

L-DCS im Vergleich der Klimatisierungsprozesse

Für weitere Informationen kontaktieren Sie uns bitte direkt:

Mr. Matthias Peltzer

L-DCS Technology GmbH

Kirchenstr. 6

85630 Grasbrunn

Germany

Matthias.Peltzer@L-DCS.com

INHALTSVERZEICHNIS

1. DIE SITUATION.....	2
2. LÜFTUNG UND KÜHLUNG VON GEBÄUDEN.....	3
3. DER ALLGEMEINE KLIMATISIERUNGSPROZESS.....	4
4. KLIMATISIERUNGSPROZESS MIT KONVENTIONELLER TECHNIK.....	6
5. KLIMATISIERUNGSPROZESS MIT LUFTENTFEUCHTUNG ÜBER SORPTION.....	8

1. Die Situation

Jedes Gebäude nimmt aus der Umwelt eine bestimmte Wärmemenge durch Dach, Wände und Fenster (externe sensible Last), sowie eine bestimmte Feuchtigkeitsmenge durch Fenster- und Türspalte auf (externe latente Last). Darüber hinaus wird gebäudeintern, z. B. durch Personen, den Betrieb elektrischer Geräte usw., zusätzliche Wärme (interne sensible Last) und Feuchtigkeit (interne latente Last) freigesetzt.

Die Summe aus

Externer sensibler Last (von außen aufgenommene Wärme)

Externer latenter Last (von außen eingedrungene Feuchtigkeit)

Interner sensibler Last (Im Gebäude freigesetzte Wärme)

Interner latenter Last (Im Gebäude freigesetzte Feuchtigkeit)

ergibt die gesamte aus dem Gebäude abzuführende Klimatisierungslast.

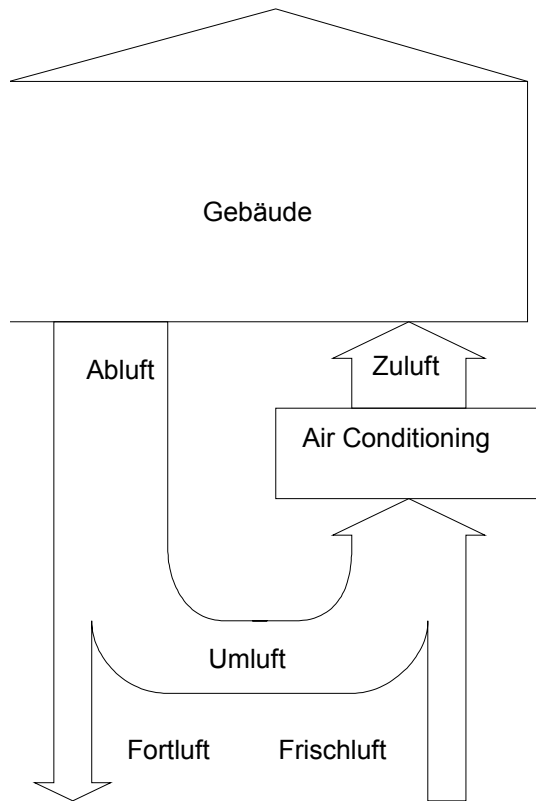
Zusätzlich dazu muss ein Teil der Gebäudeluft, abhängig von der Gebäudenutzung, regelmäßig durch Frischluft ersetzt werden. Die gesamte abzuführende Klimatisierungslast setzt sich also aus den sensiblen und latenten Lasten des Gebäudes und den zusätzlichen sensiblen und latenten Lasten des Frischluftanteils zusammen.

Je nach Umgebungsbedingungen, Konstruktion des Gebäudes, Nutzungszweck usw., kann die benötigte Energie zum Abführen latenter Lasten (Entfeuchtungsenergie) genauso hoch sein wie der Energiebedarf zum Abführen sensibler Lasten (Wärme). Je besser das Gebäude gegen die Umgebung isoliert ist, je niedriger wird die externe Kühllast und je höher wird der Anteil der latenten Last gegenüber der sensiblen Last. In Gegenden mit sehr hoher Luftfeuchtigkeit, wie z. B. den südlichen USA, Süd- und Mittelamerika und weiten Teilen Südost-Asiens, Australiens und Indiens und auch im Mittelmeerraum¹, wird fast genauso viel Energie für die Entfeuchtung der Frischluft, wie für deren tatsächliche Kühlung aufgewendet. In diesen Fällen wird sowohl ein wesentlicher Teil der Betriebskosten, als auch der Investitionskosten, nicht durch den benötigten Temperaturwechsel, sondern durch die benötigte Luftentfeuchtung ausgelöst.

¹ Siehe Tabelle 5, am Ende des Kapitels

2. Lüftung und Kühlung von Gebäuden

In konventionell verwendeten Air Conditioning Anlagen wird das Abführen der Klimatisierungslast ausschließlich durch Kühlung der Zuluft erreicht. Die kühlere, trockener Zuluft wird im Gebäude verteilt und erwärmt bzw. befeuchtet sich, unter



Aufnahme der externen und internen Lasten, langsam auf den maximal zulässigen Raumluftzustand.

Mit diesem Raumluftzustand wird sie als Abluft aus dem Gebäude entfernt.

Die Menge der austretenden Abluft entspricht dabei etwa 85% der Menge der eintretenden Zuluft. Über die Differenzen in Temperatur und Feuchtigkeitsgehalt von zu bzw. abgeführter Luftmenge muss also die gesamte abzuführende Klimatisierungslast aufgenommen werden.

Dabei ist zu beachten dass die anfallenden Kühllasten (interne und externe sensible Lasten) entweder mit einem großen Luftstrom und einer kleinen Temperaturdifferenz zwischen Zu- und Abluft, oder mit einem kleinen Luftstrom, dafür

aber mit einer hohen Temperaturdifferenz, abgeführt werden können. Der Zustand der Abluft entspricht dabei dem gewünschte Raumluftzustand von meist ca. 24-27°C und 45%-55% relativer Feuchte. Die Temperatur der Zuluft sollte aus technischen, sowie aus Komfortgründen, eine Mindesttemperatur von etwa 18°C nicht unterschreiten.

Ist es nicht möglich die anfallende sensible Klimatisierungslast allein mit der benötigten Frischluftmenge und der zur Verfügung stehenden Temperaturdifferenz abzuführen, werden Zu- und Abluftstrom durch eine zusätzliche Umluftrate über die benötigte Frischluftmenge hinaus erhöht. Diese Maßnahme garantiert das nötige Potential zur Abfuhr der überschüssigen Wärme aus dem Gebäude über den Luftstrom. Die Einhaltung der geforderten Luftfeuchtigkeit im Raum wird in der Regel durch die automatisch eintretende Entfeuchtung bei der Taupunktsunterschreitung (Kondensation) während der Kühlung der Zuluft, durch Kühlwasservorlauftemperaturen unter 7°C, erreicht.

3. Der allgemeine Klimatisierungsprozess

Eine Air Conditioning Anlage, egal welcher Bauart, muss einen bestimmten Zuluftzustand zur Verfügung stellen mit dem die gestellte Klimatisierungsaufgabe gelöst werden kann. Der dafür mindestens erforderliche Prozess und die damit mindestens erforderlichen Energiemengen werden in diesem Kapitel erläutert.

Die Zustandsänderung der Luft, in Temperatur und Wassergehalt, wird am leichtesten in einem vereinfachten Luftzustandsdiagramm nach Mollier (siehe Diagramm 1) dargestellt. Auf der horizontalen Achse ist die absolute Luftfeuchtigkeit X [g Wasser/kg Luft] aufgetragen und auf der vertikalen Achse die Lufttemperatur T [$^{\circ}\text{C}$]. Sind beide Zustandsgrößen, Temperatur und Wassergehalt, bekannt, ist der Luftzustand definiert und kann in dem Diagramm dargestellt werden. Als Orientierungshilfe sind zusätzlich die relativen Luftfeuchtigkeiten ϕ [%], sowie, schwarz umrandet, der Behaglichkeitsbereich dargestellt. Er umfasst die von 90% der Menschen als behaglich empfundenen Raumlufzustände. Der angestrebte Raumlufzustand (=Abluftzustand) sollte sich in diesem Bereich befinden.

Der Energieinhalt eines Kilogramms Luft (ca. 1 m^3) eines bestimmten Zustandes kann als spezifische Enthalpie [kJ/kg Luft] auf der schrägen Skala abgelesen werden (siehe Diagramm 1). Dazu zieht man eine Gerade, parallel zu den von oben links nach unten rechts verlaufenden Linien, durch einen beliebigen Luftzustandspunkt und liest den entsprechenden Enthalpiewert auf der schrägen Skala ab. Als Beispiel für eine Klimatisierungsaufgabe soll, Tabelle 1 dargestellt, Frischluft vom Zustand 1 (32°C und $18 \text{ g Wasser/kg Luft}$, $\approx 60\%$ rel. F.) auf den Zuluftzustand 2 (20°C und $9,5 \text{ g Wasser/kg Luft}$ $\approx 40\%$ rel. F.) entfeuchtet und abgekühlt werden. Die im Idealfall für diese Zustandsänderung mindestens aufzuwendende Energie kann leicht aus der Differenz der Energieinhaltswerte (Enthalpie) der beiden Zustände berechnet werden. (siehe Diagramm 1)

	Temperatur [$^{\circ}\text{C}$]	abs., (rel.) Luftfeuchtigkeit [g Wasser/kg Luft] (%)	Energieinhalt [kJ/kg Luft]
Zustand 1	32	18 (60%)	78,5
Zustand 2	20	6 (40%)	35

Tabelle 1: Beispiel für eine Luftzustandsänderung

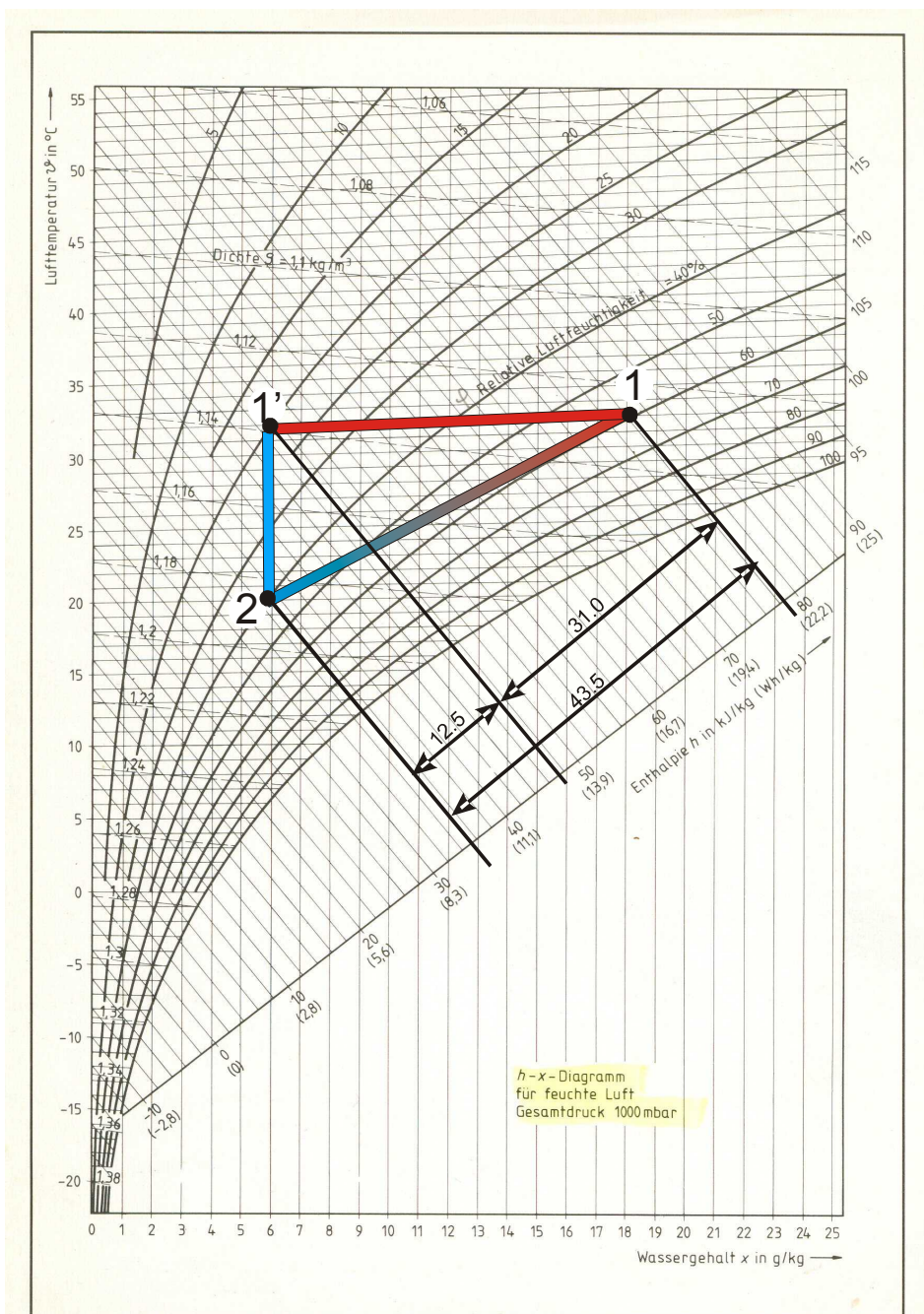
Die gesamte Zustandsänderung wird, wie in Diagramm 1 dargestellt, in zwei Schritte, einen von 1 nach 1' und einen von 1' nach 2, unterteilt. Der erste Schritt, von 1 nach 1', ist eine reine Luftentfeuchtung ohne Temperaturänderung. Der zweite Schritt ist ein reiner Temperaturwechsel ohne Entfeuchtung. Tabelle 2 listet die aus der Graphik abgelesenen Werte für die Teilschritte und die gesamte Zustandsänderung auf.

Zustands- änderung	Feuchtigkeits- änderung [g Wasser/kg Luft]	Temperatur- änderung [$^{\circ}\text{C}$]	Energie- änderung [kJ/kg]
1 $\rightarrow$ 1'	-12	—	-31
1' $\rightarrow$ 2	—	-12	-12
gesamt 1 $\rightarrow$ 2	<u>-12</u>	<u>-12,0</u>	<u>-43</u>

Tabelle 2: Luftzustandsänderung in idealen Teilschritten

Es muss in diesem Fall mehr als 2,5 mal soviel Energie für die Entfeuchtung der Luft wie für ihre Kühlung aufgewendet werden. Setzt man für die Klimatisierung eines kleineren Bürogebäudes einen Frischluftstrom von 10000 kg Luft pro Stunde an (ca. 10000 - 12000 m³), muss die Air Conditioning Anlage stündlich eine Energie von mindestens 435000 kJ abführen. Das entspricht einer thermischen Kühlleistung von ca. 120 kW. Davon würden 86 kW für die Entfeuchtung und nur 36 kW für die Kühlung verwendet. Das bedeutet es werden etwa 71% der Gesamtleistung für Entfeuchtung und nur etwa 29% für die Kühlung benötigt.

Diagramm 1: Vereinfachtes Zustandsdiagramm nach Mollier mit Beispiel einer idealen Luftzustandsänderung



4. Klimatisierungsprozess mit konventioneller Technik

Dieses Kapitel zeigt die Zustandsänderungen der Luft und benötigten Energiemengen bei einem Einsatz konventioneller Air Conditioning Technik. Die Teilschritte Entfeuchtung und Kühlung werden bei einer konventionellen Anlage in der Regel durch Kaltwasser aus einer elektrisch angetriebenen Kompressionskältemaschinen vollzogen. Die benötigte Entfeuchtung der Raumzuluft zur Aufnahme der latenten Last des Gebäudes, sowie der zusätzlichen latenten Last aus dem benötigten Frischluftanteil, wird durch starkes Abkühlen der Luft und dem daraus resultierenden Kondensieren der überschüssigen Luftfeuchtigkeit erreicht. Die überschüssige, zu entfeuchtende Wassermenge kondensiert dabei an den kalten Flächen eines Luft/Wasser Wärmetauschers, und wird in flüssiger Form aus der Anlage abgeführt. Die für diesen Prozess benötigte Kühlenergie wird von einer, in der Regel elektrisch angetriebenen Kältemaschine zugeführt. Dieser Prozess wird in Tabelle 3 in drei Teilschritten dargestellt.

Teilschritt von 1 nach 1':

Der Frischluftanteil wird vom Umgebungszustand 1, 32 °C; 18 g Wasser/kg Luft, abgekühlt. Es findet keine Entfeuchtung statt. Die Luft wird solange abgekühlt, bis die Kondensationsgrenze (100% rel. Feuchte), der sogenannte Taupunkt, erreicht ist und sich bei Luftzustand 1' (Taupunkttemperatur ca. 23.5 °C bei 18 g Wasser/kg Luft, ≈ 100% r. F.) die ersten Wassertröpfchen bilden.

Teilschritt von 1' nach 2':

Ab dem Erreichen des Luftzustandes 1' beginnt, bei weiterer Abkühlung, Wasser aus der Luft zu kondensieren. Dieses Wasser tropft in eine SammelSchale und wird aus der Anlage abgeführt. Die Luft bewegt sich bei diesem Prozess entlang der Sättigungsgrenze (100 % rel. Feuchte) bis, bei Luftzustand 2' (6,5 °C; 6 g Wasser/kg Luft, ≈ 100% rel. F.), die benötigte Entfeuchtungsgrenze erreicht ist.

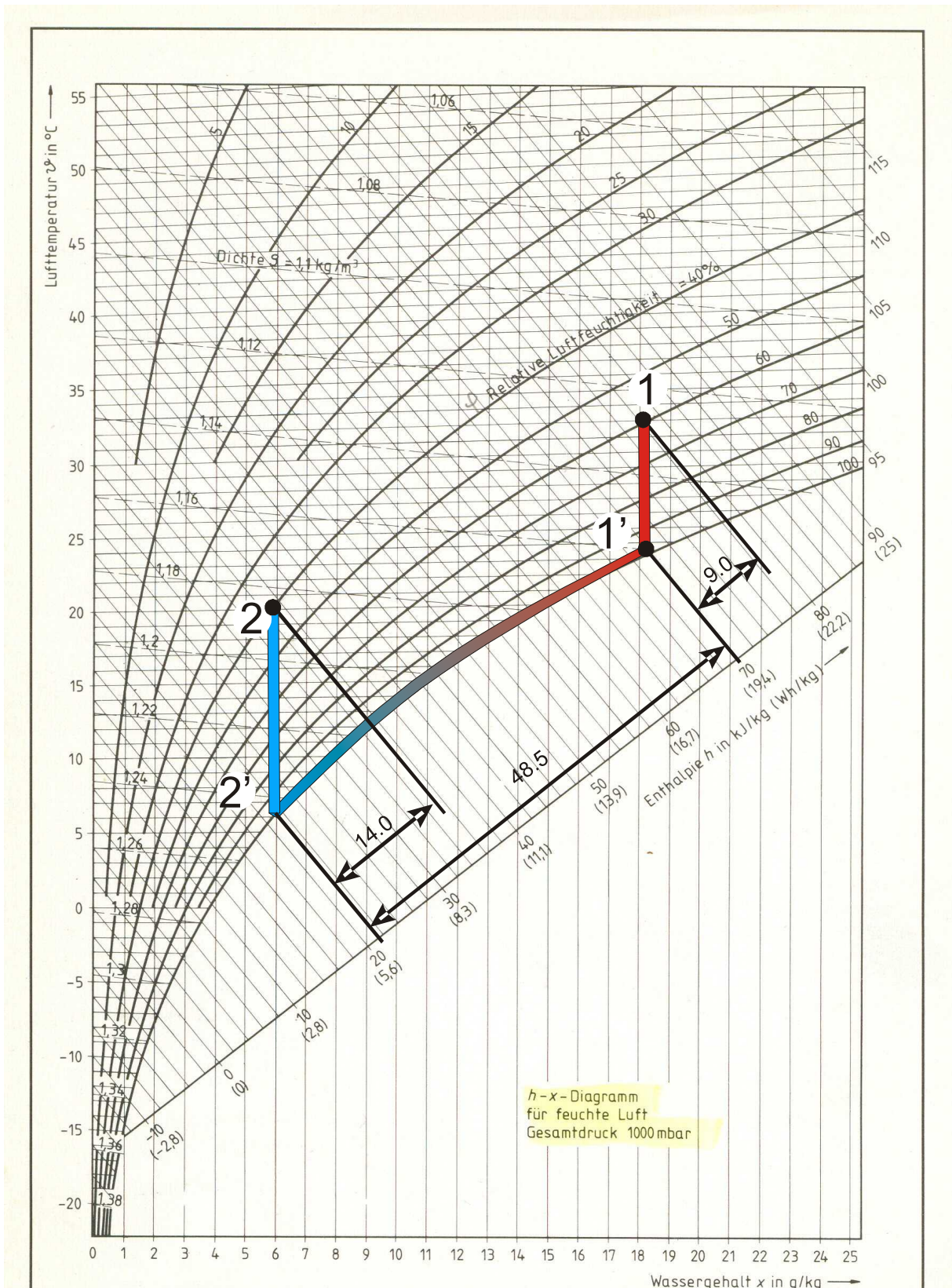
Teilschritt von 2' nach 2 :

Die im Zustand 2' auf den benötigten Wassergehalt von 6 g Wasser/kg Luft entfeuchtete Frischluft ist bei einer Temperatur von 6,5 °C deutlich zu kalt um direkt dem zu klimatisierenden Raum zugeführt zu werden. Sie muss auf eine zulässige Raumeintrittstemperatur von etwa 20 °C erwärmt werden. Die Erwärmung wird, bei konventionellen Anlagenkonzepten, durch Aufheizen der Luft mit elektrischen oder brennstoffgetriebenen Heizregistern bewerkstelligt. Neuere Anlagenkonzepte nutzen hierfür zusätzliche Wärmerückgewinnungssysteme. Diese Lösung spart zwar die Betriebskosten eines zusätzlichen Heizregisters, löst aber demgegenüber höhere Investitionskosten aus. Es wird die Luft im Teilschritt von 2' nach 2 durch die benötigte Umgebungsluft angewärmt, wobei sich diese, in dem Teilschritt von 1 nach 1', abkühlt.

Teilschritte	Feuchtigkeitsänderung [g Wasser/kg Luft]	Temperaturänderung [°C]	Energieänderung [kJ/kg Luft]
1 → 1'	—	-9	-9
1' → 2'	12	-16,5	-48,5
2' → 2	—	+13,5	+14,0
1 → 2	12	-12,0	-43,5

Tabelle 3: Zustandsänderung in Teilschritten bei konventioneller Technik

Diagramm 2: Zustandsänderung in Teilschritten bei konventioneller Air Conditioning Technik.



5. Klimatisierungsprozess mit Luftentfeuchtung über Sorption

Die Konditionierung der Luft wird ebenfalls in zwei Teilschritte geteilt:

Teilschritt 1: Luftentfeuchtung; Teilschritt 2: Temperaturabsenkung

Der Teilschritt 1 wird bei dieser Systemvariante nicht durch Abkühlen der Luft mittels Kältemaschine und Kondensation erreicht, sondern durch Binden der zu entfeuchtenden Wassermenge an eine geeignete Substanz (Sorption). Bei der Luftentfeuchtung über Sorption wird in einem ersten Prozess der Frischluftstrom in einem geeigneten Apparat mit einer stark hygroskopischen Substanz (Sorbens) in Kontakt gebracht. Das Sorbens nimmt bei diesem Vorgang einen großen Teil des in der Luft enthaltenen Wassers auf und befeuchtet sich, während die Luft getrocknet wird. Dieser Vorgang läuft solange ab, bis das Sorbens mit Wasser gesättigt ist (Sättigungszustand). Es wird dann aus dem Apparat abgeführt und gegen frisches, ungesättigtes Sorbens ausgetauscht. Das gesättigte Sorbens wird in einem zweiten, getrennten Prozess (Desorption) durch Erwärmen auf etwa 55°-75°C getrocknet, und steht anschließend dem ersten Prozess wieder zur Luftentfeuchtung zur Verfügung. Der in Teilschritt 1 entfeuchtete Frischluftstrom wird in Teilschritt 2 durch eine Kältemaschine, oder falls möglich durch Verdunstungskühlung, auf die gewünschte Raumeintrittstemperatur abgekühlt. Als Sorbens wird bei L-DCS Technology Lithiumchlorid (LiCl) in wässriger Lösung verwendet. Einen Sorptionsprozess kann man sich idealisiert wie eine umgekehrte Verdampfungsprozess vorstellen. Die Absorption einer bestimmten Menge Wasserdampfes in einem Sorbens setzt etwa die Wärmemenge frei, die bei der Verdampfung (Verkochen) derselben Wassermenge aufgewendet werden muss. Unerwünschterweise heizt diese freigesetzte Wärmemenge sowohl das Sorbens, als auch die Luft in dem Sorptionsapparat auf. Da obendrein die Luftentfeuchtungsfähigkeit eines Sorbens mit steigender Temperatur abnimmt, muss ein effektiver Sorptionsapparat, zur Kompensation dieser unerwünschten Effekte effektiv intern gekühlt werden. In den LDCS Apparaten wird die freigesetzte Sorptionswärme durch interne Wasserkühlung aufgenommen. Die dafür benötigte Kühlwassertemperatur wird durch Verdunsten von Wasser, z.B. in einem Kühlturm, bereitgestellt. Das auf diese Weise erreichbare Temperaturniveau, hängt wesentlich von der Temperatur und der relativen Luftfeuchtigkeit der Umgebungsluft ab, mit der der Kühlturm betrieben wird. Da die Gebäudeabluft, im Klimatisierungsfall, meist sowohl trockener, als auch kälter als die Umgebungsluft ist, wird ein Kühlturm, oder Verdunstungskühler, am günstigsten mit dieser Abluft betrieben. Einen solchen Prozess zeigt das Diagramm 3

Der Prozess von 1→2 beschreibt einen realen Prozess, dessen Endzustand 2 mit der neuen Sorptionstechnologie unter den gegebenen Bedingungen und bei Verwendung der Gebäudeabluft in einem L-DCS Gegenstromverdunstungskühler zur Bereitstellung von Kühlwasser, mindestens erreicht wird. Da das Kühlwasser von dem Verdunstungskühler bei Verwendung der Gebäudeabluft mit etwa 22°C zur Verfügung gestellt wird, kann der Frischluftstrom in diesem Teilschritt nicht nur effektiv entfeuchtet, sondern darüber hinaus zusätzlich vom Umgebungszustand (32°C) auf ca. 24-25°C abgekühlt werden. Der restliche Kühlbedarf zum Erreichen des Raumeintrittszustandes (ca. 18-20°C) wird in Teilschritt 2 (2→3) von einer Kältemaschine bereitgestellt. Tabelle 4 listet die Luftzustandsänderungen dieses Prozesses auf.

Teilschritte	Feuchtigkeitsänderung [g Wasser/kg Luft]	Temperaturänderung [°C]	Energieänderung [kJ/kg Luft]
1 → 2	- 12	- 8,5	- 40,0
2 → 3	—	- 3,5	- 3,5
Gesamt	- 12,2	- 12	- 43,5

Tabelle 4: Zustandsänderung in Teilschritten bei Verwendung der neuen Sorptionstechnik zur Entfeuchtung

Diagramm 3: Luftzustandsänderungen eines gekühlter Sorptionsprozesses (1→2) mit zusätzlicher Luftkühlung (2→3)

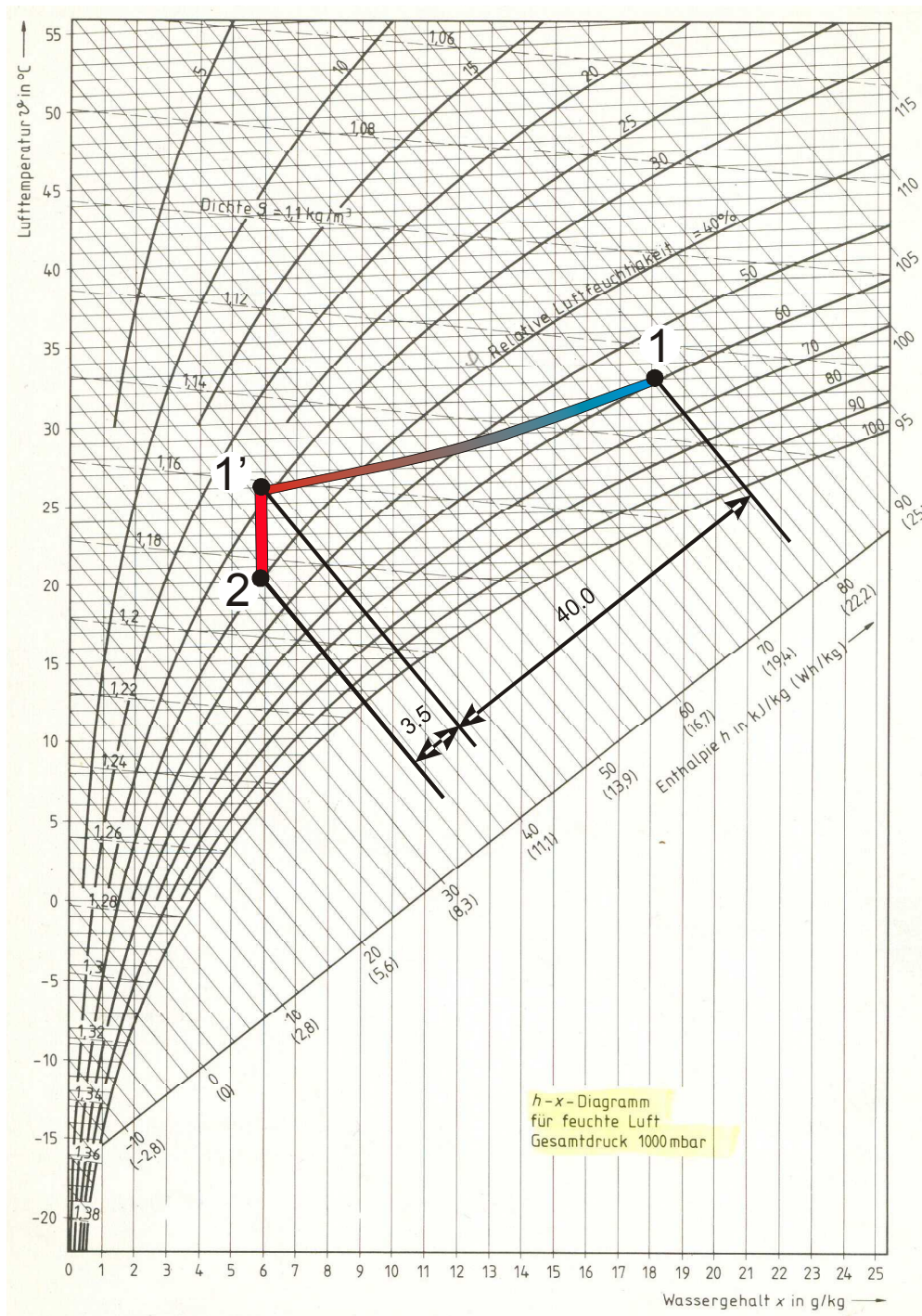


Tabelle 5: Außenluftzustände und Frischluftleistungsbedarf bedeutender Weltmetropolen im Vergleich.

	mittl. Außenluftzustände	Entfeuchtungsbedarf: ΔX	Kühlbedarf: ΔT
* Amb. = Umgebung (Ambient)	$T_{Amb} [^{\circ}C]$	$\Delta T = 0$, für $T = \text{const.}$	$\Delta T = T_{Amb} - T = 20^{\circ} [^{\circ}C]$
X = Wassergehalt der Luft	$X [g \text{ Wasser} / kg \text{ Luft}]$	$\Delta X = X_{Amb} - X_{20^{\circ}C} [g \text{ Water} / kg \text{ Air}] *$	$\Delta X = 0$, for $X = \text{const.}$
Raumzustand: 20°C, 7.4 g/kg (50%r.F.)	rel. Feuchte [%]	Leistungsbedarf [kW]	Leistungsbedarf [kW]
Zum Vergleich:	28°C	-	8 °C = 28 °C - 20 °C
Hamburg, Germany	10,5 g/kg 43 %	2,3 = 10,5 - 7,4 g/kg 7,3 kW	- 8,1 kW
<u>Asia</u>			
Bangkok, Thailand	36°C 21,0 g/kg 55 %	- 13,6 g/kg 35 kW	16 °C - 16,3 kW
Jakarta, Indonesia	33 °C 22,3 g/kg 69 %	- 14,9 g/kg 38,3 kW	13 °C - 13,2 kW
Manila, Phillipines	35°C 21,5 g/kg 59 %	- 14,1 g/kg 36,1 kW	15 °C - 15,3 kW
Singapore	32 °C 22,7 g/kg 74 %	- 15,4 g/kg 39,3 kW	12 °C - 12,2 kW
Shanghai, China	32 °C 22,7 g/kg 55 %	- 13,7 g/kg 35,3 kW	16 °C - 16,3 kW
Hong Kong, China	33 °C 22,3 g/kg 69 %	- 14,9 g/kg 38,3 kW	13 °C - 13,2 kW
<u>Australia</u>			
Sydney	35 °C 12,9 g/kg 36 %	- 5,6 g/kg 14,3 kW	15 °C - 15,3 kW
Brisbane	32 °C 17,4 g/kg 57 %	- 10 g/kg 25,7 kW	12 °C - 12,2 kW
<u>USA</u>			
Bermuda, Caribbean	31 °C 16,2 g/kg 56 %	- 8,8 g/kg 22,6 kW	11 °C - 11,2 kW
Chicago, Illinois	35 °C 14,5 g/kg 40 %	- 7,1 g/kg 18,3 kW	15 °C - 15,3 kW
Houston, Texas	35 °C 17,8 g/kg 49 %	- 10,5 g/kg 26,8 kW	15 °C - 15,3 kW
Los Angeles, California	32 °C 11,3 g/kg 37 %	- 3,9 g/kg 10 kW	12 °C - 12,2 kW
Miami, Florida	33 °C 18,7 g/kg 58 %	- 11,3 g/kg 29 kW	13 °C - 13,2 kW
New Orleans, Louisiana	35 °C 17,8 g/kg 49 %	- 10,5 g/kg 26,6 kW	15 °C - 15,1 kW
New York	35 °C 14,5 g/kg 40 %	- 7,1 g/kg 18,3 kW	15 °C - 15,3 kW

Der angegebene Leistungsbedarf bezieht sich auf die Konditionierung eines Frischluftstroms von 1 kg Luft/s (ca. 4000 m³/h), entsprechend dem Frischluftbedarf eines Konferenzraumes mit ca. 100 Personen.

L-DCS Technology GmbH

Kirchenstr. 6
85630 Grasbrunn
Germany

Matthas Peltzer

Tel: 089 96998197

Web: <http://www.L-DCS.com/>