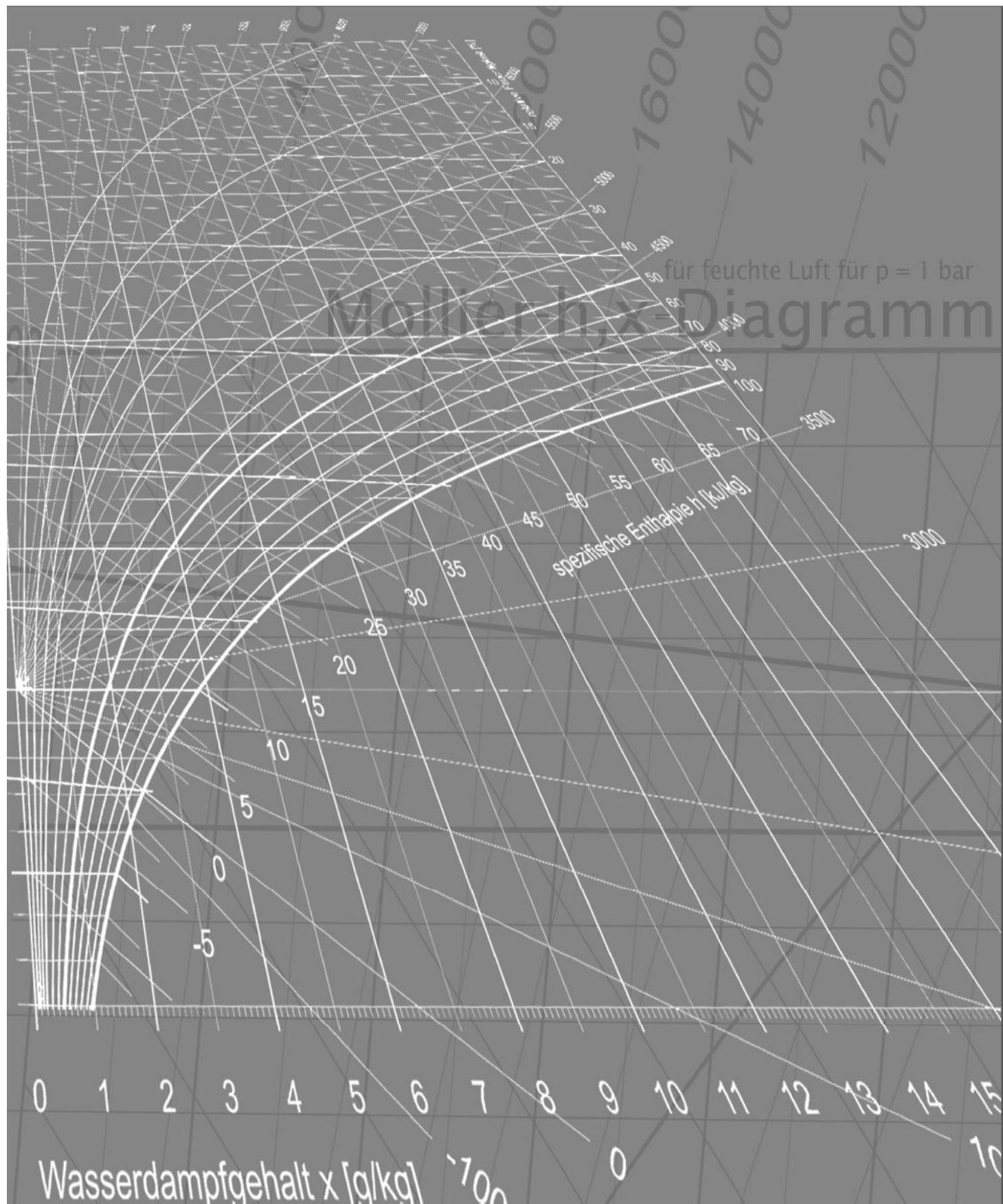


LEITFADEN H-X-DIAGRAMM



Die Anwendung des h-x-Diagramms

1. Mischen zweier Luftmengen	2
2. Luftherwärmung	3
3.1 Oberflächenkühlung	3
3.2. Nasskühlung	5
4. Luftbefeuchtung	5
4.1. Befeuchtung mit Wasser	5
4.2. Zustandsänderung im h-x-Diagramm	5
4.3. Befeuchtung mit Wasserdampf	6
5. h-x-Diagramm	7

Als eines der wichtigsten Werkzeuge den Klimaanlagenbauers erweist sich stets das sogenannte h-x-Diagramm. Deshalb soll auch in diesem Produktkatalog der Ihnen ebenso als Werkzeug dient dieser zentrale Ausgangspunkt aller Veränderungen der Luftzustände nicht fehlen.

Bei der Aufbereitung von Luft in Lüftungs- und Klimazentralgeräten kommen folgende Zustandsänderungen in Frage:

1. Mischen zweier Luftmengen
2. Luftherwärmung
3. Luftkühlung
4. Luftbefeuhtung
5. Luftentfeuchtung

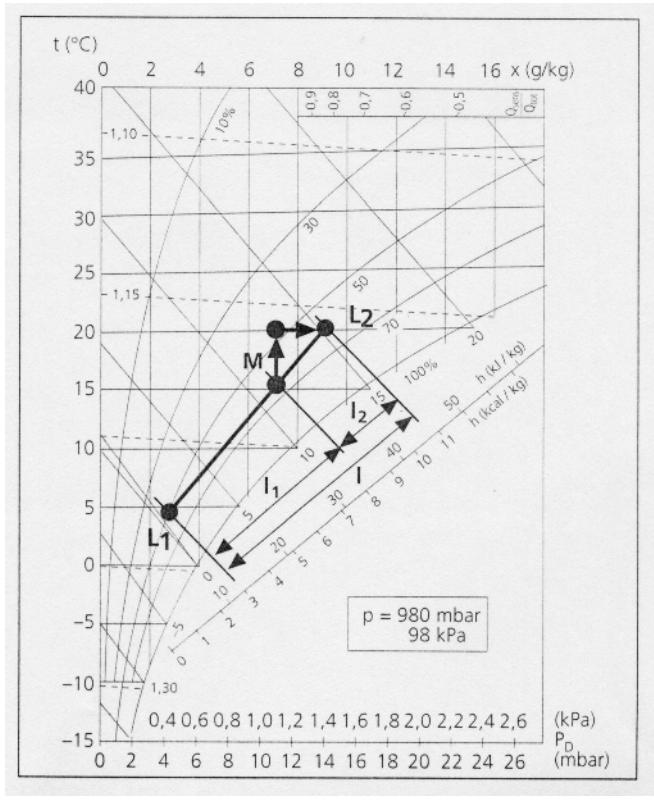
Bei allen Betrachtungen der Zustandsänderungen im h-x-Diagramm muss beachtet werden, dass aufgrund der Höhenlage (Höhe ü. Meer) gegebenenfalls Korrekturfaktoren berücksichtigt werden müssen.

Im h-x-Diagramm können alle in Sequenz ablaufenden Luftbehandlungs-Funktionen sehr übersichtlich dargestellt werden.

1. Mischen zweier Luftmengen

Werden zwei Luftmengen m_1 und m_2 (kg/s) mit ihren verschiedenen Zuständen L_1 und L_2 miteinander gemischt, so entsteht für das Gemisch ein dritter Zustand M , dessen Größe aus dem h-x-Diagramm ermittelt werden kann. Der Mischpunkt teilt die Verbindungsgrade $L_1 \dots L_2$ in zwei Abschnitte I_1 und I_2 , die sich umgekehrt proportional zu den beiden beteiligten Luftmengen verhalten. Für die Berechnung der Strecke gilt:

$$\frac{m_1}{m_2} = \frac{l_2}{l_1} \quad \text{oder} \quad \frac{m_1}{m_2} = \frac{l-l_1}{l_1} .$$



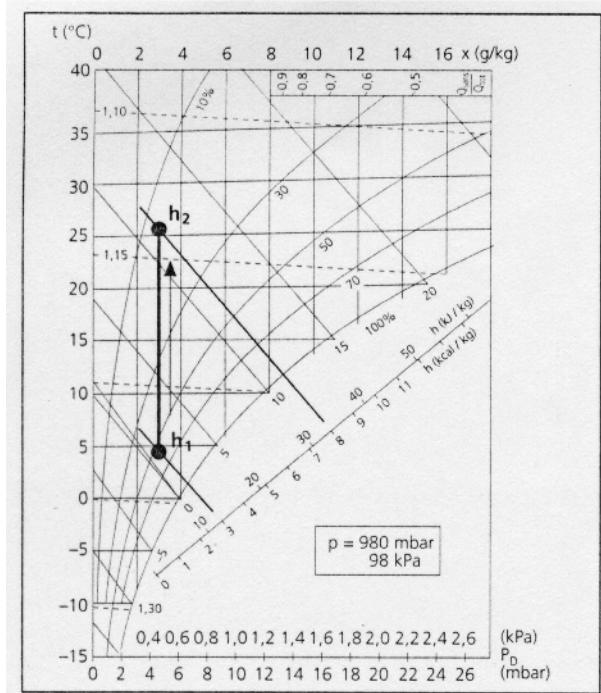
Mischen zweier Luftmengen

Der häufigste Fall des Mischvorgangs spielt sich im Bereich der ungesättigten Luft ab. Wird jedoch im Winter kalte Außenluft mit warmer, feuchter Umluft gemischt, so kann der Mischpunkt in das Nebelgebiet fallen. Nebelbildung in der Mischkammer ist allerdings meist belanglos, weil die Luft auf ihrem weiteren Weg in einem Luftherhitzer erwärmt wird, wobei die schwebenden Wassertropfen sofort wieder verdampfen und der weitere Vorgang sich dann im Bereich der ungesättigten Luft abspielt.

Befindet sich der Mischpunkt im Nebelgebiet und lässt man die Luft bei der Temperatur bestehen, so scheidet sich das überschüssige Wasser in der Mischkammer aus, und der Mischpunkt wandert zur Sättigungslinie.

2. Luftherwärmung

Die Luftherwärmung in einem Lüftungsgerät ist der einfachste Fall der Zustandsveränderung. Da der Luft weder Wasser zugeführt noch entzogen wird, verläuft der Vorgang im h-x-Diagramm auf einer senkrechten Linie ($x = \text{konstant}$), wobei aber der Wert der relativen Feuchte geringer wird.



Um die gewünschte Lufttemperatur zu erhalten, ist je kg Luft die Wärmemenge Δh zuzuführen.

[in kJ/kg]

Die berechnete Wärmeleistung q in kW kann mit dem Luftherwärmer mit Warmwasser oder Dampf zugeführt werden

3. Kühlen – (Luftabkühlung)

Um die Luft abzukühlen, gibt es zwei Möglichkeiten:

- Berührung der Luft mit einer kälteren Oberfläche (Oberflächenkühlung)
- Einspritzen fein versprühten Wassers in den Luftstrom (Nasskühlung)

3.1 Oberflächenkühlung

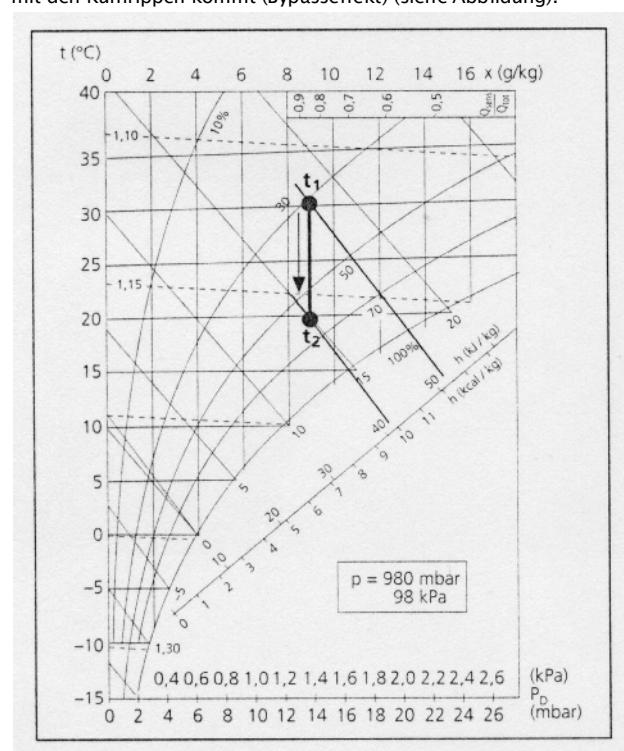
Beim Kühlen von Luft in Oberflächenkühlern können wiederum zwei Fälle unterschieden werden:

- Die Kühlflächentemperatur liegt über der Taupunkttemperatur der zu behandelnden Luft (trockene Kühlfläche)
- die Kühlflächentemperatur liegt unter der Taupunkttemperatur der zu behandelnden Luft (nasse Kühlfläche)

3.1.1. Trockene Kühlfläche

Da die Temperatur der Kühlfläche t_{k0} höher als die Taupunkttemperatur t_{Tp} der zu kühlenden Luft ist, kann sich auf der Kühlfläche kein Wasserdampf niederschlagen. Der absolute Feuchtegehalt der Luft bleibt unverändert, hingegen steigt die relative Feuchte an. Die Zustandsänderung im h-x-Diagramm ist somit eine Parallele zur x-Linie, die nach unten gerichtet ist.

Je nach Kühlleistung wird die Luft stärker oder schwächer abgekühlt. Die Kühlflächentemperatur kann aber nicht ganz erreicht werden, da nur ein mehr oder weniger großer Teil der Luft in engen thermischen Kontakt mit den Kühlrippen kommt (Bypasseffekt) (siehe Abbildung).



Um die gewünschte Lufttemperatur t_2 zu erhalten, muss je kg Luft mit der Temperatur t_1 die Wärmemenge Δh abgeführt werden.

$$\Delta h = h_1 - h_2 \quad [\text{in kJ/kg}]$$

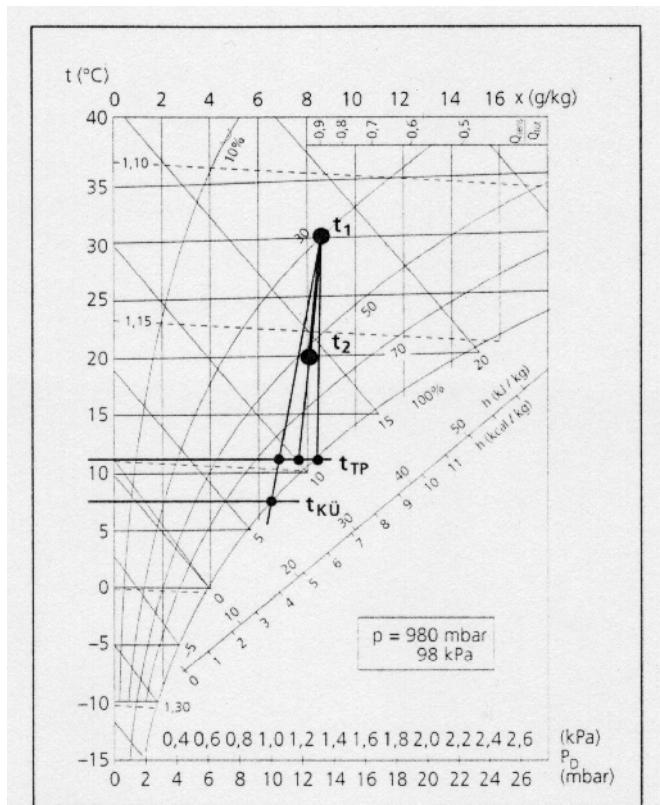
Die mittlere Kühleroberflächentemperatur $t_{KÜ}$ ist abhängig von der Bauart des Kühlers und liegt im Allgemeinen zwischen der mittleren Kühlwasser-Vorlauftemperatur t_V und der Kühlwasser-Rücklauftemperatur t_R :

$$t_{KÜ} = \frac{t_V + t_R}{2} + 1 \dots 2 K$$

3.1.2. Nasse Kühlfläche

Liegt die Temperatur der Kühlfläche $t_{KÜ}$ unter dem Taupunkt t_{TP} der zu kühlenden Luft, so wird ein Teil dieser Luft so weit abgekühlt, dass Wasserdampf auf den Kühlrippen kondensiert. Den Luftzustand nach dem Kühler kann man sich daher als Mischung entfeuchterter, nur gekühlter und praktisch ungekühlter Luft vorstellen (Bypasseffekt).

Die Zustandsänderung im h-x-Diagramm wird für vereinfachte Betrachtungen durch eine Gerade dargestellt, die vom Anfangszustand der Luft t_1 ausgehend innerhalb des Dreiecks $t_1, t_{TP}, t_{KÜ}$ verläuft. Als Hilfskonstruktion lässt sich ein Punkt auf der waagerechten durch t_1 annehmen, der durch den Entfeuchtungsgrad bestimmt wird.



Eine zweite Berechnungsart bietet der Sensible Wärmefaktor – SHF. Das Gefälle kann mit Hilfe der Skala $Q_{\text{sens}}/Q_{\text{total}}$ und einem Fixpunkt durch Parallelverschiebung graphisch ermittelt werden. Je nach Kühlleistung stellt sich ein Luftzustand t_2 , der zwischen der Anfangstemperatur t_1 und der Kühlflächentemperatur $t_{KÜ}$ liegt.

Die Luftaustrittstemperatur kann jedoch die Kühlflächentemperatur nicht ganz erreichen (Bypasseffekt). Doch schon bei kleinerer Kühlleistung wird die Luft nicht nur gekühlt, sondern es wird auch Wasser ausgeschieden. Die absolute Feuchte nimmt also ab, wogegen die relative Feuchte ansteigt.

Die Kühlung mit nasser Kühlfläche benötigt mehr Kühlenergie als die Trockenkühlung. Bei nasser Kühlfläche verläuft die wirkliche Zustandsänderung jedoch nicht entlang einer Geraden, sondern entlang einer mehr oder weniger gekrümmten Kurve vom Ausgangsluftzustand nach $t_{KÜ}$. Diese Kennlinie wird durch den Bypasseffekt und durch die Bauart des Luftkühlers.

3.2. Nasskühlung

Die Nasskühlung als Vorgang im h-x-Diagramm entspricht der Befeuchtung mit Wasser.

4. Luftbefeuchtung

Zu trockene Luft kann mit Wasser oder mit Dampf befeuchtet werden. Wird der Luft mit dem Zustand x_1, h_1 Wasser oder Dampf zugegeben, so verändert sich nicht nur deren absolute Feuchte, sondern auch die Enthalpie h nimmt um die Enthalpie des zugeführten Wassers oder Dampfes zu.

4.1. Befeuchtung mit Wasser

In der Wäschekammer einer Klimazentrale wird Wasser versprüht. Die durchströmende Luft nimmt einen Teil dieses Wassers in Form von Dampf auf. Der weitaus größere Teil jedoch fällt wieder in die Auffangwanne zurück.

Das Wasser kann nun aus der Auffangwanne laufend abgesaugt und wiederum, ggf. gereinigt, zu den Düsen gepumpt und versprüht werden. Die Anlage arbeitet dann mit Umlaufwasser. Es muss lediglich diejenige Wassermenge ersetzt werden, die verdunstet wurde.

Die Luft, die durch das versprührte Wasser geschickt wird, nimmt Wasser in Form von Dampf auf, bis sie gesättigt ist. Da für das Verdunsten des Wassers von außen keine Wärme zugeführt wird, muss die Verdampfungswärme aus dem Wasser selbst entnommen werden, was zur Abkühlung des Umlaufwassers führt. Gleichzeitig wird aber auch von der Luft sensible Wärme an das Wasser abgegeben, d. h. ihre Temperatur wird ebenfalls geringer. Die Abkühlung des Wassers geht aber nur so weit, bis gerade so viel fühlbare Wärme von der Luft zum Wasser wandert, wie dieses Verdunstungswärme aufbringt.

Es stellt sich ein Beharrungszustand ein, wobei das Umlaufwasser und die gesättigte Luft die gleiche Temperatur annehmen (Feuchtkugeltemperatur oder Kühlgrenze).

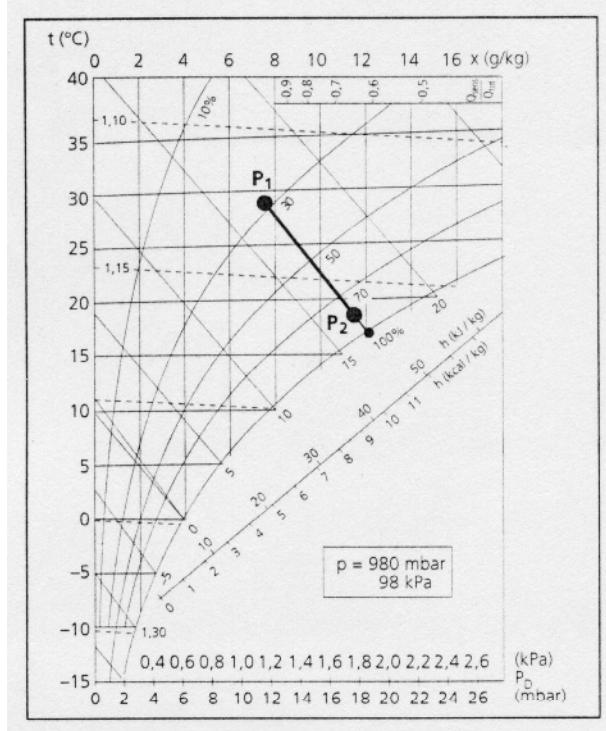
Das Umlaufwasser nimmt bei dieser Befeuchtungsart nach einiger Zeit die Feuchtkugeltemperatur an, auch wenn es am Anfang eine höhere oder auch tiefere Temperatur besaß.

4.2. Zustandsänderung im h-x-Diagramm

Da beim Befeuchtungsprozess mit Umlaufwasser der Luft von keinem Wärmetauscher Wärme zugeführt oder entzogen wird, bleibt der Wärmeinhalt (Enthalpie) der befeuchteten Luft praktisch konstant. Die Zustandsänderung im h-x-Diagramm verläuft somit längs der durch den Ausgangspunkt P der Luft gegebenen h -Linie und strebt auf die Feuchtkugeltemperatur t_f zu, die für die Praxis beim Schnittpunkt der h -Linie mit der Sättigungslinie liegt. Die Sättigungslinie wird allerdings nicht erreicht, da der Wirkungsgrad üblicher Wäscherbefeuchter bei 85...95 % liegt.

Soll ein bestimmter Luftzustand P_1 auf Zustand P_2 befeuchtet werden, so muss zuerst der Befeuchtungswirkungsgrad ermittelt werden.

$$\eta = \frac{X_2 - X_1}{X_3 - X_1} \quad (\text{z. B. 0.85})$$



Aus den Datenblättern eines Wäscherbefeuhter-Herstellers kann nun entnommen werden, dass ein Befeuhter mit zwei Düsenstöcken, einer mit und einer gegen den Luftstrom sprühend, den geforderten Wirkungsgrad von 0,85 ergibt.

Weiter ist ersichtlich, dass dieser Wäscher eine Wasser/Luft-Zahl (W/L-Zahl) von 0,6...0,8 hat, d. h. um den geforderten

Befeuchtungswirkungsgrad von 0,85 zu erreichen, muss die Pumpe 0,6...0,8 mal soviel Wasser (in kg) versprühen, wie Luft (in kg) durch den Wäscher strömt.

4.3. Befeuchtung mit Wasserdampf

Bei diesem Befeuchtungsverfahren wird Wasserdampf (Sattdampf) in den Luftkanal eingeblasen.

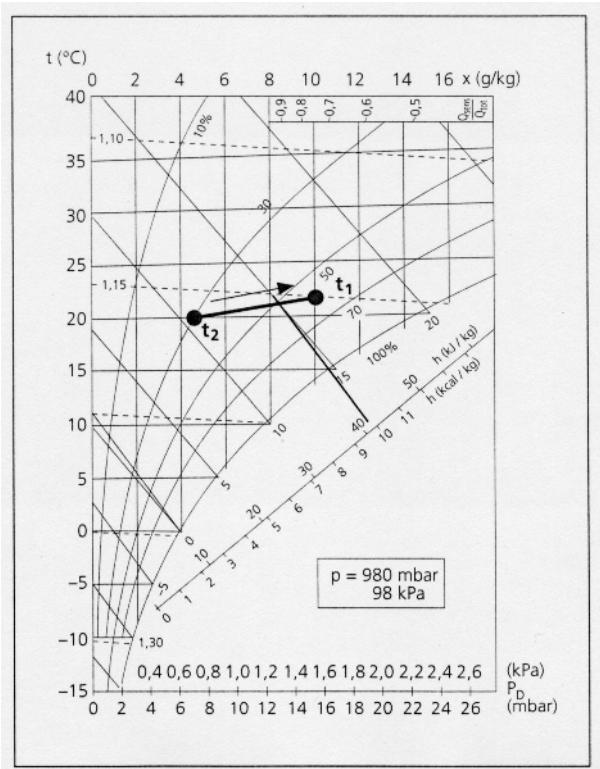
Die Zuführung des Dampfes bewirkt, dass die Feuchte und der Wärmeinhalt der Luft ansteigen. Δx ist das Gewicht und Δh der Wärmeinhalt des zugeführten Wasserdampfes.

Der Wärmeinhalt von Sattdampf ist in Folge der in ihm enthaltenen Verdampfungswärme hoch und beträgt $h_D = 2.676 \text{ kJ/kg}$ für Dampf von 100°C .

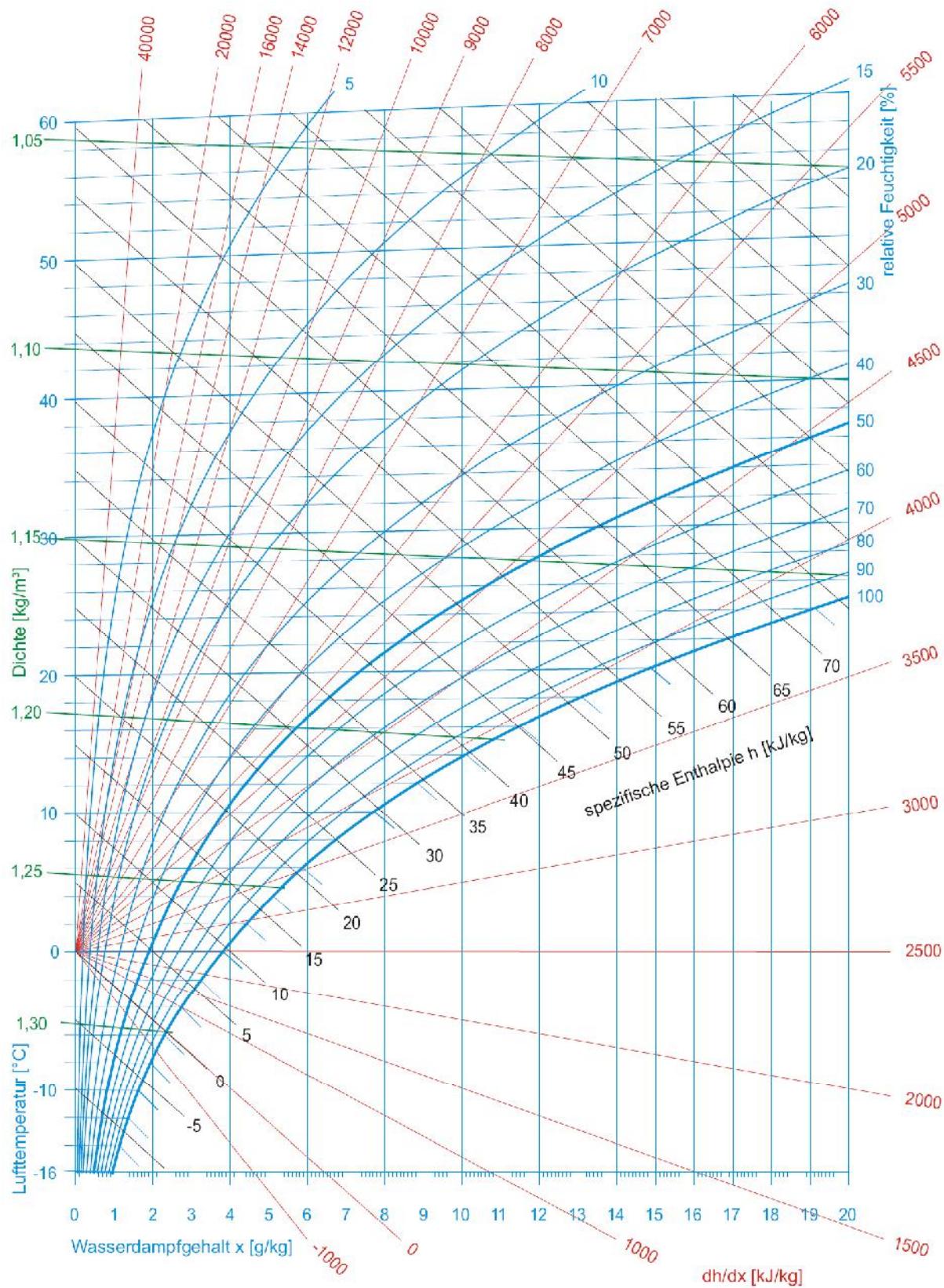
Die Zunahme der Enthalpie der Luft bei Dampfbefeuchtung beträgt:

$$\Delta h = h_D \cdot \Delta x$$

Bei der Dampfbefeuchtung wird die Richtung der Zustandsänderung allein vom Wärmeinhalt h_D des zugeführten Dampfes bestimmt. Deshalb besitzt das Diagramm den Randmaßstab $\frac{\Delta h}{\Delta x}$, an welchem die Richtung der Zustandsänderung direkt abgegriffen werden kann. Auf dem Randmaßstab kann der Wärmeinhalt h_D des zugeführten Dampfes eingetragen werden. Durch Parallelverschiebung der Geraden (zwischen dem Diagramm-Nullpunkt und dem Wärmeinhalts-Wert auf dem Randmaßstab) erhält man die Richtung der Zustandsänderung bei Dampfbefeuchtung.



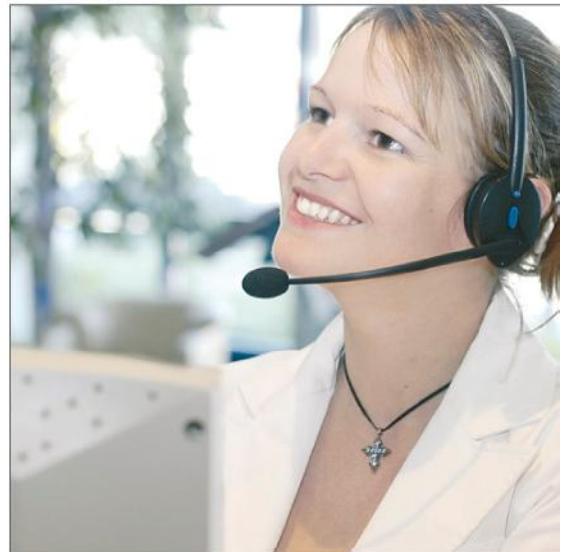
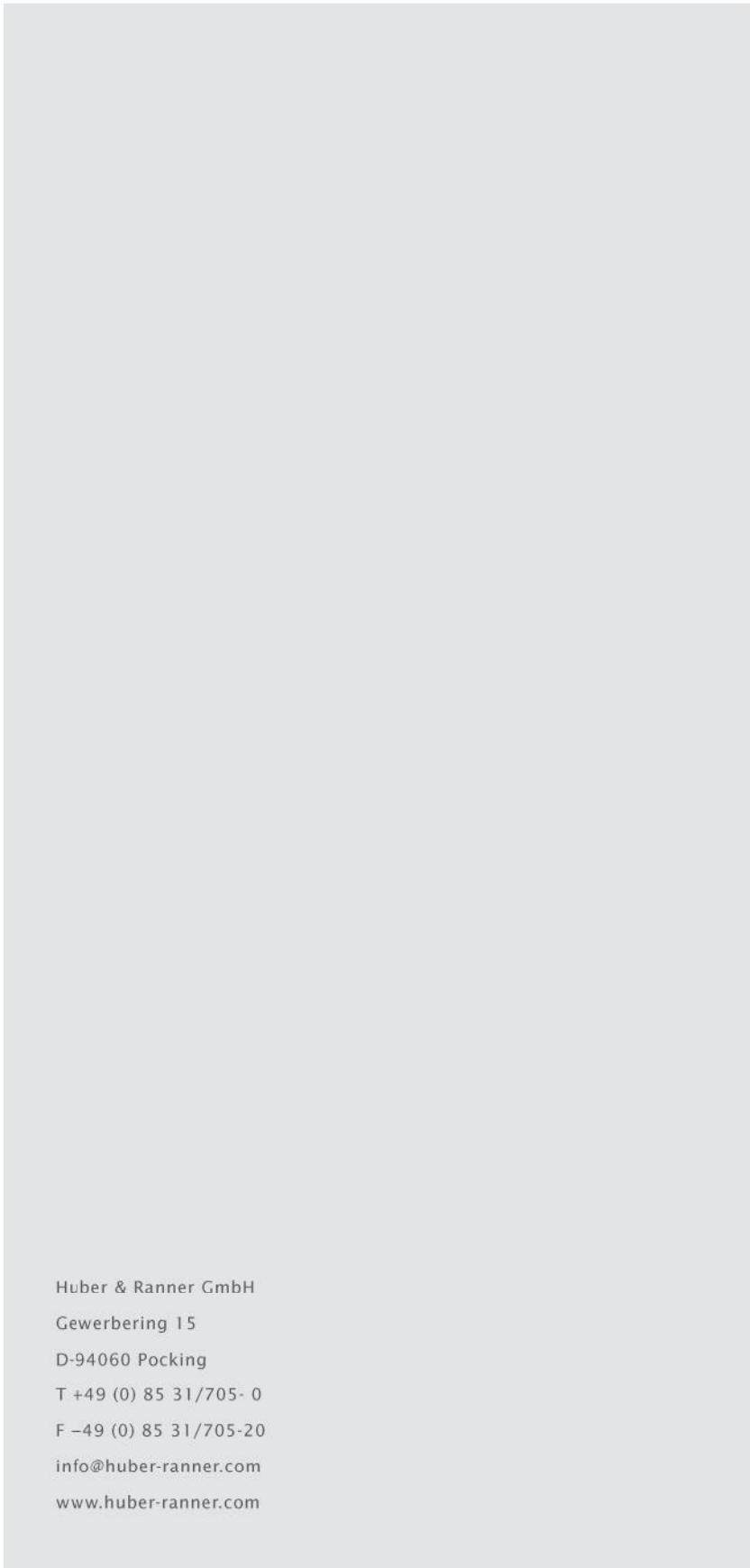
5. h-x-Diagramm



KONTAKT

**HUBER &
RANNER**

ERWARTEN SIE MEHR.



Huber & Ranner GmbH
Gewerbering 15
D-94060 Pocking
T +49 (0) 85 31/705- 0
F -49 (0) 85 31/705-20
info@huber-ranner.com
www.huber-ranner.com