

(12) **Österreichische Patentanmeldung**

(21) Anmeldenummer: A 50411/2016 (51) Int. Cl.: **B01D 5/00** (2006.01)  
(22) Anmeldetag: 04.05.2016 **B01D 53/00** (2006.01)  
(43) Veröffentlicht am: 15.08.2017 **B01D 61/36** (2006.01)

(56) Entgegenhaltungen:  
DE 19744470 A1  
US 2011056457 A1  
US 2012186791 A1  
US 2012240563 A1  
US 2013276632 A1  
US 9174143 B1

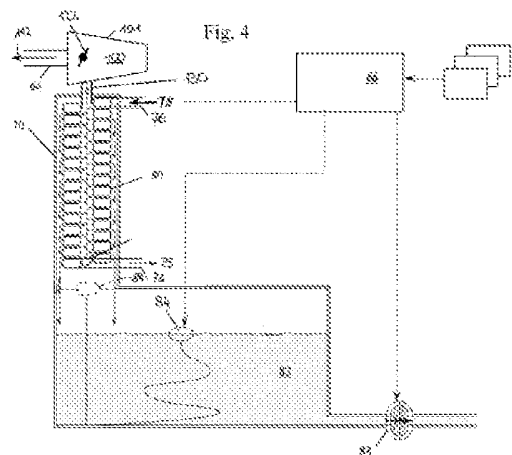
(71) Patentanmelder:  
ecool advanced urban engineering gmbh  
1210 WIEN (AT)

(72) Erfinder:  
Wilhelm Emmerich Dr.  
1130 Wien (AT)  
Brehob Diana Dr.  
MI 48120 Dearborn (US)  
Hofbauer Ursula Dipl.Ing.  
1210 Wien (AT)

(74) Vertreter:  
BABELUK M. DIPL. ING. MAG.  
WIEN

(54) **VORRICHTUNG ZUR WASSERRÜCKGEWINNUNG**

(57) Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung (100; 200; 300) zur Wasserrückgewinnung aus einem Abgasmassenstrom (112; 204; 304) mit einer Abgaskammer (101), die eine stromaufwärts angeordnete Abgasöffnung (110), einen stromabwärts angeordneten Abgasauslass (118; 220; 320) und ein Rohrsystem (124; 202; 302) aufweist, wobei das Rohrsystem (124; 202; 302) die Abgaskammer (101) in ein unbehandeltes Volumen (116) und ein behandeltes Volumen (114) teilt, das Rohrsystem (124; 202; 302) mit einem Kondensator (70) strömungsverbunden ist und das unbehandelte Volumen (116) mit der Abgasöffnung (110) strömungsverbunden ist und das behandelte Volumen (114) stromabwärts des Rohrsystems (124; 202; 302) angeordnet ist und die Vorrichtung (100; 200; 300) ein Ventil (122; 212; 312) aufweist. Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, eine Vorrichtung (100; 200; 300) anzugeben, die es auf einfache Weise schafft einen möglichst hohen Anteil des Wassers aus dem Abgasmassenstrom (112; 204; 304) zurück zu gewinnen. Gelöst wird das dadurch, dass das Ventil (122; 212; 312) an einem von der Abgasöffnung (110) entfernten Ende der Abgaskammer (101) angeordnet ist.



## Z U S A M M E N F A S S U N G

Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung (100; 200; 300) zur Wasserrückgewinnung aus einem Abgasmassenstrom (112; 204; 304) mit einer Abgaskammer (101), die eine stromaufwärts angeordnete Abgasöffnung (110), einen stromabwärts angeordneten Abgasauslass (118; 220; 320) und ein Rohrsystem (124; 202; 302) aufweist, wobei das Rohrsystem (124; 202; 302) die Abgaskammer (101) in ein unbehandeltes Volumen (116) und ein behandeltes Volumen (114) teilt, das Rohrsystem (124, 202; 302) mit einem Kondensator (70) strömungsverbunden ist und das unbehandelte Volumen (116) mit der Abgasöffnung (110) strömungsverbunden ist und das behandelte Volumen (114) stromabwärts des Rohrsystems (124; 202; 302) angeordnet ist und die Vorrichtung (100; 200; 300) ein Ventil (122; 212; 312) aufweist. Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, eine Vorrichtung (100; 200; 300) anzugeben, die es auf einfache Weise schafft einen möglichst hohen Anteil des Wassers aus dem Abgasmassenstrom (112; 204; 304) zurück zu gewinnen. Gelöst wird das dadurch, dass das Ventil (122; 212; 312) an einem von der Abgasöffnung (110) entfernten Ende der Abgaskammer (101) angeordnet ist.

Fig. 4

Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung zur Wasserrückgewinnung aus einem Abgasmassenstrom mit einer Abgaskammer, die eine stromaufwärts angeordnete Abgasöffnung, einen stromabwärts angeordneten Abgasauslass und ein Rohrsystem aufweist, wobei das Rohrsystem die Abgaskammer in ein unbehandeltes Volumen und ein behandeltes Volumen teilt, das Rohrsystem mit einem Kondensator strömungsverbunden ist und das unbehandelte Volumen mit der Abgasöffnung strömungsverbunden ist und das behandelte Volumen stromabwärts des Rohrsystems angeordnet ist und die Vorrichtung ein Ventil aufweist.

Bei der Verbrennung eines Wasserstoff-haltigen Brennstoffes, zum Beispiel Kohlenwasserstoffe und Wasserstoff, ergibt sich ein signifikanter Anteil an Wasser im Abgasmassenstrom. Die Tabelle unten zeigt typische Bestandteile des Abgases in einem Abgasmassenstrom von einem Ottomotor mit Fremdzündung (spark-ignition, SI) und von einem Dieselmotor mit Selbstzündung (compression-ignition, CI).

Verbrennungsmotor Abgas	% ges., Otto	% ges. Diesel	Effektiver molekularer Lennard-Jones-(6,12) Größenparameter*) $\sigma$ [Å]	Effektiver molekularer Lennard-Jones-(6,12) Größenparameter*) $\sigma$ [nm]	Effektiver Lennard- Jones-(6,12) Gleich- gewichtsabstand $r_{\min} = 2^{1/6} \sigma$ [nm]
Stickstoff (N <sub>2</sub> )	71	67	3.80	0.380	0.427
Kohlendioxid (CO <sub>2</sub> )	14	12	3.94	0.394	0.442
Wasserdampf (H <sub>2</sub> O)	12	11	2.75	0.275	0.309
Sauerstoff (O <sub>2</sub> )	0.06	10	3.47	0.347	0.389
Stickoxid, NO <sub>x</sub> (NO&NO <sub>2</sub> )	<0.25	<0.15	3.49-NO 3.83-NO <sub>2</sub>	0.349-NO 0.383-NO <sub>2</sub>	0.392 0.430
Kohlenmonoxid (CO)	1-2	<0.045	3.69	0.369	0.414
Feinstaub	Spuren	<0.045	100-100000	10-10000	> 10
Unverbrannte Kohlenwasserstoffe:					
Methan (CH <sub>4</sub> )	<0.25	<0.03	3.76	0.376	0.422
Propan (C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> )			5.12	0.512	0.575
n-Oktan (C <sub>8</sub> H <sub>18</sub> )			~ 6.50	~ 0.650	~0.730
Schwefel Dioxid (SO <sub>2</sub> )	Spuren	<0.03	~4.10	~0.410	~0.460

\*)Entfernung der Teilchenschwerpunkte in der die potentielle Energie gleich Null ist; wird häufig als effektiver "harter" Kugeldurchmesser bezeichnet.

Typischerweise entweicht das Wasser von der Verbrennung als Wasserdampf in die Atmosphäre. Wobei bei Kaltstart-Vorgängen etwas vom Wasser kondensiert und aus dem Auspuffrohr tropft.

Man weiß, dass sich gewisse Vorteile durch eine Wassereinbringung in Verbrennungssysteme ergeben. Zum Beispiel ist es bekannt, dass das Einbringen von Wasser in den Einlass eines fremdgezündeten Motors die Klopfgrenze erweitert und somit ein höheres Verdichtungsverhältnis oder weniger Zündverzögerung erbringt, was den allgemeinen Wirkungsgrad des Fahrzeuges erhöht.

In allen Verbrennungssystemen verringert die Wassereinbringung die Bildung von Stickoxiden ( $\text{NO}_x$ ), welche einen bekannten Schadstoff darstellen. Normalerweise wird die Bildung von Stickoxiden ( $\text{NO}_x$ ) durch das Drosseln des Verbrennungssystems, durch die Zufuhr von Verdünnungsmitteln, und/oder die Nachbehandlung in einem Abgaskatalysator, in einer  $\text{NO}_x$ -Falle oder durch eine  $\text{NO}_x$ -Wäsche. Es ist bekannt, dass Hubkolbenmaschinen die während des Zweiten Weltkrieges in Flugzeugen eingesetzt wurden, Wassereinspritzung zur Kontrolle des Klopfens während des Abhebevorganges nutzten. Genauso wurden auch Fahrzeuge bisher mit Wassereinspritzung nachgerüstet um das Klopfverhalten des Motors unter Kontrolle zu halten.

Die Anforderungen an eine Wassereinspritzung sind, dass ein Wasserbehälter mit reinem Wasser aufgefüllt werden muss und dass garantiert werden muss, dass das Wasser nicht gefriert und es so nicht zu Beschädigungen kommen kann. Diese Anforderungen haben eine Verbreitung dieser Technologie bisher verhindert. Daher ist die Gewinnung von reinem Wasser zur Verwendung im Verbrennungssystem erwünscht.

Ein Verfahren zur Gewinnung von Wasser aus dem Abgas ist auch wünschenswert für die Anwendung in Gebieten der Erde in denen die Trinkwasserversorgung sehr begrenzt ist. Dieses könnte dann im Transport oder in der Energieerzeugung Anwendung finden.

Als Alternative zur Mitfuhr von Wasser in einem Wasserbehälter wurde die Gewinnung von Wasser aus dem Abgasmassenstrom vorgeschlagen.

Es ist bekannt Wasser aus dem Abgasmassenstrom zu kondensieren. Jedoch ist bei der bestehenden Technik das Wasser verunreinigt und säurehaltig, beispielsweise durch Salpetersäure, Schwefelige Säure oder Kohlensäure. Zusätzlich können im Wasser Kohlenwasserstoffe höheren Molekulargewichts oder Rußpartikel enthalten sein. Das resultierende Wassergemisch ist nicht brauchbar als Trinkwasser und auch für die meisten Verbrennungssysteme unzureichend für eine Einspritzung, aufgrund der Verschmutzungen, da Säuren und Rußpartikel dem Verbrennungssystem schaden können.

Ein System, das auf den Rückgewinn von sauberem Wasser aus dem Abgas gerichtet ist, ist aus der US-Anmeldung 14/156,954 bekannt. Dabei erreicht ein Abgasmassenstrom mit üblicherweise 400-650°C einen Kühlbereich. Hier ist ein Ventil, am stromabwärtigen Ende des Kühlbereichs angeordnet. Wenn dieses Ventil geöffnet, oder größtenteils geöffnet ist, dann wird der Abgasmassenstrom im Wesentlichen unbeeinflusst durch das System strömen. Es kommt jedoch abhängig von der Ventilstellung, in wie weit das Ventil geschlossen ist, zu einer Umleitung des Abgasmassenstromes zwischen Windungen eines Rohres im Kühlbereich. Dieses Rohr ist ein spiralförmiges Kühlrohr, das durch einen Rohreintritt mit Kühlmittel versorgt wird und durch einen Rohraustritt kann das Kühlmittel dieses wieder verlassen.

Wenn der Abgasmassenstrom diesen Bereich mit dem Kühlrohr passiert hat, kommt er in einen äußeren peripheren Bereich im Kühlbereich, wobei das Abgas durch das Passieren dieser Zwischenräume zwischen den Windungen des Kühlrohres abgekühlt wurde. Der Abgasmassenstrom wird dann weiter zu einer zweiten peripheren Region geleitet. Diese zweite periphere Region befindet sich in einem Außenbereich eines Wassersammelbereiches.

Der Abgasmassenstrom, der die zweite periphere Region durchströmt hat, verlässt das System durch den gleichen Auslass, als ob das Ventil gänzlich geöffnet gewesen wäre. Dazu muss der Abgasmassenstrom zuerst zwischen Spalten zwischen den Windungen eines Wassersammelrohres durchströmen. Das Wassersammelrohr ist am Außenmantel mit einem molekularen Sieb überzogen.

Die Größe der Poren im Siebmaterial sind dabei so vorgesehen, dass das molekulare Wasser durch das Sieb hindurch in das Innere des Wassersammelrohres

diffundiert, während gleichzeitig die anderen Bestandteile des Abgasmassenstromes das molekulare Sieb nicht durchtreten können.

Durch das Wassersammelrohr wird ein Fluid oder ein Gas geleitet, welches dann den Wasserdampf, der das Wassersammelrohr durch das molekulare Sieb erreicht hat, zu einem Rohrauslass mittransportiert.

Bei dieser Erfindung kommt es allerdings zu dem Nachteil, dass es bei dem vorangehenden Kühlen des Abgasmassenstromes zu einem Kondensieren des Wasserdampfes kommt. Dadurch wird das nachgeschaltete Sammeln der Wassermoleküle durch das Wassersammelrohr praktisch unmöglich. Das molekulare Sieb ermöglicht nämlich nur einzelnen Molekülen den Durchtritt und lässt Moleküle, die größer sind als die Poren des Siebes, zurück. Das betrifft die unerwünschten chemischen Substanzen im Abgasmassenstrom, wie CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> und ähnliche. Sogar Assoziate von zwei Wasser-Molekülen, die durch Wasserstoffbrückenbildung miteinander verbunden sind wie nach dem Kondensieren, können nicht mehr durch das molekulare Sieb in das Wassersammelrohr gelangen, sondern sie werden als Mikro-Tropfen zurückgelassen.

Diese Mikro-Tropfen sind weiters problematisch, da sie die Oberfläche des molekularen Siebes benetzen und somit andere Wassermoleküle am Durchtritt hindern, die nicht kondensiert sind. Die Mikro-Tropfen dichten damit das molekulare Sieb ab.

Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es diese Nachteile zu verhindern. und eine Vorrichtung anzugeben, die es auf einfache Weise schafft einen möglichst hohen Anteil des Wassers aus dem Abgasmassenstrom zurück zu gewinnen.

Erfindungsgemäß wird diese Aufgabe dadurch gelöst, dass das Ventil an einem von der Abgasöffnung entfernten Ende der Abgaskammer angeordnet ist.

Der Vorteil eines möglichst einfachen Aufbaus ergibt sich dadurch, wenn das unbehandelte Volumen zylinderförmig ist und durch das Rohrsystem so begrenzt ist, dass das behandelte Volumen ringförmig um das unbehandelte Volumen angeordnet ist.

Es ist günstig, wenn eine Oberfläche des Rohrsystems mit einem porösen – vorzugsweise keramischen – Material beschichtet ist, wobei Poren des Materials einen Porendurchmesser aufweisen, der kleiner ist als ein bestimmter Durchmesser und das Rohrsystem Poren aufweist, die einen Rohrporendurchmesser  $e$  aufweisen, der größer ist als der bestimmte Durchmesser. Dadurch entsteht der Vorteil, dass auf einfache Weise ein molekulares Sieb vorgesehen werden kann.

Auf Grund der besseren Regelbarkeit ist es von Vorteil, wenn das Ventil stufenlos verstellbar ist.

Um den Abgasmassenstrom möglichst gut in Kontakt mit dem Rohrsystem zu bringen, ist es günstig, wenn das Rohrsystem zumindest ein Rohr aufweist, welches schraubenförmig gewunden ist und Windungen des Rohres einen Abstand aufweisen, der kleiner ist als ein bestimmter Abstand.

In einer vorteilhaften Ausführung ist vorgesehen, dass das Rohrsystem parallele Rohre, die mit einem Sammelring verbunden sind, aufweist, wobei die Rohre zueinander einen Abstand aufweisen, der kleiner ist als ein bestimmter Abstand. Dadurch wird der Fertigungsaufwand für das Rohrsystem gering gehalten.

Um eine Steuerung zu ermöglichen ist es von Vorteil, wenn das Ventil mit einem Steuergerät elektrisch verbunden angeordnet ist.

Es ist günstig, wenn das Rohrsystem mit einem Kondensator strömungsverbunden ist, der vorzugsweise mit einem Wasserbehälter strömungsverbunden ist. Dadurch kann der Wasserdampf zu Wasser kondensiert und leichter aufbewahrt werden.

Weiters betrifft die Erfindung ein Verfahren zur Wasserrückgewinnung aus einem Abgasmassenstrom, der eine Abgaskammer durchströmt und in ein Rohrsystem, durch ein molekulares Sieb Wassermoleküle abgibt.

Es wird dadurch eine möglichst hohe Menge des Wassers aus dem Abgasmassenstrom gewonnen, dass der Abgasmassenstrom zuerst am molekularen Sieb vorbeiströmt und Wassermoleküle in verdampftem Zustand erhält und der Dampfstrom der Wassermoleküle in einem Kondensator kondensiert wird.

Wenn die Strömung des Abgasmassenstromes durch die Stellung eines Ventils gesteuert wird und dadurch auch der Kontakt des Abgasmassenstromes mit dem molekularen Sieb entsteht eine möglichst einfache Art der Steuerung des Verfahrens.

Der gleiche Vorteil entsteht, wenn das Ventil durch eine Steuerung gesteuert wird, wobei die Steuerung Informationen von Sensoren wie Druck und Temperatur in der Abgaskammer bekommt.

Eine einfache Möglichkeit der Regulierung ergibt sich, wenn das Ventil von der Steuerung geöffnet wird, wenn eine Temperatur in der Abgaskammer niedriger ist als eine Mindesttemperatur, oder wenn das Ventil von der Steuerung geöffnet wird, wenn ein Druck in der Abgaskammer höher ist als ein Grenzdruck.

Ein sehr günstiger und einfacher Antrieb für das Verfahren ergibt sich, wenn die Wassermoleküle vom Abgasmassenstrom durch eine Druckdifferenz durch das molekulare Sieb in das Rohrsystem getrieben werden.

Anhand der Ausführungsbeispiele in den Figuren wird in der Folge die Erfindung erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 eine erfindungsgemäße Vorrichtung zur Wasserrückgewinnung in einer ersten Ausführung;

Fig. 2 die Vorrichtung in der ersten Ausführung in einem Schnitt gemäß der Linie II-II in Fig. 1;

Fig. 3 ein Schema eines Verbrennungssystem mit der Vorrichtung zur Wasserrückgewinnung;

Fig. 4 ein Schema eines Kondensators;

Fig. 5 eine erfindungsgemäße Vorrichtung in einer zweiten Ausführung;

Fig. 6 die zweite Ausführung in einem Schnitt gemäß der Linie VI-VI in Fig. 5;

Fig. 7 eine erfindungsgemäße Vorrichtung in einer dritten Ausführung; und

Fig. 8 die dritte Ausführung in einem Schnitt gemäß der Linie VIII-VIII in Fig. 7.

In Fig. 1 ist eine Vorrichtung 100 zur Wasserrückgewinnung gezeigt, die eine Abgaskammer 101 aufweist in die durch einen Partikelfilter 102 ein Abgasmassenstrom 112 im Bereich einer Abgasöffnung 110 einströmen kann. Die Abgaskammer 101 ist in einen Innenbereich 104 und einen Außenbereich 106 geteilt und die Abgasöffnung 110 ist stromaufwärts von dem Innenbereich 104 und dem Außenbereich 106 der Abgaskammer 101 angeordnet. Der Innenbereich 104 umfasst im Wesentlichen das unbehandelte Volumen 116 und Außenbereich 106 großteils das behandelte Volumen 114 des Abgasmassenstromes 112 in der Abgaskammer 101.

Ein Partikelfilter 102 ist nicht notwendig, wenn der Verbrennungsprozess, von dem der Abgasmassenstrom 112 stammt, nur Feinstaub produziert.

Stromabwärts von dem Innenbereich 104 und dem Außenbereich 106 nahe einem Abgasauslass 118 ist ein Ventil 122 angeordnet. In Fig. 1 ist das Ventil 122 in geschlossener Position gezeigt und mit Bezugszeichen 123 ist die geöffnete Position des Ventils 122 bezeichnet.

In der geschlossenen Position strömt der Großteil des Abgasmassenstromes 112 vom Innenbereich 104 der Abgaskammer 101 in den Außenbereich 106 der Abgaskammer 101. Der Abgasmassenstrom 112 passiert dabei Zwischenräume 125 zwischen Windungen eines Rohres 124 und gelangt so in den Außenbereich 106.

Wenn das Ventil 122 in der Position 123 ist, strömt der Abgasmassenstrom 112 direkt durch den Abgasauslass 118 ohne behandelt zu werden. Wenn der Abgasmassenstrom 112 dazu gezwungen wird durch die Zwischenräume 125 der Windungen des Rohres 124 zu strömen, kommt der Abgasmassenstrom 112 in Kontakt mit der Oberfläche des Rohres 124.

Die Oberfläche des Rohres 124 ist mit einem Material 126 beschichtet, welches als molekulares Sieb wirkt. Das Material 126 weist Poren mit einem Porendurchmesser  $d$  auf der kleiner ist als ein bestimmter Durchmesser  $D$ . Die Poren des Materials 126 sind so groß, dass nur ein Molekül mit einem kleineren Durchmesser als dem bestimmten Durchmesser  $D$  durch das Sieb durch treten kann. Das Rohr 124 weist ebenfalls Poren auf. Diese Poren weisen einen Rohrporendurchmesser  $e$  auf, der

sehr viel größer sein kann als die Poren des Materials 126, da das Material 126 größere Moleküle vor dem Kontakt mit der Oberfläche des Rohres 124 bewahrt.

Wasserdampf der das Rohr 124 erreicht, tritt aus der Abgaskammer 101 durch einen Wasserauslass 130 aus. Im Rohr 124 durchlebt der Wasserdampf keinen Phasenübergang.

In Fig. 2 ist die Strömung des Abgasmassenstromes 112 von dem Innenbereich 104 in den Außenbereich 106 durch die Zwischenräume 125 gezeigt. Der Anteil des Abgasmassenstromes 112 der die Zwischenräume 125 passieren muss ist durch die Position des Ventils 122 gegeben.

Fig. 3 zeigt ein Schema eines Verbrennungssystems mit einer Vorrichtung 100 zur Wasserrückgewinnung. Dabei wird eine Brennkammer 50 mit Brennstoff 52 und Luft 54 versorgt. Die Verbrennung in der Brennkammer 50 kann selbst gezündet oder fremd gezündet sein. Der Abgasmassenstrom 112 verlässt die Brennkammer 50 durch eine Abgasleitung 56 in die Vorrichtung 100 zur Wasserrückgewinnung in der das Ventil 122 angeordnet ist. Der Dampf entweicht durch den Wasserauslass 130 der Abgaskammer 101 und der Abgasmassenstrom 112 verlässt die Abgaskammer 101 durch den Auspuff 64.

Ein Steuergerät (ECU) 66 ist elektronisch verbunden mit dem Ventil 122 und der Brennkammer 50 und reguliert die Zufuhr von Brennstoff 52 und Luft 54 zur Brennkammer 50. Dabei dienen die Signale der Vorrichtung 100, der Brennkammer 50 und von anderen Sensoren 72 der Entscheidungshilfe. Solche Signale können die Abgastemperatur, die Umgebungstemperatur, den Druck, die Feuchtigkeit, die Ventilposition, den Brennstoffzufluss, die Luftzufuhr usw. beinhalten. Elektrische Verbindungen sind durch gestrichelte Linien gezeigt. Diese können physikalische Verbindungen oder direkte Verbindungen darstellen.

In Fig. 4 ist ein Niederdrucksystem mit einem Kondensator 70 für den Wasserdampf gezeigt. Der Kondensator 70 weist eine spiralförmige Leitung 80 auf. Diese Leitung 80 wird von einem Kühlmittel 75 durchströmt welches durch einen Kühlmittleintritt 76 und einen Kühlmittelaustritt 78 mit der Umgebung verbunden ist. Der Dampf wird durch Abkühlen mit dem Kühlmittel 75 im Kondensator 70 kondensiert. Der Dampf tropft als flüssiges Wasser in einen Wasserbehälter 82. Der Wasserbehälter 82 weist einen Schwimmer 84 auf und eine Pumpe 88 ist diesem nachgeschaltet

um Wasser aus dem Wasserbehälter 82 weiter zu transportieren. Diese Pumpe 88 kann ebenfalls durch das Steuergerät (ECU) 66 gesteuert werden.

Wenn der Schwimmer 84 anzeigt, dass der Wasserbehälter 82 gefüllt ist, dann veranlasst das Steuergerät 66 das Ventil 122 zu öffnen oder die Kühlung des Dampfes im Kondensator 70 zu stoppen.

In dem Rohr 124 herrscht ein niedrigerer Druck als in der Abgaskammer 101. Dadurch wird sichergestellt, dass der Wasserdampf durch das molekulare Sieb in den Kondensator 70 gesaugt wird. Das niedrigere Druckniveau ist ein Resultat aus der Abkühlung und dem Kondensationsvorgang und treibt den Prozess voran.

Wenn die Kühlung abgestellt wird, dann steigt innerhalb kurzer Zeit der Druck im Kondensator 70 an. Weiters wird dadurch der Kondensationsvorgang gestoppt. Somit kann der gesamte Prozess durch die Kühlung gesteuert werden.

Um die Regelung des Prozesses zu beschleunigen, können im Kondensator 70 nicht gezeigte Druckventile vorgesehen werden, über die das Druckniveau schneller und unabhängig von der Kondensation geregelt werden kann.

Die Pumpe 88 dient der Beförderung des Wassers aus dem Wasserbehälter 82 zu ihrem nächsten Bestimmungsort der nicht Teil dieser Erfindung ist.

In einer alternativen, zweiten Ausführung einer Vorrichtung 200 in Fig. 5 ist eine Vielzahl von parallelen Rohren 202 zwischen einem Innenbereich 206 und einem Außenbereich 208 kreisförmig angeordnet. Die Rohre 202 sind am stromaufwärtigen Ende der zweiten Ausführung der Vorrichtung 200 durch einen Führungsring 214 fixiert. Strömungsverbunden sind diese parallelen Rohre 202 über einen Sammelring 216, der wiederum seinerseits mit einem Wasserauslass 210 strömungsverbunden ist.

Der Innenbereich 206 der Vorrichtung in der zweiten Ausführung der Vorrichtung 200 umfasst das unbehandelte Volumen 116 eines Abgasmassenstromes 204 und der Außenbereich wiederum das behandelte Volumen 114, wobei das behandelte und das unbehandelte Volumen 114, 116 durch die parallelen Rohre 202 voneinander getrennt sind. Da sich die Behandlung hier als die Separation des

molekularen Wassers durch das molekulare Sieb von dem Abgasmassenstrom 204 versteht.

Der Abgasmassenstrom 204 wird in den Innenbereich 206 geleitet. Wenn ein stromabwärtiges Ventil 212 geschlossen ist, dann strömt der Abgasmassenstrom 204 durch Zwischenräume 205 zwischen den Rohren 202 um den Außenbereich 208 zu erreichen. Die Rohre 202 sind in der zweiten Ausführung mit einem porösen keramischen Material 126 beschichtet, das ein molekulares Sieb bildet. Die Poren weisen den Porendurchmesser  $d$  auf, der kleiner als der bestimmte Durchmesser  $D$  ist, so dass Moleküle mit einer Größe, die kleiner ist als der effektive Durchmesser von Wasser durch das Sieb durchtreten können und alle größeren Moleküle zurückgehalten werden. Der Wasserdampf der in den Rohren 202 gesammelt wird, wird durch den Sammelring 216 zu einem Wasserauslass 220 geleitet. Der Abgasmassenstrom, der durch den Innenbereich 206 und den Außenbereich 208 strömt, tritt durch einen Abgasauslass 220 aus der erfindungsgemäßen Vorrichtung 200 in der zweiten Ausführung aus.

In Fig. 6 ist der Querschnitt der zweiten Ausführung der Vorrichtung 200 gezeigt. Dabei weisen die parallelen Rohre 202 einen trapezförmigen Querschnitt auf, wobei zwischen zwei benachbarten Rohren 202 jeweils ein Zwischenraum 205 ist, der durch einen Abstand  $A$  zwischen den Rohren 202 in Umfangsrichtung gebildet wird. Der Abstand  $A$  ist kleiner als ein bestimmter Abstand  $B$ , wobei der bestimmte Abstand  $B$  der größte Abstand ist, bei dem ein Siebevorgang durch das molekulare Sieb sinnvoll ist.

Eine dritte Ausführung einer erfindungsgemäßen Vorrichtung 300 ist in den Figuren 7 und 8 gezeigt. Dabei wird ein Abgasmassenstrom 304 durch den Partikelfilter 102 in einen ersten Bereich 306 der Vorrichtung geleitet, die von einem zweiten Bereich 308 durch eine Rohrwand 302 getrennt ist.

Der erste Bereich 306 umfasst im Wesentlichen das unbehandelte Volumen 116 des Abgasmassenstromes 304 und der zweite Bereich 308 umfasst im Wesentlichen das behandelte Volumen 114 des Abgasmassenstromes 304 in der Vorrichtung 300 zur Wasserrückgewinnung in der dritten Ausführung.

Die Rohrwand 302 ist in der gezeigten Ausführung der Vorrichtung 300 im Wesentlichen mittig in der Abgaskammer 101 angeordnet. Wenn ein Ventil 312

geschlossen ist, dann strömt der Abgasmassenstrom 304 von dem ersten Bereich 306 durch Zwischenräume 305 zwischen den einzelnen Rohren der Rohrwand 302 in den zweiten Bereich 308. Die Rohre der Rohrwand 302 sind wiederum beschichtet mit einem porösen Material 126, das ein molekulares Sieb bildet. Der Abgasmassenstrom 304 tritt durch einen Abgasauslass 320 aus. Die Rohre der Rohrwand 302 sind quer an einem Durchmesser der Vorrichtung in dieser dritten Ausführung der Vorrichtung 300 angeordnet.

Die Rohre 124 in der ersten Ausführung der Vorrichtung 100, die parallelen Rohre 202 der zweiten Ausführung der Vorrichtung 200 und die Rohrwand 302 der dritten Ausführung der Vorrichtung 300 werden unter dem Begriff Rohrsystem zusammengefasst.

Die Vorrichtungen 200, 300 in der zweiten und dritten Ausführung weisen analog zur ersten Ausführung eine Abgaskammer 101 auf.

In der oben angegebenen Tabelle sind die Abgasbestandteile in typischen fremdgezündeten und selbstzündenden Motoren angegeben. Die drei rechten Spalten zeigen die molekularen Durchmesser der Bestandteile. Da Feinstaub eine Agglomeration von Kohlenstoffpartikeln ist, variiert Feinstaub in der Größe stark basierend auf dem Grad der Agglomeration. Dennoch sind diese Partikel nicht molekular und sind als solche viel größer im Durchmesser als jede der molekularen Komponenten. Wenn der Brennstoff nicht vollständig oxidiert kommt es auch im Abgas zu einem Anteil von unverbrannten Kohlenwasserstoffen. Ein großer Teil der unverbrannten Kohlenwasserstoffe ist Methan,  $\text{CH}_4$ . Aus der obigen Tabelle ist zu entnehmen, dass Methan einen effektiven "harten" Moleküldurchmesser (Lennard-Jones (6,12) Distanzparameter) von  $3,76 \text{ \AA}$  hat, und dass das etwas komplizierter aufgebaute, größere Propan ( $\text{C}_3\text{H}_8$ ) einen effektiven "harten" Moleküldurchmesser (Lennard-Jones (6,12) Distanzparameter) von  $5,12 \text{ \AA}$  aufweist. Alle Abgasbestandteile, mit Ausnahme von Wassermolekülen, weisen einen effektiven "harten" Moleküldurchmesser von mehr als  $3,00 \text{ \AA}$  auf. Das poröse Material 126, das Poren oder Durchgänge mit einem größten Durchmesser entlang seiner Länge von weniger als etwa  $3,00 \cdot 2^{1/6} \text{ \AA}$  (d.h. weniger als etwa  $3,5 \text{ \AA}$ ) besitzt, ist daher als molekulares Sieb geeignet. Dadurch können nur Wassermoleküle durch das Material 126 übergeben werden.

## P A T E N T A N S P R Ü C H E

1. Vorrichtung (100; 200; 300) zur Wasserrückgewinnung aus einem Abgasmassenstrom (112; 204; 304) mit einer Abgaskammer (101), die eine stromaufwärts angeordnete Abgasöffnung (110), einen stromabwärts angeordneten Abgasauslass (118; 220; 320) und ein Rohrsystem (124; 202; 302) aufweist, wobei das Rohrsystem (124; 202; 302) die Abgaskammer (101) in ein unbehandeltes Volumen (116) und ein behandeltes Volumen (114) teilt, das Rohrsystem (124, 202; 302) mit einem Kondensator (70) strömungsverbunden ist und das unbehandelte Volumen (116) mit der Abgasöffnung (110) strömungsverbunden ist und das behandelte Volumen (114) stromabwärts des Rohrsystems (124; 202; 302) angeordnet ist und die Vorrichtung (100; 200; 300) ein Ventil (122; 212; 312) aufweist, dadurch gekennzeichnet, dass das Ventil (122; 212; 312) an einem von der Abgasöffnung (110) entfernten Ende der Abgaskammer (101) angeordnet ist.
2. Vorrichtung (100; 200; 300) nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das unbehandelte Volumen (116) zylinderförmig ist und durch das Rohrsystem (124; 202) so begrenzt ist, dass das behandelte Volumen (114) ringförmig um das unbehandelte Volumen (116) angeordnet ist.
3. Vorrichtung (100; 200; 300) nach einem der Ansprüche 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass eine Oberfläche des Rohrsystems (124; 202; 302) mit einem porösen – vorzugsweise keramischen – Material (126) beschichtet ist, wobei Poren des Materials einen Porendurchmesser  $d$  aufweisen, der kleiner ist als ein bestimmter Durchmesser  $D$  und das Rohrsystem (124; 202; 302) Poren aufweist, die einen Rohrporendurchmesser  $e$  aufweisen, der größer ist als der bestimmte Durchmesser  $D$ .
4. Vorrichtung (100; 200; 300) nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass das Ventil (122; 212; 312) stufenlos verstellbar ist.
5. Vorrichtung (100; 200; 300) nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass das Rohrsystem (124; 202; 302) zumindest ein Rohr (124) aufweist, welches schraubenförmig gewunden ist und Windungen des

Rohres einen Abstand A aufweisen, der kleiner ist als ein bestimmter Abstand B.

6. Vorrichtung (100; 200; 300) nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass das Rohrsystem (124; 202; 302) parallele Rohre (202), die mit einem Sammelring (216) verbunden sind, aufweist, wobei die Rohre (202) zueinander einen Abstand A aufweisen, der kleiner ist als ein bestimmter Abstand B.
7. Vorrichtung (100; 200; 300) nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass das Ventil (122; 212; 312) mit einem Steuergerät (66) elektrisch verbunden angeordnet ist.
8. Vorrichtung (100; 200; 300) nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass das Rohrsystem (124; 202; 302) mit einem Kondensator (70) strömungsverbunden ist, der vorzugsweise mit einem Wasserbehälter (82) strömungsverbunden ist.
9. Verfahren zur Wasserrückgewinnung aus einem Abgasmassenstrom (112; 204; 304) der eine Abgaskammer (101) durchströmt und in ein Rohrsystem (124; 202; 302), durch ein molekulares Sieb Wassermoleküle abgibt, dadurch gekennzeichnet, dass der Abgasmassenstrom (112; 204; 304) zuerst am molekularen Sieb vorbeiströmt und Wassermoleküle in verdampftem Zustand erhält und der Dampfstrom der Wassermoleküle in einem Kondensator (70) kondensiert wird.
10. Verfahren nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass die Strömung des Abgasmassenstromes (112; 204; 304) durch die Stellung eines Ventils (122; 212; 312) gesteuert wird und dadurch auch der Kontakt des Abgasmassenstromes (112; 204; 304) mit dem molekularen Sieb.
11. Verfahren nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass das Ventil (122; 212; 312) durch eine Steuerung gesteuert wird, wobei die Steuerung Informationen von Sensoren wie Druck und Temperatur in der Abgaskammer bekommt.

12. Verfahren nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, dass das Ventil (122; 212; 312) von der Steuerung geöffnet wird, wenn eine Temperatur in der Abgaskammer niedriger ist als eine Mindesttemperatur.
13. Verfahren nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, dass das Ventil (122; 212; 312) von der Steuerung geöffnet wird, wenn ein Druck in der Abgaskammer höher ist als ein Grenzdruck.
14. Verfahren nach einem der Ansprüche 9 bis 13, dadurch gekennzeichnet, dass die Wassermoleküle vom Abgasmassenstrom (112; 204; 304) durch eine Druckdifferenz durch das molekulare Sieb in das Rohrsystem (124; 202; 302) getrieben werden.

2016 05 04

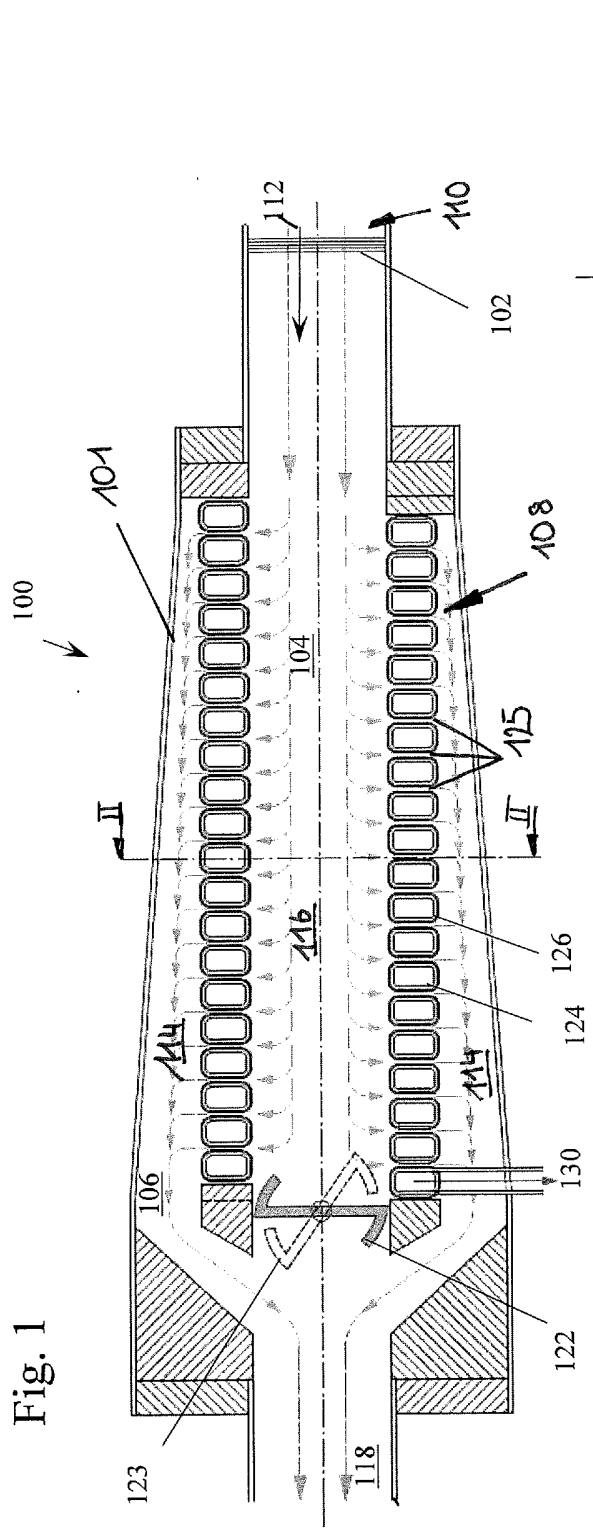


Fig. 1

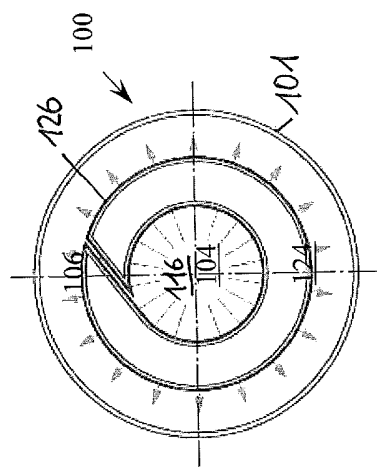


Fig. 2

Fig. 3

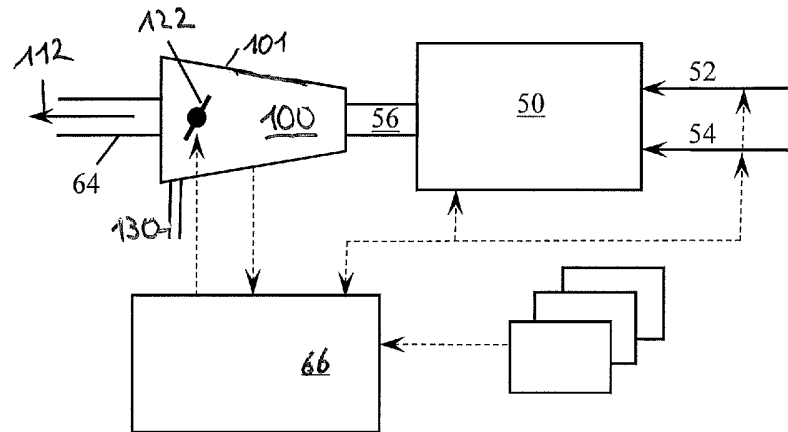
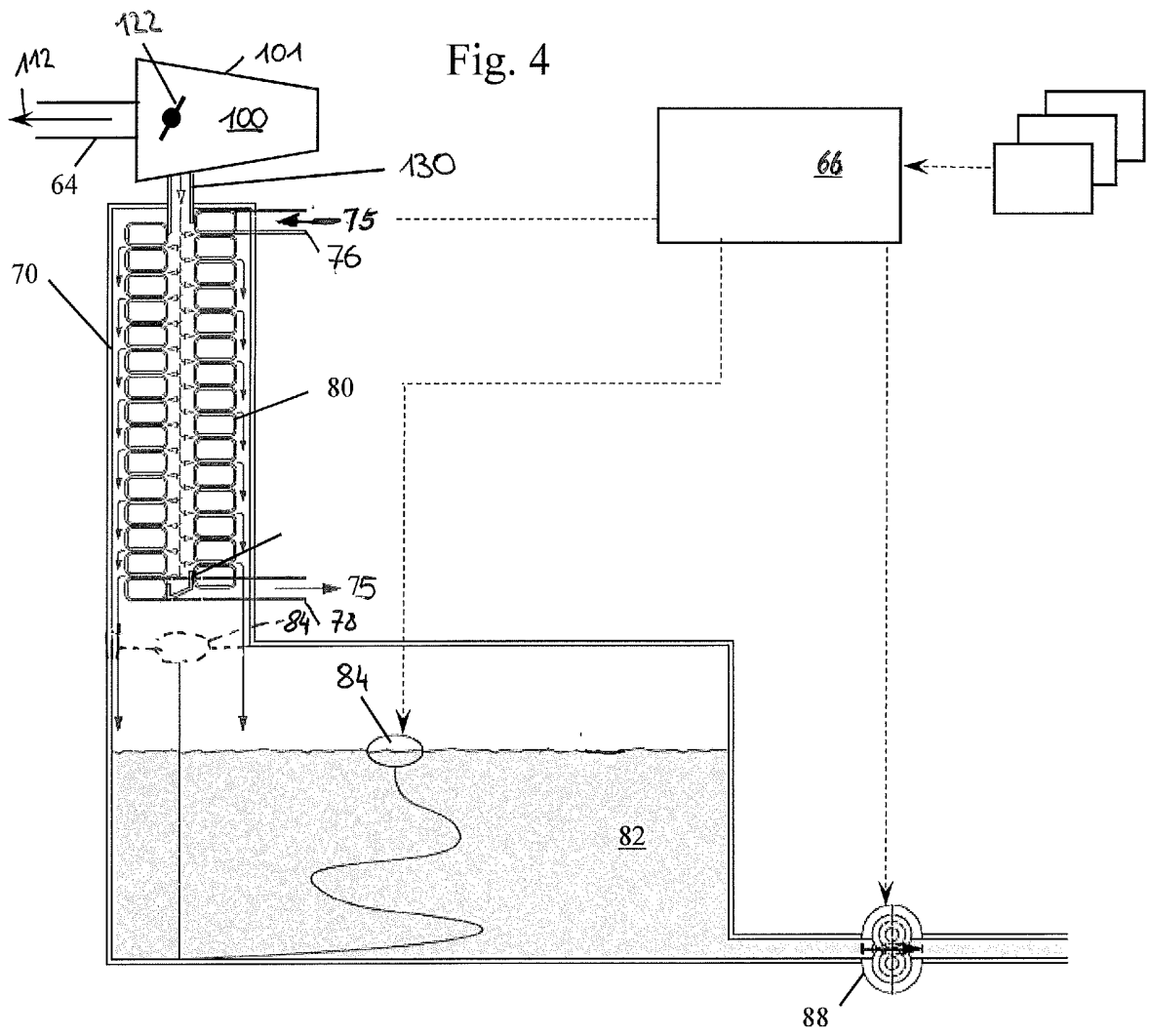


Fig. 4



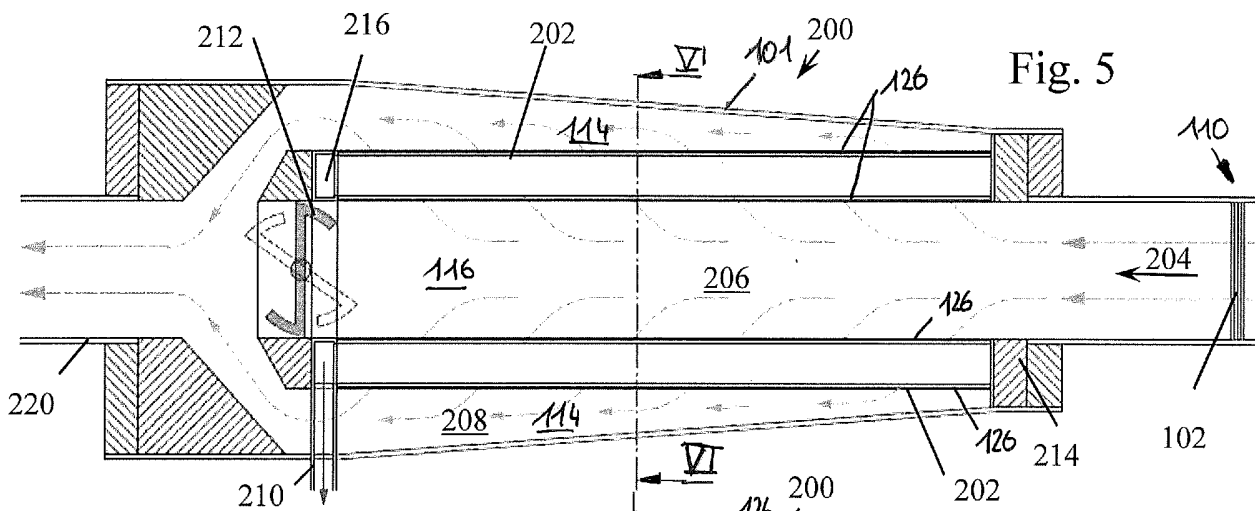


Fig. 6

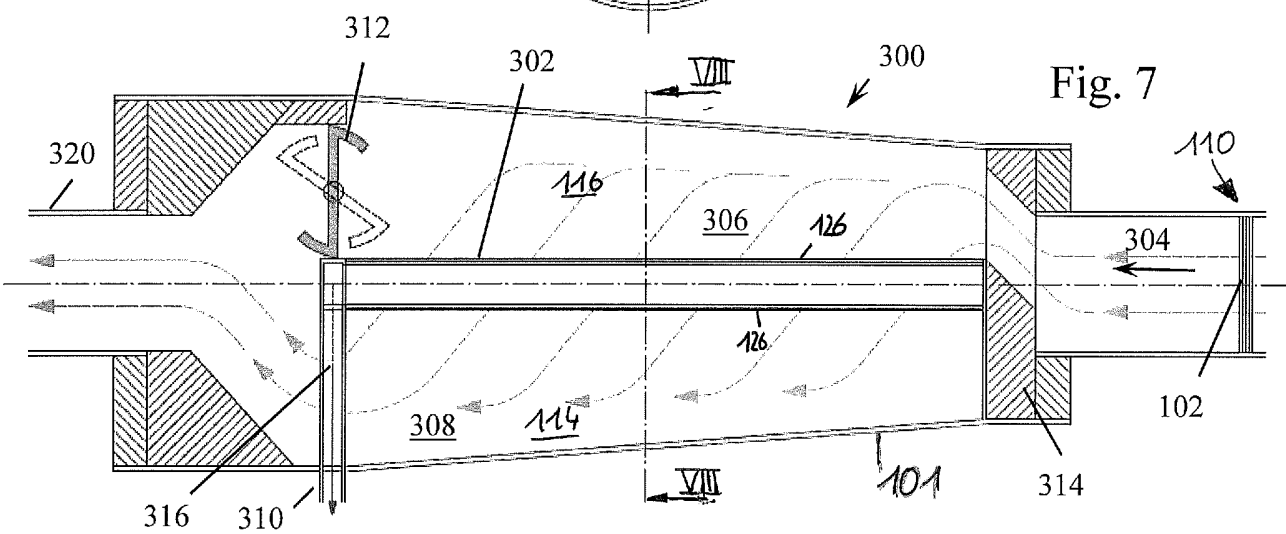
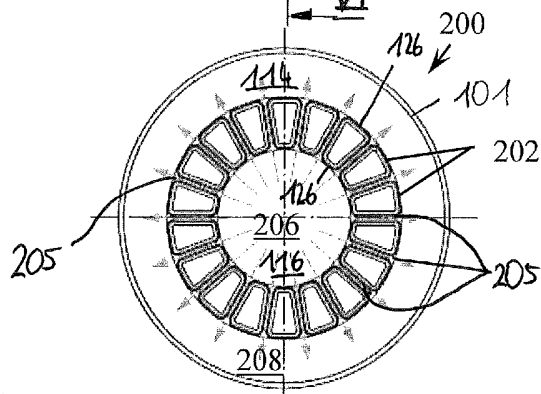
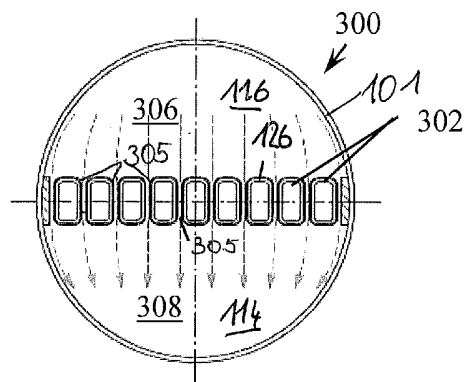


Fig. 8



## ( n e u e ) P A T E N T A N S P R Ü C H E

1. Verfahren zur Wasserrückgewinnung aus einem Abgasmassenstrom (112; 204; 304) der eine Abgaskammer (101) durchströmt und in ein Rohrsystem (124; 202; 302), durch ein molekulares Sieb Wassermoleküle abgibt, dadurch gekennzeichnet, dass der Abgasmassenstrom (112; 204; 304) zuerst am molekularen Sieb vorbeiströmt und Wassermoleküle in verdampftem Zustand erhält und der Dampfstrom der Wassermoleküle in einem Kondensator (70) kondensiert wird, und dass der Abgasmassenstrom (112; 204; 304) durch ein Ventil (122; 212; 312) am Ende der Abgaskammer (101) gesteuert wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Strömung des Abgasmassenstromes (112; 204; 304) durch die Stellung des Ventils (122; 212; 312) gesteuert wird und dadurch auch der Kontakt des Abgasmassenstromes (112; 204; 304) mit dem molekularen Sieb.
3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass das Ventil (122; 212; 312) durch eine Steuerung gesteuert wird, wobei die Steuerung Informationen von Sensoren wie Druck und Temperatur in der Abgaskammer bekommt.
4. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass das Ventil (122; 212; 312) von der Steuerung geöffnet wird, wenn eine Temperatur in der Abgaskammer niedriger ist als eine Mindesttemperatur.
5. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass das Ventil (122; 212; 312) von der Steuerung geöffnet wird, wenn ein Druck in der Abgaskammer höher ist als ein Grenzdruck.
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Wassermoleküle vom Abgasmassenstrom (112; 204; 304) durch eine Druckdifferenz durch das molekulare Sieb in das Rohrsystem (124; 202; 302) getrieben werden.

7. Vorrichtung (100; 200; 300) zur Durchführung eines Verfahrens nach den Ansprüchen 1 bis 6 zur Wasserrückgewinnung aus einem Abgasmassenstrom (112; 204; 304) mit einer Abgaskammer (101), die eine stromaufwärts angeordnete Abgasöffnung (110), einen stromabwärts angeordneten Abgasauslass (118; 220; 320) und ein Rohrsystem (124; 202; 302) aufweist, wobei das Rohrsystem (124; 202; 302) die Abgaskammer (101) in ein unbehandeltes Volumen (116) und ein behandeltes Volumen (114) teilt, das Rohrsystem (124, 202; 302) mit einem Kondensator (70) strömungsverbunden ist und das unbehandelte Volumen (116) mit der Abgasöffnung (110) strömungsverbunden ist und das behandelte Volumen (114) stromabwärts des Rohrsystems (124; 202; 302) angeordnet ist und die Vorrichtung (100; 200; 300) ein Ventil (122; 212; 312) aufweist, dadurch gekennzeichnet, dass das Ventil (122; 212; 312) an einem von der Abgasöffnung (110) entfernten Ende der Abgaskammer (101) angeordnet ist.
8. Vorrichtung (100; 200; 300) nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass das unbehandelte Volumen (116) zylinderförmig ist und durch das Rohrsystem (124; 202) so begrenzt ist, dass das behandelte Volumen (114) ringförmig um das unbehandelte Volumen (116) angeordnet ist.
9. Vorrichtung (100; 200; 300) nach einem der Ansprüche 7 oder 8, dadurch gekennzeichnet, dass eine Oberfläche des Rohrsystems (124; 202; 302) mit einem porösen – vorzugsweise keramischen – Material (126) beschichtet ist, wobei Poren des Materials einen Porendurchmesser  $d$  aufweisen, der kleiner ist als ein bestimmter Durchmesser  $D$  und das Rohrsystem (124; 202; 302) Poren aufweist, die einen Rohrporendurchmesser  $e$  aufweisen, der größer ist als der bestimmte Durchmesser  $D$ .
10. Vorrichtung (100; 200; 300) nach einem der Ansprüche 7 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass das Ventil (122; 212; 312) stufenlos verstellbar ist.
11. Vorrichtung (100; 200; 300) nach einem der Ansprüche 7 bis 10, dadurch gekennzeichnet, dass das Rohrsystem (124; 202; 302) zumindest ein Rohr (124) aufweist, welches schraubenförmig gewunden ist und Windungen des Rohres einen Abstand  $A$  aufweisen, der kleiner ist als ein bestimmter Abstand  $B$ .

12. Vorrichtung (100; 200; 300) nach einem der Ansprüche 7 bis 10, dadurch gekennzeichnet, dass das Rohrsystem (124; 202; 302) parallele Rohre (202), die mit einem Sammelring (216) verbunden sind, aufweist, wobei die Rohre (202) zueinander einen Abstand A aufweisen, der kleiner ist als ein bestimmter Abstand B.
13. Vorrichtung (100; 200; 300) nach einem der Ansprüche 7 bis 12, dadurch gekennzeichnet, dass das Ventil (122; 212; 312) mit einem Steuergerät (66) elektrisch verbunden angeordnet ist.
14. Vorrichtung (100; 200; 300) nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, dass das Steuergerät (66) mit Sensoren elektrisch verbunden ist, zum Empfang von Signalen wie Druck und Temperatur in der Abgaskammer (101).
15. Vorrichtung (100; 200; 300) nach einem der Ansprüche 7 bis 14, dadurch gekennzeichnet, dass das Rohrsystem (124; 202; 302) mit einem Kondensator (70) strömungsverbunden ist, der vorzugsweise mit einem Wasserbehälter (82) strömungsverbunden ist.

2017 01 02; Wr