

Kondensation beim Plattenwärmetauscher erhöht Effizienz und Druckverlust

Ein grosser Vorteil von Plattenwärmetauscher ist die Trennung der Zu- und Abluftströme. Verunreinigungen, Gerüche, aber auch Feuchtigkeit können so nicht übertragen werden. Trotzdem kann auch im Plattenwärmetauscher ein Teil der latenten Wärme feuchter Abluft durch Kondensation genutzt werden. Dadurch erhöht sich die Rückwärmzahl RWZ der Wärmerückgewinnung. Wie gross diese Erhöhung ist, war allerdings lange umstritten. Erst die Ergebnisse einer gemeinsamen Messreihe¹⁾ mit sechs Tauscher verschiedener Hersteller brachten allgemein gültige Erkenntnisse. Diese werden nachfolgend dargestellt und interpretiert.

¹⁾ Prüfberichte HP 9/1, 10, 12 und 18/1 der Prüfstelle HLK der Hochschule für Technik und Architektur (HTA) Luzern, 2000

Kondensation in der Abluft

Bei tiefen Aussentemperaturen – also dann, wenn hoher Wärmebedarf besteht – wird feuchte Abluft durch die Aussenluft so weit abgekühlt, dass die Sättigungstemperatur erreicht wird und Kondensat ausfällt. Dabei wird die Kondensationswärme (= Verdampfungswärme) frei. Die Kondensation erhöht nicht nur die Wärmeleistung, sondern auch den Druckverlust des Wärmeaustauschers. Dies gilt grundsätzlich für alle Arten der Wärmerückgewinnung – also für rekuperative und für regenerative Systeme. Für den Plattenwärmetauscher sind folgende Details wichtig.

Rückwärmzahl RWZ

In Deutschland ist nach VDI 3803 Blatt 5 für die Aussenluft eine Rückwärmzahl Φ_t definiert, die auch als Temperaturänderungsgrad bezeichnet wird:

$$\Phi_t = (t_{22} - t_{21}) / (t_{11} - t_{21}) \quad (01)$$

Die RWZ gilt bei „trockenen Bedingungen“, also ohne Kondensation. Anders ist dies bei Kondensation in der Abluft. Dabei wird Kondensationswärme frei, d.h. die Abkühlung des Abluftstroms wird geringer (Bild 1). Damit erhöht sich die Temperaturdifferenz zwischen Abluft und Zuluft; es wird mehr Wärme übertragen.

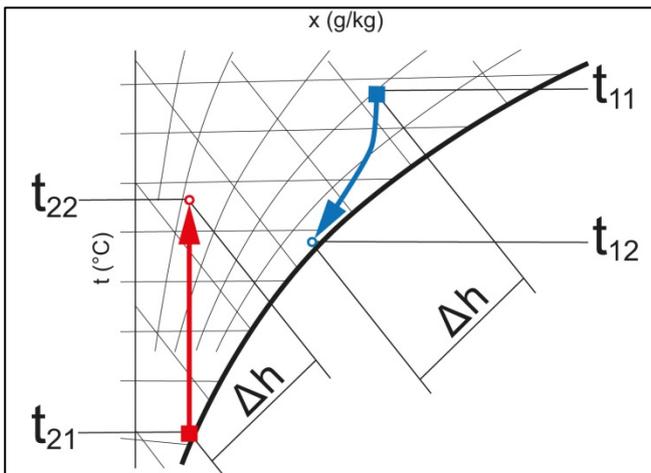


Bild 1: Kondensation im hx-Diagramm

Mit der Kondensation erhöht sich aber auch der Wärmeübergang zwischen der Abluft und der Platte. Dadurch wird ebenfalls die Wärmeübertragung verbessert. Die kalte Luft wird also aus zwei Gründen stärker erwärmt als bei trockenem Betrieb und die Rückwärmzahl Φ erhöht sich entsprechend.

$$\Phi = \Phi_t + \Delta\Phi_K \quad (2)$$

Wie gross diese Erhöhung $\Delta\Phi_K$ ist, hängt primär von der trockenen Rückwärmzahl des Plattenwärmeaustauschers und von der Kondensatmenge, sprich den Luftkonditionen von Aussenluft und Abluft, ab. Da in der Praxis die Erwärmung der Aussenluft für die Dimensionierung des Nacherhitzers wichtig ist, wird bei der Planung nahezu ausschliesslich die effektive Rückwärmzahl Φ verwendet. Diese wird deshalb nachfolgend betrachtet, wobei gleiche Massenströme ($m_1 = m_2$) vorausgesetzt werden. In Diagramm 1 ist der grundsätzliche Verlauf der Rückwärmzahlerhöhung $\Delta\Phi_K$ in Funktion der Abluftfeuchte und der trockenen Rückwärmzahl (bei einer Ablufttemperatur von 20 °C und einer Aussenlufttemperatur von -10 °C) dargestellt. Man erkennt daraus Folgendes:

- Die Rückwärmzahlerhöhung ist stark von der Feuchte der Abluft abhängig. Je höher die Feuchte, d.h. je mehr Kondensat, desto grösser ist die Erhöhung der Rückwärmzahl $\Delta\Phi_K$.
- Die Kurve für 100 % relativer Luftfeuchte gibt die physikalischen Grenzen wider; für die Praxis ist sie aber nicht von Bedeutung.
- Man sieht, dass die Erhöhung der Rückwärmzahl zunächst mit der trockenen Rückwärmzahl ansteigt, um dann wieder abzunehmen. Nur so ist es möglich, dass die Effizienz Φ den Wert von 100 % nicht überschreitet.

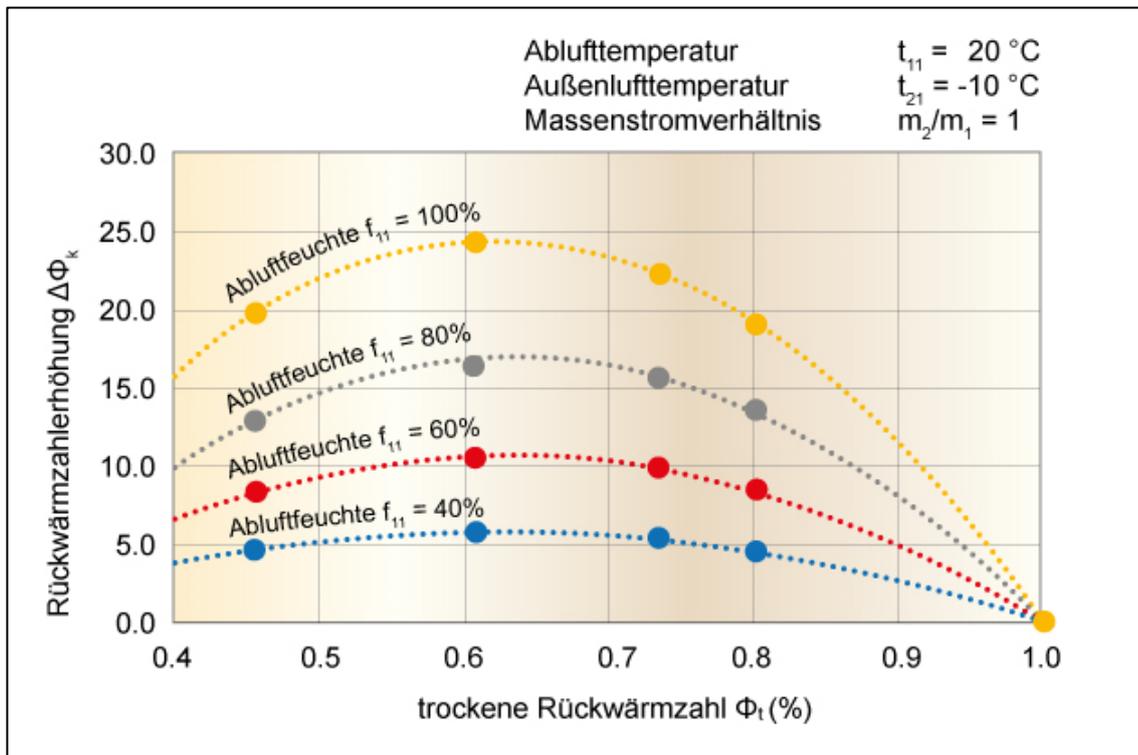


Diagramm 1: Rückwärmzahlerhöhung bei Kondensation

- Niedrige Rückwärmzahlen können nicht immer und nicht beliebig verbessert werden. Anders ausgedrückt: Für eine maximale Nutzung der Kondensationswärme sind trockene Rückwärmzahlen von circa 60 % erforderlich.
- Alle gemessenen Plattenwärmeaustauscher zeigen die gleiche Charakteristik und (innerhalb der Messtoleranz) die gleichen Werte. Das bedeutet, dass die Erhöhung der Rückwärmzahl bei Kondensation für alle Tauscherkonstruktionen (Plattenprofilierungen) gleich ist.

Druckverlust bei Kondensation

Im Plattenwärmeaustauscher tritt Kondensat durch die ungleichmässige Abkühlung primär in der «kalten Ecke» auf (Bild 2); nur bei extremen Konditionen (hohe Feuchte und niedrige Aussentemperatur) ist mit Kondensat auf der ganzen Platte zu rechnen. Mit der Kondensation entstehen Tropfen oder ein Wasserfilm auf der Abluftseite. Dadurch wird der freie Querschnitt reduziert. Als Folge davon erhöhen sich die Spaltgeschwindigkeit und damit auch der Druckverlust. Bei Auslegungen wird dies meist nicht berücksichtigt, obwohl diese Erhöhung bei normalen Abluftkonditionen durchaus 50 % des Druckverlustes bei trockenem Betrieb sein kann.

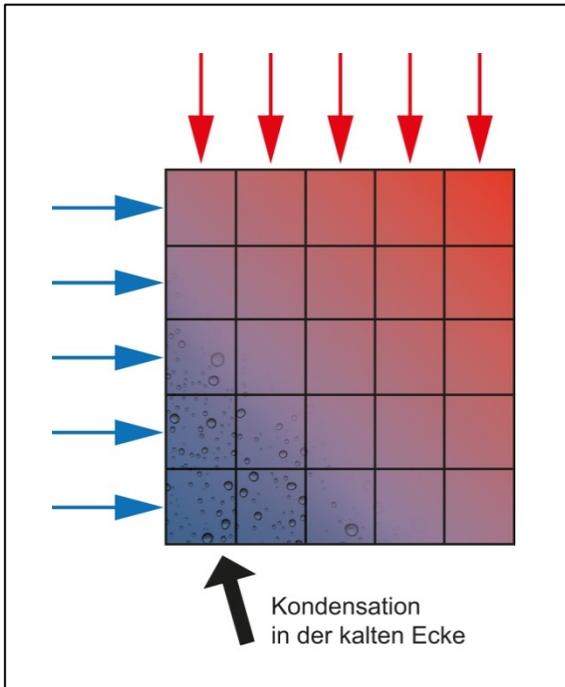


Bild 2: Kondensation tritt zuerst in der «kalten Ecke» auf

Bei allen gemessenen Plattenwärmeaustauschern hat sich der Druckverlust bei Kondensation erhöht; eine Trendkurve ist in Diagramm 2 angegeben. Anders als bei der Rückwärmzahl kann man die Erhöhung des Druckverlustes aber nicht produktunabhängig angeben, da diese bestimmt wird

- vom Plattenabstand,
- vom Druckverlust in trockenem Zustand,
- von der Einbaulage des Tauschers
(Wo ist die kalte Ecke? Wie fließt das Kondensat ab?),
- vom Konstruktionsprinzip.

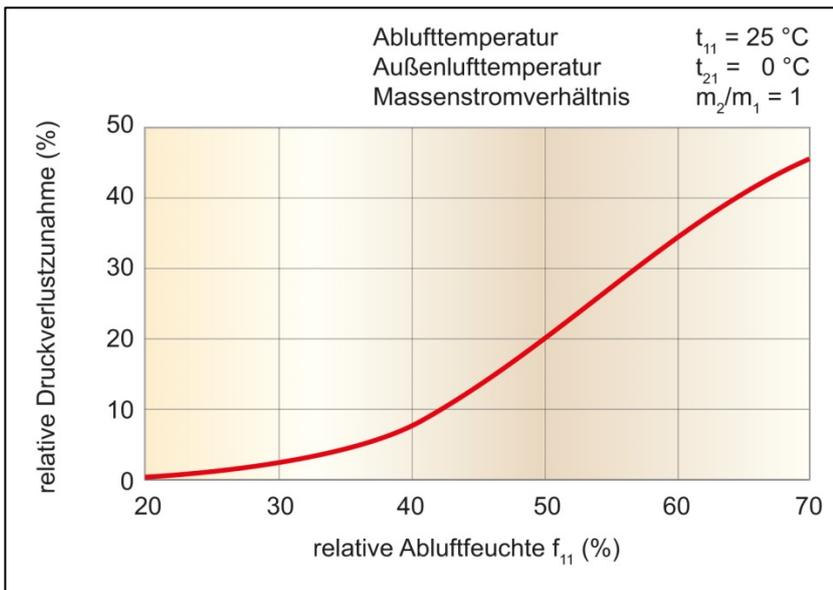


Diagramm 2: Druckverlusthöhung bei Kondensation

Bei den Messungen betrug die relative Zunahme des Druckverlustes der Abluft Δp_1 bei 70 % rel. Feuchte zwischen 20 % und 50 %; sie ist stark von der Abluffeuchte abhängig. Aus praktischen Erfahrungen ist bekannt, dass bei hohen Abluffeuchten und niedrigen Aussenlufttemperaturen, d.h. bei grossen Kondensatmengen, der Druckverlust durchaus sogar auf das Doppelte des Ausgangswertes ansteigen kann.

Einfriergefahr

Unter extremen Bedingungen, d.h. bei sehr niedrigen Aussentemperaturen, kann das entstehende Kondensat – beginnend an der kalten Ecke - gefrieren und dadurch unter Umständen den Wärmerückgewinner ausser Funktion setzen. Herstellerinformationen und Fachliteratur sind zu diesem Thema ausreichend verfügbar.

Konstruktion

In den Lüftungsgeräten ist es wichtig, dass das anfallende Kondensat aus dem Luftstrom abgeschieden, gesammelt und abgeleitet wird. Dazu sind unter Umständen Tropfenabscheider, in jedem Fall aber Sammelwannen mit Neigung (möglichst auf beiden Seiten) und entsprechend dimensionierte Ableitungen mit Siphon notwendig. Um die Übertragung von Kondensat von der Abluft auf die Zuluft zu vermeiden, sollte – neben einer dichten

Ausführung - ein Druckgefälle zur Abluft hin eingeplant werden. Ein guter Ablauf des Kondensats ist gegeben, wenn der Abluftstrom mit dem Kondensat vertikal nach unten – also in Richtung der Schwerkraft – strömt. Besondere Massnahmen sind beim „liegenden Einbau“ (= horizontale Platten) erforderlich, da das Kondensat unkontrolliert abläuft. Ein Tropfenabscheider wird empfohlen; es besteht erhöhte Vereisungsgefahr.

Auslegung

Ein wesentlicher Grund für zu hohe Angaben für die Rückwärmzahlen sind die Ausgangskonditionen der Abluft. Trotz trockener Aussenluft bei niedrigen Aussentemperaturen wird die Abluftfeuchte meist zu hoch angesetzt. Die Folge davon ist zu viel berechnetes Kondensat in der Abluft und damit eine zu hohe (theoretische) Rückwärmzahl.

(Eine sichere Dimensionierung des Nacherhitzers erhält man deshalb mit der Verwendung der trockenen Rückwärmzahl. Diese Empfehlung gilt auch für konservative Wirtschaftlichkeitsberechnungen.)

Folgerungen

- Die Erhöhung der Rückwärmzahl bei Kondensation ist unabhängig vom Konstruktionsprinzip (Plattenprofilierung).
- Berechnungsprogramme für Rückwärmzahlen müssen auch bei Extremwerten noch richtig funktionieren. Kontrollen sind deshalb sinnvoll:
 - für sehr kleine Rückwärmzahlen (Wird damit überhaupt Kondensation erreicht?)
 - für sehr hohe Rückwärmzahlen und hohe Luftfeuchtigkeiten (Erhält man damit eventuell sogar Werte über 100 %?)
- In Auslegungsunterlagen kann neben der trockenen Rückwärmzahl Φ_t auch die feuchte Rückwärmzahl Φ angegeben werden, damit der Einfluss der Kondensation sichtbar wird.
- Die Empfehlungen bezüglich Konstruktion und Einbaulage sind zu beachten.
- Wichtig ist, dass kein Kondensat auf die Aussenluftseite übertragen wird. Entsprechend hoch sind die Ansprüche an eine dichte Ausführung.
- Ein Hinweis auf die Erhöhung des Druckverlustes bei Kondensation in den Auslegungsunterlagen ist empfehlenswert (→ Ventilatorauslegung).

- Die Abluftkonditionen bei Planungen sind kritisch zu hinterfragen.
- Für Platten-Wärmeübertrager mit Gegenstromanteil sind solche herstellerübergreifende Messungen (noch) nicht bekannt; es ist aber ein ähnliches Verhalten zu erwarten.

Verwendete Formelzeichen

Zeichen	Erklärung	Einheit
Φ_t	Rückwärmzahl (trocken)	– oder %
t	Temperatur	K oder °C
m	Massenstrom	kg/h oder kg/s
x	absolute Feuchte	g/kg
f	relative Feuchte	%
$\Delta\Phi_K$	Rückwärmzahlerhöhung	%
Δp	Druckverlust	Pa

Indices:

1. Index: 1 Abluft/Forluft
2 Aussenluft/Zuluft
2. Index: 1 Eintritt Plattenwärmeaustauscher
2 Austritt Plattenwärmeaustauscher

Kontakt für Rückfragen:

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