

Jens Meyerhoff

# FORMELSAMMLUNG LÜFTUNGS- UND KLIMATECHNIK

Berechnungsverfahren zur  
Dimensionierung üblicher RLT-Anlagen

# HERAUSGEBER/IMPRESSUM

**Jens Meyerhoff**

Dipl.-Ing. Versorgungstechnik, OStR, Teamleiter der Technikerschule für Heizungs-, Lüftungs- und Klimatechnik, Bad Zwischenahn

BBS Ammerland  
Technikerschule HLK  
c/o Jens Meyerhoff  
Elmendorfer Straße 59  
26160 Bad Zwischenahn  
Telefon +49 4403 9798-0  
Telefax +49 4403 9798-100  
formelsammlung.luek@gmx.de  
www.bbs-ammerland.de

Kampmann GmbH  
Friedrich-Ebert-Straße 128–130  
49811 Lingen (Ems)  
Telefon +49 591 7108-0  
Telefax +49 591 7108-300  
info@kampmann.de  
www.kampmann.de

Satz/Layout/Druck:  
Feinrot Kreativgesellschaft mbH & Co. KG  
Am Patentbusch 10  
26125 Oldenburg  
www.feinrot.de

Alle Rechte vorbehalten. Nachdruck, auch auszugsweise, verboten. Kein Teil dieses Werkes darf ohne schriftliche Einwilligung des Verlages und des Herausgebers in irgendeiner Form (Fotokopie, Mikrofilm oder ein anderes Verfahren), auch nicht für Zwecke der Unterrichtsgestaltung, reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden.

Die Benutzung dieses Buches und die Anwendung der darin enthaltenen Informationen erfolgt ausdrücklich auf eigenes Risiko. Der Verlag und auch der Herausgeber können für Schäden jeder Art, die durch Nutzung dieses Buches entstehen, aus keinem Rechtsgrund eine Haftung übernehmen. Das Werk inklusive aller Inhalte wurde unter größter Sorgfalt erarbeitet. Der Verlag und der Herausgeber übernehmen jedoch keine Gewähr für die Aktualität, Korrektheit, Vollständigkeit und Qualität der bereitgestellten Informationen. Druckfehler und Falschinformationen können nicht vollständig ausgeschlossen werden.

## **2. Auflage**

© Kampmann GmbH, 2015  
Printed in Germany

ISBN 978-3-00-050419-8

# VORWORT DES VERLAGES

Damit eine raumluftechnische Anlage (RLT-Anlage) im realen Betrieb die an sie gestellten Anforderungen auch erbringen kann, ist ihre fachgerechte Planung dafür die wichtigste Grundlage!

Diese Formelsammlung legt besonderen Wert darauf, übersichtliche, nachvollziehbare und anschauliche Rechenwege aufzuzeigen, die sich in der Praxis bei der Planung und dem Betrieb von RLT-Anlagen sicher und verständlich anwenden lassen. Dieses Wissen ist auch wichtig, wenn beim Engineering Branchensoftware eingesetzt wird: Jeder Planer sollte die Lösung, die ihm ein Tool anbietet, überblicken und bewerten können, zumal er selbst die fachliche Verantwortung trägt!

In diesem Buch sind bei Zusammenhängen, die auf in Normen oder Richtlinien festgelegte Werte beruhen, die benötigten Daten aufgeführt, um ohne weitere Quellen eine fachgerechte Berechnung durchführen zu können. Bei einigen Zusammenhängen hat sich gezeigt, dass den vorhandenen Quellen (Bücher, Normen, Richtlinien) eine Veranschaulichung fehlt, um die physikalischen und technischen Zusammenhänge verständlich und damit transferierbar zu machen. Für die thermodynamischen Grundlagen des  $h,x$ -Diagramms wurde z. B. ein „Modell der feuchten Luft“ als Denkmodell entwickelt, aus dem sich alle Zusammenhänge ableiten lassen.

Zur energetischen Bewertung von Luftfördersystemen, wie es aktuell unter anderem die „Ökodesign-Richtlinie“ der EU fordert, hat der Autor einen allgemeingültigen Ansatz mit zum Teil neuen, widerspruchsfreien Größen entwickelt und auf die Effizienzbeurteilung von Ventilatoren angewendet.

Für die Mischluftrechnung und die Berechnung von WRG-Systemen (speziell Rotationswärmetauscher mit und ohne Sorption) hat der Autor eigene Verfahren entwickelt und zusammengestellt, die die möglichst exakte Dimensionierung eindeutig und nachvollziehbar ermöglichen.

Basierend auf die DIN 1946-6 wurde für die Dimensionierung von KWL-Anlagen speziell die Berechnung von zentralen Zu- und Abluftsystemen zusammengestellt.

Das sehr umfassende Gebiet der Akustik wurde so aufbereitet, dass alle notwendigen Grundlagen zur akustischen Dimensionierung und Bewertung von RLT-Anlagen übersichtlich vorliegen. Für die Nutzung der Zusammenhänge z. B. in Tabellenkalkulationsprogrammen wurden für alle grafischen Darstellungen die zugehörigen Formeln hergeleitet und angegeben.

## WICHTIGER HINWEIS:

Obwohl bei der Beschreibung der Formelzeichen die übliche Einheit immer in eckigen Klammern angegeben ist, so muss dennoch beim Rechnen auf die korrekte Kürzung aller Einheiten geachtet werden!

# VORWORT DES AUTORS



Im Dezember 2014 erschien mit Unterstützung von Kampmann erstmals diese Formelsammlung und stand damit der HLK-Fachwelt zur Verfügung.

Die Rezensionen in vielen Fachzeitschriften, die Rückmeldungen von Nutzern und Hochschullehrern und die Tatsache, dass im Herbst 2015 bereits alle Exemplare vergriffen sein würden, haben mich motiviert, schon jetzt eine aktualisierte Auflage fertig zu stellen.

Besonders meine „Studierenden“ an unserer Technikerschule HLK in Bad Zwischenahn haben dazu beigetragen, etliche kleine „Tippfehler“ zu finden, die jetzt korrigiert wurden. Auch in einigen – teils langen – Gesprächen mit anerkannten RLT-Fachleuten konnte ich wichtige Aspekte diskutieren und daraus Verbesserungen ableiten. Für Kapitel 2 ist so z. B. eine ausführliche Darstellung der Grundlagen des  $h,x$ -Diagramms entstanden. Danke an alle, die sich dafür die Zeit genommen haben!

Neben den bereits in der ersten Auflage enthaltenen speziell zusammengestellten oder von mir neu entwickelten Berechnungsansätzen habe ich in dieser Auflage weitere neue Betrachtungsweisen hinzugefügt. Dies ist im Hinblick auf die aktuelle Ökodesign-Richtlinie der EU die „Spezifische Luftförderleistung eines Luftfördersystems“ (Kapitel 2.12.5). Für den Bereich Akustik habe ich das Kapitel „Spezielle Bedingungen im Freifeld mit Schallabsorption an den Raumbegrenzungsflächen“ (Kapitel 6.1.7) hinzugefügt. Es enthält ein neu entwickeltes Verfahren zur Berechnung der Schallausbreitung bei nicht vollständig absorbierenden Begrenzungsflächen mit Freifeld-Charakter, wie sie z.B. bei im Außenbereich eines Gebäudes aufgestellten HLK-Komponenten (z.B. Außengerät einer Luft-Wasser-Wärmepumpe) auftreten.

Grundsätzlich ist aufgrund der breiten Thematik eine vollständige Darstellung aller rechnerischen Zusammenhänge der Raumlufttechnik mit dieser Formelsammlung schwer möglich. Deshalb freue ich mich auf einen weiteren fachlichen Diskurs mit den Lesern und Nutzern dieses Werkes, damit die hier vorliegende Zusammenstellung sich auch in Zukunft weiter entwickeln kann. Alle Anregungen, Kritik und sonstige Kontaktaufnahmen – die ausdrücklich gewünscht sind! – senden Sie bitte an [formelsammlung.luek@gmx.de](mailto:formelsammlung.luek@gmx.de).

Abschließend gilt mein besonderer Dank wieder dem Unternehmen Kampmann, mit dessen Engagement auch diese Auflage in der vorliegenden Form erscheinen konnte!

Jens Meyerhoff,  
im Oktober 2015

# INHALT

## KAPITEL 1

Luftheizung (Lüftungstechnische Berechnung ohne h,x-Diagramm).....	13
--	----

## KAPITEL 2

Berechnung von Luftzuständen und Luftzustandsänderungen im h,x-Diagramm.....	17
--	----

## KAPITEL 3

Planung einer KWL-Anlage mit zentralem Lüftungsgerät (Ab- und Zuluft) für ein Wohngebäude nach DIN 1946-6.....	59
---	----

## KAPITEL 4

Kanalnetzberechnung.....	73
--------------------------	----

## KAPITEL 5

Zuluftvolumenstrom-Ermittlung für Nichtwohngebäude.....	83
---	----

## KAPITEL 6

Akustik.....	105
--------------	-----

# INHALT

## KAPITEL 1

1. Luftheizung (Lüftungstechnische Berechnung ohne $h_x$ -Diagramm).....	14
1.1 Heizlast-Deckung durch Zuluft.....	14
1.2 Heizregister-Auslegung.....	14

## KAPITEL 2

2. Berechnung von Luftzuständen und Luftzustandsänderungen im $h_x$ -Diagramm.....	18
2.1 Das Modell für die „feuchte Luft“ (ohne Nebel) in der Klimatechnik.....	18
2.2 Massenstrom der feuchten Luft.....	22
2.3 Massenstrom der trockenen Luft.....	22
2.4 Massenstrom des Wasserdampfes.....	22
2.5 Relative Luftfeuchte.....	22
2.6 Absolute Luftfeuchte.....	22
2.7 Dichte der feuchten Luft.....	22
2.8 Wasserdampf im Sättigungszustand (Sattdampf).....	23
2.8.1 Sättigungsdampfdruck.....	23
2.8.2 Sättigungsdichte.....	24
2.8.3 Dampfenthalpie (Sattdampf in feuchter Luft).....	24
2.9 Spezifische Enthalpie der feuchten Luft (für $\varphi \leq 100\%$ ).....	24
2.10 Leistungsberechnung einer Luftzustandsänderung am Beispiel der feuchten Kühlung.....	24
2.10.1 Gesamtleistung.....	25
2.10.2 Latente Leistung.....	26
2.10.3 Sensible Leistung.....	26
2.10.4 Sensible Heat Factor (SHF).....	26
2.11 Mischen von Luftströmen.....	28
2.11.1 Mischen gemäß $h_x$ -Diagramm.....	28
2.11.1.1 Massenstrombilanz.....	28
2.11.1.2 Mischungsverhältnisse (= Verhältnisse der trockenen Massenströme).....	28
2.11.1.3 Absolute Feuchte der Mischluft.....	29
2.11.1.4 Enthalpie der Mischluft.....	29
2.11.1.5 Feuchte Volumenströme der Außen- und Umluft.....	30
2.11.1.6 Mischpunktermittlung, wenn die Volumenströme der Außen- und Mischluft bekannt sind.....	31
2.11.1.7 Mischpunktermittlung, wenn die Volumenströme der Außen- und Umluft bekannt sind.....	33
2.11.1.8 Exakte Mischpunktermittlung auf iterativem Weg.....	34
2.11.2 Mischlufttemperaturberechnung in Lüftungstechnischer Näherung.....	34
2.11.2.1 Volumenstrombilanz (Näherung).....	34

# INHALT

2.11.2.2	Mischungsverhältnisse (= Verhältnis der feuchten Volumenströme).....	35
2.11.2.3	Temperatur der Mischluft (Näherung).....	35
2.12	Ventilator.....	36
2.12.1	Energie(Leistungs-)fluss einer Ventilatereinheit.....	36
2.12.2	Einbauarten von Ventilatereinheiten in Lüftungsgeräten.....	38
2.12.3	Proportionalitätsgesetze der Luftförderung.....	40
2.12.4	Leistungen und Wirkungsgrade.....	40
2.12.5	Spezifische Luftförderleistung einer Ventilatereinheit.....	42
2.12.6	Luftzustandsänderung durch eine Ventilatereinheit.....	44
2.13	Kühlen, Entfeuchten.....	46
2.13.1	Effektive Oberflächentemperatur eines Luftkühlregisters.....	46
2.13.2	Leistungsberechnung.....	47
2.13.3	Kondensatmenge.....	47
2.14	Befeuchten.....	48
2.14.1	Dampfbefeuchtung.....	48
2.14.2	Luftwäscher (Umlaufsprühbefeuchter).....	49
2.15	Wärmerückgewinnung.....	50
2.15.1	Grundlagen.....	50
2.15.1.1	Übertragene Leistung.....	50
2.15.1.2	Rückgewinnungswirkungsgrade.....	51
2.15.1.3	Rückwärmzahl.....	52
2.15.1.4	Rückfeuchtezahl.....	52
2.15.1.5	Enthalpierückgewinnungswirkungsgrad.....	53
2.15.2	Besonderheiten bei der Berechnung von Rotoren.....	54
2.15.3	Besonderheiten bei der Berechnung von Plattenwärmetauschern (PWT).....	56

## KAPITEL 3

3.	Planung einer KWL-Anlage mit zentralem Lüftungsgerät (Ab- und Zuluft) für ein Wohngebäude nach DIN 1946-6.....	60
3.1	Raumzusammenstellung.....	60
3.2	Erforderlicher Außenluftvolumenstrom der NE nach der beheizten Fläche bei Nennlüftung ( $q_{v,ges,NE,NL}$ ).....	61
3.3	Summe der erforderlichen Abluftvolumenströme aller Ablufträume der NE bei Nennlüftung ( $\Sigma q_{v,ges,R,ab,NL}$ ).....	62
3.4	Festlegung des endgültigen Gesamtabluftvolumenstroms der NE (KWL + Infiltration) bei Nennlüftung ( $q_{v,ges,NL}$ ).....	63
3.5	Berechnung des wirksamen Infiltrationsvolumenstroms der NE bei freier Lüftung, d.h. ohne Vorhandensein einer LTM ( $q_{v,inf,wert}$ ).....	63

# INHALT

3.6	Berechnung des erforderlichen Volumenstroms zum Feuchteschutz ( $q_{v,ges,NE,FL}$ )	66
3.7	Überprüfung, ob für die NE eine LTM zwingend erforderlich ist	66
3.8	Berechnung des wirksamen Infiltrationsvolumenstroms der NE bei ventilatorgestützter Lüftung, d.h. bei Betrieb eines KWL-Gerätes ( $q_{v,inf,wirk}$ )	66
3.9	Berechnung des erforderlichen Volumenstroms des KWL-Gerätes bei Nennlüftung ( $q_{v,LTM,vg,NL}$ )	70
3.10	Festlegung der endgültigen LTM-Abluftvolumenströme aller Ablufträume der NE bei Nennlüftung ( $q_{v,LTM,R,ab,NL}$ )	70
3.11	Festlegung der endgültigen LTM-Zuluftvolumenströme aller Zulufräume der NE bei Nennlüftung ( $q_{v,LTM,R,zu,NL}$ )	70
3.12	Manuelle Anpassung der ermittelten LTM-Volumenströme für die Zu- und Ablufträume	71

## KAPITEL 4

4.	Kanalnetzberechnung	74
4.1	Grundlagen	74
4.1.1	Gesamtdruck, statischer und dynamischer Druck im Lüftungskanal	74
4.1.2	Kontinuitätsgesetz in einem unverzweigten Kanalabschnitt	74
4.1.3	Bestimmung des Kanalquerschnitts mit der Geschwindigkeitsmethode	74
4.1.4	Hydraulischer und gleichwertiger Durchmesser	74
4.1.5	Druckverlust durch Einzelwiderstände	75
4.1.6	Druckverlust einer Teilstrecke	76
4.1.7	Rohrreibungsdruckverlust einer Teilstrecke	76
4.1.8	Lineares Inter- oder Extrapolieren	76
4.2	Druckverlustberechnung nach der Geschwindigkeitsmethode	77
4.2.1	Festlegung des Kanalverlaufs sowie des Kanalsystems	77
4.2.2	Festlegung der Volumenströme für alle Luftdurchlässe	77
4.2.3	Festlegung der einzelnen Stränge und Teilstrecken	77
4.2.4	Berechnungen für jeden Strang	78
4.2.5	Strangübersicht und hydraulischer Abgleich	80
4.2.6	Ventilatorauslegung	81
4.3	Berechnung von Drosselblenden in runden Kanälen	81
4.4	Einstellung von Drosselklappen	82

## KAPITEL 5

5.	Zuluftvolumenstrom-Ermittlung für Nichtwohngebäude	84
5.1	Luftwechsel	84
5.2	Thermische Lasten	86
5.3	Schadstoffbelastung	86
5.4	Feuchtelast/latente Kühllast	90

# INHALT

5.4.1	Erste Näherung	90
5.4.2	Exakt	91
5.4.3	Wasserdampfabgabe des Menschen als latente Kühllast	91
5.4.4	Rechnerische Ermittlung von $x_{\text{SUP}}$ und $\rho_{\text{Li,SUP}}$	93
5.5	Olfaktorische Luftqualität	94
5.6	DIN 15251	97
5.7	Zuluftvolumenstromberechnung für den Sommer- und Winterfall im h,x-Diagramm	99
5.7.1	Sommerfall in fünf Schritten	99
5.7.2	Winterfall in sechs Schritten	102
<b>KAPITEL 6</b>		
6.	Akustik	106
6.1	Grundlagen	106
6.1.1	Schallgeschwindigkeit in Luft	106
6.1.2	Schalldruck	106
6.1.3	Schallleistung	108
6.1.4	Schallintensität	109
6.1.5	Schallpegel	110
6.1.6	Spezielle Bedingungen im Freifeld ohne Schallabsorption an den Raumbegrenzungsflächen	114
6.1.7	Spezielle Bedingungen im Freifeld mit Schallabsorption an den Raumbegrenzungsflächen	116
6.2	Wichtige Gesetze für Überschlagsrechnungen („Bierdeckelrechnung“)	118
6.3	Pegeladdition	120
6.3.1	Summenpegel bei gleichen Einzelpegeln	120
6.3.2	Summenpegel bei unterschiedlichen Einzelpegeln	121
6.4	Anlagenpegelbestimmung bei vorhandenem Fremdpegel	122
6.5	Schallbewertung nach DIN IEC 651 (deutsche Richtlinien)	123
6.6	Schallbewertung nach NR- und NC-Kurven (internationale Richtlinie)	124
6.7	Raumeinfluss	126
6.7.1	Mittlere Absorptionsfaktoren üblicher Räume	126
6.7.2	Berechnung der äquivalenten Absorptionsfläche eines Raumes	126
6.8	Raumdämpfung	130
6.8.1	Grundlagen	130
6.8.2	Raumschallpegel von Luftdurchlässen	135
6.8.2.1	Richtungsfaktoren bei Luftdurchlässen	135
6.8.2.2	Ermittlung der von einem Luftdurchlass verursachten Schallpegel an einem Raumpunkt („Aufpunkt“)	136
6.8.3	Raumdämpfung bei speziellen Flach- und Langräumen	141

# INHALT

<b>ANHANG</b>	
Anhang 1	Luftarten und deren Kennzeichnungen in RLT-Anlagen..... 148
Anhang 2	15 Klimaregionen für Testreferenzjahre (TRY-Regionen) in Deutschland ..... 149
Anhang 3	Außenluft-Auslegungsparameter für Komfortklimatisierung (mittlere Extremwerte zwischen 1994–2003) für die 15 Klimaregionen in Deutschland..... 151
Anhang 4	h,x-Diagramm 1.000,0 hPa (-20°C bis 55 °C) ..... 152
Anhang 5	h,x-Diagramm 1.013,25 hPa (-20°C bis 55 °C) ..... 153
Anhang 6	h,x-Diagramm 1.000,0 hPa (0°C bis 90°C)..... 154

<b>QUELLEN</b>	
Quellen	..... 155

# KAPITEL 2

## 2.12 Ventilator

Ein „Ventilator“ sollte besser als Ventilatoreinheit bezeichnet werden, da er üblicherweise aus verschiedenen elektronischen, elektrischen und mechanischen Bauteilen besteht. Diese übertragen die von außen zugeführte elektrische Energie (bzw. Leistung) über mehrere Umwandlungsstufen mit jeweiligem Wirkungsgrad in die geförderte Luft (siehe Abbildung 2.12.1-1).

Das eigentliche Ziel jeder Ventilatoreinheit ist die Förderung eines bestimmten Volumenstroms bei gleichzeitiger Aufbringung der dazu erforderlichen Druckerhöhung („Pressung“). Die einzelnen Umwandlungsstufen bis hin zum Gebläserad erzeugen dabei Verluste. Je nach Einbauart einer Ventilatoreinheit in einem Lüftungsgerät (siehe Kapitel 2.12.2) führt daher die gesamte elektrisch zugeführte Leistung oder nur ein Teil davon zu einer Enthalpieerhöhung in der transportierten Luft (siehe Kapitel 2.12.4 und 2.12.6).

Bei Ventilatoren mit veränderlichen Drehzahlen lässt sich das Betriebsverhalten (bei bestimmten Bedingungen) über Proportionalitätsgesetze ableiten (siehe Kapitel 2.12.3).

Eine zusammenfassende energetische Beurteilung der Luftförderung einer Ventilatoreinheit lässt sich durch die erreichte „spezifische Luftförderleistung“ angeben (siehe Kapitel 2.12.5). Diese Betrachtung liefert die technisch-physikalische Grundlage der Beurteilung von Ventilatoreinheiten gemäß der sogenannten „ErP-Richtlinie“ (Ökodesign-Richtlinie) der Europäischen Union ([26]).

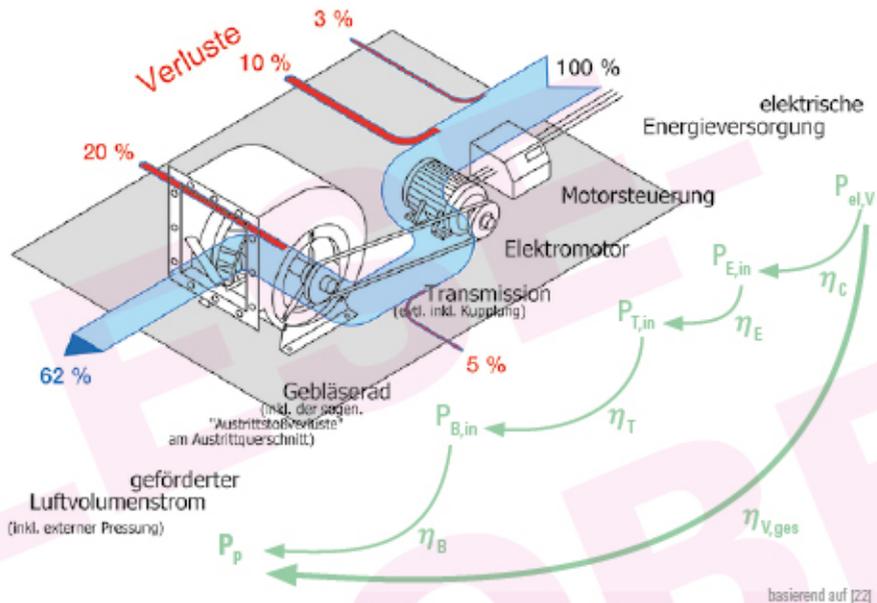
### 2.12.1 Energie(Leistungs-)fluss einer Ventilatoreinheit

Bei jeder Ventilatoreinheit wird mit einem bestimmten energetischen Aufwand (= elektrische Energieversorgung) die zugeführte Leistung so umgewandelt, dass sie letztlich als Nutzen einen bestimmten geförderten Luftvolumenstrom mit einer bestimmten externen Druckerhöhung („Pressung“) ergibt.

Diese Energieumwandlung, die in jeder Stufe bestimmte Verluste (= nicht gewünschte Wärmeentwicklung) beinhaltet, ist in Abbildung 2.12.1-1 dargestellt. Die angegebenen Prozentwerte sind beispielhaft (aber nicht grundsätzlich repräsentativ), um eine typische Größenordnung anzugeben.

# KAPITEL 2

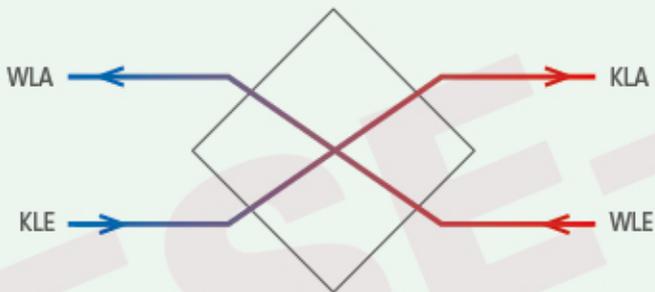
Abbildung 2.12.1-1: Energie(Leistungs-)fluss einer Ventilatoreinheit



- $P_{el,V}$  = der Ventilatoreinheit zugeführte elektrische Leistung („electric“, „ventilation unit“) [W]
- $P_{E,in}$  = dem Elektromotor zugeführte Leistung („engine“, „input“) [W]
- $P_{T,in}$  = der Transmission zugeführte Leistung („transmission“, „input“) [W]
- $P_{B,in}$  = Antriebsleistung an der Welle des Gebläserads („blower“, „input“) [W]
- $P_p$  = Förderleistung des Gebläserads („pump“) [W]
- $\eta_c$  = Wirkungsgrad der Motorsteuerung („control“) [1]
- $\eta_E$  = Wirkungsgrad des Elektromotors („engine“) [1]
- $\eta_T$  = Wirkungsgrad der Transmission (evtl. inkl. Kupplung; „transmission“) [1]
- $\eta_B$  = Wirkungsgrad des Gebläserads („blower“) [1]
- $\eta_{V,ges}$  = Gesamtwirkungsgrad der Ventilatoreinheit [1]

# KAPITEL 2

## 2.15 Wärmerückgewinnung



Abkürzungen der allgemeinen Bezeichnungen:

KLE = Kaltlufteintritt

KLA = Kaltluftaustritt

WLE = Warmlufteintritt

WLA = Warmluftaustritt

ALLGEMEIN	SOMMERFALL	WINTERFALL
KLE	IDA	ODA
KLA	EHA	SUP
WLE	ODA	IDA
WLA	SUP	EHA

### 2.15.1 Grundlagen

#### 2.15.1.1 Übertragene Leistung

Werden die WRG-Systeme mit ungleichen Massenströmen betrieben, so sind dennoch die auf beiden Seiten übertragenen Leistungen gleich:

$$\dot{Q}_{KL} = \dot{Q}_{WL}$$

$$q_{m,L,KL} \cdot \Delta h_{KL} = q_{m,L,WL} \cdot \Delta h_{WL}$$

## KAPITEL 2

Bei gleichen trockenen Luftmassenströmen gilt speziell:

$$\dot{Q}_{KL} = \dot{Q}_{WL}$$

$$\Delta h_{KL} = \Delta h_{WL}$$

Bei gleichen trockenen Luftmassenströmen, wenn kein Kondensat abgeführt wird, gilt zudem:

$$\Delta x_{KL} = \Delta x_{WL}$$

Wenn bei einem WRG-System  $\Delta h$  und  $\Delta x$  auf der Warm- und Kaltluftseite gleich sind, sind die Zustandsverläufe im  $h,x$ -Diagramm parallel und gleich lang!

### 2.15.1.2 Rückgewinnungswirkungsgrade.....

$$\Phi = \frac{\text{tatsächliche Rückgewinnung}}{\text{maximal mögliche Rückgewinnung}}$$

Die Berechnung der Rückgewinnungswirkungsgrade ist jedoch nur gültig, wenn auf der Kalt- und Warmluftseite die gleichen trockenen Massenströme fließen!

$\Phi$	=	Rückgewinnungswirkungsgrad [1]
$\dot{Q}_{KL}$	=	auf der Kaltluftseite an die Luft übertragene Leistung [W]
$\dot{Q}_{WL}$	=	auf der Warmluftseite an die Luft übertragene Leistung [W]
$q_{m,L,KL}$	=	trockener Luftmassenstrom der Kaltluftseite [kg/h]
$q_{m,L,WL}$	=	trockener Luftmassenstrom der Warmluftseite [kg/h]
$\Delta h_{KL}$	=	Änderung der Enthalpie auf der Kaltluftseite [kJ/kg]
$\Delta h_{WL}$	=	Änderung der Enthalpie auf der Warmluftseite [kJ/kg]
$\Delta x_{KL}$	=	Änderung der absoluten Feuchte auf der Kaltluftseite [kg/kg]
$\Delta x_{WL}$	=	Änderung der absoluten Feuchte auf der Warmluftseite [kg/kg]

## KAPITEL 2

### 2.15.1.3 Rückwärmzahl

Die Rückwärmzahl  $\Phi_{\theta}$  errechnet sich immer richtig auf die Wärme aufnehmende KL-Seite! Auf die Wärme abgebende WL-Seite darf sie nur angewendet werden, wenn dort kein Kondensat abgeführt wird!

$$\Phi_{\theta, KL} = \frac{\Delta \theta_{\text{tats}}}{\Delta \theta_{\text{max}}} = \frac{\theta_{KLA} - \theta_{KLE}}{\theta_{WLE} - \theta_{KLE}} = \frac{\Delta \theta_{KL}}{\theta_{WLE} - \theta_{KLE}}$$

Wenn auf der Warmluftseite kein Kondensat abgeführt wird:

$$\Phi_{\theta, WL} = \frac{\Delta \theta_{\text{tats}}}{\Delta \theta_{\text{max}}} = \frac{\theta_{WLE} - \theta_{WLA}}{\theta_{WLE} - \theta_{KLE}} = \frac{\Delta \theta_{WL}}{\theta_{WLE} - \theta_{KLE}}$$

#### HINWEIS:

Ohne Kondensatanfall auf der WL-Seite ergibt sich bei exakter Betrachtung im  $h,x$ -Diagramm, dass die berechneten Werte für  $\Phi_{\theta, KL}$  und  $\Phi_{\theta, WL}$  nicht exakt übereinstimmen. Dieser Unterschied ist jedoch praktisch selten relevant.

### 2.15.1.4 Rückfeuchtezahl

Die Rückfeuchtezahl  $\Phi_x$  errechnet sich immer richtig auf die trockenere, wärmeaufnehmende KL-Seite. Auf die feuchtere WL-Seite darf sie nur angewendet werden, wenn dort kein Kondensat abgeführt wird!

$$\Phi_{x, KL} = \frac{\Delta x_{\text{tats}}}{\Delta x_{\text{max}}} = \frac{x_{KLA} - x_{KLE}}{x_{WLE} - x_{KLE}} = \frac{\Delta x_{KL}}{x_{WLE} - x_{KLE}}$$

Wenn auf der Warmluftseite kein Kondensat abgeführt wird:

$$\Phi_{x, WL} = \frac{\Delta x_{\text{tats}}}{\Delta x_{\text{max}}} = \frac{x_{WLE} - x_{WLA}}{x_{WLE} - x_{KLE}} = \frac{\Delta x_{WL}}{x_{WLE} - x_{KLE}} = \Phi_{x, KL}$$

# KAPITEL 2

## 2.15.1.5 Enthalpierzurückgewinnungswirkungsgrad

$$\Phi_h = \frac{\Delta h_{\text{tats}}}{\Delta h_{\text{max}}} = \frac{h_{\text{KLA}} - h_{\text{KLE}}}{h_{\text{WLE}} - h_{\text{KLE}}} = \frac{h_{\text{WLE}} - h_{\text{WLA}}}{h_{\text{WLE}} - h_{\text{KLE}}}$$

- $\Phi_{\theta, \text{KL}}$  = Rückwärmzahl bezogen auf die KL-Seite der WRG [1]
- $\Phi_{\theta, \text{WL}}$  = Rückwärmzahl bezogen auf die WL-Seite der WRG [1]
- $\Phi_{x, \text{KL}}$  = Rückfeuchtezahl bezogen auf die KL-Seite der WRG [1]
- $\Phi_{x, \text{WL}}$  = Rückfeuchtezahl bezogen auf die WL-Seite der WRG [1]
- $\Phi_h$  = Enthalpierzurückgewinnungswirkungsgrad [1]
- $\Delta \theta_{\text{tats}}$  = tatsächliche Änderung der Temperatur durch die WRG [K]
- $\Delta \theta_{\text{max}}$  = maximal theoretisch mögliche Änderung der Temperatur durch die WRG [K]
- $\Delta \theta_{\text{KL}}$  = Änderung der Temperatur der Kaltluft durch die WRG [K]
- $\Delta \theta_{\text{WL}}$  = Änderung der Temperatur der Warmluft durch die WRG [K]
- $\theta_{\text{KLE}}$  = Temperatur der Kaltluft vor der WRG [°C]
- $\theta_{\text{KLA}}$  = Temperatur der Kaltluft nach der WRG [°C]
- $\theta_{\text{WLE}}$  = Temperatur der WL vor der WRG [°C]
- $\theta_{\text{WLA}}$  = Temperatur der WL nach der WRG [°C]
- $\Delta x_{\text{tats}}$  = tatsächliche Änderung der absoluten Feuchte durch die WRG [kg/kg]
- $\Delta x_{\text{max}}$  = maximal theoretisch mögliche Änderung der absoluten Feuchte durch die WRG [kg/kg]
- $\Delta x_{\text{KL}}$  = tatsächliche Änderung der absoluten Feuchte auf der Kaltluftseite der WRG [kg/kg]
- $x_{\text{KLE}}$  = absolute Feuchte der Kaltluft vor der WRG [kg/kg]
- $x_{\text{KLA}}$  = absolute Feuchte der Kaltluft nach der WRG [kg/kg]
- $\Delta x_{\text{WL}}$  = tatsächliche Änderung der absoluten Feuchte auf der Warmluftseite der WRG [kg/kg]
- $x_{\text{WLE}}$  = absolute Feuchte der Warmluft vor der WRG [kg/kg]
- $x_{\text{WLA}}$  = absolute Feuchte der Warmluft nach der WRG [kg/kg]
- $\Delta h_{\text{tats}}$  = tatsächliche Änderung der Enthalpie durch die WRG [kJ/kg]
- $\Delta h_{\text{max}}$  = maximal theoretisch mögliche Änderung der Enthalpie durch die WRG [kJ/kg]
- $h_{\text{KLE}}$  = Enthalpie der Kaltluft vor der WRG [kJ/kg]
- $h_{\text{KLA}}$  = Enthalpie der Kaltluft nach der WRG [kJ/kg]
- $h_{\text{WLE}}$  = Enthalpie der Warmluft vor der WRG [kJ/kg]
- $h_{\text{WLA}}$  = Enthalpie der Warmluft nach der WRG [kJ/kg]

## DAS BUCH:

Diese Sammlung fasst wichtige Grundlagen und Verfahren zur praxisorientierten Planung von RLT-Anlagen zusammen. Bei der Struktur der Inhalte wurde besonderer Wert darauf gelegt, übersichtliche, nachvollziehbare und anschauliche Rechenwege aufzuzeigen, die sich in der Praxis sicher und verständlich anwenden lassen. Gegenüber der bereits vergriffenen 1. Auflage wurden „Tippfehler“ korrigiert und etliche erläuternde Hinweise ergänzt.

Neben den bereits in der ersten Auflage enthaltenen speziell zusammengestellten oder neu entwickelten Berechnungsansätzen hat der Autor in dieser Auflage weitere neue Betrachtungsweisen hinzugefügt. Dies ist im Hinblick auf die aktuelle Ökodesign-Richtlinie der EU die „Spezifische Luftförderleistung eines Luftfördersystems“. Für den Bereich Akustik wurde ein neuer Ansatz zur Beurteilung der „Spezielle[n] Bedingungen im Freifeld mit Schallabsorption an den Raumbegrenzungsflächen“ entwickelt.

## DER AUTOR:

Nach einer Ausbildung zum Elektroinstallateur in einem Handwerksbetrieb für Elektro-, Sanitär-, Heizungs- und Klimatechnik, dem Studium zum Dipl.-Ing. für Versorgungstechnik, Berufstätigkeiten als Ingenieur und einem Universitätsstudium der Metalltechnik und Physik ist Jens Meyerhoff als Lehrer an Berufsbildenden Schulen tätig.

In den Jahren 1994/1995 war er Mitbegründer der „2-jährigen Fachschule Heizungs-, Lüftungs- und Klimatechnik“ (Technikerschule HLK) an den Berufsbildenden Schulen Ammerland in Bad Zwischenahn und ist dort mittlerweile seit vielen Jahren der verantwortliche Teamleiter. Einer seiner fachlichen und unterrichtlichen Schwerpunkte ist die Lüftungs- und Klimatechnik.

Aus seinen umfassenden beruflichen Erfahrungen heraus entwickelte der Autor über viele Jahre hinweg ein Manuskript mit den üblichen Berechnungsverfahren zur Dimensionierung von RLT-Anlagen. Im Jahr 2014 erstellte Jens Meyerhoff mit der 1. Auflage erstmals eine vollständige Neufassung. Damit wurden die Anpassung an die aktuell üblichen Bezeichnungen und ein neues, übersichtliches Layout realisiert. Mit dem vorliegenden Buch legt der Autor jetzt die überarbeitete und wesentlich ergänzte 2. Auflage vor.

FORMELSAMMLUNG LÜFTUNGS- UND KLIMATECHNIK

ISBN 978-3-00-050419-8