

Über das Einfrieren des Kondensats im Plattenwärmeübertrager

Die europäische Verordnung EU 1253-2014 gibt ab 1.1.2018 für Plattenwärmeübertrager eine Mindest-Rückwärmzahl von 0.73 vor. Mit dieser hohen Effizienz besteht vermehrt die Möglichkeit, dass etwaiges Kondensat der Abluft stark abgekühlt wird und gefriert: Die Einfriergefahr steigt. Ob und, wenn ja, wie dies bei Planung und Ausführung zu berücksichtigen ist, sollte jedem Lüftungsfachmann bekannt sein.

Was gefriert wann?

Wird feuchte Luft abgekühlt, so steigt dabei die relative Feuchtigkeit so lange an, bis schließlich Kondensat entsteht und damit der absolute Feuchtegehalt der Luft abnimmt. Wird weiter abgekühlt, so gefriert das flüssige Kondensat bei Temperaturen unter dem Gefrierpunkt. Dieser Vorgang ist typisch für Wärmerückgewinnung aus Abluft bei tiefen Außentemperaturen:

Die Wärme der Abluft wird auf die kalte Außenluft übertragen; dadurch kühlt die Abluft ab. Je nach Feuchtegehalt entsteht dabei Kondensat Δx (Bild 1). Damit wird Wärme frei, was die Effizienz des Wärmeübergangs, sprich die Rückwärmzahl RWZ, deutlich verbessert. Gleichzeitig wird aber auch durch das Kondensat auf der Abluftseite der Strömungsquerschnitt verkleinert und damit der Druckverlust erhöht. Ist die Außenluft so kalt, dass die Abluft unter den Gefrierpunkt des Kondensats abgekühlt wird, kann dieses gefrieren und den Wärmeaustauscher abluftseitig teilweise - oder im Extremfall sogar ganz - blockieren. Die Abluftleistung geht zurück bzw. wird sogar Null. Entsprechend wird auch die Wärmerückgewinnung gemindert, d.h. die Vorwärmung der Außenluft wird geringer. Die Minderleistung muss durch einen größer dimensionierten Nacherhitzer ausgeglichen werden.

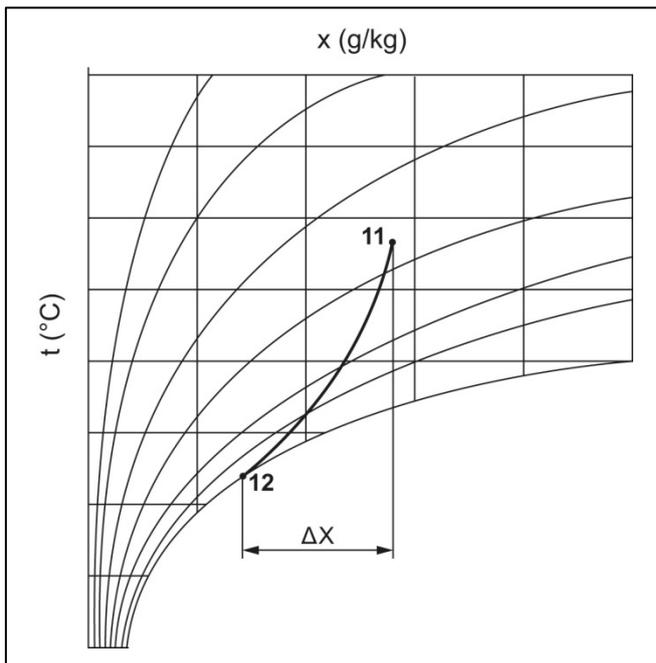


Bild 1: Bei starker Abkühlung kann Kondensat der Abluft gefrieren

Dieser physikalische Vorgang ist grundsätzlich bei allen Systemen der Wärmerückgewinnung, also bei Plattenwärmeaustauschern, Rotoren, Wärmerohren und Kreislaufverbundsystemen, gleich. Die Einfriergrenze, das ist die minimal zulässige Außenlufttemperatur, bei der das Gefrieren gerade noch nicht eintritt, ist aber unterschiedlich und hängt ab von:

- den Abluftkonditionen (Temperatur t_{11} und Feuchte r_{F11} bzw. x_{11}),
- der (trockenen) Rückwärmzahl des Wärmerückgewinners RWZ
- dem Massenstromverhältnis ($m_2 : m_1 = \text{Kaltluft} : \text{Warmluft}$)
- der Tauscherbauart

Wegen der relativ hohen Rückwärmzahl, aber auch wegen der ungleichmäßigen Temperaturverteilung, ist der Kreuzstrom-Plattenwärmeaustauscher für die Betrachtung dieses physikalischen Phänomens besonders interessant.

Berechnung der Einfriergrenze des Plattenwärmetauschers

Der Betrachtung liegen Kreuzstromaustauscher zugrunde, bei denen alle Platten gleichmäßig durchströmt werden und damit für alle Platten auch gleiche Verhältnisse gegeben sind. (Da beim sogenannten Gegenströmer Kreuz- und Gegenstrom auftreten, erfolgt die Berechnung dafür analog.) Durch das Kreuzstromprinzip wird die kalte

Außenluft ebenso wie die warme Abluft ungleichmäßig erwärmt bzw. gekühlt, was die Berechnung schwierig macht. Unterteilt man die Platten aber in gleiche Elemente (z.B. 10 x 10), so lässt sich damit der wärmetechnische Vorgang relativ leicht berechnen, ebenso wie die dabei auftretende Kondensation. Diese Berechnung nach der Methode der finiten Elemente zeigt auch klar die sogenannte kalte Ecke des Plattenwärmeaustauschers auf; das ist die Stelle, wo die Abluft am stärksten abgekühlt wird.

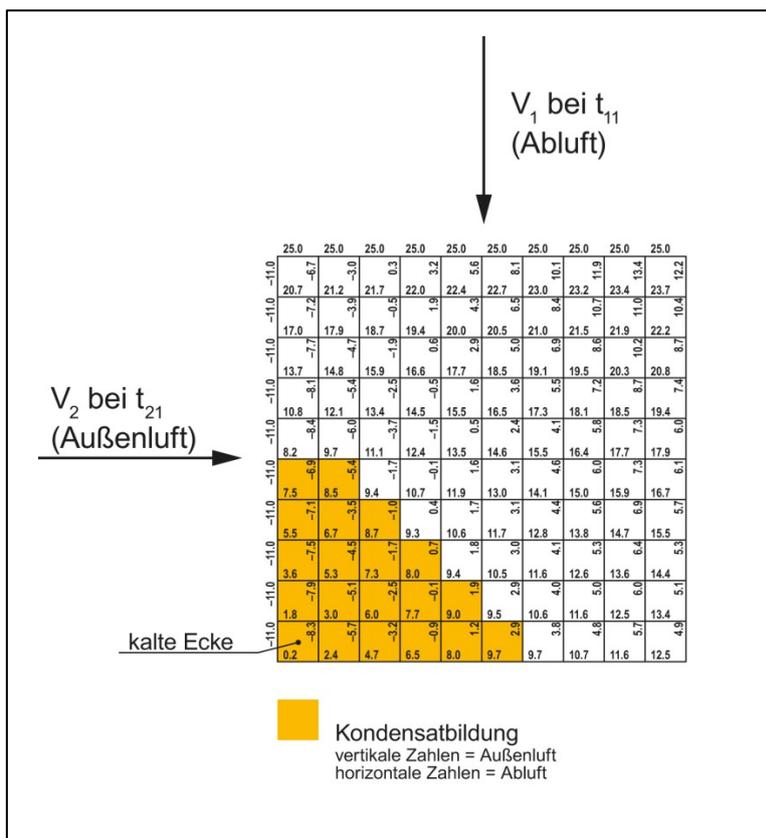


Bild 2: Temperaturverlauf eines Plattenwärmeaustauschers, berechnet mit der Methode der finiten Elemente

Wird die Temperatur der Außenluft bei gleichbleibenden Konditionen der Abluft so variiert, dass bei diesem Element die Temperatur der Abluft gerade 0 °C beträgt, so hat man die theoretische Einfriergrenze gefunden (Bild 2). Mit diesem Ansatz erhält man Ergebnisse, die von der Praxis weitgehend bestätigt werden. (Physikalisch korrekter wäre es, die Temperatur des Kondensats Null zu setzen, wozu aber der Kondensattransport im Tauscher – abhängig von der Einbaulage und von der Luftführung – berücksichtigt werden müsste.)

Somit liegen diesem Berechnungsmodell folgende Vereinfachungen zugrunde:

- Ablufttemperatur und Kondensattemperatur sind gleich.
- Wärmeübergang vom Kondensat zur Platte ist unendlich, d.h. die Kondensattemperatur ist gleich der Plattentemperatur.
- Wärmekapazität des Kondensats wird nicht berücksichtigt.
- Umwandlungsenergie flüssig/fest des Kondensats wird nicht berücksichtigt.

Mit diesem Berechnungsverfahren kann jeder konkrete Fall, aber natürlich auch das generelle Verhalten des Plattenwärmeaustauschers, berechnet werden.

t ₁₁	rF ₁₁	trockene Rückwärmzahl			
		0.5	0.6	0.7	0.8
°C	%				
20	30	-13.4	-11.4	-7.8	-5.6
20	50	-15.9	-13.2	-9.7	-7.4
20	70	-18.8	-16.3	-11.4	-9.4
25	30	-16.3	-13.4	-9.5	-6.9
25	50	-19.6	-17.2	-12.1	-9.4
25	70	-23.4	-20.1	-14.0	-12.6

Tabelle 1: Einfriergrenze eines Kreuzströmers als Funktion der Ablufttemperatur t₁₁, der rel. Abluftfeuchte rF₁₁ und der Rückwärmzahl Φ bei einem Massenstromverhältnis $m_2/m_1 = 1.0$

In der Tabelle 1 sind die minimal zulässigen Außentemperaturen (= Einfriergrenzen) für einen Kreuzströmer bei verschiedenen Abluftkonditionen aufgeführt. Man erkennt daraus folgende Zusammenhänge:

- Mit steigender Feuchte wird die Einfriergefahr geringer. Das wirkt sich besonders bei höheren Temperaturen stark aus.

Achtung: Ist die Abluftfeuchte (bei Standardkonditionen) kleiner als 4 g/kg, so liegt der Taupunkt bei < 0 °C, d.h. Kondensation findet nicht statt. Der Wasserdampf geht sofort vom gasförmigen in den festen Zustand über, er sublimiert → es „schneit“. Um vereisen zu können, muss die Feuchte der Abluft also mehr als 4 g/kg Luft betragen.

- Mit höherer Effizienz des Plattenwärmeaustauschers steigt auch die Einfriergefahr.
- Je höher die Ablufttemperatur ist, desto geringer ist die Einfriergefahr.
- Je größer das Massenstromverhältnis m_2/m_1 (Kaltluft/Warmluft) ist, desto größer ist die Einfriergefahr (siehe Tabelle 2 → Viel kalte Luft kühlt wenig warme Luft stärker ab.)

Wichtig ist bei der Bewertung dieser Rechenergebnisse, dass es sich dabei um eine theoretische Betrachtung handelt, deren Werte je nach Rechenmodell variieren können. In der Praxis sind deshalb Abweichungen davon zu erwarten.

Einflüsse in der Praxis

Die Praxis zeigt, dass das tatsächliche Einfrierverhalten neben den physikalischen Randbedingungen vor allen Dingen von drei Faktoren abhängt:

- dem Betriebsverhalten des Abluftventilators
- der Einbaulage und der Luftführung des Wärmeaustauschers
- der Bauart des Wärmeaustauschers (Bild 8)

Ventilator Kennlinie des Abluftventilators

Betrachtet wird der Plattenwärmeaustauscher, wenn ein Teil seiner Fläche bereits eingefroren ist (Bild 3). Durch das Eis in der kalten Ecke wird gegen den Austritt hin der Strömungsquerschnitt der Abluft verengt und der Druckverlust dadurch erhöht.

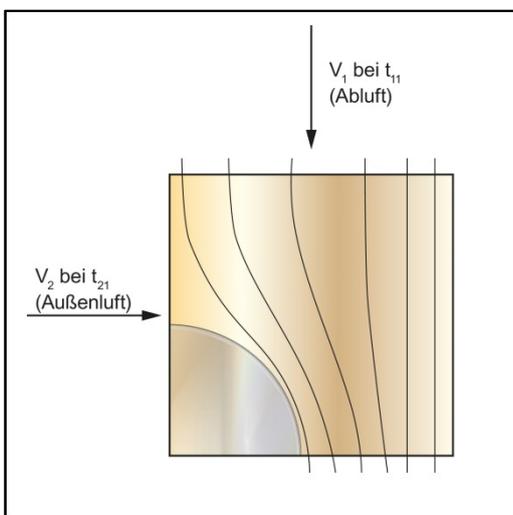


Bild 3: Abluftströmung im teilweise gefrorenen Plattenwärmeaustauscher

Bei Ventilatoren mit flacher Kennlinie – in der Praxis kaum mehr eingesetzt - geht dadurch der Volumenstrom zurück, was im Plattenwärmeaustauscher zu einer Verschlechterung des Massenstromverhältnisses führt. Die konstant grosse Außenluft kühlt die jetzt weniger werdende Abluft immer stärker ab. Die Eisbildung wird beschleunigt, und der Wärmeaustauscher friert schließlich komplett zu. In der Regel wird er dabei nicht beschädigt; er ist nach dem Auftauen wieder funktionsfähig.

Ist ein Ventilator mit steiler Kennlinie, z.B. mit rückwärts gekrümmten Schaufeln, im Abluftstrom installiert (dies ist heute – Stand 2018 – Standard), so wird auch bei einem kleineren Strömungsquerschnitt noch annähernd die Nenn-Abluftmenge gefördert. Durch die höhere Strömungsgeschwindigkeit wird die Leistung geringer, zu dem sich, bezogen auf den gefährdeten Querschnitt, das Massenstromverhältnis auch zugunsten des Abluftstromes verändert. Praktisch bedeutet das, dass sich in Abhängigkeit der Außentemperatur ein Gleichgewichtszustand einstellt und der Wärmeaustauscher in der Regel nicht komplett zufriert. Die Lüftungsfunktion ist – etwas eingeschränkt – gewährleistet.

Einbaulage und Luftführung

Bei der theoretischen Berechnung wird nicht berücksichtigt, dass das Kondensat im Wärmeaustauscher durch die Schwerkraft, aber auch durch die Strömungskräfte, bewegt wird. Das kann grundsätzlich zwei Auswirkungen haben:

- Bei Beginn der Kondensation ist die Taupunkttemperatur noch relativ hoch, das Kondensat ist also warm und energiereich. Verglichen mit der Luft ist auch die Wärmekapazität des Wassers ein Vielfaches, so dass mit dem Kondensat relativ viel Energie transportiert wird. Damit können bei genügender Kondensatmenge kältere Teile des Plattenwärmeaustauschers warm gehalten werden.
- Ist die Kondensatmenge klein und die darin enthaltene Energie reicht nicht aus, die kalten Zonen des Plattenwärmeaustauschers zu erwärmen, dann vereist der Plattenwärmeaustauscher durch die Zufuhr des Kondensats schneller.

Mit dieser Erkenntnis lassen sich folgende Fälle unterscheiden:

Normalausführung

Kreuzstrom-Plattentauscher werden so installiert, dass ein Luftstrom vertikal und der andere horizontal geführt wird. Wenn Symmetrieduplikate nicht berücksichtigt werden, gibt es grundsätzlich vier Strömungsmöglichkeiten (Bild 4) mit den beschriebenen Auswirkungen.

<p>a) Durch Schwerkraft und Strömung wird das Kondensat in die kalte Zone gefördert. Falls viel Kondensat ausfällt, wird die Einfriergefahr geringer. Falls wenig Kondensat ausfällt, geht das Einfrieren schneller vor sich.</p>	<p>b) Schwerkraft und Strömung wirken gegeneinander. Falls die Schwerkraft überwiegt, wird das Kondensat zurück in wärmere Zonen gefördert; die Einfriergefahr ist geringer. Falls die Strömungskraft überwiegt, siehe a).</p>	<p>c) Durch Schwerkraft und Strömung wird das Kondensat in wärmere Zonen gefördert; die Einfriergefahr ist geringer.</p>	<p>d) Durch Schwerkraft und Strömung wird das Kondensat in die kalte Zone gefördert, deshalb analog a).</p>
<p>1 = Wärme abgebend 2 = Wärme aufnehmend</p>		<p> = Kondensat = kalte Ecke</p>	

Bild 4: Mögliche Luftführungen bei der Normalausführung

Diagonalausführung

Bei der üblichen Diagonalausführung werden wieder die vier Strömungsmöglichkeiten betrachtet (Bild 5).

a) Durch Schwerkraft und Strömung wird das Kondensat in die kalte Zone gefördert. Falls viel Kondensat ausfällt, wird die Einfriergefahr geringer. Falls wenig Kondensat ausfällt, geht das Einfrieren schneller vor sich.	b) Durch Schwerkraft und Strömung wird das Kondensat in die kalte Zone gefördert. Die Einfriergefahr nimmt dadurch zu (ausgenommen es fällt sehr viel Kondensat aus).	c) Durch Schwerkraft und Strömung wird das Kondensat in die warme Zone gefördert; die Einfriergefahr wird geringer.	d) Durch Schwerkraft und Strömung wird das Kondensat in die warme Zone gefördert; die Einfriergefahr wird geringer.
1 = Wärme abgebend 2 = Wärme aufnehmend			

Bild 5: Mögliche Luftführungen bei der Diagonalausführung

Gegenströmer

Der sogenannte Gegenströmer der Wärmerückgewinnung in der Lufttechnik besteht aus

- dem An- und Ausströmteil mit Kreuzstromcharakteristik
- dem Gegenstromteil dazwischen

Dem Namen entsprechend müssen – um hohe Rückwärmzahlen zu erreichen – die Luftströme im Gegenstrom geführt werden. Dadurch reduziert sich die Anzahl der Luftführungen im Vergleich mit einem Kreuzströmer.

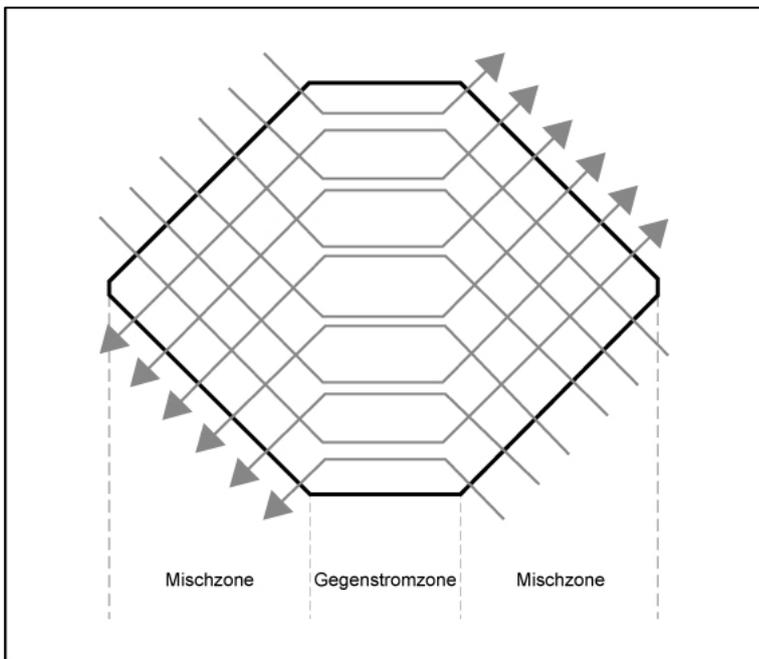


Bild 6: Bei dieser Luftführung im Gegenströmer ist die Beaufschlagung ungleichmässig

Auch die Luftführung nach Bild 6 ist nicht zu empfehlen, da hier die Stromlinien ungleich lang sind. Daraus resultieren unterschiedliche Widerstände und unterschiedliche Beaufschlagungen, so dass die erwartete hohe RWZ nicht erreicht wird. Somit gilt es die in Bild 7 dargestellten Möglichkeiten der Luftführung zu beurteilen.

<p>a) Durch Schwerkraft und Strömung wird das Kondensat in die kalte Zone gefördert. Falls viel Kondensat ausfällt, wird die Einfriergefahr geringer. Falls wenig Kondensat ausfällt, geht das Einfrieren schneller vor sich.</p>	<p>b) Durch Schwerkraft kann das Kondensat den Tauscher kaum verlassen; es kann zum Rückstau kommen. Die Einfriergefahr nimmt dadurch zu (ausgenommen es fällt sehr viel Kondensat aus).</p>	<p>c) Durch Schwerkraft wird das Kondensat gegen die Strömung in die warme Zone gefördert; die Einfriergefahr wird geringer.</p>	<p>d) Durch Schwerkraft und Strömung wird das Kondensat in die warme Zone gefördert; die Einfriergefahr wird geringer.</p>
<p>1 = Wärme abgebend 2 = Wärme aufnehmend</p>		<p> = Kondensat = kalte Ecke</p>	

Bild 7: Mögliche Luftführungen beim Gegenströmer

Horizontalausführung (Platten horizontal)

Bei den bisher betrachteten Einbaulagen und Luftführungen war immer vorausgesetzt, dass die Platten vertikal stehen. Sind sie aber horizontal angeordnet, so sind einige Besonderheiten zu beachten, da

- das Kondensat unkontrolliert abläuft;
- Kondensat durch kleinste Undichtigkeiten von der Abluftseite auf die Außenluftseite gelangen kann;
- beim Vereisen der Aluminium-Plattenwärmeaustauscher durch das Gewicht des Eises beschädigt werden kann;
- Kondensattropfen leicht mit dem Luftstrom mitgerissen werden, weshalb Tropfenabscheider sinnvoll sind.

Weiter muss berücksichtigt werden, dass beim Abschalten der Anlage Kondensat auf den Platten stehen bleibt und bei kalter Außenluft gefrieren kann. Erfahrungen beweisen, dass Einfrierprobleme bei Horizontalausführung wesentlich häufiger sind als bei vertikalen Platten. Diese Einbaulage ist deshalb bei Kondensation und Einfriergefahr nicht zu empfehlen.

Struktur im Plattenwärmeaustauscher. Grossen Einfluss auf das mögliche Vereisen eines Plattenwärmeübertragers hat die innere Struktur des Tauschers; wir unterscheiden zwei Fälle (Bild 8):

Offener Plattenwärmeaustauscher. Im Tauscher können sowohl die Luft wie auch das Kondensat in alle Richtungen strömen. Der Plattenabstand wird üblicherweise durch Noppen o. ä. sichergestellt.

Kanal-Plattenwärmeaustauscher. Hier wird - mindestens auf der Abluftseite – die Luft in Röhren (rund, drei- oder viereckig) geführt. Dies gilt auch für das Kondensat; der Einfluss der Schwerkraft wird dadurch reduziert.

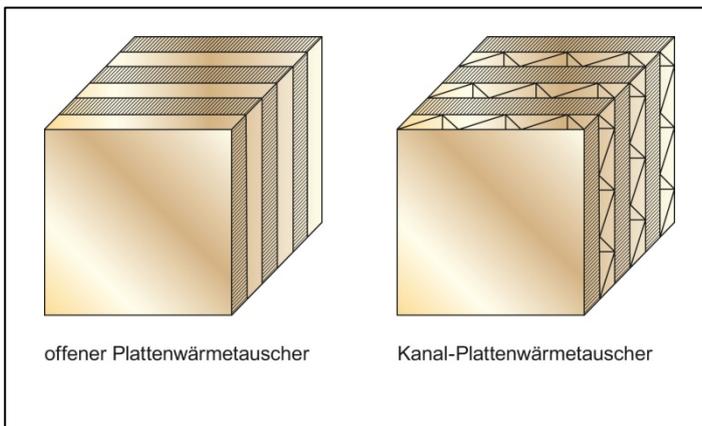


Bild 8: Die innere Struktur des Plattenwärmetauschers ist mitentscheidend für das Einfrierverhalten

Wird die Abluft in Kanälen oder Röhren geführt, so wirkt sich das Vereisen anders aus als beim offenen Plattenwärmetauscher:

Sobald ein Kanal an einer Stelle vereist ist, ist die Durchströmung der Abluft unterbrochen und damit die Röhre außer Funktion. Wenn also beispielsweise der erste Kanal durch Eisbildung blockiert ist, wird der zweite Kanal direkt mit der kalten Außenluft beaufschlagt. Er wird sozusagen zum ersten Kanal und vereist ebenfalls (Bild 9). Diese Überlegung wird durch Praxisergebnisse bewiesen; Kanal-Plattenwärmetauscher gefrieren generell schneller als offene Plattenwärmetauscher.

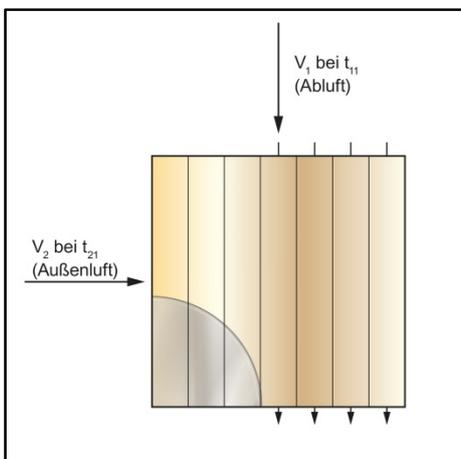


Bild 9: Luftströmung in teilweise gefrorenem Kanal-Plattenwärmetauscher

Zusammenfassend kann man folgende Erkenntnisse festhalten:

- Abluftventilatoren mit steiler Kennlinie verhindern oder verzögern das Einfrieren des Plattenwärmeaustauschers und sind deshalb zu empfehlen.
- Plattenwärmeaustauscher, die zwischen den Platten der Abluft eine freie Strömung ermöglichen (offene Plattenwärmeaustauscher) haben ein besseres Betriebsverhalten als Kanal-Plattenwärmeaustauscher; diese frieren eher zu.
- Bezüglich Einbaulage und Luftführung lassen sich generell keine Empfehlungen geben. Man muss viel mehr von Fall zu Fall entsprechend Kondensatmenge und Abluftgeschwindigkeit überlegen, welche Lösung Vorteile bietet.

Möglichkeiten zur Eisvermeidung

Vorab ist zu bemerken, dass in der Praxis das Vereisungsproblem, insbesondere für offene Plattenwärmeaustauscher, kaum eine Rolle spielt. Gründe dafür sind:

- Die meisten Anlagen arbeiten nicht während der Nacht, also nicht bei sehr tiefen Außentemperaturen.
- Kurzzeitiges teilweises Einfrieren wird vom Betreiber toleriert (oder gar nicht bemerkt).
- Die der Berechnung zugrunde gelegten Konditionen treten in der Praxis nicht auf. Das gilt insbesondere für die Feuchte der Abluft, die gerade im Winter oft weniger als 4 g/kg beträgt.

Muss - aus welchen Gründen auch immer - zu jedem Zeitpunkt sichergestellt sein, dass der Plattenwärmeaustauscher voll funktionsfähig ist, so sind grundsätzlich folgende Maßnahmen zur Vermeidung des Einfrierens möglich:

- Vorwärmen der Außenluft
- Veränderung des Massenstromverhältnisses
- Abtauschaltungen

Allen Massnahmen ist eigen, dass damit die Gesamteffizienz der Wärmerückgewinnung gemindert wird. Betriebswirtschaftlich ist dies aber kaum von Bedeutung, da die Einfriergefahr normalerweise nur während weniger Betriebsstunden im Jahr auftritt.

Vorwärmung der Außenluft

Das Einfrieren kann verhindert werden, wenn die Außenluft immer wärmer als die Einfriergrenze ist. Dies ist durch Zumischen von Abluft (Mischluftbetrieb) oder durch Vorwärmung (hydraulisch oder elektrisch) möglich. Wichtig ist, dass die Vorwärmung nur im Bereich der kalten Ecke notwendig ist, d.h. die Größe und auch die Leistung der Vorwärmung lassen sich dadurch reduzieren. Da dieses Verfahren relativ großen Installationsaufwand erfordert, wird es selten angewandt.

PS: Die zusätzliche Erwärmung der Abluft ist theoretisch auch möglich, aber vom energetischen Standpunkt aus nicht zu empfehlen.

Verminderung des Massenstromverhältnisses mittels Bypass

Wird ein Teil der Aussenluft über einen Bypass zugeführt, so ändert sich das Massenstromverhältnis: Wenig kalte Luft kann viel warme Luft nicht mehr so weit abkühlen, dass das Kondensat gefriert (Tab. 2). Dabei ist allerdings zu berücksichtigen, dass $m_2 : m_1$ kleiner ca. 0,5 sein muss, um Wirkung zu erzielen. Der Grund ist, dass im Bereich des Kaltlufteintritts immer eine starke Abkühlung der Abluft erfolgt.

m_2/m_1	t_E
1.0	-6.9
0.8	-8.4
0.6	-10.4
0.4	-13.6

Tabelle 2: Mit weniger Aussenluft sinkt auch die Einfriergefahr
 ($t_{11} = 20 \text{ °C}$, $r_F = 30 \text{ %}$, $RWZ = 0.7$)

Diese Maßnahme wird oft verwendet, da nach der europäischen Verordnung EU 1253 so-wieso ein Bypass zur Leistungsregelung notwendig ist. Der zusätzliche Aufwand ist also gering; er beschränkt sich auf die notwendige Steuerung. Energietechnisch ist diese Lösung nicht sehr günstig, da durch das Bypassen eines großen Teils der Außenluft die

Gesamteffizienz stark zurückgeht. Wichtig: Der Bypass muss im Aussenluftstrom angeordnet sein; ein Abluftbypass ist als Vereisungsschutz nicht geeignet.

Das AEX-Verfahren

Eine elegante Variante, das Vereisen zu verhindern, ist das vor allem in Nordamerika eingesetzte AEX-Verfahren, das allerdings nur bei offenen Plattenwärmeaustauschern funktioniert (Bild 10). Je nach Bedarf - z.B. gesteuert durch einen Ablufttemperaturfühler in der kalten Ecke - wird ein Teil der Kaltluft durch eine verstellbare Klappe quasi an der kalten Ecke vorbeigelenkt. Die warme Abluft wird also nur bis zu einem bestimmten Punkt abgekühlt. Anschließend ist der Wärmeaustauscher nicht mehr von Kaltluft beaufschlagt. Die Temperatur der Abluft bleibt gleich; das Einfrieren wird dadurch verhindert.

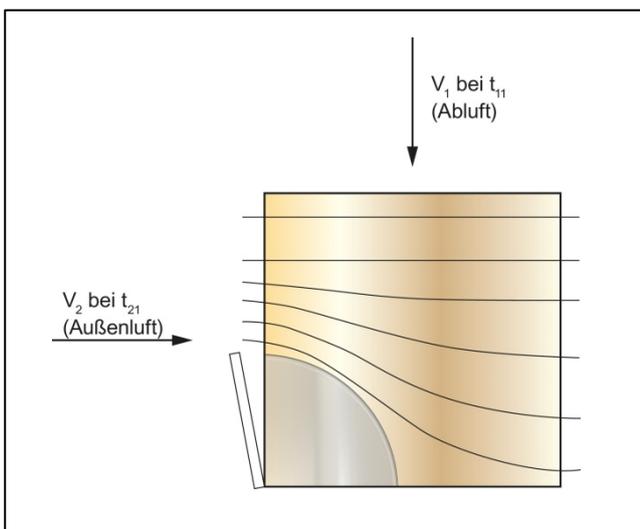


Bild 10: Das AEX-Verfahren verhindert das Einfrieren von offenen Plattenwärmeaustauschern

Durch die Klappe wird der Kaltluftstrom beim Eintritt eingeschnürt, was zu höheren Druckverlusten führt. Dies wirkt sich jedoch kaum aus, da beim offenen Plattenwärmeaustauscher nach der Einschnürung wieder eine Aufweitung folgt und sich außerdem der Druckverlust der Außenluft bei tiefen Temperaturen als Folge der damit verbundenen Volumenreduzierung (= Geschwindigkeitsreduzierung) vermindert. Bei diesem Verfahren bleibt die Gesamteffizienz relativ hoch. Es stellt damit eine besonders effiziente Möglichkeit dar, das Einfrieren eines offenen Plattenwärmeaustauschers zu verhindern.

Abtauschaltungen

Bei diesen Verfahren lässt man das Vereisen zu, um dann mit besonderen Schaltungen das Eis wieder zu schmelzen. Zwei Möglichkeiten sind gegeben:

Abtauen des gesamten Tauschers. Ist der Plattenwärmeaustauscher zu einem bestimmten Grad eingefroren (dies wird meist durch erhöhten Druckverlust festgestellt), so wird der Außenluftstrom abgeschaltet. Jetzt ist der Plattenwärmeaustauscher nur noch von der warmen Abluft beaufschlagt. Das Eis wird dadurch abgetaut, der Wärmeaustauscher wird wieder frei. Diese Lösung ist sehr einfach und kostengünstig, setzt jedoch voraus, dass das kurzzeitige Abschalten der Zuluft (ca. 3 bis 5 min) zulässig ist.

Sektionsweises Abtauen. In diesem Fall ist auf der Aussenluftseite eine Vielzahl von einzeln betätigten Klappen installiert (Bild 11). Normalerweise stehen diese Klappen offen. Im Falle der Einfriergefahr werden die Klappen durch Stellmotoren alternierend einzeln für eine bestimmte Zeit geschlossen. Dadurch wird dieser Teil des Plattenwärmeaustauschers nicht mehr von kalter Aussenluft beaufschlagt und etwaiges Eis schmilzt durch die Energie der Abluft. So wird der Wärmeaustauscher in einzelnen Sektionen immer wieder eisfrei gemacht. Der Druckverlustanstieg ist relativ gering und wird teilweise wiederum durch die Druckverlustminderung als Folge der Volumen- bzw. Geschwindigkeitsreduktion bei tiefen Temperaturen kompensiert. Energietechnisch ist dies eine sehr gute Lösung, der Steuerungsaufwand ist jedoch hoch.

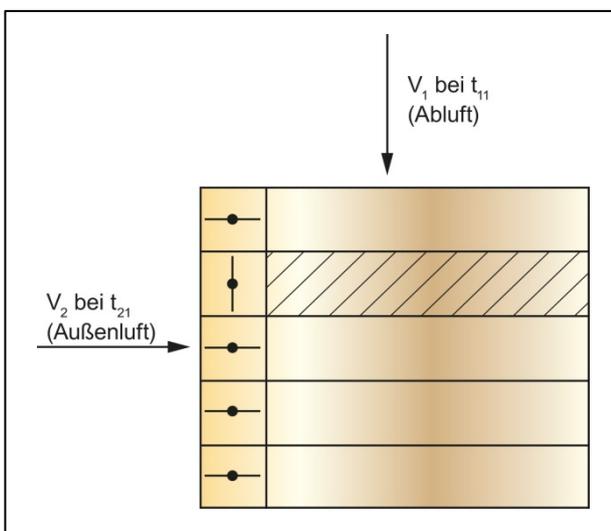


Bild 11: Das Verfahren mit einzeln gesteuerten Klappen taut den Wärmeaustauscher sektionsweise ab.

Steuerung/Regelung

Für die Steuerung bzw. Regelung der verschiedenen Verfahren zur Eisvermeidung sind drei Möglichkeiten üblich:

Außentemperatur

Entsprechend der Außenlufttemperatur wird z.B. die Bypassklappe auf einen bestimmten Wert geöffnet. Es handelt sich dabei also um eine einfache Steuerung (→ keine Regelung), d.h. die Energienutzung ist nicht optimal. Berücksichtigt man aber, dass der Vereisungsschutz nur während weniger Stunden im Jahr nötig ist, so ist dieser Nachteil verkraftbar. Vorteile sind die robuste Funktion und die geringen Zusatzkosten.

Ablufttemperatur in der kalten Ecke

Mit einem Temperaturfühler in der Abluft, installiert im gefährdeten Bereich der kalten Ecke nahe am Tauscher, kann eine kontinuierliche Regelung der Vereisungsschutzschaltung erfolgen. Beispielsweise werden eine Vorwärmung oder ein Bypass so geregelt, dass die Fortlufttemperatur in der kalten Ecke 0 °C beträgt. Dadurch wird mit geringem Aufwand das Vereisen verhindert und die Energie der Abluft maximal genutzt.

Druckverlust in der Abluft

Das Ausmass der Vereisung kann über das Ansteigen des Druckverlustes festgestellt werden. Damit lässt sich über eine Druckmessdose ein Wert einstellen, bei dem die Frostschutzschaltung in Betrieb geht (2-Punkt-Regelung). Diese Steuerung wird vor allen Dingen bei Abtauschaltungen eingesetzt.

Da sich der Druckverlust aber auch ohne Vereisen, z. B. durch Temperatur und Verschmutzung, ändert, ist es schwierig, den richtigen Schaltpunkt einzustellen. Anlagen mit variablen Volumenstrom erschweren dies zusätzlich. So wird die früher oft übliche Methode heute nur noch selten eingesetzt.

Zusammenfassung

Nach Betrachtung der verschiedenen Einflüsse und der damit verbundenen Vielzahl von Auswirkungen ist es verständlich, dass eine fundierte und abgesicherte Aussage zum Einfrierverhalten von Plattenwärmeaustauschern nicht möglich ist. Durch Praxiserfahrung, unterstützt durch immer feinere Berechnungsmethoden, ist es jedoch möglich, im konkreten Fall Planungshinweise zu geben und Vorschläge für einen optimalen Vereisungsschutz zu machen. Die Lösung hängt neben den Betriebsbedingungen vor allem von der Konstruktion des Wärmeaustauschers und von der Lüftungsanlage (Ventilator) ab.

Kontakt für Rückfragen:

Hoval Aktiengesellschaft
Dipl.-Ing. (FH) Thomas Richter
Tel. +423 399 24 00
thomas.richter@hoval.com