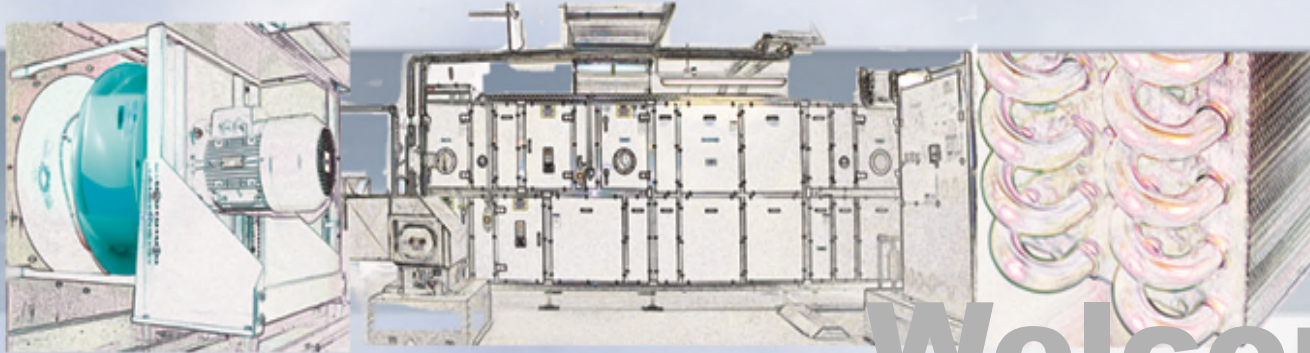


Willkommen



Welcome

Bienvenue

Raumlufttechnik WRG-Systeme

Energierückgewinnung und Energieeffizienz-
technologien in der Lüftungstechnik

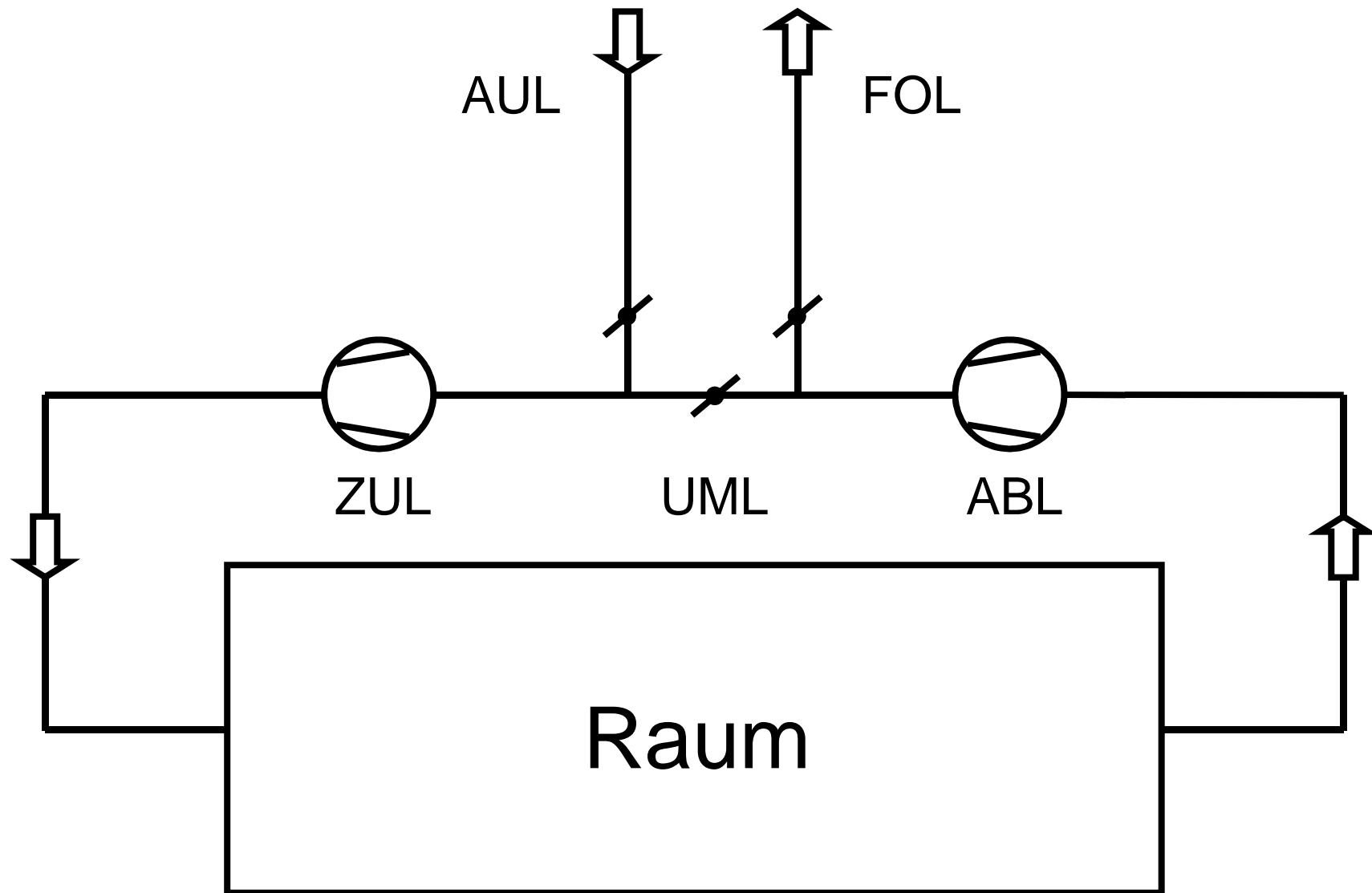
Prof. Dr.-Ing. Dr. Christoph Kaup

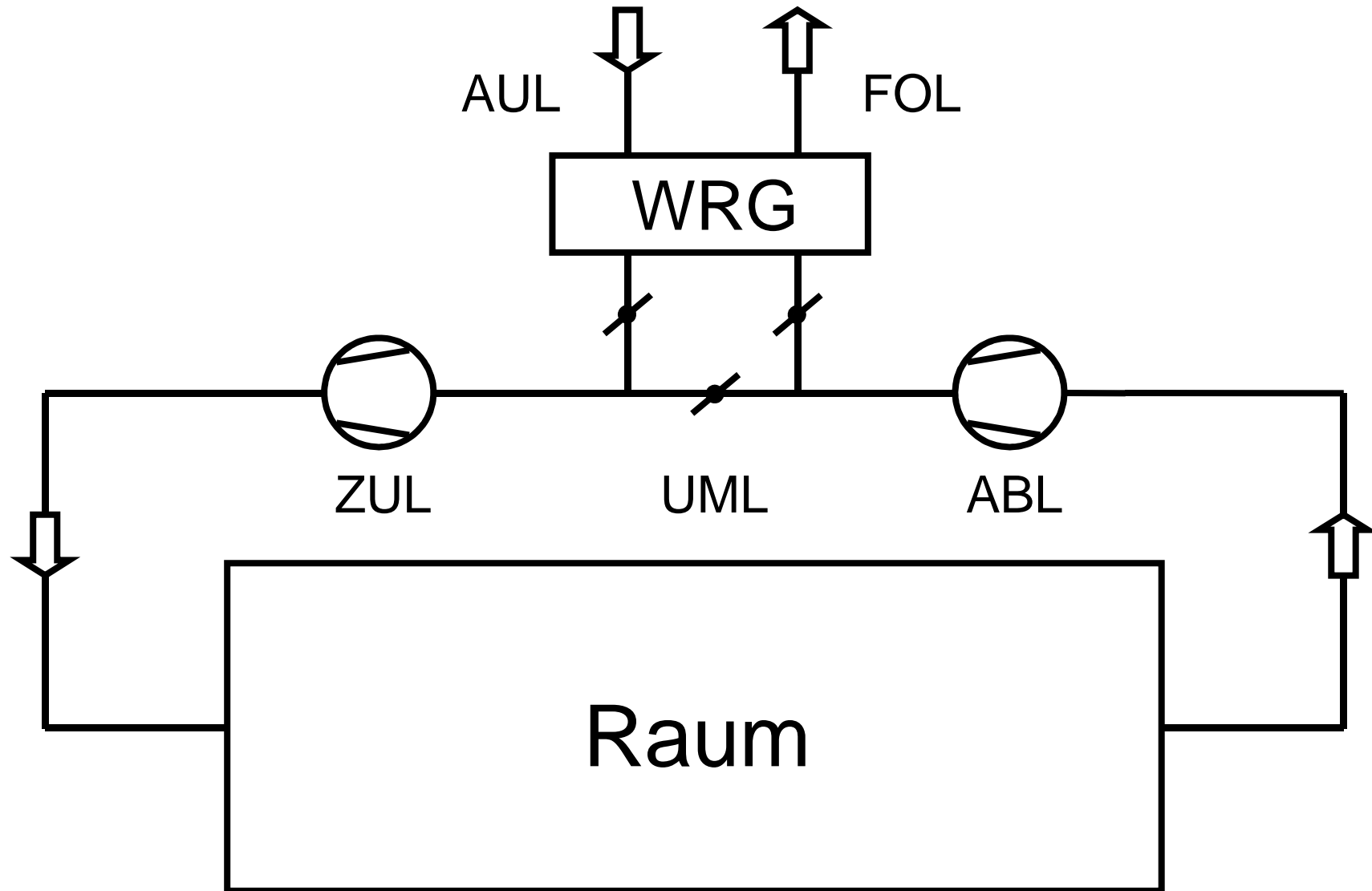
c.kaup@umwelt-campus.de



Umwelt-Campus
Birkenfeld

H O C H
S C H U L E
T R I E R





Wärmerückgewinnung

Wärmerückgewinnung (WRG) ist ein Sammelbegriff für Verfahren zur **Wiedernutzbarmachung** von **thermischer Energie** in einem Prozess mit mindestens zwei **Massenströmen** die **unterschiedliche Temperaturniveaus** besitzen.

Ziel der **Wärmerückgewinnung** ist die **Minimierung** des **Primärenergiebedarfs**.

Wärmerückgewinnung ist damit die **Nutzung** der **ENTHALPIE** eines **Fortluft- oder Außenluftstromes** (Wärme oder Kälte) in Verbindung mit einem **WRG-System**.

WRG ist die **Wärmeübertragung** von **Fort- und Außenluftströmen** in Lüftungstechnischen Prozessen.

Dabei wird die zurück gewonnene Wärme entweder dem **Ursprungsprozess** oder einem **anderen Prozess** zugeführt.

Wärmerückgewinnung

Mit heute verfügbaren Technologien können **50 - 85 %** des gegenwärtigen **Energiebedarfs** im **Gebäudebereich** kostengünstig eingespart werden.

Das entspricht einem **Energiebedarf** von bis zu **840 TWh**
($840 \cdot 10^{12}$ Wh)

Der verbleibende Energiebedarf lässt sich mit erneuerbaren Energien decken.

In Kombination von **Energieeffizienztechniken** und **solaren Energien** können **Niedrig-Energie-Gebäude** entstehen, die im Jahr mehr Energie erzeugen als sie verbrauchen.

Einteilung der Systeme nach EN 308

Ohne äußere Energiezufuhr

Kategorie I Rekuperatoren

Kategorie II Wärmeübertrager mit zwischengeschaltetem
Wärmeübertragermittel

Kat. IIa ohne Phasenänderung

Kat. IIb mit Phasenänderung

Kategorie III Wärmeübertrager mit wärmespeichernder Masse

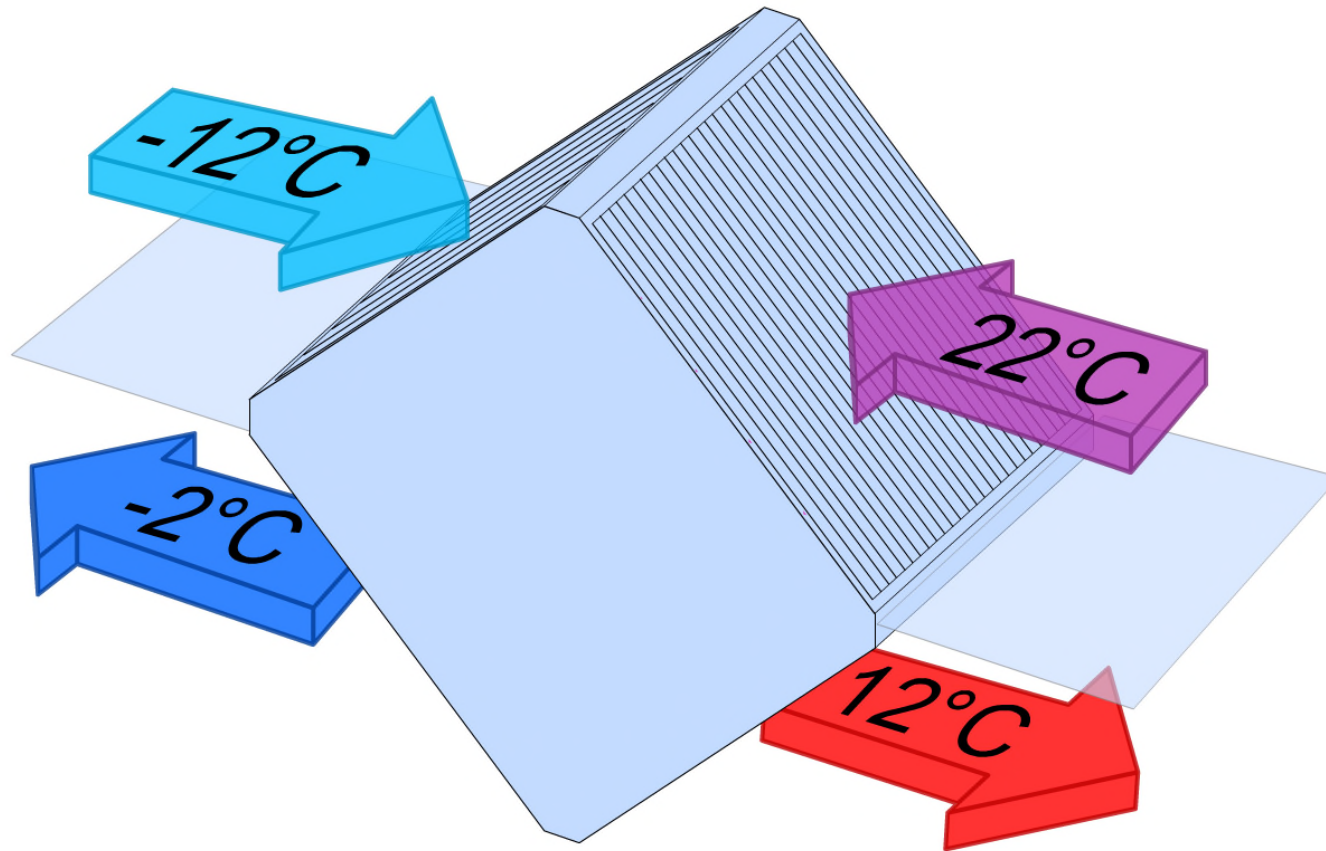
Kat. IIIa nicht hygroskopisch

Kat. IIIb hygroskopisch

Mit äußere Energiezufuhr

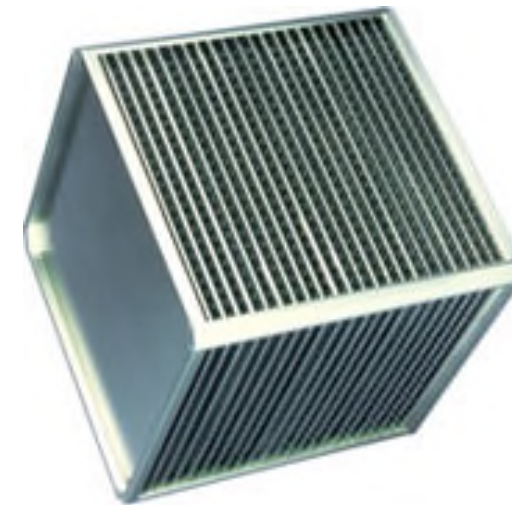
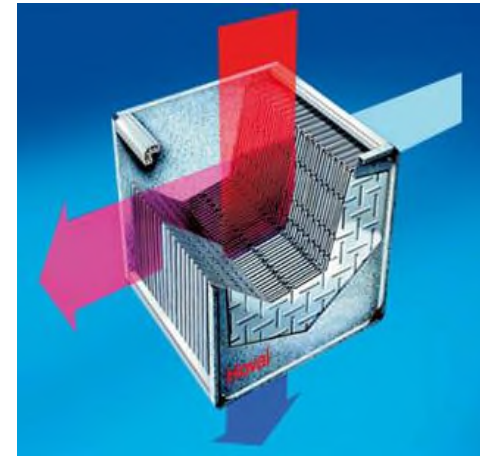
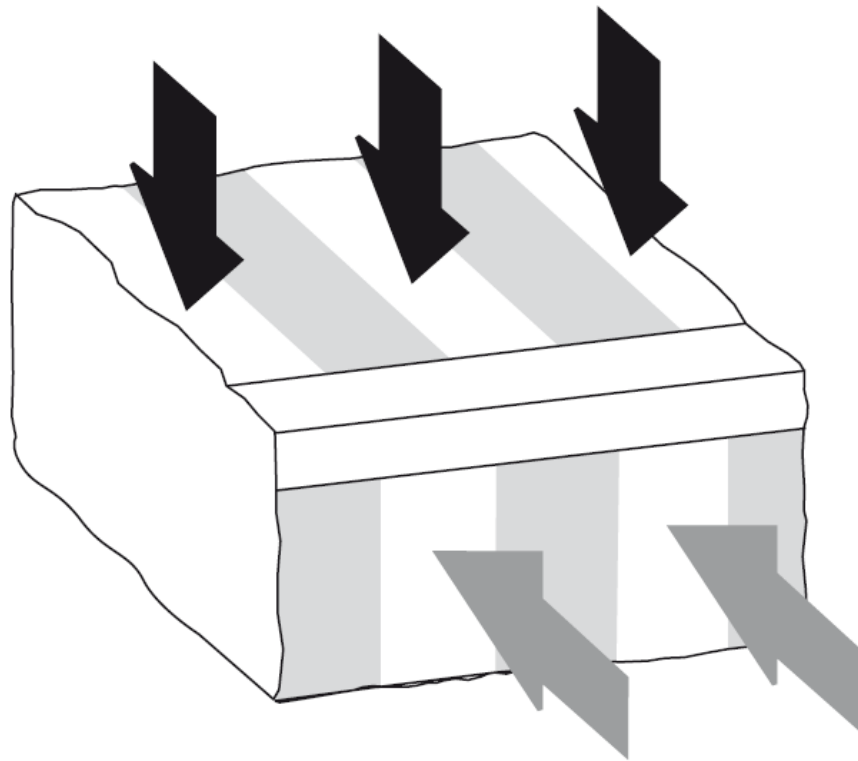
Wärmepumpensysteme

Plattenwärmeübertrager



Quelle Klingenburg

Plattenwärmeübertrager



Quelle Hoval

Planungs- und Betriebshinweise

Ein Stoffaustausch zwischen den Luftströmen findet nicht statt.

Eine **Leckage** zwischen den beiden Luftströmen ist möglich und kann durch besondere **Abdichtungsmaßnahmen** deutlich reduziert werden. **Gasdichte Sonderausführungen** sind ebenfalls möglich.

Eine **Zusammenführung der Luftströme** der Anlage ist notwendig.

Die Materialwahl erfolgt entsprechend der Anforderungen in Bezug auf Statik, Wärmeaustausch, Korrosion und Verschmutzung.

Leckage

Komponenten der Lüftungstechnik sind nie 100%-ig luftdicht. Das ist von der Funktion her meist nicht nötig und wäre auch sehr aufwändig. Für den praktischen Betrieb muss die Leckage aber in technisch vertretbaren Grenzen bleiben.

Zwei Arten von Undichtigkeiten sind zu unterscheiden:

Leckage **außen (extern)**

Leckage **zwischen Zu- und Abluft (intern)**

Leckage

Die **Abdichtung außen** ist vor allem eine Frage der **Montagequalität**.

Die **interne Leckage** hängt in erster Linie vom System und der **Konstruktion** ab.

Messwerte von Leckagen, bezogen auf den Nennvolumenstrom (bei einem Druckverlust von 200 Pa):

externe Leckage : 0.0014 % (bei 400 Pa Differenzdruck)

interne Leckage : 0.0158 % (bei 250 Pa Differenzdruck)



Feuchteübertragung

Beim Plattenwärmeübertragern sind die beiden Luftströme voneinander getrennt; die **Übertragung von Feuchte** ist deshalb **nicht möglich**.

Das ist vor allen Dingen dann vorteilhaft, wenn mit der warmen Abluft Feuchte abtransportiert werden soll, wie z. B. in Schwimmbädern, Trocknungsanlagen usw.

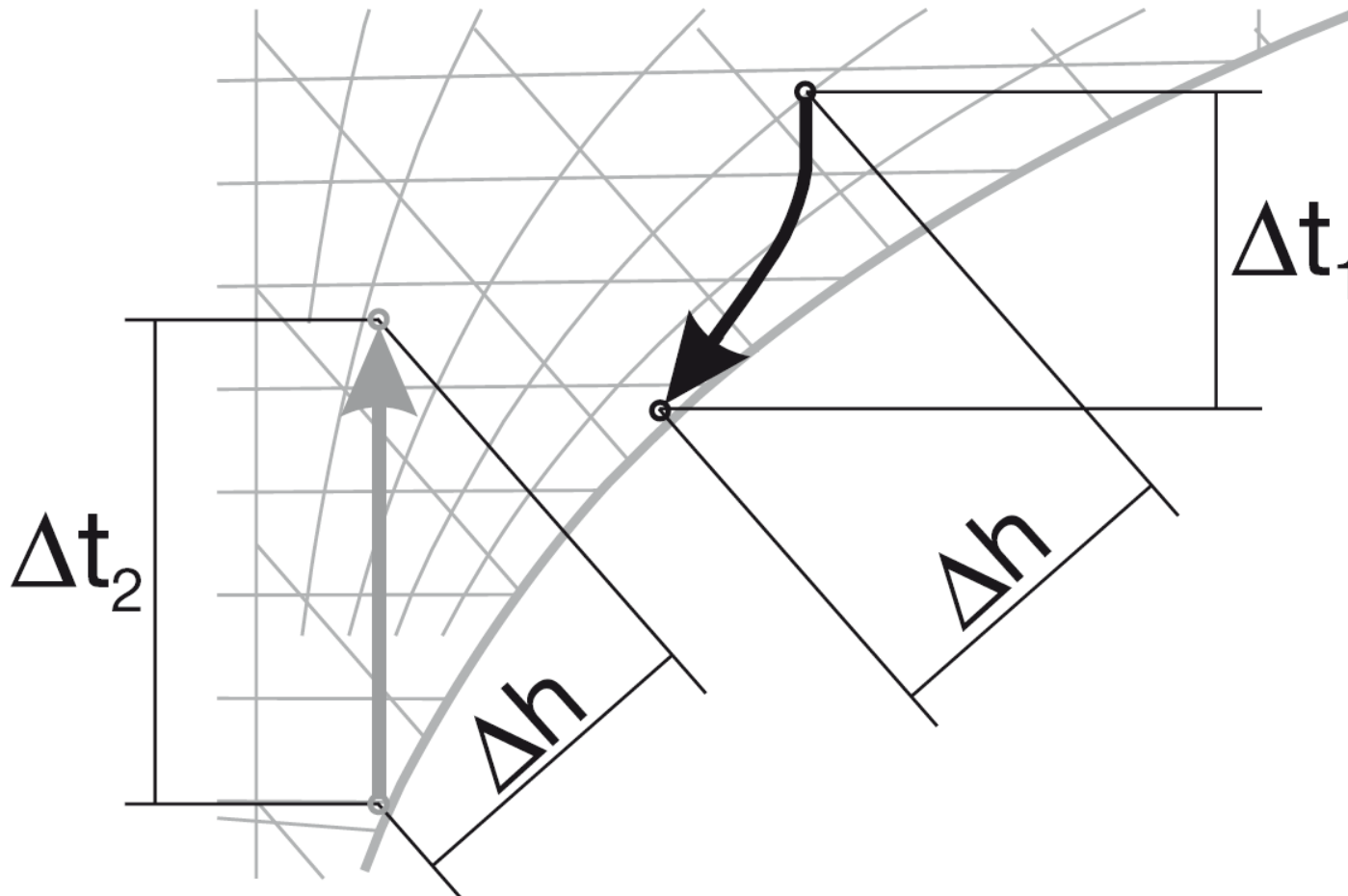
Kondensation

Plattenwärmeübertrager übertragen keine Feuchte, können aber dennoch einen Teil der latenten Wärme feuchter Abluft nutzen.

Bei **tiefen Außentemperaturen**, also dann, wenn hoher Wärmebedarf besteht, wird die Abluft so weit abgekühlt, dass **Kondensat ausfällt**. Dabei wird die **Verdampfungswärme frei**. Diese reduziert das weitere Abkühlen der Abluft, d. h., die **Temperaturdifferenz** zwischen den Luftströmen im Wärmeübertrager **ist größer** als ohne Kondensation.

Auch der **Wärmeübergang ist besser**; die **Rückwärmzahl** wird insgesamt **stark erhöht**.

Der kalte Luftstrom wird stärker erwärmt als der warme abkühlt. Die Enthalpiedifferenz – gleiches Wärmekapazitätenstromverhältnis vorausgesetzt – ist dabei gleich groß.



WRG mit Entfeuchtung

Quelle Hoval

Kondensation

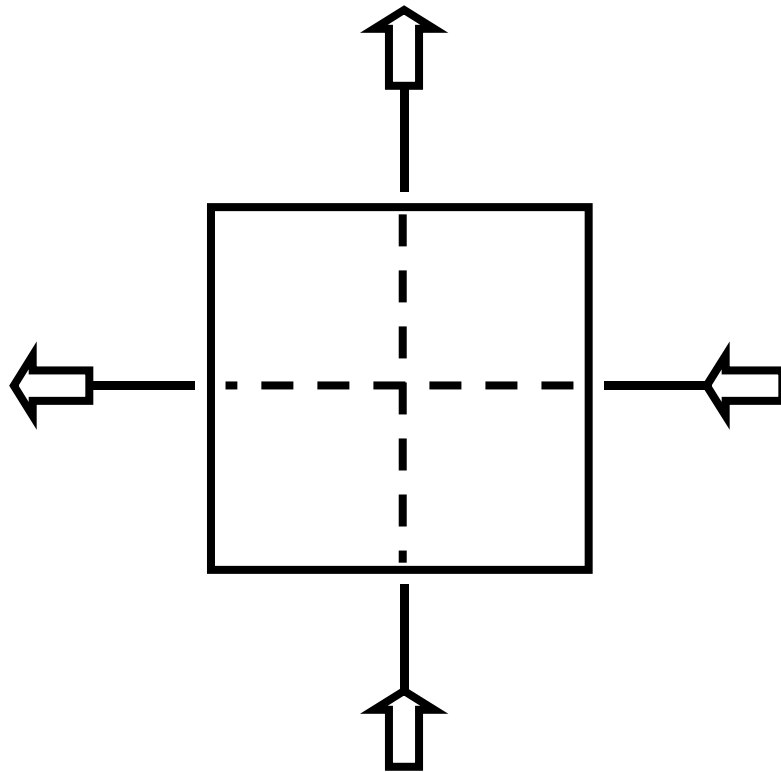
Mit der **Kondensation in der Abluft** ist aber gleichzeitig eine **Verengung des freien Strömungsquerschnittes** und damit eine **Erhöhung des Druckverlustes** verbunden. Es ist deshalb wichtig, dass das Kondensat problemlos ablaufen kann. Das hängt vor allem von der Einbaulage des Wärmeübertragers und von der Form der Platten ab.

Bei **Kondensation** ist die interne und externe **Leckage** des Wärmeübertragers von **besonderer Bedeutung**. Selbst wenn die Leckage nur bei max. 0.1 % der Nennluftleistung liegt, kann das bedeuten, dass pro Stunde bis 3 l Kondensat durchsickern können, in extremen Fällen sogar mehr (abh. vom Differenzdruck).

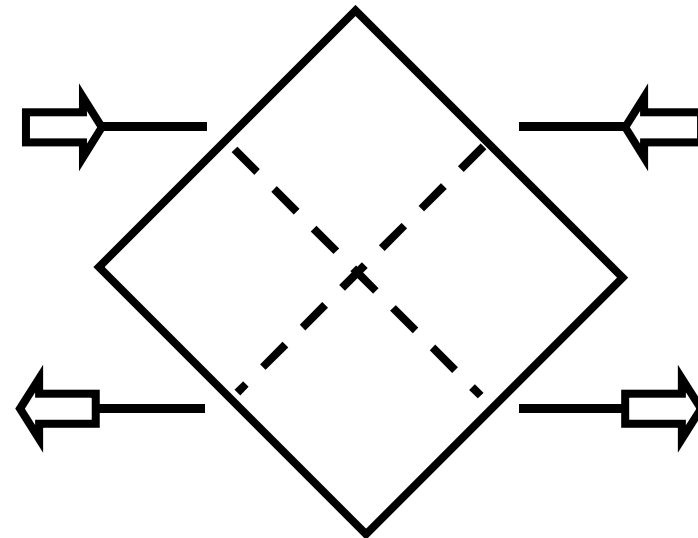
Dies gilt auch für **hybride Befeuchtung** des Wärmeübertragers.

Anordnung Plattenwärmeübertrager

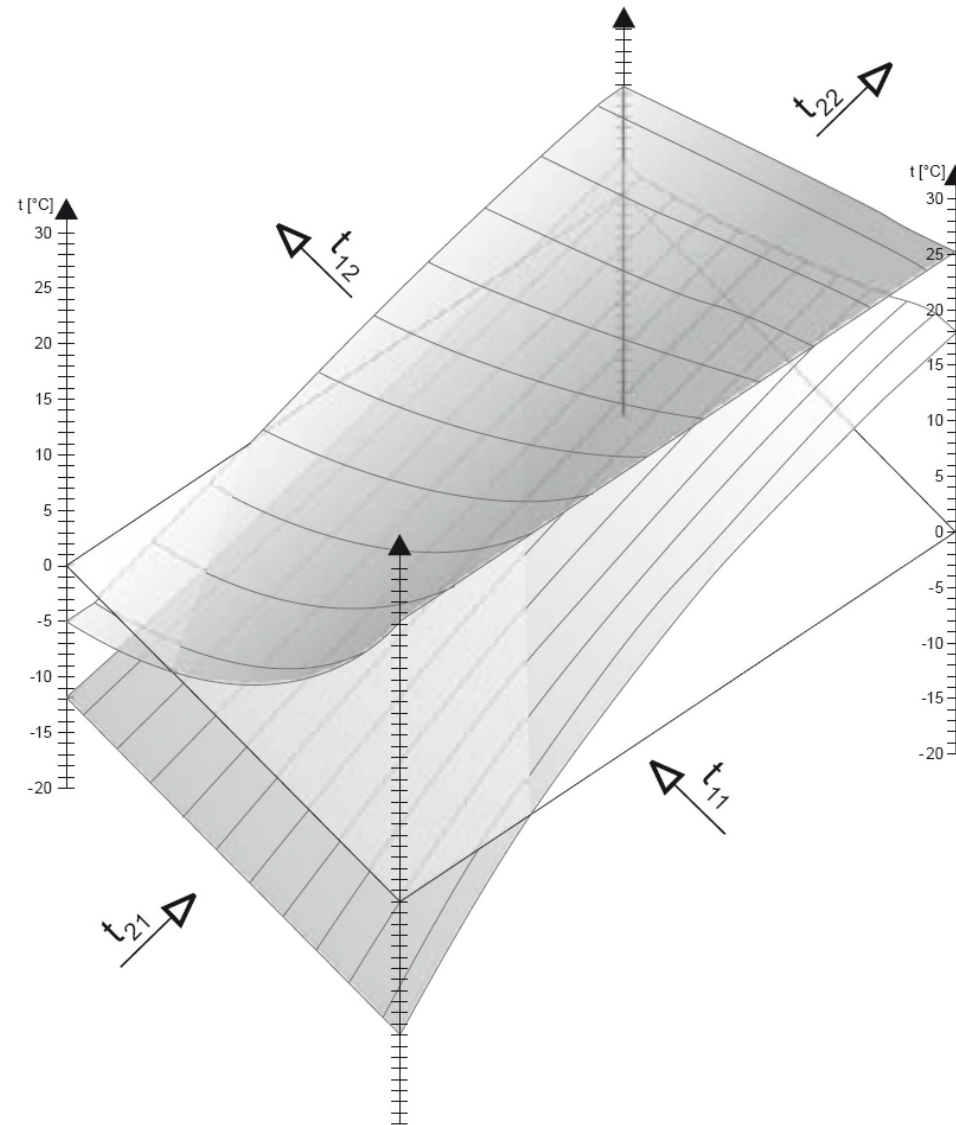
Kreuzstrom



Diagonalstrom



Plattenwärmeübertrager



Kreuzstrom

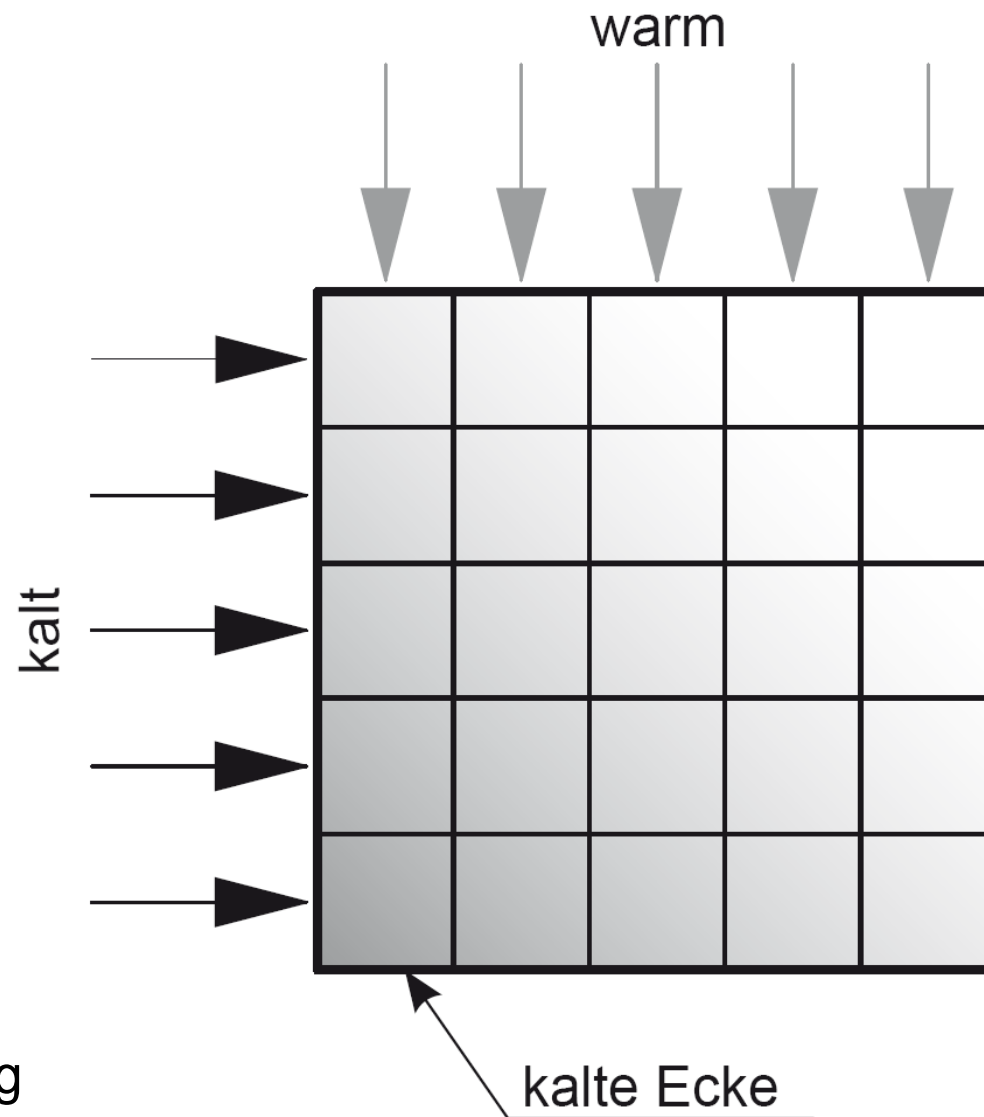
Quelle Hoval

Plattenwärmeübertrager



Umwelt-Campus
Birkenfeld

H O C H
S C H U L E
T R I E R



Vereisung

kalte Ecke

Quelle Hoval

Einfriergrenze

Wird der warme Luftstrom sehr stark abgekühlt, so ist es nicht nur möglich, dass **Kondensat** ausfällt, sondern **gefriert**. Die Kaltlufttemperatur, bei der dies gerade beginnt, wird als 'Einfriergrenze' bezeichnet.

In der Praxis kommt dies selten vor:

- sehr tiefe Temperatur des Kaltluftstromes
- Die Kaltluftmenge ist größer als die Warmluftmenge.
- hohe Effizienz des Übertragers, d. h. hohe Rückwärmzahl
- relativ kleine Kondensatmenge (geringe Luftfeuchtigkeit)

Einfriergrenze

Treffen mehrere dieser Umstände zusammen, so kann der Wärmeübertrager, beginnend an der **kalten Ecke, vereisen**.

Der Plattenwärmeübertrager wird dadurch nicht beschädigt, jedoch **steigt der Druckverlust** entsprechend an oder die Luftmenge nimmt ab.

Die Einfriergrenze muss daher projektbezogen mit berechnet werden und entsprechende Maßnahmen (**Leistungsregelung**) sind vorzusehen (Abtauschaltungen, Bypassregelung).

Für diese Betriebsfälle muss die Nacherhitzerleistung auf die begrenzte Wärmerückgewinnungsleistung ausgelegt werden.

Sofern zuluftseitig wasserführende Komponenten vorhanden sind, ist zu dessen Schutz auch ein luftseitiger Frostschutz vorzusehen.

Differenzdrücke

Man unterscheidet zwischen:

- dem **externen Differenzdruck** (zwischen dem Übertrager und der Umgebung)
- dem **internen Differenzdruck** (zwischen Außenluft und Fortluft)

Externer Differenzdruck

Dieser Differenzdruck ist **ausschlaggebend** für die **externe Leckage** des Plattenwärmeübertragers. Bei richtiger und sorgfältiger Installation eines Plattenwärmeübertragers in einem Kanalsystem ist die Auswirkung aber zu vernachlässigen.

Wichtiger ist die Auswirkung jedoch auf die **mechanische Festigkeit**. Insbesondere die **Seitenwände** werden bei hohen Druckunterschieden stark belastet. Bei großen Plattenwärmeübertragern müssen deshalb die Seitenwände verstärkt werden.

Interner Differenzdruck

Auch die **interne Leckage** zwischen den beiden Luftströmen hängt stark von dem Differenzdruck ab. Zwar sind Plattenwärmeübertrager sehr dicht, doch sollten bei der Planung folgende Hinweise berücksichtigt werden:

- Der **Differenzdruck** beim Plattenwärmeübertrager sollte möglichst **gering** sein.
- Das **Druckgefälle** und damit eine mögliche **Leckage** sollte **von der Außenluft zur Fortluft** gerichtet sein.

Wichtiger ist auch hier die Auswirkung jedoch auf die **mechanische Festigkeit**. Insbesondere die **Platten** werden bei hohen Druckunterschieden stark belastet. Diese müssen dann verstärkt werden.

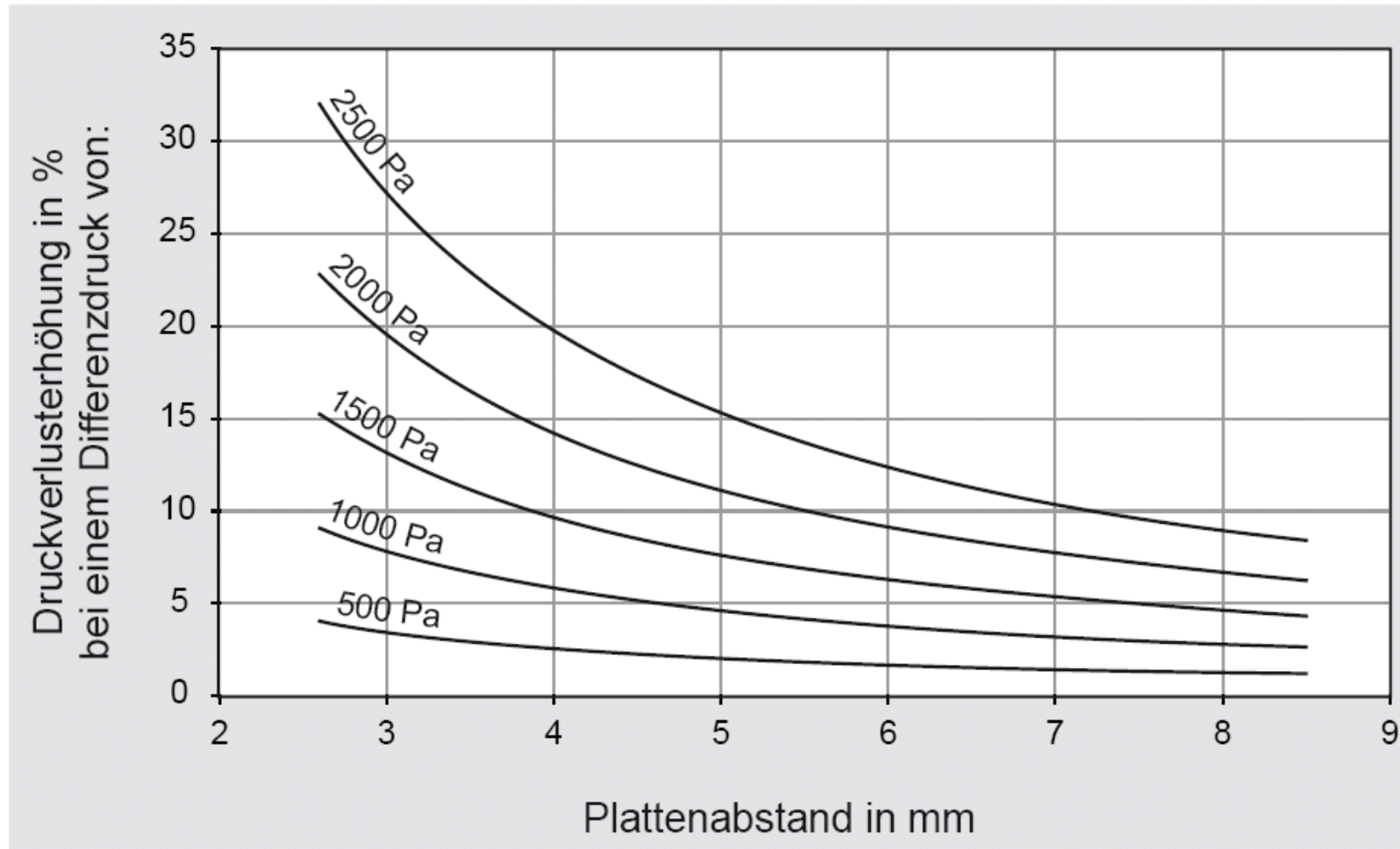
Interner Differenzdruck

In Abhängigkeit des internen Differenzdruckes kann es aber auch zu einer **Verformung** der Platten kommen. Der Plattenabstand verringert und/oder vergrößert sich. Entsprechende **Veränderungen des Druckverlustes** können die Folge sein. Ausführliche Messungen zeigen, dass der Einfluss der Verformung von der Größe des Plattenabstandes abhängt.

Bei zu hohen Drücken kann es auch zu einer **bleibenden Verformung** kommen.

Hinweis

Der **Differenzdruck** hängt von der **Anordnung der Ventilatoren** ab. Überdruck auf der einen Seite und Unterdruck auf der anderen Seite addieren sich.



Druckverlusterhöhung durch Differenzdruck

Quelle Hoval



Leistungsregelung

Der Plattenwärmeübertrager arbeitet immer wie ein Temperaturgleichrichter zwischen den beiden Luftströmen.

Die Flussrichtung der Wärme ist dabei ohne Bedeutung, d. h., je nach dem Temperaturgefälle zwischen Abluft- und Außenluft findet entweder Wärme- oder „Kälte“rückgewinnung statt.

Eine Leistungsregelung des Plattenwärmeübertragers ist also notwendig, wenn die Leistung des Wärmeübertragers höher ist, als gefordert. Dies ist im **Teillastbetrieb** quasi immer der Fall.

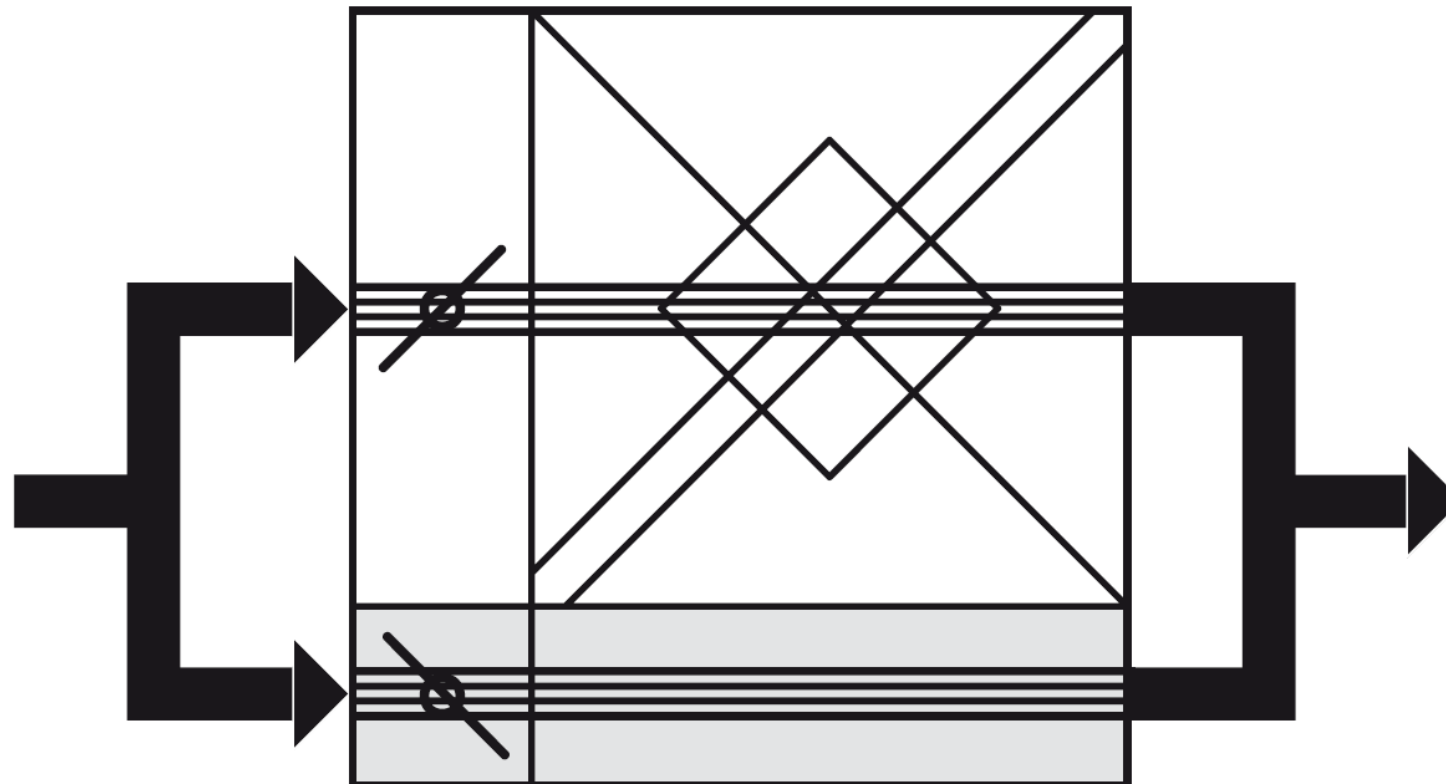
Leistungsregelung

Beim Plattenwärmeübertrager ist die Leistungsregelung durch **Veränderung des Massenstromverhältnisses**, d. h. mittels **Bypass**, sehr einfach und wirtschaftlich möglich.

Alle Plattenwärmeübertrager werden deshalb mit **integriertem Bypass** und zugehörigen **Regelklappen** ausgestattet.

Übertrager- und Bypassbreite sind dabei so auf einander abgestimmt, dass beim Durchströmen etwa der gleiche Druckverlust entsteht.

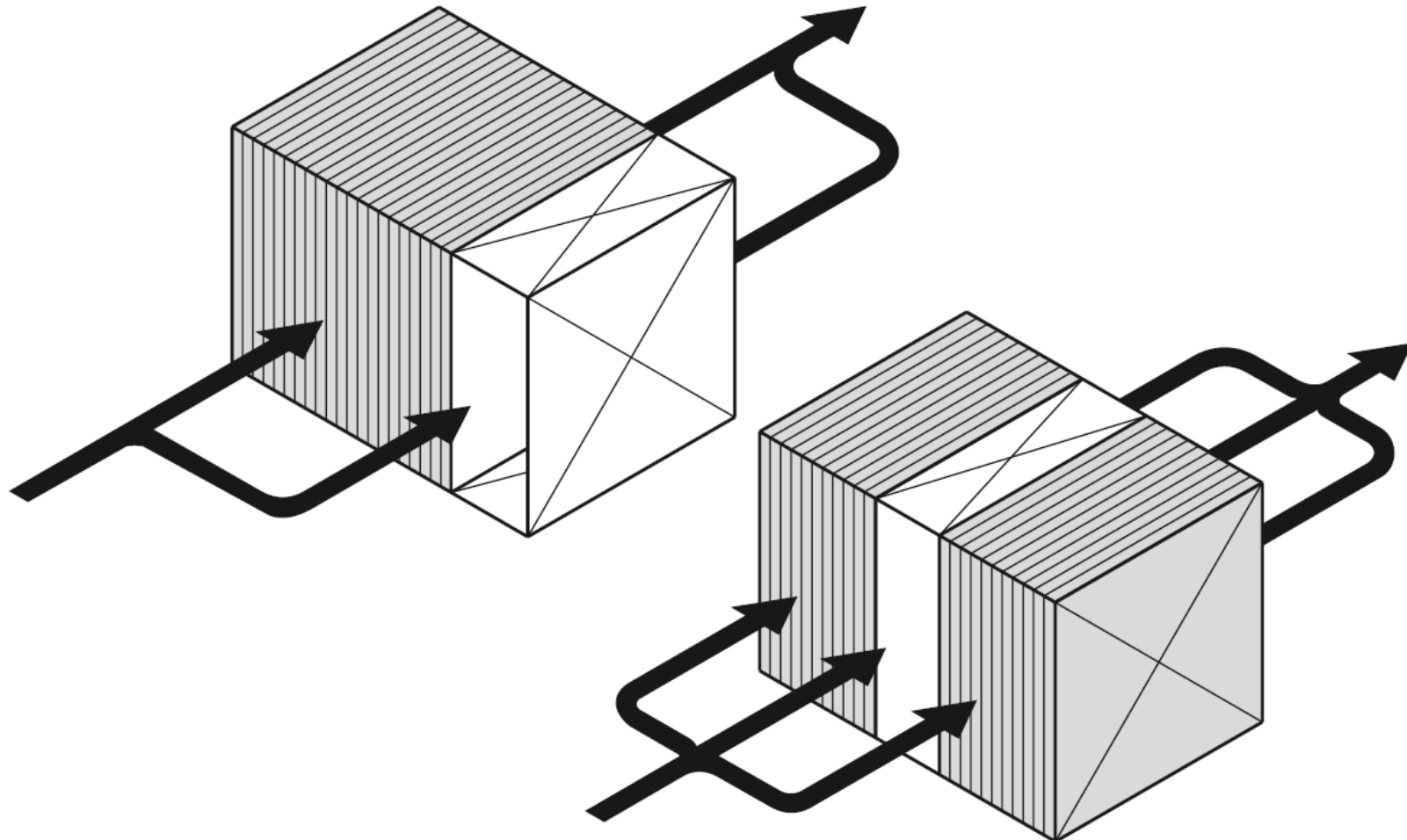
Bei der Anordnung von weiteren Lüftungskomponenten, z. B. Luftherhitzer, Tropfenabscheider usw., nach dem Bypass ist zu berücksichtigen, dass die Beaufschlagung unregelmäßig sein kann.



Regelung durch Bypass

Quelle Hoval

Plattenwärmeübertrager



Regelung durch Bypass

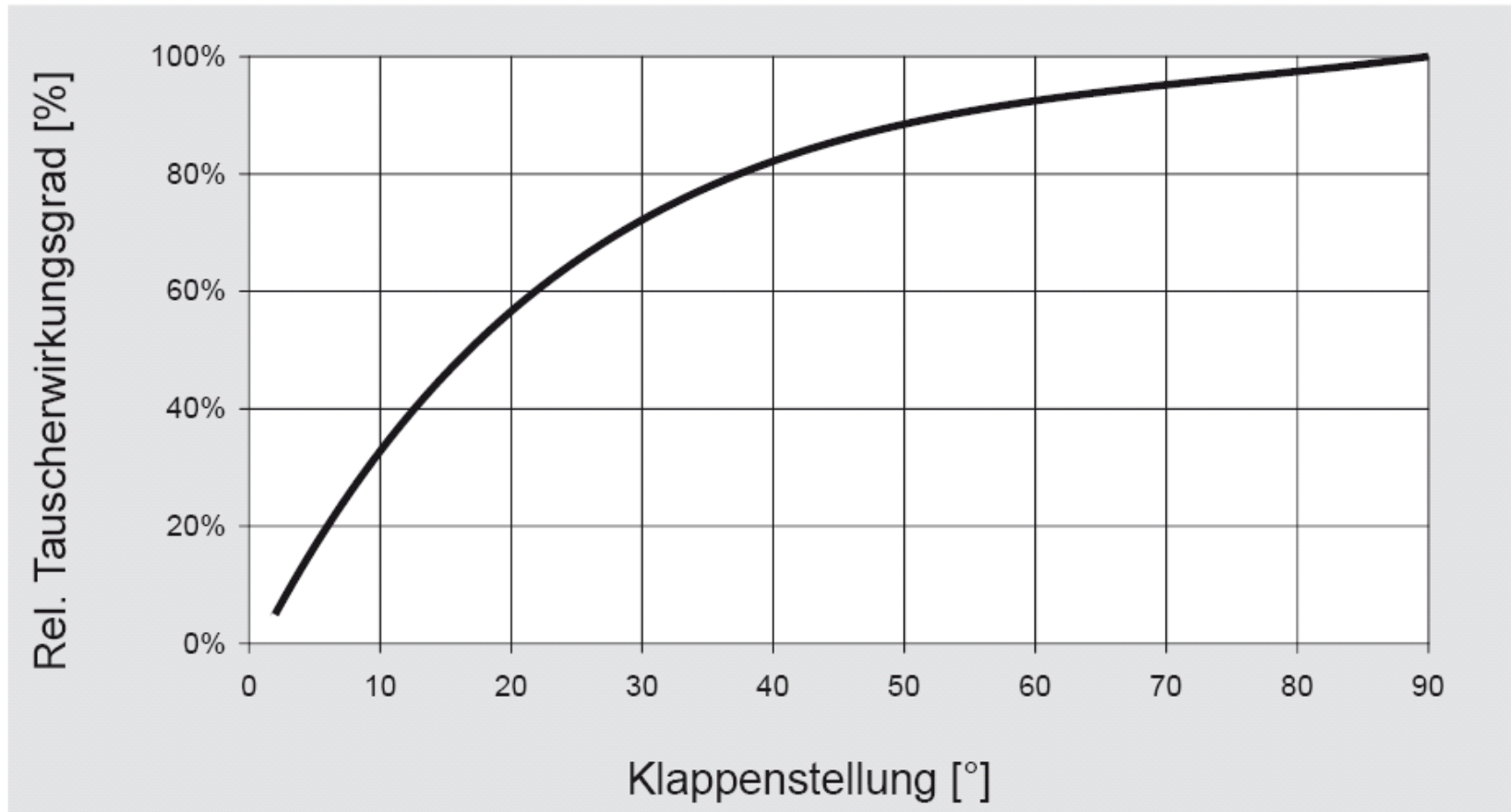
Quelle Hoval

Bypass in der Außenluft:

Je nach Stellung der Klappen werden zwischen 0 % und 100 % der Außenluft über den Bypass geführt. Die **Abluft** strömt **immer durch den Wärmeübertrager** und wird entsprechend der Außenluftmenge abgekühlt. Mit dieser Anordnung des Bypasses kann zugleich das zu **starke Abkühlen der Abluft** und damit das **Vereisen verhindert** werden.

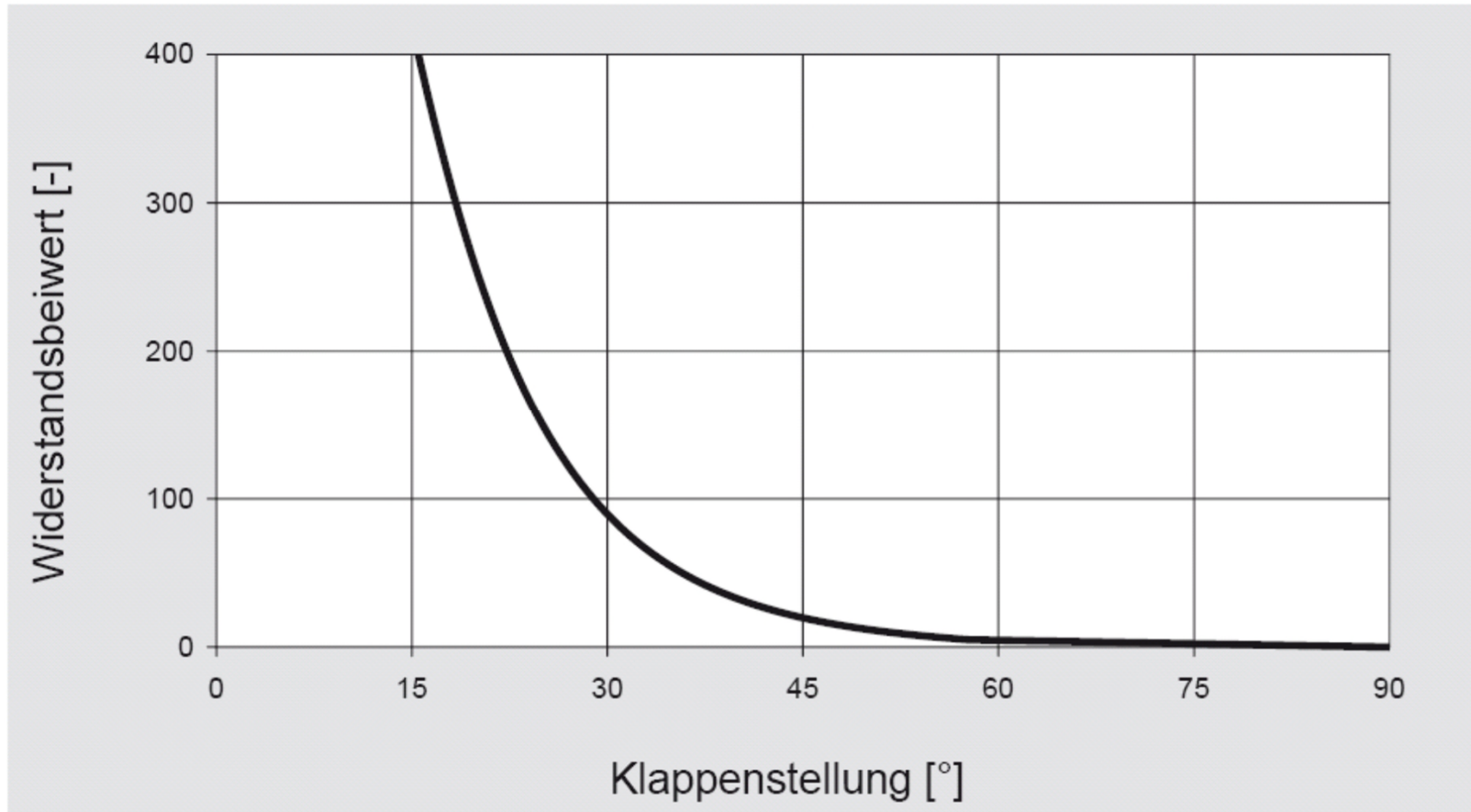
Bypass in der Abluft:

Zwischen 0 % und 100 % der Abluft werden über den Bypass geführt. Die Außenluft strömt immer durch den Plattenwärmeübertrager. Diese Anordnung ist bei **verschmutzter Abluft** zu empfehlen, da während des Sommerbetriebes der Wärmeübertrager von der Abluft nicht durchströmt wird.



Regelung durch Bypass

Quelle Hoval

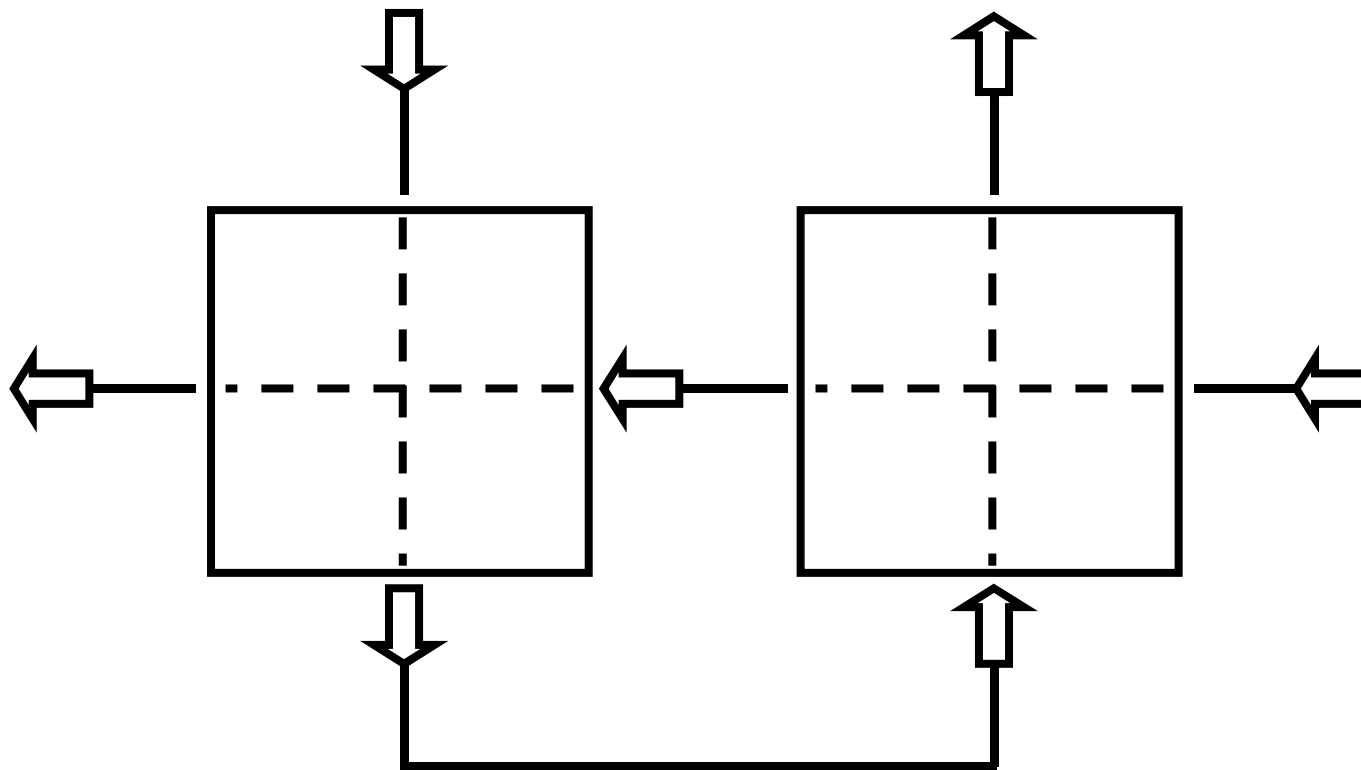


Regelung durch Bypass

Quelle Hoval

Anordnung Plattenwärmeübertrager

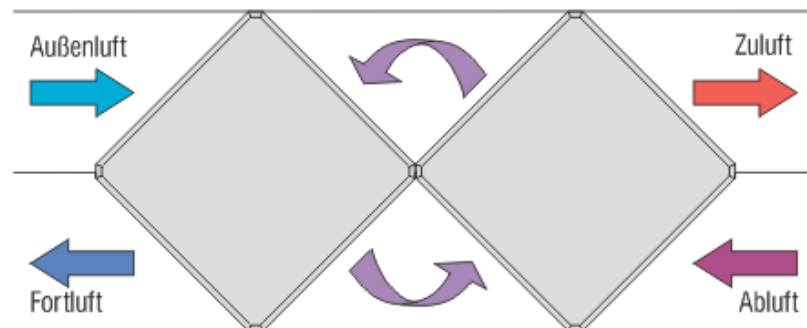
Doppelplattenwärmeübertrager (Gegenstromanordnung)



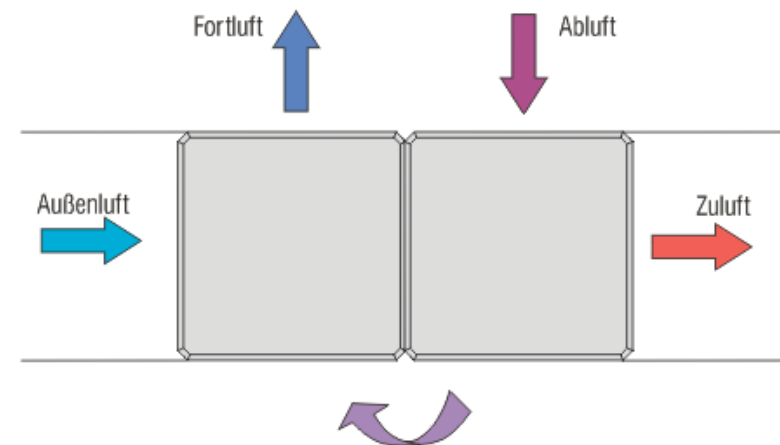
Anordnung Plattenwärmeübertrager

Doppelplattenwärmeübertrager (Gegenstromanordnung)

Diagonalanordnung



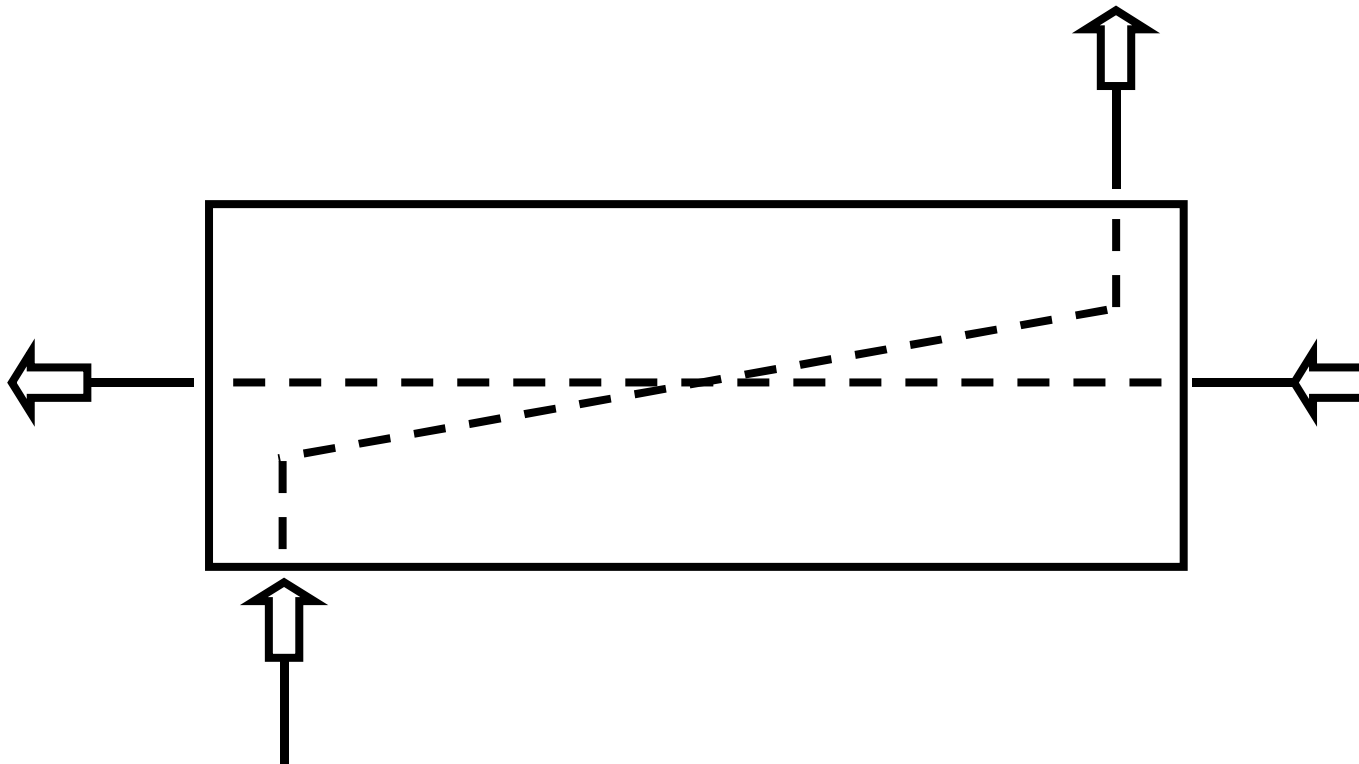
Reihenanordnung



Quelle Klingenburg

Anordnung Plattenwärmeübertrager

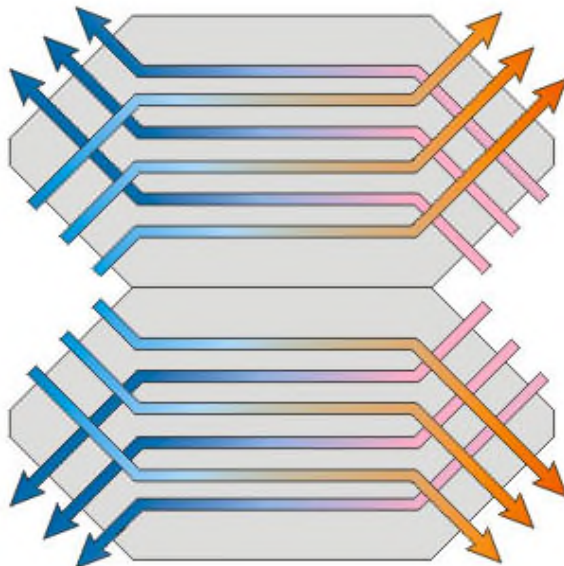
Gegenstromplattenwärmeübertrager



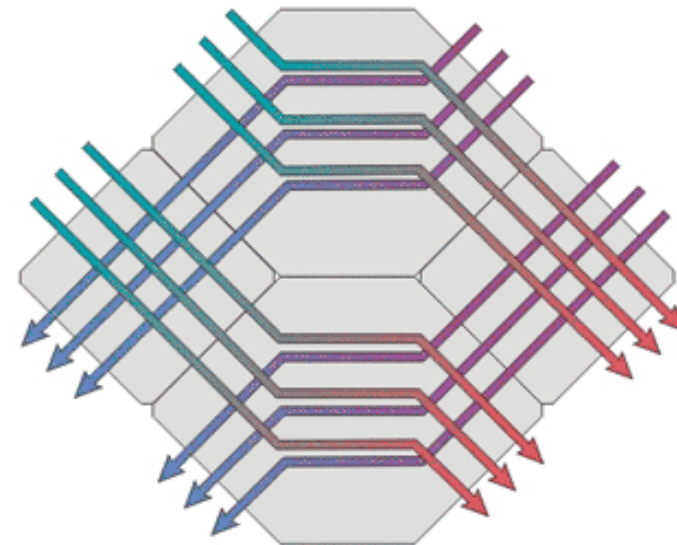
Anordnung Plattenwärmeübertrager

Gegenstromplattenwärmeübertrager gekoppelt

Doppelter Gegenströmer

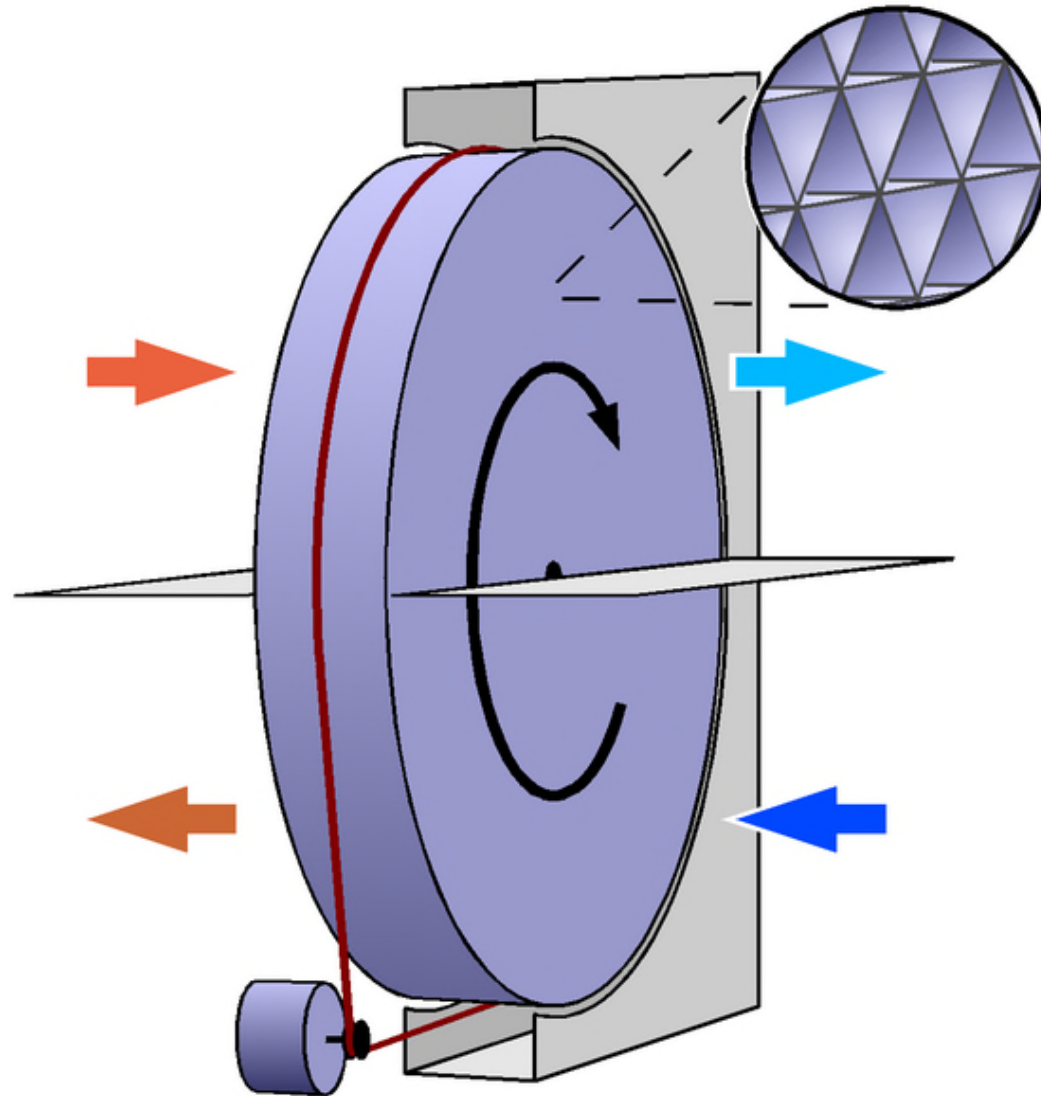


GS und KS gekoppelt



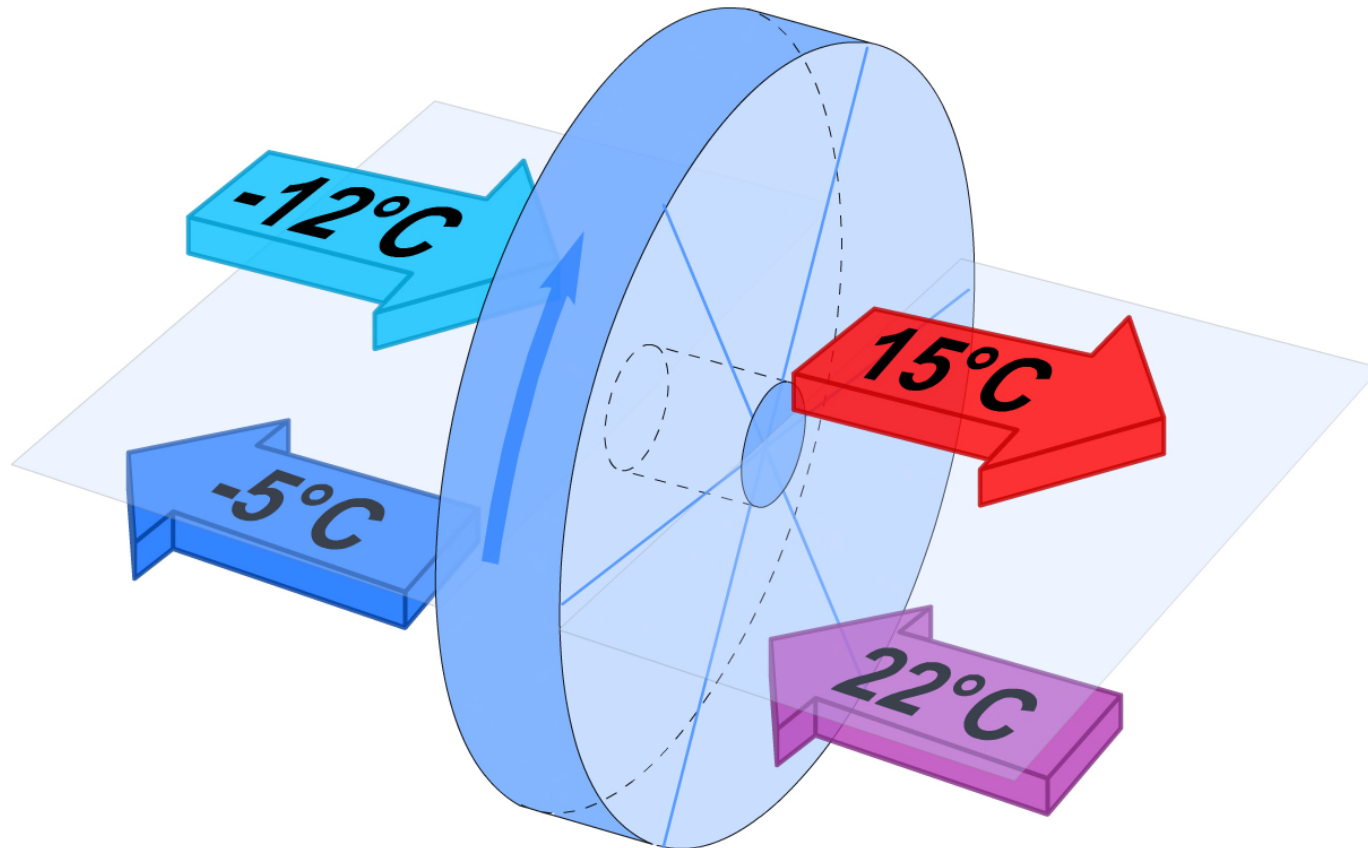
Quelle Klingenburg

Rotierende Regeneratoren



Quelle Klingenburg

Rotierende Regeneratoren



Quelle Klingenburg

Mit Rotationswärmeübertragern kann neben der **Wärme auch Feuchte** übertragen werden. Entscheidend dafür ist das Material bzw. die Oberfläche der Speichermasse.

Üblich sind 3 verschiedene Ausführungen:

Kondensationsrotor

Die Speichermasse besteht aus glattem, **unbehandeltem Metall** (meist Aluminium), das **Feuchte nur** dann überträgt, wenn auf der Warmluftseite **Kondensat** entsteht und dieses von der Kaltluft (teilweise) wieder aufgenommen wird.

Mit der **Kondensation** ist eine **Erhöhung des Druckverlustes** verbunden. Das Kondensat kann durch die durchströmende Luft mitgerissen werden.

Hygroskopischer Rotor (Enthalpiorotor)

Die **metallische Speichermasse** hat durch chemische Behandlung (Beizen) eine **kapillare Oberflächenstruktur** erhalten. Diese überträgt (in begrenztem Maße) Feuchtigkeit durch Sorption, d. h. ohne Kondensation. Daneben kann sich zusätzlich, abhängig von den Luftkonditionen, Kondensation einstellen.

Sorptionsrotor

Hier hat die **Speichermasse** eine **Oberfläche**, die Feuchte durch reine **Sorption**, also ohne Kondensation, überträgt. Meist sind Sorptionsrotoren mit Silikagel oder ähnlichen Materialien beschichtet.

Rotortyp

Abhängig von der **Anwendung** ist zu entscheiden, welcher **Rotortyp** (Kondensationsrotor, Sorptionsrotor) eingesetzt wird.

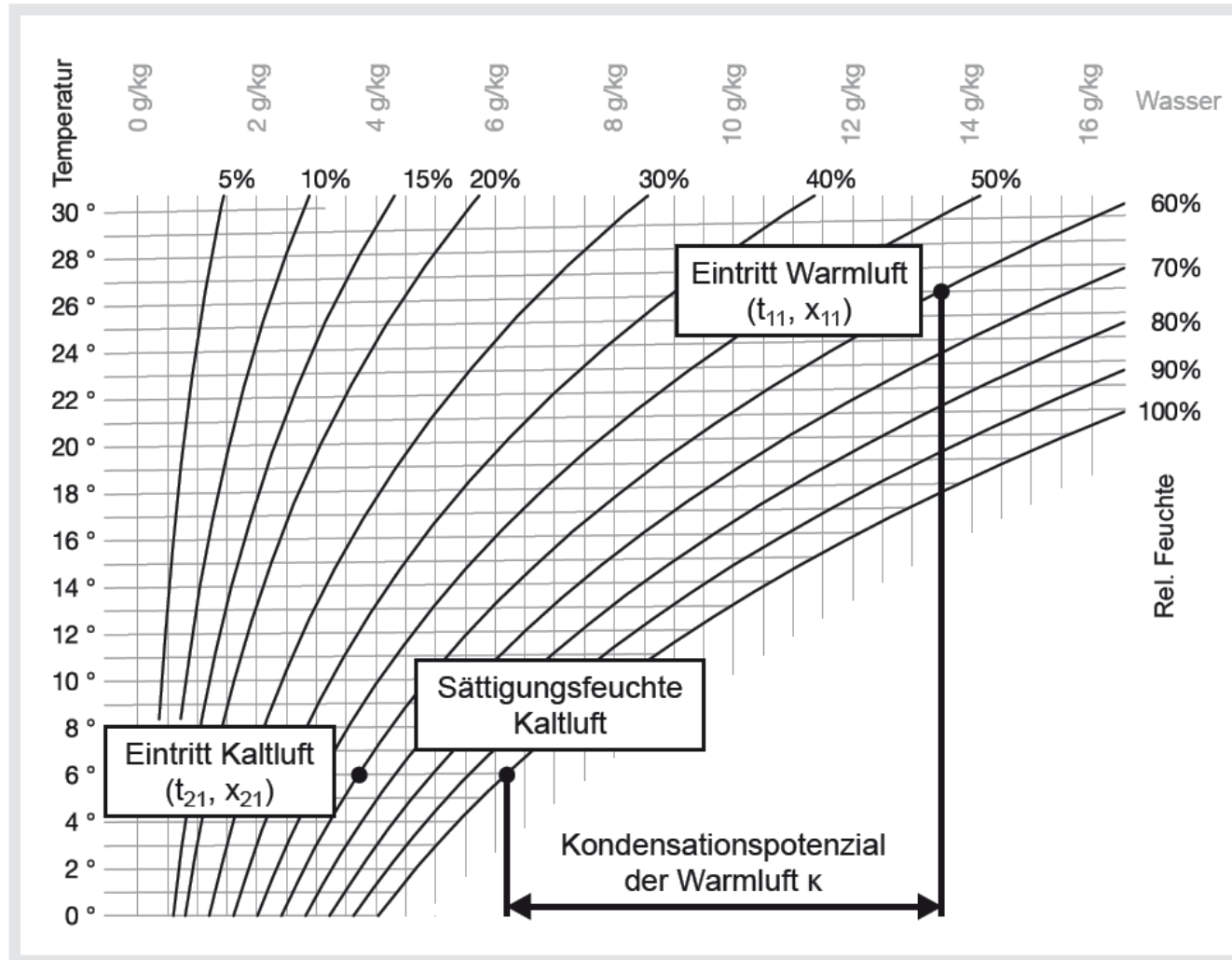
Empfohlen wird:

Bei **Lüftungsanlagen ohne mechanische Kühlung** und **ohne Feuchtigkeitsregelung** ist der **Kondensationsrotor** ausreichend.

Bei **Lüftungsanlagen mit mechanischer Kühlung** ist der Enthalpierotor zur **Trocknung der feuchten Außenluft** im Kühlbetrieb empfehlenswert.

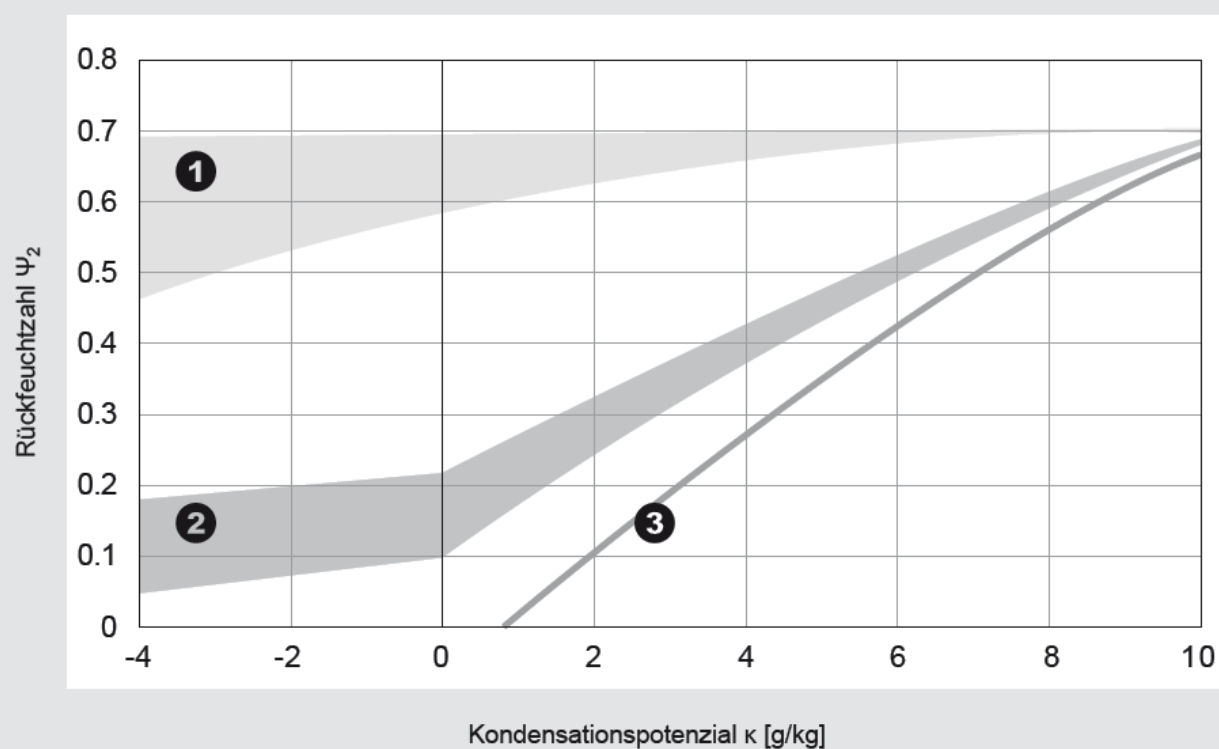
Dies gilt in der Regel auch (abhängig von inneren Feuchtequellen) bei Lüftungsanlagen mit Feuchteregelung.

Rotierende Regeneratoren



Kondensationspotential κ

Quelle Hoval



- ❶ Sorptionsrotor
- ❷ Hygroskopischer Rotor
- ❸ Kondensationsrotor

Typische Rückfeuchtezahlen von Rotoren

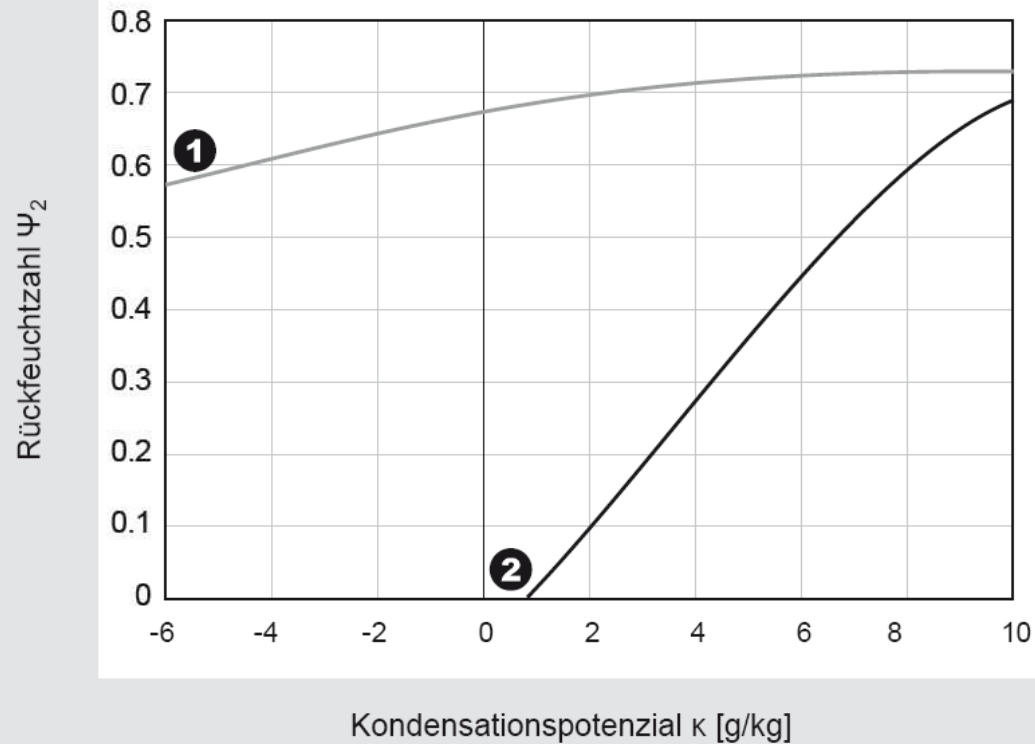
Quelle Hoval

Rotierende Regeneratoren



Umwelt-Campus
Birkenfeld

H O C H
S C H U L E
T R I E R

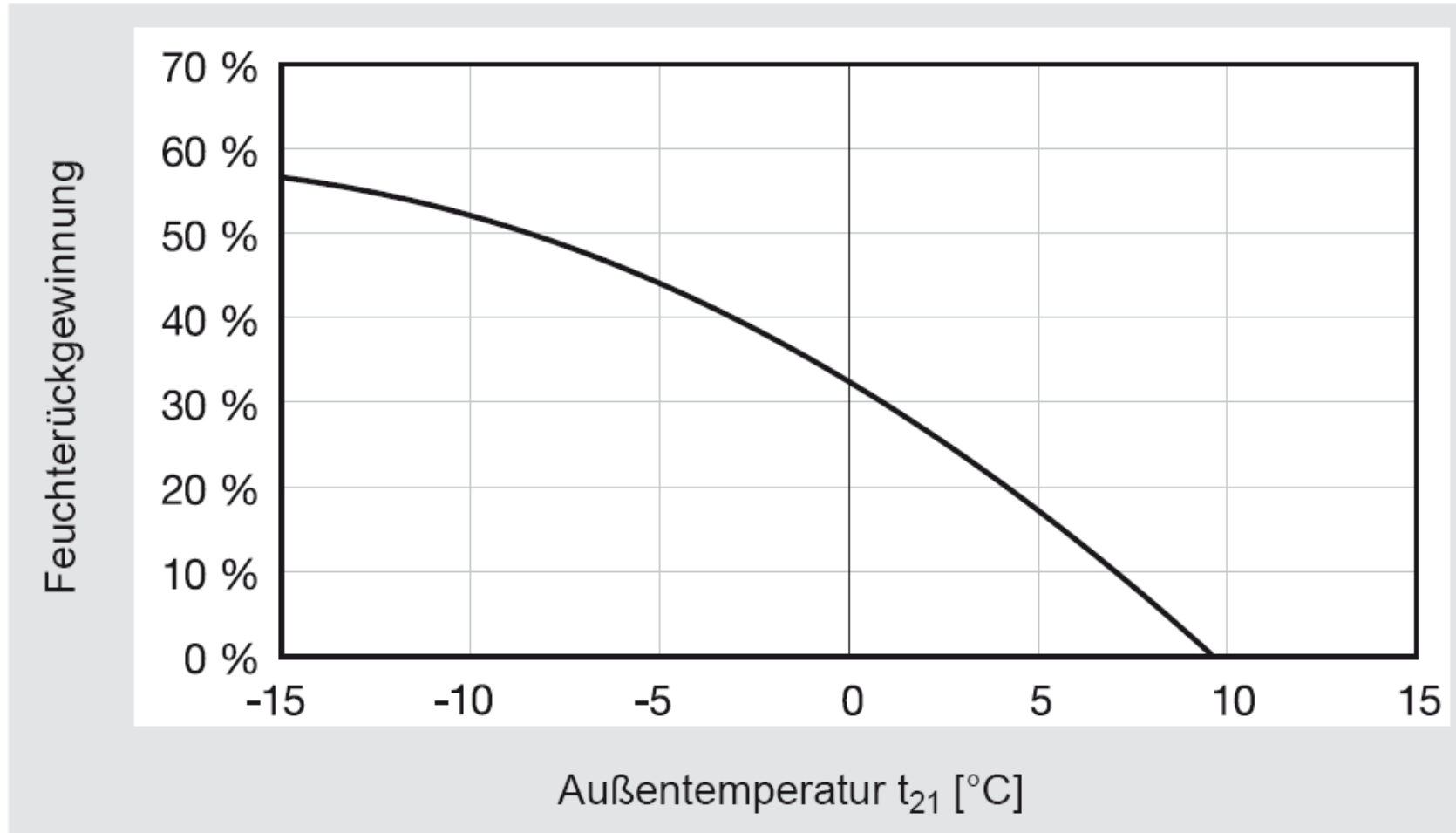


Bezug: Druckverlust 100 Pa
Lagenhöhe 1.9 mm

- 1 Sorptionsrotor
- 2 Kondensationsrotor

Feuchteübertragung

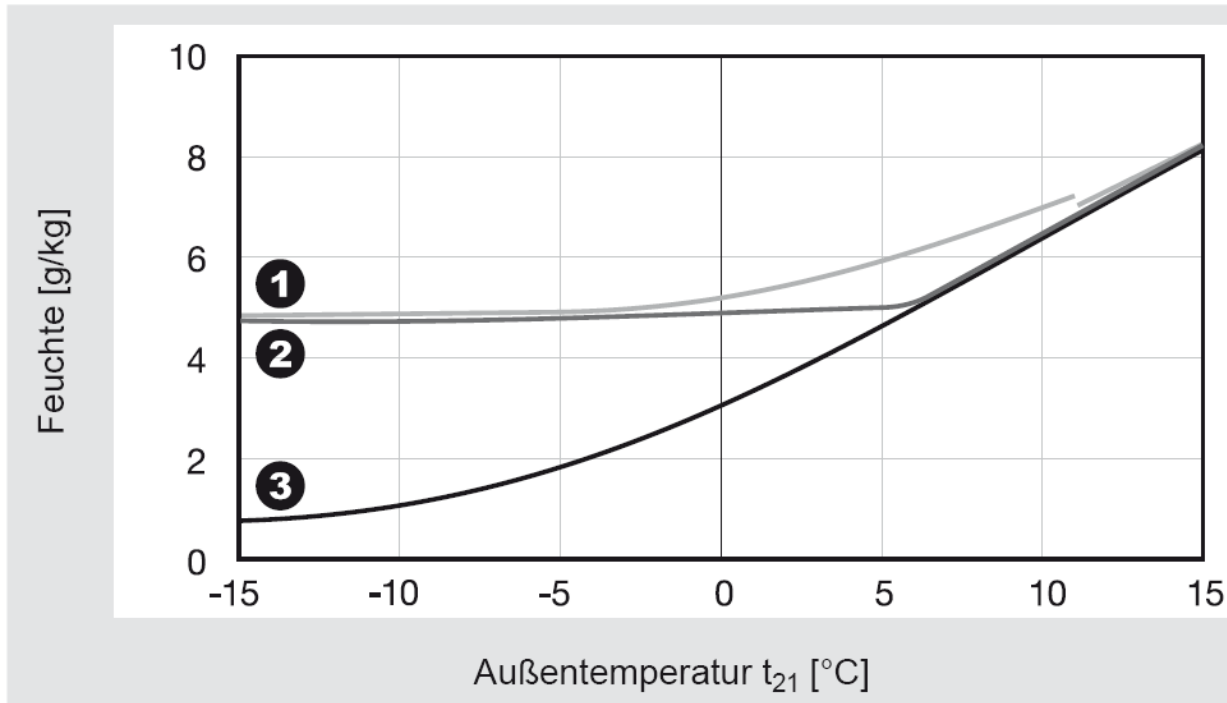
Quelle Hoval



Rückfeuchtezahl eines Kondensationsrotors in Abh. der AUL Temp.
(Abluft 22 °C / 50 %)

Quelle Hoval

Rotierende Regeneratoren



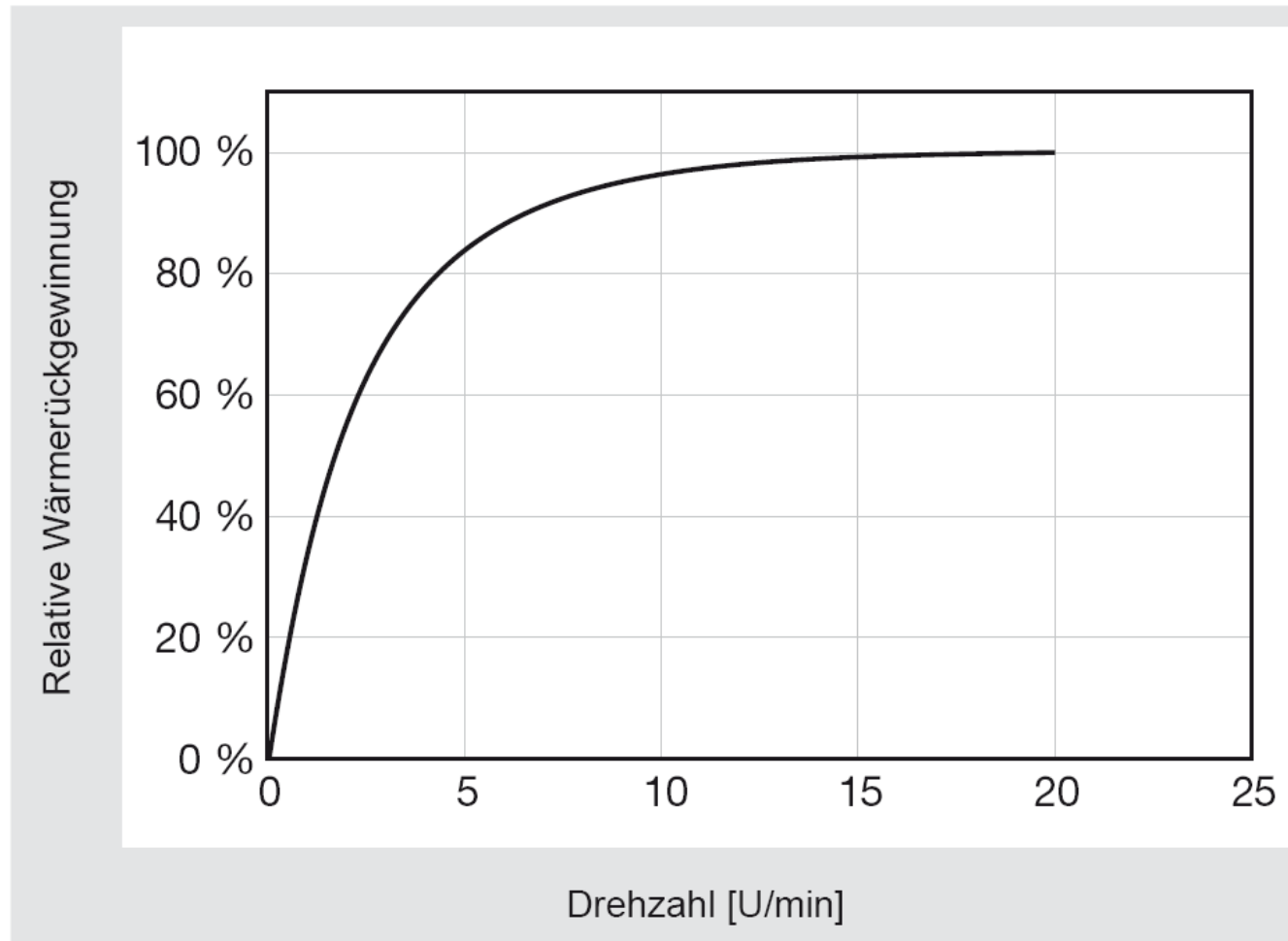
① Zuluft (hygroskopischer Rotor)

② Zuluft (Kondensationsrotor)

③ Außenluft

Zuluftfeuchte in Abhängigkeit der AUL Temperatur
(Abluft 22 °C / 50 %)

Quelle Hoval



Abhängigkeit der WRG-Leistung von der Drehzahl

Quelle Hoval

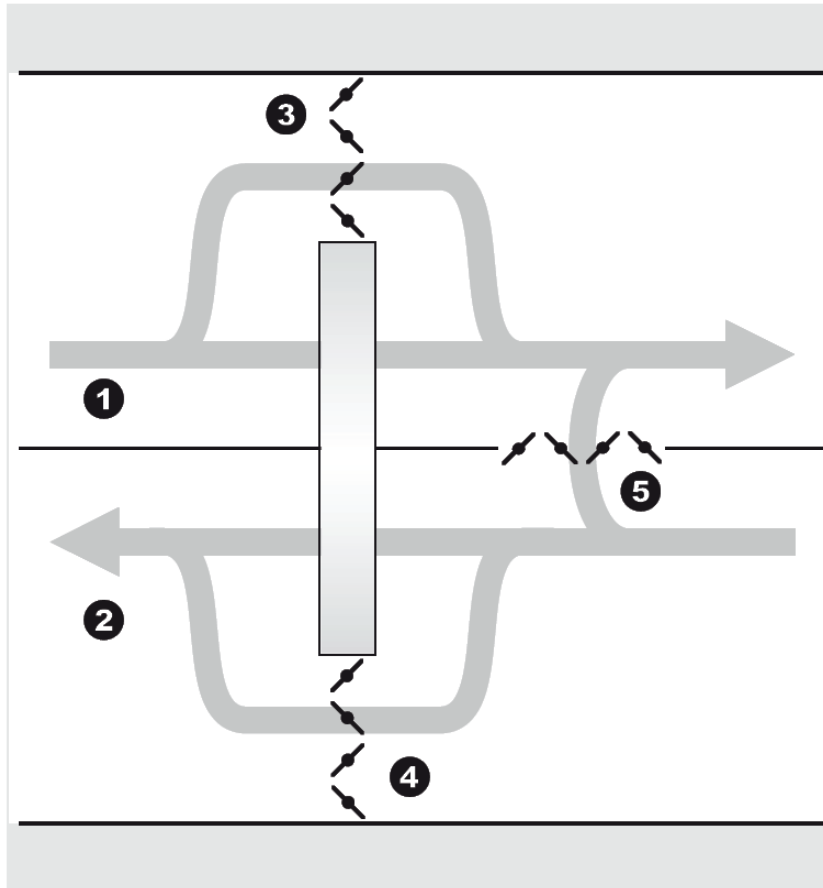
Leistungsregelung

Im Teillastfall wird eine **Leistungsregelung (Drehzahlregelung)** vorgesehen.

Bypass

Bei **unterschiedlichen Volumenströmen** bei Umluft und Mischluftbetrieb kann die Verwendung eines Bypasses parallel zum Rotor sinnvoll sein. Die Dimensionierung sollte dabei so erfolgen, dass der Druckverlust durch den Bypass gleich hoch ist, wie durch den Rotor.

Rotierende Regeneratoren



- | | |
|---|------------------|
| ① | Außenluft |
| ② | Fortluft |
| ③ | Bypass Außenluft |
| ④ | Bypass Fortluft |
| ⑤ | Umluft |

Möglichkeiten der Bypassanordnung

Quelle Hoval

Einfriergrenze

Besteht die Gefahr, dass der Rotor bei Kondensation einfriert, so sind entsprechende Maßnahmen (Leistungsregelung, Bypass, usw.) vorzusehen. Einfriergefahr besteht, wenn:

$$\vartheta_m = (\vartheta_{11} + \vartheta_{21}) / 2 \leq 5^\circ \text{ C}$$

Berücksichtigt muss auch werden, dass Luftkanäle bei niedrigen Zulufttemperaturen außen kondensieren oder sogar vereisen können (Notwendigkeit der Isolation).

Für diese Betriebsfälle muss die Nacherhitzerleistung auf die begrenzte Wärmerückgewinnungsleistung ausgelegt werden.

Sofern zuluftseitig wasserführende Komponenten vorhanden sind, ist zu dessen Schutz auch ein luftseitiger Frostschutz vorzusehen.



Interne Leckage

Die interne Leckage von der Außenluft auf die Fortluftseite hängt von der entsprechenden Druckdifferenz ab:

$$\Delta p = p_{21} - p_{12}$$

Sie setzt sich aus der Dichtungsleckage und der Spülluftleistung zusammen und kann näherungsweise mit 5 bis zu 15 % angegeben werden.

Kontamination

Grundsätzlich muss man bei Rotoren mit der gegenseitigen Kontamination der Luftströme rechnen. Ohne besondere Vorkehrungen ist deshalb VDI 6022 einzuhalten:

'Regeneratoren mit Rotor sind nur dann einzusetzen, wenn aus hygienischer Sicht auch die Verwendung von Umluft möglich wäre.'

Ursachen für die Kontamination sind:

Mitrotation

Eine bestimmte Luftmenge (abhängig von Drehzahl, Luftgeschwindigkeit und Rotorgeometrie) wird von einem Luftstrom in den anderen 'mitgedreht'.

Leckage

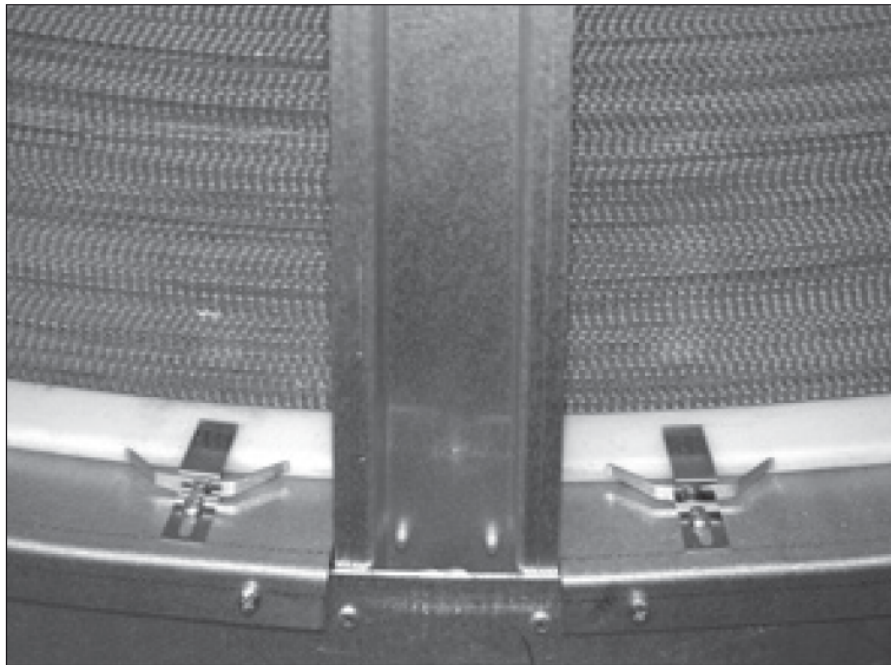
Durch die **Radial und Querdichtungen** entsteht entsprechend dem **Druckgefälle** und der **Dichtungsqualität** eine Leckage.

Stoffübertragung

Da sich die Speichermasse abwechselnd in den beiden Luftströmen befindet, beeinflussen sich diese gegenseitig.

Beispielsweise können so mit kleinsten Partikeln Gerüche (z. B. Zigarettenrauch) übertragen werden.

Rotoren übertragen auch gasförmige Stoffe.



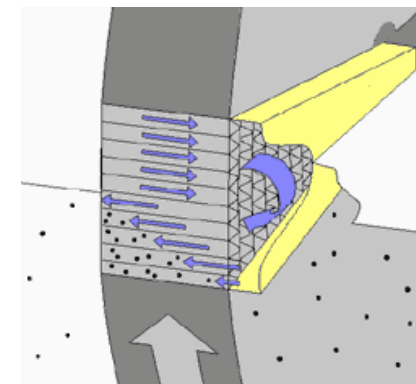
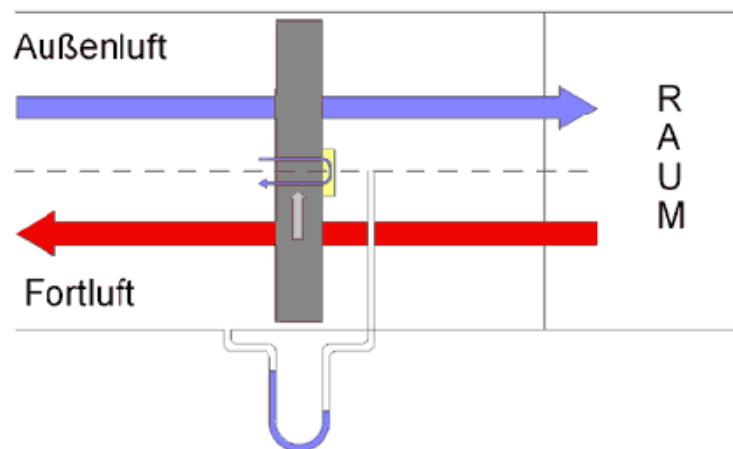
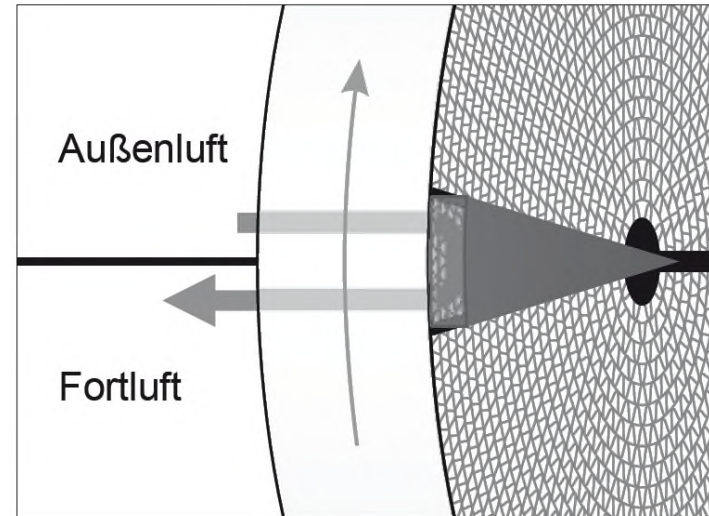
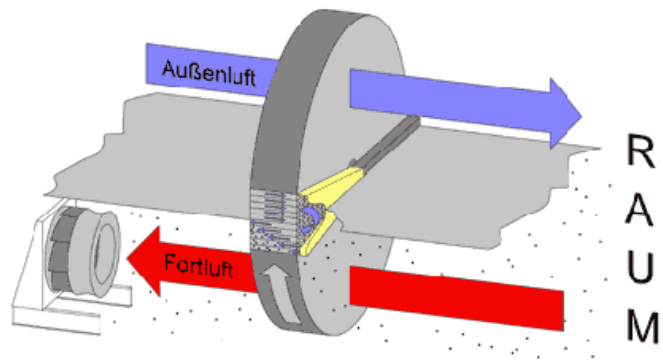
Radiale Schleifringdichtung



Axiale Querdichtung

Quelle Hoval

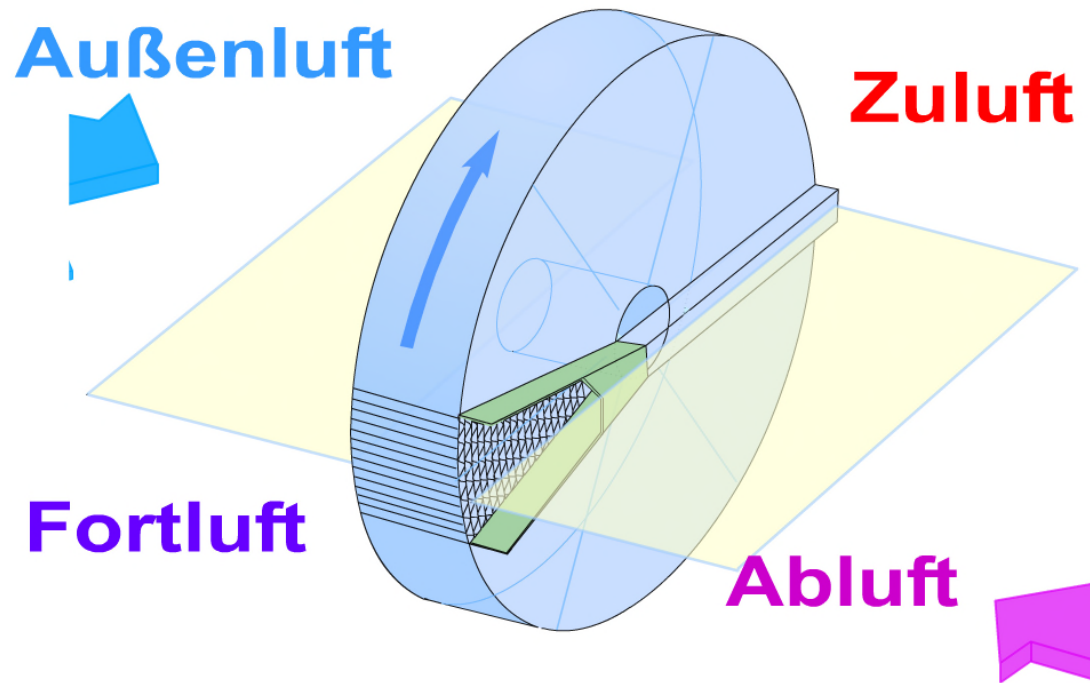
Rotierende Regeneratoren



Spülzone bei Überdruck auf der Außenluftseite

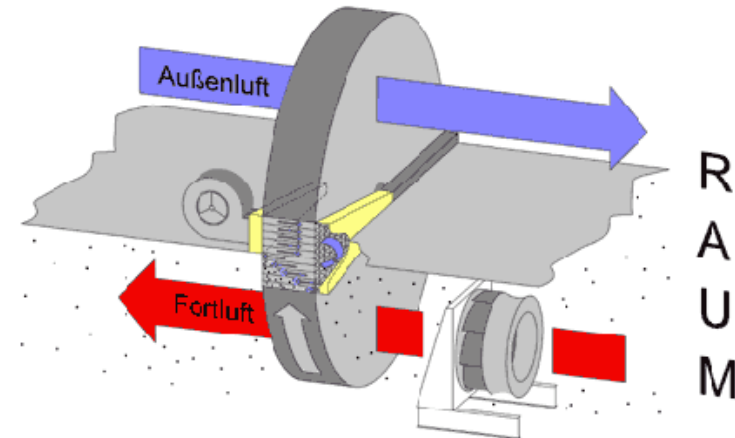
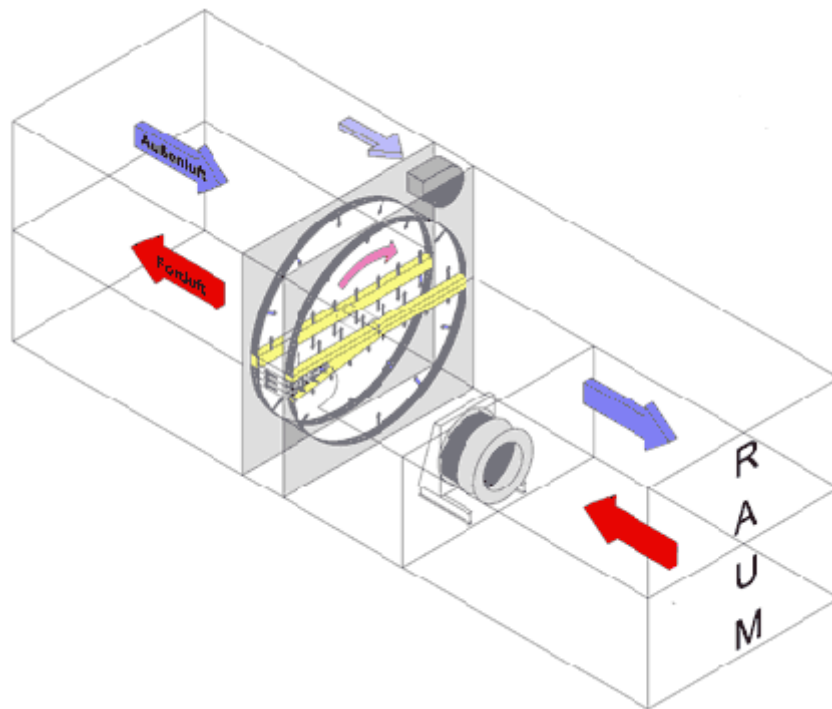
Quelle Lautner

Rotierende Regeneratoren



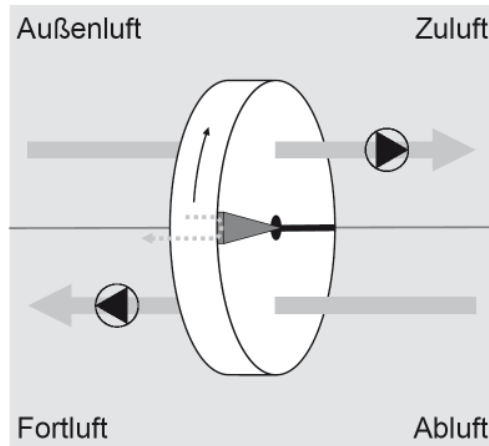
Quelle Klingenburg

Rotierende Regeneratoren



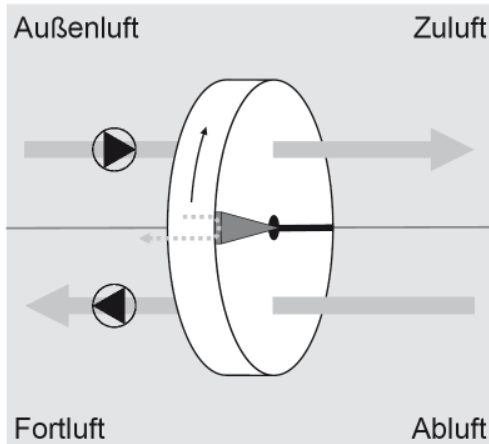
Doppelspülzone bei Überdruck auf der Fortluftseite

Quelle Lautner



Beide Ventilatoren saugseitig

Für die Funktion der Spülzone ist ein Druckgefälle von der Außenluft auf die Fortluft von mindestens 200 Pa nötig.

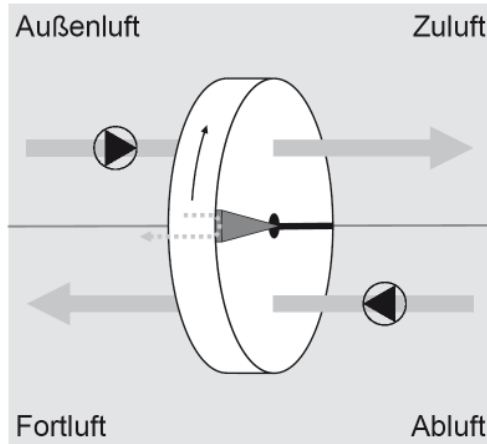


Fortluft saugseitig, Außenluft druckseitig

Ein zu großes Druckgefälle (> 600 Pa) ist zu vermeiden, um die Luftleistung durch die Spülkammer gering zu halten. Gegebenenfalls ist eine kleine Spülkammer ($2 \times 3^\circ$) einzusetzen.

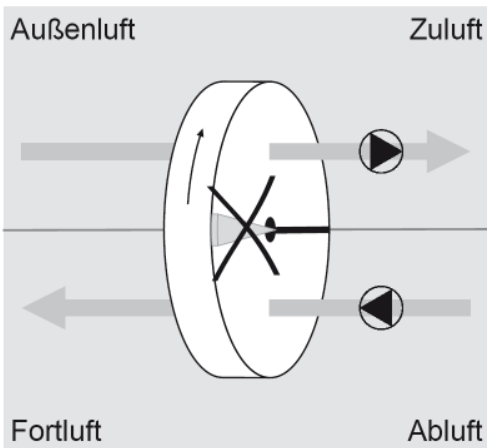
Anordnung der Ventilatoren

Quelle Hoval



Beide Ventilatoren druckseitig

Für die Funktion der Spülzone ist ein Druckgefälle von der Außenluft auf die Fortluft von mindestens 200 Pa nötig.



Abluft druckseitig, Zuluft saugseitig

Diese Anordnung ist nicht empfehlenswert. Abluft kann der Zuluft beigemischt werden. Der Einsatz der Spülkammer ist nicht möglich (Ausnahme doppelte Spülzone)

Anordnung der Ventilatoren

Quelle Hoval

Spülzone

Die Größe der Spülzone richtet sich nach der Druckdifferenz zwischen Außenluft und Fortluft.

bis 200 Pa	Spülzone nicht wirkungsvoll
200 – 600 Pa	Standardspülzone (2 x 5°) empfohlen
600 – 900 Pa	kleine Spülzone (2 x 3°) empfohlen
über 900 Pa	Verwendung der Spülzone nicht sinnvoll



Verschmutzungsgefahr

In 'normalen' Lüftungsanlagen werden die Luftströme meist mit **Staubfiltern** gereinigt. Damit besteht für den Rotationswärmeübertrager keine Verschmutzungsgefahr.

Der Wärmeübertrager muss so installiert sein, dass er im eingebauten Zustand gereinigt werden kann, oder Inspektionsöffnungen vor und nach dem Rotationswärmeübertrager vorgesehen werden.



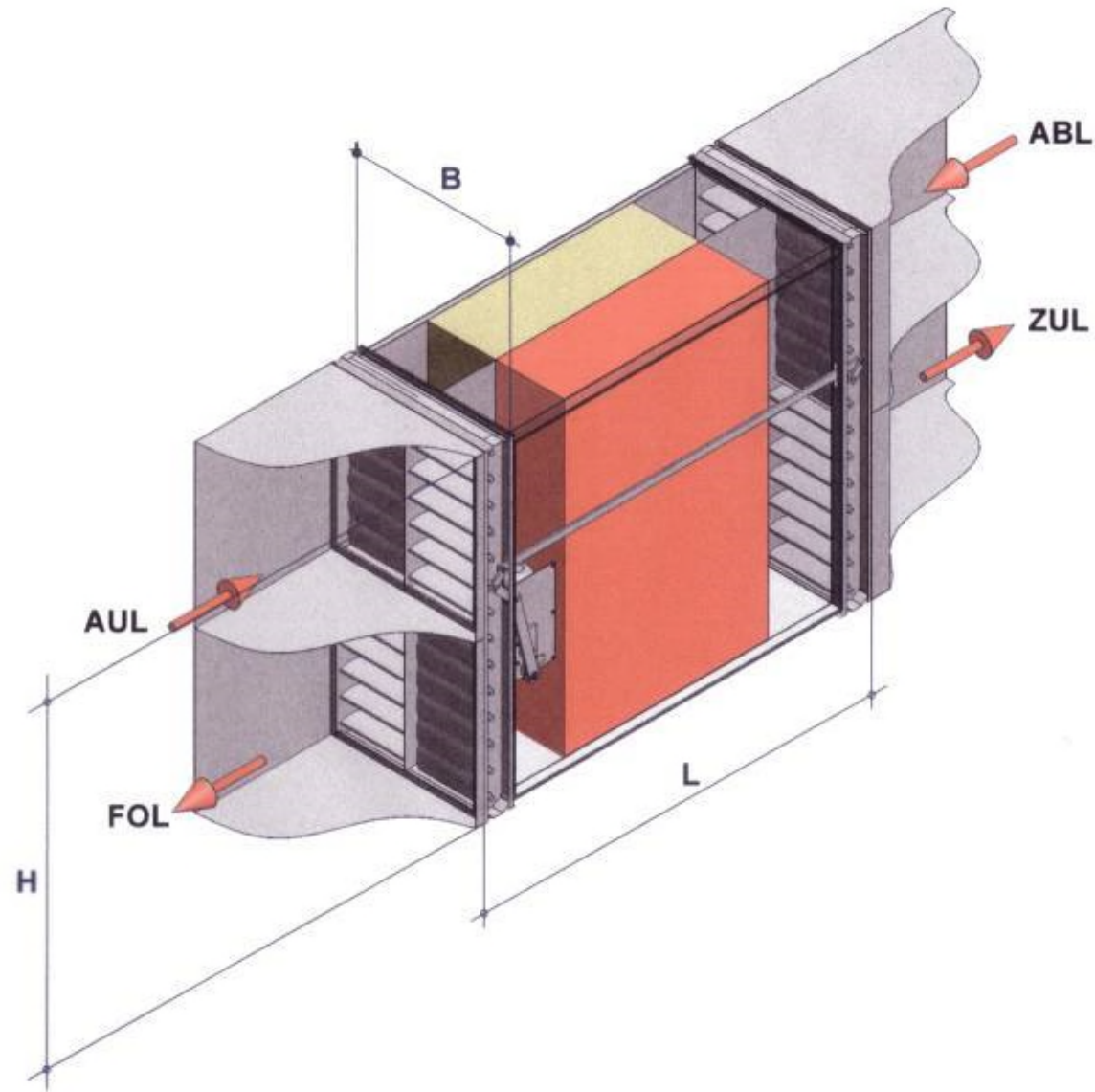
Kondensation im warmen Luftstrom

Wenn aus der Warmluft mehr Wasser auskondensiert, als die (aufgewärmte) Kaltluft aufnehmen kann, entsteht Kondensat.

Da dies durch die thermodynamische Funktion hauptsächlich im ersten Drittel der warmen Rotorseite anfällt, wird es zum Teil vom Warmluftstrom mitgerissen. Dies ist für die nachgeschaltete Komponente zu berücksichtigen.

Generell sollen aber auf **Warm- und Kaltluftseite Kondensatwannen** installiert werden.

Umschaltregenerator



Quelle Polybloc

Das Gerät enthält zwei **Wärmespeicherpakete** aus beschichteten oder unbeschichteten Leichtmetallplatten durch welche die Außen- und Fortluft wechselweise gefördert wird.

Zur **Umschaltung der Luftwege** ist ein **Klappensystem** vorgesehen. Die Klappen werden in kurzen Intervallen durch Elektromotoren betrieben.

Einsatz in Anlagen mit geringen raumlufttechnischen Anforderungen. **Luftvermischung, Geruchs- und Stoffübertragung.**

Während des Umschaltvorganges Druckausgleich und erhöhte Luftübertragung. Regelung der Wärmerückgewinnungsleistung durch Veränderung der Intervalle.

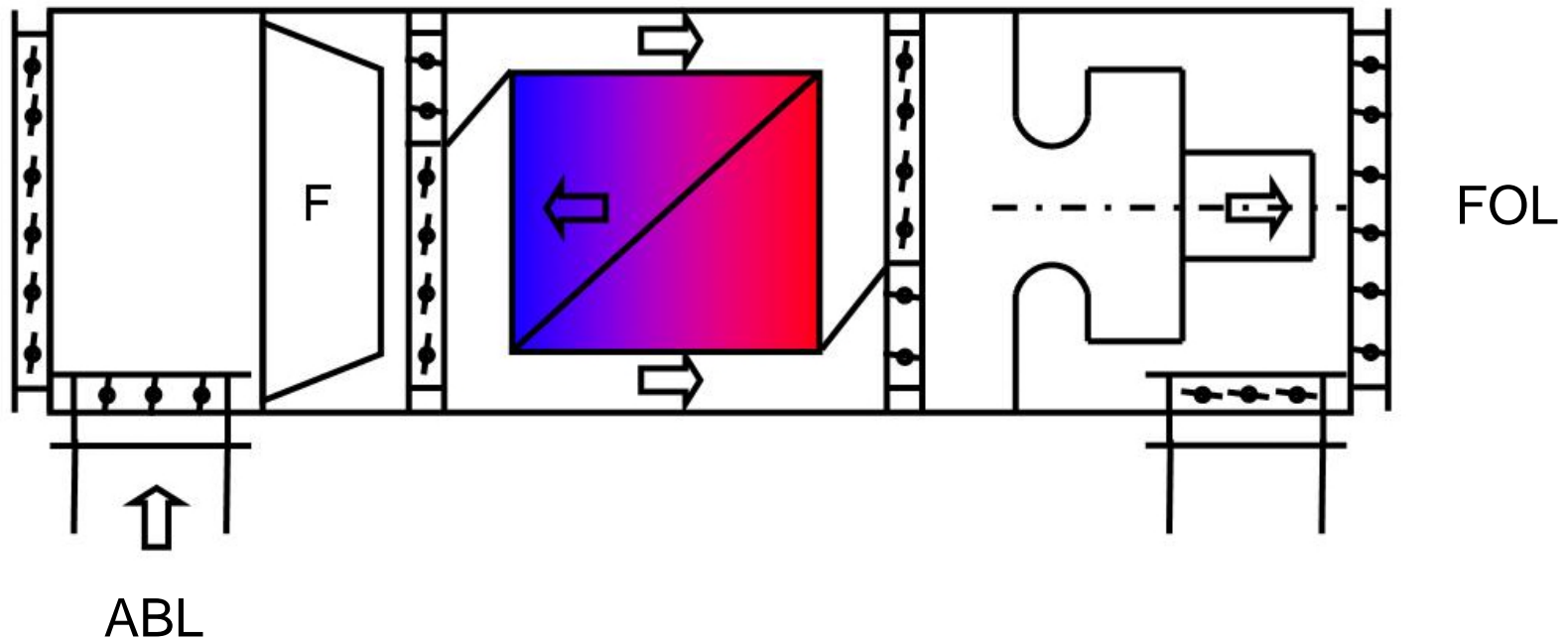
Die **physikalischen Zusammenhänge** der **rotierenden Regeneratoren** gelten sinngemäß auch für **Umschaltregeneratoren**.

Umschaltregenerator



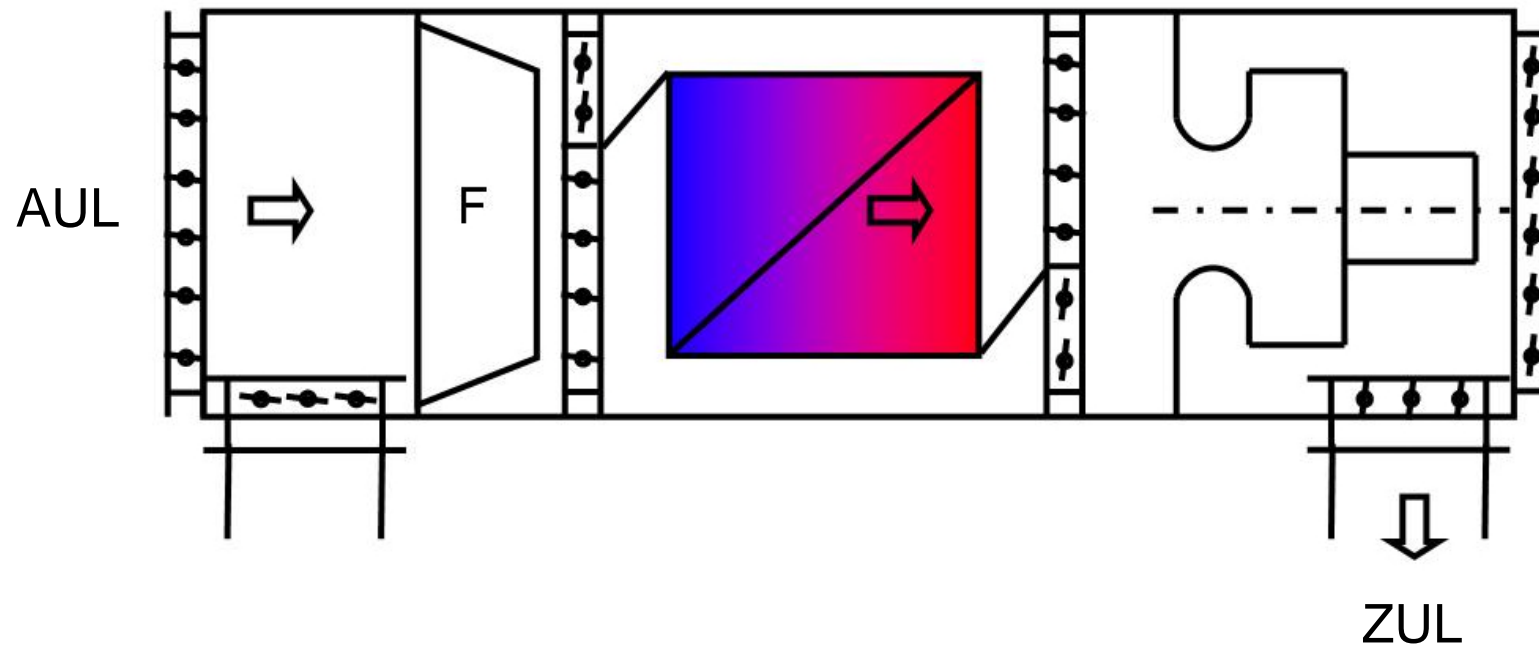
DE 10 2007 033 055.5-34

Umschaltregenerator



Abluftbetrieb

Umschaltregenerator



Zuluftbetrieb

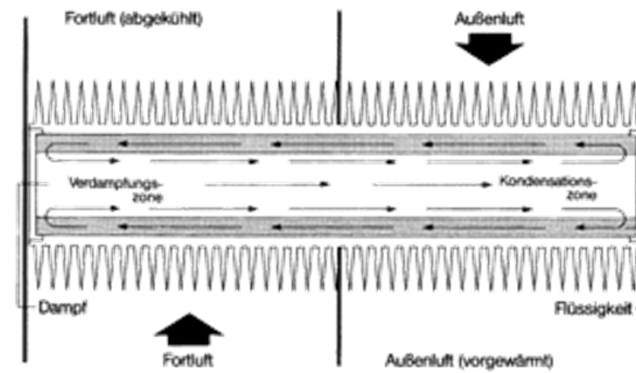
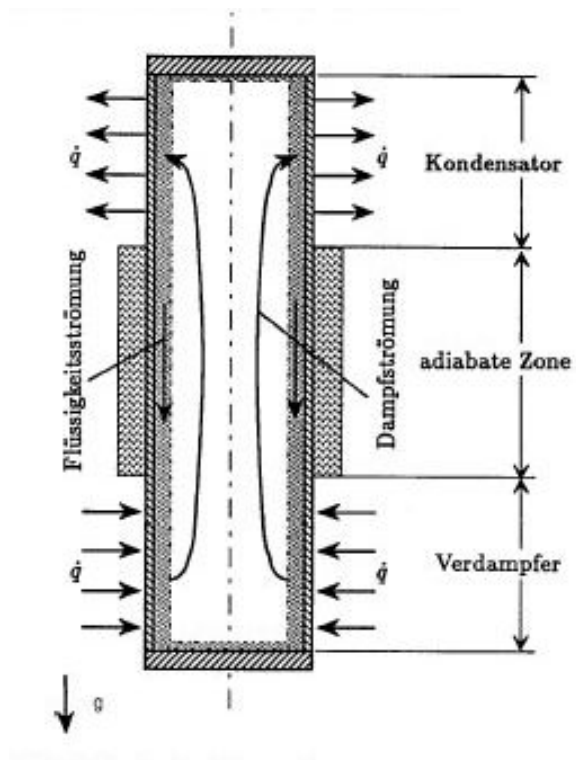
Intermittierender Umschaltregenerator

- Deutliche Verringerung der Bauteile
- Deutliche Vereinfachung der Geräte
- Standardisierte Geräte (Zuluft = Abluft)
- Konzeptbedingt keine Leckage zwischen Zu- und Abluft
- Hochleistungs-WRG
- Teilweise gemeinsames Kanalnetz
- Möglichkeit der dezentralen Feuchteübertragung (Kondensations- oder Enthalpieübertragung)
- Konzeptionelle Trennung zwischen WRG und Primärenergie (statische Heizflächen)

Wärmerohre

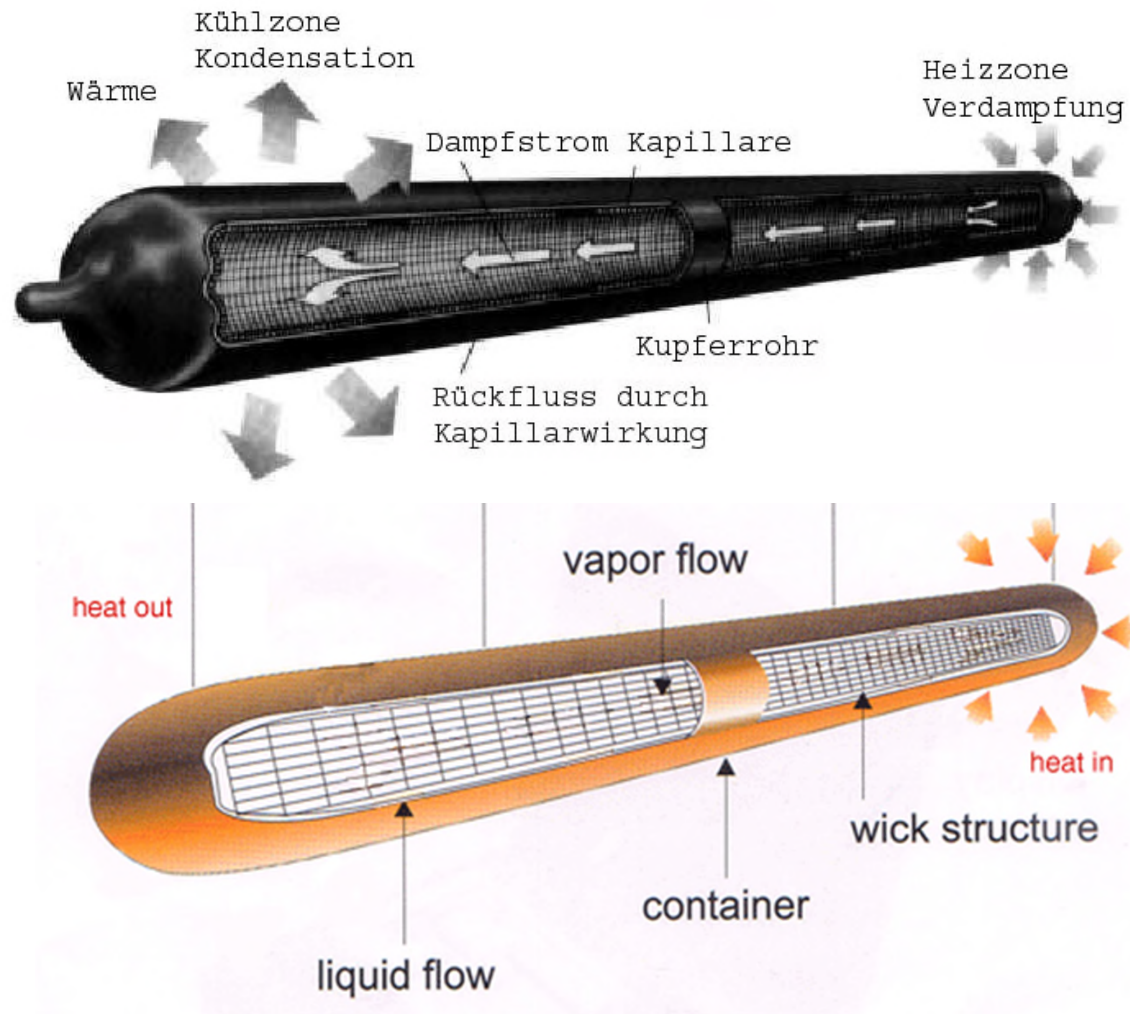
Gravitations-Wärmerohr

Kapillarkraft-Wärmerohr



Quelle Hoval

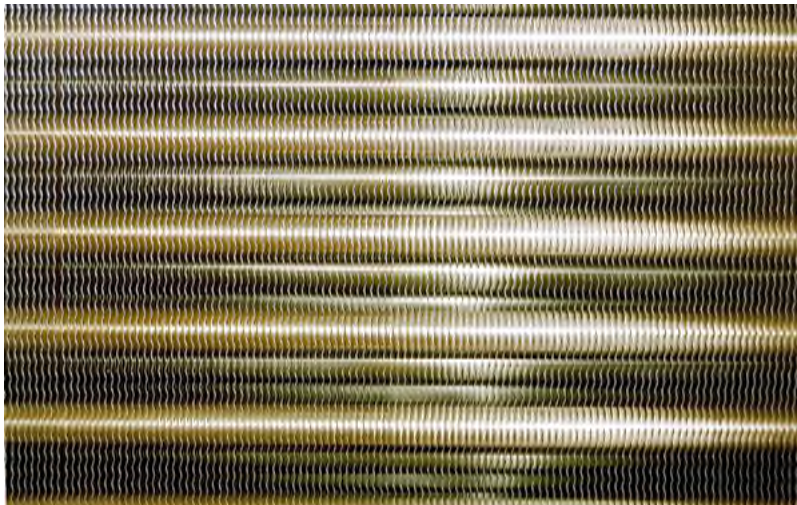
Wärmerohr



Quelle Wikipedia

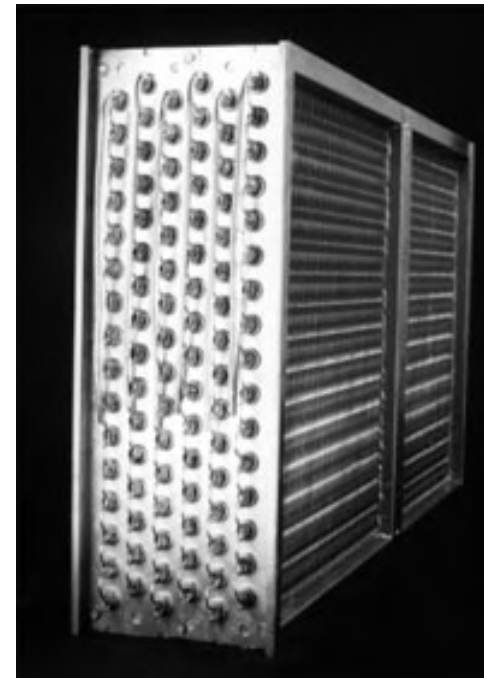
Wärmerohre

Wärmerohre als Register



DE 35 18 008

verbundene Wärmrohre



Konstruktion und Wirkungsweise

Die Wärmeübertragung erfolgt beim Wärmerohr **rekuperativ** über **Trennflächen** oder **regenerativ** mit Hilfe eines **Wärmeträgers** im Wärmerohr.

Der Wärmerückgewinner besteht aus mehreren **verbundenen Wärmerohren** (Schlangen oder kommunizierende Röhren) oder er besteht aus einer Vielzahl **einzelner Wärmerohre**, die mit einem für die jeweiligen Einsatzbereiche ausgewählten Wärme-träger gefüllt sind.

Bei den Regeneratoren mit **Kapillarkraft- und / oder Schwerkraft-Umlauf** entsprechen die Temperaturverläufe der beiden Luftströme längs des Strömungsweges denen des Rekuperators.

Konstruktion und Wirkungsweise

Innerhalb eines Wärmerohrs wird die Wärme nach dem **Verdampfungs- und Kondensationsprinzip** von der warmen zur kalten Luftseite transportiert. Es stellt sich je Rohr ein Phasengleichgewicht ein (Isothermie).

Durch das Verdampfen des Wärmeträgers wird die Wärme über die anteilige Wärmeaustauschfläche dem Warmluftstrom entzogen und durch Kondensation in der restlichen Austauschfläche dem Kaltluftstrom zugeführt.

Der kondensierte Wärmeträger strömt in demselben Rohr **ohne zusätzliche äußere Antriebskräfte** zur erneuten Verdampfung zum Ausgangspunkt zurück. Es wird keine zusätzliche Energie für den Wärmetransport benötigt.

Für die Wirksamkeit des Prozesses ist eine Temperaturdifferenz zwischen beiden Luftströmen erforderlich.

Konstruktion und Wirkungsweise

Man unterscheidet die Ausführung in **Gravitationswärmerohre** und **Kapillarkraftwärmerohre**.

Ein **Gravitationswärmerohr** besteht aus **Glattrohr** ohne Kapillareinbauten. Der **Rückfluss** des Wärmeträgers erfolgt ausschließlich aufgrund der **Schwerkraft**.

Das Ein- oder Ausschalten ist durch eine Kippregelung möglich.

Kapillarkraftwärmerohre weisen zusätzlich **Kapillareinbauten** auf, die aus Dochten, Gazegeweben, Profilen oder porösen Strukturen bestehen können. Sie bewirken eine bessere Oberflächenbenetzung und erhöhen das Reaktionsverhalten.

Durch die **Kapillarkraft** wird der **Wärmeträger von der Kondensationszone zur Verdampfungszone transportiert**. Mit einer **Kippregelung** ist bei Kapillarkraftwärmerohren eine **stufenlose Leistungsanpassung** möglich.

Planungs- und Betriebshinweise

Bei **Taupunktunterschreitung** des feuchten Luftstromes erfolgt eine **Kondensatausscheidung**. Ein Stoffaustausch zwischen den Luftströmen findet nicht statt. Eine **Vereisungsgefahr** durch Kondensation auf der Warmluftseite ist bei tiefen Außentemperaturen möglich.

Der Einsatz ist sowohl im Gleich- oder Gegenstrom möglich.

Eine **Leckage** zwischen den beiden Luftströmen ist möglich und kann durch besondere **Abdichtungsmaßnahmen** deutlich reduziert werden. **Gasdichte Sonderausführungen** sind ebenfalls möglich.

Eine **Zusammenführung der Luftströme** der Anlage ist notwendig. Die Materialwahl erfolgt entsprechend der Anforderungen in Bezug auf Statik, Wärmeaustausch, Korrosion und Verschmutzung.

Planungs- und Betriebshinweise

Bei **stehenden Wärmerohren** muss der **warme Luftstrom unten** und der **kalte Luftstrom oben** angeordnet werden. In diesem Fall ist eine Umkehr des Wärmestromes (Kälterückgewinn) nicht möglich.

Leistungsanpassung

In der Übergangszeit kann bedingt durch den hohen Wirkungsgrad der WRG mehr Wärme bzw. Kälte übertragen werden als erforderlich ist. In diesem Fall muss die Leistung der WRG stetig reduziert werden. Diese Aufgabe kann durch einen **luftseitigen Bypass (stehendes Wärmerohr)** oder durch eine **Kippregelung** erfolgen.

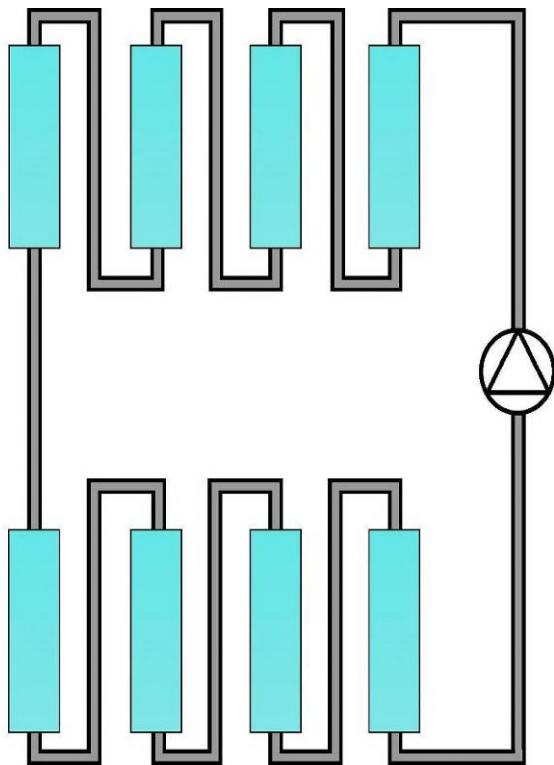
Vereisungsschutz

Um bei sehr niedrigen Außenlufttemperaturen (unterhalb ca. -7°C) und bei entsprechenden Feuchtelasten eine **Vereisung** des Kondensats auf den Lamellen des Abluftwärmeübertragers zu vermeiden, ist es notwendig die Übertragungsleistung der WRG zu begrenzen.

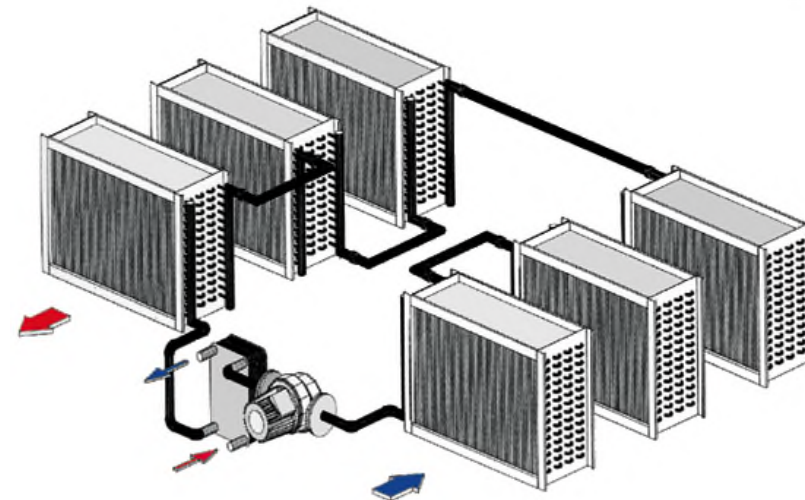
Für diese Betriebsfälle muss die Nacherhitzerleistung auf die begrenzte Wärmerückgewinnungsleistung ausgelegt werden. Sofern zuluftseitig wasserführende Komponenten vorhanden sind, ist zu dessen Schutz auch ein luftseitiger Frostschutz vorzusehen.

Kreislaufverbundsystem

Kreuz-Gegenstrom

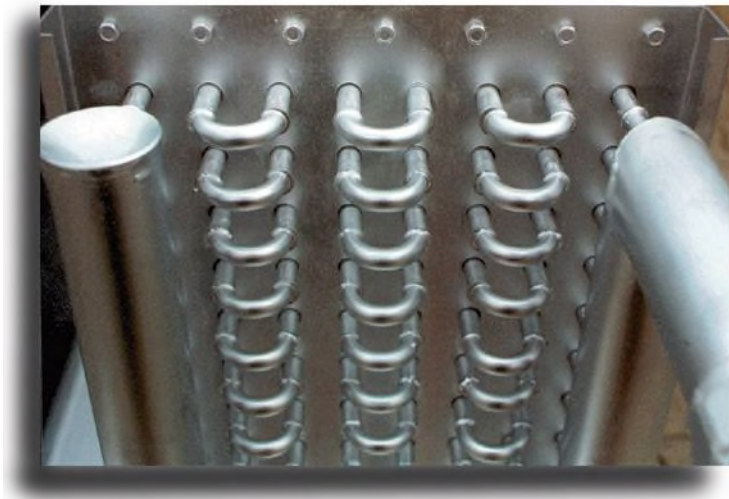


Mehrstufig



Kreislaufverbundsystem

Kreuz-Gegenstrom



Mehrstufig

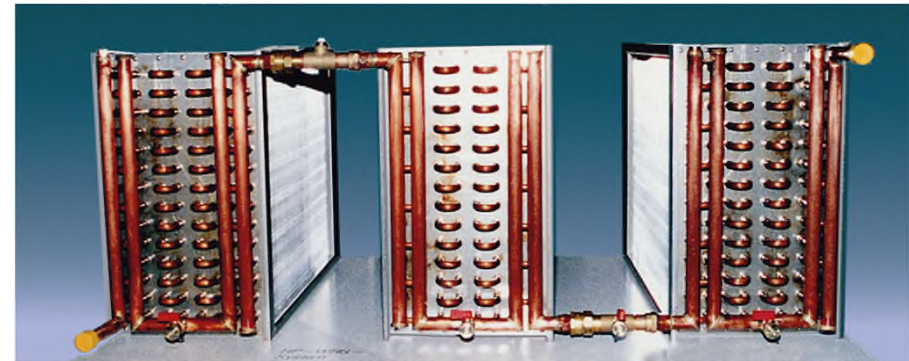


Kreislaufverbundsystem

Mehrstufig



Mehrstufig

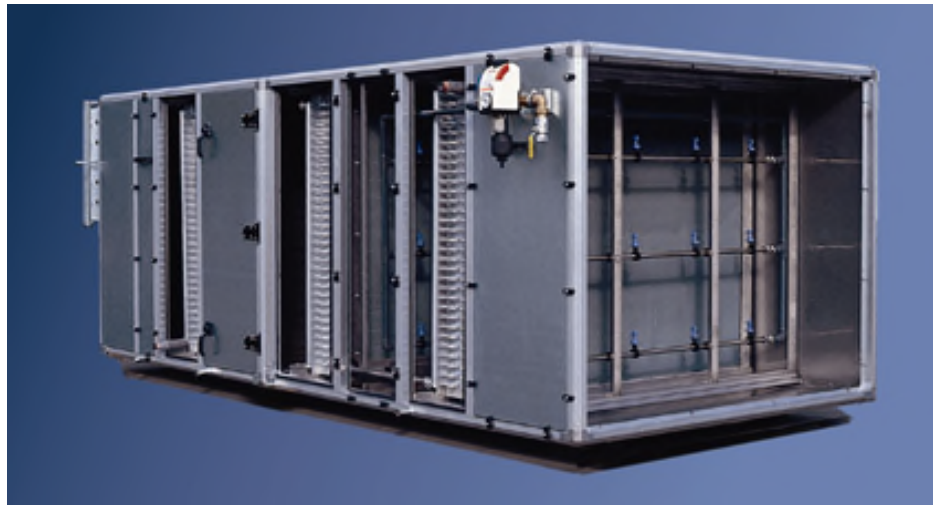


DE 195 14 167

DE 198 08 753

Kreislaufverbundsystem

Mehrstufig



Hybridsystem
Befeuchtung



Konstruktion und Wirkungsweise

Bei Kreislaufverbundsystemen ist zur Wärmerückgewinnung im warmen, als auch im kalten Luftvolumenstrom jeweils ein Wärmeübertrager integriert. Die einzelnen Wärmeübertrager werden mit **Wärmeträger** gefüllten Rohrleitungen verbunden. Damit handelt es sich um **gekoppelte Wärmeübertrager**. Für **jeden Luftstrom** wird die Wärme **rekuperativ** übertragen.

Jedoch bewirkt der **umlaufende Wärmeträger** insgesamt ein **regeneratives Verhalten**. Die warme Luft überträgt die Wärme an das Trägermedium (z. B. Wasser-Glykolgemisch), wobei eine Pumpe dieses zum zweiten Wärmeübertrager fördert und die Wärmeenergie an die kalte Luft abgibt.

Konstruktion und Wirkungsweise

Die Übertragungsleistung des Wärmerückgewinners ist von der Bauart der einzelnen Wärmeübertrager sowie von der Art des umlaufenden Wärmeträgers abhängig und kann von 0 ... 100% über den Massenstrom des Kreislaufs geregelt werden.

Die Zustandsänderung des Luftstroms bei Durchgang durch den Wärmerückgewinner ist gekennzeichnet durch eine Temperaturerhöhung des kälteren Luftstromes bei konstantem Feuchtegehalt. Es wird **keine Feuchte** übertragen.

Der warme Luftstrom wird abgekühlt und bei Unterschreiten der Taupunkttemperatur an der Wärmeübertragerfläche auch entfeuchtet. Dabei wird **latente Wärme (Kondensation)** übertragen.



Planungs- und Betriebshinweise

Ein Vorteil dieses Systems besteht darin, dass beide **Luftströme örtlich voneinander entfernt** liegen können, da die Verbindung mit einem Rohrleitungssystem hergestellt wird. Der erforderliche Aufwand für die Installation und Betrieb des Rohrleitungssystems ist deutlich geringer als bei einer Zusammenführung der Luftströme an einem Punkt im Gebäude. Durch **absolute Trennung der Luftströme** erfolgt selbst keine Stoff oder Brandübertragung. Damit eignet sich das Kreislaufverbundsystem zum präventiven **Rauch- und Brandschutz** und zum Einsatz in Anlagen bei denen keine Keime, Gerüche, Feuchte, Schadstoffe oder sonstige Kontaminationen übertragen werden dürfen.

Planungs- und Betriebshinweise

Im Winter kann eine **Vereisung** bei Taupunktunterschreitung des Fortluftwärmeübertragers durch **Beeinflussung des Kreislaufs** vermieden werden. Eine luftseitige Bypass-klappenschaltung ist nicht erforderlich.

Kreislaufverbundsysteme sind besonders für einen nachträglichen Einbau geeignet, da diese den gegebenen Örtlichkeiten einfach angepasst werden können.

Die Wirtschaftlichkeit von Kreislaufverbundsysteme kann bei höheren Temperaturübertragungsgraden (**über 70%**) durch Einsatz von **Mehrfachfunktionen** weiter gesteigert werden.

Leistungsanpassung

In der **Übergangszeit** kann bedingt durch den hohen Wirkungsgrad der WRG mehr Wärme bzw. Kälte übertragen werden als erforderlich ist. In diesem Fall muss die Leistung der WRG stetig reduziert werden. Diese Aufgabe soll vorzugsweise durch die **drehzahlgeregelte Pumpe** und bei Bedarf ergänzend durch ein **Regelventil** erfolgen.

Vereisungsschutz

Um bei sehr niedrigen Außenlufttemperaturen (unterhalb ca. -7°C) und bei entsprechenden Feuchtelasten eine **Vereisung des Kondensats** auf den Lamellen des Abluftwärmeübertragers zu vermeiden, ist es notwendig die **Übertragungsleistung** einer WRG zu **begrenzen**. Für diese Betriebsfälle muss die Nacherhitzerleistung auf die begrenzte Wärmerückgewinnungsleistung ausgelegt werden.



Frostschutz

Die Wärmeträgerflüssigkeit im Kreislaufverbund besteht vorzugsweise aus einem **Wasser/Frostschutzgemisch**. Da mit zunehmendem Frostschutzgehalt die Übertragungsleistung sinkt und die Pumpenarbeit zunimmt, ist der **Frostschutzgehalt sinnvoll zu begrenzen**.

Sofern zuluftseitig wasserführende Komponenten vorhanden sind, ist zu dessen Schutz auch ein **luftseitiger Frostschutz** vorzusehen.

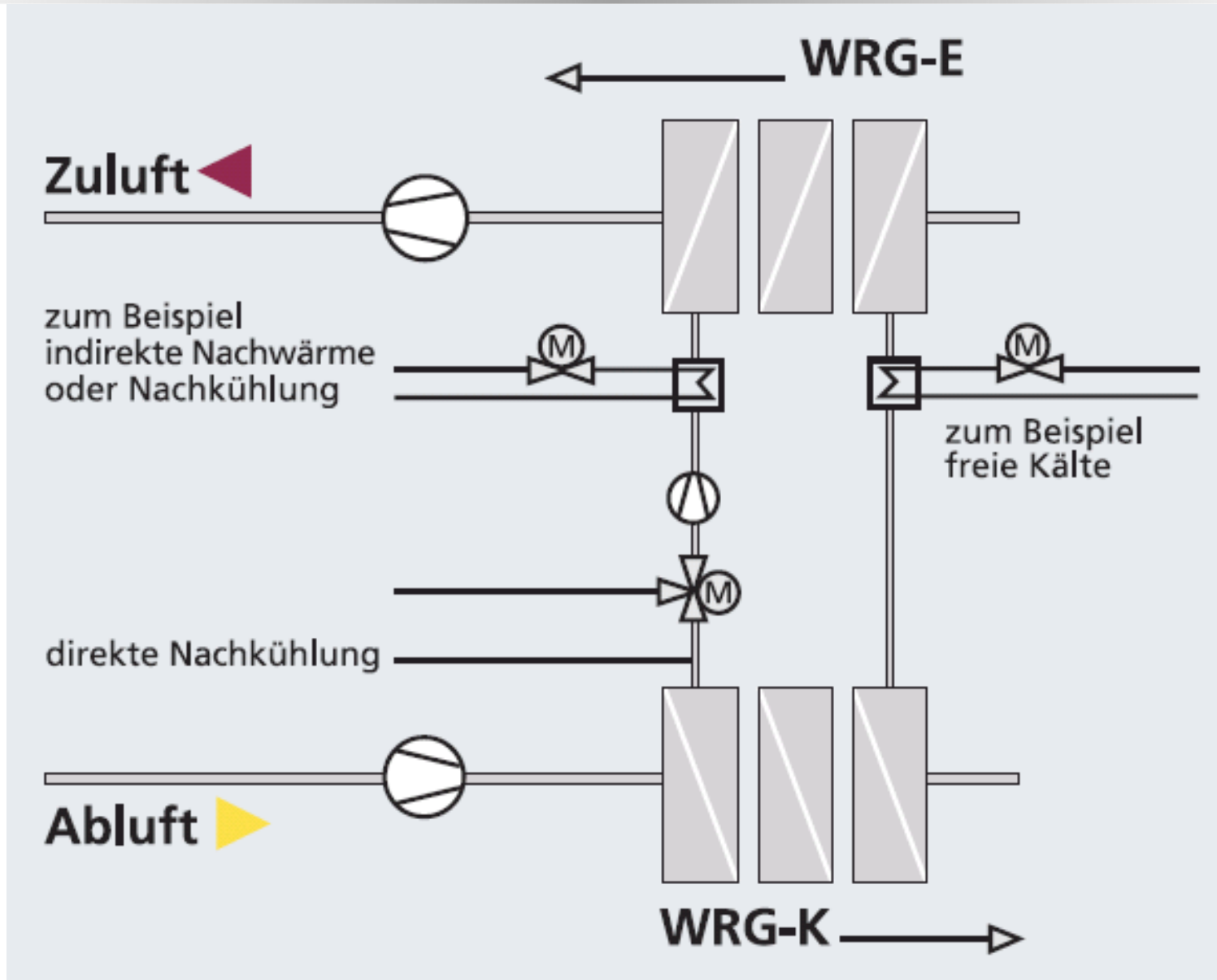
Mehrfachfunktionale Wärmerückgewinnung

Mehrfachfunktionale Wärmerückgewinnungen sind Systeme, die neben der **primären Funktion der WRG** noch zusätzliche thermodynamische Funktionen übernehmen.

Bei der Beachtung der konstruktiven Kriterien, wie der Geometrie, der Strömungsführung und des Wärmestromkapazitätenverhältnisses können KV-Systeme mit höheren Rückwärmzahlen (z. B. 80%) als mehrfachfunktionale Systeme eingesetzt werden.

Neben der primären Funktion der WRG können dann auch **zusätzliche Energieströme** ein- und ausgekoppelt werden.

Kreislaufverbundsystem



Indirekte Verdunstungskühlung

Falls Kälteleistung durch das System benötigt wird und die Kälterückgewinnungsleistung nicht ausreicht, kann eine indirekte adiabate Verdunstungskühlung auf der Abluftseite erfolgen. Dabei wird die Feuchte getrennt mit der Fortluft abgeführt und nur die Kälte für die Zuluftkühlung genutzt. Eine Auffeuchtung der Raumluft findet nicht statt.

Zu beachten ist zusätzlich, dass die Verdunstungskühlung verriegelt werden muss, wenn bei spielsweise der Temperaturvergleich eine energetisch sinnvolle Betriebsweise nicht zulässt.

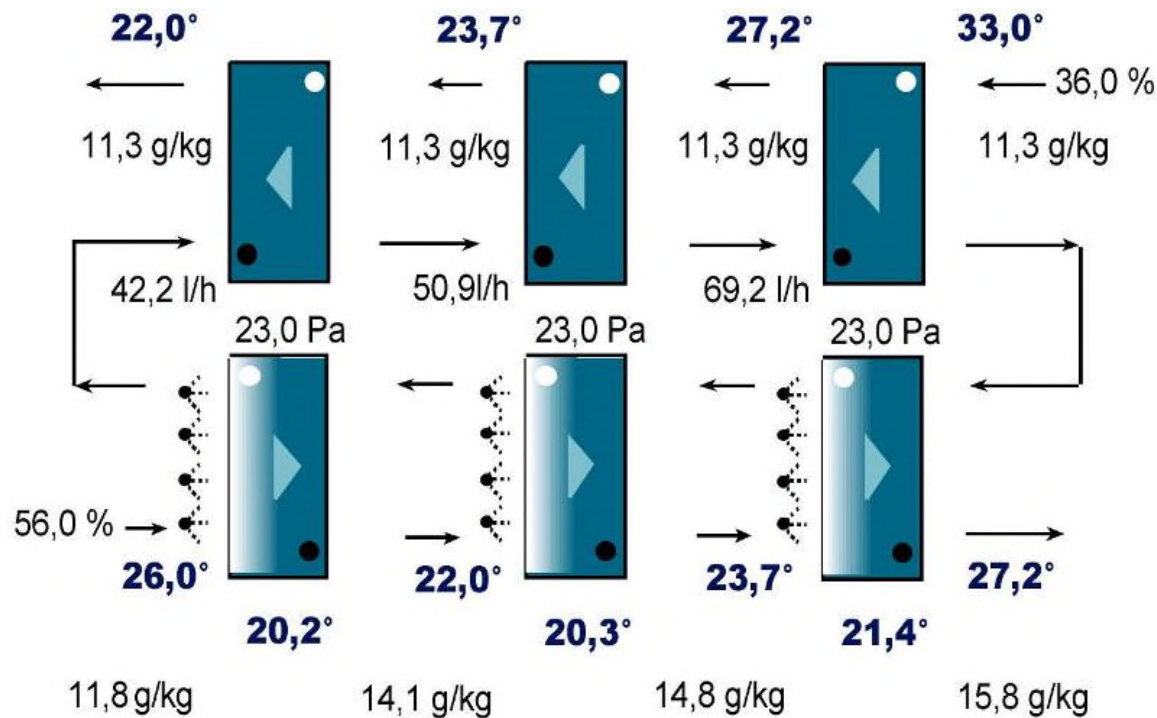
Indirekte Verdunstungskühlung

Voraussetzungen für den Einsatz der indirekten Verdunstungskühlung sind:

- **Befeuchtungsgrad** der Abluftbefeuchtung liegt **mindestens bei 85 %**
- **Rückwärmzahl** der WRG beträgt **mindestens 65 %**
- Die **Abluftfeuchte** soll **unter 65 %** liegen

Indirekte Verdunstungskühlung

Mehrstufig



Hybridsystem Befeuchtung



Systemkriterien

	Mit gemeinsamer Trennfläche	Mit nicht gemeinsamer Trennfläche		Mit gemeinsamer Kontaktfläche	Wärmepumpe
	PWÜ	Wärmerohr	KV-System	Regenerator	WP
	Verfahren ohne äußere Energiezufuhr				Mit Zufuhr
AUL und FOL zusammen	Ja	Ja	Nein	Ja	Nein
Bewegliche Teile	Nein	Nein	Ja	Ja	Ja
Hilfsenergie	Nein	Nein	Ja	Ja	Ja
Interne Leckage	Gering	Gering	Nein	Deutlich	Nein
Externe Leckage	Mittel	Gering	Nein	Gering	Nein
Kontamination möglich	Nein	Nein	Nein	Ja	Nein
Leckage bei Defekt möglich	Ja	Ja	Nein	Ja	Nein
Feuchteübertragung d. Kondensation	Nein	Nein	Nein	Ja	Nein
Feuchteübertragung d. Sorption	Nein	Nein	Nein	Ja	Nein

Systemkriterien

	Mit gemeinsamer Trennfläche	Mit nicht gemeinsamer Trennfläche		Mit gemeinsamer Kontaktfläche	Wärmepumpe
	PWÜ	Wärmerohr	KV-System	Regenerator	WP
	Verfahren ohne äußere Energiezufuhr				Mit Zufuhr
Kälterückgewinnung	Ja	Nein	Ja	Ja	Ja
Indirekte Verdunstungskühlung	Ja	Bedingt	Ja	Nein	Nein
Wärmeeinkopplung (z. B. Nacherwärmung)	Nein	Nein	Ja	Nein	Ja
Wärmeauskopplung (z. B. Brauchwasser-vorerwärmung)	Nein	Nein	Ja	Nein	Ja
Integrierte Entfeuchtungsschaltung (Entfeuchungskälterückgewinnung)	Nein	Nein	Ja	Nein	Nein
Auskopplung Freie Kälte	Nein	Nein	Ja	Nein	Ja

Systemkriterien

	Mit gemeinsamer Trennfläche	Mit nicht gemeinsamer Trennfläche		Mit gemeinsamer Kontaktfläche	Wärmepumpe
	PWÜ	Wärmerohr	KV-System	Regenerator	WP
	Verfahren ohne äußere Energiezufuhr				Mit Zufuhr
Regelung	Bypass	Bypass Kippregelung	System	Drehzahl Umschaltzeiten	Medien-seitig (Menge)
Einfrierschutz	Luftseitig	Luftseitig Kippregelung	Medienseitig	Drehzahl Umschaltzeiten	s. o. Abtauschaltung
Verschleiss/Alterung	Nein	Nein	Ja	Ja	Ja
Wartungsaufwand	Gering	Gering	Mittel	Mittel	Hoch
Reinigungsaufwand	Gering	Mittel	Mittel	Teilweise selbst-reinigend	Mittel

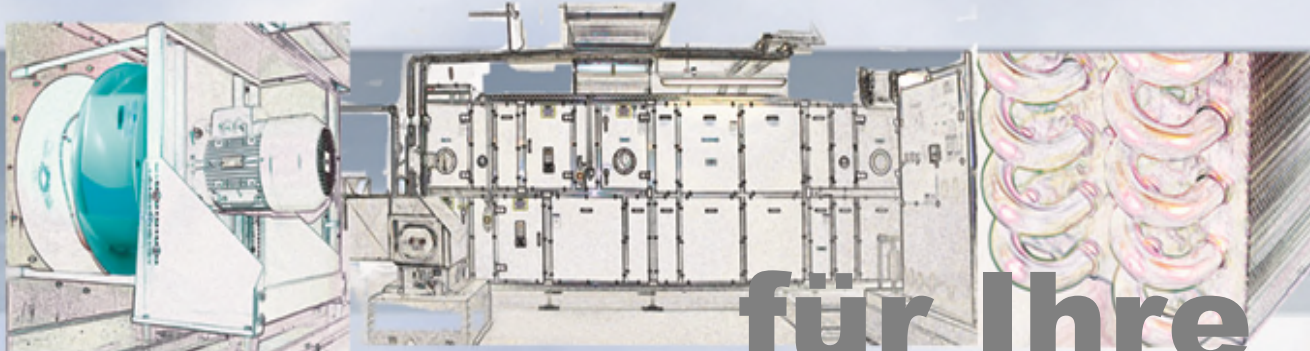
Systemkriterien

	Mit gemeinsamer Trennfläche	Mit nicht gemeinsamer Trennfläche		Mit gemeinsamer Kontaktfläche	Wärmepumpe
	PWÜ	Wärmerohr	KV-System	Regenerator	WP
	Verfahren ohne äußere Energiezufuhr				Mit Zufuhr
Rückwärmezahl (typisch)	0,4 - 0,8	0,4 – 0,5	0,4 – 0,8	0,6 – 0,75	0,4 – 0,65
Rückfeuchtezahl (typisch)	0	0	0	0,1 – 0,7 ¹⁾	0
Typischer Druckabfall in Pa	100 - 350	100 - 250	100 - 300	100 - 200	150 - 250

Systemkriterien

	Mit gemeinsamer Trennfläche	Mit nicht gemeinsamer Trennfläche		Mit gemeinsamer Kontaktfläche	Wärmepumpe
	PWÜ	Wärmerohr	KV-System	Regenerator	WP
	Verfahren ohne äußere Energiezufuhr				Mit Zufuhr
Gerüche	○	○ / +	+	-	+
Keime	○	○ / +	+	-	+
Staub	○	+	+	+	+
Öle und Fett	○	○ / +	+	-	+
Gase	-	○ / +	+	-	+

Herzlichen Dank



für Ihre
Aufmerksamkeit

Raumlufttechnik WRG-Systeme

Energierückgewinnung und Energieeffizienz-
technologien in der Lüftungstechnik

Prof. Dr.-Ing. Dr. Christoph Kaup

c.kaup@umwelt-campus.de



Umwelt-Campus
Birkenfeld

H O C H
S C H U L E
T R I E R