

WÄRMETAUSCHER

Wärmetauscher (WT) dienen in einem Dampf- und Kondensatsystem z. B. zum Erwärmen von Wasser oder Luft. Als Heizmedium wird Dampf oder Kondensat verwendet. Das aufzuheizende Wasser oder die aufzuheizende Luft strömt durch die Rohre des Wärmetauschers, und die Rohre werden mit Dampf oder Kondensat beheizt und erwärmen so das strömende Wasser oder die Luft. Der Dampf kondensiert unter Abgabe einer Wärmemenge und Volumenverkleinerung und neuer Dampf strömt nach. Je größer der Temperaturunterschied und die Menge des zu beheizenden Wassers oder der Luft sind, umso größer ist die benötigte Dampfmenge.

Es gibt eine Vielzahl von Wärmetauscher unterschiedlichster Bauart für die unterschiedlichsten Anwendungsfälle. In diesem Kapitel werden die einfachste Auslegung eines Wärmetauschers und der grundsätzliche Aufbau beschrieben.

Auslegung eines Wärmetauschers

Anbei eine einfache Formel zur Bestimmung der Dampfmenge an einem Wärmetauscher. **Die errechnete Dampfmenge ist nicht genau, da die Verluste auf Grund des Wärmedurchganges durch die Wärmetauscherrohre nicht berücksichtigt werden.** Als überschlägliche Berechnung zur Dimensionierung des Wärmetauschers ist der aufgerundete Wert aber ausreichend. *(weitere Details zur Wärmeübertragung siehe Kapitel zur Theorie)*

► BEISPIEL:

Welche Dampfmenge mit einem Druck von 5 barü wird benötigt, um 3000 kg/h Wasser von 20°C auf 70°C zu erwärmen?

Formel:

$$Q_{zu} = Q_{ab}$$

Die Wärmemenge, die das Wasser aufnehmen soll, lässt sich errechnen mit:

$$Q_w = M_w * C_{pw} * \Delta T$$

$$Q_w = 3000 * 4,2 * 50 = 630000 \text{ kJ/h}$$

C_{pw} – spezifische Wärmekapazität von Wasser = 4,2 kJ/kg K

ΔT - Temperaturdifferenz nachher / vorher $T_2 - T_1 = 50^\circ \text{K}$

Nun lässt sich über den Wärmeinhalt des Dampfes die Dampfmenge bestimmen:

$$630000 = M_D * q$$

$$q = h'' - h' \quad (h'' - h' = \Delta h) \quad \Delta h \text{ lässt sich nachschlagen oder siehe Tabelle im Anhang}$$

$$2755 (h'') - 670 (h') = 2085 \text{ kJ/kg } (\Delta h) \quad \text{Verdampfungswärme}$$

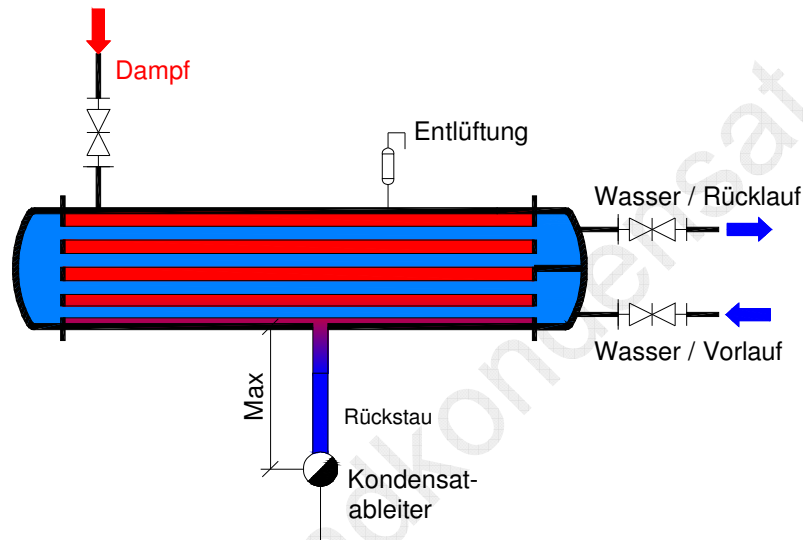
$$M_D = 630000 : 2085 = 302 \text{ kg/h}$$

Menge Dampf $M_D = 302 \text{ kg/h}$

Es werden ca. 500 kg/h Dampf mit 5 barü (302 kg/h aufgerundet) zum Beheizen von 3 t/h Wasser benötigt.

Hinweis: bei den meisten mit Dampf betriebenen Wärmetauscher sollte man die Anordnung des Kondensatableiters beachten. Ein zu dicht am Wärmetauscher montierter Kondensatableiter kann zu einem Rückstau des Kondensates und somit zur Reduzierung der Wärmetauscherfläche führen. (siehe Kapitel Kondensatableiter).

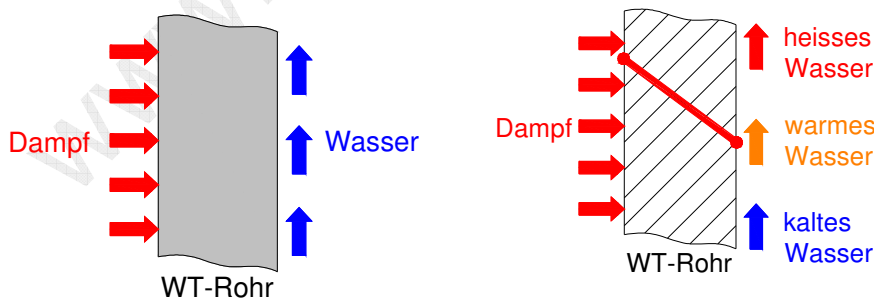
Genauso leistungsreduzierend wie Kondensat ist auch Luft (siehe Kapitel Entlüftung).



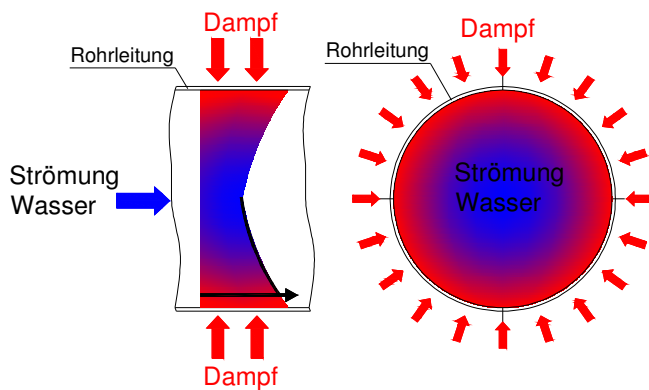
Verluste im Wärmetauscher

Wie oben beschrieben, ist die aufgeführte Formel $Q_w = M_w \cdot C_{pw} \cdot \Delta T$ nicht ganz richtig. Es werden nicht die Verluste berücksichtigt, welche beim Wärmedurchgang Dampf-Rohr-Wasser immer auftreten. Der sogenannte K-Wert berücksichtigt diesen Verlust. Der K-Wert hängt vom Werkstoff der WT- Rohre, von den Strömungsverhältnissen im WT und auch von der Sauberkeit der Heizfläche der WT- Rohre ab.

$Q = K \cdot A \cdot (T_1 - T_2)$ (nur informativ, für unsere Zwecke genügt die obere Formel)



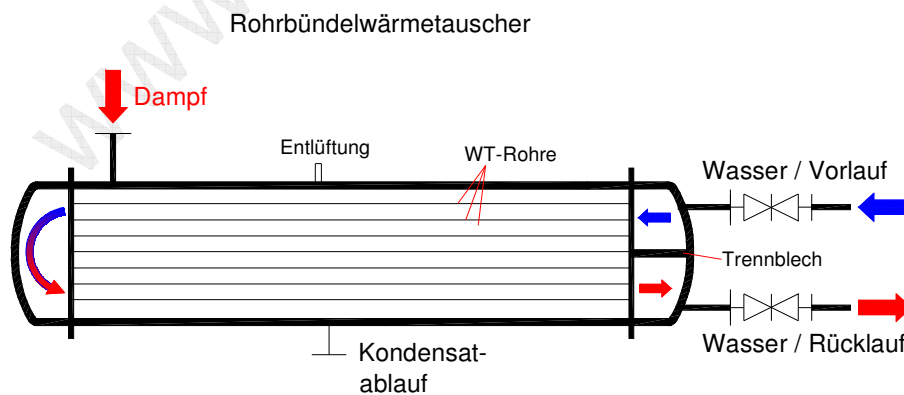
Temperaturverlauf in einer Rohrleitung



Generell ist eine Wärmeübertragung mit Hilfe eines Wärmetauschers nie verlustfrei. Will man eine verlustfreie Wärmeübertragung erreichen, so geht dies nur durch Mischen. Um eine höhere Wassertemperatur zu erreichen, könnte man z. B. heißes Kondensat mit dem zu erwärmenden kalten Wasser mischen. Eine Art Mischen ist auch, wenn Dampf mit Hilfe von Düsen in kaltes Wasser eingedüst wird, um dieses zu erwärmen. (siehe Kapitel Wasser erwärmen) Dabei werden die Düsen nur verwendet, um die Grenzfläche zwischen dem Dampf und dem Kondensat möglichst klein zu halten. Große Dampfblasen ziehen große „Dampfschläge“ nach sich.

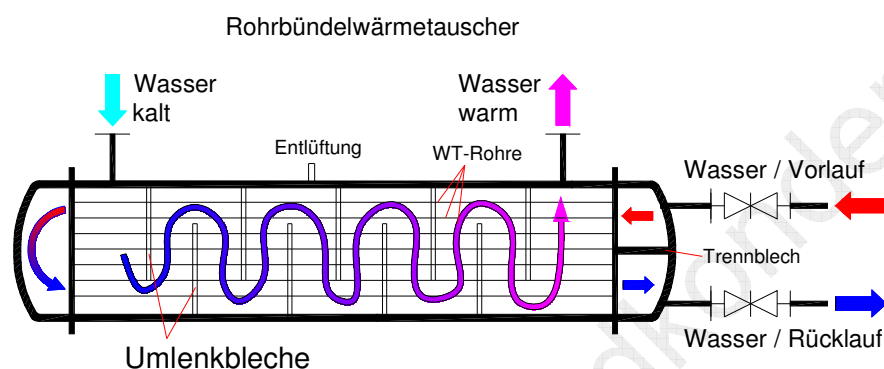
Aufbau eines Wärmetauschers

Die wohl am meisten verwendeten Wärmetauscher (WT) sind Rohrbündel-WT und Platten-WT. Das Prinzip ist immer gleich. Das Heizmedium Kondensat oder Dampf durchströmt den Wärmetauscher und gibt die gespeicherte Wärme ab. Entscheidend für die Konstruktion eines WT ist das Volumen der strömenden Medien. Luft hat z. B. eine kleinere Dichte als Kondensat. Deshalb ist das Volumen von Luft sehr viel größer. Eine Tonne Kondensat passt in einen Behälter mit den Abmaßen 1m x 1m x 1m. Eine Tonne Luft ist bei Atmosphärendruck aber so groß wie ein Bürogebäude. Daraus ergeben sich bei Luft-WT viel größere Strömungsquerschnitte.



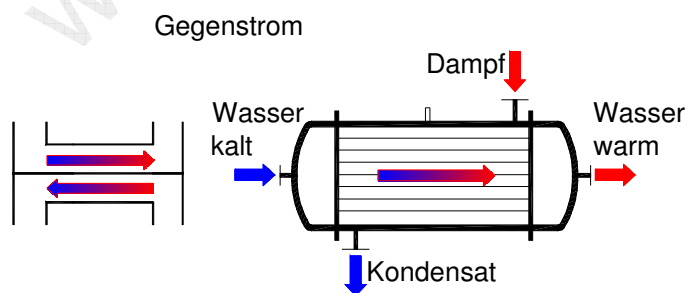
Nun soll die vorhandene strömende Wärmemenge möglichst effektiv zum Erwärmen des Wassers oder der Luft genutzt werden. Wenn man schon einen Wärmetauscher kauft und z.B. das Kondensat dort hin pumpt, so soll nach Möglichkeit auch die gesamte zur Verfügung stehende Wärmemenge verwertet werden. Deshalb sind weitere konstruktive Details notwendig.

Die Umlenkmale: Durch die Umlenkungen wird der Dampf, die Luft oder das Kondensat und das Wasser dazu gezwungen, die WT-Rohre mehrfach zu umströmen. Dadurch strömt das Heizmedium nicht auf den direkten (schnellsten) Weg zum Stutzen für den Austritt. Die Umlenkmale bewirken auch eine höhere Turbulenz an den WT-Rohren. **Je größer die Turbulenz der Strömung, desto besser ist der Wärmeübergang.** Auf Grund des entstehenden Druckverlustes kann aber nur eine begrenzte Anzahl von Umlenkmale montiert werden.

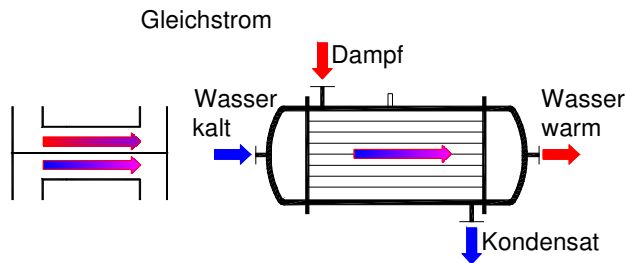


Kreuz und Quer im Wärmetauscher: Die Umlenkbleche sollen Turbulenz erzeugen und den Wärmeübergang verbessern. Das Maß der Wärmeübertragung ist auch von der Richtung der Strömungen im Wärmetauscher abhängig.

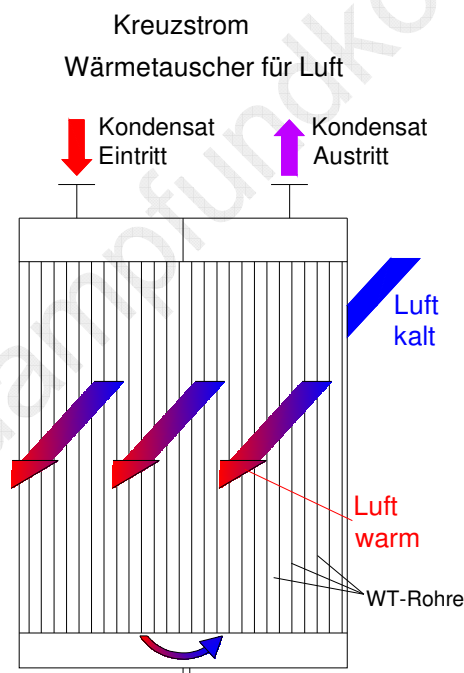
Gegenstrom: Beim Gegenstrom soll im Wärmetauscher erreicht werden, dass sich z.B. das Wasser auf die Temperatur des Dampfes erwärmt und der Dampf dadurch kondensiert und sich auf die Temperatur des Wassers abkühlt. **D.h. bei verlustfreier Wärmeübertragung (die es bei WT nicht gibt) hätte das Wasser am Austritt des Wärmetauschers genau die gleiche Temperatur wie der Dampf am Eintritt in den Wärmetauscher.**



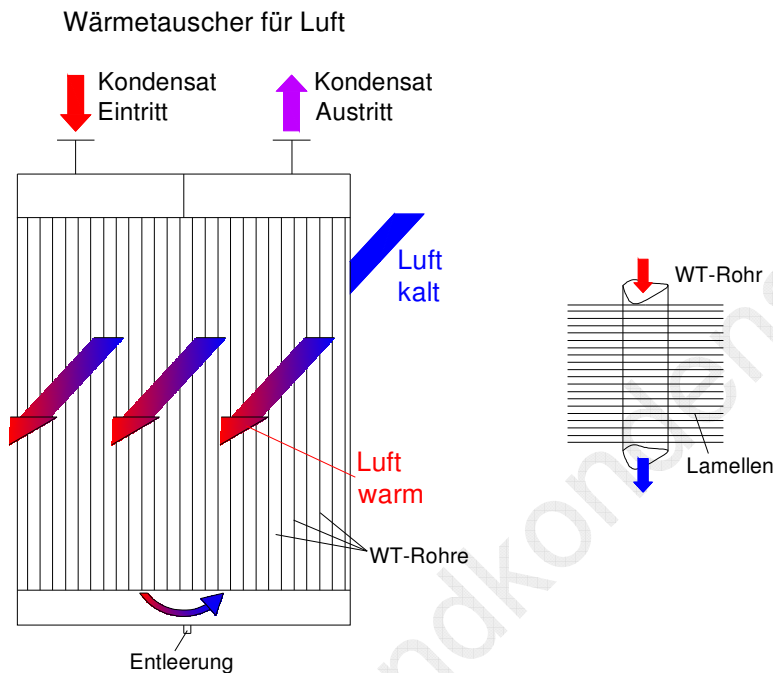
Gleichstrom: Beim Gleichstrom strömen die beiden Medien in die gleiche Richtung. Das Heizmedium Dampf kondensiert unter Wärmeabgabe und das Wasser wird erwärmt. Am Austritt des Wärmetauschers besitzen das Kondensat und das Wasser die gleiche Temperatur. **Diese Temperatur liegt zwischen den Temperaturen, welche am Eintritt in den Wärmetauscher vorlagen.**



Kreuzstrom: Wie die Bezeichnung schon ausdrückt kreuzen sich die beiden Ströme.



Oberflächenvergrößerung der WT-Rohre: Bei Wärmetauscher z.B. zur Erwärmung von Luft, werden oftmals Lammellenrohre zur Oberflächenvergrößerung verwendet. **Je größer die Fläche der Wärmeübertragung ist umso besser.** Durch die Lammellenrohre wird auch die Turbulenz der strömenden Luft erhöht. Dies verbessert den Prozess der Wärmeübertragung ebenfalls.



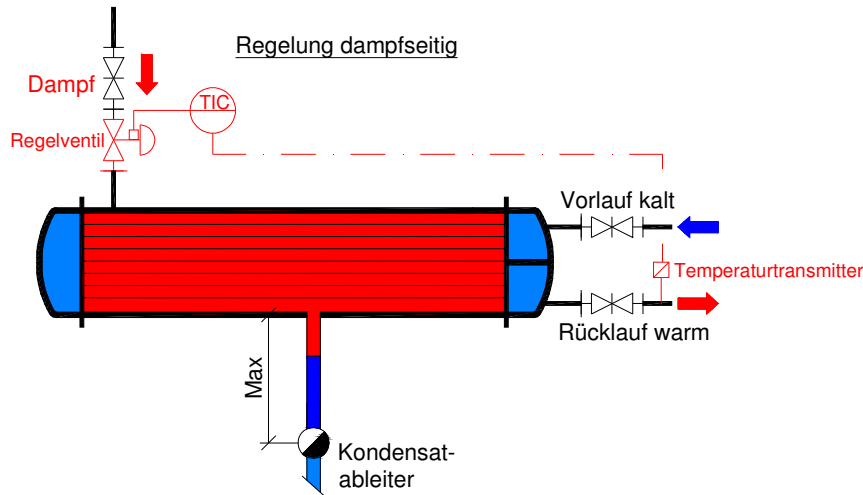
Regelung eines Wärmetauschers

Auf Grund der Konstruktion eines Wärmetauschers (WT) ergeben sich auch die Möglichkeiten einer Regelung, nämlich die Anordnung eines Regelventils vor oder hinter einem Wärmetauscher. Bei einem WT, welcher mit Dampf beheizt wird, spricht man dann auch von der dampfseitigen bzw. kondensatseitigen Regelung.

Die dampfseitige Regelung

hat gegenüber der kondensatseitigen Regelung Nachteile. Das Regelventil ist den höheren Dampftemperaturen ausgesetzt, welche am Stellungsregler oder am Antrieb zu schnelleren Verschleiß führen könnten. (siehe Kapitel Regelventile)

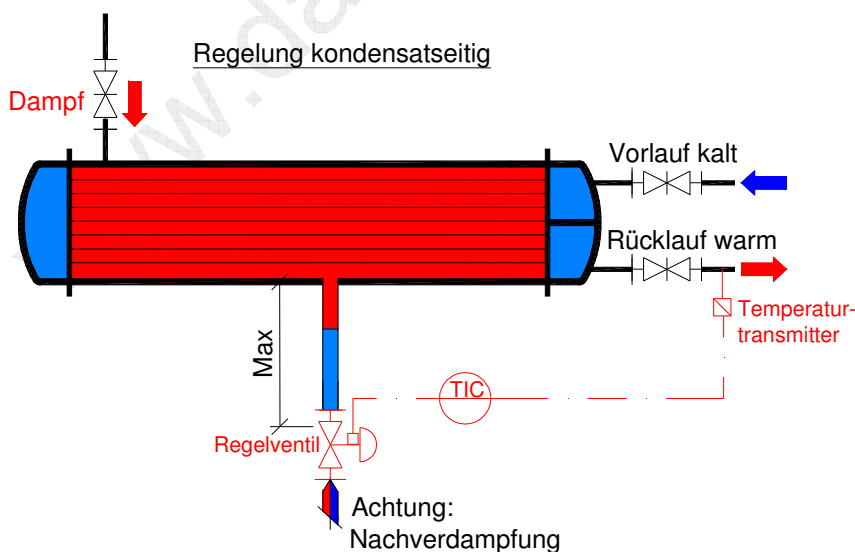
Das Regelventil funktioniert immer auch als Druckreduzierung. (siehe Kapitel Regelventile) D.h. an einem Regelventil entsteht ein Druckverlust. Dadurch verringert sich der Dampfdruck hinter dem Regelventil je nach Regelventilauslegung um ca. 0,1 bar bis 1,0 bar. Wie im Kapitel „Dampf und Druck“ beschrieben, verringert sich dann also auch die Temperatur, die zur Beheizung zur Verfügung steht.



Die kondensatseitige Regelung

hat nicht nur Vorteile gegenüber der dampfseitigen Regelung. Generell kann ein kleineres, kostengünstigeres Regelventil eingesetzt werden, da Kondensat durch die Armatur strömt. Kondensat hat ein viel kleineres Volumen als der Dampf. (siehe Kapitel „Dampf und Druck“) Auch sind auf der Kondensatseite die Temperaturen nicht mehr so hoch, welches sich sicherlich positiv auf den Verschleiß am Regelventil auswirkt.

Problematisch könnte der Rückstau des Kondensats bis in den WT hinein werden. Der Rückstau ist hinsichtlich einer optimalen Energieverwertung besser, als wenn das Kondensat sofort abläuft. Die sich im Kondensat befindende Restwärme wird so noch ausgenutzt. Durch das Kondensat wird aber auch Wärmetauscherfläche verschwendet. D.h., da wo das Kondensat die WT-Rohre umströmt, ist der Wärmeübergang schlechter, als wenn die WT-Rohre direkt mit dem Dampf in Berührung kommen.



Es besteht aber auch die Gefahr der „Dampfschläge“, weil relativ kühles Kondensat auf in den WT nachströmenden heißeren Dampf trifft. (siehe Kapitel „Kondensatableiter“)

Bei bestimmten Druckverhältnissen, kann es im Ventilsitz des Regelventils auch zu einer Nachverdampfung kommen. (siehe Kapitel „Nachverdampfung“) Wird der WT mit Dampf von 5 barü (158°C) beheizt und herrscht hinter dem Regelventil ein Druck von 1 barü, so entstehen ca. 10% Nachverdampfung. D.h., aus 10 t/h Kondensat entsteht 1 t/h Dampf. (und es bleiben noch 9 t/h Kondensat übrig) Wird dies nicht beachtet und bei der Auslegung des Regelventils werden nur die 10 t/h Kondensat berücksichtigt, funktioniert der gesamte WT nicht. Das Regelventil ist dann zu klein und das Kondensat fließt dadurch nicht schnell genug aus dem WT ab. Die gleiche Nachverdampfung würde aber auch hinter einem Kondensatableiter bei der dampfseitigen Regelung entstehen und müsste bei der Rohrleitungsdimensionierung beachtet werden.

Für welche Regelung soll man sich nun entscheiden? Der Verfasser würde die dampfseitige Regelung bevorzugen...

Übrigens: Steht genügend Kondensat mit entsprechender Temperatur zur Verfügung, so sollte auch das Kondensat an Stelle von Dampf als Energiesparmaßnahme genutzt werden. Auf Grund der unterschiedlichen Wärmekapazitäten von Dampf und Kondensat muss, um die gleiche Menge an Wasser zu erwärmen, eine fast vierfache Menge an Kondensat zum Einsatz kommen.

Nachteil bei der Verwendung von Kondensat ist, dass dieses nicht, wie der Dampf, „alleine“ zum Wärmetauscher strömt, sondern eventuell mit zusätzlicher Gerätetechnik gepumpt werden muss.

Der Betreiber einer Dampf- und Kondensatanlage wird in den seltensten Fällen einen Wärmetauscher selber konstruieren. Das überlässt man einem Hersteller. So viele Anwendungsfälle es gibt, so viele verschiedene Wärmetauscher sind möglich. Für das allgemeine Verständnis sind die Ausführungen zum grundlegenden Aufbau eines WT aber unerlässlich.