

(19)



(11)

**EP 2 270 414 A1**

(12)

**EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:  
**05.01.2011 Patentblatt 2011/01**

(51) Int Cl.:  
**F28F 13/00 (2006.01) F28G 9/00 (2006.01)**

(21) Anmeldenummer: **09008777.6**

(22) Anmeldetag: **03.07.2009**

(84) Benannte Vertragsstaaten:  
**AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR  
HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO PL  
PT RO SE SI SK SM TR**  
Benannte Erstreckungsstaaten:  
**AL BA RS**

• **Botsch, Tilman**  
**91522 Ansbach (DE)**

(74) Vertreter: **Grünecker, Kinkeldey,  
Stockmair & Schwanhäusser**  
**Anwaltssozietät**  
**Leopoldstrasse 4**  
**80802 München (DE)**

(71) Anmelder: **Aprovis Energy Systems GmbH**  
**91746 Weidenbach (DE)**

(72) Erfinder:  
• **Hauf, Steffen**  
**91746 Weidenbach (DE)**

Bemerkungen:

Geänderte Patentansprüche gemäss Regel 137(2) EPÜ.

**(54) Wassereindüsung in Abgaswärmetauscher zur Reduzierung von Leistungsverlusten**

(57) Ein Verfahren zur Reduzierung von Leistungsverlusten in Wärmetauschern, wie beispielsweise Abgaswärmetauschern und Abgasrückführungskühlern, welches das Eindüsen von Wasser in einen Wärmetau-

scher umfasst. Durch das Eindüsen von Wasser wird eine Ablagerungsschicht mit geänderten thermodynamischen Eigenschaften im Wärmetauscher geschaffen, wodurch ein höherer Wärmeübergang von Abgasen auf den Wärmetauscher erzielt wird.

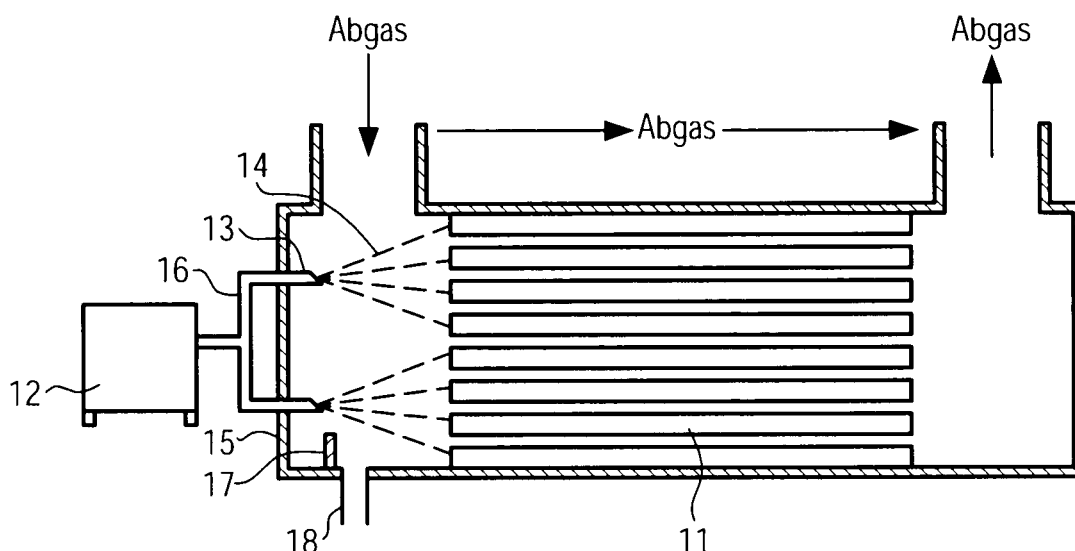


FIG. 1a

**EP 2 270 414 A1**

## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Reduzierung von Leistungsverlusten in Abgaswärmetauschern.

**[0002]** Im Bereich der dezentralen Energieversorgung kommen häufig Blockheizkraftwerke zum Einsatz, welche mittels eines Motors, Turbine oder anderen thermischen Konversionsaggregaten über einen Generator elektrische Energie erzeugen. Ein bedeutender Anteil der dabei entstehenden Wärmeenergie befindet sich im Abgas. Je nach Typ liegt die Abgastemperatur zwischen 350 und 600 °C. Die meisten Anwendungen liegen jedoch im Bereich von 420 bis 500 °C. Ähnliche Abgasströme finden sich auch in AGR-Kühlern, thermischen Vergasungsanlagen, Kesselanlagen oder industriellen Prozessen.

**[0003]** Um einen hohen Gesamtwirkungsgrad zu erreichen, werden je nach Anwendung sogenannte Abgaswärmetauscher (auch Abhitzeessel oder Dampferzeuger) in den Abgasstrom geschaltet, welche die Abgase abkühlen und die dabei abgegebene Energie in Heizkreisläufe oder Dampfnetze einkoppeln.

**[0004]** Des Weiteren werden zur Reduzierung von Abgasemissionen bei Motoren häufig AGR-Kühler eingesetzt, welche zur Kühlung und Rückführung des Abgasstromes auf die Ansaugseite des Aggregates dienen.

**[0005]** In Abhängigkeit der Abgasquelle, des eingesetzten Brennstoffes oder der Betriebsweise, kann es zur Verschmutzung der Wärmeübertragerflächen kommen. Dies führt aufgrund des behinderten Wärmeübergangs zu einer Leistungsminderung des Abgaswärmetauschers, welche es zu verhindern gilt.

**[0006]** Aus dem Stand der Technik ist bekannt, dass Abgaswärmetauscher während eines Betriebsstillstandes manuell mit Hochdruckwasser oder Bürste gereinigt werden. Nachteilig bei dieser Vorgehensweise ist, abgesehen vom zusätzlichen Arbeitsaufwand, dass ein Blockheizkraftwerk während dieses Reinigungsvorgangs nicht weiter betrieben werden kann, bzw. dass der Abgaswärmetauscher vom Abgasstrom abgekoppelt werden muss.

**[0007]** Ebenso ist aus dem Stand der Technik bekannt, dass in Großfeuerungsanlagen, Ablagerungen mittels Wasserlanzenbläser durch direktes Bestrahlen entfernt werden. Durch das direkte Auftreffen des Wassers kommt es zu einem thermischen und mechanischen Schock durch den Ablagerungen entfernt werden sollen. Dies geht jedoch einher mit einer hohen Belastung für das Material.

**[0008]** Des Weiteren ist aus dem Stand der Technik bekannt, dass Abgaswärmetauscher während des Betriebs mit Hilfe von Wassereindüsung gereinigt werden können. Bei dieser Vorgehensweise ist ein Nachteil, dass der Wasserverbrauch hoch ist. Ein weiterer Nachteil ist, dass beim Eindüsen von Wasser in einen heißen Abgaswärmetauscher es zu Thermoschocks kommen kann, welche das Material (z. B. des Abgaswärmetauschers) belasten.

**[0009]** Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, Leistungsverluste in Abgaswärmetauschern so zu reduzieren, dass der Betrieb des Abgaswärmetauschers nicht eingestellt werden muss und dass Wasserverbrauch und Thermoschocks niedrig sind.

**[0010]** Diese Aufgabe wird gelöst mit einem Verfahren nach Anspruch 1, einer Steuerung nach Anspruch 9 und einer Vorrichtung nach Anspruch 10.

**[0011]** Bevorzugte Ausführungsformen sind in den abhängigen Ansprüchen offenbart.

**[0012]** Das Verfahren zur Reduzierung von Leistungsverlusten in Wärmetauschern umfasst das Eindüsen von Wasser in einen Wärmetauscher. Das Eindüsen von Wasser wird so durchgeführt, dass die thermodynamischen Eigenschaften der Ablagerungsschicht im Wärmetauscher so verändert werden, dass sich eine Verbesserung der Wärmeübertragungseigenschaften einstellt.

**[0013]** Mit Hilfe von oben genanntem Verfahren, Vorrichtung und Steuerung werden die Leistungsverluste in Wärmetauschern dadurch reduziert, dass sich der Ruß bei der Wassereindüsung nicht mehr als glatte Schicht ablagert, sondern aufräut bzw. aufgeraut abgelagert wird. Die dadurch strukturierte Oberfläche führt zu verstärkten Turbulenzen in der Filmschicht am Übergang der Abgasströmung zur Rohrwand des Wärmetauschers und damit zu einer Verbesserung des Wärmeübergangskoeffizienten  $\alpha$  auf der Abgasseite. Dieser verbesserte Wärmeübergangskoeffizient  $\alpha$  kompensiert damit den zusätzlichen Wärmeübertragungswiderstand, welcher sich durch die Ablagerungsschicht auf der Rohrwand ergibt. Des Weiteren kommt es zu einer Verdichtung der Russschicht, welche zu einer höheren Wärmeleitfähigkeit  $\lambda$  der Russschicht führt, wodurch der Wärmetransport durch die Schicht verbessert wird. In manchen Fällen kommt zu dem Aufräuen der Abgasablagerungsschicht noch der Effekt dazu, dass durch die Wassereindüsung Teile der Abgasablagerungsschicht in der Rohrwand entfernt werden. Ein Zyklus, der aus mehreren Einzelschritten bestehen kann, wird typischerweise alle 1 bis 24 h wiederholt, wobei jeder einzelne Eindüsungsvorgang zwischen 10 und 600 s dauert. Die maximale Dauer des Eindüsungsvorgangs kann dadurch ermittelt werden, dass die Abgastemperatur vor dem Wärmetauscher während eines Eindüsungsvorgangs unter einen vorgegebenen Grenzwert fällt und/oder ein fast stabiles Niveau erreicht und/oder nicht weiter abfällt.

**[0014]** Das eingedüste Wasser hat in einer bevorzugten Ausführungsform dieser Erfindung einen Wasserdruck von mindestens 3 bar und genügt bestimmten Reinheitsanforderungen. Zum Beispiel sollte das Wasser enthärtet sein mit einem Härtegrad von weniger als 0,1 °dH, die Leitfähigkeit des Wassers sollte weniger als 1500  $\mu\text{S}/\text{cm}$  betragen, der Chloridgehalt sollte kleiner als 20 mg/l sein und der pH-Wert des Wassers sollte im Bereich von 9 bis 10,5 liegen. Des

Weiteren wird eine Tröpfchengröße des Wassers im Bereich von 100 bis 900 µm bevorzugt.

**[0015]** Je länger der Abstand in den Zyklen ist, desto geringer ist der resultierende Wasserverbrauch und desto weniger Thermoschocks treten auf. Thermoschocks entstehen, wenn Wasser auf durch das Abgas erhitzte Teile (z. B. des Wärmetauschers und/oder Leitungen) trifft.

**[0016]** Daher ist es ratsam, die Menge des eingedüsten Wassers in Relation zur Menge des Abgases, das durch den Wärmetauscher strömt, zu wählen. Das Verhältnis

$$\varepsilon = \text{Wasserstrom [g/min]} / \text{Abgasmassenstrom [kg/min]}$$

liegt in einem bevorzugten Bereich von 10 bis 300. Der Wert von  $\varepsilon$  kann dahingehend optimiert werden, dass nur so viel Wasser eingedüst wird, wie tatsächlich nötig ist, um einen hohen Wärmeübergang im Wärmetauscher zu gewährleisten.

**[0017]** In anderen beispielhaften Ausführungsformen der derzeitigen Erfindung wird dem eingedüsten Wasser ein oder mehrere zusätzliche Bestandteile beigemischt. Zum Beispiel kann das eingedüste Wasser mit Luft vermischt werden, so dass effektiv ein Wasser-Luft-Gemisch eingedüst wird. Des Weiteren besteht die Möglichkeit, dass dem eingedüsten Wasser eine wasserlösliche Substanz beigemischt ist, wie beispielsweise Säure, Lauge oder Reinigungsmittel. Hiermit kann eine Wirkung des EindüSENS weiter optimiert werden, durch besser Verstäubung des eingedüsten Gemisches und/oder durch zusätzlich chemische und/oder physikalische Beeinflussung der Russoberfläche und/oder Neutralisation saurer Verbrennungsrückstände.

**[0018]** Weiterhin besteht die Möglichkeit das Wasser gänzlich durch eine Säure, Lauge oder Reinigungsmittel zu ersetzen. Hierdurch kann ebenfalls eine bessere Verstäubung der eingedüsten Flüssigkeit und/oder zusätzlich chemische/physikalische Beeinflussung der Russoberfläche und/oder Neutralisation saurer Verbrennungsrückstände erreicht werden.

**[0019]** In einer weiteren möglichen Ausführung der derzeitigen Erfindung besteht die Möglichkeit, dass der EindüSungsvorgang entweder schlagartig gestartet wird oder, dass die Wassermenge während des EindüSungsvorgangs kontinuierlich von Null auf einen Maximalwert während einer Zeitdauer von wenigstens 1 und höchstens 30 s angehoben wird. Des Weiteren besteht die Möglichkeit am Ende des EindüSungsvorgangs die Wassermenge entweder schlagartig oder kontinuierlich in besagter Zeitdauer vom Maximalwert auf Null abzusenken. Dies kann durch kurze aufeinander folgende EindüSzyklen erfolgen oder durch stetiges erhöhen/verringern der eingedüsten Flüssigkeit. Dies dient zur Kontrolle und Beeinflussung der eventuell auftretenden Thermoschocks.

**[0020]** Beispielsweise wird zu Beginn des EindüSENS von Wasser die Wassermenge schlagartig oder kontinuierlich in einem Zeitraum von wenigstens 1, 2, 4, 6, 8, 10 oder 15 s und/oder höchstens 2, 4, 6, 8, 10, 15, 20, 25 oder 30 s von Null auf einen Maximalwert angehoben, und/oder wird zum Ende des EindüSENS von Wasser die Wassermenge schlagartig oder kontinuierlich in einem Zeitraum von wenigstens 1, 2, 4, 6, 8, 10 oder 15 s und/oder höchstens 2, 4, 6, 8, 10, 15, 20, 25 oder 30 s von besagtem Maximalwert auf Null abgesenkt.

**[0021]** Ein WassereindüSungsvorgang wird typischerweise durch Öffnen eines Wasserventils eingeleitet und durch Schließen des Wasserventils beendet. Einem WassereindüSungsvorgang können ein oder mehrere Schritte vorangehen bzw. ein oder mehrere Schritte nachfolgen.

**[0022]** Einer der Schritte vor dem WassereindüSungsvorgang ist das Starten eines WassereindüSungszyklus gefolgt von der Überprüfung eines oder mehrerer Kriterien, wie z. B., dass Druckluft mit einem Druck von wenigstens 1 und höchstens 12 bar vorhanden ist oder, dass der Abgasdurchsatz einen Mindestgrenzwert übersteigt oder, dass die Abgaseintrittstemperatur in den Wärmetauscher größer als eine Solltemperatur ist, wodurch verhindert wird, dass ein Zyklus gestartet wird, wenn eine Anlage gerade angefahren wird.

**[0023]** Wenn typischerweise alle der oben genannten Kriterien erfüllt sind, kann ein Druckluftspülen von wasserführenden Komponenten einer verwendeten WassereindüSungsanlage vor dem EindüSEN des Wassers erfolgen. Dieser Schritt dient insbesondere dazu, um Schmutzreste von den Düsen zu entfernen und um die besagten Düsen vorzukühlen.

**[0024]** Nach dem nachfolgenden WassereindüSungsvorgang kann ein weiteres Druckluftspülen von wasserführenden Komponenten einer verwendeten WassereindüSungsanlage durchgeführt werden. Dies dient dazu, restliches Wasser zu entfernen, da Inhaltsstoffe des Wassers auf Dauer zu einer Verkrustung der Leitungen, Düsen oder anderer wasserführenden Komponenten führen können.

**[0025]** Der Vorgang des DruckluftspüSENS wird durch Öffnen eines Druckluftventils eingeleitet und nach einer Dauer im Bereich von 5 bis 120 s durch das Schließen des Druckluftventils beendet. Die Druckluft hat einen bevorzugten Druck im Bereich von 1 bis 12 bar. Das Druckluftspülen kann dazu eingesetzt werden die Abgasablagerungsschicht im Wärmetauscher zu optimieren (in Bezug auf den Wärmeübergang).

**[0026]** Anschließend können während des WassereindüSungsvorgangs aufgezeichnete Messdaten, insbesondere von eingedüster Wassermenge, Wasserdruck beim EindüSEN, Abgaseintrittstemperatur in den Wärmetauscher und

Abgasaustrittstemperatur aus dem Wärmetauscher gespeichert bzw. dokumentiert werden. Diese Messdaten können verwendet werden, um Eindüsungsdauer, Eindüsungsmenge und Zeitabstand zwischen den Wassereindüsungsvorgängen zukünftiger Eindüsungsvorgänge neu zu bestimmen bzw. zu optimieren.

**[0027]** Des Weiteren wird eine Steuerung für eine Wasserdüsungsanlage zur automatischen Durchführung des Verfahrens verwendet. Besagte Steuerung kann Teil einer Wassereindüsungsanlage sein.

**[0028]** Die Vorrichtung zur Reduzierung von Leistungsverlusten in Wärmetauschern umfasst die folgenden Komponenten: einen Wärmetauscher, eine Wassereindüsungsanlage und eine oder mehrere Düsen. Die besagten Komponenten sind zum Verändern der thermodynamischen Stoffwerte der Abgasablagerungsschicht im Wärmetauscher durch Eindüsen von Wasser mittels Wassereindüsungsanlage in den Wärmetauscher vorgesehen. Dadurch wird ein höherer Wärmeübergang von Abgasen auf den Wärmetauscher erzielt.

**[0029]** Die Vorrichtung zur Reduzierung von Leistungsverlusten in Wärmetauschern kann neben dem Wärmetauscher der Wassereindüsungsanlage und den Düsen noch einen Deckel umfassen, auf dem die Düsen montiert sind, wobei jede Düse mittels Rohrleitung mit der Wassereindüsungsanlage verbunden ist. Der besagte Deckel befindet sich auf der Abgaseintrittsseite vor dem Wärmetauscher, so, dass die Düsen im Wesentlichen parallel zum Abgasstrom im Wärmetauscher ausgerichtet sind. Bevorzugterweise sind auf dem Deckel Stutzen angebracht, in welche Düsenlanzen angeflanscht bzw. eingeschraubt werden. In einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung werden die Düsen mit Hilfe der Düsenlanzen so auf den Deckel unter einer Isolationsschicht montiert, dass nur die Spitzen der Düsen thermischen Belastungen durch heiße Abgase ausgesetzt sind und die Rohrleitungen und Wassereindüsungsanlage vor thermischer Belastung zumindest teilweise geschützt sind.

**[0030]** Weiterhin besteht die Möglichkeit die Düse/Düsen an einem radial am Wärmetauschereintritt oder vor gelagertem Rohrleitungssystem befindlichen Injektor zu installieren. Dies kann sowohl in Strömungsrichtung als auch entgegen der Strömungsrichtung des Abgases erfolgen.

**[0031]** Des Weiteren empfiehlt es sich, den Kontakt von empfindlichen Teilen mit Wasser durch ein Schottblech und/oder durch die Verwendung von dünnen Einlagen aus Blech, Keramik oder anderen isolierenden und/oder flüssigkeitsabweisenden Materialien sogenannten Inlays, zu vermeiden. Das Schottblech verhindert, dass in dem Bereich vor der Wärmetauschereintrittsseite angestautes Wasser mit empfindlichen Bauteilen (z. B. der Hochtemperaturdichtung des Deckels) in Berührung kommt.

**[0032]** Weiter ist es möglich, Schäden durch Thermoschocks dadurch zu verhindern, dass Teile (z. B. Wandteile der Kammer auf der Abgaseintrittsseite des Wärmetauschers) eine unterschiedliche Wanddicke haben oder aus einem Material gefertigt werden, das weniger empfindlich auf Thermoschocks reagiert oder durch zusätzliche Maßnahmen gekühlt werden.

**[0033]** Die Wassereindüsungsanlage umfasst in ihrer bevorzugten Ausführungsform eine Steuerung/Steuerrelais, Rohrleitungen, Magnetventile, einen Kompressor bzw. einen Anschluss für externe Druckluftversorgung. Weiter kann die Wassereindüsungsanlage Wasserfilter, Druckschalter, Druckwächter, Rückschlagventile, Datenspeicher, zusätzliche Druckbehälter zur Erhöhung des Druckvolumens und einen Flowcontroller umfassen, wobei der Flowcontroller dazu dient, die eingedüste Wassermenge aufzuzeichnen, damit bei Unter- oder Überschreitung eines eingestellten Limits eine Fehlermeldung erfolgen kann. Ebenso kann eine Fehlermeldung erfolgen, wenn der Flowcontroller trotz geschlossenen Magnetventilen einen Durchfluss anzeigt.

**[0034]** Bevorzugterweise wird die Anzahl der Düsen  $n$  je nach Durchmesser  $d$  des Wärmetauschers gewählt. Zum Beispiel ist  $n = 1$  für  $d < 400$  mm,  $n = 3$  für  $400 \text{ mm} \leq d < 600$  mm,  $n = 5$  für  $600 \text{ mm} \leq d < 800$  mm und  $n = 12$  für  $800 \text{ mm} \leq d < 1500$  mm.

**[0035]** Die Düsen sind bevorzugterweise so angeordnet, dass eingedüstes Wasser möglichst gleichmäßig die gesamte Abgaseintrittsseite des Wärmetauschers abdeckt, so dass die Dichteschwankung des eingedüsten Wassers über der gesamten Abgaseintrittsseite maximal im Bereich von 5% bis 80% liegt. In einigen Ausführungen der gegenwärtigen Erfindung erfolgt die Positionierung der Düsen in Abhängigkeit zu der Position eines Abgaseintrittsstutzens, durch den das Abgas in den Raum vor dem Wärmetauscher eintritt.

**[0036]** Der Abstand der Düsen zur Abgaseintrittsseite des Wärmetauschers ist so dicht wie möglich gewählt unter der Voraussetzung, dass die oben genannte maximale Dichteschwankung des eingedüsten Wassers nicht überschritten wird.

**[0037]** Bevorzugt werden Edelstahldüsen mit Sprühwinkeln von entweder  $15^\circ$ ,  $30^\circ$ ,  $45^\circ$  oder  $90^\circ$  verwendet, wobei die Düsen in der Lage sein sollten, Wassertröpfchen mit einer Tröpfchengröße im Bereich von 100 bis 900  $\mu\text{m}$  zu erzeugen. In einer anderen Ausführung der derzeitigen Erfindung werden 2-Stoff-Düsen verwendet, mit denen Wasser mit Hilfe von Druckluft eingedüst werden kann. Des Weiteren besteht die Möglichkeit, Düsenköpfe mit mehreren Düsen zu verwenden, so dass wahlweise oder gleichzeitig in bzw. entgegen der Richtung eines Abgasstromes eingedüst werden kann. Weiter können verschiedene Typen von Düsen miteinander kombiniert werden.

**[0038]** Die oben genannte Vorrichtung umfasst optional einen oder mehrere Stutzen, die dazu dienen, überschüssiges Wasser abzuleiten oder in denen Temperaturfühler untergebracht werden können, mit denen die Abgaseintrittstemperatur in den Wärmetauscher bzw. die Abgasaustrittstemperatur aus dem Wärmetauscher gemessen werden kann.

**[0039]** In einer weiteren Ausführungsform der Erfindung umfasst die Vorrichtung mehrere Wärmetauscher, die Teil eines mehrstufigen Wärmetauschersystems sind, und mehrere Wassereindüsungsanlagen, so dass jedem Wärmetauscher eine Wassereindüsungsanlage zugeordnet ist bzw. nur einem Teil der Wärmetauscher eine Wassereindüsungsanlage zugeordnet ist, wobei jede Wassereindüsungsanlage mit mindestens einer Düse verbunden ist.

**[0040]** Weitere Aspekte von möglichen Ausführungsformen der Erfindung werden anhand der Figuren 1a, 1b, 2, 2b, 3, 4, 5, 6a und 6b deutlich. Dabei zeigt:

Figur 1a eine schematische Ansicht einer Vorrichtung zur Eindüsung von Wasser in einen Abgaswärmetauscher;

Figur 1b eine schematische Ansicht der Abgaseintrittsseite eines Abgaswärmetauschers, worin zusätzlich die möglichen Positionen von Düsen angedeutet sind;

Figur 2 eine schematische Detailansicht des Deckels mit Isolierschicht, Inlay, Rohrleitungen, Verteiler, Düsenlanze und Düsen;

Figur 2b eine schematische Detailansicht des Injectors mit Isolierschicht, Inlay, Rohrleitungen und Düsen;

Figur 3 eine schematische Ansicht einer Wassereindüsungsanlage;

Figur 4 den Ablauf eines Zyklus zur Wassereindüsung;

Figur 5 ein Diagramm mit der Abgasaustrittstemperatur aus einem Abgaswärmetauscher als Funktion der Betriebszeit des Abgaswärmetauschers;

Figur 6a eine schematische Ansicht von Abgasablagerungsschichten in einem Abgaswärmetauscher ohne Wassereindüsung; und

Figur 6b eine schematische Ansicht von Abgasablagerungsschichten in einem Abgaswärmetauscher mit Wassereindüsung.

**[0041]** Auch wenn in den nachfolgend beschriebenen Abbildungen Figuren von Abgaswärmetauschern die Rede ist, versteht es sich von selbst, dass entsprechende Ausführungsformen auch für Wärmetauscher allgemein, wie zum Beispiel auch für Abgasrückführungskühler, möglich sind.

**[0042]** Eine mögliche Ausführungsform der Erfindung ist in Figur 1a skizziert, welche eine Vorrichtung zum Eindüsen von Wasser 14 zeigt. Abgas strömt in den Vorraum des Abgaswärmetauschers 11 und strömt dann durch den Abgaswärmetauscher 11 hindurch, wobei sich eine Abgasablagerungsschicht (nicht gezeigt) im Abgaswärmetauscher 11 bildet. Mit Hilfe von eingedüstem Wasser 14 wird diese Ablagerungsschicht in ihren Eigenschaften verändert, wodurch ein höherer Wärmeübergang  $\alpha$  von Abgasen auf den Abgaswärmetauscher 11 und eine höhere Wärmeleitfähigkeit  $\lambda$  in der Ablagerungsschicht erzielt wird. Der höhere Wärmeübergang  $\alpha$  kommt dadurch zustande, dass durch das Eindüsen eine Abgasablagerungsschicht mit rauer Oberfläche gebildet wird, die vorbeiströmende Abgase verwirbelt. Die höhere Wärmeleitfähigkeit  $\lambda$  wird dadurch erreicht, dass die durch Eindüsung gebildete Abgasablagerungsschicht eine größere Dichte aufweist als eine Abgasablagerungsschicht, die ohne Eindüsung gebildet worden ist. Das Eindüsen von Wasser 14 erfolgt mit Hilfe einer Wassereindüsungsanlage 12, die über Rohrleitungen 16 mit Düsen 13 verbunden ist. Die Düsen 13 sind auf einem Deckel 15 angebracht, der den Vorraum vor dem Abgaswärmetauscher 11 abschließt. Außerdem zeigt Figur 1a ein Schottblech 17, welches verhindert, dass eingedüstes Wasser 14 mit thermoschockempfindlichen Teilen der Anlage in Berührung kommt. Über den Stützen 18 kann überflüssiges Wasser abgeleitet werden.

**[0043]** Zum weiteren Schutz von thermoschockempfindlichen Teilen kann eine Einlage (Inlay) oder einer Isolierschicht zwischen diesen und dem Abgasstrom installiert werden. Dieses Inlay oder Isolierung verhindert, dass eingedüstes Wasser mit den thermoschockempfindlichen Teilen in Berührung kommt. Eine schockartige Auskühlung wird so vermieden. Auch wird durch die isolierende Funktion die Oberflächentemperatur der thermoschockempfindlichen Teile und somit auch die Sensibilität der Teile für spontane Abkühlung reduziert werden.

**[0044]** Weitere Details werden in den Figuren 1b, 2 und 3 gezeigt bzw. nur im Text erwähnt (wie z. B. zusätzliche Stützen für Thermoelemente). Mehrstufige Anlagen mit mehreren Abgaswärmetauschern 11 bzw. mehreren Wassereindüsungsanlagen 12 und entsprechend weiteren Rohrleitungen 16 und Düsen 13 sind nicht gezeigt, entsprechen jedoch einer Hintereinanderschaltung der Anlage von Figur 1a mit einer Vielzahl der jeweiligen Komponenten 11 bis 18.

**[0045]** In Figur 1b ist eine Frontalansicht eines Abgaswärmetauschers 11 gezeigt, wobei das Abgas in die Bildebene hinein strömt. Des Weiteren sind die Positionen von in diesem Fall fünf Düsen 13 angedeutet, wobei eine Düse 13 zentral positioniert ist und vier weitere Düsen 13 mit konstantem Abstand zu der zentralen Düse 13 und einem gleich-

mäßigen Winkelabstand (z.B. je 90°) verteilt sind. Nicht gezeigt, jedoch möglich, sind Konfigurationen, bei denen die Düsenabstände unterschiedlich bzw. die Winkelabstände nicht regelmäßig sind. Weiter besteht die Möglichkeit, dass, je nach Größe des Abgaswärmetauschers 11, die Anzahl der Düsen geringer (bei einem kleineren Abgaswärmetauscher) oder größer (bei einem größeren Abgaswärmetauscher) ist. Des Weiteren können verschiedene Typen von Düsen verwendet werden.

**[0046]** In Figur 2 sind weitere Details einer Vorrichtung zum Eindüsen von Wasser 27 skizziert. Wasser bzw. Luft wird durch Rohrleitungen 23 zuerst durch einen Verteiler 24 geschickt. Der Verteiler 24 ist in diesem Fall über Rohrleitungen 23 und Düsenlanzen 25 mit zwei Düsen 26 verbunden. Die Düsen 26 sind mittels Düsenlanzen 25 auf einem Deckel 21 angebracht. Hinter dem Deckel 21 befindet sich in einer möglichen Ausführungsform der Erfindung eine Isolierschicht 22a, welche thermische Belastungen der dahinterliegenden Komponenten vermindert. Zum Schutz von thermoschockempfindlichen Bauteilen kann eine Einlage (Inlay) oder eine Isolierende Schicht 22b zwischen diesen und dem Abgasstrom installiert werden.

**[0047]** Neben einzelnen Düsenlanzen kann auch wie in Figur 2b dargestellt ein Injektor zum Einsatz kommen. Dieser Injektor wird radial in der Abgasleitung vor dem Wärmetauscher 21 installiert. Der Wärmetauscher ist mit einer Isolierung 22a versehen, welche die thermische Belastung dahinterliegender Komponenten vermindert. Die Eindüsung von Wasser 27 erfolgt über einen Düsenkopf 25 mit einer oder auch mehreren Düsen 26. Die Eindüsung kann hierbei mit oder entgegen der Strömungsrichtung des Abgases erfolgen. Zum Schutz von thermoschockempfindlichen Bauteilen kann eine Einlage (Inlay) oder eine Isolierende Schicht 22b zwischen diesen und dem Abgasstrom installiert werden.

**[0048]** Der schematische Aufbau einer Wassereindüsungsanlage 12 ist in Figur 3 skizziert. In der abgebildeten Ausführungsform wird Druckluft entweder mit einem Kompressor 31 erzeugt oder extern zugeführt und in Druckbehälter 32 gespeichert. Möglich sind ein oder mehrere zusätzliche externe Druckluftbehälter, die hier nicht gezeigt werden. Rückschlagventile 37 verhindern, dass der aufgebaute Luftdruck, z. B. nach Abschalten des Kompressors 31, erhalten bleibt. Wird Magnetventil 36 geöffnet, so strömt die Druckluft in Richtung einer oder mehrerer Düsen. Werden die Magnetventile 35 geöffnet, so strömt Wasser in Richtung der Düsen.

**[0049]** Die Steuerung 33 der Wassereindüsungsanlage 12 steuert das Öffnen und Schließen der Magnetventile 35, 36 und den Betrieb des Kompressors 31. Des Weiteren können Messdaten aus vorangegangenen Wassereindüsungsvorgängen verwendet werden, um die Steuerung so zu konfigurieren, dass zukünftige Wassereindüsungsvorgänge optimiert ablaufen. Der Kompressor 31 und die Steuerung 33 werden von einer Stromversorgung 34 mit elektrischer Energie versorgt.

**[0050]** In Figur 4 ist ein typischer Ablauf eines Eindüszklus gezeigt. In bevorzugter Weise regelmäßigen Zeitabständen wird ein neuer Zyklus gestartet. Nach dem Zyklusstart 41 wird in Schritt 42 überprüft, ob Druckluft mit einem Druck von mindestens typischerweise 8 bar vorhanden ist. Weiter wird in Schritt 43 überprüft, ob der Abgasdurchsatz einem Mindestwert (z.B. 50%) des maximalen Durchsatzes beträgt und ob die Abgaseintrittstemperatur in den Abgaswärmetauscher 11 größer als eine Solltemperatur von z. B. 350 °C ist.

**[0051]** In Schritt 44 wird anhand der Schritte 42 und 43 überprüft, ob im Zyklus fortgefahren wird oder ob der Zyklus abgebrochen wird 45. Im Falle einer Freigabe wird das erste Druckluftspülen der Leitungen 46 dadurch durchgeführt, dass zunächst Magnetventil 36 geöffnet wird und nach einer Dauer von typischerweise 10 bis 60 Sekunden wieder geschlossen wird. Anschließend beginnt der Wassereindüsungsvorgang 47 durch Öffnen der Magnetventile 35 und optional 36, welche am Ende des Wassereindüsungsvorgangs 47 wieder geschlossen werden. Der Wassereindüsungsvorgang 47 dauert typischerweise 60 bis 180 Sekunden. Anschließend erfolgt ein zweites Druckluftspülen der Leitungen 48, welches normalerweise wie das erste Druckluftspülen 46 durchgeführt wird, wobei die Zeitdauer des zweiten Druckluftspülens jedoch unterschiedlich von der des ersten Druckluftspülens sein kann. Danach ist das Zyklusende 49 erreicht.

**[0052]** In Figur 5 ist ein Diagramm gezeigt, in dem die Abgasaustrittstemperatur aus einem Abgaswärmetauscher [°C] als Funktion der Betriebsstunden desselben Abgaswärmetauschers aufgetragen ist. Im Neuzustand (ohne Abgasablagerungen) beträgt die Abgasaustrittstemperatur aus dem Abgaswärmetauscher 120 °C. Dieser Wert steigt innerhalb von ca. 1000 Betriebsstunden auf einen Wert von ungefähr 170 °C an. Nach ca. 1000 und ca. 2300 Betriebsstunden wurde der Abgaswärmetauscher manuell gereinigt, was dazu führt, dass die Abgasaustrittstemperatur wieder mehr oder weniger auf die ursprüngliche Temperatur von 120 °C absinkt.

**[0053]** Nach ca. 2300 Betriebsstunden wurde in den Abgaswärmetauscher Wasser gemäß einer Ausführungsform der Erfindung eingedüst, was dazu führt, dass die Abgasaustrittstemperatur aus dem Abgaswärmetauscher langsamer ansteigt als in den beiden vorangegangenen Intervallen ohne Wassereindüsung (mit manueller Reinigung) und, dass die Abgasaustrittstemperatur aus dem Abgaswärmetauscher auch nach über 5000 Betriebsstunden 140 °C nicht übersteigt. Diese Tatsache deutet darauf hin, dass sich die Abgasaustrittstemperatur auf einem niedrigeren Niveau stabilisiert hat.

**[0054]** Aus Figur 5 wird deutlich, dass durch das Eindüsen von Wasser in einen Abgaswärmetauscher ein höherer Wärmeübergang von Abgasen auf den Abgaswärmetauscher erzielt wird. Dies wird dadurch erreicht, dass die Abgasablagerungsschicht im Abgaswärmetauscher aufgeraut ist und sich ab einer bestimmten Schichtdicke nicht weiter aufbaut. Eine vollständige Entfernung der Abgasablagerungsschicht kann ausgeschlossen werden, da die Abgasaus-

trittstemperatur nicht auf den ursprünglichen Wert von 120 °C, wie nach einer manuellen Reinigung abfällt.

**[0055]** Die Wirkung des EindüSENS von Wasser wird im Vergleich der Figuren 6a und 6b deutlich. Während die Abgasablagerungsschichten in Figur 6a ohne WassereindüSung typischerweise glatt sind, sind die Abgasablagerungsschichten in Figur 6b mit WassereindüSung rau bzw. unregelmäßig.

**[0056]** Im Bereich einer einheitlichen Ablagerung (z. B. ein Bereich ohne Abplatzungen) liegen unregelmäßige aber flächendeckende Dickenvariationen der Abgasablagerungsschicht vor, die mehr als 5%, 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60%, 70% oder mehr als 80% der maximalen Dicke betragen. Korngrößen der Ablagerungsschicht bei einem Blick senkrecht auf einen Bereich einheitlicher Ablagerung betragen im Mittel mehr als 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 75%, 100%, 150%, 200% oder 300% und/oder weniger als 20%, 30%, 40%, 50%, 75%, 100%, 150%, 200%, 300%, 400% oder 500% der durchschnittlichen oder maximalen Schichtdicke in einem solchen Bereich. Der angesprochene Bereich kann z. B. 1 cm<sup>2</sup> oder 10 cm<sup>2</sup> sein.

## Patentansprüche

1. Ein Verfahren zur Reduzierung von Leistungsverlusten in Wärmetauschern (11), wie beispielsweise Abgaswärmetauschern oder Abgasrückführungskühlern, das Verfahren umfassend:

EindüSEN (47) von Wasser in einen Wärmetauscher (11);

**dadurch gekennzeichnet, dass**

durch das EindüSEN von Wasser (14) eine Änderung der thermodynamischen Eigenschaften der Abgasablagerungsschicht im Wärmetauscher (11) geschaffen wird, wodurch ein höherer Wärmeübergang von Abgasen auf den Wärmetauscher erzielt wird.

2. Das Verfahren nach Anspruch 1, worin es sich bei den thermodynamischen Eigenschaften um einen Wärmeübergangskoeffizienten  $\alpha$  und /oder um eine Wärmeleitfähigkeit  $\lambda$  handelt.

3. Das Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, worin das EindüSEN von Wasser (14) in Zeitabständen von mindestens 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 10, 12, 16, 20 Stunden und/oder von höchstens 2, 3, 4, 5, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 20 oder 24 Stunden wiederholt wird; und/oder worin jeder EindüSungsvorgang (47) über eine Zeitdauer von mindestens 10, 20, 30, 40, 50, 60, 80, 100, 120, 140, 160 oder 180 s und/oder von höchstens 20, 30, 40, 50, 60, 80, 100, 120, 140, 160, 180, 200, 250, 300 oder 600 s erfolgt; und/oder worin der EindüSungsvorgang (47) vor einer Sollzeit beendet wird, wenn während des EindüSungsvorgangs die Abgasaustrittstemperatur aus dem Wärmetauscher (11) nicht weiter abfällt.

4. Das Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, worin das Wasser mit einem Druck von mindestens 1, 1,5, 2, 2,5, 3, 4, 5 oder 6 bar und/oder höchstens 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 oder 9 bar eingedüST wird; und/oder worin das Wasser Reinheitsanforderungen erfüllt, wobei die Reinheitsanforderungen bevorzugt einen Härtegrad von weniger als 0,1 °dH und/oder eine Leitfähigkeit von weniger als 1500  $\mu$ S/cm und/oder einen Chloridgehalt von weniger als 20 mg/l und/oder einen pH-Wert zwischen 9 und 10,5 beinhalten; und/oder worin die Tröpfchengröße des Wassers wenigstens 100, 150, 200, 250, 300, 400, 500 oder 600  $\mu$ m und/oder höchstens 150, 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800 oder 900  $\mu$ m beträgt.

5. Das Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, worin die Menge des eingedüSTEN Wassers in Relation zur Menge des Abgases, das durch den Wärmetauscher (11) strömt, gewählt wird, und das Verhältnis  $\epsilon = \text{Wasserstrom [g/min]} / \text{Abgasmassenstrom [kg/min]}$  bevorzugt im Bereich von wenigstens 5, 10, 15, 20, 25, 30, 40, 50, 60, 70 oder 80 und/oder höchstens 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 120, 140, 160, 180, 200 oder 300 liegt.

6. Das Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, umfassend mindestens einen, zwei oder drei weitere der folgenden Schritte, die vor dem EindüSEN (47) von Wasser durchgeführt werden:

Starten eines WassereindüSungszyklus (41);

Überprüfung ob eines, zwei oder alle der folgenden Kriterien erfüllt sind:

- Druckluft (42) ist mit einem Druck von wenigstens 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 oder 8 bar und/oder höchstens 2, 4, 6, 8, 10 oder 12 bar vorhanden;
- die Abgaseintrittstemperatur (43) in dem Wärmetauscher ist größer als eine Solltemperatur von wenigstens

## EP 2 270 414 A1

100, 150, 200, 250, 300, 350, 400, 500 oder 600 °C und/oder höchstens 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800 oder 900 °C, und

• der Abgasmassenstrom (43) beträgt mindestens 50, 60, 70, 80 oder 90% der maximalen Massenstromes durch den Wärmetauscher; und

Druckluftspülen (46) von wasserführenden Komponenten einer verwendeten Wassereindüsungsanlage vor dem Eindüsen von Wasser.

7. Das Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, umfassend mindestens einen, zwei oder drei weitere der folgenden Schritte, die nach dem Eindüsen (47) von Wasser durchgeführt werden:

- Druckluftspülen (48) von wasserführenden Komponenten einer verwendeten Wassereindüsungsanlage nach dem Eindüsen von Wasser, insbesondere um Wasserreste von verwendeten Düsen zu entfernen;
- Dokumentieren von während des Wassereindüsungsvorgangs aufgezeichneten Messdaten, insbesondere von eingedüster Wassermenge und/oder Wasserdruck beim Eindüsen und/oder Abgaseintrittstemperatur in dem Wärmetauscher (11) und/oder Abgasaustrittstemperatur aus dem Wärmetauscher; und
- Verwenden der während des Wassereindüsungsvorgangs aufgezeichneten Messdaten um Eindüsungsdauer, Eindüsungsmenge und Zeitabstand zwischen den Wassereindüsungsvorgängen zukünftiger Eindüsungsvorgänge neu zu bestimmen.

8. Das Verfahren nach Anspruch 6 oder 7, worin das Druckluftspülen wenigstens 5, 10, 15, 20, 30, 40, 50, 60 oder 80 s und/oder höchstens 10, 15, 20, 30, 40, 50, 60, 80, 100 oder 120 s dauert und/oder mit einem Druck von wenigstens 1, 2, 3, 4, 5, 6 oder 7 bar und/oder höchstens 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11 oder 12 bar erfolgt.

9. Eine Steuerung (33) für eine Wassereindüsungsanlage (12) zur automatischen Durchführung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 8, wobei die Steuerung (33) vorzugsweise Bestandteil einer Wassereindüsungsanlage (12) ist.

10. Eine Vorrichtung zur Reduzierung von Leistungsverlusten in Wärmetauschern (11), wie beispielsweise in Abgaswärmetauschern und Abgasrückführungskühlern, wobei die Vorrichtung folgende Komponenten umfasst:

einen Wärmetauscher (11);  
eine Wassereindüsungsanlage (12); und  
eine oder mehrere Düsen (13);

**dadurch gekennzeichnet, dass**

besagte Komponenten zum Bewirken einer Veränderung der physikalischen Eigenschaften einer Abgasablagerschicht im Wärmetauscher (11) durch Eindüsen von Wasser (14) mittels Wassereindüsungsanlage (12) in den Wärmetauscher vorgesehen sind, wodurch ein höherer Wärmeübergang von Abgasen auf den Wärmetauscher erzielt wird.

11. Die Vorrichtung nach Anspruch 10, worin die Düsen (26) auf einem Deckel (21) montiert sind, jede Düse (26) mit der Wassereindüsungsanlage (12) durch eine Rohrleitung (23) verbunden ist und sich der Deckel auf der Abgaseintrittsseite vor dem Wärmetauscher (11) befindet, so dass die Düsen im Wesentlichen parallel zum Abgasstrom im Wärmetauscher ausgerichtet sind; oder worin die Düsen (26) durch einen radial im Wärmetauschereintritt oder vorgelagerten Rohrleitungen (23) befindlichen Injektor in Strömungsrichtung oder entgegen der Strömungsrichtung des Abgasstromes ausgerichtet werden; bevorzugt worin die Düsen (26) mit Hilfe von Düsenlanzen (25) so auf den Deckel (21) unter einer Isolationsschicht (22) montiert sind, dass nur die Spitzen der Düsen thermischen Belastungen durch heiße Abgase ausgesetzt sind und die Rohrleitungen (23) und die Wassereindüsungsanlage (12) vor thermischer Belastung zumindest teilweise geschützt sind.

12. Die Vorrichtung nach einem der Anspruch 10 oder 11, worin der Kontakt von empfindlichen Teilen mit Wasser durch ein Schottblech (17) und/oder durch die Verwendung von dünnen Einlagen und/oder isolierenden Schichten vermieden wird.

13. Die Vorrichtung nach einem der Ansprüche 10 bis 12, worin die Wassereindüsungsanlage (12) eine SPS-Steuerung (33) und/oder Rohrleitungen (16) und/oder Magnetventile (35, 36) und/oder einen Kompressor (31) und/oder einen Anschluss für externe Druckluftversorgung umfasst; bevorzugt worin die Wassereindüsungsanlage (12) mindestens eine, zwei, drei oder alle weiteren Komponenten aus den folgenden Komponenten umfasst: Flowcontroller, Was-



serfilter, Druckschalter, Druckwächter, Rückschlagventile (37), Datenspeicher, zusätzlicher Druckbehälter zur Erhöhung des Druckvolumens.

- 5 14. Die Vorrichtung nach einem der Ansprüche 10 bis 13, worin die Anzahl der Düsen (13)  $n$  je nach Durchmesser oder maximaler Breite der Höhe einer senkrecht zum Abgasstrom liegenden Querschnittsfläche  $d$  des Wärmetauschers festgelegt ist, wie beispielsweise  $n = 1$  für  $d < 400$  mm,  $n = 3$  für  $400 \leq d < 600$  mm,  $n = 5$  für  $600 \leq d < 800$  mm und  $n = 12$  für  $800 \leq d < 1500$  mm; und/oder
- 10 worin die Düsen (13) so angeordnet sind, dass eingedüstes Wasser möglichst gleichmäßig die gesamte Abgaseintrittsseite des Wärmetauschers (11) abdeckt, so dass die Dichteschwankung des eingedüsten Wassers über der gesamten Abgaseintrittsseite maximal 5, 10, 20, 30, 40, 50, 60 oder 80% beträgt; und/oder
- 15 worin der Abstand der Düsen (13) zur Abgaseintrittsseite des Wärmetauschers (11) so dicht wie möglich ist unter der Voraussetzung, dass die besagte maximale Dichteschwankung des eingedüsten Wassers nicht überschritten wird; und/oder
- 20 worin die verwendeten Düsen (13) bevorzugt Edelstahldüsen mit einem Sprühwinkel von  $0^\circ - 20^\circ$  und/oder  $20^\circ - 40^\circ$  und/oder  $40^\circ - 60^\circ$  und/oder  $60^\circ - 90^\circ$  und/oder  $90^\circ - 120^\circ$  sind; und/oder
- 25 worin die Düsen (13) in der Lage sind Wassertröpfchen mit einer Tröpfchengröße von wenigstens 100, 150, 200, 250, 300, 400, 500 oder 600  $\mu\text{m}$  und/oder höchstens 150, 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800 oder 900  $\mu\text{m}$  zu erzeugen; und/oder
- 30 worin die verwendeten Düsen (13) 2-Stoff-Düsen sind, mit denen Wasser mit Hilfe von Druckluft eingedüst werden kann; und/oder
- 35 worin ein Düsenkopf mit mehreren Düsen (13) verwendet wird, so dass wahlweise oder gleichzeitig in und/oder entgegen der Richtung eines Abgasstromes eingedüst werden kann.

- 25 15. Die Vorrichtung nach einem der Ansprüche 10 bis 14, weiter umfassend eine oder mehrere der folgenden Komponenten:

30 Stutzen (18) zur Ableitung von überschüssigem Wasser und/oder zur Unterbringung von Temperaturfühlern, mit denen die Abgaseintrittstemperatur in den Wärmetauscher (11) und/oder die Abgasaustrittstemperatur aus dem Wärmetauscher und/oder der Druckverlust über den Wärmetauscher gemessen werden kann;

35 zusätzliche Wärmetauscher (11), die mit dem besagten Wärmetauscher ein mehrstufiges Wärmetauschersystem bilden; und

zusätzliche Wassereindüsungsanlagen (12), so dass jedem Wärmetauscher eine Wassereindüsungsanlage zugeordnet ist oder nur einem Teil der Wärmetauscher eine Wassereindüsungsanlage zugeordnet ist, wobei jede Wassereindüsungsanlage jeweils mit mindestens einer weiteren Düse (13) verbunden ist.

#### Geänderte Patentansprüche gemäß Regel 137(2) EPÜ.

- 40 1. Ein Verfahren zur Reduzierung von Leistungsverlusten in Wärmetauschern (11), wie beispielsweise Abgaswärmetauschern oder Abgasrückführungskühlern, das Verfahren umfassend:

Eindüsen (47) von Wasser in einen Wärmetauscher (11);

**dadurch gekennzeichnet, dass**

das Eindüsen von Wasser (14) in Zeitabständen von höchstens 24 Stunden wiederholt wird; und

45 durch das Eindüsen von Wasser (14) eine Änderung der thermodynamischen Eigenschaften der Abgasablagerungsschicht im Wärmetauscher (11) geschaffen wird, wodurch ein höherer Wärmeübergang von Abgasen auf den Wärmetauscher erzielt wird.

- 50 2. Das Verfahren nach Anspruch 1, worin es sich bei den thermodynamischen Eigenschaften um einen Wärmeübergangskoeffizienten  $\alpha$  und /oder um eine Wärmeleitfähigkeit  $\lambda$  handelt.

3. Das Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, worin das Eindüsen von Wasser (14) in Zeitabständen von mindestens 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 10, 12, 16, 20 Stunden und/oder von höchstens 2, 3, 4, 5, 6, 8, 10, 12, 14, 16 oder 20 Stunden wiederholt wird; und/oder

55 worin jeder Eindüsungsvorgang (47) über eine Zeitdauer von mindestens 10, 20, 30, 40, 50, 60, 80, 100, 120, 140, 160 oder 180 s und/oder von höchstens 20, 30, 40, 50, 60, 80, 100, 120, 140, 160, 180, 200, 250, 300 oder 600 s erfolgt; und/oder

worin der Eindüsungsvorgang (47) vor einer Sollzeit beendet wird, wenn während des Eindüsungsvorgangs die

Abgasaustrittstemperatur aus dem Wärmetauscher (11) nicht weiter abfällt.

4. Das Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, worin das Wasser mit einem Druck von mindestens 1, 1,5, 2, 2,5, 3, 4, 5 oder 6 bar und/oder höchstens 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 oder 9 bar eingedüst wird; und/oder  
 5 worin das Wasser Reinheitsanforderungen erfüllt, wobei die Reinheitsanforderungen bevorzugt einen Härtegrad von weniger als 0,1°dH und/oder eine Leitfähigkeit von weniger als 1500 µS/cm und/oder einen Chloridgehalt von weniger als 20 mg/l und/oder einen pH-Wert zwischen 9 und 10,5 beinhalten; und/oder  
 10 worin die Tröpfchengröße des Wassers wenigstens 100, 150, 200, 250, 300, 400, 500 oder 600 µm und/oder höchstens 150, 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800 oder 900 µm beträgt.

5. Das Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, worin die Menge des eingedüsten Wassers in Relation zur Menge des Abgases, das durch den Wärmetauscher (11) strömt, gewählt wird, und das Verhältnis

$$\epsilon = \text{Wasserstrom [g/min]} / \text{Abgasmassenstrom [kg/min]}$$

bevorzugt im Bereich von wenigstens 5, 10, 15, 20, 25, 30, 40, 50, 60, 70 oder 80 und/oder höchstens 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 120, 140, 160, 180, 200 oder 300 liegt.

6. Das Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, umfassend mindestens einen, zwei oder drei weitere der folgenden Schritte, die vor dem Eindüsen (47) von Wasser durchgeführt werden:

25 Starten eines Wassereindüsenzyklus (41);  
 Überprüfung ob eines, zwei oder alle der folgenden Kriterien erfüllt sind:

- Druckluft (42) ist mit einem Druck von wenigstens 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 oder 8 bar und/oder höchstens 2, 4, 6, 8, 10 oder 12 bar vorhanden;
- 30 • die Abgaseintrittstemperatur (43) in dem Wärmetauscher ist größer als eine Solltemperatur von wenigstens 100, 150, 200, 250, 300, 350, 400, 500 oder 600°C und/oder höchstens 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800 oder 900°C, und
- der Abgasmassenstrom (43) beträgt mindestens 50, 60, 70, 80 oder 90% der maximalen Massenstromes durch den Wärmetauscher; und

35 Druckluftspülen (46) von wasserführenden Komponenten einer verwendeten Wassereindüsenanlage vor dem Eindüsen von Wasser.

7. Das Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, umfassend mindestens einen, zwei oder drei weitere der folgenden Schritte, die nach dem Eindüsen (47) von Wasser durchgeführt werden:

- Druckluftspülen (48) von wasserführenden Komponenten einer verwendeten Wassereindüsenanlage nach dem Eindüsen von Wasser, insbesondere um Wasserreste von verwendeten Düsen zu entfernen;
- 45 • Dokumentieren von während des Wassereindüsenvorgangs aufgezeichneten Messdaten, insbesondere von eingedüster Wassermenge und/oder Wasserdruck beim Eindüsen und/oder Abgaseintrittstemperatur in dem Wärmetauscher (11) und/oder Abgasaustrittstemperatur aus dem Wärmetauscher; und
- Verwenden der während des Wassereindüsenvorgangs aufgezeichneten Messdaten um Eindüsendauer, Eindüsenmenge und Zeitabstand zwischen den Wassereindüsenvorgängen zukünftiger Eindüsenvorgänge neu zu bestimmen.

8. Das Verfahren nach Anspruch 6 oder 7, worin das Druckluftspülen wenigstens 5, 10, 15, 20, 30, 40, 50, 60 oder 80 s und/oder höchstens 10, 15, 20, 30, 40, 50, 60, 80, 100 oder 120 s dauert und/oder mit einem Druck von wenigstens 1, 2, 3, 4, 5, 6 oder 7 bar und/oder höchstens 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11 oder 12 bar erfolgt.

9. Eine Steuerung (33) für eine Wassereindüsenanlage (12) zur automatischen Durchführung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 8, wobei die Steuerung (33) vorzugsweise Bestandteil einer Wassereindüsenanlage (12) ist.

10. Eine Vorrichtung zur Reduzierung von Leistungsverlusten in Wärmetauschern (11), wie beispielsweise in Abgaswärmetauschern und Abgasrückführungskühlern, wobei die Vorrichtung folgende Komponenten umfasst:

einen Wärmetauscher (11);  
eine Wassereindüsungsanlage (12); und  
eine oder mehrere Düsen (13);

**dadurch gekennzeichnet, dass**

besagte Komponenten zum Bewirken einer Veränderung der physikalischen Eigenschaften einer Abgasablagerschicht im Wärmetauscher (11) durch Eindüsen von Wasser (14) mittels Wassereindüsungsanlage (12) in den Wärmetauscher vorgesehen sind, wodurch ein höherer Wärmeübergang von Abgasen auf den Wärmetauscher erzielt wird,  
und wobei das Eindüsen von Wasser (14) in Zeitabständen von höchstens 24 Stunden wiederholt wird.

11. Die Vorrichtung nach Anspruch 10, worin die Düsen (26) auf einem Deckel (21) montiert sind, jede Düse (26) mit der Wassereindüsungsanlage (12) durch eine Rohrleitung (23) verbunden ist und sich der Deckel auf der Abgaseintrittsseite vor dem Wärmetauscher (11) befindet, so dass die Düsen im Wesentlichen parallel zum Abgasstrom im Wärmetauscher ausgerichtet sind; oder worin die Düsen (26) durch einen radial im Wärmetauschereintritt oder vorgelagerten Rohrleitungen (23) befindlichen Injektor in Strömungsrichtung oder entgegen der Strömungsrichtung des Abgasstromes ausgerichtet werden; bevorzugt worin die Düsen (26) mit Hilfe von Düsenlanzen (25) so auf den Deckel (21) unter einer Isolationsschicht (22) montiert sind, dass nur die Spitzen der Düsen thermischen Belastungen durch heiße Abgase ausgesetzt sind und die Rohrleitungen (23) und die Wassereindüsungsanlage (12) vor thermischer Belastung zumindest teilweise geschützt sind.

12. Die Vorrichtung nach einem der Ansprüche 10 oder 11, worin der Kontakt von empfindlichen Teilen mit Wasser durch ein Schottblech (17) und/oder durch die Verwendung von dünnen Einlagen und/oder isolierenden Schichten vermieden wird.

13. Die Vorrichtung nach einem der Ansprüche 10 bis 12, worin die Wassereindüsungsanlage (12) eine SPS-Steuerung (33) und/oder Rohrleitungen (16) und/oder Magnetventile (35, 36) und/oder einen Kompressor (31) und/oder einen Anschluss für externe Druckluftversorgung umfasst; bevorzugt worin die Wassereindüsungsanlage (12) mindestens eine, zwei, drei oder alle weiteren Komponenten aus den folgenden Komponenten umfasst: Flowcontroller, Wasserfilter, Druckschalter, Druckwächter, Rückschlagventile (37), Datenspeicher, zusätzlicher Druckbehälter zur Erhöhung des Druckvolumens.

14. Die Vorrichtung nach einem der Ansprüche 10 bis 13, worin die Anzahl der Düsen (13)  $n$  je nach Durchmesser oder maximaler Breite der Höhe einer senkrecht zum Abgasstrom liegenden Querschnittsfläche  $d$  des Wärmetauschers festgelegt ist, wie beispielsweise  $n = 1$  für  $d < 400$  mm,  $n = 3$  für  $400 \leq d < 600$  mm,  $n = 5$  für  $600 \leq d < 800$  mm und  $n = 12$  für  $800 \leq d < 1500$  mm; und/oder

worin die Düsen (13) so angeordnet sind, dass eingedüstes Wasser möglichst gleichmäßig die gesamte Abgaseintrittsseite des Wärmetauschers (11) abdeckt, so dass die Dichteschwankung des eingedüsten Wassers über der gesamten Abgaseintrittsseite maximal 5, 10, 20, 30, 40, 50, 60 oder 80% beträgt; und/oder

worin der Abstand der Düsen (13) zur Abgaseintrittsseite des Wärmetauschers (11) so dicht wie möglich ist unter der Voraussetzung, dass die besagte maximale Dichteschwankung des eingedüsten Wassers nicht überschritten wird; und/oder

worin die verwendeten Düsen (13) bevorzugt Edelstahldüsen mit einem Sprühwinkel von  $0^\circ - 20^\circ$  und/oder  $20^\circ - 40^\circ$  und/oder  $40^\circ - 60^\circ$  und/oder  $60^\circ - 90^\circ$  und/oder  $90^\circ - 120^\circ$  sind; und/oder

worin die Düsen (13) in der Lage sind Wassertröpfchen mit einer Tröpfchengröße von wenigstens 100, 150, 200, 250, 300, 400, 500 oder 600  $\mu\text{m}$  und/oder höchstens 150, 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800 oder 900  $\mu\text{m}$  zu erzeugen; und/oder

worin die verwendeten Düsen (13) 2-Stoff-Düsen sind, mit denen Wasser mit Hilfe von Druckluft eingedüst werden kann; und/oder

worin ein Düsenkopf mit mehreren Düsen (13) verwendet wird, so dass wahlweise oder gleichzeitig in und/oder entgegen der Richtung eines Abgasstromes eingedüst werden kann.

15. Die Vorrichtung nach einem der Ansprüche 10 bis 14, weiter umfassend eine oder mehrere der folgenden Komponenten:

Stutzen (18) zur Ableitung von überschüssigem Wasser und/oder zur Unterbringung von Temperaturfühlern,

## EP 2 270 414 A1

mit denen die Abgaseintrittstemperatur in den Wärmetauscher (11) und/oder die Abgasaustrittstemperatur aus dem Wärmetauscher und/oder der Druckverlust über den Wärmetauscher gemessen werden kann; zusätzliche Wärmetauscher (11), die mit dem besagten Wärmetauscher ein mehrstufiges Wärmetauschersystem bilden; und

5 zusätzliche Wassereindüisungsanlagen (12), so dass jedem Wärmetauscher eine Wassereindüisungsanlage zugeordnet ist oder nur einem Teil der Wärmetauscher eine Wassereindüisungsanlage zugeordnet ist, wobei jede Wassereindüisungsanlage jeweils mit mindestens einer weiteren Düse (13) verbunden ist.

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

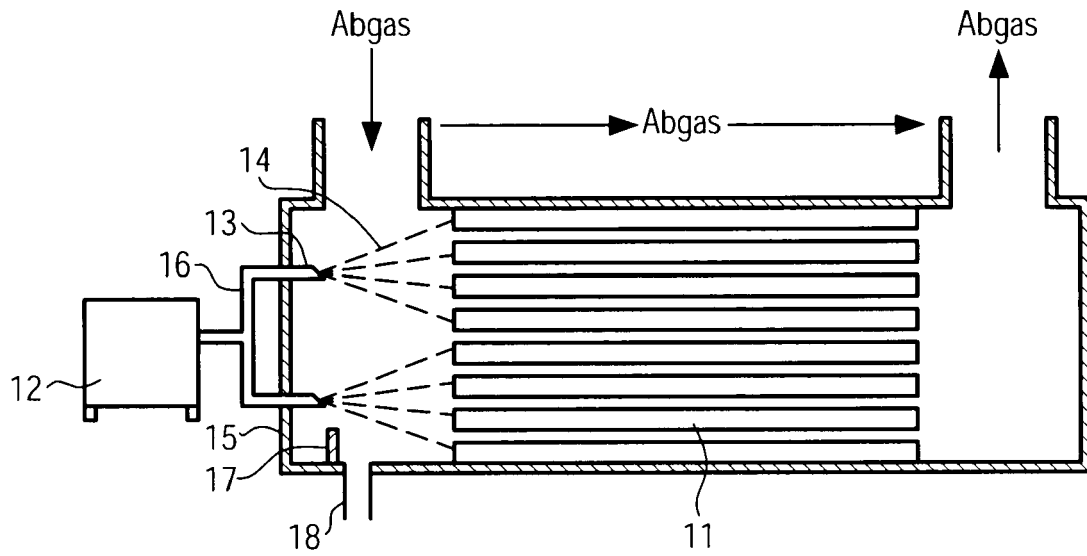


FIG. 1a

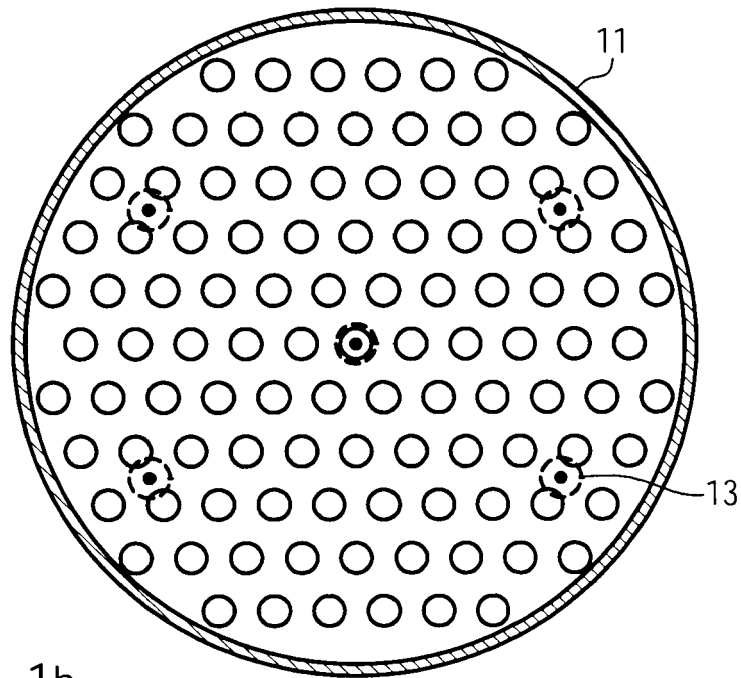
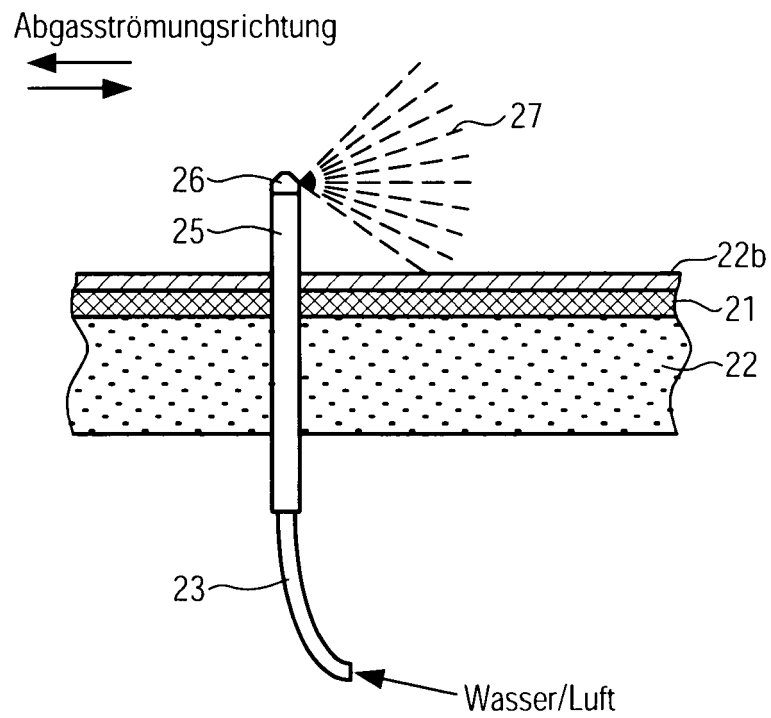
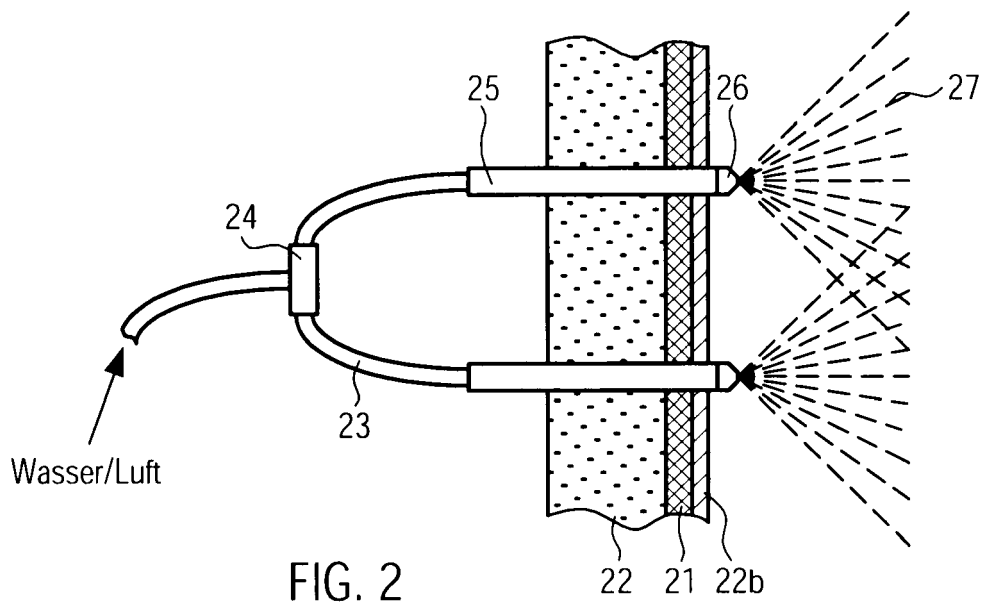


FIG. 1b



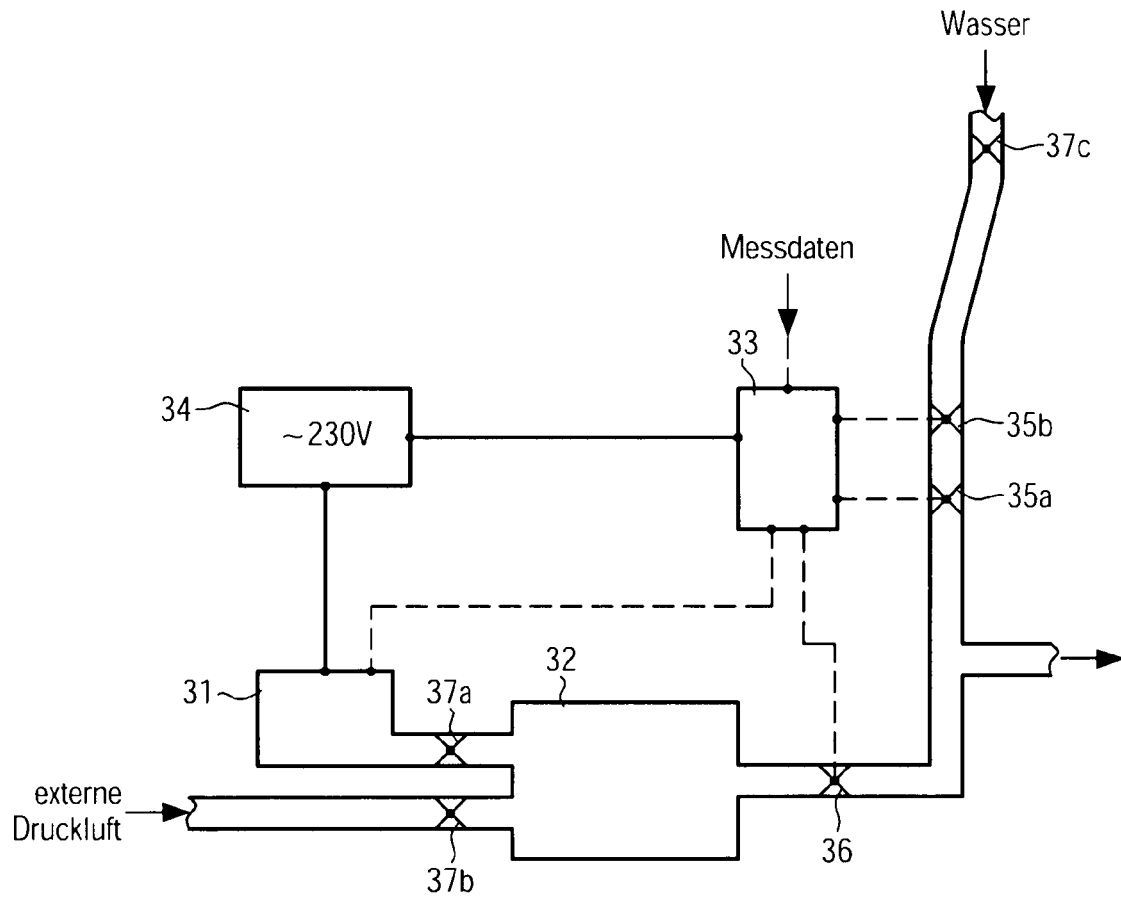


FIG. 3

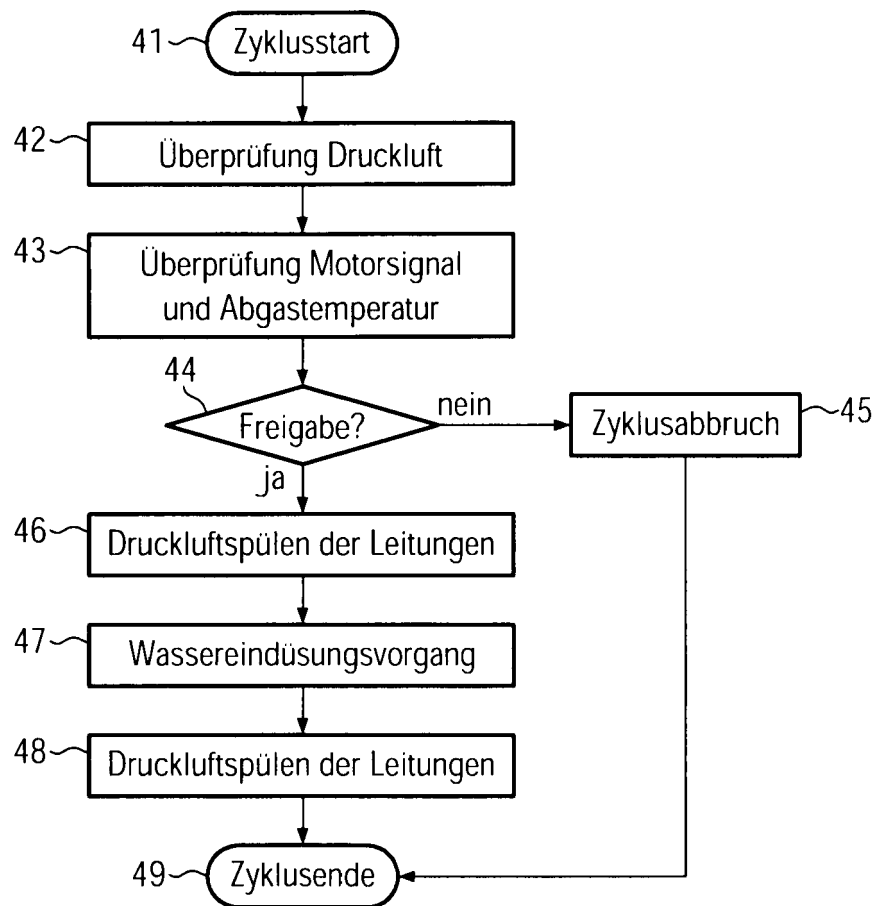


FIG. 4



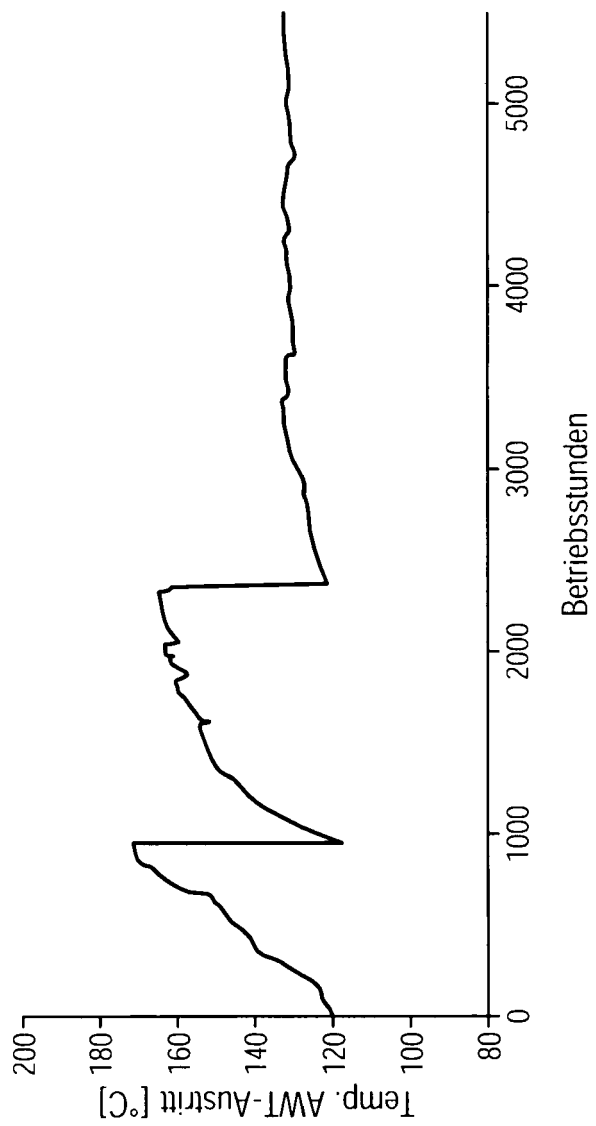


FIG. 5

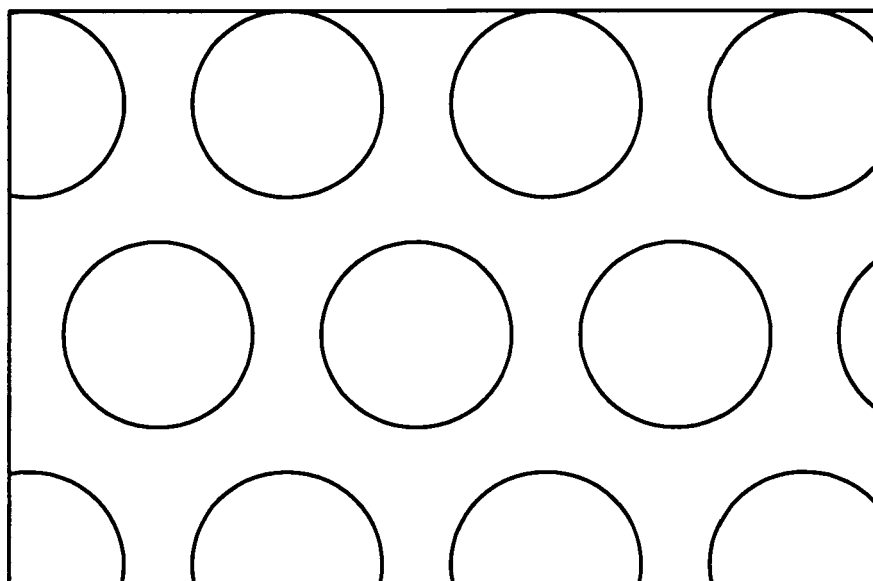


FIG. 6a

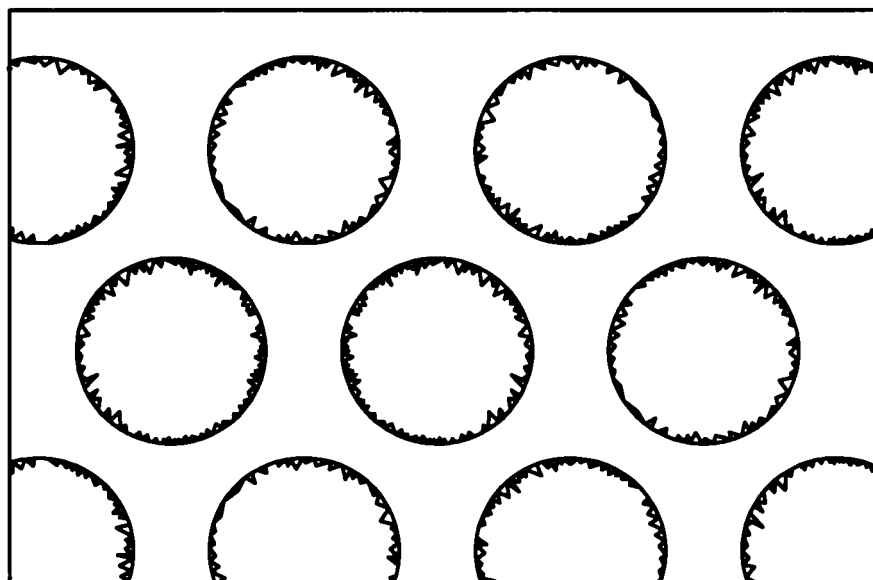


FIG. 6b



## EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

 Nummer der Anmeldung  
EP 09 00 8777

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
X	WO 98/27323 A2 (DRY SYSTEM TECH [US]) 25. Juni 1998 (1998-06-25) * Zusammenfassung; Abbildungen * * Seite 2, Zeile 11 - Zeile 28 * * Seite 5, Zeile 31 - Seite 6, Zeile 22 * * Seite 9, Zeile 4 - Seite 11, Zeile 20 * -----	1-6,8-14	INV. F28F13/00 F28G9/00
X	DE 27 25 045 A1 (MTU FRIEDRICHSHAFEN GMBH [DE]) 14. Dezember 1978 (1978-12-14) * Zusammenfassung; Abbildung * * Seite 2 - Seite 5; Ansprüche 1,2 * -----	1-15	
X	US 4 869 209 A (YOUNG JOHN H [US]) 26. September 1989 (1989-09-26) * Zusammenfassung; Abbildung * * Spalte 3, Zeile 34 - Spalte 5, Zeile 16 * * Ansprüche * -----	1-15	
X	JP 61 122497 A (TSUCHIYA SEISAKUSHO) 10. Juni 1986 (1986-06-10) * Zusammenfassung; Abbildungen * -----	1,9-10	RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC)
X	WO 93/06346 A1 (DRY SYSTEM TECH [US]) 1. April 1993 (1993-04-01) * Seite 6, Zeile 4 - Zeile 32 * * Seite 10, Zeile 2 - Seite 11, Zeile 35 * * Zusammenfassung; Ansprüche 1-3; Abbildung 2 * -----	1,10	F28F F28G
A	US 6 904 898 B1 (SAHLEN IVAR [SE]) 14. Juni 2005 (2005-06-14) * Zusammenfassung; Abbildungen * * Ansprüche 1-20 * ----- -/--	1,9-10	
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort		Abschlußdatum der Recherche	Prüfer
Den Haag		26. Januar 2010	Oliveira, Casimiro
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE			
X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : nichtschriftliche Offenbarung P : Zwischenliteratur		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentedokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	

EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)



## EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung  
EP 09 00 8777

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
A	WO 2007/011300 A1 (SCANIA CV ABP [SE]; KYLSTROEM KIM [SE]; HOKKANEN VESA [SE]) 25. Januar 2007 (2007-01-25) * Absätze [0005], [0008], [0010] - [0011], [0026], [0029] - [0030]; Abbildungen * -----	9	
			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC)
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort Den Haag		Abschlußdatum der Recherche 26. Januar 2010	Prüfer Oliveira, Casimiro
KATEGORIE DER GENANTEN DOKUMENTE X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : nichtschriftliche Offenbarung P : Zwischenliteratur T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument			

 3  
EPO FORM 1503 03.02 (P04C03)

**ANHANG ZUM EUROPÄISCHEN RECHERCHENBERICHT  
 ÜBER DIE EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG NR.**

EP 09 00 8777

In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patentedokumente angegeben.

Die Angaben über die Familienmitglieder entsprechen dem Stand der Datei des Europäischen Patentamts am  
 Diese Angaben dienen nur zur Unterrichtung und erfolgen ohne Gewähr.

26-01-2010

Im Recherchenbericht angeführtes Patentedokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
WO 9827323	A2	25-06-1998	AU 5794198 A	15-07-1998
			DE 69732534 D1	24-03-2005
			DE 69732534 T2	30-03-2006
			DE 69737838 T2	28-02-2008
			DE 69737840 T2	28-02-2008
			EP 0956443 A2	17-11-1999
			US 5785030 A	28-07-1998
			ZA 9710359 A	04-03-1998
DE 2725045	A1	14-12-1978	KEINE	
US 4869209	A	26-09-1989	KEINE	
JP 61122497	A	10-06-1986	JP 1797138 C	28-10-1993
			JP 5008360 B	01-02-1993
WO 9306346	A1	01-04-1993	AU 667319 B2	21-03-1996
			AU 2763792 A	27-04-1993
			AU 671750 B2	05-09-1996
			AU 6754194 A	29-09-1994
			CA 2120033 A1	01-04-1993
			MX 9205486 A1	01-03-1993
			US 5488826 A	06-02-1996
			US 5272874 A	28-12-1993
			ZA 9206986 A	28-04-1993
US 6904898	B1	14-06-2005	KEINE	
WO 2007011300	A1	25-01-2007	DE 112006001857 T5	05-06-2008
			JP 2009501876 T	22-01-2009
			SE 528878 C2	06-03-2007
			SE 0501702 A	19-01-2007

EPO FORM P0461

Für nähere Einzelheiten zu diesem Anhang : siehe Amtsblatt des Europäischen Patentamts, Nr.12/82