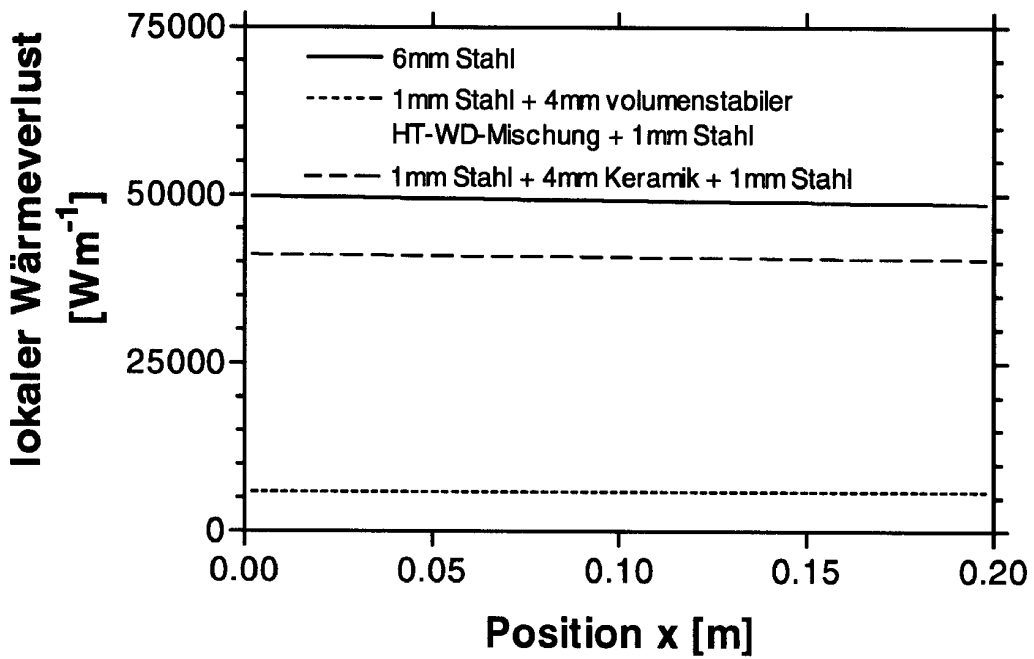


Fig. 3b

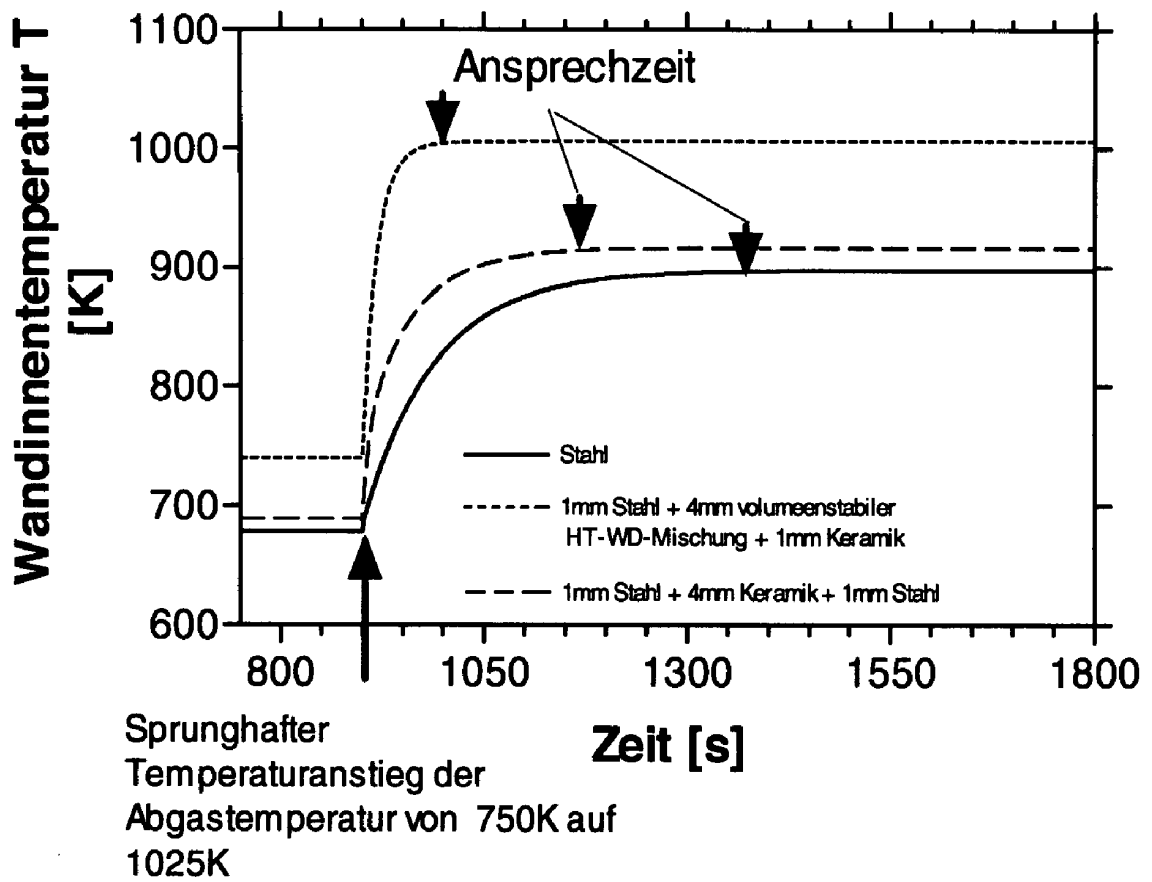


Fig. 4