



(10) **DE 10 2012 007 063 B4** 2020.07.09

(12) **Patentschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2012 007 063.2**  
 (22) Anmeldetag: **03.04.2012**  
 (43) Offenlegungstag: **10.10.2013**  
 (45) Veröffentlichungstag  
 der Patenterteilung: **09.07.2020**

(51) Int Cl.: **F28F 1/12 (2006.01)**  
**F28F 13/06 (2006.01)**  
**F28D 7/00 (2006.01)**

Innerhalb von neun Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 1 Patentkostengesetz).

(73) Patentinhaber:  
**Technische Universität Ilmenau, 98693 Ilmenau, DE**

(72) Erfinder:  
**Karmo, Diala, Dipl.-Ing., 98693 Ilmenau, DE; Al  
 Khateeb, Ayman, Dipl.-Ing., 98693 Ilmenau, DE**

(56) Ermittelte Stand der Technik:

<b>DE</b>	<b>38 13 501</b>	<b>A1</b>
<b>DE</b>	<b>10 2008 020 230</b>	<b>A1</b>
<b>GB</b>	<b>398 110</b>	<b>A</b>
<b>US</b>	<b>6 640 579</b>	<b>B2</b>
<b>US</b>	<b>6 793 010</b>	<b>B1</b>
<b>US</b>	<b>8 020 298</b>	<b>B2</b>

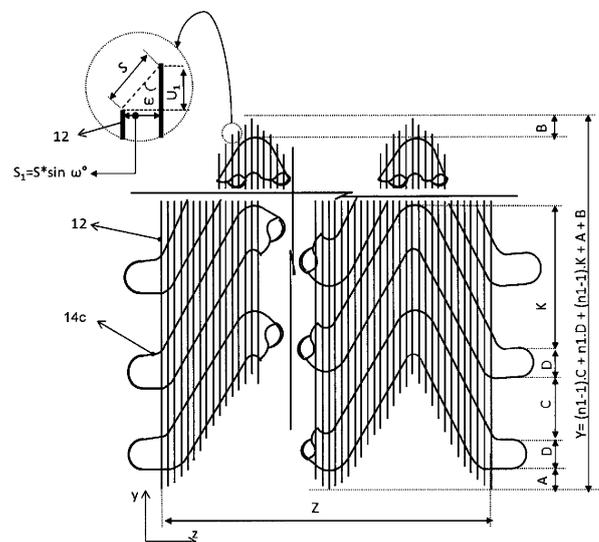
<b>US</b>	<b>2 519 084</b>	<b>A</b>
<b>EP</b>	<b>0 597 801</b>	<b>A1</b>
<b>WO</b>	<b>2008/ 058 734</b>	<b>A1</b>
<b>JP</b>	<b>H06- 257 893</b>	<b>A</b>
<b>JP</b>	<b>2000- 097 587</b>	<b>A</b>

**Diala Karmo, Salman Ajib, Untersuchung der Einflüsse der Lamellenformen auf die Wärmeübertragungseigenschaften eines Trockenkühlturms, DKV-Tagung, Aachen (2011)**

**Haci Mehmet, Sahin, Ali Riza Dal, Esref Baysal, 3-D Numerical study on the correlation between variable inclined fin angles and thermal behavior in plate fin-tube heat exchanger, Applied Thermal Engineering 27 (2007), S. 1806-1816**

(54) Bezeichnung: **Lamellen-Rohr-Wärmetauscher mit verbesserter Wärmeübertragung**

(57) Hauptanspruch: Wärmetauscher, bestehend aus in mehreren Ebenen in y-Richtung über- und in x-Richtung nebeneinander versetzt angeordneten Wärmetauscherrohren (14), die einzelne Wärmetauscherrohrabschnitte (14c) aufweisen, und einem von den Wärmetauscherrohren (14) durchsetzten Paket (13) aus parallelen in x-y-Richtung ausgerichteten und voneinander um einen Betrag S beabstandeten Lamellen (12), wobei die Wärmetauscherrohre (14) von einem ersten Medium (17) in z-Richtung durchströmt und von einem zweiten Medium (16) senkrecht zur Strömungsrichtung des ersten Mediums (17) in y-Richtung umströmt werden, dadurch gekennzeichnet, dass die Wärmetauscherrohrabschnitte (14c) in Strömungsrichtung des zweiten Mediums (16) zueinander zickzack-förmig angeordnet sind und die Wärmetauscherrohrabschnitte (14c) in Strömungsrichtung des ersten Mediums (17) die einzelnen Lamellen (12) in einem von 90° verschiedenen Neigungswinkel  $\alpha^\circ$  zur y-Richtung durchsetzen und die Lamellen (12) in Strömungsrichtung des zweiten Mediums (16) um jeweils einen Betrag  $U_1$  versetzt sind.



## Beschreibung

**[0001]** Die vorliegende Erfindung betrifft einen Lamellen-Rohr-Wärmetauscher, mit verbesserter Wärmeübertragung. Er umfasst eine oder mehrere, zueinander versetzt angeordnete Rohrreihen, die mehrere parallele Lamellen durchsetzen und vorzugsweise einen Ventilator, mit dem Gas oder Luft durch die Lamellen geblasen werden kann.

**[0002]** Aus dem Stand der Technik ist bekannt, dass die Hauptkomponenten eines Lamellen-Rohr-Wärmetauschers Rohre und Lamellen sind. Typischerweise wird ein solcher Wärmetauscher so aufgebaut, dass an den Rohren gleichartige, zueinander parallele Lamellen befestigt sind, um die Wärmeübertragungsflächen zu vergrößern. Durch die Rohre strömt ein erstes Medium (meist Wasser) und kontaktiert ihre inneren Wände, während ein zweites Medium (meist Gas) ihre äußeren Wände und die Lamellenoberfläche kontaktiert. Die Lamellen haben Kontakt mit den äußeren Rohrwänden und dem zweiten Medium. Sie haben die Aufgabe, sobald ein Temperaturunterschied zwischen den beiden Medien entsteht, die Wärme über die Rohrwände und Lamellenflächen von einem zum anderen Medium zu übertragen.

**[0003]** Es ist auch bekannt, ein Rohr in Form einer Kühlschlange auszubilden, wobei ein gerades Rohrteilstück aus dem Lamellenblock herausragt, um 180° gebogen wird und parallel zu anderen Rohrteilstücken den Lamellenblock durchläuft (s. **Fig. 1** und **Fig. 2**). Außerdem sind auch Wärmetauscher bekannt, bei denen Rohre mit ellipsenförmigen Querschnitten verwendet werden, um somit die Kontaktfläche zwischen den Rohren und den Lamellen zu erhöhen und die Druckverluste des zweiten Mediums (Luft) zu reduzieren. Die Rohre eines Wärmetauschers können auch zueinander versetzt und / oder in gleichen Ebenen übereinander angeordnet sein.

**[0004]** Die einfachste bekannte Lamellenform ist eine flach ausgebildete Lamelle. Sie wird von einem oder mehreren Rohren in verschiedenen Positionen in einer oder mehreren Ebenen durchsetzt. Zur Erhöhung der Wärmeübertragung wurden die Lamellenflächen vergrößert und gebogene, abgewinkelte oder gewellte Lamellen entwickelt. Eine nochmalige Steigerung der Wärmeübertragung gelang durch die Verwendung von perforierten oder geschlitzten Lamellen, weil diese Lamellenmodelle zu einer besseren Quervermischung der Luftströmung zwischen den Lamellen führen.

**[0005]** Aus dem Stand der Technik sind weiterhin Lösungen bekannt, bei denen eine bessere Wärmeübertragung durch die Vergrößerung der Kontaktflächen zwischen den Lamellen und den Rohren erzielt wird. So ist z.B. in der Patentschrift US 6640579 B2 ein Wärmetauscher mit zickzack-

förmigen Rohren zwischen laminierten Platten in einem Gehäuse beschrieben. Die Anzahl der Rohrreihen und Platten ist gleich. Jedoch sind die Rohre parallel zu den Platten (Lamellen) angeordnet. Demzufolge durchsetzen sie die Lamellen nicht. Auch aus der WO 2008/058734 A1 ist ein Wärmetauscher mit Strömungskanälen mit oder ohne Leitelementen für die Kühlluft bekannt, bei dem das Fluid durch gekrümmte Kanäle strömt, um die Leistung des Wärmetauschers zu erhöhen. Hier sind jedoch keine parallelen Lamellen auf den Rohren befestigt. Dagegen sind in einem bevorzugten Ausführungsbeispiel der DE 10 2008 020 230 A1 Rippelemente vorgesehen, mit denen eine Verbesserung der Wärmeübertragung erreicht werden soll. Die Rippelemente erstrecken sich hier senkrecht zur Längsrichtung der Tauscherrohre.

**[0006]** Die US 2519084 A beschreibt dagegen einen Rohrbündel-Wärmetauscher, dessen Rohre eine Zickzackform aufweisen. Die geraden Rohrteilstücke durchsetzen parallele kreisförmige Lamellen, während die gebogenen Rohrteilstücke keine Lamellen durchstoßen, da die Lamellen rechtwinklig an den Rohren befestigt sind. Die Erhöhung der Wärmeübertragung wird hier dadurch erreicht, dass das Gas die Rohre aus verschiedenen Richtungen umströmt.

**[0007]** Eine weitere Verbesserung der Wärmeübertragung in einem Wärmetauscher kann durch die Neigung der Lamellen aus der vertikalen Ebene realisiert werden. Nach [Haci Mehmet Sahin, Ali Riza Dal, Esref Baysal, 3-D Numerical study on the correlation between variable inclined fin angles and thermal behavior in plate fin-tube heat exchanger, Applied Thermal Engineering 27 (2007), 1806-1816] wird ein optimaler Neigungswinkel der Lamellen von 30° empfohlen. Dabei erhöht sich die Wärmeübertragung auf Grund der Erhöhung der Strömungsgeschwindigkeit der Luft zwischen den Lamellen. Während der Querschnitt der Lufteintrittsfläche mit der Veränderung des Neigungswinkels nicht geändert wird, reduzieren sich jedoch die Abstände zwischen den Lamellen. Es kommt aber auch zu einer geringen Druckverlusterrhöhung.

**[0008]** Außerdem führt nach [Diala Karmo, Salman Ajib, Untersuchung der Einflüsse der Lamellenformen auf die Wärmeübertragungseigenschaften eines Trockenkühlturms, DKV-Tagung Aachen (2011)] die Verwendung von geneigten abgewinkelten bzw. gebogenen sowie gewellten Lamellen anstelle geneigter flacher Lamellen in einem Wärmetauscher mit mehreren Rohrreihen zu einer weiteren Erhöhung der Wärmeübertragung. Es wurde dargelegt, dass die Neigung der Lamellen in einem Wärmetauscher die Reduzierung der Abstände zwischen den versetzt angeordneten Rohren erfordert, da andernfalls ab einem bestimmten Neigungswinkelwert  $\theta^\circ$  das obere

Rohr die Lamellen nicht mehr durchsetzen kann (s. **Fig. 4**).

**[0009]** In der EP 0 597 801 A1 wird ein Lamellen-Rohr-Wärmetauscher mit kurvenförmigen Verlauf vorgestellt. Die Rohre befinden sich hier in zwei Gebieten. In dem ersten Gebiet sind die Rohre gerade und werden von zueinander parallelen, senkrecht zu den Rohren angeordneten Lamellen bedeckt. In dem zweiten Gebiet werden die Rohre in Richtung des Wärmetauschers gebogen, um sie dem kurvenförmigen Verlauf des Wärmetauschers entsprechend anzupassen. Mit zunehmendem Bogenradius erhöht sich die Rohrlänge von innen nach draußen. Im zweiten Gebiet sind die Lamellen nicht mehr parallel zueinander, jedoch noch senkrecht zu den Rohren angeordnet.

**[0010]** Aus der Veröffentlichung [Wolfgang Polifke, Jan Kopitz, Wärmeübertragung, (2., aktualisierte Auflage), [332-343]. München [u.a.]: Pearson Studium, 2009] ist außerdem bekannt, dass die Wärmeübertragungswerte auf den Lamellenflächen nicht konstant sind, sondern sich mit wachsender Entfernung von der Eintrittsfläche des durchströmenden Gases in den Wärmetauscher ständig reduzieren. Wie in **Fig. 3** dargestellt, sind die Wärmeübertragungswerte auf einer in vier fiktive Teilstücke (**12a<sub>1</sub>**), (**12a<sub>2</sub>**), (**12a<sub>3</sub>**) und (**12a<sub>4</sub>**) unterteilten Lamelle und auf 4 versetzten Rohren (**14a<sub>1</sub>**), (**14a<sub>2</sub>**), (**14a<sub>3</sub>**) und (**14a<sub>4</sub>**) auf der Oberfläche des der Eintrittsfläche des durchströmenden Gases am nächsten liegenden Lamellenteilstücks (**12a<sub>1</sub>**) bzw. des der Eintrittsfläche des durchströmenden Gases am nächsten liegenden Rohrs (**14a<sub>1</sub>**) am größten. Die Wärmeübertragungswerte auf den weiter beabstandeten Lamellenteilstücken (**12a<sub>2</sub>**), (**12a<sub>3</sub>**) bzw. (**12a<sub>4</sub>**) sowie auf den weiter beabstandeten Rohren (**14a<sub>2</sub>**), (**14a<sub>3</sub>**) bzw. (**14a<sub>4</sub>**) sind erheblich kleiner als auf dem Lamellenteilstück (**12a<sub>1</sub>**) bzw. auf dem Rohr (**14a<sub>1</sub>**).

**[0011]** Es wird außerdem in US 8 020 298 B2 und US 6 793 010 B1 ein Wärmetauscher beschrieben, in dem die Rohre geneigt werden, so dass die Lamellen nicht mehr senkrecht auf den Rohren angeordnet werden. Eine solche Anordnung ist auch aus JP 2000-097587 A bekannt.

**[0012]** Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es nun, einen optimierten Lamellen-Rohr-Wärmetauscher, mit verbesserter Wärmeübertragung und reduzierten geometrischen Abmaßen bereitzustellen.

**[0013]** Erfindungsgemäß gelingt die Lösung dieser Aufgabe mit den Merkmalen des ersten Patentanspruchs. Eine vorteilhafte Ausgestaltung der erfindungsgemäßen Lösung ist im Unteranspruch 2 angegeben.

**[0014]** Im Folgenden wird die Erfindung anhand von Zeichnungen näher erläutert. Es zeigt:

**Fig. 1** - eine perspektivische Ansicht eines aus dem Stand der Technik bekannten Wärmetauschers mit integriertem Ventilator

**Fig. 2** - eine vergrößerte Detailansicht aus **Fig. 1**

**Fig. 3** - eine Schnittdarstellung eines Ausschnittes aus **Fig. 2** in der X-Y-Ebene

**Fig. 4** - verschiedene Lamellen-Neigungswinkel in der Y-Z-Ebene

**Fig. 5** - eine perspektivische Ansicht eines aus dem Stand der Technik bekannten Wärmetauschers

**Fig. 6** - eine Schnittansicht in der X-Y-Ebene aus **Fig. 5**

**Fig. 7** - die Anordnung der Wärmetauscherrohre und Lamellen in der Y-Z-Ebene in einem Wärmetauscher nach **Fig. 5**

**Fig. 8** - eine perspektivische Ansicht eines erfindungsgemäßen Wärmetauschers

**Fig. 9** - eine Schnittansicht in der X-Y-Ebene aus **Fig. 8**

**Fig. 10** - die Anordnung der Wärmetauscherrohre in der Y-Z-Ebene in einem Wärmetauscher nach **Fig. 8**

**Fig. 11** - die Anordnung der Wärmetauscherrohre und Lamellen in der Y-Z-Ebene in einem Wärmetauscher nach **Fig. 8**

**[0015]** In den **Fig. 1** bis **Fig. 7** sind verschiedene Ansichten eines aus dem Stand der Technik bekannten Lamellen-Rohr-Wärmetauschers dargestellt. In einem Wärmetauschergehäuse (**10**) sind zueinander versetzte, parallele Wärmetauscherrohre (**14**) und ein von diesen Wärmetauscherrohren (**14**) durchsetztes Paket (**13**) aus parallel zueinander und senkrecht zu den Wärmetauscherrohren (**14**) angeordneten, voneinander beabstandeten Lamellen (**12**) positioniert. Außerdem ist ein Ventilator (**11**) zur Erzeugung einer Strömung eines zweiten Mediums (**16**), vorzugsweise Gas, vorgesehen. Die einzelnen Lamellen (**12**) haben jeweils die gleiche Lamellenbreite (X) und die gleiche Lamellenhöhe (Y). Bei m verwendeten Lamellen resultiert eine Lamellenpakettiefe (Z) = (m) \* Lamellendicke + (m - 1) \* Lamellenabstand. Durch die Wärmetauscherrohre (**14**) strömt in Z-Richtung ein erstes Medium (**17**). Angetrieben durch den Ventilator (**11**) umströmt senkrecht dazu ein zweites Medium (**16**) die Wärmetauscherrohre (**14**) und die Lamellen (**12**) in Y-Richtung.

**[0016]** Mit der vorliegenden Erfindung wird vorgeschlagen, die Wärmetauscherrohre (**14**) nicht parallel zur Z-Richtung (Strömungsrichtung des ersten Mediums) anzuordnen, sondern in einem von 90°

verschiedenen Winkel. In einer bevorzugten Ausführungsform soll dieser Neigungswinkel  $\alpha^\circ$  in regelmäßigen Intervallen (nach 2 oder 3 oder 4 usw. Lamellen) sein Vorzeichen wechseln, so dass die Wärmetauscherrohre (14) in Verbindung mit bogen- oder knieförmigen Rohrteilstücken (15) zickzack-förmig in Z-Richtung (Strömungsrichtung des ersten Mediums) ausgebildet sind (s. Fig. 10 oder Fig. 11). Folglich schließen zwei benachbarte, das Lamellenpaket (13) durchsetzende Wärmetauscherrohrabschnitte (14c) einen Winkel von  $2\alpha^\circ$  ein, wobei die einzelnen Lamellen (12) unverändert parallel zur X-Y-Ebene ausgerichtet bleiben. Die erfindungsgemäße Lösung basiert demnach nicht auf der Neigung der Lamellen sondern auf der Neigung der Wärmetauscherrohre.

**[0017]** Für die Ermittlung der geometrischen Kenngrößen eines erfindungsgemäßen Lamellen-Rohr-Wärmetauschers mit optimierter Wärmeübertragung (Neigungswinkel und Länge der Wärmetauscherrohrabschnitte (14c)) wird davon ausgegangen, dass für die Lamellen (12) und für die Wärmetauscherrohre (14) eines erfindungsgemäßen und eines herkömmlichen Lamellen-Rohr-Wärmetauschers dieselben Materialien und Formen verwendet werden. Ebenso sollen die Gesamtlängen der verwendeten Wärmetauscherrohre (14) und auch die Positionen, an denen die Lamellen (12) von den Rohrachsen (18) durchsetzt werden, erhalten bleiben. Das führt dazu, dass benachbarte Lamellen (12) in Y-Richtung zueinander versetzt angeordnet und ihre oberen und unteren Kanten (in Y-Richtung) ebenso wie die Wärmetauscherrohrabschnitte (14c) zickzack-förmig angeordnet sind. Um den Volumenstrom des zweiten Mediums nicht zu verändern, sollen weiterhin die Eintrittsflächen für das zweite Medium zwischen benachbarten Lamellen (12) konstant gehalten werden. Schließlich soll der Winkel  $\omega^\circ$  eines rechtwinkligen Dreiecks an zwei benachbarten Lamellenenden gleich dem Neigungswinkel  $\alpha^\circ$  eines Wärmetauscherrohrabschnitts (14c) zu einer Lamelle (12) sein (s. Fig. 11).

Die Einhaltung dieser Bedingungen führt zu einer Reduzierung der Anzahl benötigter Rohrreihen übereinander (in Y-Richtung)  $n_1$  und somit zu einer Verringerung der Lamellenhöhe Y. Außerdem reduziert sich im erfindungsgemäßen Lamellen-Rohr-Wärmetauscher der Abstand  $S_1$  zwischen zwei benachbarten Lamellen (12) (in Z-Richtung) und benachbarte Lamellenober- bzw. Lamellenunterkanten verschieben sich zueinander um einen Betrag  $U_1$  in Y-Richtung:

$$S_1 = D * \sin\omega^\circ$$

$$U_1 = S * \cos\omega^\circ$$

**[0018]** Demzufolge kann die Anzahl der verwendeten Lamellen (12) in dem Paket (13) eines erfindungs-

gemäßen Wärmetauschers deutlich erhöht werden. Ebenso reduziert sich der Abstand  $C_1$  zwischen zwei benachbarten geneigten Wärmetauscherrohrabschnitten (14c):

$$C_1 = C * \cos\alpha^\circ,$$

wobei C der Abstand zwischen zwei versetzten Wärmetauscherrohren in einem herkömmlichen Lamellen-Rohr-Wärmetauscher ist.

**[0019]** Die Ermittlung der in Fig. 10 dargestellten, optimierten Kenngrößen für das von zwei benachbarten, zueinander abgewinkelten Wärmetauscherrohrabschnitten (14c) gebildete gleichschenklige Dreieck (der Winkel  $\alpha^\circ$ , die Seitenlängen L und M und die Höhe K) kann mit Hilfe bekannter Maße des Wärmetauschers erfolgen. Wie in Fig. 3 dargestellt, bezeichnet dabei die Größe A den Abstand zwischen der Unterkante einer Lamelle und dem ersten Wärmetauscherrohr (14a<sub>1</sub>), die Größe B den Abstand zwischen der Oberkante einer Lamelle und dem letzten Wärmetauscherrohr (14a<sub>4</sub>), die Größe C den Abstand zwischen zwei versetzten Wärmetauscherrohren, die Größe D den Wärmetauscherrohrdurchmesser, die Größe n die Anzahl der übereinander angeordneten Rohrreihen für  $\alpha = 90^\circ$  und die Größe  $n_1$  die Anzahl der übereinander angeordneten Rohrreihen für  $\alpha \neq 90^\circ$ .

$$\sin\alpha^\circ = \frac{n_1}{n}$$

$$M = \frac{2 * \tan\alpha^\circ * (n - n_1) * (D + C)}{(n_1 - 1)}$$

$$K = \frac{(n - n_1) * (D + C)}{(n_1 - 1)} = \frac{M}{2 * \tan\alpha^\circ}$$

$$L = \frac{nM}{2n_1} = \frac{M}{2\sin\alpha^\circ}$$

$$\tan\alpha^\circ = \frac{M}{2K}$$

**[0020]** Ein erfindungsgemäßer Lamellen-Rohr-Wärmetauscher weist im Vergleich zu den bisher bekannten Lamellen-Rohr-Wärmetauschern mehrere Vorteile auf. So gelingt es die Anzahl der verwendeten Lamellen im Paket zu erhöhen und gleichzeitig die Lamellenhöhe zu reduzieren. Folglich kann auf die oberen Teilstücke der Lamellen, auf deren Oberflächen die Wärmeübertragung am geringsten ist, verzichtet werden, während die Anzahl der unteren Teilstücke der Lamellen, deren Abstand zur Eintrittsfläche des zweiten Mediums gering ist und auf deren

Oberflächen die Wärmeübertragung am größten ist, vergrößert wird. Infolgedessen erhöht sich die resultierende Wärmeübertragung erheblich. Jedoch erfordert die Erhöhung der Anzahl der Lamellen eine Erhöhung der Ventilationsleistung, um die Volumenströme zwischen den Lamellen konstant zu halten. Es ist anzumerken, dass das Verhältnis aus gewonnener Wärmeübertragungsfähigkeit und steigender Ventilationsleistung erheblich verbessert wird. Im Übrigen verursacht die Reduzierung der Lamellenhöhe eine Verringerung der Druckverluste zwischen den Lamellen.

**[0021]** Da sich erfindungsgemäß die Abstände zwischen zwei benachbarten Lamellen verringern, erhöht sich die Geschwindigkeit des zweiten Mediums an der Eintrittsfläche zwischen zwei benachbarten Lamellen, wenn der Volumenstrom konstant bleibt. Dadurch vergrößert sich ebenfalls die resultierende Wärmeübertragung. Die erforderliche Erhöhung der Ventilationsleistung zur Kompensation der entstehenden Druckverluste zwischen den Lamellen ist dabei viel geringer als die zusätzliche gewonnene Wärmeübertragung.

**[0022]** Ein weiterer Vorteil besteht darin, dass die Menge der benötigten Lamellenmaterialien zum Aufbau des Wärmetauschers durch die Verringerung der Lamellenhöhe reduziert werden kann. Ebenso kommt es aufgrund einer veränderten Kontaktlinie zwischen den Rohren und den Lamellen zu einem reduzierten Materialverbrauch für die Lamellen, da die ellipsenförmigen größer als die kreisförmigen Aussparungen sind (s. **Fig. 9**). Je größer die Lamellenflächen, desto mehr Lamellenmaterial kann eingespart werden. Die Abweichung von der Flachform wie z.B. abgewinkelte, gebogene, gekrümmte oder gewellte Lamellen wirkt sich besonders auf die Ersparnis aus.

**[0023]** Mit Hilfe der oben aufgeführten Formeln können die Längen der Wärmetauscherrohre durch die Ermittlung der Längen der Rohrachsen berechnet werden, wobei die einzelnen Wärmetauscherrohrabschnitte zueinander winklig angeordnet sind. Dabei ist es von Vorteil, die Zickzackform mit gebogenen Ecken bereitzustellen, da sich dadurch die notwendigen Rohrmaterialien und die Druckverluste in den gesamten Rohren reduzieren.

**[0024]** Die individuelle Änderung des Neigungswinkels  $\alpha^\circ$  sowie des Winkels  $\omega^\circ$  bietet weiterhin zwei Auslegungsalternativen an. Eine Vergrößerung des Neigungswinkels  $\alpha^\circ$  aller versetzten Rohre führt bei gleichbleibender Höhe des von zwei benachbarten Wärmetauscherrohrabschnitten gebildeten gleichschenkligen Dreiecks dazu, dass die Anzahl der erforderlichen Bogen- oder Kniestücke und gleichzeitig die Druckverluste darin vermindert werden. Außerdem führt dies zu einer Verkürzung des gesamten Rohres mit weniger Rohrmaterialeinsatz.

Eine Erhöhung des Winkelwerts  $\omega^\circ$  führt zur Vergrößerung der Abstände zwischen den Lamellen und zur Verminderung der Druckverluste des Gases. Im Gegensatz dazu bewirkt die Reduzierung des Winkels  $\omega^\circ$  eine Verringerung der Abstände zwischen den Lamellen und eine Erhöhung der Lamellenanzahl oder die Reduzierung der Lamellenpakettiefe Z.

Eine Reduzierung der Kenngrößen für das von zwei benachbarten, zueinander geneigten Wärmetauscherrohrabschnitten (14c) gebildete gleichschenklige Dreieck (der Winkel  $\alpha^\circ$ , die Seitenlängen L und M und die Höhe K) führt zu einer Verkleinerung der Lamellen- oder Wärmetauscherhöhe Y und zu einer Vergrößerung der Anzahl der Bogen- oder Kniestücke in dem zickzackförmigen Wärmetauscherrohr. Dieser Nachteil kann jedoch durch die Änderung der Bogenform ausgeglichen werden.

In dem speziellen Ausführungsbeispiel mit nur einer Wärmetauscherrohrreihe kann die Wärmetauscherrohrausführung in Zickzackform nur realisiert werden, wenn die Lamellen- oder Wärmetauscherhöhe Y und/oder die Lamellenpakettiefe Z geändert werden. Indem die Wärmetauscherhöhe Y vergrößert wird, verkürzt sich die Lamellenpakettiefe Z bei konstanter Rohrlänge. Gegebenenfalls muss die Höhe der Lamellen Y vergrößert werden, um die Rohre bedecken zu können. Ein Vorteil dieser Ausführungsbeispiele besteht darin, dass sich die Wärmeübertragung aufgrund der Steigerung der Gasgeschwindigkeit verbessert, solange die Eintrittsfläche des strömenden Gases größer als die Schnittfläche zwischen den Lamellen ist. Weiterhin besteht der Vorteil, dass die Wärmetauscherhöhe bei gleichzeitiger Steigerung der Wärmeübertragung verringert werden kann.

#### Bezugszeichenliste

<b>10</b> -	Wärmetauschergehäuse
<b>11</b> -	Ventilator
<b>12</b> -	Lamelle
<b>12a<sub>1</sub></b> -	das erste Lamellenteilstück nach der Lamellenunterkante
<b>12a<sub>2</sub></b> -	das zweite Lamellenteilstück nach der Lamellenunterkante
<b>12a<sub>3</sub></b> -	das dritte Lamellenteilstück nach der Lamellenunterkante
<b>12a<sub>4</sub></b> -	das vierte Lamellenteilstück nach der Lamellenunterkante
<b>13</b> -	Lamellenpaket; Paket
<b>14</b> -	Wärmetauscherrohr
<b>14a</b> -	zur X-Z-Ebene paralleler Wärmetauscherrohrabschnitt
<b>14a<sub>1</sub></b> -	das erste Wärmetauscherrohr nach der Lamellenunterkante

<p><b>14a<sub>2</sub></b> - der zweite Wärmetauscherrohr nach der Lamellenunterkante</p> <p><b>14a<sub>3</sub></b> - der dritte Wärmetauscherrohr nach der Lamellenunterkante</p> <p><b>14a<sub>4</sub></b> - der vierte Wärmetauscherrohr nach der Lamellenunterkante</p> <p><b>14b</b> - Wärmetauscherrohrquerschnitt in der X-Y-Ebene</p> <p><b>14c</b> - zur X-Z-Ebene geneigter Wärmetauscherrohrabschnitt</p> <p><b>15</b> - bogen- oder knieförmiges Rohrteilstück</p> <p><b>16</b> - zweites Medium</p> <p><b>17</b> - erstes Medium</p> <p><b>18</b> - Rohrachse</p> <p><b>A</b> - Abstand zwischen Lamellenunterkante und erstem Wärmetauscherrohr</p> <p><b>B</b> - Abstand zwischen Lamellenoberkante und viertem Wärmetauscherrohr</p> <p><b>C</b> - Abstand zwischen zwei versetzten Wärmetauscherrohren</p> <p><b>C<sub>1</sub></b> - Abstand zwischen zwei benachbarten geneigten Wärmetauscherrohrabschnitten</p> <p><b>D</b> - Wärmetauscherrohrdurchmesser</p> <p><b>S</b> - Abstand zwischen zwei benachbarten Lamellen</p> <p><b>S<sub>1</sub></b> - reduzierter Abstand zwischen zwei benachbarten Lamellen in Z-Richtung</p> <p><b>U<sub>1</sub></b> - vertikaler Abstand zwischen zwei benachbarten Lamellenober- oder Lamellenunterkanten</p> <p><b>m</b> - Anzahl der Lamellen</p> <p><b>n</b> - Anzahl der übereinander angeordneten Wärmetauscherrohrreihen für <math>\alpha = 90^\circ</math></p> <p><b>n<sub>1</sub></b> - Anzahl der übereinander angeordneten Wärmetauscherrohrreihen für <math>\alpha \neq 90^\circ</math></p> <p><b>K</b> - Höhe des von zwei benachbarten geneigten Wärmetauscherrohrabschnitten gebildeten gleichschenkligen Dreiecks</p> <p><b>L</b> - erste Seitenlänge des von zwei benachbarten geneigten Wärmetauscherrohrabschnitten gebildeten gleichschenkligen Dreiecks</p>	<p><b>M</b> - zweite Seitenlänge des von zwei benachbarten geneigten Wärmetauscherrohrabschnitten gebildeten gleichschenkligen Dreiecks</p> <p><b><math>\theta^\circ</math></b> - Lamellenneigungswinkel</p> <p><b><math>\alpha^\circ</math></b> - Neigungswinkel eines Wärmerohrabschnitts</p> <p><b><math>\omega^\circ</math></b> - der Kathete <math>S_1</math> gegenüberliegender Winkel des rechtwinkligen Dreiecks an zwei benachbarten versetzten Lamellenenden</p> <p><b>X</b> - Lamellenbreite (Wärmetauscherbreite)</p> <p><b>Y</b> - Lamellenhöhe (Wärmetauscherhöhe)</p> <p><b>Z</b> - Lamellenpakettiefe (Wärmetauscherentiefe)</p>
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

### Patentansprüche

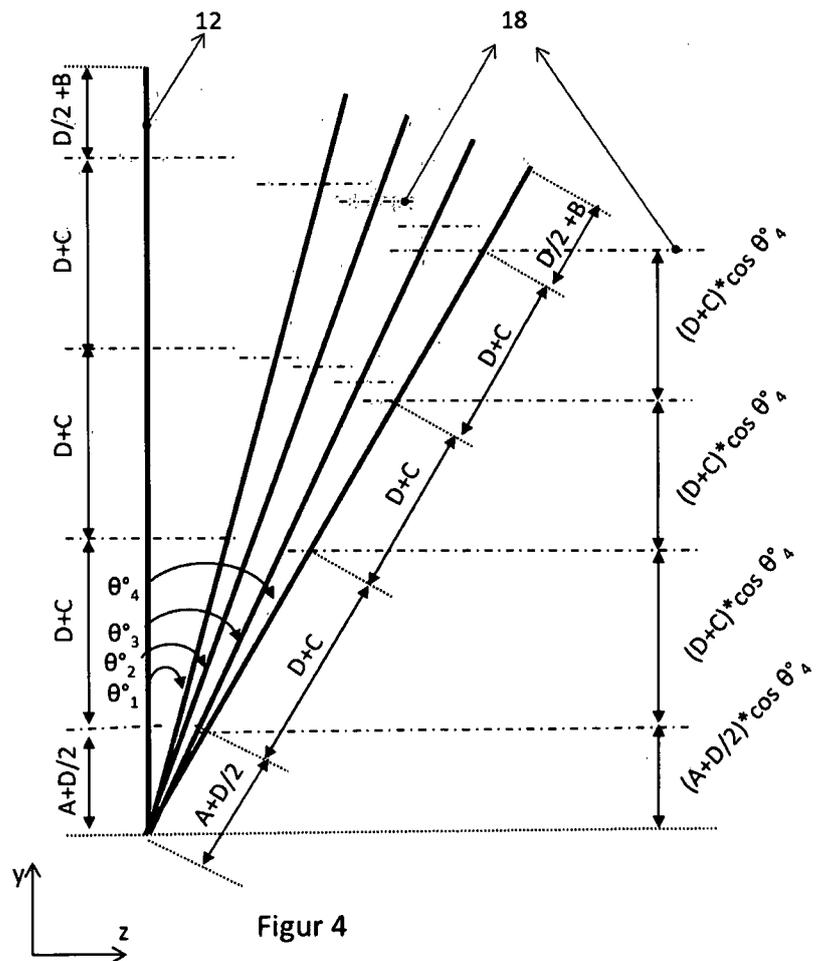
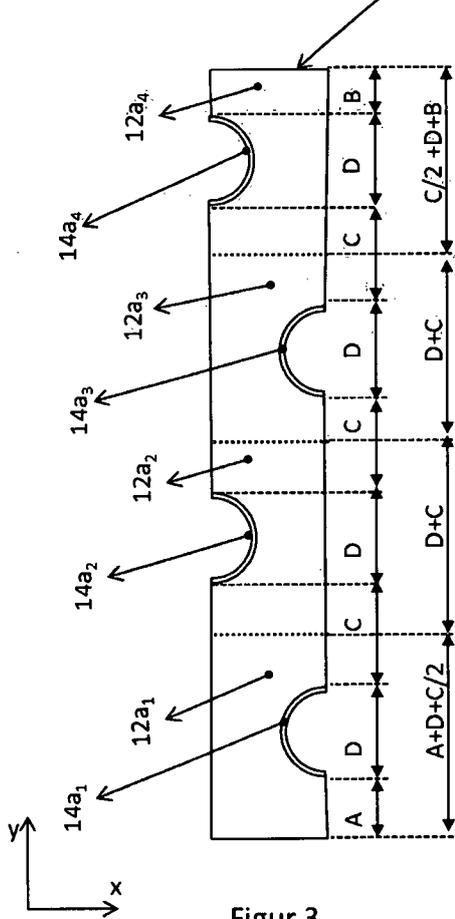
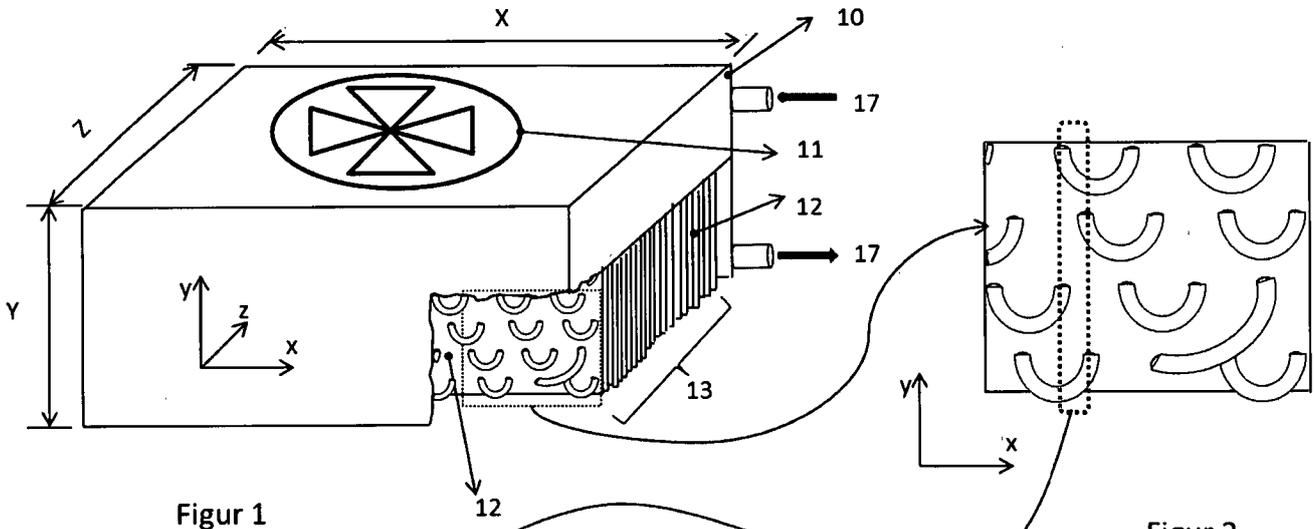
1. Wärmetauscher, bestehend aus in mehreren Ebenen in y-Richtung über- und in x-Richtung nebeneinander versetzt angeordneten Wärmetauscherrohren (14), die einzelne Wärmetauscherrohrabschnitte (14c) aufweisen, und einem von den Wärmetauscherrohren (14) durchsetzten Paket (13) aus parallelen in x-y-Richtung ausgerichteten und voneinander um einen Betrag S beabstandeten Lamellen (12), wobei die Wärmetauscherrohre (14) von einem ersten Medium (17) in z-Richtung durchströmt und von einem zweiten Medium (16) senkrecht zur Strömungsrichtung des ersten Mediums (17) in y-Richtung umströmt werden, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Wärmetauscherrohrabschnitte (14c) in Strömungsrichtung des zweiten Mediums (16) zueinander zickzack-förmig angeordnet sind und die Wärmetauscherrohrabschnitte (14c) in Strömungsrichtung des ersten Mediums (17) die einzelnen Lamellen (12) in einem von  $90^\circ$  verschiedenen Neigungswinkel  $\alpha^\circ$  zur y-Richtung durchsetzen und die Lamellen (12) in Strömungsrichtung des zweiten Mediums (16) um jeweils einen Betrag  $U_1$  versetzt sind.

2. Wärmetauscher nach Anspruch 1 **dadurch gekennzeichnet**, dass der Neigungswinkel  $\alpha^\circ$  der Wärmetauscherrohrabschnitte (14c) in regelmäßigen Intervallen der Lamellenanzahl je Wärmetauscherrohrabschnitt wechselnde Vorzeichen aufweist.

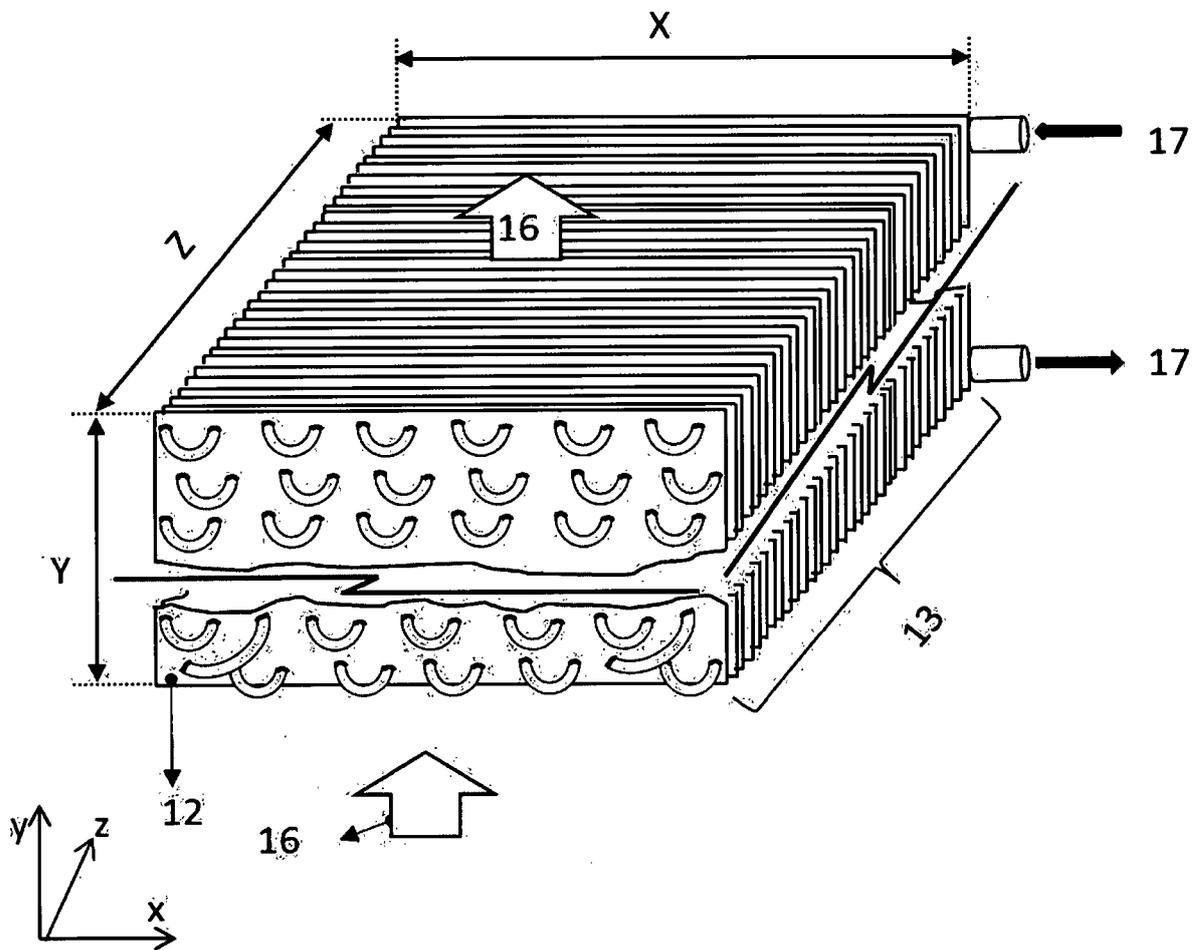
Es folgen 8 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

Stand der Technik

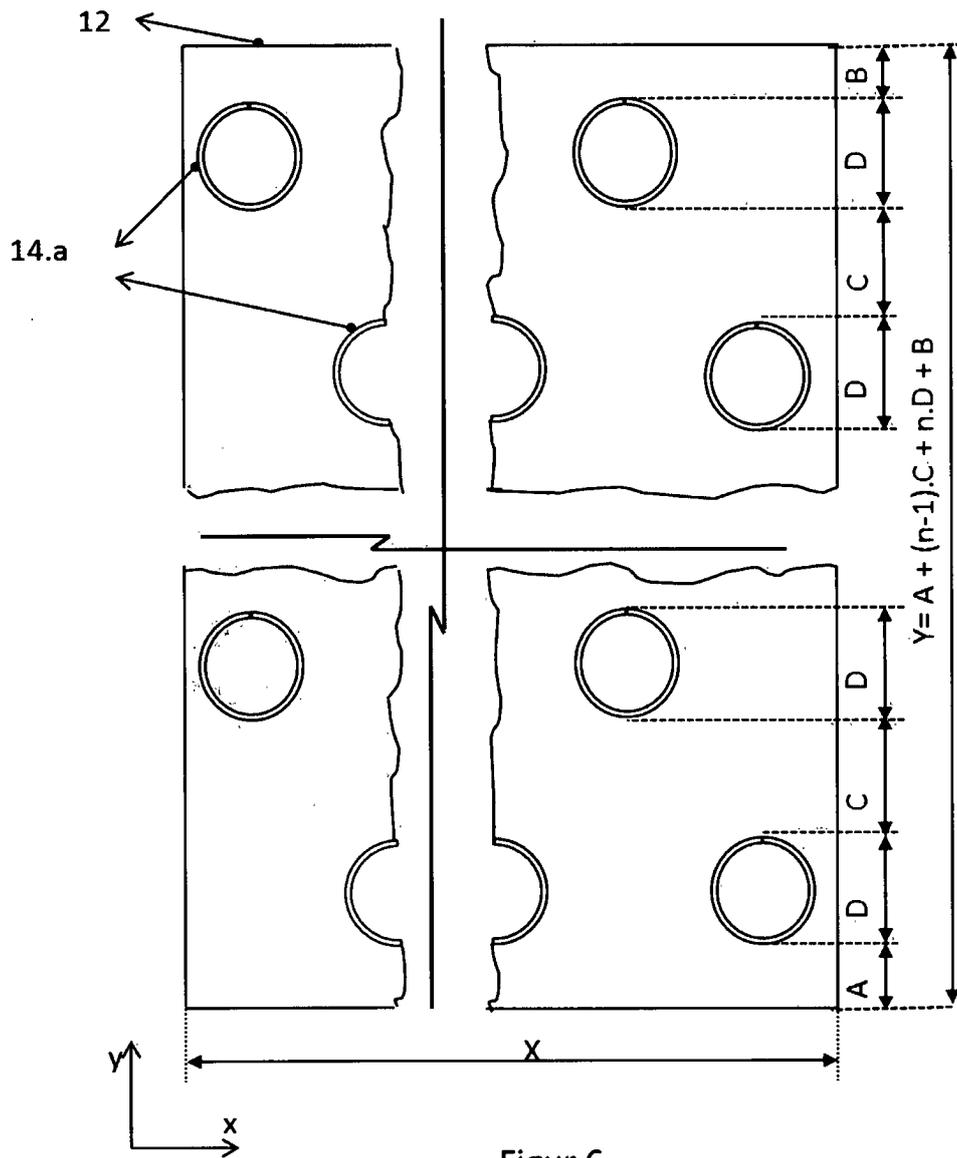


Stand der Technik



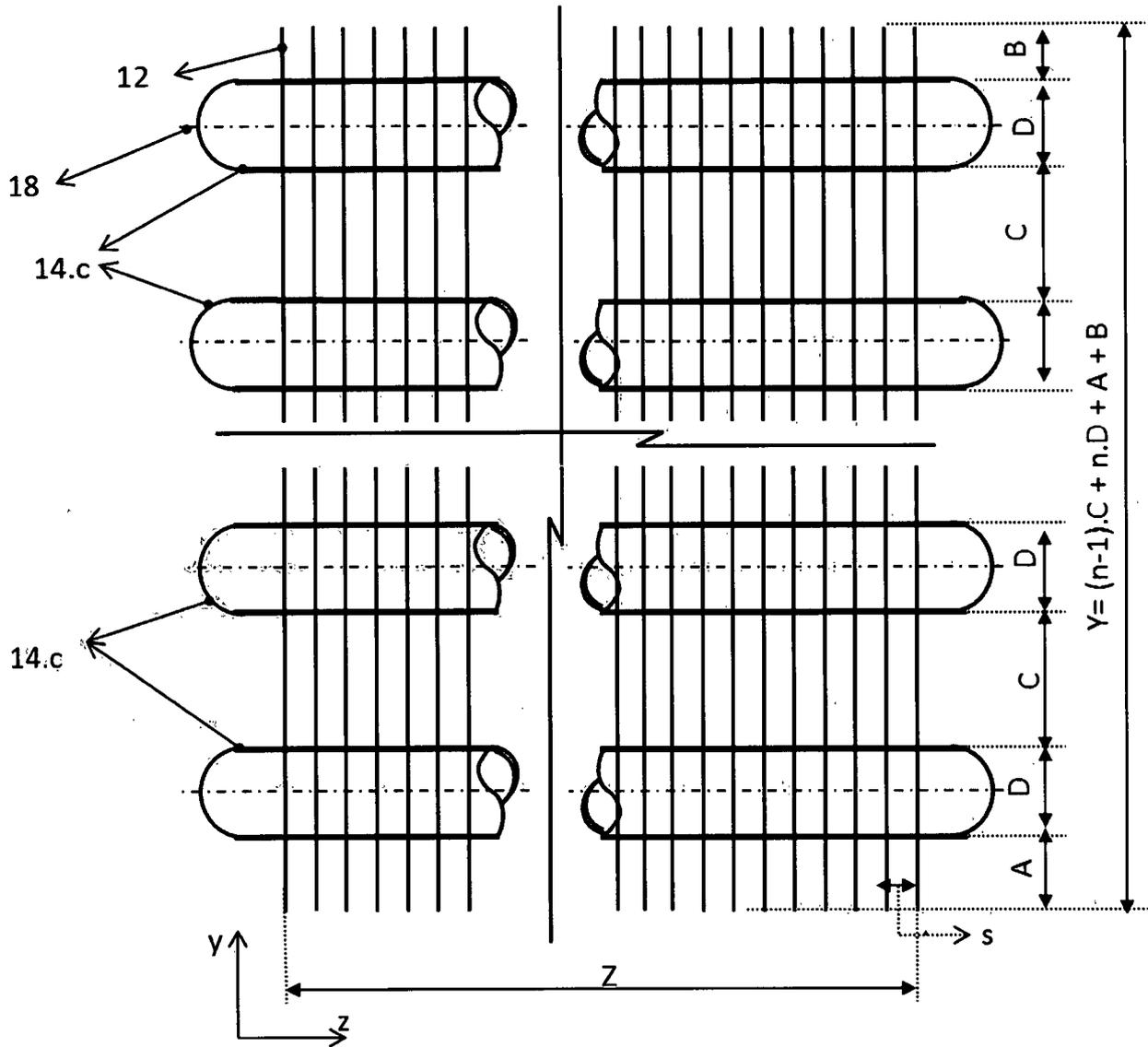
Figur 5

Stand der Technik

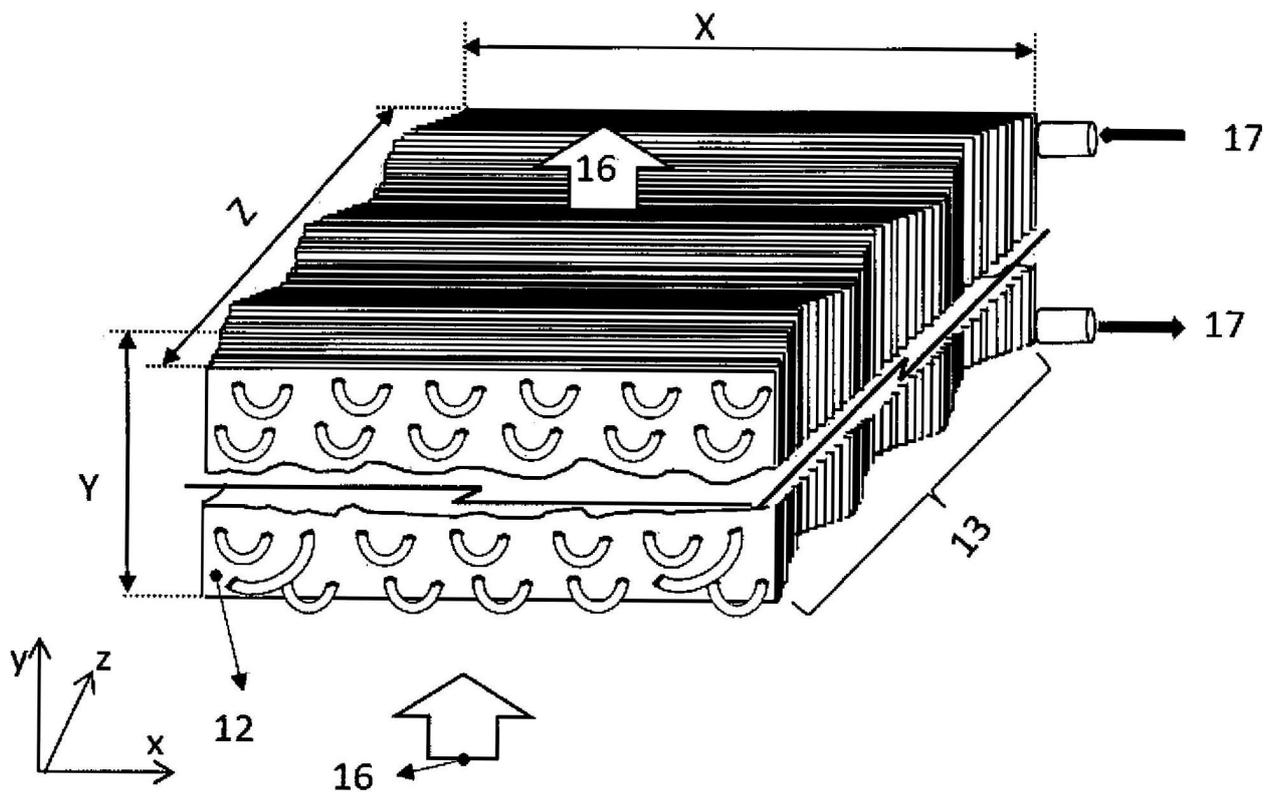


Figur 6

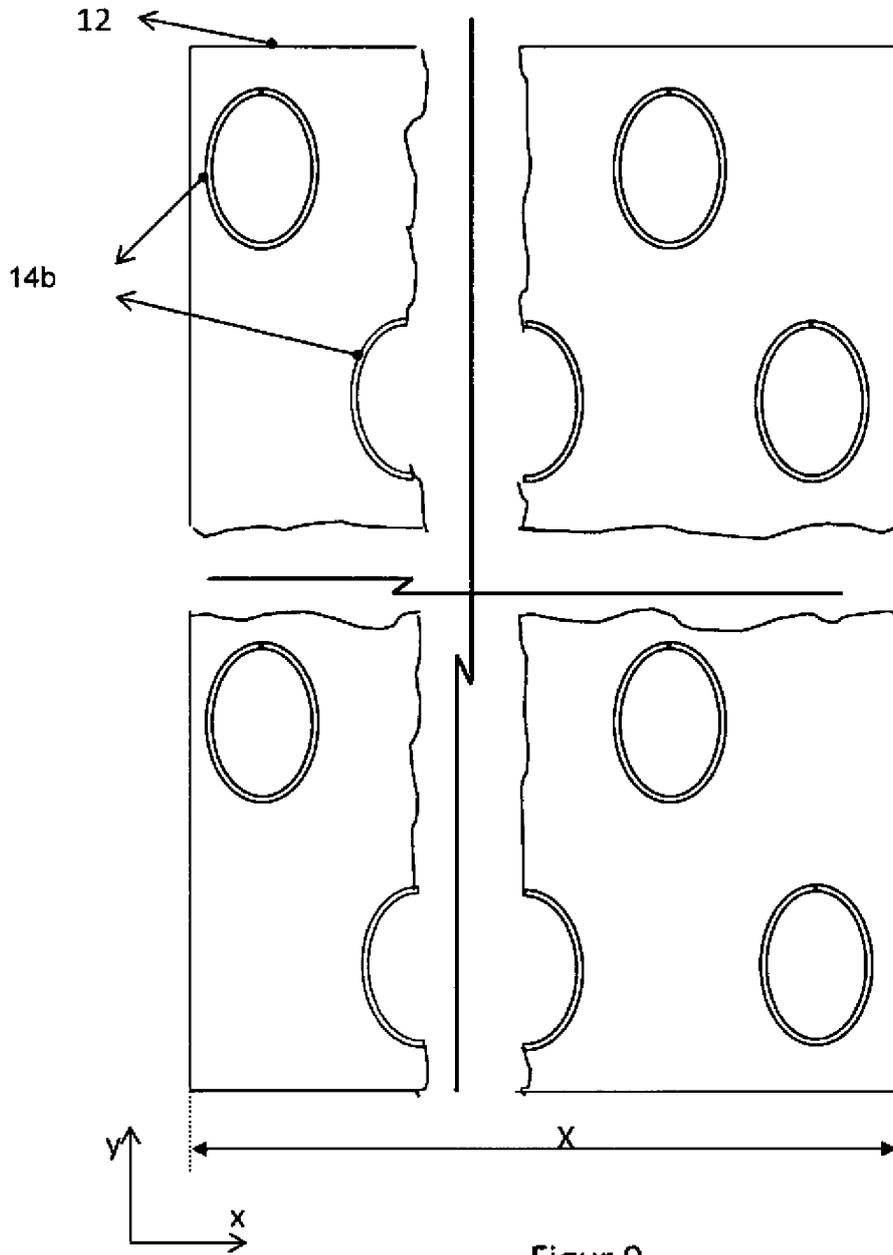
Stand der Technik

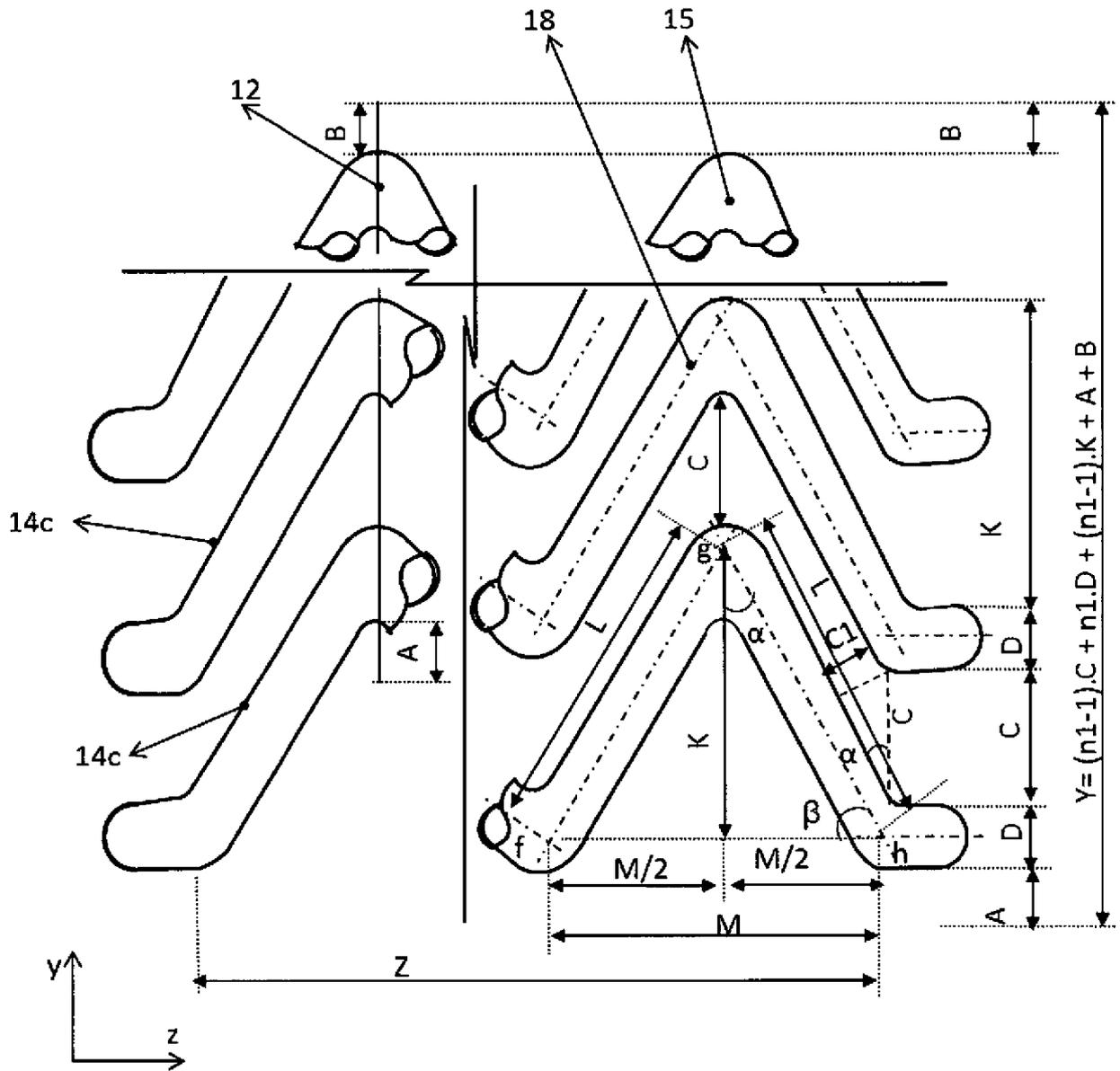


Figur 7

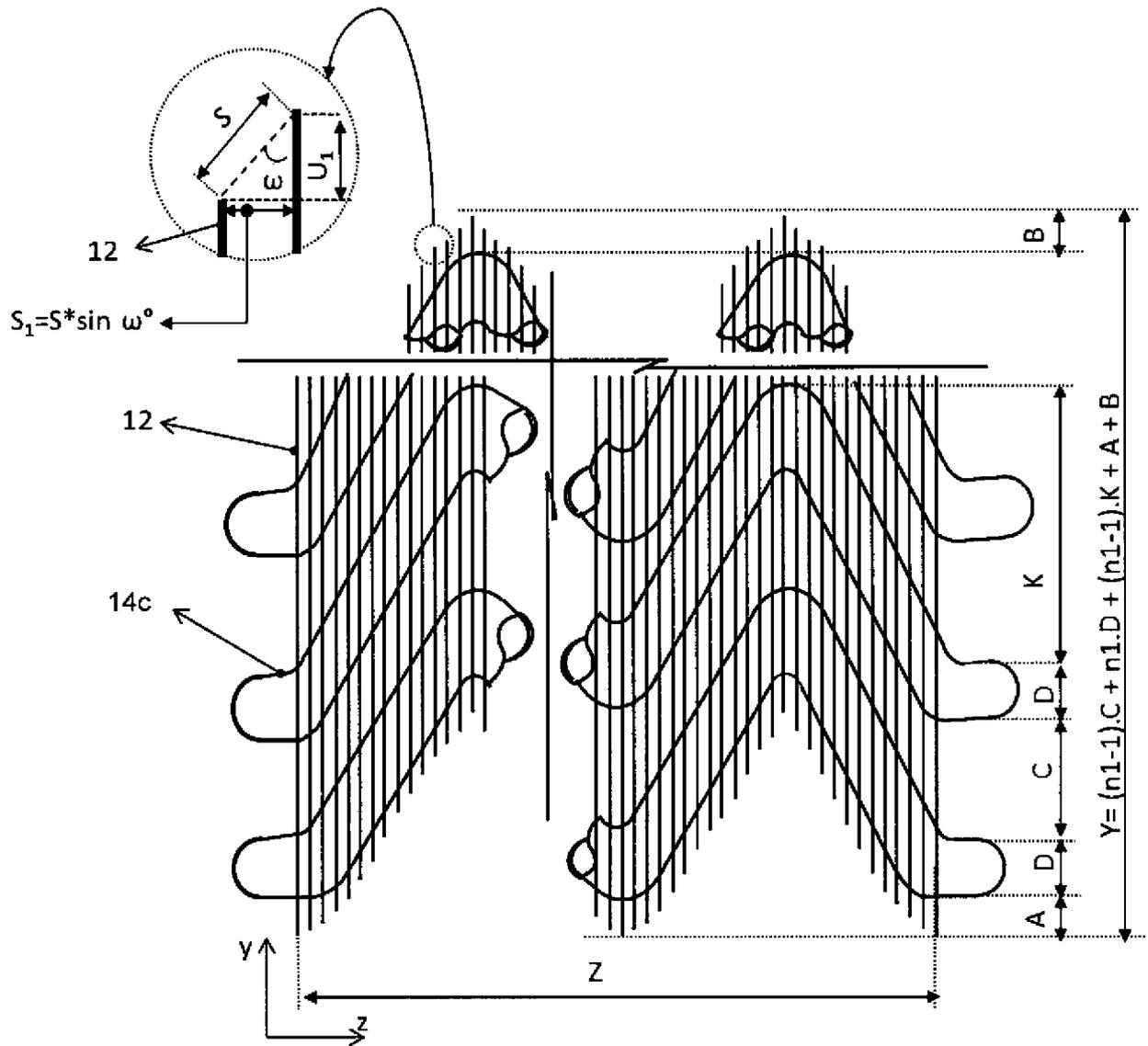


Figur 8





Figur 10



Figur 11