

# WIRTSCHAFTLICHER BELÜFTEN

Dipl.-Ing. U. Heeren, Düsseldorf

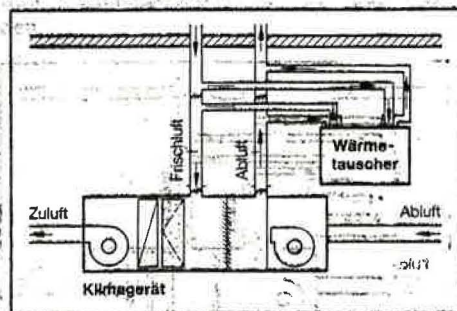
Zu dem heutigen Standard eines jeden neuerrichteten Gebäudes, sei es gewerblich oder privat genutzt, gehört ein Be- bzw. Entlüftungssystem, nicht zuletzt deshalb, weil durch Wärmedämmung die natürliche Konvektion weitgehend eingeschränkt wurde. Dieser Komfort wird heute allerdings immer noch zu hoch bezahlt. Grund hierfür sind nicht etwa die Kosten für die Anschaffung eines solchen Systems, sondern vielmehr die Betriebsfolgekosten.

Betrachtet man das Gebäude als energetisch geschlossenes System, so wird deutlich, daß hier Luftmengen unterschiedlicher Temperaturen und damit unterschiedlichen Energieinhaltes die Systemgrenzen überschreiten. Gemeint ist hier in erster Linie die Fortluft, die beim Verlassen des Systems Energie mit sich führt. Die Frischluft tritt im Normalfall mit einem geringeren Energiegehalt wieder in das System ein, daraus folgt, daß der Frischluft der gleiche Betrag an Energie wiederzugeführt werden muß, den die Fortluft abführte, um die Systemtemperatur konstant zu halten.

Die erforderliche Energie wird durch sogenannte Nachheizregister, die dem Klima- bzw. Lüftungsgesetz nachgeschaltet sind oder durch Raumheizungen in die Frischluft eingebracht. Üblich sind Nachheizregister, die heute zum Teil mit Elektrizität arbeiten, also mit einer hochwertigen Energieform, während die benötigte Wärme eine minderwertige Energieform darstellt. Zum Wirtschaftlichen kommt hier aus noch über ökologische Gesichtspunkt hinzu, der gerade in der heutigen Energiesituation nicht unterbewertet werden darf.

Entzieht man allerdings der Fortluft die in ihr enthaltene Energie und überträgt sie auf die Frischluft, so ist der Bedarf an zusätzlicher Energie gering zu halten, bzw. bei gleichem Energiebedarf die Austauschluftmenge um das 3- bis 4fache zu steigern!

Auch in der Klimatechnik wird der Energieeinsparung heute mehr Beachtung geschenkt. So ist es denn auch nicht verwunderlich, daß gerade hier Forschungen und Weiterentwicklungen betrieben werden.



Nachschtaltung eines Wärmetauschers

## Möglichkeiten zur Wärmerückgewinnung

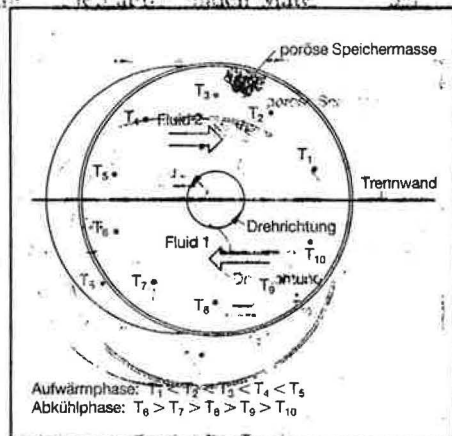
Grundsätzlich gibt es zwei Prinzipien der Wärmerückgewinnung, die regenerative und die rekuperative Wärmerückgewinnung.

Regeneratoren arbeiten mit einer Speichermasse, die wechselnd von der Fortluft und der Frischluft durchströmt wird, wobei es zu einem Wärme- und Stoffaustausch kommt.

Eine Weiterentwicklung sind die kontinuierlich arbeitenden Rotationstauscher.

Folgende Nachteile weist dieses Prinzip auf: Zum einen ist der auftretende Stoffaustausch unter Umständen unerwünscht, da Geruchs- und Schadstoffe in den Raum zurückgelangen können. Zum anderen ist der Wärmeaustausch verfahrenstechnisch nicht ideal.

Deutlich wird diese Aussage bei der Betrachtung einer üblichen Bauform und der im Betrieb auftretenden Materialtemperaturen. Gemessen an der Lufttemperatur sind die



Regenerativer Wärmetauscher

Weiter wurde eine kostengünstige Kunststoffolie mit besonderer Struktur (strömungstechnische Besonderheit) als Tauschermaterial verwendet. Der Einsatz von Kunststoff ist durch die ohnehin schlechten Wärmeübergangswerte von Luft an ebenen Wänden (8-80 W/(m²·K)), die den k-Wert bestimmen, gerechtfertigt. Der k-Wert eines Tauschers ist folgendermaßen definiert:

$$1/k \approx 1/\alpha_1 + s/\lambda + 1/\alpha_2$$

Betrachtet man die k-Werte verschiedener Materialien bei gleichen  $\alpha$ -Werten der Luft (hier angenommen mit 40 W/(m²·K)), so ergeben sich bei Wandstärken von je 10 mm Werte wie aus Tabelle 1 ersichtlich. Der k-Wert eines Tauschers mit Metallwand

liegt nur ca. 3% über dem des Kunststofftauschers, bei gleichen Wärmeübergangswerten der Luft und gleichen Wandstärken.

Die Höhe des Wärmestroms ist abhängig vom Wärmeübergang (Fluid-Feststoff), der Fläche und der Temperaturdifferenz. Die Temperaturdifferenz zwischen Feststoff und Fluid ist aber an jeder Position des jeweiligen Strömungsquerschnittes unterschiedlich, daraus resultiert eine »Nichtausnutzung« des Energieangebotes der Fortluft.

Rekuperatoren stellen die weitverbreitetste Bauform von Wärmetauschern dar. Es gibt hier grundsätzlich drei Typen, die nach den Fluidführungen bezeichnet wurden:

Den Gleichströmer, in dem die Fluide in gleicher Richtung den Tauscher durchströmen.

Den Kreuzströmer, in dem die Strömungen unter einem Winkel von 90° zueinander geleitet werden.

Den Gegenströmer, in dem die Fluide in entgegengesetzter Richtung den Tauscher durchströmen.

Der Kreuzströmer ist heute in der Klimatechnik der meistverwendete Wärmetauscher, obgleich er je nach Bauform dem Regenerativtauscher nicht überlegen ist.

Um wirklich ein Optimum an Abwärmeausnutzung realisieren zu können, sollte im Gegenstromverfahren gearbeitet werden. In diesem Verfahren läßt sich theoretisch mit der Frischluft sogar die Fortlufttemperatur erreichen. Da hierzu aber unendlich große Tauscherflächen erforderlich sind, muß man an dieser Stelle gewisse Abstriche machen. Realistisch ist aber durchaus ein Gütegrad, bei gleichen Massenströmen und spezifischen Wärmekapazitäten der Fluide, der ca. 80-95% beträgt.

Typische Gegenströmer sind Platten-, Spiral- und Rohrbündelwärmetauscher.

Die Platten- sowie Spiralwärmetauscher bieten die Möglichkeit, relativ große Tauscherflächen bei geringem Bauvolumen bereitzustellen. Der vor etwa 40 Jahren entwickelte Spiraltauscher hat heute allerdings nur einen sehr geringen Bekanntheitsgrad. Sein Aufbau ist wie folgt: Zwei Flächen werden spiralförmig gewickelt und die Stirnwände durch ebene Platten verschlossen.

Tabelle 1: k-Werte verschiedener Stoffe

Material	Aluminium-Leg.	Kupfer-Leg.	Eisen-Leg.	Cr-Ni-Stahl	Glas	PVC
Wärme-Leitwert (W/(m·K))	209	349	52	14	0,72	0,2
k-Wert (W/(m²·K))	19,99	19,99	19,99	19,98	19,83	19,41





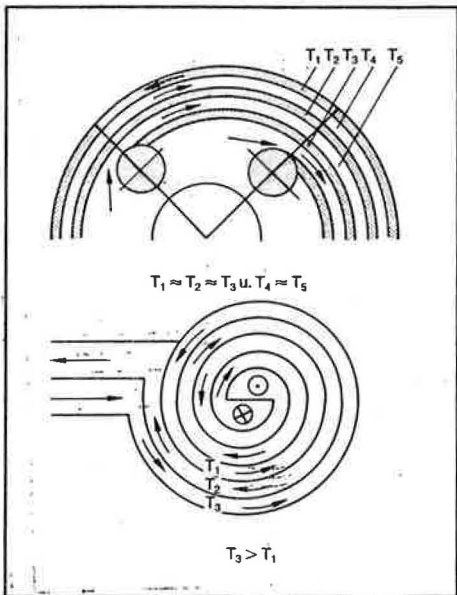
Dadurch entstehen zwei rechteckige Kanäle, durch die später die Fluide geleitet werden (siehe Bild »Gegenüberstellung«).

Dem Einsatz in der Klimatechnik dieser beiden Bauformen steht allerdings der hohe Druckverlust entgegen. Dieser Druckverlust muß durch Ventilatoren überwunden werden, wodurch die anfallenden Betriebskosten den erreichbaren Nutzen überschreiten.

Ergebnis einer Forschungs- und Entwicklungsarbeit<sup>1)</sup> ist ein Mehrkanal-Spiralwärmetauscher, der dem Grundaufbau des einfachen Spiraltauschers entspricht, jedoch ist durch die Mehrkanaligkeit der Druckverlust und der Wärmeübergangskoeffizient den Erfordernissen angepaßt worden.

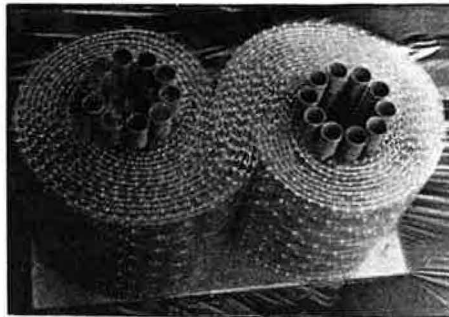
Der dargestellte Mehrkanal-Spiralwärmetauscher besteht aus zehn Einzelkanälen je Strömungsrichtung. Die Vorteile gegenüber dem einfachen Spiraltauscher sind:

- geringere Spaltweiten bei gleichem Volumendurchsatz, dadurch ist ein besserer Wärmeübergang vom Fluid zur Wand möglich, bei geringeren Turbulenzen,
- die Lauflängen der Fluide sind über die Kanäle betrachtet annähernd gleich, so daß immer die gleiche Wärmemenge in den kälteren Fluidstrom von beiden Seiten eingebracht werden kann.



Gegenüberstellung: Mehrkanal-Einkanal-Spiralwärmetauscher im Gegenstromverfahren

Verdeutlicht wird dieser Unterschied durch obige Darstellung. Der Volumendurchsatz bei gleicher Spaltgeschwindigkeit kann, durch Erhöhen der Kanalanzahl, dem jeweiligen Bedarf angepaßt werden, ohne daß die Spaltquerschnitte verändert werden müssen. Es ergeben sich somit gleiche Effektivitäten bei verschiedenen Bauformen.



Gewickelter Zehnkanaal-Spiralwärmetauscher ohne Gehäuse

Die Abdichtung der Kanäle ist je nach Einsatz und der daraus resultierenden Verschmutzungswahrscheinlichkeit variabel. Für den Einsatz in der Klimatechnik eignet sich der Tauscher in der beidseitig-vergossenen Bauform, da durch einfache Filter der Verschmutzungsgrad vernachlässigbar klein wird. Für besonders große Verschmutzungsgrade trotz Filter (z. B. Flugasche) kann der Tauscher auch mit abnehmbarer Deckplatte versehen werden, wodurch eine evtl. Reinigung problemlos vorgenommen werden kann.

**Vergleich der auf dem Markt angebotenen Systeme**

Eine Gegenüberstellung, der heute auf dem Markt angebotenen Tauschersysteme, ist nur prinzipiell möglich, da die Hersteller von Wärmerückgewinnungssystemen oft sehr überhöhte oder gar »unrealistische« Angaben über den Gütegrad machen, ohne Bezug auf die bei der Ermittlung herrschenden Randbedingungen, wie z. B. Temperaturdifferenz, Medium, sowie dessen Zustandsgrößen usw.

Aus den oben genannten Gründen wird hier auf Gütegradbereiche verwiesen, die der Literatur entnommen sind, und sich auf zumindest gleiche Massenströme der verwendeten Fluide beziehen.

Tabelle 2: Wirkungsgrade

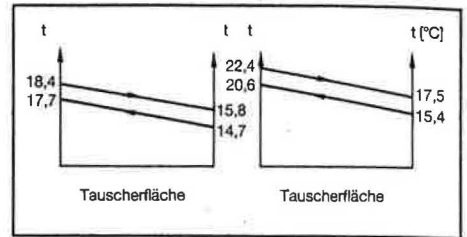
Wärmerückgewinner	Gütegrad in %
Rotationstauscher	50 bis 70
Plattenkreuzströmer	50 bis 70
Rohrrippentauscher mit Flüssigkeitsumlauf	35 bis 50
Wärmerohr (heat-pipe)	30 bis 50
Gegenströmer	50 bis 85

Der vorgestellte Mehrkanal-Spiralwärmetauscher ist ein echter Gegenströmer und hat auf dem Prüfstand sowie im realen Einsatz mit einem Gütegrad von 85 % bei gleichen Massenströmen der Fort- bzw. Frischluft und Temperaturdifferenzen von 4 bis 16 Kelvin auf seine Effizienz bzw. die Effizienz des Gegenstromverfahrens erwiesen.

Die Darstellungen der im Versuch ermittelten Rückwärmtemperaturen zeigen, daß selbst bei sehr geringen Temperaturdifferenzen hohe Einsparungen möglich sind.

**Wirtschaftlichkeitsbetrachtung**

Die Wirtschaftlichkeit eines Wärmerückgewinnungssystems, gerade in der Klimatechnik, steht und fällt mit der Höhe der Zins-(Anschaffungs-) und Betriebskosten. Betrachtet man z. B. ein Gebäude mit 200 m<sup>2</sup> Grundfläche, einer Raumhöhe von 2,5 m und einer erforderlichen Luftwechselzahl von 3, so müßten stündlich 1500 m<sup>3</sup> Luft ausgetauscht werden.



Gemessene Temperaturen

Bei einer 15stündigen Betriebszeit pro Tag, 250 Tagen pro Jahr und einer mittleren Temperaturdifferenz zwischen Innenraum und Umgebung von 18 Kelvin, muß ein Wärmebedarf von 34835,9 kWh/a aufgebracht werden. Setzt man den Bereitstellungspreis für diese Energiemenge mit durchschnittlich 0,13 DM/kWh an, so lassen sich bei Verwendung eines Systems zur Wärmerückgewinnung (Gütegrad 80 %) 3622,93 DM/a einsparen. Dieser Betrag ist noch um die Betriebskosten und die Zinslast zu verringern.

Auf das obige Rechenbeispiel bezogen, kann der Mehrkanal-Kunststoff-Spiralwärmetauscher mit einer Amortisationszeit von bis zu drei Jahren schon in relativ geringer Zeit sich selbst, sozusagen regenerativ, bezahlt machen.

Bei Neuinstallationen kann durch die hohen Einsparungsmöglichkeiten eines solchen Wärmerückgewinnungssystems von vornherein die erforderliche Heizleistung im Winterbetrieb sowie die Kälteleistung im Sommerbetrieb reduziert werden. Die Gesamteinsparungen können dadurch so hoch sein, daß der Tauscher schon am Tage nach der Inbetriebnahme als amortisiert betrachtet werden kann.

Zu erwähnen ist in diesem Zusammenhang noch, daß der Wärmetauscher durch frühes Ansprechen sogar bei extrem geringen Temperaturdifferenzen im Sommer nutzbringend eingesetzt werden kann, indem er zur »Kühlhaltung« des Gebäudes eingesetzt wird. Die kalte Fortluft entzieht hierbei der warmen Frischluft einen Teil der in ihr enthaltenen Energie und vermindert so die erforderliche Kälteleistung eines Klimagerätes. Durch diese Anwendung kann der Jahresnutzungsgrad enorm verbessert und die Amortisationszeit verkürzt werden.

<sup>1)</sup> Forschungsvorhaben des Landes Niedersachsen, initiiert durch Firma P. Grote Energietechnik, Oldenburg. (Eine Weiterentwicklung des Spiraltauschers in Zusammenarbeit mit der Fachhochschule Wilhelmshaven)