



# Entwicklung und Adaption von Algorithmen zur Bewertung des Energiebedarfs von Lüftungsanlagen im Kontext des Energieausweises

DISSERTATION

zur Erlangung des akademischen Grades

DOKTOR DER TECHNISCHEN WISSENSCHAFTEN

der Studienrichtung

DOCTORAL SCHOOL MASCHINENBAU

Angefertigt am *Institut für Wärmetechnik*

Begutachter:

*Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Wolfgang Streicher*

*Prof. Dr.-Ing. Uwe Franzke*

Eingereicht von:

*Dipl.-Ing. Markus Gratzl-Michlmair*

März 2011



## **Danksagung**

Ich möchte mich an dieser Stelle bei all jenen bedanken, die mich beim Verfassen dieser Dissertation begleitet und unterstützt haben.

Der größte Dank gebührt meiner Frau Catherine, die mich zuerst ermutigt hat, das Dissertationsstudium überhaupt zu beginnen. Ihr Glauben an meine Fähigkeiten hat mich darin bestärkt, dieses Ziel weiter zu verfolgen. Danke.

Mein Doktorvater Wolfgang Streicher hat mir den Freiraum geschaffen, mich in ein mir zu Beginn weitgehend fremdes Thema intensiv einarbeiten zu können. Er hat mir das Vertrauen entgegengebracht, in diesem Themengebiet in relativ kurzer Zeit zum Mitentwickler von Normen zu werden und stand in kritischen Situationen stets hinter mir.

Neben allen meinen Kollegen in der Arbeitsgruppe „Energieeffiziente Gebäude“ am Institut für Wärmetechnik der Technischen Universität Graz möchte ich vor allem Hermann Schranzhofer danken. Die vielen intensiven Diskussionen – egal ob zu technischen oder formalen Fragestellungen – waren eine wichtige Unterstützung bei der Entstehung dieser Dissertation.

Besonders möchte ich mich auch bei meinen Eltern bedanken, dass sie mir meine Ausbildung in dieser Form ermöglicht haben und mir zu jeder Zeit zur Seite gestanden sind.

## **Eidesstattliche Erklärung**

Ich erkläre an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbständig und ohne fremde Hilfe verfasst, andere als die angegebenen Quellen nicht benutzt und die den benutzten Quellen wörtlich und inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Ich versichere, dass ich das Thema dieser Arbeit bisher weder im In- noch im Ausland (einem Beurteiler oder einer Beurteilerin) in irgendeiner Form als Prüfungsarbeit vorgelegt habe.

Geisenhausen, im März 2011



## Zusammenfassung

Die Bewertung der Energieeffizienz raumlufttechnischer Anlagen für den Energieausweis erfolgt in Österreich auf Grundlage der ÖNORM H 5057. Dabei sind die wesentlichen Ergebniswerte der Nutzenergiebedarf zur Konditionierung des Luftvolumenstroms für Heizen, Kühlen, Be- und Entfeuchten und der Endenergiebedarf für die Luftförderung. Die vorliegende Dissertation beschäftigt sich einerseits mit der Überarbeitung und andererseits mit der Weiterentwicklung dieser Norm. Im Zuge der Überarbeitung wurden die Berechnungsalgorithmen so abgeändert, dass mehrdeutige Bezüge korrigiert, fehlende Berechnungsteile ergänzt und mögliche Interpretationsspielräume eingeschränkt wurden. Das Resultat dieser Überarbeitung mündete in der Neuausgabe der Norm mit dem Ausgabedatum 1.1.2010, für die im Rahmen dieser Dissertation eine umfassende Dokumentation erstellt wurde. Bei der darüber hinausgehenden Weiterentwicklung wurde ein Modell ausgearbeitet, das die Berechnung des Nutzenergiebedarfs zur Konditionierung des Luftvolumenstroms stundenweise und standort-spezifisch ermöglicht. Basierend auf einer Erweiterung des Klimamodells des Energieausweises zur Bereitstellung stundenweiser Außenluftzustände wurde das bisherige monatsweise Modell auf eine Stundenberechnung umgestellt und um weitere Berechnungsteile wie Erdreichwärmetauscher und , Umluftführung ergänzt.

Stichwörter: Energieausweis – raumlufttechnische Anlage – Luftförderungsenergiebedarf – Nutzenergiebedarf zur Luftvolumenstromkonditionierung – spezifische Energiekennwerte

## Abstract

The calculation of energy demand of ventilation systems for energy certificates in Austria is described in ÖNORM H 5057 with the main result values final energy demand of ventilation and useful energy demand for conditioning of the air flow. Task of this work is on the one hand the actual and on the other hand the further development of this standard. In the course of the actual development the calculation algorithms were adapted in such a way that ambiguous references were corrected, missing parts were supplemented and arbitrary interpretation was limited. This revision resulted in a new edition of the standard released on 1.1.2010, which is documented comprehensively in this work. As a further development a model was elaborated, which provides an hourly and site-specific calculation of useful energy demand for air flow-conditioning. Based on an annex to the climatic model of the energy performance calculation concerning hourly values for outside air the former monthly model was changed over to an hourly model which was supplemented by additional parts such as earth-to-air heat-exchanger or recirculating air systems.

Keywords: energy performance certificate – ventilation system – final energy demand of ventilation – useful energy demand for conditioning of air flow



# Inhaltsverzeichnis

Glossar . . . . .	xi
Abkürzungsverzeichnis . . . . .	xiii
Symbolverzeichnis . . . . .	xv
Indexverzeichnis . . . . .	xvii
<b>1. Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1. Ausgangslage . . . . .	1
1.2. Aufgabenstellung, Zielsetzung, Fragestellung . . . . .	1
1.3. Hypothese . . . . .	2
1.4. Gliederung . . . . .	3
<b>1. Hintergrund</b>	<b>5</b>
<b>2. Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden</b>	<b>7</b>
2.1. Entwicklung . . . . .	7
2.2. Zielsetzung . . . . .	8
2.3. Modelle zur Berechnung des Energiebedarfs von Gebäuden . . . . .	8
2.4. Bewertungsebenen des Energiebedarfs von Gebäuden . . . . .	9
2.5. Umsetzung in der europäischen Normung . . . . .	11
2.5.1. Berechnung des Nutzenergiebedarfs . . . . .	12
2.5.2. Berechnung des Endenergiebedarfs . . . . .	14
2.5.3. Berechnung des Gesamtenergiebedarfs . . . . .	15
2.6. Umsetzung in der österreichischen Normung . . . . .	17
2.6.1. Berechnung des Nutzenergiebedarfs . . . . .	18
2.6.2. Berechnung des Endenergiebedarfs . . . . .	19
2.6.3. Berechnung des Gesamtenergiebedarfs . . . . .	24
2.6.4. Einbindung in das europäische Normungswerk . . . . .	25
<b>3. Berechnungsmethoden für den Energiebedarf raumluftechnischer Anlagen</b>	<b>27</b>
3.1. Berechnungsmethoden des Nutzenergiebedarfs zur Konditionierung des Luftvolumenstroms . . . . .	27
3.1.1. Verfahren basierend auf Messwerten . . . . .	27
3.1.2. Aufwandszahlen-Modell . . . . .	28
3.1.3. Verfahren der theoretischen Vergleichsprozesse . . . . .	29
3.1.4. $h, x$ -Zonen-Verfahren . . . . .	30
3.1.5. Häufigkeitsverteilungs-Methode . . . . .	32
3.1.6. Kennwertmethode, Benchmark-Methode . . . . .	34
3.2. Berechnungsmethoden des Endenergiebedarfs zur Luftförderung . . . . .	37
3.2.1. Einstufige Konstant-Volumenstrom-Anlagen . . . . .	41
3.2.2. Mehrstufige Konstant-Volumenstrom-Anlagen . . . . .	42

3.2.3. Variabel-Volumenstrom-Anlagen . . . . .	42
3.2.4. Vereinfachtes Berechnungsverfahren . . . . .	42
3.3. Normative Vorgaben auf CEN-Ebene . . . . .	44
<b>II. Die ÖNORM H 5057</b>	<b>51</b>
<b>4. Einleitung</b>	<b>53</b>
4.1. Anwendungsbereich . . . . .	53
4.2. Entwicklungsschritte . . . . .	54
4.3. Normativ abgebildete Systeme . . . . .	57
4.4. Einsatzgrenzen . . . . .	58
4.5. Eingangsgrößen . . . . .	59
4.6. Erforderliche Normenänderungen . . . . .	59
4.6.1. Gliederung . . . . .	59
4.6.2. Eingangsgrößen . . . . .	62
<b>5. Berechnung des Zuluftzustands</b>	<b>65</b>
5.1. Zuluftvolumenstrom . . . . .	67
5.2. Zulufttemperatur . . . . .	68
5.3. Erforderliche Normenänderungen . . . . .	68
5.3.1. Bestimmung des Zuluftvolumenstroms . . . . .	68
5.3.2. Bestimmung der Zulufttemperatur . . . . .	69
<b>6. Luftförderungsenergiebedarf</b>	<b>71</b>
6.1. KVS-Systematik . . . . .	71
6.2. VVS-Systematik . . . . .	73
6.3. Erforderliche Normenänderungen . . . . .	77
6.3.1. KVS-Systeme . . . . .	77
6.3.2. VVS-Systeme . . . . .	80
<b>7. Nutzenergiebedarf zur Konditionierung</b>	<b>83</b>
7.1. Modell der spezifischen Energiekennwerte . . . . .	83
7.1.1. Einbindung in die Energiebedarfsberechnung der ÖNORM H 5057 . . . . .	85
7.1.2. Berechnung der spezifischen Energiekennwerte . . . . .	87
7.1.3. Berechnung des Nutzenergiebedarfs zur Konditionierung des Luftvolumenstroms . . . . .	92
7.2. Erforderliche Normenänderungen . . . . .	96
7.3. Standortspezifische Berechnung der spezifischen Energiekennwerte . . . . .	104
7.3.1. Berechnungsschleife 1: Außenluftzustände . . . . .	112
7.3.2. Berechnungsschleife 2: Energiebedarfswerte . . . . .	117
7.3.3. Berechnungsschleife 3: Konditionierungsschritte . . . . .	134
7.3.4. Berechnungsschleife 4: Ergebnisberechnung . . . . .	153
7.3.5. Validierungs- und Plausibilitätsprüfungen . . . . .	154
7.3.6. Auswirkungen auf die Ergebnisse . . . . .	167
<b>8. Ergebniswerte und Einbindung in andere Normen</b>	<b>173</b>
8.1. Heizen . . . . .	174
8.2. Kühlen . . . . .	176

8.3.	Befeuchten . . . . .	179
8.3.1.	Dampfbefeuchtung . . . . .	179
8.3.2.	Verdunstungsbefeuchtung . . . . .	179
8.4.	Luftförderungsenergiebedarf . . . . .	180
8.5.	Erforderliche Normenänderungen . . . . .	181
8.5.1.	Bilanzierung Heizen . . . . .	181
8.5.2.	Bilanzierung Kühlen . . . . .	181
8.5.3.	Bilanzierung Befeuchtung . . . . .	182
8.5.4.	Bilanzierung Luftförderung . . . . .	182
8.5.5.	Einbindung der Luftheizung in die ÖNORM H 5056 . . . . .	182
8.5.6.	Einbindung der Luftkühlung in die ÖNORM H 5058 . . . . .	183
8.5.7.	Bilanzierung des Endenergiebedarfs . . . . .	183
<b>III. Zusammenfassung und Ausblick</b>		<b>185</b>
<b>9. Zusammenfassung</b>		<b>187</b>
<b>10. Resümee und Ausblick</b>		<b>189</b>
<b>Verzeichnisse</b>		<b>190</b>
	Literaturverzeichnis . . . . .	190
	Abbildungsverzeichnis . . . . .	198
	Tabellenverzeichnis . . . . .	205
<b>A. Berechnungsparameter für die ursprüngliche SEK-Berechnung</b>		<b>207</b>
<b>B. Normenvorschlag: Standortspezifische stundenweise Berechnung der spezifischen Energiekennwerte</b>		<b>211</b>
<b>C. Musterprogrammierung des standortspezifischen Modells der spezifischen Energiekennwerte</b>		<b>217</b>
<b>D. Überarbeitung der ÖNORM H 5058: Kühltechnik-Energiebedarf</b>		<b>263</b>
<b>E. Validierungsprozess ÖNORM H 5057 und ÖNORM H 5058</b>		<b>267</b>
<b>F. Weitere Projekte in Zusammenhang mit diesem Dissertationsvorhaben</b>		<b>269</b>
F.1.	Integration energierelevanter Aspekte in Architekturwettbewerbe . . . . .	269
F.2.	Pflichtenheft Energieausweis . . . . .	272
F.3.	Vergleichsberechnungen Energieausweiserstellung LKH Rottenmann . . . . .	273
F.4.	HEAT.AT – Die Auswirkungen des Klimawandels auf Heiz- und Kühlenergiebedarf in Österreich 2 . . . . .	274
F.5.	klima:aktiv-Kriterienkatalog für Dienstleistungsgebäude . . . . .	276
F.6.	Vergleich der Berechnungsmethoden zur Berechnung von Heizwärmebedarf und Kühlbedarf . . . . .	277
F.7.	Building Stock Analysis . . . . .	279
F.7.1.	CZ-AT-EEG . . . . .	279
F.7.2.	IEA-SHC Task 37: Renovation . . . . .	279

F.8. Planungsleitlinien zur Umsetzung der „Strategie Nachhaltig Bauen und Sanieren in der Steiermark“. Teil 1 – Projektentwicklung . . . . . 281

# Glossar

**Behaglichkeitsbereich:** Der Behaglichkeitsbereich ist jener Bereich, in dem sich der Mensch – trotz seiner Fähigkeit sich wechselnden äußeren Luftzuständen anzupassen (Akklimation) – am wohlsten fühlt. (ÖNORM EN 15251:2007; Recknagel et al., 2007)

**Endenergiebedarf:** Der Endenergiebedarf „ist jener Energiebedarf (ermittelt an der Systemgrenze des betrachteten Gebäudes), der dem Heizsystem und allen anderen energie-technischen Systemen zugeführt werden muss, um Heizwärmebedarf, Kühlbedarf und die erforderlichen Komfortanforderungen an Warmwasserbereitung, Beleuchtung und Befeuchtung decken zu können“ (ÖNORM H 5057:2010).

**Enthalpie:** Die „Enthalpie ist eine kalorische Zustandsgröße“, deren „Verwendung (...) bei offenen (stoffdurchlässigen) Systemen vorteilhaft“ ist (Recknagel et al., 2007). Sie wird auch als Wärmeinhalt bezeichnet und bezeichnet die Energie eines thermodynamischen Systems.

**Leitwert:** Als Leitwert wird in der Wärmebedarfsberechnung der „Quotient aus Wärmestrom und Temperaturdifferenz zwischen dem Inneren der Gebäudehülle und außen“ (ÖNORM B 8110-6:2010) bezeichnet. Es gibt Leitwerte für Transmissions-, Lüftungs- und Infiltrationswärmeverluste, die angeben, wie hoch der Wärmestrom je Kelvin Temperaturdifferenz ist.

**Luftförderungsenergiebedarf:** Der Luftförderungsenergiebedarf „ist der Endenergiebedarf für die Luftförderung. Diese Energiemenge muss den Ventilatoren im Zu- und Abluftvolumenstrom zugeführt werden, um den erforderlichen Luftvolumenstrom transportieren zu können.“ (ÖNORM H 5057:2010)

**Lüftungsanlage, mechanische:** „Gerätekombination aus mechanischen Komponenten (z.B. Kombinationen von Luftbehandlungsgeräten, Leitungen und Luftdurchlasselementen), die dafür konstruiert und ausgelegt ist, Innenräume mit Außenluft zu versorgen und verunreinigte Raumluft abzuführen.“ (ÖNORM EN 15251:2007)

**Kühlsystem, statisches:** „Anlagen, die nicht Bestandteil der RLT-Anlage sind. Derartige Anlagen sind zusätzlich oder anstelle einer zentralen Kühlung über der RLT-Anlage installiert.“ (ÖNORM H 5058:2010)

**Nutzenergiebedarf:** „An der Systemgrenze des betrachteten konditionierten Raumes ermittelter Energiebedarf, der sich ergibt, wenn das Gebäude mit dem im Nutzungsprofil festgelegten Vorgaben konditioniert wird. Der Nutzenergiebedarf besteht aus Heizwärmebedarf, Kühlbedarf sowie den Anforderungen an Warmwasserbereitung, Beleuchtung und Feuchtegrad der Raumluft.“ (ÖNORM H 5058:2010)

**Nutzenergiebedarf zur Konditionierung des Luftvolumenstroms:** Der Nutzenergiebedarf zur Konditionierung des Luftvolumenstroms „muss in der RLT-Anlage dem Zuluftvolumenstrom zugeführt werden, um die gewünschte Konditionierung von Außenluftzustand

auf Zuluftzustand vornehmen zu können. (...) [Er] ist somit jener Anteil des Nutzenergiebedarfs der konditionierten Gebäudezone, der über die raumluftechnische Anlage eingebracht bzw. abgedeckt wird.“ (ÖNORM H 5057:2010)

**Primärenergiebedarf:** Bedarf „an Energie, die keinerlei Umformungs- oder Umwandlungsprozessen unterlegen hat [sic!]. [...] Primärenergie schließt nicht erneuerbare und erneuerbare Energie ein. Werden beide Energiearten berücksichtigt, kann die Benennung Gesamt-Primärenergie verwendet werden. [...] Bei einem Gebäude handelt es sich hierbei um die Energie, die verbraucht wird, um die an das Gebäude abgegebene Energie zu erzeugen. Sie wird unter Anwendung von Umrechnungsfaktoren aus den Anteilen der Energieträger an jeweils Endenergie und exportierter Energie berechnet.“ (ÖNORM EN 15603:2008)

**raumluftechnische Anlage:** Bei Einsatz raumluftechnischer Anlagen erfolgt die Lastabfuhr aus Räumen mithilfe von maschineller Lüftung. Es werden nur die stofflichen und energetischen Zustandsgrößen der Luft beeinflusst, die Wirkung ist demzufolge ausschließliche konvektiv. (Fitzner, 2008)

**Rückfeuchtzahl:** Die Rückfeuchtzahl „ist das Verhältnis der absoluten Luftfeuchten eines Wärme- und Feuchterückgewinnungssystems“ (ÖNORM H 5057:2010) .

**Rückwärmzahl:** Die Rückwärmzahl „ist das Verhältnis der Lufttemperaturen eines Wärmerückgewinnungssystems“ (ÖNORM H 5057:2010) .

**spezifischer Energiekennwert:** Spezifische Energiekennwerte beschreiben im Zusammenhang mit dem Nutzenergiebedarf zur Konditionierung des Luftvolumenstroms jene Energiemenge, die einem Luftvolumenstrom von  $1 \text{ m}^3/\text{h}$  in einem Zeitschritt zugeführt werden muss, um den geforderten Zuluftzustand gewährleisten zu können.

**Teilklimaanlage:** Teilklimaanlagen sind mechanische Lüftungsanlagen mit aktiver Konditionierung des Zuluftvolumenstroms. Sie verfügen über mindestens eine, jedoch weniger als vier der thermodynamischen Grundfunktionen. (ÖNORM H 5057:2010)

**thermodynamische Grundfunktionen:** Die Luftbehandlung in RLT-Anlagen kann in den thermodynamischen Grundfunktionen Heizen, Kühlen, Befeuchten und Entfeuchten erfolgen.

**Vollklimaanlage:** Vollklimaanlagen sind mechanische Lüftungsanlagen mit aktiver Konditionierung des Zuluftvolumenstroms. Sie verfügen über alle vier thermodynamischen Grundfunktionen.

**Zustandsgrößen der Luft, energetische:** Temperatur, Druck und Geschwindigkeit sind die durch eine raumluftechnische Anlage beeinflussbaren energetischen Zustandsgrößen der Luft. (Fitzner, 2008)

**Zustandsgrößen der Luft, stoffliche:** Feuchte und Schadstoffbeladung sind die durch eine raumluftechnische Anlage beeinflussbaren stofflichen Zustandsgrößen der Luft. (Fitzner, 2008)

# Abkürzungsverzeichnis

AB	Abluft
ASHRAE	American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (engl.)
AKM	Absorptionskältemaschine
AU	Außenluft
BEF	Luftbefeuchter
BefEB	Befeuchtungsenergiebedarf (Endenergiebedarf für Befeuchtung)
BelEB	Beleuchtungsenergiebedarf (Endenergiebedarf für Beleuchtung)
BO	Boden bzw. Erdreich
CEN	Comité Européen de Normalisation (franz.), Europäisches Komitee für Normung
DK	Drosselklappe
EEB	Endenergiebedarf
EN	Europäische Norm
EnEV	Energieeinsparverordnung
EPBD	Energy Performance of Buildings Directive (engl.) (Richtlinie über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden)
EWT	Erdreichwärmetauscher
EU	Europäische Union
FI	Luftfilter
FL	Fensterlüftung
FNA	Fachnormenausschuss
FO	Fortluft
FRG	Feuchterückgewinnung
HEB	Heizenergiebedarf (Endenergiebedarf für Heizen)
HSKM	halbsynthetisches Klimadaten-Modell
HWB	Heizwärmebedarf
HRLYM	hourly method (engl.), stundenweise Berechnungsmethode
ISO	International Organization for Standardization (engl.), Internationale Organisation für Normung
KB	Kühlbedarf
KEB	Kühlenergiebedarf (Endenergiebedarf für Kühlen)
KKM	Kompressionskältemaschine
KVS	konstanter Volumenstrom
LE	Lufterneuerung
LENI	Beleuchtungsenergiebedarf
LFEB	Luftförderungsenergiebedarf
LKU	Luftkühler
LNH	Luftnacherhitzer
LVH	Luftvorerhitzer
MK	Mischkammer

MTLYM	monthly method (engl.), monatsweise Berechnungsmethode
OIB	Österreichisches Institut für Bautechnik
ON	Österreichisches Normungsinstitut
ON-K	Normungskomitee des Österreichischen Normungsinstituts
PB	prozessbedingt
PMV	predicted mean vote (engl.), vorhergesagtes mittleres Votum
PPD	percentage of people dissatisfied (engl.), Anteil Unzufriedener
RA	Raumluft
R5C1	five resistances, one capacity (engl.), fünf Widerstände, eine Kapazität
R6C1	six resistances, one capacity (engl.), sechs Widerstände, eine Kapazität
RLT	raumlufttechnisch
SIA	Schweizerischer Ingenieur und Architektenverein, Normenherausgeber Schweiz
SEK	spezifische Energiekennwerte
SFP	specific fan power (engl.), spezifischer Ventilator-Leistungsbedarf
TABS	thermoaktive Bauteilsysteme
TR	Technische Richtlinie
TRNSYS	transient systems simulation (engl.), instationäre Systemsimulation
TRY	Testreferenceyear (engl.), Testreferenzjahr
VBA	Visual Basic for Applications (engl.)
VDI	Verband deutscher Ingenieure
VENT	Ventilator
VHR	Vorheizregister
VVS	variabler Volumenstrom
WKM	Wärme-Kapazitäten-Modell
WRG	Wärmerückgewinnung
ZU	Zuluft
bzw.	beziehungsweise
ca.	circa
etc.	et cetera
usw.	und so weiter

# Symbolverzeichnis

$A$	Fläche	[m <sup>2</sup> ]
$A$	Schwingungsamplitude	[-]
$a$	Anzahl	[Stk.]
$c_p$	spezifische Wärmekapazität	[kJ/(kg·K)]
$h$	Enthalpie	[kJ/kg]
$d$	Durchmesser	[m]
$EER$	Nennkälteleistungszahl von Kompressionskältemaschinen	[-]
$f$	Korrekturfaktor, Verhältniszahl	[-]
$g$	Korrekturgradient für Temperatur, Feuchte	[Wh/(m <sup>3</sup> /h·K)]
$G$	monatliche Gradstunden	[K·h/Mo]
$h$	Enthalpie der Luft	[kJ/kg]
$L$	Leitwert	[W/K]
$l$	flächenspezifischer Leitwert	[W/(m <sup>2</sup> ·K)]
$l$	Länge	[m]
$m$	Magnus-Parameter	[1/h]
$n$	Luftwechselzahl	[1/h]
$P$	Leistung	[W] oder [kW]
$P_{SFP}$	spezifische Ventilatorleistung	[W/(m <sup>3</sup> /h)]
$p$	Druck	[Pa] oder [mbar]
$PLV_{AV}$	Teillastfaktor	[-]
$Q$	Energiebedarf	[kWh]
$Q^*$	bereitzustellender Energiebedarf	[kWh]
$q$	spezifischer Energiebedarf	[Wh/m <sup>3</sup> ]
$q', q''$	spezifischer Nutzenergiebedarf zur Konditionierung für die nächst kleinere und die nächst größere Stützstelle von Rückwärmzahl und Rückfeuchtzahl	[Wh/m <sup>3</sup> ]
$R$	spezifische Gaskonstante	[kJ/kg·K]
$r_0$	Verdampfungswärme	[kJ/kg]
$rQ$	spezifische Ergebnisdifferenz des Nutzenergiebedarfs für Validierungsrechnungen gemäß ÖNORM EN 15265	[-]
$s$	Tiefe	[m]
$T$	zeitliche Verschiebung	[h]
$T_n$	Temperaturwert (Magnus-Parameter)	[K]
$t$	Zeit	[h]
$U$	Wärmedurchgangskoeffizient	[W/(m <sup>2</sup> ·K)]
$u$	Umluftanteil	[-]
$V$	Volumen	[m <sup>3</sup> ]
$v$	Luftvolumenstrom	[m <sup>3</sup> /h]
$v^*$	Strömungsgeschwindigkeit der Luft	[m/s]

$x$	absolute Feuchte der Luft	[g/kg] oder [kg/kg]
$y$	Schwingungsamplitude	[-]
$\alpha$	Wärmeübergangskoeffizient	[W/(m <sup>2</sup> · K)]
$\Delta$	Differenz	var.
$\eta$	Ausnutzungsgrad	[-]
$\lambda$	Wärmeleitfähigkeit	[W/(m <sup>2</sup> · K)]
$\lambda$	Reibungszahl	[-]
$\lambda^*$	Wärmeleitfähigkeit	[W/(m <sup>2</sup> · K)]
$\Phi$	Rückgewinnungszahl	[-]
$\varphi$	relative Luftfeuchtigkeit	[-]
$\pi$	Kreiszahl	
$\rho$	Dichte	[kg/m <sup>3</sup> ]
$\theta$	Temperatur	[°C]
$\chi$	flächenbezogene Wirksame Wärmekapazität	[J/(m <sup>2</sup> · K)]
$\zeta$	Nennwärmeverhältnis von Absorbtionskältemaschinen	[-]
	Druckverlustbeiwert von Einzelwiderständen	[-]

# Indexverzeichnis

a	außen
AB	Abluft
Abs	Absorption
ac	airconditioned (engl.), klimatisiert
AU	Außenluft
BEF	Luftbefeuchter
beh	beheizt
bel	Beleuchtung
Be	Befeuchtung
BF	Bezugsfläche
BO	Boden bzw. Erdreich
C	cooling (engl.), Kühlen (anlagenseitig)
c	cooling (engl.), Kühlen (raumseitig)
corr	Korrektur
D	Dampf
d	day (engl.), Tag
dir	direkt
DK	Drosselklappe
e	external (engl.), außen
eff	effektiv
el	elektrisch
EWT	Erdreichwärmetauscher
FL	Fensterlüftung
FO	Fortluft
FRG	Feuchterückgewinnung
g	gains (engl.), Gewinne
ges	gesamt
H	heating (engl.), Heizen (anlagenseitig)
h	heating (engl.), Heizen (raumseitig)
HC	heating/cooling (engl.), Heizen/Kühlen
HEB	Heizenergiebedarf
HT	Heiztechnik
HWB	Heizwärmebedarf
i	internal (engl.), innen
i, j	laufende Indizes
IN	Innenluft
INF	Infiltration
int	intern
JH	Jahr
KB	Kühlbedarf
kom	Kompression, kombiniert

kon	konventionelles Kühlsystem
konst	konstant
KVS	konstanter Volumenstrom
L	Luft, Lüftung
l	losses (engl.), Verluste
LE	Lufterneuerung
LENI	Beleuchtungsenergiebedarf
LF	Luftförderung
LH	Luftheizung
LKH	Luftkühler
LL	Luftleitung
LNH	Luftnacherhitzer
LVH	Luftvorerhitzer
m	mittel
max	maximal
mech	mechanische Lüftungsanlage
MK	Mischkammer
NL	Nachtlüftung
Nutz	Nutzung
o	Oberfläche
op	opak
p	Druck
PB	prozessbedingt
pump	Pumpen
RA	Raumluft
RLT	raumlufttechnisch
Rück	Rückkühlung
S	Sättigung
SFP	specific fan power (engl.), spezifische Ventilatorleistung
SM	Speichermasse
SO	Standort
Sol, sol	solar
St	steam (engl.), Befeuchten (anlagenseitig)
stat	statisches System
T	Transmission
tot	total
tr	transparent
TW	Trinkwarmwasser (anlagenseitig)
tw	Trinkwarmwasser (raumseitig)
un	uneingeschränkt
U,Vent	Umluftventilatoren
V	Ventilation
var	variabel
VENT	Ventilator
VHR	Vorheizregister
VVS	variabler Volumenstrom
WA	Wärmeabgabe
WRG	Wärmerückgewinnung
WS	Wärmespeicherung

WV Wärmeverteilung  
ZU Zuluft



# 1. Einleitung

## 1.1. Ausgangslage

Um der Forderung der EU-Richtlinie „Energy Performance of Buildings Directive (EPBD)“ nach einem Ausweis über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden nachzukommen (EPBD, 2003), war es für die Nationalstaaten erforderlich, Berechnungsalgorithmen für die Ermittlung der Energiekennzahlen festzulegen. In Österreich sind diese Berechnungsalgorithmen in den Normen der Reihe ÖNORM B 8110 „Wärmeschutz im Hochbau“ für die bauphysikalischen Berechnungen und den Normen ÖNORM H 5055 bis H 5059 über die „Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden“ für die haustechnischen Berechnungen definiert<sup>1</sup>.

Für die Bestimmung des Energiebedarfs von raumluftechnischen Anlagen ist die ÖNORM H 5057 „Raumluftechnik-Energiebedarf von Wohn- und Nichtwohngebäuden“ entscheidend. Diese Norm wurde erstmals im Jahr 2007 als Vornorm aufgelegt. In den darauf folgenden Jahren wurde eine Überarbeitung vorgenommen, woraufhin am 01.01.2010 die neue Auflage der Norm erschien.

In der ÖNORM H 5057 wird einerseits die Berechnung des „Nutzenergiebedarfs zur Konditionierung des Zuluftvolumenstroms“ und andererseits des „Luftförderungsenergiebedarfs“ für eine raumluftechnische Anlage (RLT-Anlage) erläutert. Der Nutzenergiebedarf zur Konditionierung des Zuluftvolumenstroms beschreibt, welche Energiemenge für Heizen, Kühlen, Be- und Entfeuchten an die RLT-Anlage geliefert werden muss, um die Konditionierung des Luftvolumenstrom vom Außenluftzustand auf den gewünschten Zuluftzustand zu erreichen. Der Luftförderungsenergiebedarf hingegen ist jene Menge an elektrischer Energie, mit der die Ventilatoren versorgt werden müssen, um einen ausreichenden Luftvolumenstrom in die Gebäudezone sicherzustellen.

## 1.2. Aufgabenstellung, Zielsetzung, Fragestellung

Aufgabenstellung dieser Dissertation war es, einen in sich geschlossenen Algorithmus zur Bewertung des Energiebedarfs von raumluftechnischen Anlagen zu entwickeln. Grundlage dafür waren die im OIB-Leitfaden der Version 2.5 (OIB-LF 2.5, 2006) und der Vornorm ÖNORM H 5057:2007 definierten Berechnungsmethoden. Diese sollten im Wesentlichen übernommen werden, lediglich Unklarheiten sollten eliminiert und die Methoden als Ganzes präzisiert werden. Als Randbedingung galt es, die Einbindung in die Algorithmen des restlichen Energieausweises bestmöglich sicherzustellen. Es sollten also einerseits Vorgaben aus den standardisierten Nutzungsprofilen der ÖNORM B 8110-5 und die Ergebnisse der bauphysikalischen Bewertung (Heizwärmebedarf, Kühlbedarf und Vorgaben für die Berechnung

---

<sup>1</sup>Sofern nicht anders angegeben, beziehen sich die Literaturverweise für Normen jeweils auf ihre mit Stand Oktober 2010 gültige Fassung (siehe auch Erscheinungsjahr im Literaturverzeichnis).

der Länge der Heiz- und Kühlperiode) aus ÖNORM B 8110-6 übernommen werden. Andererseits musste gewährleistet werden, dass die Ergebnisse der Energiebedarfsbewertung für die vorhandenen raumlufttechnischen Anlagen eindeutig an die ÖNORM H 5056 für das Heizungssystem beziehungsweise an die ÖNORM H 5058 für das Kühlsystem übergeben werden können.

Zusätzlich sollte für die Energiebedarfsbewertung der raumlufttechnischen Anlage eine alternative Berechnung in einem stundenweisen Verfahren entwickelt werden. Dadurch sollte eine Verbesserung der Berechnungsgenauigkeit im Vergleich zur monatsweisen Ermittlung der Energiekennzahlen erzielt werden. Die Fragestellung dabei lautete, ob durch den damit verbundenen zusätzlichen Aufwand bei Eingaben und Berechnung auch eine entsprechende Genauigkeitssteigerung im Ergebnis erzielbar sein würde.

### 1.3. Hypothese

Dazu wurde folgende Hypothese abgeleitet:

Eine wesentliche Voraussetzung für die Berechnung des Nutzenergiebedarfs zur Konditionierung des Zuluftvolumenstroms ist es, die relevanten beeinflussbaren Zustandsgrößen der verschiedenen Luftzustände möglichst genau zu kennen. Insbesondere Temperatur und Druck als energetische sowie Feuchte als stoffliche Zustandsgrößen der Luftzustände Außenluft, Zuluft in die Gebäudezone und Abluft aus der Gebäudezone sollten daher möglichst exakt vorliegen. In einer monatsweisen Berechnung können für die Bestimmung dieser Luftzustände zwangsweise nur Monatsmittelwerte herangezogen werden. Dadurch wird die Genauigkeit der Berechnung des Nutzenergiebedarfs der RLT-Anlage erheblich reduziert. Durch die Verwendung von stundenweisen Eingangsdaten für die Zustandsgrößen für Außenluft, Zuluft und Abluft sollte die Ergebnisqualität maßgeblich erhöht werden.

Um diese Hypothese überprüfen zu können, wird die ÖNORM EN 15265 herangezogen. Diese Norm gibt „Allgemeine Kriterien und Validierungsverfahren“ für die „Berechnung des Heiz- und Kühlenergieverbrauchs“ vor. Dazu werden für die Beurteilung von unterschiedlichen Berechnungsverfahren Validierungsprüfungen vorgegeben, deren Ergebnisse in die Stufen A ( $\leq 5\%$  Abweichung), B ( $\leq 10\%$  Abweichung) und C ( $\leq 15\%$  Abweichung) eingeordnet werden können. Die beschriebenen Validierungsprüfungen sind grundsätzlich nur auf stundenweise Berechnungen anzuwenden. Für das quasi-stationäre Monatsbilanzverfahren, das in ÖNORM EN ISO 13790 beschrieben und durch die Anwendung in ÖNORM B 8110-6 zur Grundlage für die Berechnungen des österreichischen Energieausweises wird, sind die Validierungsverfahren der ÖNORM EN 15265 daher eigentlich nicht zulässig. Nachdem jedoch keine tauglichen Verfahren für monatsweise Berechnungen vorhanden sind, wird für die Hypothesenprüfung trotzdem auf diese Norm zurückgegriffen. Dazu sind einige Adaptionen der Eingangsparameter erforderlich, um diese auf das Monatsbilanzverfahren anwenden zu können.

Basierend auf dieser Annahme wird die Hypothese aufgestellt, dass die Genauigkeit der Berechnung der Zustandsgrößen von Stufe C beim quasi-stationären Monatsbilanzverfahren ( $\leq 15\%$  Abweichung) auf Stufe A beim stundenweisen Verfahren ( $\leq 5\%$  Abweichung) verbessert werden kann. Mit derart verbesserten Eingangswerten für die Berechnung des Nutzenergiebedarfs für die Konditionierung des Zuluftvolumenstroms wird davon ausgegangen, dass die gesamte Genauigkeit der Berechnung jedenfalls in diesem Maße zunimmt.

## 1.4. Gliederung

Diese Dissertation ist in drei Teile unterteilt:

Teil I umfasst im Wesentlichen einen Literaturteil, in dem zuerst allgemeine Hintergründe und Methoden zur Bewertung der Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden dargestellt werden. Dazu wird erläutert, welche dieser Methoden Eingang in die internationale und nationale (österreichische) Normung gefunden haben und so Grundlage für die Erstellung des in der EPBD geforderten Ausweises über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden wurden.

Daran anschließend werden verschiedene Methoden dargestellt die grundsätzlich für die Berechnung des Energiebedarfs raumlufttechnischer Anlagen herangezogen werden können. Es werden Vor- und Nachteile der einzelnen Methoden erläutert und es wird aufgezeigt, in welchen Normenwerken sie Anwendung finden.

Ein Abschnitt beschäftigt sich mit den für die Berechnung des Energiebedarfs raumlufttechnischer Anlagen relevanten europäischen Normen, zu deren Übernahme in nationale Normen sich Österreich als CEN-Mitgliedsland im Rahmen der Geschäftsordnung des Europäischen Normungsinstituts verpflichtet hat. Bei der nächsten Überarbeitung der ÖNORM H 5057 müssen daher diese europäischen Normen Bestandteil der entsprechenden nationalen Regelwerke werden und demnach dürfen neu entwickelte Algorithmen keinesfalls im Widerspruch zu diesen stehen.

In Teil II der Arbeit wird die ÖNORM H 5057 im Detail beschrieben. Diese Beschreibung erfolgt anhand der einzelnen Kapitel der Ausgabe 2010-01-01 dieser Norm. Für jedes Kapitel wird dargestellt, welche Änderungen im Zuge der Überarbeitung auf Grundlage der vorliegenden Dissertation von Ausgabe 2007 zu Ausgabe 2010 vorgenommen wurden. In Einzelfällen wird dabei auch aufgezeigt, welcher weitere Änderungsbedarf bestehen würde. Dazu wird für den Nutzenergiebedarf zur Konditionierung des Zuluftvolumenstroms das neu im Rahmen dieser Dissertation entwickelte Modell zur standortspezifischen Berechnung der spezifischen Energiekennwerte beschrieben.

Abschließend erfolgt in Teil III „Zusammenfassung und Ausblick“ eine Zusammenfassung der auf Grundlage dieser Arbeit vorgenommenen Änderungen und der neu ausgearbeiteten Ergänzungs- und Überarbeitungsvorschläge. Es wird resümiert, inwiefern die eingangs aufgestellte Hypothese hinsichtlich der Verbesserung der Ergebnisgenauigkeit erreicht werden konnte und ein Ausblick gegeben, welche Aspekte der Berechnungen in ÖNORM H 5057 einer weiteren Überarbeitung unterzogen werden sollten.

Ergänzend zu diesen drei Teilen ist ein ausführlicher Anhang angefügt, der unter anderem den im Rahmen dieser Dissertation entstandenen Vorschlag für ein Beiblatt zur ÖNORM H 5057 zur standortspezifischen Berechnung der spezifischen Energiekennwerte enthält. Nachdem die Umsetzung der standortspezifischen Berechnung in Programm-Code (VBA für Microsoft Excel) einen wesentlichen Bestandteil der Entwicklung darstellt, wird dieser ebenfalls abgebildet.

Weiters wird im Anhang erläutert, welche Änderungen im Zuge der Normenüberarbeitung in der ÖNORM H 5058 „Kühltechnik-Energiebedarf“ vorgenommen wurden, die ein Nebenprodukt der Arbeit an dieser Dissertation gewesen sind. Auch der in diesem Zusammenhang initiierte Validierungsprozess für die Normen ÖNORM H 5057 und ÖNORM H 5058, der jeweils in Validierungs-Beiblättern zu diesen Normen endete, wird kurz beschrieben.

Parallel zur dargestellten Normungsarbeit wurden in Zusammenhang mit dieser Dissertation zahlreiche andere Projekte bearbeitet, die in starker Wechselwirkung mit der Normenarbeit selbst standen. Deshalb werden auch diese Projekte kurz erläutert.

**Teil I.**

**Hintergrund**



## 2. Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden

### 2.1. Entwicklung

Seit Mitte der 1980er-Jahre gibt es in Österreich Bestrebungen, eine Bewertung der Energieeffizienz von Gebäuden zu etablieren. Eine derartige Bewertung war insbesondere für die Vergabe von Wohnbauförderungsmitteln von Interesse. Nachdem in Österreich sowohl Baugesetzgebung als auch Wohnbauförderung Ländersache – und damit dem unmittelbaren Einfluss des Bundes entzogen – sind, entwickelten sich in den einzelnen Bundesländern verschiedene Methoden, wie die Energieeffizienz jeweils zu berechnen war. All diese Methoden wiesen im Vergleich zueinander gewisse Vor- aber auch Nachteile auf.

Die Einführung der EU-Gebäuderichtlinie EPBD wurde Anfang des neuen Jahrtausends mit zum Anlass genommen, die neun verschiedenen Baugesetze zu einer „harmonisierten“ Bauordnung zusammenzufassen. Mit der Vorbereitung dieser Harmonisierung wurde das Österreichische Institut für Bautechnik (OIB) beauftragt (Mikulits, 2009). Das OIB definierte zielorientierte und technische Anforderungen, die entsprechend der „wesentlichen Anforderungen“ der EU-Bauproduktenrichtlinie in sechs OIB-Richtlinien zusammengefasst wurden. Für die Energieeffizienz maßgeblich ist die Richtlinie 6 „Energieeinsparung und Wärmeschutz“, die unter anderem auch die grundsätzlichen Aspekte der Berechnungsalgorithmen für den Energieausweis enthält (OIB-RL 6, 2007) beziehungsweise auf relevante Dokumente verweist (OIB-LF 2.6, 2007; OIB-ERL zu RL 6, 2007).

Die EPBD selbst wurde unter anderem mit der Zielsetzung beschlossen, eine europaweit einheitliche Berechnungsmethode einzuführen, die grundsätzlich auf gemeinsamen technischen Regeln beruht, regional jedoch durchaus differenziert umgesetzt werden kann. Daher enthält bereits die EPBD Anforderungen an einen „allgemeinen Rahmen für eine Methode zur Berechnung der integrierten Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden“ (EPBD, 2003). Diese Anforderungen werden dadurch konkretisiert, dass die Mitgliedstaaten eine nationale oder regionale Berechnungsmethode anzuwenden haben, die sich auf einen im Anhang der Richtlinie definierten allgemeinen Rahmen stützt. Dieser allgemeine Rahmen umfasst einerseits Aspekte, die jedenfalls in einer entsprechenden Berechnungsmethode zu berücksichtigen sind, wie beispielsweise thermische Charakteristik des Gebäudes, Heizungsanlage und Warmwasserversorgung, Klimaanlage, Belüftung, Beleuchtung etc. Andererseits sind Aspekte genannt, deren positiver Einfluss – soweit relevant – berücksichtigt werden kann, wozu beispielsweise aktive Solarsysteme, Kraftwärmekopplung, Fernheizung, Fernkühlung und natürliche Beleuchtung zählen.

Als Reaktion auf die Forderung nach einer europaweit einheitlichen Berechnungsmethode wurde das Europäische Normungsinstitut CEN im Rahmen des Mandats M 343 von der Kommission beauftragt, einschlägige Normen zu diesem Zweck zu erstellen. Die Systematik dieser ausgearbeiteten EN-Normen wird in Abschnitt 2.5 beschrieben.

## 2.2. Zielsetzung

Die konkrete Zielsetzung – sowohl für die europaweit einheitliche Berechnungsmethode als auch deren regional differenzierte Umsetzung – ist durch die zentralen Anforderungen der EPBD vorgegeben (EPBD, 2003; van Dijk, 2007a):

- Definition von Mindestanforderungen an die Energieeffizienz von neuen und bestehenden Gebäuden
- Erstellung eines Ausweises über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden

Abgesehen von diesen zentralen Anforderungen soll – zumindest in Ansätzen – auch ein Vergleich von Gebäuden gleicher Nutzung auf europäischer Ebene vorgenommen werden können. Ein derartiger Vergleich war jedoch bereits von Anfang an nur eingeschränkt vorgesehen, da durch die differenzierte Umsetzung der Berechnungsmethoden auf nationaler und regionaler Ebene sehr unterschiedliche Verfahren und damit auch Ergebnisse zu erwarten waren. Unabhängig vom jeweiligen Verfahren sollte der Einsatz der Berechnungsalgorithmen für Planungsinstrumente ermöglicht werden, die bereits in der Vorprojektphase zum Einsatz kommen können, um eine Effizienzsteigerung der Gebäude bereits in frühen Planungsphasen zu erreichen. Dazu muss jedoch ein Abweichen von den Standardbedingungen hin zu spezifischen Einzelbedingungen ermöglicht werden (van Dijk, 2007a,b).

## 2.3. Modelle zur Berechnung des Energiebedarfs von Gebäuden<sup>1</sup>

Es existiert eine Vielzahl von Methoden zur Bewertung der Energieeffizienz von Gebäuden. In all diesen Modellen wird versucht, die Wärmeströme des Gebäudes zu erfassen und den Energiebedarf für Heizen und Kühlen abzubilden. Im Sinne einer analytischen Herangehensweise zur Lösung dieses Problems wird dazu das Gesamtsystem in verschiedene Teilsysteme zerlegt, wobei für das thermische Verhalten dieser Teilsysteme jeweils analytische Lösungen bekannt sind. Diese Teilsysteme werden dann wieder über analytische Modelle miteinander verbunden, sodass schließlich eine möglichst realitätsnahe Abbildung des Gesamtsystems zu erzielen ist. Die Teilsysteme mit bekannten analytischen Lösungen sind beispielsweise die instationäre Wärmeleitung, die Strömung von Luft im Raum und der Strahlungsaustausch zwischen Bauteilen. Diese Teilsysteme können durch die Fourier-Gleichung, die Navier-Stokes-Gleichungen und das Plancksche Gesetz gelöst werden. Häufig können jedoch auch die Teilsysteme – und insbesondere deren Verknüpfungen zum Gesamtsystem – nicht mehr analytisch gelöst werden, weswegen zur Lösung numerische Verfahren erforderlich werden (Brandemuehl et al., 1997; Kokogiannakis, 2008; Feist, 1994).

Ein Kriterium zur Unterscheidung verschiedener Modelle zur Berechnung des Energiebedarfs von Gebäuden ist jenes, wie die Verknüpfungen der Teilsysteme zum Gesamtsystem hergestellt werden. Diesbezüglich gibt es verschiedene Ansätze, die sich in ihrem Detaillierungsgrad unterscheiden. Insbesondere die Berücksichtigung der dynamischen Elemente im thermischen Verhalten eines Gebäudes ist dabei entscheidend für die Komplexität des Modells. Dies betrifft vor allem die Wärmespeicherung im Gebäude. Die wesentlichen Modelle zur Bestimmung der Wärmeströme in Gebäuden sind dabei die folgenden:

---

<sup>1</sup>Dieser Abschnitt wurde auszugsweise für den Artikel „Einflussparameter auf Heizwärmebedarf und Kühlbedarf von Gebäuden in verschiedenen Berechnungsmethoden von EN ISO 13790“ (Grazl-Michlmair et al., 2010b) übernommen.

- **Dynamische instationäre Modelle:**

Die Berücksichtigung der Speichermassen und somit des dynamischen Verhaltens erfolgt auf Grundlage der realen physikalischen Vorgänge. In Berechnungsschritten von einer Stunde oder kürzer werden Einzelwerte berechnet. Dabei stellt stets der Zustand am Ende des vorangegangenen Zeitschritts den Ausgangswert für den nächsten Zeitschritt dar (Gummerer et al., 2000; Klein et al., 2008).

- **Quasi-stationäre Modelle mit dynamischen Elementen:**

Diese Modelle basieren überwiegend auf Wärmebilanz-Methoden, bei denen die Wärmeverluste den Wärmeeinträgen gegenüber gestellt werden. Dabei wird die Wärmebilanz in Berechnungsschritten von Monaten oder Heiz- und Kühlperioden aufgestellt. Der Einfluss der Wärmespeicherung der betrachteten Gebäudezone wird anders als bei dynamischen Modellen durch die Einführung von Korrelationskoeffizienten erreicht. Ein solcher Korrelationskoeffizient kann beispielsweise ein dimensionsloser Ausnutzungsgrad der Einträge sein. Dieser Ausnutzungsgrad stellt den Kern der quasi-stationären Modelle dar und ist bestimmt durch das Wärmebilanzverhältnis — also das Verhältnis von Wärmeeinträgen zu Wärmeverlusten — und die wirksame Wärmespeicherkapazität der Gebäudezone (van Dijk et al., 2005; Kokogiannakis, 2008).

- **Stationäre Modelle:**

Maßgeblicher Einsatzbereich von stationären Modellen ist die Lastberechnung für Heizen und Kühlen zur Auslegung der Elemente der technischen Gebäudeausrüstung. Um über die stationäre Lastberechnung eine Abschätzung des Energiebedarfs vornehmen zu können, ist die Wärmespeicherung abermals über Korrelationskoeffizienten zu berücksichtigen, was beispielsweise über Heiz- oder Kühlgradtage geschehen kann (Brandemuehl et al., 1997; Gummerer et al., 2000).

## 2.4. Bewertungsebenen des Energiebedarfs von Gebäuden

Die Bewertung des Energiebedarfs von Gebäuden kann auf unterschiedlichen Bewertungsebenen vorgenommen werden. Auf jeder Bewertungsebene existieren verschiedene Zielgrößen, die im Zuge der Energiebedarfsberechnung erhoben werden können. Es sind verschiedene Festlegungen zu Bewertungsebenen vorhanden, allen gemeinsam ist jedoch die Unterteilung in Nutzenergie-, Endenergie- und Primärenergieebene (Kaltschmitt et al., 2007). Diese grundsätzliche Unterteilung der Energiebedarfsebenen liegt auch Abbildung 2.1 auf der nächsten Seite zugrunde<sup>2</sup>.

An dieser Stelle ist eine Beschreibung der Energiebedarfsebenen erforderlich, um in weiterer Folge die in den unterschiedlichen Normen verwendeten Begriffe eindeutig zuordnen zu können.

- **Nutzenergieebene:**

Der Nutzenergiebedarf eines Gebäudes oder eines Raumes ist jene Energiemenge, die zu- oder abgeführt werden muss, um den thermischen Komfort im behaglichen Bereich zu halten. Im Heizfall ist die zuzuführende Energiemenge der Heizwärmebedarf,

---

<sup>2</sup>In der Energietechnik wird üblicherweise der Energiefluss als Ordnungsprinzip herangezogen. Der Grundgedanke dieser Gliederung ist die Aneinanderreihung der Schritte entlang des Energieflusses um – als letzten Schritt – am Nutzungsort eine Dienstleistung erbringen zu können.

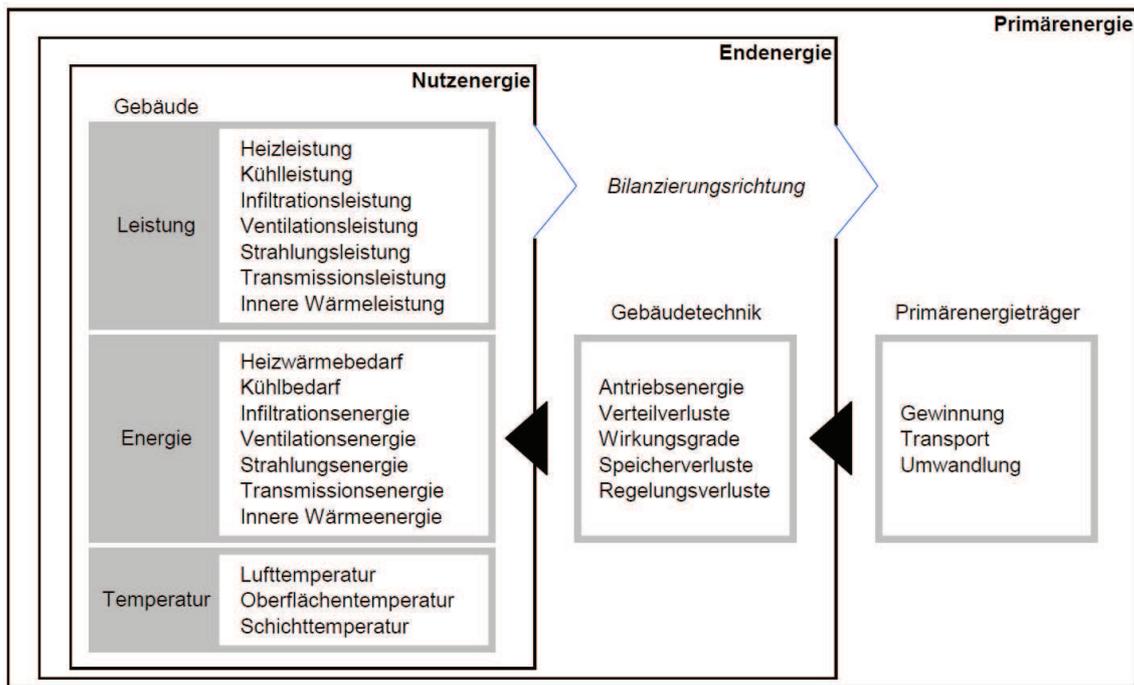


Abbildung 2.1.: Bewertungsebenen des thermischen Verhaltens von Gebäuden. (Bildquelle: Cresnik et al., 2008)

im Kühlfall die abzuführende Energiemenge der Kühlbedarf. Einflussgrößen auf den Nutzenergiebedarf eines Gebäudes oder Raumes sind durch Transmissions-, Lüftungs- und Infiltrationswärmegewinne oder -verluste hervorgerufene Wärmegewinne oder -verluste und durch solare und interne Wärmeeinträge verursachte Wärmegewinne. Die vorhandene Wärmespeicherkapazität im Raum bestimmt die Nutzbarkeit der Wärmeeinträge.

- **Endenergieebene:**

Ausgehend von der erforderlichen Nutzenergie wird berechnet, welche Energiemenge unter Berücksichtigung der Verluste der haustechnischen Systeme erforderlich ist, um den thermischen Komfort im Gebäude oder der Gebäudezone aufrecht zu erhalten. Insbesondere im anglo-amerikanischen Raum werden auf Endenergieebene zwei Teilbereiche unterschieden:

- Einerseits der Energiebedarf des „secondary equipment“, also der Nutzenergiebedarf inklusive der Verluste für Energieabgabe, -verteilung und -speicherung (Brandemuehl et al., 1997). Dieser „sekundäre Endenergiebedarf“ entspricht der durch das Bereitstellungssystem bereitgestellten Energiemenge, wobei auch die Hilfsenergie für Energieabgabe, -verteilung und -speicherung berücksichtigt wird.
- Der zweite Wert ist der Energiebedarf des „primary equipment“, was den Energiebedarf des Bereitstellungssystems beschreibt (Brandemuehl et al., 1997). Dieser Wert entspricht dem im deutschen Sprachraum gängigen „Endenergiebedarf“ beziehungsweise der „delivered energy“ gemäß den Bezeichnungen der CEN/TR 15615:2008.

Diese Aufteilung gemäß ASHRAE (Brandemuehl et al., 1997) erscheint in Bezug auf die Berechnungsmodelle als sinnvoll und ist auch in den europäischen Normen so ab-

gebildet. Eine Unterscheidung der Bedarfswerte wird jedoch im deutschen Sprachraum und demgemäß auch in dieser Dissertation nicht vorgenommen, als „Endenergiebedarf“ wird ausschließlich der Energiebedarf an der Bilanzgrenze Gebäude – aufgeteilt auf verschiedene Energieträger – bezeichnet.

- **Primärenergieebene:**

Durch die Berücksichtigung von Umwandlungs- und Verteilverlusten, Eigenverbrauch und nicht energetischem Verbrauch der verschiedenen Endenergieträger außerhalb der Bilanzgrenze Gebäude kann schließlich der Primärenergiebedarf berechnet werden. Kaltschmitt et al. (2007) unterteilen ausgehend vom Endenergiebedarf in Sekundär- und Primärenergiebedarf, wobei der Sekundärenergiebedarf einen Umwandschritt von Primär- auf Sekundärenergieträger enthält. Sekundärenergieträger sind demnach aufbereitete Formen von Primärenergieträgern, also beispielsweise elektrischer Strom, Heizöl, Pellets oder Nah- und Fernwärme.

## 2.5. Umsetzung in der europäischen Normung

Die Europäischen Kommission erteilte dem Europäischen Normungsinstitut CEN das Mandat M343, um die Forderungen der EPBD nach einer einheitlichen Berechnungsmethode zu erfüllen. Die im Rahmen dieses Mandats entstandenen Normen sollten den Mitgliedsstaaten als Unterstützung bei der nationalen Umsetzung der Gebäuderichtlinie dienen (Hogeling und van Dijk, 2007).

Um eine komplexe Materie wie die Berechnung des Gesamtenergiebedarfs eines Gebäudes normativ darstellen zu können, ist eine Vielzahl unterschiedlicher Normen mit verschiedenen Zielbereichen erforderlich (Hogeling und van Dijk, 2008). Das im Rahmen des Mandats M343 entwickelte Regelwerk wurde aus diesem Grund in unterschiedliche Bereiche eingeteilt, die sich an der Struktur der Energiebedarfsberechnung auf den drei bereits beschriebenen Ebenen orientiert (CEN/TR 15615:2008):

- Berechnung des Nutzenergiebedarfs
- Berechnung des Endenergiebedarfs
- Berechnung des Gesamtenergiebedarfs (Primärenergie, CO<sub>2</sub>)

Aus dieser Struktur ergibt sich eine Unterteilung der relevanten Normen in fünf verschiedene Bereiche (CEN/TR 15615:2008):

- Bereich 1: Normen zur Berechnung des Gesamtenergiebedarfs
- Bereich 2: Normen zur Berechnung des Endenergiebedarfs
- Bereich 3: Normen zur Berechnung des Nutzenergiebedarfs
- Bereich 4: unterstützende Normen für die Berechnung des Nutzenergiebedarfs
- Bereich 5: Normen für Monitoring und Überprüfung

Die Normen der Bereiche 1 bis 4 lassen sich entsprechend der jeweiligen Einsatzbereiche sehr gut den in Abbildung 2.2 auf der nächsten Seite dargestellten Energieströme in Gebäuden zuordnen. Normen des Bereichs 5 können hier nicht zugeordnet werden, da es sich dabei um Verfahrensnormen für Vorgänge handelt, die in dieser Abbildung nicht dargestellt sind.

Sämtliche Normen geben einen groben Rahmen vor, wie das jeweilige Teilgebiet normativ dargestellt werden kann, im Detail sind jedoch keine ausreichenden Angaben vorhanden, um eine vollständige Berechnung vornehmen zu können. So soll erreicht werden, dass die grundsätzlichen Berechnungsalgorithmen in den europaweit gültigen EN-Normen festgelegt sind, die national und regional verschiedenen Eingangsparameter jedoch auch national auch regional geregelt werden können. Es sollen nationale Anwendungsdokumente zu den EN-Normen entstehen, in denen diese Eingangsparameter definiert werden.

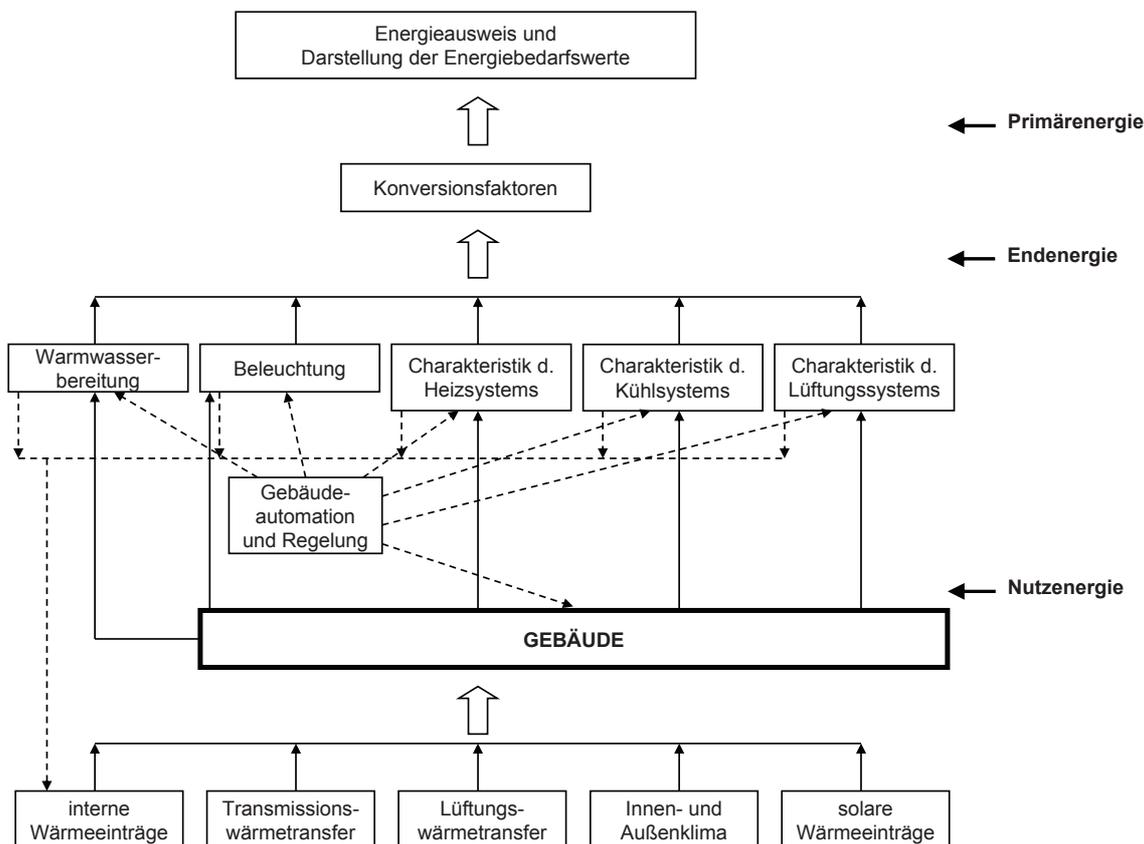


Abbildung 2.2.: Darstellung der Verknüpfung der Energieströme in Gebäuden. (eigene Darstellung nach CEN/TR 15615:2008)

### 2.5.1. Berechnung des Nutzenergiebedarfs

Von zentraler Bedeutung für die gesamte Energiebedarfsberechnung sind die Berechnungen auf Nutzenergiebedarfsebene, welche die Grundlage aller weiteren Berechnungen darstellt. Die Norm, in der die wesentlichen Aspekte dazu festgehalten sind, ist die ÖNORM EN ISO 13790 zur „Berechnung des Energiebedarfs für Heizung und Kühlung“. Die Systematik der Berechnungen in dieser Norm ist in Abbildung 2.3 auf der nächsten Seite festgehalten, die eine schematische Darstellung der Berechnung von drei Zonen zeigt.

Auch in dieser Norm werden – dem beschriebenen Prinzip der EN-Normen folgend – die grundsätzlichen Berechnungsalgorithmen für die Ermittlung des Nutzenergiebedarfs für Hei-

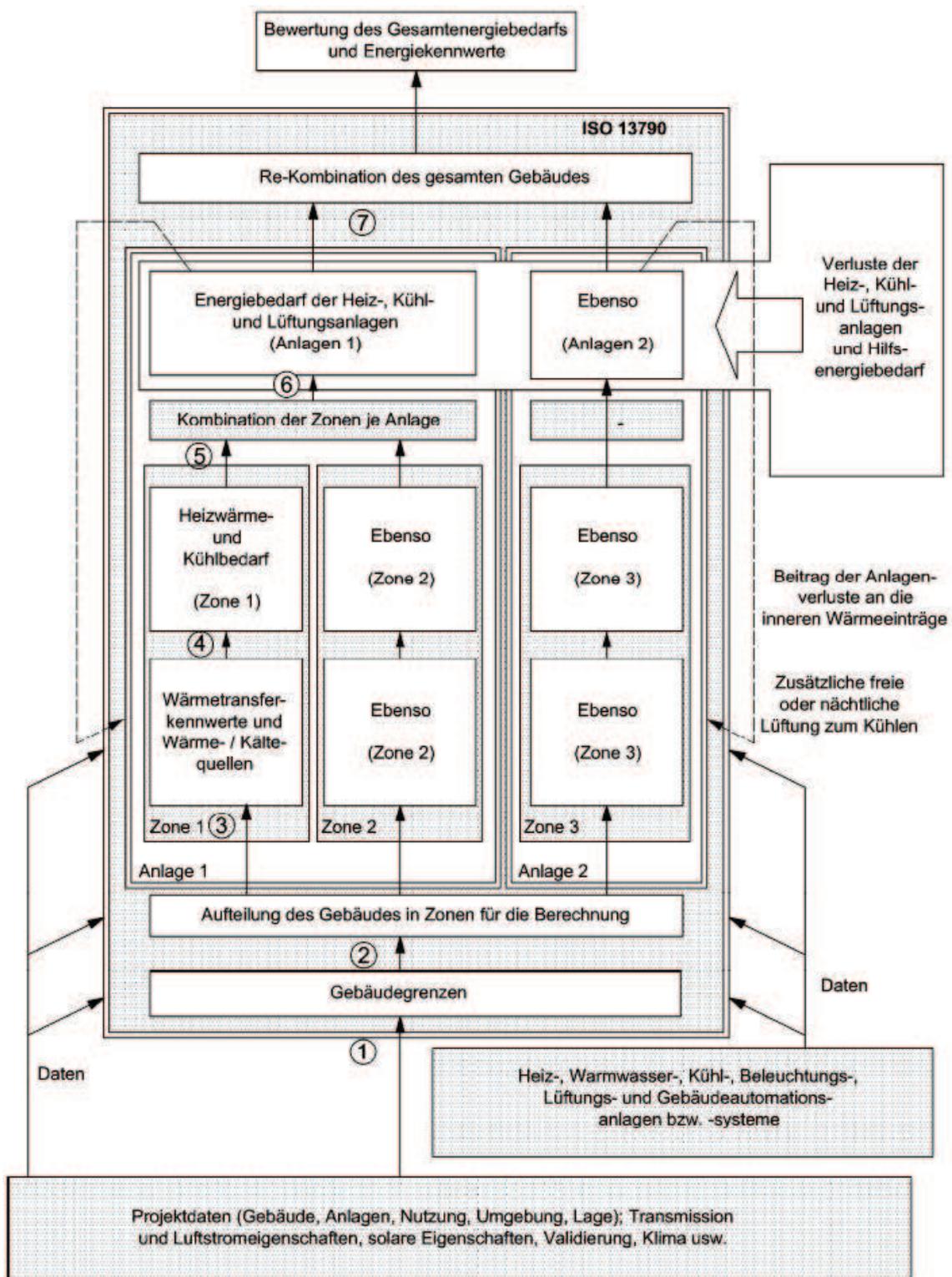


Abbildung 2.3.: Flussdiagramm der Hauptschritte bei der Berechnung des Nutzenergiebedarfs in ÖNORM EN ISO 13790. (Bildquelle: ÖNORM EN ISO 13790:2008)

zen und Kühlen vollständig beschrieben, die erforderlichen Eingangsparameter sind jedoch nicht festgelegt. Zur Annahme von Klimadaten, solarer Einstrahlung, internen Lasten etc. sind auch in keiner anderen relevanten EN-Norm Angaben enthalten.

Zur Berechnung des Heizwärmebedarfs und des Kühlbedarfs werden in der ÖNORM EN ISO 13790 drei unterschiedliche Verfahren zugelassen, die gleichberechtigt eingesetzt werden können:

- **Monatsverfahren und Heiz-/Kühlperiodenverfahren:** Sowohl das Monatsverfahren als auch das Heiz-/Kühlperiodenverfahren entspricht einem quasi-stationären Modell mit dynamischen Elementen, dessen maßgebliche Algorithmen in der Norm vollständig beschrieben sind.
- **vereinfachtes Stundenverfahren:** Auch das vereinfachte Stundenverfahren wird in der Norm vollständig beschrieben. Es basiert auf einem Knotenmodell mit fünf Widerständen und einer Kapazität (R5C1-Modell), mithilfe dessen eine vereinfachte Simulation in Stundenschritten vorgenommen werden kann. Dieses Modell ist vergleichsweise einfach um zusätzliche Elemente erweiterbar, deren Algorithmen in nationalen Normen definiert werden können (Ménard, 2005; Mijakowski et al., 2009).
- **ausführliche dynamische Simulation:** Auch ausführliche dynamische Gebäudesimulationen werden als Berechnungsverfahren zugelassen. Es wird keine Einschränkung hinsichtlich der zu verwendenden Simulationsmodelle vorgenommen, es müssen lediglich gewisse normativ festgelegte Validierungsprüfungen eingehalten werden. Dies ist insbesondere dann von Bedeutung, wenn eine Überprüfung der Einhaltung nationaler oder regionaler Bauvorschriften stattfinden muss.

Abgesehen von den drei genannten Verfahren für die Berechnung von Heizwärmebedarf und Kühlbedarf wird für das Monatsverfahren und das Heiz-/Kühlperiodenverfahren eine Berechnung der Länge der Heiz- und der Kühlperiode vorgegeben, um den Ein- und Ausschaltzeitpunkt von Heiz- und Kühlanlagen bestimmen zu können. Zusätzlich wird geregelt, wie die Wechselbeziehungen zwischen Gebäude und Anlage zu behandeln sind. Diese Wechselwirkungen betreffen beispielsweise Wärmerückgewinnungssysteme in Lüftungsanlagen oder den Einfluss von Verteilverlusten von Raumheizung und Warmwasser auf die Wärmebilanz der Gebäudezone.

## 2.5.2. Berechnung des Endenergiebedarfs

Die Ergebnisse der Berechnungen auf Nutzenergieebene stellen die Eingangsgrößen für die Berechnung des Endenergiebedarfs dar. Wie in Abbildung 2.4 auf Seite 16 dargestellt, ist der Nutzenergiebedarf für Heizen und Kühlen gemäß ÖNORM EN ISO 13790 eine der maßgeblichen Eingangsgrößen. Es besteht jedoch ein Wechselspiel zwischen den Berechnungen auf Nutzenergie- und Endenergieebene, da das Verhalten des Gebäudes und damit dessen Nutzenergiebedarf für Heizen und Kühlen unter anderem auch von der installierten technischen Gebäudeausrüstung abhängig ist. So stellen die Wärmeverluste der haustechnischen Systeme in einer konditionierten Gebäudezone Wärmegewinne für diese Zone dar, die den Heizwärmebedarf reduzieren und den Kühlbedarf erhöhen (im Folgenden dargestellt anhand des Heizwärmebedarfs):

- Der Heizwärmebedarf stellt die Eingangsgröße für die Berechnung des Endenergiebedarfs für Heizen (Heizenergiebedarf) dar.

- Die Wärmeverluste des Heizungssystems sind mitunter davon abhängig, wie hoch die bereitzustellende Nutzenergie (Heizwärmebedarf) in der Gebäudezone ist. Ein geringerer Heizwärmebedarf bedeutet geringere Abgabe-, Verteil-, Speicher- und Bereitstellungsverluste, die auch in der zu konditionierenden Zone auftreten.
- Durch die zusätzlichen Wärmegewinne in der Gebäudezone – verursacht durch die Verluste der haustechnischen Systeme – verringert sich der Heizwärmebedarf.
- Der geringere Heizwärmebedarf führt zu geringeren Verlusten des Heizungssystems, wodurch sich in weiterer Folge auch der Heizwärmebedarf wieder geringfügig erhöht.

Diese Wechselwirkung sollte grundsätzlich in den Berechnungsalgorithmen berücksichtigt werden. Dies bedeutet jedoch, dass eine Interpolation erforderlich ist, die insbesondere bei den einfachen quasi-stationären Verfahren einen beträchtlichen zusätzlichen Rechenaufwand verursacht. Daher unterscheidet die ÖNORM EN 15603 zwischen einem „ganzheitlichen Ansatz“ und einem „vereinfachten Ansatz“:

- ganzheitlicher Ansatz: Die Berechnung von Nutzenergiebedarf und Endenergiebedarf ist entweder so oft zu wiederholen, bis die Änderungen des Energiebedarfs zwischen zwei Iterationen einen festgelegten Grenzwert unterschreiten oder es ist nach einer festgelegten Anzahl von Iterationen zu stoppen.
- vereinfachter Ansatz: Zuerst wird die Berechnung des Nutzenergiebedarfs unter Berücksichtigung der bekannten Eingangsgrößen der technischen Gebäudeausrüstung (Luftwechselzahlen, Energiebedarf der Beleuchtung, etc.) vorgenommen. Die Ergebnisse dieser Berechnung sind Eingangsgrößen der Berechnungen auf Endenergieebene, wobei die rückgewinnbaren Wärmeverluste der technischen Gebäudeausrüstung zu einer Reduktion des Endenergiebedarfs führen. Dadurch wird eine Iteration vermieden.

Neben dem Einfluss der Berechnungen auf Nutzenergieebene auf die Systeme der technischen Gebäudeausrüstung ist in Abbildung 2.4 auf der nächsten Seite auch dargestellt, welche Normen beziehungsweise Normenreihen für die Berechnung des Endenergiebedarfs von zentraler Bedeutung sind.

### 2.5.3. Berechnung des Gesamtenergiebedarfs

Die Berechnung des Gesamtenergiebedarfs erfolgt auf Grundlage der ÖNORM EN 15603. In dieser Norm sind die übergeordneten Kriterien festgelegt, um das Zusammenfassen der auf Nutzenergie- und Endenergieebene vorgenommenen Berechnungen zu einem Gesamtwert vornehmen zu können. Dabei wird neben der Berechnung von Energiebedarfskennwerten auch eine Variante zur Ermittlung von Energieverbrauchskennwerten beschrieben. Wesentlicher Aspekt ist jedoch die Beschreibung der Berechnung von gewichteten Energiekennwerten, um eine Bewertung des Gesamtenergiebedarfs erst zu ermöglichen. Dazu werden neben Primärenergie-Kennwerten, Kohlendioxid-Kennwerten auch politische Energiekennwerte<sup>3</sup> beschrieben. Es wird festgelegt, welche Kriterien bei der Berechnung von gewichteten Energiekennwerten gemäß nationaler Regelungen jedenfalls zu berücksichtigen sind und welche Kriterien zusätzlich berücksichtigt werden können.

---

<sup>3</sup>Politische Energiekennwerte können gemäß ÖNORM EN 15603 angewendet werden, um Einfluss auf die Bürger zu nehmen, wodurch jedoch einige Energieträger gefördert oder benachteiligt werden können.

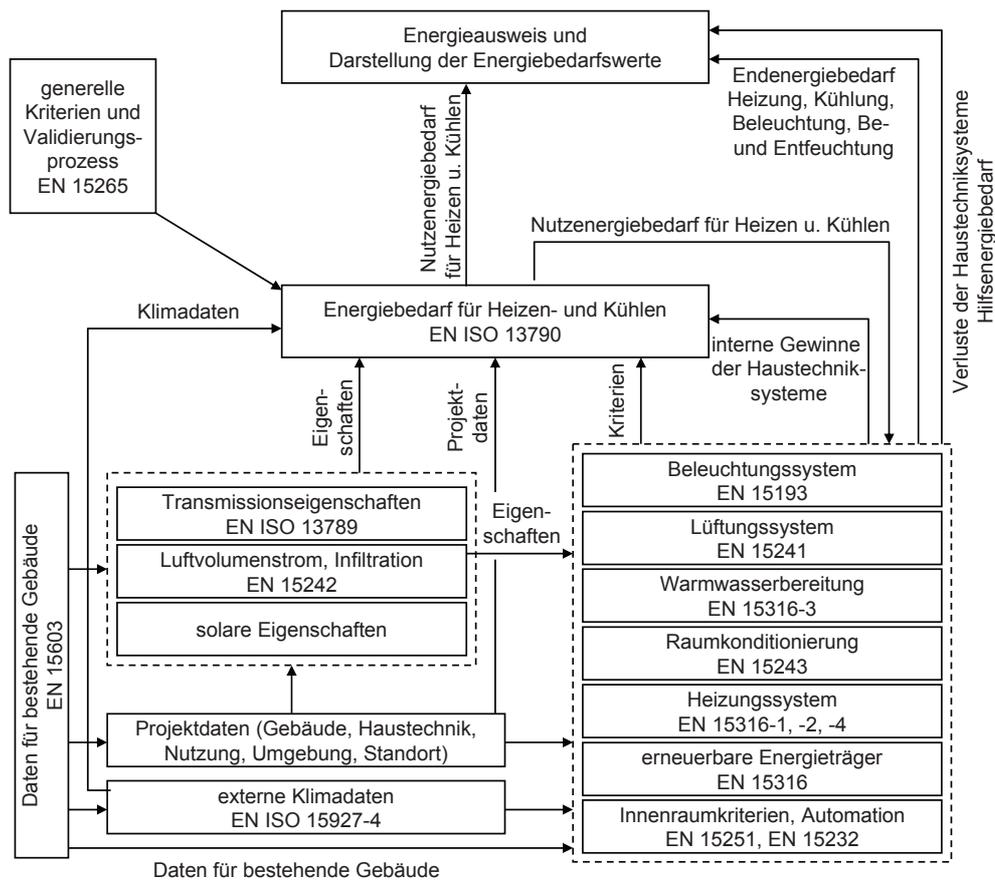


Abbildung 2.4.: Zusammenhang der Normen des Mandats M 343 auf Nutzenergie-, Endenergie- und Primärenergieebene für die Beurteilung von Gebäuden (eigene Darstellung nach CEN/TR 15615:2008)

Diese Festlegungen von Mindeststandards sind von wesentlicher Bedeutung, da die Kennwerte der Gesamtenergieeffizienz der einzelnen Nationalstaaten an die Europäische Kommission berichtet und in weiterer Folge auch miteinander verglichen werden sollen. Für die gewichteten Energiekennwerte sind in der ÖNORM EN 15603 Vorschlagswerte angegeben, die von den Nationalstaaten in Ermangelung eigener Werte verwendet werden sollen<sup>4</sup>.

Die dargestellte Struktur der CEN-Normen des Mandats M 343 bildet auch die Grundlage für das entsprechende österreichische Normenwerk, das im folgenden Abschnitt erläutert wird.

<sup>4</sup>Das Festlegen von gewichteten Energiekennwerten ist politisch meist hoch brisant, da einzelne Energieträger bevorzugt oder benachteiligt werden, wenn Anforderungen an die so errechneten Kennwerte der Gesamtenergieeffizienz gestellt werden. Zusätzlich wollen die Nationalstaaten als Resultat der Berichtspflicht keine zu ungünstigen Gewichtungsfaktoren für den jeweils vorhandenen Energieträgermix definieren, da dadurch deren Energiepolitik von Seiten der EU gerügt werden könnte.

## 2.6. Umsetzung in der österreichischen Normung

Im Zuge der Umsetzung der Gebäuderichtlinie in Österreich wurde verhältnismäßig schnell klar, dass die CEN-Normen nicht zeitgerecht fertig werden würden, um eine fristgerechte Einführung des Energieausweises und damit die vollständige Umsetzung der EPBD zu gewährleisten. Aus diesem Grund wurden die Berechnungsalgorithmen zur Ermittlung von Energiekennzahlen für den Energieausweis vollständig in nationalen Normen geregelt. Dabei wurden die zu diesem Zeitpunkt ebenfalls in Entstehung befindlichen CEN-Normen des Mandats M343 als Grundlage für die eingesetzten Berechnungsverfahren herangezogen (Wagmeister, 2009; Moarefi, 2009).

Die entsprechenden Normen wurden von den beiden Komitees ON-K 175 „Wärmeschutz von Gebäuden“ (Normenserie ÖNORM B 8110) und ON-K 235 „Wirtschaftlicher Energieeinsatz in Gebäuden“ (Normenserie ÖNORM H 5055 bis ÖNORM H 5059) des österreichischen Normungsinstituts ON ausgearbeitet. Analog zur Systematik der CEN-Normen wurden auch die österreichischen Normen in die Bereiche der prCEN/TR 15615 eingegliedert. Die folgende Auflistung zeigt die Zuordnung der österreichischen Energieausweis-Normen zu den einzelnen Bereichen (Beiblätter zu den Hauptnormen sind nicht angeführt):

- Bereich 1: Normen zur Berechnung des Gesamtenergiebedarfs
  - ÖNORM B 8110-1: Anforderungen an den Wärmeschutz und Deklaration des Wärmeschutzes von Gebäuden/Gebäudeteilen – Heizwärmebedarf und Kühlbedarf
  - ÖNORM H 5055: Energieausweis für Gebäude
- Bereich 2: Normen zur Berechnung des Endenergiebedarfs
  - ÖNORM H 5056: Heiztechnik-Energiebedarf
  - ÖNORM H 5057: Raumlufttechnik-Energiebedarf für Wohn- und Nichtwohngebäude
  - ÖNORM H 5058: Kühltechnik-Energiebedarf
  - ÖNORM H 5059: Beleuchtungsenergiebedarf
- Bereich 3: Normen zur Berechnung des Nutzenergiebedarfs
  - ÖNORM B 8110-3: Wärmespeicherung und Sonneneinflüsse
  - ÖNORM B 8110-6: Grundlagen und Nachweisverfahren – Heizwärmebedarf und Kühlbedarf
- Bereich 4: unterstützende Normen für die Berechnung des Nutzenergiebedarfs
  - ÖNORM B 8110-2: Wasserdampfdiffusion und Kondensationsschutz
  - ÖNORM B 8110-4: Betriebswirtschaftliche Optimierung des Wärmeschutzes
  - ÖNORM B 8110-5: Klimamodell und Nutzungsprofile
  - Normen des Bereichs 4A (Thermal performance of building components) gemäß prCEN/TR 15615
- Bereich 5: Normen für Monitoring und Überprüfung

### 2.6.1. Berechnung des Nutzenergiebedarfs

Analog zur ÖNORM EN ISO 13790 auf CEN-Ebene gibt es auch in Österreich eine Norm, in der die maßgeblichen Algorithmen zur Berechnung von Energiekennwerten auf Nutzenergieebene zusammengefasst werden: In der ÖNORM B 8110-6 ist die Ermittlung des Heizwärmebedarfs und des Kühlbedarfs definiert.

Diese Norm orientiert sich sehr stark an der ÖNORM EN ISO 13790. Es stehen mit zwei dynamischen Verfahren (Berechnungsverfahren bei ausführlicher Simulation, vollständig beschriebenes vereinfachtes Stunden-Berechnungsverfahren) und einem quasi-stationären Verfahren (Monatsbilanz-Verfahren) ebenfalls drei Berechnungsverfahren zur Auswahl. Im Gegensatz zur ÖNORM EN ISO 13790 stellt jedoch das Monatsbilanzverfahren das Nachweisverfahren mit der niedrigsten Genauigkeitsstufe dar. Das Heiz-/Kühlperiodenverfahren ist für das Nachweisverfahren nicht zulässig.

Das hauptsächlich zum Einsatz kommende Verfahren ist das Monatsbilanzverfahren. Darauf sind auch sämtliche normativ festgelegten Eingangsparameter abgestimmt. So sind beispielsweise die in ÖNORM B 8110-5 angegebenen Klimadaten Monatsmittelwerte für Solarstrahlung und Temperatur. Auch die Nutzungsprofile wurden so gewählt, dass ein genaueres Verfahren als ein Monatsverfahren aufgrund nicht ausreichender Angaben für eine weitere Zonierung nicht zielführend ist: Es wurden 14 unterschiedliche Nutzungsprofile festgelegt, die im Wesentlichen den im Anhang der EPBD definierte maßgeblichen Gebäudekategorien entsprechen. Durch diese verhältnismäßig grobe Angabe von Nutzungskategorien kann keine genauere Zonierung vorgenommen werden, wodurch ein genaueres Verfahren als das Monatsbilanzverfahren ebenfalls keine exakteren Ergebnisse erwarten lassen würde.

Das Monatsbilanzverfahren, das den Kern der Berechnung des Heizwärmebedarfs und des Kühlbedarfs nach ÖNORM B 8110-6 darstellt, ist in zahlreichen Veröffentlichungen sehr genau beschrieben. Es wird daher an dieser Stelle darauf verzichtet, dieses Verfahren näher zu erläutern und stattdessen auf die entsprechende Literatur verwiesen (Sofic, 2009; Kokogiannakis, 2008; Krenn, 2004; Eiper und Streicher, 2005).

Zentrales Element bei der Bilanzierung der Wärmegewinne und Wärmeverluste und damit in weiterer Folge des Heizwärmebedarfs und des Kühlbedarfs ist die Beurteilung der nutzbaren und nicht nutzbaren Gewinne im Bilanzierungszeitraum. Diese bestimmen die Höhe des Heizwärmebedarfs und des Kühlbedarfs:

- **Heizwärmebedarf:**

Bei der Berechnung des monatlichen Heizwärmebedarfs  $Q_h$  werden der Summe der Wärmeverluste  $Q_l$  die nutzbaren Wärmegewinne  $Q_g$  – bestimmt durch den Ausnutzungsgrad  $\eta_h$  – gegenübergestellt. Die Differenz aus Wärmeverlusten und nutzbaren WärmegeWINnen ist der Heizwärmebedarf.

$$Q_h = Q_l - \eta_h \cdot Q_g \quad (2.1)$$

- **Kühlbedarf:**

Der monatliche Kühlbedarf entspricht den nicht nutzbaren WärmegeWINnen in der Wärmebilanz – also jenem Anteil der WärmegeWINnen, dem keine Wärmeverluste gegenüber

stehen und der demnach zu Überhitzung führen würde. Dieser Anteil der Wärmegewinne muss aus dem Raum abgeführt werden.

$$Q_c = (1 - \eta_c) \cdot Q_g \cdot f_{corr} \quad (2.2)$$

Der Korrekturfaktor  $f_{corr}$  wurde eingeführt, um Abweichungen, die im Kühlfall zwischen quasi-stationärem (Monatsbilanzverfahren) und dynamischem Verfahren (detaillierte thermische Gebäudesimulation) auftreten, zu korrigieren.

Der Ausnutzungsgrad der Wärmegewinne wird über das Verhältnis aus Wärmegewinnen zu Wärmeverlusten und die aus der Wärmespeicherfähigkeit der Gebäudezone resultierende Zeitkonstante  $\tau$  ermittelt. Dadurch werden die dynamischen Elemente in die quasi-stationäre Berechnung aufgenommen. In Abbildung 2.5 ist die Systematik der Bilanzierung auf Nutzenergieebene in ÖNORM B 8110-6 dargestellt.

Es ist jedoch zu beachten, dass die Berechnung des Heizwärmebedarfs und des Kühlbedarfs in zwei voneinander unabhängigen Schritten mit unterschiedlichen Eingangsparametern erfolgt. Es unterscheiden sich die Raumsolltemperaturen und die spezifischen internen Wärmelasten durch verschiedene Werte aus dem Nutzungsprofil, die solaren Wärmegewinne durch verschiedene Aktivierung des Sonnenschutzes und der Anteil des für die internen Wärmegewinne berücksichtigten Beleuchtungsenergiebedarfs. Dadurch sind sämtliche Bilanzposten für die Berechnung des Heizwärmebedarfs und des Kühlbedarfs verschieden.

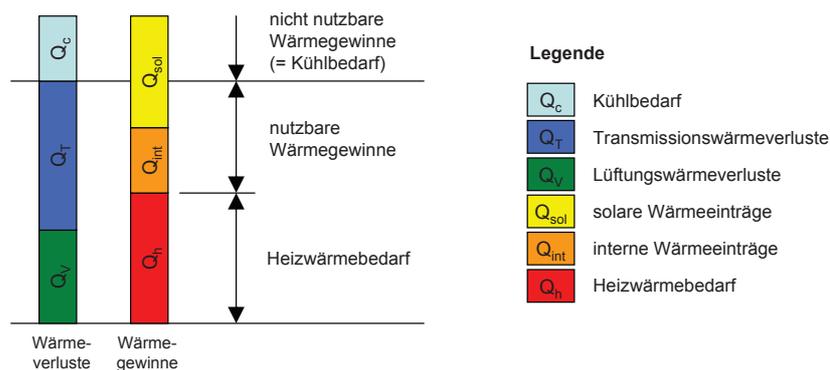


Abbildung 2.5.: Wärmebilanz mit Darstellung der nutzbaren und nicht nutzbaren Wärmegewinne im Monatsbilanzverfahren der ÖNORM B 8110-6.

## 2.6.2. Berechnung des Endenergiebedarfs

Bei Nichtwohngebäuden setzt sich der Endenergiebedarf aus den Teilen Heizenergiebedarf (HEB), Kühlenergiebedarf (KEB), Beleuchtungsenergiebedarf (BelEB) und Befeuchtungsenergiebedarf (BefEB) zusammen. Der Luftförderungsenergiebedarf (Strombedarf der Ventilatoren) wird über den Heizenergiebedarf und den Kühlenergiebedarf mitbilanziert.

$$EEB = HEB + KEB + BelEB + BefEB \quad (2.3)$$

Die Wechselwirkung mit den Berechnungen auf Nutzenergieebene erfolgt über den vereinfachten Ansatz (Vermeidung der Iteration) gemäß ÖNORM EN 15603:

- Nutzenergiebedarf: Die Berechnungen auf Nutzenergieebene werden ohne Berücksichtigung der rückgewinnbaren Wärmeverluste von Heizung und Kühlung bestimmt. Der gebäudespezifische Beleuchtungsenergiebedarf wird als Bestandteil der internen Lasten berücksichtigt.
- Endenergiebedarf: Nachdem die Wärmeverluste von Heizung und Kühlung und deren rückgewinnbare Anteile bestimmt wurden, wird der Ausnutzungsgrad der Wärmegewinne neu berechnet, um den Endenergiebedarf für Heizen ermitteln zu können.

## Heizenergiebedarf

Der Endenergiebedarf für Heizen oder kurz Heizenergiebedarf wird gemäß den in ÖNORM H 5056 festgehaltenen Berechnungsalgorithmen ermittelt.

Die Berechnung des Heizenergiebedarfs beruht auf dem Heizwärmebedarf und dem Warmwasserwärmebedarf als Energiebedarfswerte auf Nutzenergieebene. Ausgehend von diesen beiden Bedarfswerten werden sowohl für das Trinkwarmwasser- (TW) als auch für das Raumheizungssystem (RH) die Verluste für Wärmeabgabe, Wärmeverteilung, Wärmespeicherung und Wärmebereitstellung berechnet. Die Differenz aus Endenergiebedarf  $Q_{HEB}$  und Nutzenergiebedarf für Heizen  $Q_h$  und Warmwasser  $Q_{tw}$  ergibt den Heiztechnikenergiebedarf des Heizungssystems. Dieser Wert stellt somit den Indikator für die Qualität des Heizungssystems dar.

Neben den traditionellen Heizungssystemen wie Kessel und Öfen sind auch Fernwärmesysteme (sowohl Sekundärsysteme mit Gebäudeübergabestationen als auch Tertiärsysteme mit Wohnungsübergabestationen), Wärmepumpensysteme und thermische Solaranlagen in den Berechnungsalgorithmen der ÖNORM H 5056 abgebildet.

Auf Basis des monatlichen Nutzenergiebedarfs für Heizen und Warmwasser wird getrennt für das Raumheizungs- und Warmwassersystem berechnet, wie hoch die monatlichen Verluste für Wärmeabgabe, Wärmeverteilung und Wärmespeicherung sind. Die Summe der Verluste des Gebäudes und der Abgabe-, Verteil- und Speichersysteme ergibt die durch das Heizungssystem bereitzustellende Energie. Über die Angabe von Defaultwerten für Wirkungsgrade, Bereitschaftsverlusten, etc. können die Verluste des Wärmebereitstellungssystems ermittelt werden.

Die Berechnung beruht auf einer Defaultwerte-Methode, das heißt es sind eine Vielzahl von Defaultwerten vorgegeben (beispielsweise für Leitungslängen der Wärmeverteilung, Verluste von Wärmespeichern bei Prüfbedingungen, etc.). Diese können, sofern exakte Daten vorhanden sind, im Rahmen der Energieausweiserstellung ersetzt werden. Auf diese Art können teilweise wesentlich bessere Werte für den Heizenergiebedarf erreicht werden.

## Kühlenergiebedarf

Die Berechnung des Kühlenergiebedarfs erfolgt gemäß der in der ÖNORM H 5058 festgelegten Algorithmen.

Zur Berechnung des Kühlenergiebedarfs ist es erforderlich den Nutzenergiebedarf für Kühlen (Kühlbedarf KB) zu kennen sowie zu wissen, welcher Anteil des Kühlbedarfs gegebenenfalls über eine raumluftechnische Anlage abgedeckt wird. Auf Grundlage dieser Werte wird analog

wie für die Heizung berechnet, welche Verluste für Abgabe, Verteilung und Speicherung der Energie auftreten. Die Verluste für Abgabe und Verteilung werden dabei bei kombinierten Systemen aus Raumkühlung (statisches und/oder dezentrales Kühlsystem) und Kühlung über die RLT-Anlage getrennt für die beiden Teile berechnet. Die Summe aus Nutzenergiebedarf und Verlusten für Abgabe, Verteilung und Speicherung bestimmt die durch die Kältemaschine bereitzustellende Energie.

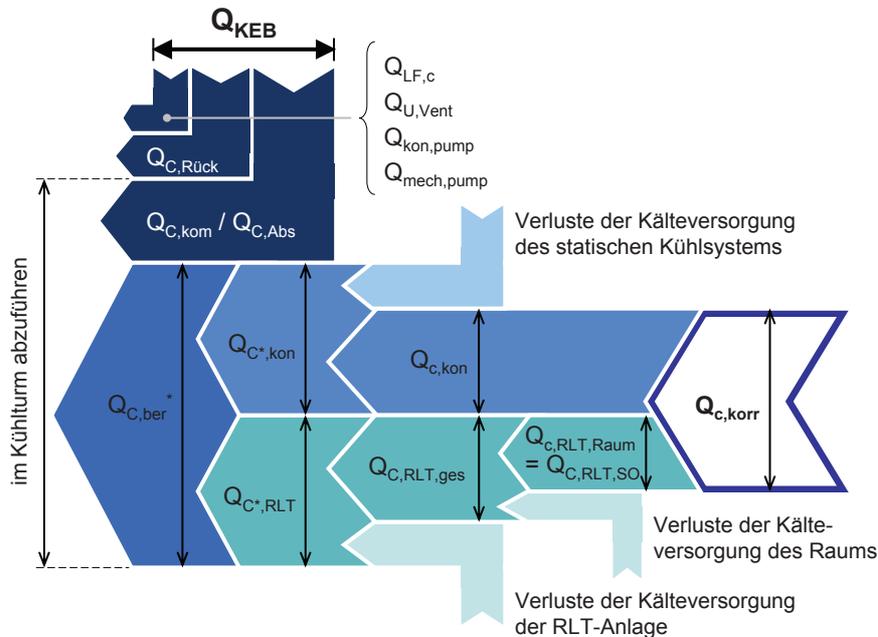


Abbildung 2.6.: Energieflussbild als Grundlage für die Berechnung des Kühlenergiebedarfs KEB. (nach Michlmair und Streicher, 2009a)

Über Leistungszahlen und Teillastkennwerte kann für die gängigsten Arten von Absorptions- und Kompressionskältemaschinen eine mittlere Jahresarbeitszahl berechnet werden. Zusätzlich zur erforderlichen Hilfsenergie für Luft-, Kühl- und Kaltwasserverteilung sowie für Rückkühlung kann so der Endenergiebedarf für Kühlen berechnet werden.

Zentraler Punkt in der ÖNORM H 5058 ist die Berücksichtigung von "Kombisystemen": Kühlsysteme, deren Energieabgabe an den Raum sowohl über statische oder dezentrale Systeme (Bauteilaktivierung, Kühldecken, Fan-Coils, Induktionsgeräte, Splitgeräte, etc.) als auch über die RLT-Anlage passiert, können so entsprechend abgebildet werden. Die Grundlage dieser Systematik ist in Abbildung 2.7 auf der nächsten Seite dargestellt.

Neben der aktiven Kühlung über Kompressions- und Absorptionskältemaschinen ist in der ÖNORM H 5058 auch die Möglichkeit vorhanden, passive Kühlsysteme abzubilden. Folgende Systeme finden dabei Berücksichtigung: Brunnenwasserkühlung, freie Kühlung über den Kühlturm, freie Kühlung über Nachtlüftung (Berechnung des zusätzlichen Luftförderungsenergiebedarfs in ÖNORM H 5057)

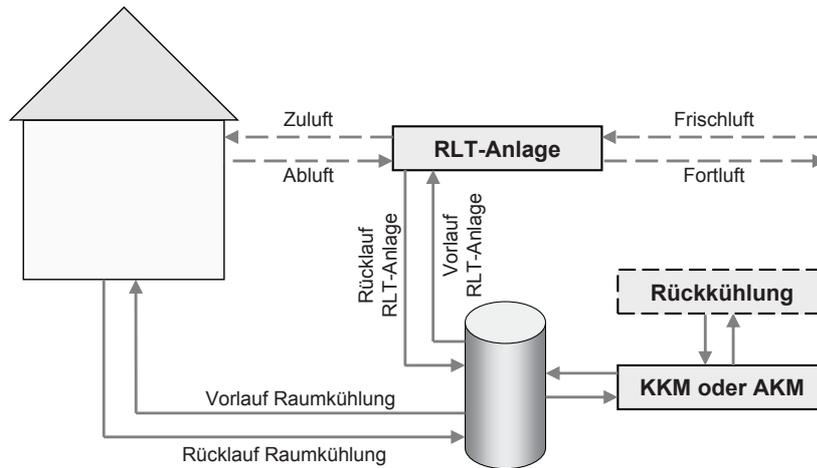


Abbildung 2.7.: Berücksichtigung von Kombisystemen in der ÖNORM H 5058. (Bildquelle: Michlmair und Streicher, 2009a)

## Beleuchtungsenergiebedarf

Die Berechnung des Beleuchtungsenergiebedarfs erfolgte in der Vornorm ÖNORM H 5059:2007 in einem vereinfachten Verfahren in Anlehnung an ÖNORM EN 15193. Dabei werden aufbauend auf Angaben aus den Standardnutzungsprofilen der ÖNORM B 8110-5 und Angaben zu Leuchten, Lampen und deren Regelung erforderliche Eingangsleistungen der Leuchten ermittelt. Diese werden mit der nutzungsabhängigen Laufzeit der Beleuchtung multipliziert und ergeben so den jährlichen Energiebedarf für Beleuchtungszwecke.

- Lampen (Leuchtmittel): Die Art der eingesetzten Lampen beziehungsweise Leuchtmittel ist durch deren Lichtausbeute mitbestimmend für die erforderliche elektrische Anschlussleistung bei vorgegebenem Sollwert der Beleuchtungsstärke. Dazu sind Defaultwerte der Lichtausbeute gängiger Leuchtmittel vordefiniert.
- Leuchten: Der Betriebswirkungsgrad der Leuchte ist ebenso wie die Lichtausbeute des Leuchtmittels entscheidend dafür, wie hoch die erforderliche Eingangsleistung der Leuchte schlussendlich sein muss. Für verschiedene Leuchtenarten sind Defaultwerte für die Betriebswirkungsgrade definiert.
- Regelung: Neben der Art der Leuchte und des Leuchtmittels, die entscheidend für die erforderliche Leuchtenleistung sind, bestimmt die Regelungsart den Energiebedarf wesentlich mit. Je nachdem ob die Beleuchtung von Hand oder über Dimmer geregelt ist, können Teilbetriebsfaktoren bestimmt werden, mithilfe derer der Energiebedarf abgemindert werden kann.

Im Zuge der ersten Normen-Überarbeitung, die mit der Neuauflage im Jänner 2010 abgeschlossen wurde, fand eine Umstrukturierung der ÖNORM H 5059 statt. Anstatt des in der Auflage 2007 abgebildeten vereinfachten Verfahrens in Anlehnung an ÖNORM EN 15193 wurde der Bezug zu dieser Norm gestärkt. Die ÖNORM H 5059:2010 kann als nationale Ergänzungsnorm angesehen werden, da lediglich empfohlen wird, die ÖNORM EN 15193 zur Berechnung des Beleuchtungsenergiebedarfs heranzuziehen. In der Norm verblieben sind lediglich Default-

Werte für den Beleuchtungsenergiebedarf für die Nutzungsprofile gemäß ÖNORM B 8110-5, das komplette vereinfachte Verfahren aus der Auflage 2007 wurde aus der Norm entfernt.

### Energiebedarf der raumlufttechnischen Anlage

Die Berechnung des Energiebedarfs der raumlufttechnischen Anlage erfolgt in der ÖNORM H 5057 und wird in zwei Bedarfswerte unterteilt (siehe auch Abbildung 2.8):

- Nutzenergiebedarf zur Konditionierung des Luftvolumenstroms: Diese Bedarfswerte geben an, welcher Anteil des Nutzenergiebedarfs monatlich über den Luftvolumenstrom in die Gebäudezone eingebracht werden kann. Je nach Anlage werden Energiebedarfswerte für Heizen, Kühlen und Befeuchten berechnet, die die Grundlage für die weitere Ermittlung von Heizenergie-, Kühlenergie- und Befeuchtungsenergiebedarf (bei Dampfbefeuchtung) darstellen.

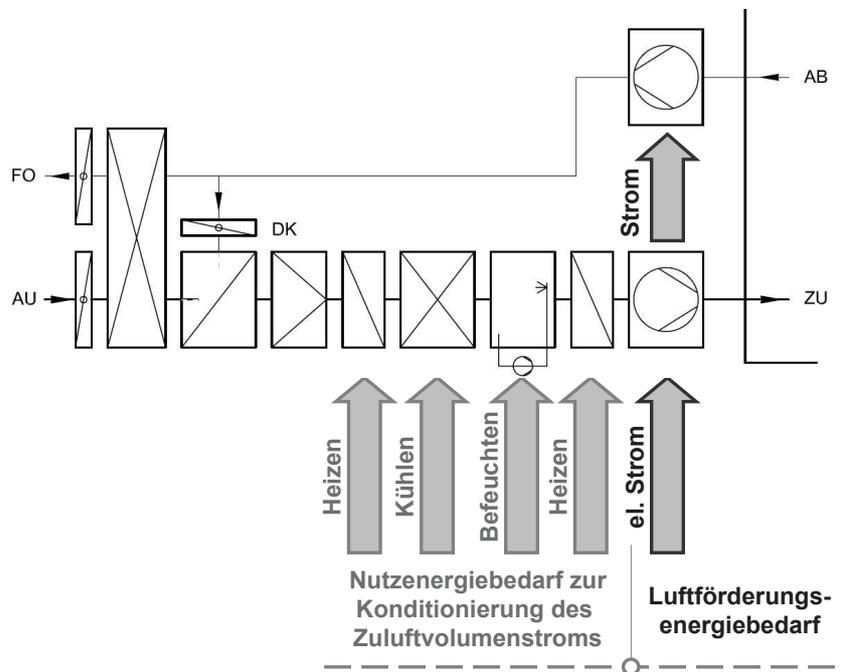


Abbildung 2.8.: Darstellung des Nutzenergiebedarfs zur Konditionierung des Zuluftvolumenstroms und des Luftförderungsenergiebedarfs in einer RLT-Anlage

- Luftförderungsenergiebedarf: Der Luftförderungsenergiebedarf ist jener Energiebedarf, der zum Betrieb der Ventilatoren zur Förderung des erforderlichen Luftvolumenstroms erforderlich ist. Die Bilanzierung zum Endenergiebedarf erfolgt über den Heizenergiebedarf beziehungsweise den Kühlenergiebedarf.

Die in der ÖNORM H 5057 abgebildeten Systeme werden folgendermaßen unterteilt:

- Anlagentypen:
  - RLT-Anlagen zur Lufterneuerung
  - RLT-Anlagen zur prozessbedingten Lüftung mit Konstant-Volumenstrom-System (KVS-System)
  - RLT-Anlagen zur prozessbedingten Lüftung mit Variabel-Volumenstrom-System (VVS-System)
- Arten der Konditionierung: Vollklimaanlagen, Teilklimaanlagen, Lüftungsanlagen

Je nach vorhandener RLT-Anlage wird unterschieden, welche Berechnungsteile zur Ermittlung der Energiebedarfswerte erforderlich sind.

### **Befeuchtungsenergiebedarf**

Die Berechnung des Endenergiebedarfs für Befeuchtung (BefEB) ist in ÖNORM H 5056 geregelt<sup>5</sup>.

- **Dampfbefeuchtung:** Bei der Ermittlung des Endenergiebedarfs der Befeuchtung bei Dampfbefeuchtung wird berechnet, welcher Energiebedarf in Abhängigkeit vom Befeuchtungssystem (Widerstandsheizung, Ferndampf, etc.) auftritt, um den Nutzenergiebedarf zur Konditionierung des Luftvolumenstroms gemäß ÖNORM H 5057 decken zu können. Dazu sind Endenergiefaktoren für die Dampferzeugung für verschiedene Befeuchtungsarten definiert.
- **Verdunstungsbefeuchtung:** Bei Verdunstungsbefeuchtung (adiabate Befeuchtung) erfolgt die Befeuchtung über das Versprühen von Wasser im Zuluftvolumenstrom. Der zusätzliche Energiebedarf entsteht daher dadurch, dass einerseits die entstehende Verdunstungskälte kompensiert werden und andererseits das erforderliche Wasser transportiert und versprüht werden muss (Hilfsenergiebedarf). Durch die Kompensation der Verdunstungskälte ist zusätzliche Heizenergie erforderlich. Der Hilfsenergiebedarf für Transport und Versprühen des Wassers ist abhängig vom zu befeuchtenden Luftvolumenstrom und wird auch so berechnet.

### **2.6.3. Berechnung des Gesamtenergiebedarfs**

Derzeit<sup>6</sup> wurde noch keine Einigung über gewichtete Energiekennwerte getroffen, wodurch im Energieausweis der Gesamtenergiebedarf noch nicht ausgewiesen wird. Es befinden sich gewichtete Energiekennwerte für Primärenergie und CO<sub>2</sub>-Emissionen in Ausarbeitung.

---

<sup>5</sup>In der Version 2007 wurde die Berechnung des Befeuchtungsenergiebedarfs noch in ÖNORM H 5058 geregelt. Im Zuge der Überarbeitung wurde sie in die ÖNORM H 5056 eingegliedert.

<sup>6</sup>Stand: Februar 2010

#### **2.6.4. Einbindung in das europäische Normungswerk**

Mit Stand 2010 wurden die CEN-Normen, die aus dem Mandat M 343 entstanden sind, vom österreichischen Normungsinstitut übernommen. Die Berechnungsalgorithmen zur Ermittlung von Energiekennwerten des Nutz-, End- und Gesamtenergiebedarfs sind jedoch vollständig in den zuvor beschriebenen Normen enthalten. Es werden zwar ausschließlich die Verfahren der CEN-Normen angewandt, diese wurden jedoch an die in Österreich vorhandenen Randbedingungen – insbesondere was Klimadaten, interne Wärmegewinne etc. betrifft – angepasst und mit eigenen Formelzeichen extra beschrieben. So wurden die Inhalte der Normen der Bereiche 1, 2 und 3 der prCEN/TR 15615 inhaltlich in nationalen Normen geregelt, die jedoch an die CEN-Normen angelehnt sind. Lediglich Normen des Bereichs 4 wurden zum überwiegenden Teil auch inhaltlich übernommen.

Für die geplante Überarbeitung der Normen bis zum Jahr 2012 ist vorgesehen, die CEN-Normen des Mandats M 343 tatsächlich in die österreichischen Berechnungsalgorithmen zu integrieren. Dazu werden die dort beschriebenen Verfahren für verbindlich erklärt und lediglich nicht geregelte Bereiche in den vorhandenen österreichischen Normen definiert. Diese werden somit zu nationalen Anwendungsdokumente für die Normen des Mandats M 343.



# 3. Berechnungsmethoden für den Energiebedarf raumluftechnischer Anlagen

In diesem Kapitel wird ein Überblick über den gegenwärtigen „Stand der Forschung“ auf dem Gebiet der Berechnungsalgorithmen zur Bewertung der Energieeffizienz von raumluftechnischen Anlagen gegeben. Dazu werden Forschungsarbeiten zur Berechnung des Nutzenergiebedarfs zur Konditionierung des Luftvolumenstroms einerseits und zur Berechnung des Endenergiebedarfs zur Luftförderung andererseits untersucht. Es werden verschiedene Berechnungsmodelle vorgestellt und deren Systematik und die damit verbundenen Vor- und Nachteile erläutert.

Zusätzlich wird gezeigt, welche der beschriebenen Berechnungsmodelle Eingang in das europäische Normungswerk gefunden haben und somit sozusagen den aktuellen „Stand der Technik“ darstellen. Dazu werden die CEN-Normen zum Themengebiet raumluftechnischer Anlagen, die aus dem Mandat M 343 entstanden sind, beschrieben und deren Vorgaben auf die geplante Überarbeitung des österreichischen Normenwerks aufgezeigt.

## 3.1. Berechnungsmethoden des Nutzenergiebedarfs zur Konditionierung des Luftvolumenstroms

### 3.1.1. Verfahren basierend auf Messwerten

Der ursprüngliche Ansatz zur Beurteilung des Energieaufwands zur Konditionierung des Luftvolumenstroms bestand darin, den Energieverbrauch zu messen. Für derartige Energieverbrauchsmessungen waren jedoch nur Feldmessungen möglich, da bei Labormessungen der Aufwand für das Herstellen realistischer Randbedingungen zu hoch war. Bei Feldversuchen hingegen waren die Randbedingungen naturgemäß realistisch genug, jedoch meist nicht ausreichend bekannt, um eine allgemeingültige Interpretation der Messungen vornehmen zu können. Zudem waren die Feldversuche nicht reproduzierbar und es konnten keine Parameterstudien durchgeführt werden. Daher ist der Einsatz von Messverfahren auf das Prüfen von Berechnungsverfahren beschränkt. (Jahn, 1978)

Reichert geht noch einen Schritt weiter und schließt Feldmessungen generell für die Ermittlung des Energieeinsatzes von RLT-Anlagen aus:

*„Für die Untersuchung der Nutzenübergabe von RLT-Anlagen scheiden Feldversuche aus, da gemessene Verbräuche grundsätzlich nicht verallgemeinerbar sind, die Randbedingungen und damit die Verbräuche sind nicht einmal bei derselben Anlage in einem Gebäude reproduzierbar. Für eine Vergleichbarkeit der Ergebnisse sind fest definierte Randbedingungen notwendig, die entweder experimentell im Labor oder durch rechnerische Simulation erreicht werden können.“*

(Reichert, 2000)

Weiters schränkt Reichert auch den Einsatz von Labormessungen zu diesem Zweck ein, da der Bedarfswert des Gebäudes als charakteristischer Wert nicht vorgegeben werden kann. Er schließt aus dem Grund auch Labormessungen von der Beurteilung des Energieaufwands zur Konditionierung des Luftvolumenstroms aus, weil dieser Bedarfswert nur virtuell – also durch Berechnungen basierend auf mathematischen Modellen – bestimmt werden kann. (Reichert, 2000)

### 3.1.2. Aufwandszahlen-Modell

Eine sehr stark an Messwerten orientierte Methode stellt das Aufwandszahlen-Modell dar. Dieses von Hausladen und Mengedoht (2000) entwickelte Modell folgt dem Ansatz der Bedarfsdeckung. Dabei wird ausgehend von den Bedarfswerten des Raumes (Heizwärmebedarf, Kühlbedarf) über Aufwandszahlen in den drei Funktionsblöcken Wärmeübergabe, Verteilung und Erzeugung der durch Verluste zusätzlich entstehende Aufwand dargestellt.

Die verschiedenen Aufwandszahlen für die einzelnen Anlagenkomponenten sind jeweils von deren Nutzungsgrad bei Nennbetrieb und Bereitschaftsverlusten abhängig. Mithilfe dieser von den Komponentenherstellern messtechnisch erhobenen Werte kann für die tatsächlich auftretenden Teillastfälle (bei bekannter Auslastung) die jeweilige Aufwandszahl bestimmt werden. In Abbildung 3.1 ist links der Zusammenhang zwischen Bedarfswert und Aufwandwert dargestellt, rechts analog dazu der Zusammenhang zwischen der Auslastung der Anlage und der normierten Energieaufwandszahl. Der dargestellte Zusammenhang ist für „fast alle energietechnischen Anlagen mit ausreichender Genauigkeit mit einer Geraden zu beschreiben“ (Hausladen und Mengedoht, 2000). Auch bei Elektromotoren mit eigentlich stark nicht-linearem Zusammenhang ist eine Linearisierung ohne unzulässig große Fehler möglich.

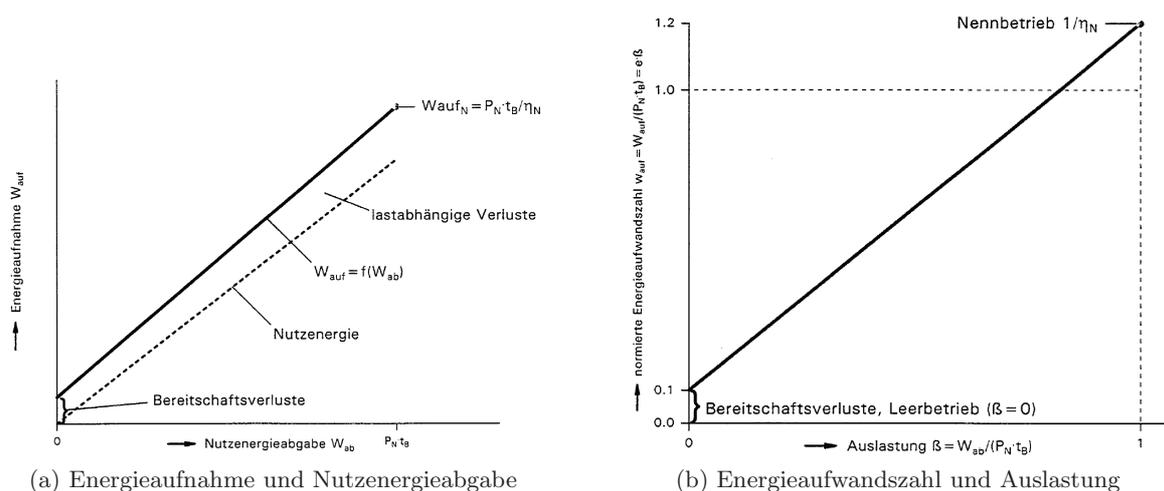


Abbildung 3.1.: Zusammenhang zwischen Energieaufnahme und Nutzenergieabgabe (a) und zwischen normierter Energieaufwandszahl und Auslastung (b) beim Aufwandszahlen-Modell (Bildquelle: Hausladen und Mengedoht, 2000)

## **Anwendung**

Das Aufwandszahlen-Modell wird in DIN V 4701-10:2003 zur energetischen Bewertung heiz- und raumluftechnischer Anlagen angewandt.

Das Modell der Bedarfsdeckung wurde in nachfolgenden einschlägigen Normen beibehalten, jedoch wurde insbesondere für die Bewertung raumluftechnischer Anlagen eine deutlichere Unterscheidung zwischen den Bedarfswerten und der dadurch erforderlichen Nutzenübergabe vorgenommen. Diese von Reichert (2000) eingeführte Konkretisierung ermöglicht die Berechnung von erforderlichen Zuluftzuständen (als Nutzenübergabe der Zuluft für die Bedarfsdeckung) und somit eine exakte rechnerische Bestimmung des erforderlichen Nutzenergiebedarfs (siehe die nachfolgenden Modelle).

### **3.1.3. Verfahren der theoretischen Vergleichsprozesse**

#### **Methoden der energetischen Prozessbewertung raumluftechnischer Anlagen**

Dieses von Jahn (1978) ausgearbeitete Modell stellte den Ausgangspunkt für viele weitere Arbeiten in diesem Themenbereich dar. Mithilfe erster thermischer Simulationsverfahren wurden Energieaufwandszahlen in Abhängigkeit von Luftwechsel, Bauweise, Betriebszeiten, internen Wärmeerträgen und Fensterflächenanteil berechnet. Die Energieaufwandszahlen wurden für theoretische Vergleichsprozesse, technische Vergleichsprozesse und drei reale, exemplarisch ausgewählte Anlagen bestimmt und tabellarisch festgehalten.

Die Berechnungen wurden mit Zeitschritten von einer Stunde – basierend auf Außenluftzuständen aus Testreferenzjahren (TRY) – durchgeführt. Die stundenweisen Energiebedarfswerte wurden zu spezifischen Leistungswerten für den Anlagenenergieaufwand und den Anlagenenergienutzen zusammengefasst, für die ein Heiz- und ein Kühllanteil angegeben wurde.

Durch die Weiterentwicklung der Rechnerkapazitäten und der Simulationsverfahren ist das Verfahren, Vergleichsprozesse über exemplarische Vergleichsrechnungen und tabellarische Darstellung abzubilden, nicht mehr dem aktuellen Stand der Technik entsprechend. Die grundsätzlichen Annahmen und Berechnungen im Modell von Jahn sind jedoch weiterhin gültig und werden bis heute nahezu unverändert für die Bewertung der Energieeffizienz raumluftechnischer Anlagen herangezogen.

#### **Vergleichsprozesse der Klimatechnik**

Das Modell der „Vergleichsprozesse der Klimatechnik“ wurde von Glück (1998) entwickelt, um – analog zu den Vergleichsprozessen in der Thermodynamik – auch für die Planung und Ausführung raumluftechnischer Anlagen theoretische Zielwerte für deren Energieeffizienz festlegen zu können.

Aufgrund unzähliger Einflussgrößen ist die Definition derartiger Vergleichsprozesse in der Klimatechnik wesentlich komplizierter als in der Thermodynamik. Um auf die unterschiedlichen Eingangs-, Kenn- und Ausgangsgrößen reagieren zu können, wurde ein „intelligenter, selbsttätig operierender Algorithmus“ (Glück, 1998) entwickelt, der eine zweidimensionale

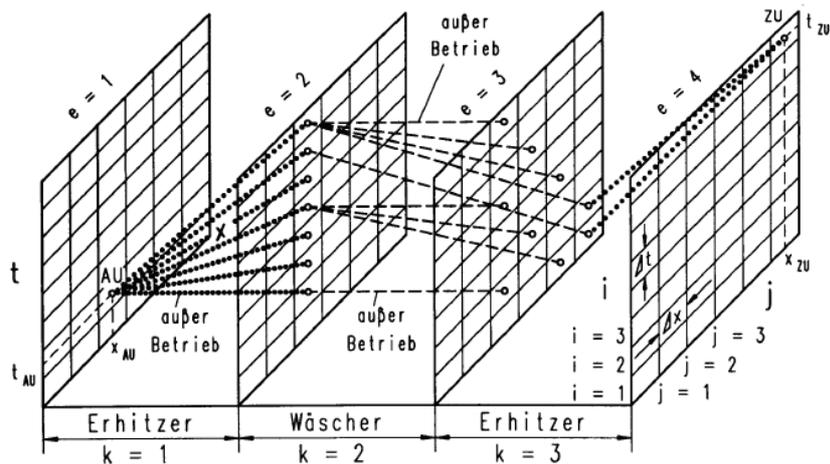


Abbildung 3.2.: Zweidimensionales Abarbeitungsschema der dynamischen Optimierung für die Variablen Lufttemperatur ( $t$ ) und Luftfeuchte ( $x$ ) zur Optimierung des klimatechnischen Prozesses (Bildquelle: Glück, 1998)

Optimierung der RLT-Anlage für unterschiedliche Zielgrößen vornehmen kann. Die grundsätzliche Struktur dieser Optimierung in den Dimensionen Lufttemperatur und Luftfeuchte ist in Abbildung 3.2 dargestellt.

Der damit entstandene Algorithmus verfolgt daher das Ziel, einen Optimalwert für die Regelungsstrategie einer raumlufttechnischen Anlage in Hinblick auf Betriebskosten, Energiebedarf oder umweltrelevante Größen zu bestimmen. Im Gegensatz dazu wird in einer Energiebedarfsberechnung nicht der Optimalwert sondern der Istwert des Energiebedarfs berechnet.

Aufbauend auf dem Ansatz der Vergleichsprozesse der Klimatechnik haben Schmidt, Ni und Schlosser (2006) im Projekt ENERGO ein Verfahren zur Ermittlung energetischer Kennwerte für raumlufttechnische Anlagen ausgearbeitet. Dabei wurden in Simulationen ideale, reale und gängige Konditionierungs-Prozesse in RLT-Anlagen energetisch bewertet. Aus den Ergebnissen wurden Gütezahlen (Vergleichswert zum idealen Prozess) für die realen und gängigen Prozesse berechnet, anhand derer obere Grenzwerte für unterschiedliche Arten von raumlufttechnischen Anlagen festgelegt wurden (oberer Grenzwert entspricht dem realen Prozess).

Im Projekt ENERGO 2 wurden die Erkenntnisse aus dem Vorgängerprojekt von Schmidt und Schlosser (2009) auf eine große Anzahl von unterschiedlichen Nutzungsfällen erweitert. Dadurch besteht nun für raumlufttechnische Anlagen die Möglichkeit, mit angemessenem Aufwand einen Nachweis nach Energieeinsparverordnung EnEV (EnEV, 2007, 2009) zu erbringen.

### 3.1.4. $h, x$ -Zonen-Verfahren

#### Systematik

Reichert beschreibt ein Verfahren (Reichert, 2000; Bach et al., 2000), in dem die einzelnen Außenluftzustände in Zonen des  $h, x$ -Diagramms eingeteilt werden. Über die einzelnen Au-

ßenluftzustände in den verschiedenen Zonen wird ein Mittelwert gebildet, für den der Zustandsverlauf in der RLT-Anlage exemplarisch bestimmt wird. Über die Stundenanzahl der Außenluftzustände in den verschiedenen Zonen können die Betriebsstunden der einzelnen Anlagenkomponenten und damit in weiterer Folge der Energiebedarf zur Konditionierung des Luftvolumenstroms ermittelt werden.

In Abbildung 3.3 sind die Zonierungen des  $h, x$ -Diagramms für RLT-Anlagen mit adiabatem Wäscher (Verdunstungsbefeuchtung) beziehungsweise mit Dampfbefeuchtung dargestellt. Die Konditionierungsschritte in der RLT-Anlage werden für die mittleren Außenluftzustände (AU1) gemäß Abbildung 3.4 berechnet.

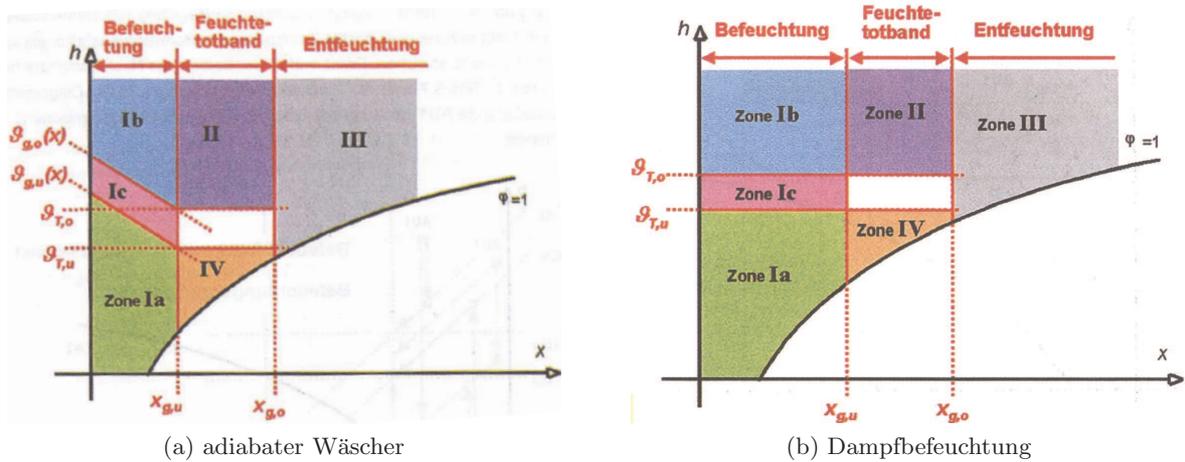


Abbildung 3.3.: Zonierung des  $h, x$ -Diagramms bei einem adiabaten Wäscher mit geregeltm Befeuchtungsgrad (a) und Dampfbefeuchtung (b) (Bildquelle: Reichert, 2000)

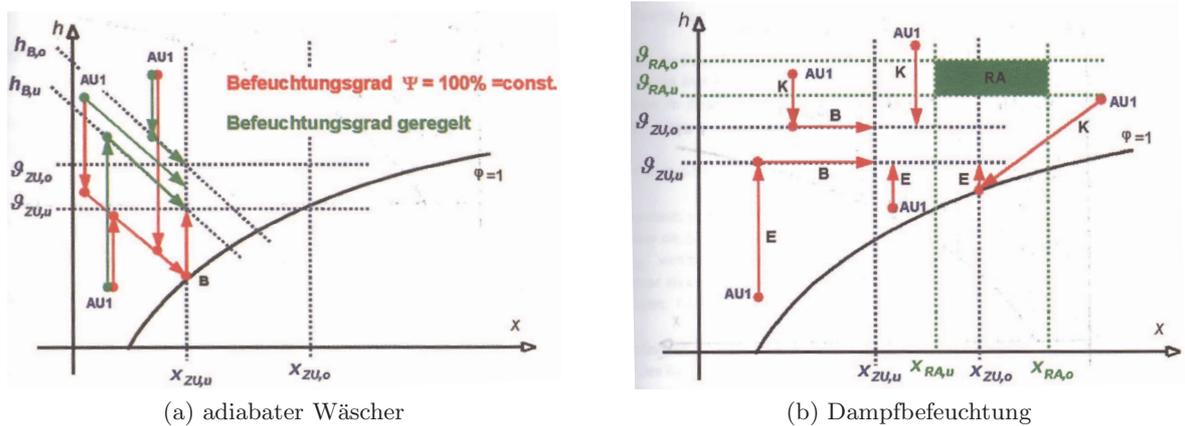


Abbildung 3.4.: Zustandsverläufe der Luft im  $h, x$ -Diagramm bei einem adiabaten Wäscher mit geregeltm Befeuchtungsgrad (a) und Dampfbefeuchtung (b) (Bildquelle: Reichert, 2000)

## Vor- und Nachteile

Vorteile:

- Es handelt sich um ein sehr einfaches Modell, das auch problemlos normativ umgesetzt werden kann (siehe VDI 2067-21:2003).
- Wärmerückgewinnung und Mischkammer können berücksichtigt werden, es wird die Zonierung des  $h, x$ -Diagramms unter Berücksichtigung der Rückwärmzahl und des Umluftanteils bestimmt.
- Es können standortspezifische Außenluftzustände berücksichtigt werden.

Nachteile:

- Das vorliegende Verfahren wurde für die Beurteilung der Wirtschaftlichkeit von RLT-Anlagen erstellt. Dadurch ist das Modell offen für benutzerspezifische Eingabewerte. Für die Ermittlung von Bedarfswerten im Rahmen eines baurechtlichen Verfahrens ist dieser Zugang nur bedingt tauglich, da das Nachweisen derartiger Eingabewerte nur sehr schwer möglich ist.
- Die Konditionierung erfolgt auf die Grenzen des Behaglichkeitsbereichs korrigiert um den Energieaufwand des Lufttransports für jeweils einen Referenzzustand je Zone. Eine stundenweise variable Zulufttemperatur kann nicht angewandt werden, da das Modell über die Berechnung eines exemplarischen Konditionierungsvorgangs je  $h, x$ -Zone funktioniert, der über den Mittelwert der Außenluftzustände in den jeweiligen Zonen definiert ist.

## Anwendung

Das  $h, x$ -Zonen-Verfahren findet in der VDI 2067, Teil 21 „Wirtschaftlichkeit gebäudetechnischer Anlagen – Energieaufwand der Nutzenübergabe Raumluftechnik“ Anwendung. Das Modell wurde vollständig in diese Norm übernommen und an die Rahmenbedingungen der VDI-Reihe 2067 zur Beurteilung der „Wirtschaftlichkeit gebäudetechnischer Anlagen“ angepasst. Dazu war insbesondere die Methode der „Nutzenübergabe bei RLT-Anlagen“ erforderlich, die ebenfalls im Rahmen der Entwicklung des  $h, x$ -Zonen-Verfahrens von Reichert (2000) erarbeitet wurde.

### 3.1.5. Häufigkeitsverteilungs-Methode

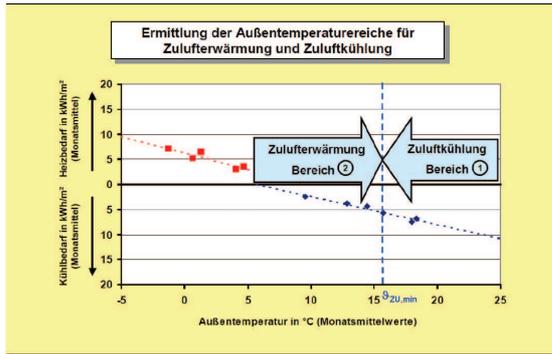
#### Systematik

Die Grundlagen der Häufigkeitsverteilungs-Methode wurden von Rouvel und Elsberger (2000) entwickelt. Dazu wurde ein Modell zur mathematischen Nachbildung der außenklimatischen Verhältnisse für Lufttemperatur und absolute Luftfeuchte ausgearbeitet. Diese mathematische Nachbildung basiert im Wesentlichen auf einer Häufigkeitsverteilung der stundenweisen Außenluftzustände.

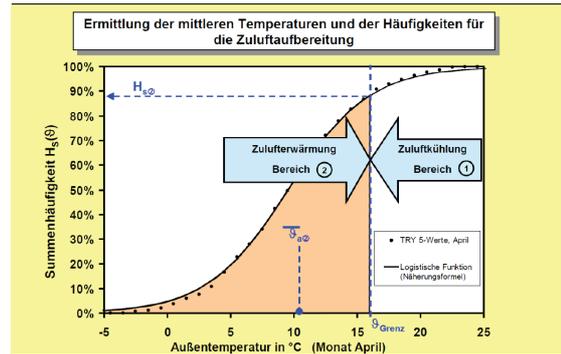
Mithilfe dieser Häufigkeitsverteilung wurde in weiterer Folge von David, Rouvel und Wenning (2005) ein Vorschlag für die Berechnung des Nutzenergiebedarfs zur Konditionierung des Luftvolumenstroms erstellt. Dazu wurden auf Grundlage der Häufigkeitsverteilung für die Außenlufttemperatur und die Außenluftfeuchte jene Bereiche bestimmt, in denen unterschiedliche

Konditionierung erforderlich ist. Zusätzlich war der Einfluss eines eventuell vorhandenen Wärmerückgewinnungssystems zu berücksichtigen. Aus dieser Einteilung in verschiedene Bereiche konnte unter Berücksichtigung der anlagentechnischen Parameter der Nutzenergiebedarf zur Konditionierung bestimmt werden.

Die Abbildungen 3.5 und 3.6 (a) zeigen die Systematik der Bestimmung von Außenlufttemperatur und Außenluftfeuchte bei der Häufigkeitsverteilungs-Methode. In Abbildung 3.6 (b) ist dargestellt, wie in weiterer Folge die Einteilung in Zonen im  $h, x$ -Diagramm vorgenommen wird, auf Basis derer der Nutzenergiebedarf zur Konditionierung des Luftvolumenstroms berechnet werden kann.

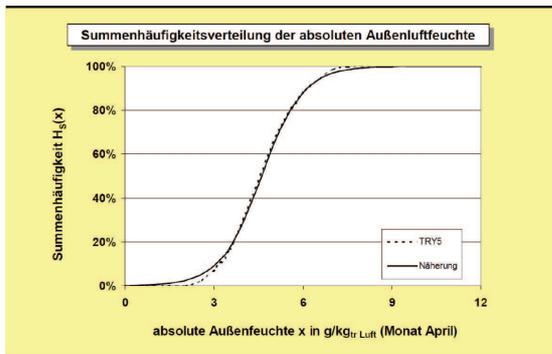


(a) Außentemperaturbereiche

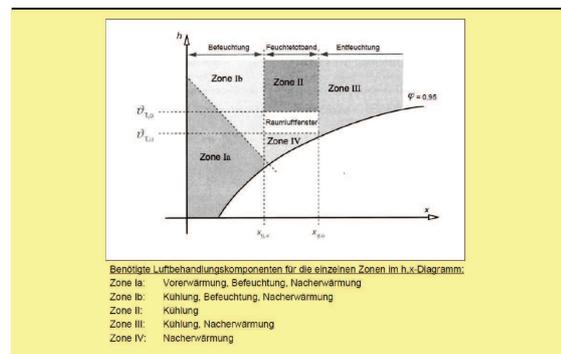


(b) mittlere Temperaturen

Abbildung 3.5.: Ermittlung der Außentemperaturbereiche für Zulufterwärmung und Zuluftkühlung (a) sowie der mittleren Temperaturen und der Häufigkeiten (b) für die Häufigkeitsverteilungs-Methode (Bildquelle: David et al., 2005)



(a) absolute Außenluftfeuchte



(b) Aufteilung des  $h, x$ -Diagramms

Abbildung 3.6.: Summenhäufigkeitsverteilung der absoluten Außenluftfeuchte (a) und Aufteilung des  $h, x$ -Diagramm in Zonen gleicher Zustandsverläufe (b) für die Häufigkeitsverteilungs-Methode (Bildquelle: David et al., 2005)

## Vor- und Nachteile

Vorteile:

- Die Methode der Häufigkeitsverteilungen ist eine einfache Möglichkeit, aus monatsweise vorgegebenen Außenluftzuständen stundenweise Werte abzuleiten. Wie Elsberger (2001) zeigt, ist die Korrelation dieses Verfahrens mit tatsächlichen Messwerten hoch.

Nachteile:

- Selbst David, Rouvel und Wenning (2005) haben die Anwendbarkeit ihres Modells – insbesondere in Rahmen der DIN V 18599:2007 – kritisch betrachtet:

*„Die Ermittlung des Nutzenergiebedarfs über die Häufigkeitsverteilung bedarf sowohl für die Wärmerückgewinnung als auch für die Be- und Entfeuchtung einer komplexen Unterscheidung der Randbedingungen (anlagentechnische und außenklimatische Bedingungen). Die Berechnung des Nutzenergiebedarfs über die Häufigkeitsverteilung ist zwar machbar, der Aufwand ist aber doch sehr groß, so dass die Anwendung der Benchmark-Methode [...] in jedem Fall zu bevorzugen ist.“*

(David et al., 2005)

## Anwendung

Die Häufigkeitsverteilungs-Methode wurde entwickelt, um in Teil 3 der DIN V 18599:2007 zur Berechnung des Nutzenergiebedarfs zur Konditionierung des Luftvolumenstroms eingesetzt zu werden. Parallel dazu wurde eine weitere Methode – die Kennwert- beziehungsweise Benchmarkmethode (siehe unten) – ausgearbeitet, die den gleichen Einsatzzweck hatte. Beim Vergleich der beiden Methoden wurde festgestellt, dass die Benchmarkmethode bei lediglich geringfügigen Abweichungen der Ergebnisse deutlich einfacher ist als die Häufigkeitsverteilungs-Methode. Aus diesem Grund wurde entschieden, die Benchmarkmethode für die Berechnung in der DIN V 18599:2007 einzusetzen.

### 3.1.6. Kennwertmethode, Benchmark-Methode

#### Systematik

Bei der Kennwert- oder auch Benchmark-Methode wurde für 46 vordefinierte Anlagenvarianten mittels Simulationen der monatsweise<sup>1</sup> kumulierte Nutzenergiebedarf zur Konditionierung eines Luftvolumenstroms von 1 m<sup>3</sup>/h berechnet. Dabei wurde auf die stundenweisen Außenluftzustände des TRY 05 (Region Würzburg) zurück gegriffen.

Die Simulation wurde für einen Basisfall mit Tagbetrieb (12 h/d, 365 d/a) und einer konstanten Zulufttemperatur von 18 °C für die verschiedenen Anlagenvarianten durchgeführt. Die Anlagenvarianten charakterisieren sich durch folgende Parameter:

---

<sup>1</sup>Die Benchmark-Methode wurde ursprünglich als reines Jahresverfahren konzipiert. In Abstimmung mit der monatsweisen Bilanzierung in der Gebäudebewertung mit dem quasi-stationären Monatsbilanzverfahren wurde schließlich eine monatliche Darstellung gewählt.

- Feuchteanforderung: keine Feuchteanforderung, Feuchteanforderung mit Toleranz (vorgegebener Bereich für Zuluftfeuchte), Feuchteanforderung ohne Toleranz (vorgegebener Wert für Zuluftfeuchte)
- Befeuchter-Typ: Verdunstung (nicht regelbar), Verdunstung (regelbar), Dampf
- WRG-Typ: ohne, nur Wärmerückgewinnung, Wärme- und Feuchterückgewinnung
- WRG-Größe: 45 %, 60 %, 75 %

Für die Berechnung des Nutzenergiebedarfs zur Konditionierung werden durch die Auswahl einer Benchmark-Anlage – also jener Variantenkombination deren Konfiguration der zu bewertenden Anlage am nächsten kommt – die monatsweisen Nutzenergiebedarfswerte für den Basisfall vorgegeben. Sofern die tatsächlichen Einsatzbedingungen vom Basisfall abweichen, kann eine Korrektur für andere Zulufttemperaturen und Betriebszeiten vorgenommen werden.

Die Darstellungen in Abbildung 3.7 zeigen die Herleitung des Sollwert-Feldes der absoluten Luftfeuchte (a) und den gesamten spezifischen (für 1 m<sup>3</sup>/h Luftvolumenstrom) Jahres-Nutzenergiebedarf für Heizen, Kühlen und Befeuchten der 46 Anlagenvarianten (b).

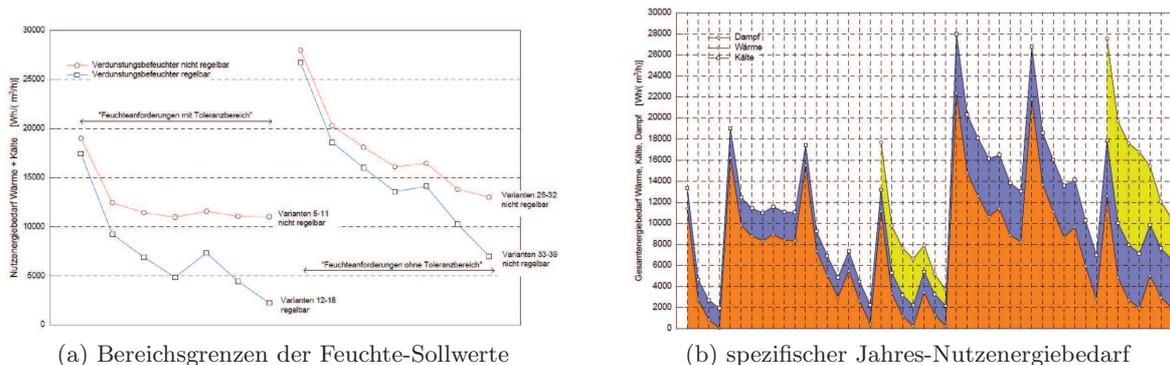


Abbildung 3.7.: Darstellung der Bereichsgrenze der Feuchte-Sollwerte für den Zuluftzustand (a) und des spezifischen Jahres-Nutzenergiebedarfs der energetischen Luftaufbereitung (b) bei der Benchmark-Methode (Bildquelle: Schiller, 2005)

## Vor- und Nachteile

Vorteile:

- Bei der Benchmark-Methode handelt es sich um ein äußerst einfaches Verfahren, das normativ sehr gut abgebildet werden kann.
- Es kann eine Vielzahl von raumluftechnischen Anlagen abgebildet werden. Für innovative und spezielle Anlagenkonzepte können in der normativen Anwendung der Methode auch Simulationsverfahren eingesetzt werden.

Nachteile:

- Die Benchmarkwerte der 46 Anlagenvarianten wurden durch Simulationen bestimmt, wodurch die Herleitung der Werte nicht nachvollzogen werden kann.

- Die Berechnung der Kennwerte beruht auf lediglich einem – in etwa durchschnittlichen – Klimadatensatz (TRY 05, Region Würzburg). Schiller (2005) beschreibt, dass die Abweichung der Benchmarkwerte durch unterschiedliche Klimadaten zu vernachlässigen gering und die Einschränkung daher vernachlässigbar ist. Bei der Anwendung auf die österreichischen Randbedingungen mit stark standortspezifischen Klimata ist diese Einschränkung jedoch ein gravierender Nachteil.

## Anwendung

Die Benchmark-Methode wurde von Schiller (2005) – wie auch die Häufigkeitsverteilungsmethode – für den Einsatz zur Berechnung des Nutzenergiebedarfs für die Luftvolumenstromkonditionierung in Teil 3 der DIN V 18599 erarbeitet. Nachdem sich die Häufigkeitsverteilungsmethode als zu komplex für den normativen Gebrauch erwiesen hat, wurde die Benchmark-Methode in der deutschen Energieausweis-Norm übernommen. In der DIN V 18599 werden neben der beschriebenen Kennwert-Methode auch detaillierte Stundenverfahren (Simulationen) zugelassen, deren Randbedingungen im Normenanhang definiert sind.

Neben dem Einsatz in der deutschen Energieausweis-Normung wurde die Benchmark-Methode auch als ein „Beispiel für vereinfachte Verfahren zur Anlagenverlust- und Energiebedarfsberechnung“ in der europäischen Norm EN 15243 vorgestellt.

Die Methode der Benchmarkwerte wird auch in der österreichischen Energieausweis-Normung in der ÖNORM H 5057 eingesetzt. Dabei wurden der Klimadatensatz an österreichische Gegebenheiten angepasst und einige geringfügige Änderungen an der Methodik vorgenommen<sup>2</sup>.

---

<sup>2</sup>Eine detaillierte Beschreibung der österreichischen Form der Anwendung der Benchmark-Methode ist in Abschnitt 7.1 zu finden.

### 3.2. Berechnungsmethoden des Endenergiebedarfs zur Luftförderung

Der Energiebedarf der Ventilatoren in einer raumlufttechnischen Anlage  $Q_{LF}$  wird durch den Leistungsbedarf  $P_{LF}$  und die Betriebszeit (tägliche Betriebsstunden  $t_{RLT}$ , Betriebstage  $d_{RLT}$ ) der Anlage bestimmt. Der Leistungsbedarf  $P_{LF}$  ist definiert durch den zu fördernden Luftvolumenstrom  $v_{RLT}$ , die zu überwindenden Druckverluste in der Anlage  $\Delta p_{ges}$  und den Gesamtwirkungsgrad der Ventilatereinheit  $\eta_{ges}$ . Dieser Gesamtwirkungsgrad wiederum setzt sich aus den Teil-Wirkungsgraden von Ventilator, Kraftübertragungssystem, Antriebseinheit (Motor) und einer eventuell vorhandenen Drehzahlregelung zusammen.

$$Q_{LF} = P_{LF} \cdot t_{RLT} \cdot d_{RLT} \quad (3.1)$$

$$P_{LF} = \frac{v_{RLT} \cdot \Delta p_{ges}}{\eta_{ges}} \quad (3.2)$$

Als charakteristische Kennzahl für die Energieeffizienz eines Ventilators hat sich die spezifische Ventilatorleistung<sup>3</sup>  $P_{SFP}$  – also die Leistung des Ventilators bezogen auf den geförderten Luftvolumenstrom – etabliert. Mithilfe dieser  $P_{SFP}$ -Kennwerte erfolgt beispielsweise in ÖNORM EN 13779 eine Einordnung in SFP-Kategorien, die in Tabelle 3.1 dargestellt ist.

Tabelle 3.1.: Klassifizierung der spezifischen Ventilatorleistung gemäß ÖNORM EN 13779

Kategorie	$P_{SFP}$ in [W/(m <sup>3</sup> .s)]
SFP 1	< 500
SFP 2	500 – 750
SFP 3	750 – 1250
SFP 4	1250 – 2000
SFP 5	2000 – 3000
SFP 6	3000 – 4500
SFP 7	> 4500

Um den Endenergiebedarf für die Luftförderung berechnen zu können, sind daher Angaben zu den Druckverhältnissen in der RLT-Anlage, dem Wirkungsgrad der vorhandenen Ventilatoren und dem geförderten Luftvolumenstrom erforderlich. In detaillierten Simulationsprogrammen ist daher eine exakte Definition der Anlage erforderlich, mithilfe derer statische und dynamische Druckverluste in Abhängigkeit von der Strömungsgeschwindigkeit in den Anlagenteilen in diskreten Zeitschritten bestimmt werden. In Abhängigkeit der charakteristischen Ventilator-Kennlinien der eingesetzten Ventilatoren, kann der Leistungsbedarf des Ventilators im jeweiligen Zeitschritt und in weiterer Folge der Energiebedarf berechnet werden.

Diese exakte Definition der Anlagenverhältnisse ist mit einem großen Aufwand verbunden, der für die Berechnung des Luftförderungsenergiebedarfs im Rahmen der Bewertung der Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden nicht angemessen ist. Daher werden vereinfachte Abschätzungen auf Grundlage der wesentlichen charakteristischen physikalischen Eigenschaften der Luftförderung vorgenommen.

<sup>3</sup>SFP ... spezific fan power

## Druckverhältnisse in der RLT-Anlage

Die wesentlichen Druckverluste in einer raumlufttechnischen Anlage lassen sich wie folgt kategorisieren:

- Druckverluste durch Rohrreibung:  $\Delta p_{Rohr} = l \cdot \frac{\lambda^*}{d} \cdot \frac{\rho_L}{2} \cdot (v^*)^2$
- Druckverluste durch Einzelwiderstände:  $\Delta p_{Widerstand} = \sum \zeta_i \cdot \frac{\rho_L}{2} \cdot (v_i^*)^2$
- Druckverluste durch Einbauten:  $\Delta p_{Einbauten}$

Die Höhe der einzelnen Druckverlust-Posten unterscheidet sich von Anlage zu Anlage und bestimmt die Druckdifferenz, die durch den Ventilator aufgebracht werden muss, um den geforderten Luftvolumenstrom fördern zu können (Förderdruck). In Abbildung 3.8 ist der Druckverlauf für eine raumlufttechnische Anlage mit Ventilator mit Druck- und Saugleitung dargestellt.

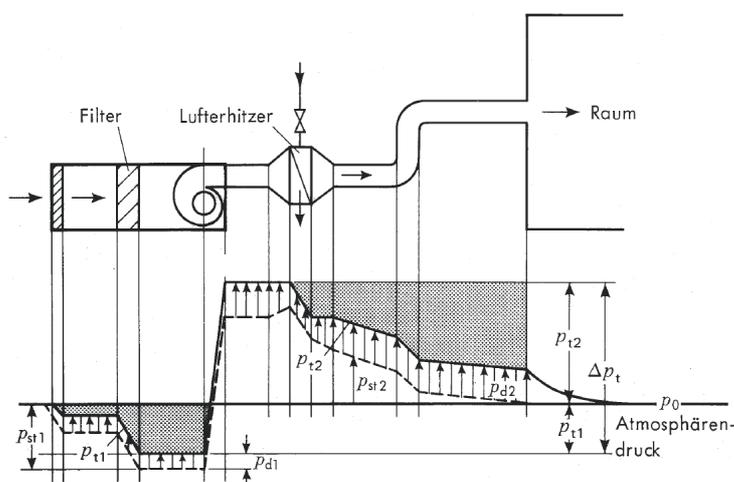


Abbildung 3.8.: Druckverlauf in einer Lüftungsanlage bei einem Ventilator mit Druck- und Saugleitung (Bildquelle: Recknagel et al., 2007)

Richtwerte für Druckverluste und Ventilatorwirkungsgrade in raumlufttechnischen Anlagen wurden von Beck (2000) in einer umfassenden Marktanalyse erhoben. Die Ergebnisse für die Druckverluste sind in Tabelle 3.2 auf der nächsten Seite dargestellt.

## Proportionalitätsgesetze

Die Proportionalitätsgesetze stellen den Zusammenhang im Teillastfall zwischen Luftwechsel  $n$  einerseits und Luftvolumenstrom  $v_{RLT}$ , Druckverlust  $\Delta p$  sowie Ventilatorleistung  $P$  andererseits dar (Recknagel et al., 2007).

$$v_{RLT,2} = v_{RLT,1} \cdot \left( \frac{n_2}{n_1} \right) \quad (3.3a)$$

$$\Delta p_2 = \Delta p_1 \cdot \left( \frac{n_2}{n_1} \right)^2 \quad (3.3b)$$

$$P_2 = P_1 \cdot \left( \frac{n_2}{n_1} \right)^3 \quad (3.3c)$$

Tabelle 3.2.: Richtwerte für Druckverluste des Zuluft- und Abluftvolumenstroms gemäß Beck (2000)

Anlagenteil	Druckverluste [Pa] Zuluftvolumenstrom			Druckverluste [Pa] Abluftvolumenstrom		
	minimal	üblich	maximal	minimal	üblich	maximal
Filter	120	149	200	120	149	200
Erhitzer	10	77	160	–	–	–
Kühler	40	186	400	–	–	–
Befeuchter	15	134	300	–	–	–
Schalldämpfer	40	61	100	40	61	100
WRG	80	192	370	80	192	370
<b>Summe Gerät</b>	<b>305</b>	<b>799</b>	<b>1530</b>	<b>240</b>	<b>402</b>	<b>670</b>
Luftkanal	250	643	1800	200	607	1500
<b>Summe Anlage</b>	<b>555</b>	<b>1442</b>	<b>3330</b>	<b>440</b>	<b>1009</b>	<b>2170</b>

Die jeweiligen Potenzen ergeben sich aus dem Einfluss der Strömungsgeschwindigkeit: der Luftvolumenstrom verhält sich linear, der Druckverlust quadratisch und die Ventilatorleistung zur dritten Potenz abhängig von der Strömungsgeschwindigkeit in der RLT-Anlage. Die Proportionalitätsgesetze haben maßgeblichen Einfluss auf den Energiebedarf zur Luftförderung, wenn die eingesetzten Ventilatoren unterschiedliche Luftvolumenströme in Teillastfällen fördern können. Dies ist beispielsweise bei KVS-Anlagen mit mehreren Schaltstufen oder bei VVS-Anlagen der Fall. Aus den Gleichungen 3.1 und 3.3c kann gefolgert werden, dass für diese Anlagen das Verhältnis des Energiebedarfs im Teillastbetrieb in dritter Potenz vom Energiebedarf in Volllastbetrieb abhängig ist:

$$Q_{LF} = P_{LF,max} \cdot t_{RLT} \cdot d_{RLT} \cdot \left( \frac{n}{n_{max}} \right)^3 \quad (3.4)$$

Aus diesem Zusammenhang ergibt sich im Teillastfall eine deutlich höhere spezifische Ventilatorleistung als unter Volllast, wodurch auch ein überproportional höherer Endenergiebedarf für Luftförderung als bei Volllast resultiert.

### Druckverhältnisse in VVS-Anlagen

Raumlufttechnische Anlagen mit variablem Volumenstrom (VVS-Anlagen) haben den Vorteil, dass eine Volumenstrom-abhängige Leistungsanpassung der Ventilatoren möglich ist und damit eine höhere Energieeffizienz im Teillastbereich erzielt werden kann. Bei mit VVS-Anlagen versorgten Gebäuden oder Gebäudeteilen wird der erforderliche Wärme- oder Kältebedarf in den einzelnen Räumen über Zuluft mit stets konstanter Temperatur abgedeckt. Dazu wird der raumweise erforderliche Zuluftvolumenstrom über dezentrale Volumenstromregler (meist Drosselklappen) geregelt. Der insgesamt zu fördernde Luftvolumenstrom ist daher in hohem Maße variabel, es ist eine Volumenstromregelung des Ventilators erforderlich, um die Druckverluste im Kanalnetz und den dezentralen Volumenstromreglern so gering wie möglich zu halten. Die Druckverluste in den Verteilleitungen werden durch einen Druckfühler und die Volumenstromregelung der Ventilatoren konstant gehalten. Daraus resultieren zwei Abschnitte im Kanalnetz:

- Abschnitt 1: Raumluftechnik-Zentrale  
Die Widerstände durch Ansaugung, Filter, und Konditionierungselemente sind konstant, durch den variablen Luftvolumenstrom sind die Druckverluste variabel ( $\Delta p = \text{var.}$ ).
- Abschnitt 2: Verteilnetz  
Durch den Druckfühler werden die Druckverluste im Verteilnetz konstant gehalten, auf die unterschiedlichen Widerstände durch dezentrale Drosselregelungen wird mit dem variablen Luftvolumenstrom reagiert ( $\Delta p = \text{konst.}$ ).

Als Kenngröße zur Beschreibung derartiger VVS-Anlagen im Rahmen vereinfachter Berechnungsverfahren hat sich die Druckverhältnis-Zahl  $f_p$  erwiesen, die das Verhältnis aus konstantem und variablem Druckverlust im Auslegungszustand angibt. (Schiller, 2005; Recknagel et al., 2007)

### Wirkungsgrad der Luftförderungseinrichtung

Der Wirkungsgrad der Luftförderungseinrichtung  $\eta_{ges}$  wird bestimmt durch die Wirkungsgrade der Einzelkomponenten Ventilator  $\eta_{Ventilator}$ , Motor  $\eta_{Motor}$ , Antrieb (Wellenantrieb)  $\eta_{Antrieb}$  und Regelung  $\eta_{Regelung}$ . Ein Wirkungsgradverlust aufgrund von Regelung tritt nur bei VVS-Anlagen auf, wo der Luftvolumenstrom beispielsweise über Frequenzumformer geregelt wird. (Recknagel et al., 2007; Fitzner, 2008)

$$\eta_{ges} = \eta_{Ventilator} \cdot \eta_{Antrieb} \cdot \eta_{Motor} \cdot (\eta_{Regelung}) \quad (3.5)$$

Richtwerte für die einzelnen Wirkungsgrade wurden analog zu den Druckverlusten von Beck (2000) erhoben. Die angegebenen Richtwerte sind in Tabelle 3.3 zusammengefasst.

Tabelle 3.3.: Richtwerte für Wirkungsgrade der Luftförderungseinrichtungen des Zuluft- und Abluftvolumenstroms gemäß Beck (2000)

Anlagenteil	Wirkungsgrad [-] Zuluftvolumenstrom			Wirkungsgrad [-] Abluftvolumenstrom		
	minimal	üblich	maximal	minimal	üblich	maximal
Ventilator	0,50	0,77	0,86	0,50	0,75	0,86
Antrieb	0,88	0,92	1	0,88	0,92	1
Motor	0,65	0,86	0,98	0,65	0,84	0,98
Regelung	0,92	0,95	0,96	0,92	0,95	0,96
<b>Gesamt</b>	<b>0,26</b>	<b>0,58</b>	<b>0,81</b>	<b>0,26</b>	<b>0,55</b>	<b>0,81</b>

### Temperaturerhöhung

Durch Reibung treten im Kanalsystem Druckverluste auf, wodurch (nahezu) die gesamte für den Betrieb des Ventilators eingesetzte Energie in Form von Wärme an den Luftvolumenstrom abgegeben wird. Dies führt zu einer Temperaturerhöhung des Luftvolumenstroms in Abhängigkeit von den vorhandenen Druckverlusten und dem Wirkungsgrad der Ventilatereinheit sowie durch Dichte und Wärmespeicherkapazität der Luft.

$$\Delta\theta_{VENT} = \frac{\Delta p_{ges}}{\rho_L \cdot c_{p,L} \cdot \eta_{ges}} \quad (3.6)$$

Als Größenordnung für die Temperaturerhöhung des Luftvolumenstroms durch den Betrieb der Luftförderungseinheit kann ca. 1 K je 1000 Pa Druckerhöhung angegeben werden. (Recknagel et al., 2007)

## Zusammenfassung

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass für die Höhe des Luftförderungsenergiebedarfs grundsätzlich drei wesentliche Einflussgrößen vorhanden sind: die Druckverhältnisse im Kanalnetz, die Teillastzustände und damit die Proportionalitätsgesetze und der Wirkungsgrad der Luftförderungseinrichtung. Die Antriebsenergie des Ventilators dient zur Überwindung der Druckverluste im Kanalnetz, die durch Rohrreibung, Widerstände und Einbauten entstehen. Dadurch wird die Antriebsenergie größtenteils in Wärme umgewandelt und führt schlussendlich zu einer Temperaturerhöhung des Luftvolumenstroms.

Je nach Art der RLT-Anlage müssen daher verschiedene Systeme mit unterschiedlichen Berechnungsgängen unterschieden werden:

- KVS-Anlage einstufig
- KVS-Anlage mehrstufig
- VVS-Anlage

Für diese drei unterschiedlichen Anlagentypen werden in den folgenden Abschnitten Berechnungsalgorithmen dargestellt, die zur Bewertung der Gesamtenergieeffizienz herangezogen werden können.

### 3.2.1. Einstufige Konstant-Volumenstrom-Anlagen

Die Berechnung des Luftförderungsenergiebedarfs von einstufigen KVS-Anlagen kann mittels der Gleichungen 3.1 und 3.2 vorgenommen werden. Jedenfalls erforderlich ist der zu fördernde Luftvolumenstrom, Druckverhältnisse und Wirkungsgrade können als konstant angesehen werden, wodurch auch der Leistungsbedarf (entspricht der installierten elektrischen Wirkleistung) konstant ist. Dieser multipliziert mit der Anlagenbetriebszeit ergibt den Energiebedarf der einstufigen KVS-Anlage.

Wesentlich für die Berechnung ist somit das Erheben der Einflussgrößen Luftvolumenstrom, Druckverluste im Kanalnetz, Wirkungsgrad der Luftförderungseinrichtungen und Anlagenbetriebszeit. Für alle Werte können – sofern bekannt – Planerangaben beziehungsweise Anlagendaten verwendet werden. Wenn keine genaueren Daten erhebbare sind, kann auf Defaultwerte zurückgegriffen werden, wie sie beispielsweise in den Tabellen 3.2 auf Seite 39 und 3.3 auf der vorherigen Seite (jeweils nach Beck, 2000) dargestellt sind. Für die Anlagenbetriebszeit und den Luftvolumenstrom beziehungsweise die Luftwechselzahl sind zahlreiche normativ festgelegte Vorgabewerte vorhanden, die für die Berechnung herangezogen werden können. Derartige Festlegungen von Nutzungsprofilen für unterschiedliche Raumnutzungen sind beispielsweise in DIN V 18599 (Teil 10), dem SIA-Merkblatt SIA 2024 oder in den Nutzungsprofilen für Gebäudekategorien in ÖNORM B 8110-5 festgelegt.

### 3.2.2. Mehrstufige Konstant-Volumenstrom-Anlagen

Bei KVS-Anlagen mit mehreren Schaltstufen erfolgt die Berechnung für den Volllastbetrieb analog zu einstufigen KVS-Anlagen. Für Betriebsphasen im Teillastzustand sind zusätzliche Angaben erforderlich:

- Luftwechselzahl (Luftvolumenstrom) der verschiedenen Teillastzustände (Schaltstufen)
- Anlagenbetriebszeit in den Teillastzuständen

Damit kann über die Proportionalitätsgesetze auch der Energiebedarf in den verschiedenen Teillastzuständen und in weiterer Folge der gesamte Energiebedarf ermittelt werden. Eine mögliche Umsetzungsvariante ist von Hörner (2003) beschrieben.

### 3.2.3. Variabel-Volumenstrom-Anlagen

In VVS-Anlagen sind bedingt durch die stufenlose Anpassung des geförderten Volumenstroms an den jeweiligen Wärme- und Kältebedarf ständig unterschiedliche Anlagenzustände hinsichtlich Volumenstrom, Druckverhältnissen und Wirkungsgraden vorhanden. Eine Berechnung des Energiebedarfs zur Luftförderung ist daher nur durch eine dynamische Simulation möglich, in der neben den exakten Anlagenparametern auch das Gebäude als bedeutende Einflussgröße modelliert wird.

Eine hinreichend genaue Näherung für die Berechnung im Rahmen der Bewertung der Gesamtenergieeffizienz beschreibt Schiller (2005). Dieses Modell fand Anwendung in der DIN V 18599 und in der österreichischen Energieausweis-Norm ÖNORM H 5057.

Schiller verwendet die Druckverhältnis-Zahl  $f_p$ , um die maßgeblichen Druckverhältnisse in der VVS-Anlage zu definieren.

$$f_p = \frac{\Delta p_{konst}}{\Delta p_{ges}} = \frac{\Delta p_{konst}}{\Delta p_{konst} + \Delta p_{var}} \quad (3.7)$$

Aus dem Leistungsbedarf des Ventilators im Auslegungsfall und dem Proportionalitätsgesetz für die Druckverhältnisse kann damit Gleichung 6.7 abgeleitet werden:

$$P_{VVS} = \frac{v_{RLT} \cdot \Delta p_{ges} \cdot f_p}{\eta_{ges}} + \frac{v_{RLT}^3 \cdot \Delta p_{ges} \cdot (1 - f_p)}{\eta_{ges} \cdot v_{max}^2} \quad (3.8)$$

Der monatliche Energiebedarf für die Luftförderung kann durch die Integration der Ventilatorleistung über die Zeit berechnet werden. Dabei ist  $\sum_m v_{RLT}$  der Summenwert der stündlichen Volumenströme innerhalb des Betrachtungszeitraums und  $\sum_m v_{RLT}^3$  analog dazu die Summe der potenzierten stündlichen Volumenströme innerhalb des Betrachtungszeitraums.

$$Q_{LF,VVS} = \frac{\Delta p_{ges} \cdot f_p}{\eta_L} \cdot \sum_m v_{RLT} + \frac{\Delta p_{ges} \cdot (1 - f_p)}{\eta_L \cdot v_{max}^2} \cdot \sum_m v_{RLT}^3 \quad (3.9)$$

### 3.2.4. Vereinfachtes Berechnungsverfahren

Von Schmidt et al. (2004, 2005) wurde im Rahmen der Forschungsprojekte BOLKA und BOLKA 2 ein vereinfachtes Verfahren zur Berechnung des Luftförderungsenergiebedarfs im

Planungsprozess ausgearbeitet. Dabei wurde keine Unterscheidung in verschiedene Anlagentypen vorgenommen, stattdessen wurde ein Kennwertverfahren entwickelt, im Rahmen dessen unterschiedliche Anlagen durch einen Anlagen-Exponenten charakterisiert werden.

Ausgehend von der Auslegungsleistung des eingesetzten Ventilators kann der Luftförderungsenergiebedarf für unterschiedliche Anlagentypen gemäß Gleichung 3.10 bestimmt werden.

$$Q_{LF} = P_{max} \cdot t_{RLT} \cdot d_{RLT} \cdot \left( \frac{v_{RLT}}{v_{max}} \right)^h \quad (3.10)$$

Zur Berechnung sind zwei Kennzahlen erforderlich: Das Luftvolumenstromverhältnis  $\frac{v_{RLT}}{v_{max}}$  und der Anlagen-Exponent  $h$ , der die Art der Anlage charakterisiert und im Rahmen des Forschungsvorhabens für verschiedene Anlagentypen empirisch bestimmt wurde. Für das Luftvolumenstromverhältnis können entweder Defaultwerte gemäß Tabelle 3.4 herangezogen werden oder eine Abschätzung über eine vereinfachte Berechnung vorgenommen werden.

Tabelle 3.4.: Anhaltswerte für das Luftvolumenstromverhältnis im vereinfachten Berechnungsverfahren des Luftförderungsenergiebedarfs nach Schmidt et al. (2005, vereinfacht)

Gebäudetyp	Betriebszeit pro Jahr	Betriebsweise	Luftvolumenstromverhältnis
Museum	8760	2-stufig (50 oder 100 %)	0,64
Ausstellungsraum		VVS (Stellbereich 20-100%)	0,47
Bürogebäude	2860	2-stufig (50 oder 100 %, zeitabhängig)	0,82
		VVS nach CO <sub>2</sub> -Sensor	0,70
Messehalle	2500	2-stufig (50 oder 100 %, nutzungsabhängig)	0,70
		2-stufig (50 oder 100 %, nach CO <sub>2</sub> -Sensor)	0,62
Fertigungsstätten	3528	2-stufig (50 oder 100 %, zeitabhängig)	0,98
Zweischichtbetrieb	8760	Zentralgerät, nur Außenluft	1,00
Operationsräume		Zentralgerät, Mischluft und Außenluft	0,45
Wohnungslüftung	2500	Ganzjahresbetrieb	1,00
	7877	Heizperiodenbetrieb (Heizgrenze 20 °C)	0,89
	7142	Heizperiodenbetrieb (Heizgrenze 17 °C)	0,81

Die Anwendung dieses Verfahrens war ursprünglich für die VDI 2067 Teil 21 beziehungsweise für einen neuen Teil zum Thema „Lufttransport“ geplant, wurde jedoch bis dato nicht im Rahmen einer VDI-Richtlinie veröffentlicht.

### 3.3. Normative Vorgaben auf CEN-Ebene

Die im Rahmen des Mandats M 343 vom CEN entwickelten Normen beinhalten auch Vorgaben für die Bewertung der Energieeffizienz von raumlufttechnischen Anlagen. Die prCEN/TR 15615 entstammende Abbildung 3.9 gibt einen Überblick über dieses Normenpaket. Nachdem diese Normen im Zuge der geplanten Überarbeitung vollständig in die österreichischen Berechnungsalgorithmen integriert und lediglich nicht geregelte Bereiche in nationalen Anwendungsdokumenten definiert werden sollen, sind die darin enthaltenen Vorgaben zu prüfen und in neuen Berechnungsalgorithmen zu berücksichtigen.

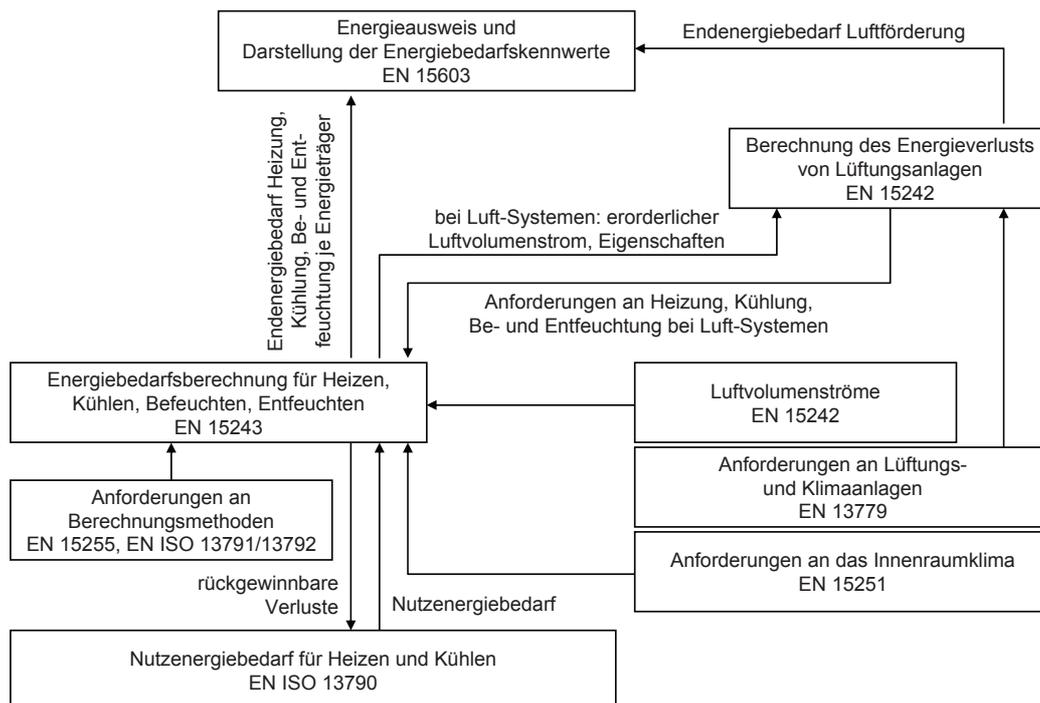


Abbildung 3.9.: Zusammenhang der Normen des Mandats M 343 auf Nutzenergie-, Endenergie- und Gesamtenergieebene für die Beurteilung von raumlufttechnischen Anlagen. (eigene Darstellung nach CEN/TR 15615:2008)

Im folgenden Abschnitt werden die in Abbildung 3.9 dargestellten Normen hinsichtlich Anwendungsbereich, Ziel und zentraler Inhalte analysiert. Daraus abgeleitet wird erörtert, wie groß deren Einfluss auf die Überarbeitung der österreichischen Berechnungsnormen und dabei insbesondere auf die in dieser Dissertation dokumentierte Überarbeitung der ÖNORM H 5057 für die Berücksichtigung raumlufttechnischer Anlagen ist.

## ÖNORM EN 13779

*„Diese Norm bietet Planern, Gebäudeeigentümern und Nutzern Leitlinien für Lüftungs- und Klimaanlageanlagen, um bei akzeptablen Installations- und Betriebskosten ein zu allen Jahreszeiten behagliches und gesundheitlich unbedenkliches Innenraumklima zu schaffen.“*

(ÖNORM EN 13779:2008)

**zentrale Inhalte:** Die zentralen Inhalte dieser Norm sind relevante Aspekte zu Planung und Ausführung raumluftechnischer Anlagen in Nichtwohngebäuden. Dabei wird insbesondere eine Einteilung in unterschiedliche Kategorien in Abhängigkeit verschiedener Klassifizierungsmerkmale (wie beispielsweise Verunreinigungsgrad der Außenluft, spezifische Ventilatorleistung oder Druckbedingungen im Raum) vorgenommen. Der Schwerpunkt dieser Norm sind anlagenbezogene Aspekte, dazu gehören unter anderem:

- Aspekte zum Erreichen und Aufrechterhalten einer guten Energieeffizienz der Anlagen ohne dabei negative Auswirkungen auf die Qualität des Innenraumklimas zu haben;
- die Beschreibung relevanter Parameter des Innenraumklimas;
- die Definition von Auslegungskriterien und Anlagenleistungen.

**Fazit:** Diese Norm enthält keinerlei Vorgaben für Berechnungsalgorithmen von Lüftungsanlagen. Sie dient in erster Linie dazu, als Planer raumluftechnische Anlagen besser beschreiben zu können und dadurch in weiterer Folge die gewünschte Qualität geliefert zu bekommen.

Es wird eine Klassifizierung aufgrund der spezifischen Ventilatorleistung  $P_{SFP}$  in SFP-Kategorien vorgenommen. Die Grenzwerte dieser Klassen können als Defaultwerte für die Berechnung des Luftförderungsenergiebedarfs verwendet werden.

Es handelt sich bei der ÖNORM EN 13779:2008 also vorwiegend um eine Planungsnorm.

## ÖNORM EN ISO 13790

*„Diese Internationale Norm [...] enthält einen Satz zusammenhängender, jedoch unterschiedlich ausführlicher Berechnungsverfahren zum Energiebedarf für die Raumheizung und -kühlung eines Gebäudes und zum Einfluss der rückgewinnbaren thermischen Verluste Technischer [sic!] Gebäudeausrüstungen, wie z. B. der Heiz- und Kühlanlagen.“*

(ÖNORM EN ISO 13790:2008)

**zentrale Inhalte:** Die wesentlichen Inhalte dieser Norm sind die vollständigen Beschreibungen der Berechnungsmethoden „vereinfachtes Stundenverfahren“ und „quasi-stationäres Monatsverfahren“. Die wichtigsten Ausgangsdaten sind die folgenden:

- jährlicher Heizwärme- und Kühlbedarf und
- Länge der Heiz- und der Kühlperiode, die den Energie- und Hilfsenergiebedarf von Anlagenteilen in Abhängigkeit von der Periodenlänge beeinflusst.

**Fazit:** Diese Norm stellt die Grundlage für die Berechnung des Heizwärmebedarfs und des Kühlbedarfs des Gebäudes dar. Diese Bedarfswerte definieren in weiterer Folge die erforderliche Nutzenübergabe gemäß VDI 2067-21, die von der raumlufttechnischen Anlage gewährleistet werden muss. Zu diesem Zweck ist ein vereinfachtes Stundenverfahren vollständig beschrieben, mithilfe dessen die Ermittlung stundenweiser Energiebedarfswerte vorgenommen werden kann. Diese Energiebedarfswerte können verwendet werden, um bei einer stundenweisen Berechnung des Nutzenergiebedarfs zur Luftvolumenstromkonditionierung den erforderlichen Zuluftzustand bestimmen zu können.

## ÖNORM EN ISO 13791

*„Dieses Dokument ist für die Verwendung durch Spezialisten zur Entwicklung und/oder für Validierungsmethoden stündlicher Berechnungen innerer Temperaturen eines Einzelraumes bestimmt.“*

(ÖNORM EN ISO 13791:2005)

**zentrale Inhalte:** Beispiele von Anwendungen der Norm sind:

- Abschätzung des Risikos einer sommerlichen Überwärmung;
- Optimierungsmöglichkeiten von Baukonstruktionen (Wärmespeicherkapazität des Bauwerks, Sonnenschutz, Lüftungsrate usw.), um sommerliche Überwärmung möglichst zu vermeiden;
- Abschätzung der Notwendigkeit einer mechanischen Kühlung im Bauwerk.

**Fazit:** Die Norm ist als Vorgabe für die Überarbeitung der ÖNORM B 8110-3:1999 (stündliches Verfahren zur Beurteilung der sommerlichen Überhitzung) von großer Bedeutung, da ein vollständiges instationäres Berechnungsmodell abgebildet ist. Für die Überarbeitung der Berechnungsalgorithmen der ÖNORM H 5057 ist die Norm nicht relevant.

## ÖNORM EN ISO 13792

*„Die Innentemperatur eines Raumes in der warmen Jahreszeit kann mit detaillierten Berechnungsverfahren bestimmt werden. EN ISO 13791 legt die Annahmen und Kriterien fest, die für die Beurteilung von Bedingungen in Räumen ohne Anlagentechnik im Sommer einzuhalten sind. Für viele Anwendungsfälle sind die auf der Grundlage der Berechnungsverfahren in EN ISO 13791 zu detailliert [sic!]. Deshalb werden vereinfachte Verfahren aus der mehr oder weniger gleichen Beschreibung der Wärmeübertragungsprozesse in einem Gebäude abgeleitet.“*

(ÖNORM EN ISO 13792:2005)

**zentrale Inhalte:** Die zentralen Inhalte der ÖNORM EN ISO 13792 decken sich im Wesentlichen mit jenen der ÖNORM EN ISO 13791. Für die Beurteilung des Risikos der sommerlichen Überwärmung wird in dieser Norm ein vereinfachtes Verfahren vorgeschlagen.

**Fazit:** Wie die zuvor beschriebene ÖNORM EN ISO 13791 ist auch diese Norm als Vorgabe bei der Überarbeitung der ÖNORM B 8110-3 (vereinfachtes Verfahren zur Beurteilung der sommerlichen Überhitzung) zu berücksichtigen. Für die Überarbeitung der ÖNORM H 5057 ist auch diese Norm nicht relevant.

## ÖNORM EN 15232

*„Diese Europäische Norm wurde ausgearbeitet, um Konventionen und Verfahren zur Abschätzung der Auswirkungen von Gebäudeautomationssystemen (GA-Systemen) und Maßnahmen des technischen Gebäudemanagements (TGM) auf die Energieeffizienz und den Energieverbrauch von Gebäuden zu erarbeiten.“*

(ÖNORM EN 15232:2007)

**zentrale Inhalte:** Für Gebäudeautomationssysteme werden ein Verfahren zur Definition von Mindestanforderungen sowie vereinfachte und ausführliche Verfahren zur Bewertung der Abschätzung und Auswirkungen bereitgestellt.

**Fazit:** Der Einsatzbereich der ÖNORM EN 15232 ist das Gebiet der Gebäudeautomation, der Einfluss auf die Berechnungsalgorithmen für raumlufttechnische Anlagen ist vernachlässigbar.

## ÖNORM EN 15241

*„Diese Norm legt das Verfahren zur energetischen Berechnung der durch die Lüftungsanlage und durch Infiltration verursachten Luftvolumenströme fest. Die Auswirkung der Lüftungsanlage wird als direkte (Energie, die zur Behandlung und Bewegung der Luft im Lüftungssystem aufgewendet wird) und als indirekte (Auswirkung auf Heizung und Kühlung des Gebäudes) Auswirkung berechnet.“*

(ÖNORM EN 15241:2007)

**zentrale Inhalte:** Die wesentlichen Inhalte dieser Norm sind Verfahren zur Bestimmung der Charakteristika der Zuluft („Luftinformationen“) und die erforderliche Energie für die Luftbehandlung. Diese Luftinformationen sind Lufttemperatur, Luftfeuchte und Luftvolumenstrom. Dabei wird nicht nur mechanische Lüftung und Fensterlüftung betrachtet, sondern auch durch Infiltration entstehender Luftaustausch. In der Norm werden die folgenden Systeme berücksichtigt: Rohrleitungen, Ventilatoren, Wärmetauscher, Mischkammer, Heizelemente, Kühlelement, Befeuchtung und Entfeuchtung. Für Erdreichwärmetauscher ist eine vereinfachte Berechnungsmethode in der Norm abgebildet. (Lahmidi und Caruel, 2009a)

**Fazit:** Die ÖNORM EN 15241 liefert die wesentlichen Grundlagen für die Berechnung des Nutzenergiebedarf zur Konditionierung des Luftvolumenstroms und des Luftförderungsenergiebedarfs in raumlufttechnischen Anlagen. Die betrachteten Elemente sind in ihren Grundzügen beschrieben, für eine Umsetzung in tatsächlichen Programmcode sind die Informationen jedoch vielfach nicht ausreichend, sodass für die Umsetzung im Rahmen der Überarbeitung der ÖNORM H 5057 ergänzende Angaben erforderlich sind.

## ÖNORM EN 15242

*„Diese Europäische Norm beschreibt das Verfahren zur Berechnung der durch die Lüftung verursachten Luftvolumenströme in Gebäuden, die für Anwendungen wie z. B. Energieberechnungen, Heiz- und Kühllastberechnungen und Bewertungen der sommerlichen Behaglichkeit und der Raumlufqualität verwendet werden.“*

(ÖNORM EN 15242:2009)

**zentrale Inhalte:** Die in dieser Norm definierten Berechnungsalgorithmen für die Ermittlung des Luftvolumenstroms sind für mechanisch und natürlich belüftete Gebäude, sowie für Gebäude mit Hybridlüftungen anzuwenden. Dazu werden drei unterschiedliche Methoden vorgeschlagen: die direkte und die iterative Methode sowie eine statistische Analyse für die Energiebedarfsberechnung. (Lahmidi und Caruel, 2009b)

**Fazit:** Die in ÖNORM EN 15242:2009 beschriebenen Berechnungen der Luftvolumenströme würden grundsätzlich die Voraussetzung für eine genauere Betrachtung folgender Luftvolumenströme darstellen:

- zusätzlicher Luftvolumenstrom durch Undichtigkeitsverluste der Luftleitungen
- durch freie und Hybridlüftung hervorgerufener Luftvolumenstrom
- durch Verbrennungsvorgänge hervorgerufener Luftvolumenstrom
- Luftvolumenstrom durch Fensteröffnung
- detaillierte Berechnung von Exfiltrations- und Infiltrationsluftvolumenströmen

Diese Betrachtungen wären demnach für die Normen ÖNORM B 8110-6 (Luftvolumenstrom durch Fensteröffnung, Nachtlüftung, Infiltration), ÖNORM H 5056 (Luftvolumenstrom durch Verbrennungsvorgänge) und ÖNORM H 5057 (Undichtigkeitsverluste von RLT-Anlagen, Hybridlüftung) von wesentlicher Bedeutung. Nachdem jedoch in der österreichischen Berechnungsmethode der Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden diese Einzelwerte – sofern überhaupt berücksichtigt – nicht durch Berechnungen sondern durch Defaultwerte (Nutzungsprofil, etc.) bestimmt sind, ist der reale Einfluss der Norm auf die österreichischen Berechnungen nicht sonderlich hoch.

## ÖNORM EN 15243

*„In [...] der vorliegenden Norm wird die Berechnung des Energiebedarfs von RLT-Anlagen unter besonderer Berücksichtigung der Energieeffizienzbemessung in Verbindung mit der Richtlinie über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden behandelt. Die Berechnung des Energiebedarfs eines Gebäudes wird in prEN ISO 13790, Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden - Berechnung des Energieverbrauchs für die Raumheizung und -kühlung behandelt; die nach dieser Norm erhaltenen Abgaben dienen als Eingangswerte für die in der vorliegenden Norm behandelten Verfahren. Berechnungsverfahren, die dieser Norm genügen, dürfen auch für andere Zwecke angewendet werden (z. B. für die Anlagendimensionierung).“*

(ÖNORM EN 15243:2007)

**zentrale Inhalte:** Der wesentliche Inhalt der ÖNORM EN 15243 ist die Berechnung des Einflusses von Kühlung, Befeuchtung und Entfeuchtung über Klimaanlage auf die Gesamtenergieeffizienz des Gebäudes. Der normative Teil ist eher allgemein gehalten, da eine Vielzahl von unterschiedlichen Systemlösungen bei Klimaanlage durch diese Norm abgedeckt werden soll. Eine einheitliche normative Lösung stünde einerseits im Widerspruch mit dem Ansatz der unterschiedlichen Umsetzungsarten der EPBD in den Nationalstaaten, andererseits wäre unter den Experten keine Einigung auf ein einheitliches Berechnungsverfahren absehbar gewesen. Neben dem normativen Teil sind aus diesem Grund zahlreiche, sehr umfangreiche informative Anhänge beigefügt. Diese Anhänge

enthalten im Wesentlichen Berechnungsalgorithmen für die Bewertung der Energieeffizienz von Klimaanlage. Zusätzlich ist das EDR-System zur Überprüfung von Gebäude- und Systemberechnungsverfahren beschrieben, auf Grundlage dessen die Anwendbarkeit neu entwickelter Berechnungsverfahren abgeschätzt werden kann (Zweifel, 2009).

**Fazit:** Im Anwendungsbereich der Norm werden als maßgebliche Zielgruppe „Ersteller/Entwickler von Vorschriften und Werkzeugen“ genannt, „für die die Anforderungen an die bei der Berechnung des Energiebedarfs entsprechend der EPBD anzuwendenden Verfahren vorgestellt werden“ (ÖNORM EN 15243:2007). Demnach ist diese Norm von großer Bedeutung für die Weiterentwicklung der österreichischen Energieausweismenormen und hier insbesondere für die Normen für Lüftung und Kühlung. Aus diesem Grund müssen die Vorgaben der ÖNORM EN 15243 in jedem Fall eingehalten werden.

## ÖNORM EN 15251

*„Die vorliegende Norm legt fest, wie Auslegungskriterien für die Anlagendimensionierung erstellt und verwendet werden können. Darüber hinaus legt sie die Hauptparameter fest, die als Eingangswerte für die Gebäudeenergieberechnung und die Langzeitbewertung des Innenraumklimas verwendet werden. Schließlich benennt diese Norm Parameter, die zur Überwachung des Innenraumklimas entsprechend der Energieeffizienzrichtlinie zu verwenden sind.*

*Je nach Gebäudetyp, den sich im Raum aufhaltenden Personen, Klima und nationalen Unterschieden können unterschiedliche Kategorien für Kriterien angewendet werden. Diese Norm legt mehrere unterschiedliche Kategorien des Innenraumklimas fest, die für einen zu konditionierenden Raum ausgewählt werden können. Diese Kategorien können auch verwendet werden, um eine jährliche Gesamtbeurteilung des Innenraumklimas über den prozentualen zeitlichen Anteil in jeder Kategorie zu geben. Unter Beachtung der Grundsätze dieser Norm kann der Planer auch andere Kategorien wählen.“*

(ÖNORM EN 15251:2007)

**zentrale Inhalte:** Die ÖNORM EN 15251 behandelt im normativen Teil qualitativ Kriterien für die Bewertung des Innenraumklimas. Insbesondere wird die Verknüpfung mit anderen diesbezüglichen EN-Normen der unterschiedlichen Fachgebiete hergestellt. In informativen Anhängen erfolgt die Festlegung von Kategorien (I-III) für unterschiedliche Behaglichkeitsparameter wie thermisches Raumklima, Raumluftqualität und Lüftungsraten, Luftfeuchte, Beleuchtung und Schall. Als wesentliche Beurteilungskriterien werden das vorhergesagte mittlere Votum PMV (predicted mean vote) und die Rate der Unzufriedenen PPD (percentage of people dissatisfied) herangezogen.

**Fazit:** Diese Norm wird vorwiegend zur Auslegungsrechnung von Gebäuden und gebäudetechnischen Anlagen herangezogen. Für die Bewertung der Energieeffizienz von Gebäuden dient sie erst in zweiter Linie. Jedoch ist sie sehr hilfreich, um Richtwerte für Nutzungsprofile für exakte Energiebedarfsberechnungen zu erhalten.

## ÖNORM EN 15603

*„Diese Norm legt einen allgemeinen Rahmen für die Bewertung des Gesamtenergiebedarfs eines Gebäudes und die Berechnung der Energiekennwerte hinsichtlich der Primärenergie, der CO<sub>2</sub>-Emissionen oder der durch die nationale*

*Energiapolitik festgelegten Parameter fest. In separaten Normen werden der Energiebedarf für bestimmte Versorgungseinheiten innerhalb eines Gebäudes (d. h. Heizung, Kühlung, Warmwasserbereitung, Lüftung, Beleuchtung) berechnet und Ergebnisse gewonnen, die hier in einer Kombination zur Darstellung des Gesamtenergiebedarfs verwendet werden. Diese Bewertung ist nicht auf das Gebäude allein begrenzt, sondern berücksichtigt auch die allgemeineren umweltbezogenen Auswirkungen der Energieversorgungskette.“*

(ÖNORM EN 15603:2008)

**zentrale Inhalte:** In der ÖNORM EN 15603 ist die grundsätzliche Systematik für die Bewertung der Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden festgelegt. Im normativen Teil werden die wesentlichen Begriffe definiert, Bewertungsgrenzen festgelegt und der Einsatzzweck aufgezeigt. Es wird die Systematik zur Erhebung des Energiebedarfs und des Energieverbrauchs beschrieben. Zudem werden allgemeine Vorgaben zur Planung von Modernisierungsmaßnahmen und zum erforderlichen Prüfbericht gemacht. Der informative Anhang beschäftigt sich unter anderem mit der Datenerhebung und der Energieüberwachung und definiert Vorschlagswerte für Konversionsfaktoren für die Berechnung des Primärenergiebedarfs und der CO<sub>2</sub>-Emissionen.

**Fazit:** Der allgemeine Rahmen, den diese Norm für die Bewertung des Gesamtenergiebedarfs von Gebäuden legt, ist in den österreichischen Energieausweis-Normen vollständig erfüllt. Die Anhänge können als ergänzende Information gut genutzt werden, jedoch bestehen für eine Vielzahl der darin beschriebenen Aspekte normative Vorgaben.

**Teil II.**

**Die ÖNORM H 5057**



## 4. Einleitung

In diesem Teil der Dissertation wird die ÖNORM H 5057 in der Version 2010-01-01 beschrieben. Die Beschreibung folgt der Gliederung dieser Ausgabe der Norm. Die Änderungen, die im Vergleich zur ersten Ausgabe der Norm als Vornorm mit Ausgabedatum 2007-08-01 vorgenommen wurden, sind nahezu ausschließlich auf Untersuchungen im Rahmen der vorliegenden Dissertation zurückzuführen. Um darzustellen, welche Adaptionen tatsächlich erforderlich waren und auf welche Überlegungen diese zurückzuführen sind, wird jedes der folgenden Kapitel um einen Abschnitt „Erforderliche Normänderungen“ erweitert, in dem diese Änderungen konkret beschrieben werden.

Neben den mit der Neuauflage 2010-01-01 bereits umgesetzten Änderungsvorschlägen wurde im Zuge eines von der Stadt Wien geförderten Forschungsprojektes ein Verfahren zur standortspezifischen Berechnung des Nutzenergiebedarfs zur Konditionierung des Luftvolumenstroms in stundenweisen Zeitschritten ausgearbeitet (Pöhn et al., 2009).

### 4.1. Anwendungsbereich

In der hier beschriebenen ÖNORM H 5057:2010 sind „die Grundlagen zur Berechnung des Raumluftheizenergiebedarfs für Wohn- und Nichtwohngebäude“ (ÖNORM H 5057:2010) festgelegt.

Dies umfasst entsprechend den Bezeichnungen der VDI 2067 den Bereich „Nutzenübergabe RLT-Anlage“ gemäß Abbildung 4.1 auf der nächsten Seite – also das Versorgen des Raumes mit der erforderlichen Menge an Wärme und Feuchte. Dabei ist unter „Versorgen“ auch die Wärme- und Feuchtereduktion durch Kühlung und Entfeuchtung zu verstehen.

Im Abschnitt „Luftbehandlung“ erfolgt die Konditionierung des Zuluftvolumenstroms – in der vorliegenden Norm wird der auftretende Energiebedarf als „Nutzenergiebedarf zur Konditionierung des Luftvolumenstroms“ bezeichnet. Es werden getrennte Bedarfswerte für Heizen, Kühlen und Befeuchten mittels Dampfbefeuchtung angegeben.

Die „Nutzenübergabe RLT-Anlage“ umfasst weiters den Lufttransport – also die Verteilung der behandelten Luft über das Verteilnetz in die zu versorgenden Räumen, in denen der Bedarf auftritt. Die zum Lufttransport erforderliche Energie wird als „Luftförderungsenergiebedarf“ oder „Endenergiebedarf zur Luftförderung“ bezeichnet.

Außerhalb des Anwendungsbereichs befindet sich die Berechnung der Bedarfsdeckung für Verteilung und Bereitstellung. Damit ist die Berechnung der Verteilverluste – sowohl für Luftleitungen (Luftführung) als auch für Wasserleitungen – und der Bereitstellungsverluste nicht Inhalt dieser Norm. Die Bedarfsdeckung für Verteilung und Bereitstellung wird in den Normen ÖNORM H 5056 für Heizen und Befeuchten und ÖNORM H 5058 für Kühlen behandelt. In diesen Normen erfolgt auch die Abgrenzung der Nutzenübergabe über die raumluftheiztechnische Anlage einerseits und dem statischen Heiz- und Kühlsystem andererseits.

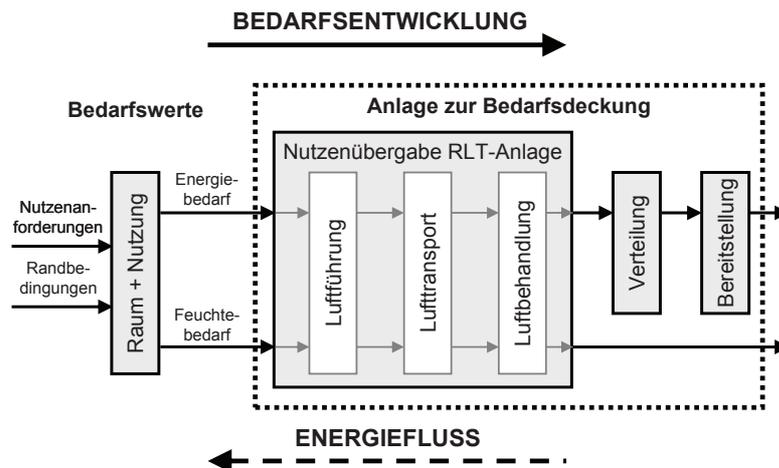


Abbildung 4.1.: Verknüpfung der Systembereiche in klimatisierten Räumen mit den Untersystemen bei RLT-Anlagen nach der Methode der Bedarfsentwicklung (eigene Darstellung nach Reichert, 2000)

Der Anwendungsbereich erstreckt sich auf zentrale raumluftechnische Anlagen unabhängig von der Anzahl der thermodynamischen Luftbehandlungsfunktionen im ausschließlichen Außenluftbetrieb. Umluftanlagen und Anlagen im Mischluftbetrieb befinden sich damit nicht im Anwendungsberich dieser Norm. Diese sollen im Zuge der Erweiterung um ein stundenweises standortspezifisches Berechnungsmodell des Nutzenergiebedarfs zur Luftvolumenstrom-Konditionierung ergänzt werden.

Es werden RLT-Anlagen mit der Hauptaufgabe der Gewährleistung des hygienisch erforderlichen Zuluftvolumenstroms (Lufterneuerungsanlagen) und RLT-Anlagen mit erhöhtem Luftvolumenstrom zur Erfüllung von zusätzlichen Heiz- und Kühlaufgaben (prozessbedingte Lüftung) betrachtet. Bei prozessbedingter Lüftung wird zwischen Anlagen mit konstantem Luftvolumenstrom (KVS-Anlagen) einerseits und Anlagen mit variablem Luftvolumenstrom (VVS-Anlagen) andererseits unterschieden.

## 4.2. Entwicklungsschritte

### Umsetzung im OIB-Leitfaden

Im Zuge der Umsetzung der EU-Richtlinie über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden (EPBD, 2003) in Österreich musste ein Verfahren für die Berechnung von Energieausweisen erstellt werden. Die dazu erforderlichen Berechnungsalgorithmen sollten ursprünglich im Leitfaden „Energietechnisches Verhalten von Gebäuden“ (OIB-LF 2.5, 2006), herausgegeben vom Österreichischen Institut für Bautechnik (OIB), erscheinen. Dieser Leitfaden sollte einen technischen Anhang zur OIB-Richtlinie 6 „Energieeinsparung und Wärmeschutz“ (OIB-RL 6, 2007) darstellen, die ihrerseits ein Teil der harmonisierten technischen Bauvorschriften in Österreich ist.

Die Vereinheitlichung der Baugesetzgebung in Österreich, die sich unter Länderhoheit befindet, wurde im Jahr 2000 nach jahrzehntelangen erfolglosen Bemühungen neu in Schwung gebracht. Mitauslöser war die absehbare Forderung nach der Umsetzung eines Energieausweises, der in den technischen Bauvorschriften verankert werden musste und dem damit neun unterschiedliche Länderversionen drohten. Das OIB wurde als Koordinierungsplattform der Bundesländer für Themen im Bereich des Bauwesens damit betraut, einen Vorschlag zur Harmonisierung der bautechnischen Vorschriften zu erarbeiten. Das Ergebnis waren sechs Richtlinien mit technische Anforderungen (OIB-Richtlinien), die durch zielorientierte Anforderungen – verankert in den jeweiligen Baugesetzen der neun Bundesländer – für verbindlich erklärt werden sollten. Bis dato wurden in sechs Bundesländern alle OIB-Richtlinien durch die Baugesetzgebung für verbindlich erklärt, in drei Bundesländern wurde nur die OIB-Richtlinie 6 zum Thema „Energieeinsparung und Wärmeschutz“ umgesetzt. (Mikulits, 2009)

Die Ausarbeitung eines Vorschlags für einen einheitlichen Energieausweis für Gebäude, dessen baurechtliches Erfordernis in der OIB-Richtlinie 6 geregelt ist, wurde ebenfalls vom OIB koordiniert. Die tatsächliche technische Umsetzung erfolgte unter Federführung der österreichischen Energieverwertungsagentur (E.V.A., später Austrian Energy Agency eA). Unterstützt wurde die E.V.A. durch das Institut für Wärmetechnik der Technischen Universität Graz, das Institut für Baustofflehre, Bauphysik und Brandschutz der Technischen Universität Wien und die Firma Renet-Kompetenznetzknotten aus Güssing.

Das Ergebnis dieser technischen Umsetzung stellte der genannte Leitfaden „Energietechnisches Verhalten von Gebäuden“ dar, mit dem das Ziel verfolgt wurde, „einen eindeutigen und zuverlässigen Berechnungsmodus für den Heizwärme- beziehungsweise Kühlbedarf und den Endenergiebedarf festzulegen“ (OIB-LF 2.5, 2006). In der Version 2.5 hatte der Leitfaden einen Umfang von 417 Seiten und enthielt in fünf Abschnitten die vollständigen Algorithmen zur Berechnung der erforderlichen Energiekennzahl für Wohn- und Nichtwohngebäude.

Raumlufttechnische Anlagen wurden im Abschnitt II „Nutzenergiebedarf“ (Teil B: Nutzenergiebedarf der energetischen Luftaufbereitung für Nicht-Wohngebäude) und Abschnitt III „Endenergiebedarf“ (Teil D: Kühlenergiebedarf und Endenergiebedarf für Luftförderung) behandelt. Die Algorithmen wurden am Institut für Wärmetechnik der Technischen Universität Graz in Abstimmung mit den parallel laufenden Entwicklungen zur Einführung der DIN V 18599 ausgearbeitet. Die entwickelten Berechnungsgänge waren daher von Beginn an sehr ähnlich zu Teil 3 (Nutzenergiebedarf für die energetische Luftaufbereitung) und Teil 7 (Endenergiebedarf von Raumlufttechnik- und Klimakältesystemen für den Nichtwohnungsbau) der deutschen Energieausweis-Norm. Österreich-spezifische Unterschiede betrafen vor allem andere Klimadaten oder das Bestreben, im Detail konkreter definierte Berechnungsregeln festzulegen, sodass eine eindeutige Interpretation möglich wurde.

## **Umsetzung in Energieausweis-Normen**

Im Zuge der weiteren Umsetzung der EU-Gebäuderichtlinie wurde im Jahr 2006 jedoch aus zeitlichen Gründen<sup>1</sup> beschlossen, die zur Berechnung des Energieausweises erforderlichen technischen Regelwerke anstatt in Form des OIB-Leitfadens als Normen aufzulegen. Der OIB-Leitfaden wurde in seinem Umfang wesentlich reduziert und als ergänzendes Dokument zur

---

<sup>1</sup>Es war absehbar, dass der Harmonisierungsprozess nicht rechtzeitig vor Inkrafttreten der EPBD abgeschlossen sein würde.

Richtlinie 6 „Energieeinsparung und Wärmeschutz“ des harmonisierten österreichischen Baugesetzes veröffentlicht (OIB-LF 2.6, 2007). Der Leitfaden umfasst in seiner schlussendlich veröffentlichten Version nur mehr 15 Seiten und enthält „allgemeine Bestimmungen, die Berechnung des Endenergiebedarfs [in Form von Verweisen auf die entsprechenden Normen, Anm. d. Verf.], das vereinfachte Verfahren und Empfehlungen von Maßnahmen für bestehende Gebäude“ (OIB-LF 2.6, 2007).

Die eigentlichen Berechnungsalgorithmen sind seitdem in den Normenreihen ÖNORM B 8110 und ÖNORM H 5055 bis ÖNORM H 5059 enthalten. Das gesamte Normenpaket umfasst einerseits bauphysikalische Aspekte der Berechnung in der Normenreihe ÖNORM B 8110 und andererseits die haustechnischen Aspekte der Berechnung in den Normen ÖNORM H 5056 bis ÖNORM H 5059. Die Berechnung der Energiebedarfswerte von raumlufttechnischen Anlagen ist ursprünglich in der Vornorm ÖNORM H 5057:2007 geregelt. Tabelle 4.1 gibt einen Überblick über die Normen, in denen die Berechnungsalgorithmen für den Energieausweis geregelt sind.

Tabelle 4.1.: Überblick über die Normen mit Berechnungsalgorithmen zur Berechnung der für den Energieausweis erforderlichen Energiekennzahlen (nach OIB-LF 2.6, 2007)

Bedarfsebene	Titel der Norm	Nummer der Norm	erste Auflage
Nutzenergiebedarf	Wärmespeicherung und Sonneneinströme	ÖNORM B 8110-3	1999-12-01
	Klimamodell und Nutzungsprofile	ÖNORM B 8110-5	2007-08-01
	Grundlagen und Nachweisverfahren – Heizwärmebedarf und Kühlbedarf	ÖNORM B 8110-6	2007-08-01
Endenergiebedarf	Heiztechnik-Energiebedarf	ÖNORM H 5056	2007-08-01
	Raumlufttechnik-Energiebedarf für Wohn- und Nichtwohngebäude*	ÖNORM H 5057	2007-08-01
	Kühltechnik-Energiebedarf	ÖNORM H 5058	2007-08-01
	Beleuchtungsenergiebedarf	ÖNORM H 5059	2007-08-01

\*) Die ÖNORM H 5057 stellt in dieser Einteilung eine Besonderheit dar: Sie ist sowohl dem Nutzenergiebedarf (Konditionierung des Luftvolumenstroms) als auch dem Endenergiebedarf (Luftförderungsenergiebedarf) zuzuordnen. Aufgrund ihrer Zugehörigkeit zur Normenreihe H 5056 bis H 5059 wurde sie an dieser Stelle beim Endenergiebedarf eingeordnet.

Die Normen der Reihe B 8110 entstanden im Normungskomitee ON-K 175 „Wärmeschutz von Gebäuden und Bauteilen“, die Normen H 5056 bis H 5059 im Normungskomitee „Wirtschaftlicher Energieeinsatz in Gebäuden“ (früher FNA 175 und FNA 235).

## Überarbeitung der Energieausweis-Normen

Bei der Einbindung der Vornorm ÖNORM H 5057:2007 in die Energieausweis-Schulungssoftware wurde jedoch offensichtlich, dass einige Passagen der Norm mehrdeutig interpretierbar waren. Dadurch war die Umsetzung in Berechnungsprogrammen lediglich eingeschränkt möglich. Es war daher in weiterer Folge erforderlich, diese mehrdeutig interpretierbaren Passagen zu konkretisieren und geringfügig abzuändern. Diese Konkretisierungen und geringfügigen Abänderungen wurden im Rahmen der ersten Überarbeitung

der Energieausweis-Normen in die Neufassung der ÖNORM H 5057 aufgenommen, die mit 1. Jänner 2010 veröffentlicht wurde<sup>2</sup>.

Mit dieser Überarbeitung, die im Zuge der vorliegenden Dissertation entstanden ist, ist nun eine eindeutige Interpretierbarkeit der Norm gegeben, wodurch auch die Umsetzung in den Energieausweis-Berechnungsprogrammen uneingeschränkt möglich ist. Belegt wird die programmtechnische Umsetzbarkeit durch den abgeschlossenen Validierungsprozess für die ÖNORM H 5057, im Zuge dessen der Großteil der Anbieter von Energieausweis-Software für den österreichischen Markt übereinstimmende Ergebnisse für das Validierungsblatt ÖNORM H 5057 Bbl 1:2011 vermelden konnte (siehe Anhang E).

### **Weiterentwicklung der Normen**

Im Zuge der Überarbeitung der ÖNORM H 5057 zeigte sich, dass einige der abgebildeten Berechnungsansätze Potenzial zu einer weiteren Verfeinerung und damit Verbesserung der Ergebnisse aufweisen. Dieses Verbesserungspotenzial soll genutzt werden, indem ein Beiblatt zur ÖNORM H 5057 aufgelegt wird, das die Beschreibung eines alternativen Berechnungsmodells für den Nutzenergiebedarf zur Konditionierung des Luftvolumenstroms enthalten soll. Dieses alternative Modell, das eine standortspezifische Berechnung der spezifischen Energiekennwerte in Stundenschritten umfasst, wird in Abschnitt 7.3 erläutert. Die Ausgabe des neuen Beiblatts (Normenvorschlag siehe Anhang B) ist für das Jahr 2011 geplant.

## **4.3. Normativ abgebildete Systeme**

Der Anwendungsbereich der ÖNORM H 5057 umfasst – wie in Abbildung 4.2 auf der nächsten Seite dargestellt – raumlufttechnische Anlagen mit Lüftungsfunktion. Die Norm ist auf die energetische Bewertung von Nur-Luft-Anlagen – sowohl als Einkanal- als auch als Zweikanalanlagen – ausgerichtet. Anlagen ohne Lüftungsfunktion sind von der Anwendung ausgeschlossen.

Es können unterschiedliche Konditionierungsarten (Lüftungsanlagen, Teilklimaanlagen, Vollklimaanlagen) und unterschiedliche Anlagentypen (KVS- und VVS-Anlagen) betrachtet werden, wobei als Regelkriterien stets die thermischen Raumlasten herangezogen werden. Als Eingangsgrößen dienen jeweils Monatswerte für den Heizwärmebedarf und den Kühlbedarf des konditionierten Raumes – Raumbelegung, Feuchtelasten, Schadstoffbelastung und Spitzenlastabdeckung können daher nicht als Regelkriterien angesetzt werden. Mehrstufige KVS-Anlagen können nicht abgebildet werden.

Als Untergruppe von KVS-Anlagen wurden Lüfterneuerungsanlagen (LE) definiert, deren Besonderheit darin besteht, dass sie lediglich den zur Aufrechterhaltung des hygienischen Luftwechsels erforderlichen Luftvolumenstrom fördern. Der hygienische Luftwechsel ist normativ in Nutzungsprofilen festgelegt und dient auch zur Berechnung der Lüftungswärmeverluste bei der Ermittlung von Heizwärmebedarf und Kühlbedarf. Höhere als hygienisch erforderliche Luftwechsel werden als „prozessbedingt“ (PB) bezeichnet.

---

<sup>2</sup>Neben der ÖNORM H 5057 wurden auch ÖNORM B 8110-5, ÖNORM B 8110-6, ÖNORM H 5056, ÖNORM H 5058 und ÖNORM H 5059 mit 1. Jänner 2010 neu aufgelegt.

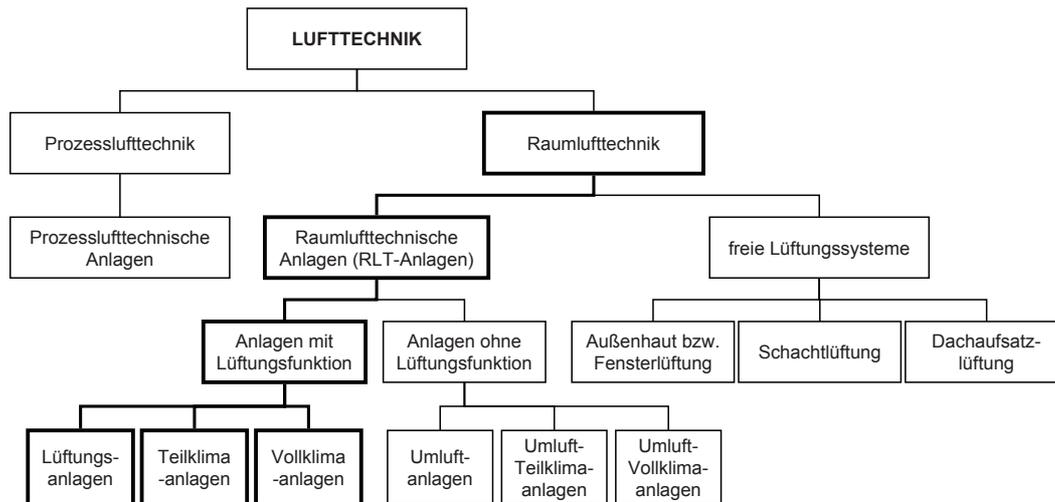


Abbildung 4.2.: Einteilung der Lufttechnik ergänzt um den Anwendungsbereich der ÖNORM H 5057 (eigene Darstellung nach Recknagel et al., 2007)

#### 4.4. Einsatzgrenzen

Die wesentlichen Einsatzgrenzen für die Abbildung raumluftechnischer Anlagen im Rahmen der ÖNORM H 5057 werden durch den Einsatz im Rahmen der Energieausweisberechnung bestimmt: Einerseits sind die Vorgaben aus den Nutzungsprofilen (Bildung von Gebäudekategorien) insbesondere zu Betriebszeiten und zu Luftwechselzahlen zu wenig detailliert, um damit eine vollständige Abbildung von RLT-Anlagen vornehmen zu können. Andererseits sind Monatswerte für den Heizwärmebedarf und den Kühlbedarf keine tauglichen Regelgrößen für die Bestimmung der Zulufttemperatur und des Zuluftvolumenstroms. Konditionierung über Lüftungsanlagen wird aufgrund der geringen Trägheit in der Praxis insbesondere für die Spitzenlastabdeckung eingesetzt – über Monatswerte als maßgebliche Regelgrößen kann eine derartige Spitzenlastabdeckung nicht berücksichtigt werden. Auch vom CO<sub>2</sub>-Gehalt oder der Nutzung abhängige Regelungen können nicht abgebildet werden.

Abgesehen von den zuvor genannten Einschränkungen wurde eine Beschränkung auf die wesentlichsten Anlagentypen vorgenommen. So ist beispielsweise die Berechnung von mehrstufigen KVS-Anlagen oder Umluftanlagen nicht möglich.

Durch die – für die Anwendung auf die Berechnung von RLT-Anlagen – eingeschränkten Nutzungsprofile kann auch eine maßgebliche Aufgabe von Lüftungsanlagen nur bedingt abgebildet werden: Die Abfuhr der hygrischen Lasten ist auf externe Feuchtelasten beschränkt, da keine inneren Feuchtelasten angegeben sind. Die Be- und Entfeuchtung erfolgt daher auf einen Behaglichkeitsbereich für die Zuluft, tatsächlich vorhandene und zumeist maßgebliche innere Feuchtelasten können nicht berücksichtigt werden, die Konditionierung auf einen Behaglichkeitsbereich für die Raumlufte ist nicht möglich. Die absolute Feuchte der Abluft entspricht damit auch jener der Raumlufte, die wiederum identisch mit der Zuluftfeuchte ist.

## 4.5. Eingangsgrößen

Folgende Eingangsgrößen sind für die Berechnungen gemäß ÖNORM H 5057 erforderlich:

- Angaben zur Betriebszeit aus den Nutzungsprofilen der ÖNORM B 8110-5
- Luftwechselzahlen aus den Nutzungsprofilen der ÖNORM B 8110-5
- die aus der Bedarfsrechnung gemäß ÖNORM B 8110-6 resultierenden Monatswerte für Heizwärmebedarf und Kühlbedarf
- die standortspezifischen Monatsmittelwerte der Außenlufttemperatur gemäß ÖNORM B 8110-5
- die Länge der Heizperiode zur Abgrenzung der Bilanzen und zur Zuordnung der Energiebedarfswerte zum Heizenergiebedarf und zum Kühlenergiebedarf

Die Berechnung der Länge der Heizperiode erfolgt in ÖNORM H 5056 gemäß dem Berechnungsmodell der ÖNORM EN ISO 13790. Das in dieser Norm festgelegte Modell beruht auf dem monatlichen Gewinn-Verlust-Verhältnis und berücksichtigt auch die Wärmespeicherkapazität des Gebäudes.

## 4.6. Erforderliche Normenänderungen

Die Kapitel 1 bis 4 der ÖNORM H 5057 wurden hinsichtlich der Gliederung und der Inhalte nicht verändert, da diese durch die Richtlinien zur Normgestaltung des Austrian Standards Institute (früher Österreichisches Normungsinstitut) vorgegeben sind. Es wurde jedoch eine Ergänzung der Kapitel „Begriffe“ und „Formelzeichen, Namen und Einheiten“ vorgenommen. Aus diesem Grund werden Änderungen in diesen Kapiteln auch nicht extra behandelt sondern werden in diesem Abschnitt beschrieben.

Kapitel 5 beinhaltet in erster Linie die allgemeine Beschreibung des Berechnungsverfahrens. Zusätzlich werden die Eingangs- und Ausgangsgrößen der Berechnung erläutert. Diese allgemeinen Aspekte sind wesentlich für die Berechnungen in der Norm und werden ebenfalls in diesem Abschnitt dargestellt.

### 4.6.1. Gliederung

Zur Verbesserung der Lesbarkeit und damit der Verständlichkeit der Norm wurden vom Autor dieser Dissertation einige Anpassungen bei deren Gliederung vorgeschlagen und schließlich vom bei der Überarbeitung der Norm auch vorgenommen. Diese Anpassungen betrafen die eigentliche Gliederung der Norm lediglich geringfügig, sie wurde in ihren wesentlichen Teile beibehalten. Es erfolgte jedoch eine Bereinigung dahingehend, dass Inhalte zusammengefasst wurden und an die – dem Berechnungsablauf folgend – richtige Stelle gesetzt wurden. Dies betrifft beispielsweise die Berechnung der Zulufttemperaturen, Teile der Berechnung des Nutzenergiebedarfs zur Volumenstrom-Konditionierung oder die Festlegung der Energiekennzahlen.

Die folgende Auflistung zeigt, welche Kapitel inhaltliche umstrukturiert und wo Veränderungen der Gliederung vorgenommen wurden.

### 1. Anwendungsbereich

redaktionelle Veränderungen

### 2. Normative Verweisungen

redaktionelle Veränderungen

### 3. Begriffe:

Die Zielgruppe der vorliegenden Norm sind einerseits natürlich Ersteller von Energieausweisen, andererseits Softwarehersteller für Energieausweis-Berechnungsprogramme. Beide Gruppen sind in der Regel nur eingeschränkt mit den Begrifflichkeiten der Haustechnik vertraut, wodurch bereits durch die verwendete Sprache Verständnisprobleme auftreten können.

Aus diesem Grund wurde das Kapitel „Begriffe“ deutlich erweitert. Es werden nun auch Begriffe, die einem Haustechniker in der Regel geläufig sind, in der Norm erklärt, um die sprachliche Barriere für Normleser und -anwender außerhalb dieser Berufsgruppe zu minimieren.

### 4. Formelzeichen, Namen und Einheiten

Dieses Kapitel wurde dahingehend ergänzt, dass nun sämtliche in der Norm verwendeten Formelzeichen auch an der dafür vorgesehenen Stelle dargestellt, kurz erläutert und mit den korrekten Einheiten versehen sind.

### 5. Berechnungsverfahren

Das Kapitel „Berechnungsverfahren“ ist nun deutlich ausführlicher als in der Ausgabe 2007. Es wurde eine Beschreibung der abgebildeten Anlagen und eine allgemeine Erläuterung der zum Einsatz kommenden Berechnungsverfahren ergänzt. Ein zusätzlicher Abschnitt „Übergabe von Bilanzgrößen“ wurde eingeführt, in dem die Ausgabegrößen und deren weitere Anwendung in den Berechnungsalgorithmen des Energieausweises verdeutlicht wird.

Für das Berechnungsverfahren war es zudem erforderlich, die „Betriebstage der RLT-Anlage“ zu definieren. Dieser Wert stellt eine Eingangsgröße für die Berechnung dar, er wird daher bereits an dieser Stelle und nicht erst bei der Bestimmung des Zuluftzustands beschrieben.

Weiters wurde eine eindeutige Abgrenzung der Begriffe „Anlagentypen“ für RLT-Anlagen zur Lüfterneuerung (LE-Anlagen) und prozessbedingten Lüftung (KVS- und VVS-Anlagen) und „Konditionierungsarten“ für Lüftungs-, Teil- und Vollklimaanlagen eingeführt. Diese Begriffe werden in der weiteren Norm durchgängig verwendet.

### 6. Zustand des Zuluft-Volumenstroms der RLT-Anlage

Dieses Kapitel enthält nun zwei Abschnitte: je einen für die Berechnung des monatlichen Zuluft-Volumenstroms und die Bestimmung der monatlichen Zulufttemperatur – jeweils für sämtliche abgebildete Anlagentypen und Konditionierungsarten. Zuvor war die Berechnung der Zulufttemperatur auf mehrere Kapitel verteilt, der Berechnung des maximalen Luftvolumenstroms war nur in ihren Grundzügen erläutert und einzelne erforderliche Werte nicht ausreichend beschrieben.

### 7. Energiebedarf der Luftförderung

Wesentliches Manko dieses Kapitels in der Ausgabe 2007 war die Bezeichnung des berechneten Wertes als „Nutzenergiebedarf der Luftförderung“, bei dem es sich tatsächlich

um einen Bedarfswert auf Endenergieebene handelt. Dieser – kurz gesagt – falsche Begriff führt zu erheblichen Problemen im Verständnis der ganzen Norm. Außerdem war die Aufteilung in hygienisch erforderlichen (LE-Anlagen) und prozessbedingten (PB) Luftvolumenstrom (KVS- und VVS-Anlagen) nur eingeschränkt verständlich und war außerdem eine maßgebliche Fehlerquelle in der Berechnung des Luftförderungsenergiebedarfs.

In der überarbeiteten Norm wird nach einer kurzen Erläuterung der Vorgangsweise für KVS- und VVS-Anlagen unter „Allgemeines“ die Berechnung des Energiebedarfs der Luftförderung getrennt für LE-, KVS- und VVS-Anlagen dargestellt. Die Problematik der getrennten Luftvolumenströme wurde behoben (siehe Kapitel 6).

#### **8. Nutzenergiebedarf der RLT-Anlage für Heizen, Befeuchten und Kühlen**

Auch in diesem Kapitel waren die in Ausgabe 2007 verwendeten Begriffe wenig förderlich für eine korrekte Interpretation der Norm. Der „Energiebedarf für Lufterneuerung“ konnte nicht eindeutig als Nutzenergiebedarf interpretiert werden, die Einleitung und die allgemeinen Beschreibungen mit falschen Normverweisen trugen das ihrige zur Verwirrung bei. Zudem erfolgte auch hier eine Aufteilung für Lufterneuerungs-Anlagen und für prozessbedingte Anlagen, die rein physikalisch nicht vollständig nachvollziehbar war.

In der überarbeiteten Normenversion wurden einerseits die Begriffe und Normverweise korrigiert, andererseits wurde die einleitende Beschreibung erweitert, wodurch ein besseres Verständnis der folgenden Berechnungsalgorithmen erreicht wurde. Die Aufteilung in LE- und PB-Anlagen wurde aus berechnungstechnischen Gründen beibehalten, durch eine kurze Erläuterung jedoch verständlich gemacht.

#### **9. Energiekennzahlen**

Dieses Kapitel war in der ursprünglichen Ausgabe der „Aufteilung der Bilanzen“ gewidmet und diente dazu, die Ergebniswerte für die weitere Verwendung in der Berechnung des Heizenergiebedarfs und des Kühlenergiebedarfs vorzubereiten. Diese weitere Verwendung war jedoch nicht mit den Normen ÖNORM H 5056 für den Heizenergiebedarf und ÖNORM H 5058 für den Kühlenergiebedarf abgestimmt. Für Befeuchtung wurde keine Vorgangsweise definiert.

Im Zuge der Überarbeitung wurde die Aufteilung der Bilanzen für den Luftförderungsenergiebedarf und den Nutzenergiebedarf zur Luftvolumenstrom-Konditionierung direkt in die jeweiligen Kapitel ausgelagert. Im Kapitel „Energiekennzahlen“ erfolgt nur noch die Zusammenfassung und die Ermittlung von Energiekennzahlen, die als Ausgabegrößen am Energieausweis verwendet werden können.

#### **10. Zusammenstellung der spezifischen Energiekennwerte**

In diesem Kapitel werden die spezifischen Energiekennwerte in Tabellenform dargestellt. Im Rahmen der Überarbeitung erfolgte keine Veränderung der grundsätzlichen Inhalte, es wurden lediglich geringfügige Anpassungen bei den zur Verfügung gestellten Werten vorgenommen und die Zahlenwerte in den Tabellen an die geänderten Vorgaben angepasst.

#### **11. Anhang**

Der normative Anhang „Luftförderungsenergiebedarf von Wohngebäuden bei Nachtlüftung“ ist vollkommen neu entstanden und ergänzt die Berechnungsalgorithmen der Norm für Wohngebäude, bei denen Nachtlüftung vorgesehen ist.

## 4.6.2. Eingangsgrößen

### ÖNORM B 8110-5

In die Nutzungsprofile der ÖNORM B 8110-5 musste ein zusätzlicher Wert für die Länge der täglichen Stunden für Nachtlüftung eingeführt werden. Dieser Wert  $t_{NL,d}$  bestimmt die Anzahl der Stunden, während derer für die Berechnung des Kühlbedarfs Nachtlüftung über einen erhöhten Luftwechsel vorgenommen werden kann. Außerdem wird dadurch die Laufzeit der Ventilatoren bei Nachtlüftung über die RLT-Anlage bestimmt, was maßgebliche Auswirkung auf die Höhe des Luftförderungsenergiebedarfs hat.

### ÖNORM H 5056

In ÖNORM H 5056 wurde die Berechnung der Länge der Heizperiode eingeführt. Diese ist einerseits für Elemente des Heizungssystems, die abhängig von der Heizperiode berechnet werden, relevant und dient andererseits in der ÖNORM H 5057 zur Abgrenzung der Bilanzen für Heizen und Kühlen.

### ÖNORM H 5057

Abgesehen von in anderen Normen berechneten oder definierten Größen werden einige Eingangsgrößen für die Berechnungen der ÖNORM H 5057 auch in der Norm direkt bestimmt. Dies trifft beispielsweise die monatlichen Betriebstage der RLT-Anlage oder die Anzahl der Tage mit Nachtlüftung.

Außerhalb der Heizperiode bewirkt ein – beispielsweise durch Nachtlüftung herbeigeführter – höherer Luftvolumenstrom einen höheren Wärmeverlust und daher insbesondere bei Gebäuden mit erhöhten internen Wärmeeinträgen (Bürogebäude, Krankenhäuser, etc.) in erster Linie eine Reduktion des Kühlbedarfs. Daher wurde die Festlegung getroffen, dass außerhalb der Heizperiode die Energiebedarfswerte der raumlufttechnischen Anlage dem Kühlenergiebedarf zuzurechnen sind. Diese Festlegung betrifft in erster Linie den Luftförderungsenergiebedarf, der dadurch eindeutig auf Heiz- und Kühlperiode aufgeteilt wird. Die Auswirkung auf den Nutzenergiebedarf zur Luftvolumenstrom-Konditionierung ist gering, da über die vordefinierten spezifischen Energiekennwerte ohnehin die monatsweisen Bedarfswerte in Abhängigkeit vom Außenklima und der geforderten Zulufttemperatur festgelegt sind.

Zur Umsetzung dieser Festlegung wurden im Abschnitt „Betriebstage der RLT-Anlage“ drei Aufteilungen vorgenommen:

- Anzahl der Tage im Monat:
  - Die Tage im Monat, an denen geheizt werden muss, werden durch die Länge der Heizperiode gemäß ÖNORM H 5056 bestimmt.
  - Die Tage im Monat, an denen gekühlt werden muss, ist demgemäß jene Anzahl von Tagen, an denen nicht geheizt werden muss.
- Anzahl der Betriebstage im Monat:

Die Betriebstage im Monat werden in Abhängigkeit von den Tagen im Monat, an denen geheizt oder gekühlt werden muss, der Heiz- oder der Kühlperiode zugerechnet.

- Anzahl der Tage mit Nachtlüftung im Monat:

In der Version 2007 der ÖNORM H 5057 wurde Nachtlüftung an jedem Tag des Monats im Kühlbetrieb angenommen. Dieser Ansatz ist im Rahmen der Berechnung des Kühlbedarfs im Monatsbilanzverfahren angebracht, da die monatsweisen Temperaturwerte die geringeren Nachttemperaturen nicht abbilden und damit eine größere Anzahl von Stunden zum Abbilden der Kühlwirkung durch Nachtlüftung erforderlich ist.

Durch diese große Anzahl an Stunden nahm jedoch der Luftförderungsenergiebedarf verursacht durch Nachtlüftung eine Größenordnung von rund 25 % des gesamten LFEB ein. Gemäß anderer Studien (Schmidt et al., 2004; Schiller, 2005) liegt die tatsächliche Betriebszeit der Nachtlüftung im Bereich 30 bis maximal 50 Tage pro Jahr, der zusätzliche Ventilatorstrombedarf beträgt rund 1 bis 10 %. Aus diesem Grund wurde in der Version 2010 der ÖNORM H 5057 die Anzahl der Tage mit Nachtlüftung auf 55 Tage jährlich festgelegt, die entsprechend dem monatlichen Kühlbedarf während der Kühlperiode auf die einzelnen Monate aufgeteilt werden. Diese Anzahl an Tagen entspricht in etwa dem Höchstwert der in der Literatur angegebenen Werte und führt zu einer Erhöhung des LFEB um rund 10 %.

## **ÖNORM H 5058**

Analog zur Berechnung der Heizperiode wurde in der ÖNORM H 5058 die Berechnung der Länge der Kühlperiode – ebenfalls gemäß ÖNORM EN ISO 13790 – aufgenommen. Die Länge der Kühlperiode ist auch für die Berücksichtigung von Elementen der Kühlanlage, die in Abhängigkeit von der Länge der Kühlperiode betrieben und berechnet werden, erforderlich. Dies betrifft beispielsweise die Betriebszeit der Rückkühlung oder die Betriebszeit der Verteilpumpen für die Kalt- und Kühlwasserversorgung.



## 5. Berechnung des Zuluftzustands

Im Rahmen einer monatsweisen Berechnung des Energiebedarfs raumlufttechnischer Anlagen sind auch für den Zuluftzustand Monatswerte für Zulufttemperatur, Zuluftvolumenstrom und Zuluftfeuchte festzulegen. Diese Monatswerte sind bei Lüftungsanlagen vergleichsweise einfach, bei Voll- und Teilklimaanlagen mit lastabhängigen Regelungen hingegen nur äußerst schwierig zu bestimmen. Insbesondere unterschiedliche Regelungsstrategien machen die Festlegung von monatsweise konstanten Werte nahezu unmöglich und führen zu teils erheblichen Einschränkungen in der Genauigkeit der Ergebniswerte.

Aus diesem Grund wurde im Rahmen der Berechnung in der ÖNORM H 5057 eine signifikante Einschränkung vorgenommen: Als Regelungsgröße werden für alle Anlagen ausschließlich der Heizwärmebedarf und der Kühlbedarf aus der Bedarfswerteberechnung herangezogen. Diese Bedarfswerte bestimmen die Höhe des Luftvolumenstroms bei VVS-Anlagen und der Zulufttemperatur bei KVS-Anlagen. Aufbauend auf die Grundgleichung<sup>1</sup>

$$Q = v \cdot \rho \cdot c_p \cdot \Delta\theta \cdot t \quad (5.1)$$

wird in weiterer Folge der Zuluftzustand für KVS- und VVS-Anlagen bestimmt.

### KVS-Anlagen

- Zulufttemperatur: variabel
  - Heizfall: abhängig von HWB, begrenzt durch maximale Einblasetemperatur
  - Kühlfall: abhängig von KB, begrenzt durch minimale Einblasetemperatur
- Zuluftvolumenstrom: konstant vordefiniert durch Luftwechselzahl aus Nutzungsprofil ( $n_{L,FL}$  bei LE-Anlagen,  $n_{L,RLT}$  bei PB-Anlagen)
  - Heizfall: konstant
  - Kühlfall: konstant
- Zuluftfeuchte: Anlagen- und Anforderungs-abhängige Be- und Entfeuchtung der Zuluft auf den zulässigen Toleranzbereich

### VVS-Anlagen

- Zulufttemperatur: konstant
  - Heizfall: konstant, entspricht der maximalen Einblasetemperatur
  - Kühlfall: konstant, entspricht der minimalen Einblasetemperatur
- Zuluftvolumenstrom: variabel jeweils begrenzt durch hygienisch erforderliche Luftwechselzahl gemäß Nutzungsprofil ( $n_{L,FL}$ ) und maximale Luftwechselzahl aus maximalem Luftvolumenstrom
  - Heizfall: variabel aus HWB
  - Kühlfall: variabel aus KB
- Zuluftfeuchte: Anlagen- und Anforderungs-abhängige Be- und Entfeuchtung der Zuluft auf den zulässigen Toleranzbereich

---

<sup>1</sup>Üblicherweise wird die Gleichung in der Form  $\dot{Q} \cdot t = \dot{v} \cdot \rho \cdot c_p \cdot \Delta\theta \cdot t$  dargestellt, in dieser Dissertation wurde sie jedoch auf die verwendeten Formelzeichen angepasst.

Als Grundlage für die Bestimmung der Zulufttemperatur und des Zuluftvolumenstroms bei prozessbedingten Lüftungssystemen dienen die Darstellungen in Abbildung 5.1 auf der nächsten Seite. Grundlage der Darstellungen ist der Zusammenhang  $P = v \cdot \rho \cdot c_p \cdot \Delta\theta$  für die übertragene Leistung beziehungsweise  $Q = v \cdot \rho \cdot c_p \cdot \Delta\theta \cdot t$  für die übertragene Wärme. Nachdem  $\rho$ ,  $c_p$  und  $t$  Konstanten darstellen, kann der Zusammenhang für die übertragene Wärme auf  $Q = v \cdot \Delta\theta \cdot k$  mit einer Konstanten  $k = \rho \cdot c_p \cdot t$  reduziert werden. In den beiden Diagrammen werden nun unterschiedlichen Luftzuständen (Volumenstrom, Temperatur) Wärmemengen aus der Energiebedarfsberechnung von raumlufttechnischen Anlagen zugeordnet. Die linke Darstellung zeigt, welche Wärmemengen über die raumlufttechnische Anlage eingebracht werden können:

- Bei hygienischem Luftvolumenstrom und einer mit der Raumsolltemperatur identischen Zulufttemperatur kann  $Q_{H,LE}$  eingebracht werden, was exakt den Lüftungswärmeverlusten aus der Heizwärmebedarfsberechnung entspricht.
- Höherer Luftvolumenstrom und eine mit der Raumsolltemperatur identische Zulufttemperatur bewirken keinen zusätzlichen Wärmeeintrag zur Abdeckung des vorhandenen Heizwärmebedarfs. Es treten jedoch zusätzliche Verluste auf, da der hygienisch nicht erforderliche Luftvolumenstrom von Außenlufttemperatur auf Raumsolltemperatur konditioniert werden muss.
- Bei höherem Luftvolumenstrom und höherer Zulufttemperatur kann demgemäß auch eine größere Wärmemenge  $Q_{H,RLT}$  eingebracht werden, die sich gemäß Abbildung 5.1 aus  $Q_{H,LE}$  und  $Q_{h,RLT}$  zusammensetzt. Im Idealfall entspricht diese wie in der rechten Darstellung gezeigt dem gesamten Heizwärmebedarf  $Q_h$ . In diesem Fall würde der gesamte Bedarf über die RLT-Anlage eingebracht werden, es handelt sich um eine reine Luftheizungsanlage.
- Mit hygienischem Luftwechsel und erhöhter Einblasetemperatur kann über die Lüftungswärmeverluste hinausgehende Wärme in den zu konditionierenden Raum eingebracht werden. Diese Konstellation nutzt man bei Passivhäusern mit reiner Luftheizung – es wird nicht mehr als der hygienisch erforderliche Luftwechsel erfüllt, die Lüftungsanlage deckt zugleich jedoch den gesamten Heizwärmebedarf ab. Meist ist jedoch die Wärmemenge durch die maximale Einblasetemperatur beschränkt, wodurch bei Passivhäusern die maximale Zulufttemperatur auf rund 50 °C erhöht wird. Daher muss bei Passivhäusern der Heizwärmebedarf soweit reduziert werden, dass er über das Lüftungssystem mit hygienischem Luftwechsel in den Raum eingebracht werden kann.

Dieser Zusammenhang stellt daher auch die Voraussetzung für die Berechnung der Zulufttemperatur und des Zuluftvolumenstroms bei prozessbedingten Anlagen dar: Als über erhöhten Luftvolumenstrom oder erhöhte Temperatur einzubringende Wärmemenge ist in beiden Fällen die Differenz aus  $Q_h - Q_{H,LE}$  anzusetzen, wobei die Berechnung von  $Q_{H,LE}$  korrekterweise standortspezifisch durchgeführt werden muss.

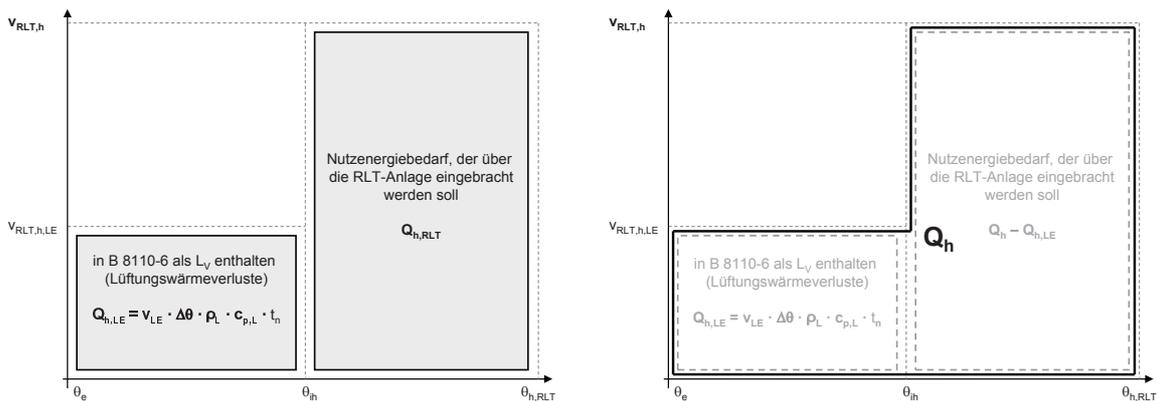


Abbildung 5.1.: Zusammenhang von Zulufttemperatur, Zuluftvolumenstrom und Wärmemenge bei prozessbedingter Lüftung in einem  $\theta, v$ -Diagramm

## 5.1. Zuluftvolumenstrom

Bei VVS-Anlagen mit variablen Volumenströmen sind Ober- und Untergrenzen für den Luftvolumenstrom einzuhalten:

- Obergrenze: Planerangabe oder Defaultberechnung über die zur Heiz- und Kühllastabdeckung maximal erforderliche Luftwechselzahl.
- Untergrenze: hygienisch erforderliche Luftwechselzahl, festgelegt durch  $n_{L,FL}$  in den Nutzungsprofilen der ÖNORM B 8110-5

Der hygienische Luftwechsel ist lediglich während der Nutzungszeit des Gebäudes zu gewährleisten. Durch diese Einschränkung der Betriebszeit entspricht der Luftvolumenstrom zur Abdeckung des hygienisch erforderlichen Luftwechsel exakt jenem Luftwechsel, der in der Berechnung des Heizwärmebedarfs und des Kühlbedarfs in der ÖNORM B 8110-6 angesetzt wird. Längere Betriebszeiten der raumlufttechnischen Anlage oder höhere Luftwechselzahlen rufen somit einen prozessbedingten Luftwechsel hervor.

Neben dem Luftvolumenstrom aus hygienischem und prozessbedingtem Luftwechsel ist auch der erhöhte Luftwechsel für Nachtlüftung an den entsprechenden Tagen je Monat zu berücksichtigen.

Unabhängig vom Anlagentyp wird der gesamte mittlere monatliche Luftvolumenstrom  $v_{RLT,ges}$  gebildet, der sich aus dem prozessbedingten und im Kühlfall dem durch Nachtlüftung hervorgerufenen Luftvolumenstrom zusammensetzt. Bei VVS-Anlagen sind dabei der für Heizzwecke und der für Kühlzwecke erforderliche Luftvolumenstrom zu summieren. Der gesamte mittlere monatliche Luftvolumenstrom darf den hygienisch erforderlichen Luftvolumenstrom (inklusive des Luftvolumenstroms für Nachtlüftung) nicht unter- und den maximalen Luftvolumenstrom nicht überschreiten.

## 5.2. Zulufttemperatur

Maximale und minimale Einblasetemperaturen sind Benutzerangaben, die jedoch innerhalb eines durch Ober- und Untergrenzen festgelegten Bereichs liegen müssen. Dieser Bereich beträgt:

- Obergrenze: 35 °C beziehungsweise 50 °C bei Passivhäusern
- Untergrenze: 17 °C beziehungsweise 14 °C bei Induktionsanlagen

In der Berechnung der ÖNORM H 5057 wird auch der Wärmeeintrag durch die Ventilatoren im Zuluftvolumenstrom berücksichtigt. Dabei wird angenommen, dass der gesamte Luftförderungsenergiebedarf schlussendlich in Wärme umgewandelt wird und den Zuluftvolumenstrom erwärmt. Daher wird die erforderliche Einblasetemperatur um die durch den Ventilator hervorgerufene Temperaturerhöhung korrigiert. Dieser korrigierte Wert wird als „Temperatur des Zuluftvolumenstroms aus der RLT-Anlage“ bezeichnet.

## 5.3. Erforderliche Normenänderungen

### 5.3.1. Bestimmung des Zuluftvolumenstroms

In der Ausgabe 2007 der ÖNORM H 5057 erfolgte die Bestimmung der Luftvolumenströme wie in Abbildung 5.2 (a) dargestellt getrennt für die Funktionen Heizen und Kühlen. Außerdem wurde bei der Bestimmung eine getrennte Bilanzierung des Volumenstroms zur Erfüllung des hygienischen Luftwechsels und für darüber hinausgehende Volumenströme für prozessbedingte Lüftung vorgenommen. Der gesamte für prozessbedingte Lüftung erforderliche Luftvolumenstrom wurde um den für hygienische Lüftung erforderlichen Luftvolumenstrom reduziert und erst bei der Ermittlung des gesamten Heiz-Luftvolumenstroms wieder zusammengezählt.

Als Ergebnis dieser virtuellen Aufteilung der Luftvolumenströme traten erhebliche Probleme bei der Berechnung des Luftförderungsenergiebedarfs (siehe Kapitel 6) und bei der Berechnung des Nutzenergiebedarfs zur Luftvolumenstrom-Konditionierung auf (siehe Kapitel 7).

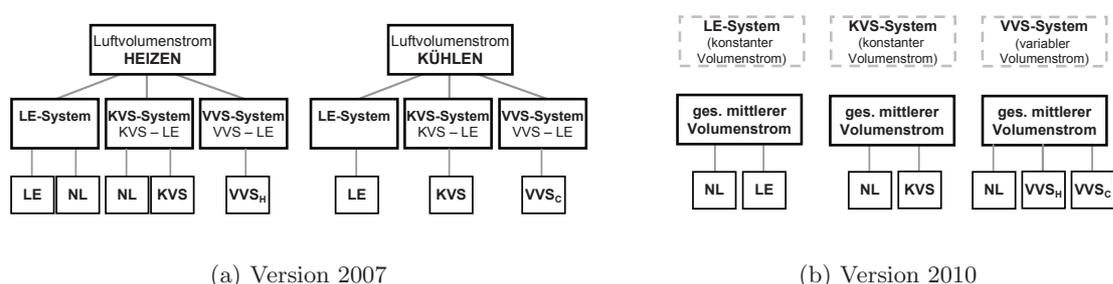


Abbildung 5.2.: Systematik der Berechnung des Luftvolumenstroms gemäß ÖNORM H 5057, Ausgabe 2007 (a) und Ausgabe 2010 (b)

Im Rahmen der Überarbeitung der ÖNORM H 5057 wurde auf Grundlage dieser Dissertation eine neue Systematik für die Berechnung der Luftvolumenströme eingeführt. Anstatt der

Aufteilung in monatsweise getrennte Luftvolumenströme für Heizen und Kühlen wird in der Version 2010 ein gesamter mittlerer Luftvolumenstrom  $v_{RLT,ges}$  in Abhängigkeit von der jeweiligen RLT-Anlage (LE, KVS oder VVS) bestimmt. Bei dessen Berechnung wird stets die gleiche Vorgangsweise gewählt:

1. tatsächlicher Luftwechsel während der Betriebszeit
  - LE:  $n_{L,FL}$  aus Nutzungsprofil
  - NL:  $n_{L,NL}$  aus Nutzungsprofil
  - KVS:  $n_{L,RLT}$  aus Nutzungsprofil
  - VVS:  $n_{L,VVS}$  aus Luftvolumenstrom-Berechnung, getrennt für Heizen und Kühlen
2. mittlerer monatlicher Luftwechsel
  - LE: Bezug von  $n_{L,FL}$  auf die Nutzungszeit des Gebäudes
  - NL: Bezug von  $n_{L,NL}$  auf die gesamten Tage des Monats und die Anzahl der täglichen Nachtlüftungsstunden
  - KVS: Bezug von  $n_{L,RLT}$  auf die Betriebszeit der RLT-Anlage
  - VVS: Bezug von  $n_{L,VVS}$  auf die Betriebszeit der RLT-Anlage, getrennt für Heizen und Kühlen
3. mittlerer monatlicher Luftvolumenstrom:  
Multiplikation mit dem wirksamen Lüftungsvolumen  $V_V$ , bei VVS getrennt für Heizen und Kühlen
4. gesamter mittlerer Luftvolumenstrom:  
Summation von LE- beziehungsweise PB- mit NL-Luftvolumenstrom (nur NL-Tage); bei VVS Summe aus Luftvolumenstrom für Heizen und Kühlen; LE + NL (nur NL-Tage) muss stets überschritten sein

Mithilfe dieser getrennten Berechnung für die verschiedenen Anlagen-Arten kann im weiteren Berechnungsverlauf jeweils der in den Einzelschritten tatsächlich als Bezugs-Luftvolumenstrom auftretende Wert angesetzt werden. Dazu wurde auch für jede Anlagen-Art die tatsächliche monatliche Außenluftwechselrate während der Betriebszeit angegeben, die schließlich für die Berechnung des Nutzenergiebedarfs zur Luftvolumenstrom-Konditionierung benötigt wird.

### 5.3.2. Bestimmung der Zulufttemperatur

Bei der Bestimmung der Temperatur des Zuluftvolumenstroms bei Eintritt in den Raum und bei Austritt aus der RLT-Anlage wurden – abgesehen von der geänderten Anordnung in der Norm durch die adaptierte Gliederung – lediglich redaktionelle und nur wenige technische Änderungen vorgenommen. Dies betraf größtenteils nicht klar definierte Bezugszeiten und fehlerhaft gesetzte Vorzeichen.

Die wesentlichste technische Änderung war bei der Bestimmung der Austrittstemperatur aus der RLT-Anlage erforderlich: Der angegebene Luftförderungsenergiebedarf, der einer Temperaturerhöhung im Zuluftvolumenstrom bewirken sollte, umfasste sowohl den Energiebedarf des Zuluft- als auch des Abluftventilators. Die Formel wurde dahingehend geändert, dass nur noch der Energiebedarf des Zuluftventilators berücksichtigt wurde, da der Abluftventilator zu keiner Erhöhung der Temperatur im Zuluftvolumenstrom führt.



# 6. Luftförderungsenergiebedarf

## 6.1. KVS-Systematik

Zentrales Element für die Berechnung des Luftförderungsenergiebedarfs von RLT-Anlagen mit konstantem Volumenstrom ist die Leistungsaufnahme der Ventilatoren. Multipliziert mit der durch das Nutzungsprofil vordefinierten Anlagenbetriebszeit kann der Energiebedarf für die Luftförderung für Zuluft- und Abluftventilatoren berechnet werden. Nachdem mehrstufige KVS-Anlagen im Rahmen der Berechnungen in dieser Norm nicht berücksichtigt werden können, ist der Einfluss der Proportionalitätsgesetze für KVS-Systeme unerheblich.

Wie in Abbildung 6.1 dargestellt ist, verbleiben somit je Ventilator drei wesentliche Einflussgrößen, die in die Berechnung eingehen:

- spezifische Leistungsaufnahme  $P_{SFP}$
- maximaler zu fördernder Luftvolumenstrom  $v_{max}$
- tatsächliche Betriebszeit der RLT-Anlage

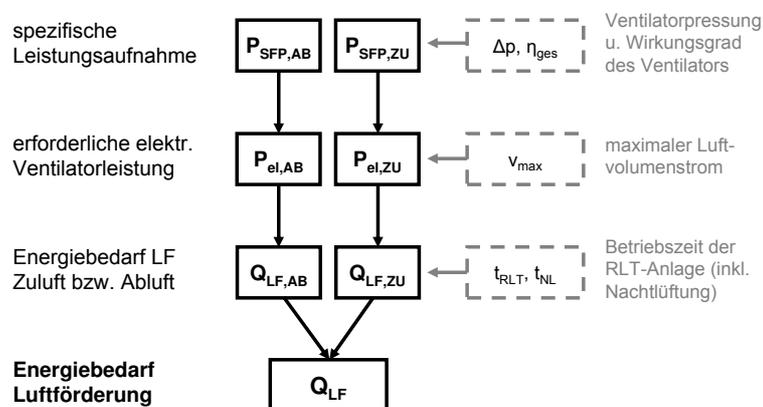


Abbildung 6.1.: Systematik der Defaultberechnung des Luftförderungsenergiebedarfs einer RLT-Anlage mit konstantem Volumenstrom (KVS-System)

In Abhängigkeit von den verfügbaren Eingabedaten kann die Berechnung entweder mit detaillierten Planerangaben oder mit Defaultangaben vorgenommen werden. Dabei unterscheidet sich lediglich die Ermittlung der spezifischen Ventilatorleistung. Die Bestimmung der elektrischen Leistungsaufnahme  $P_{el}$  und schließlich des Energiebedarfs für die Luftförderung  $Q_{LF}$

ist in beiden Berechnungsvarianten identisch (Gleichungen vereinfacht):

$$P_{el} = v_{max} \cdot P_{SFP} \quad (6.1)$$

$$Q_{LF} = P_{el} \cdot t_{RLT} \quad (6.2)$$

### Detaillierte Berechnung

Für die Anwendung der detaillierten Berechnung ist für alle im Zuluft- und Abluftvolumenstrom angeordneten Ventilatoren die elektrische Leistungsaufnahme erforderlich. Die spezifische Leistungsaufnahme kann mithilfe von Planerangaben zur gesamten Druckerhöhung (Förderdruck) und zum Gesamtwirkungsgrad der Luftfördereinrichtung als spezifischer Wert bezogen auf den zu fördernden Luftvolumenstrom bestimmt werden.

$$P_{SFP} = \frac{\Delta p}{\eta_{ges}} \quad (6.3)$$

### Defaultberechnung

Sofern keine detaillierten Angaben zu den Ventilatoren vorhanden sind, können Defaultwerte für die spezifische Leistungsaufnahme gemäß Tabelle 6.1 angenommen werden. Die Auswahl der Werte erfolgt in Abhängigkeit vom versorgten Gebäude und dem Zweck des Ventilators (Zu- oder Abluftförderung in Lüftungs- oder Klimaanlage).

Tabelle 6.1.: Defaultwerte für die spezifische Leistungsaufnahme in Anlehnung an ÖNORM EN 13779 (nach ÖNORM H 5057:2010)

	spezifische Leistungsaufnahme $P_{SFP}$ in W/(m <sup>3</sup> /s)		
	Zuluft	Zuluft	Abluft
	Vollklimaanlage	Lüftungsanlage	
Raumeinzelgeräte	SFP 1	SFP 1	SFP 1
	< 500	< 500	< 500
Einfamilienhäuser, dezentral	SFP 2	SFP 2	SFP 2
versorgte Mehrfamilienhäuser	500 – 750	500 – 750	500 – 750
Mehrfamilienhäuser	SFP 4	SFP 3	SFP 3
	1.250 – 2.000	750 – 1.250	750 – 1.250
Nicht-Wohngebäude	SFP 6	SFP 5	SFP 5
≤ 15.000 m <sup>2</sup> BGF	3.000 – 4.500	2.000 – 3.000	2.000 – 3.000
Nicht-Wohngebäude	SFP 7	SFP 6	SFP 6
> 15.000 m <sup>2</sup> BGF	> 4.500	3.000 – 4.500	3.000 – 4.500

Es ist zu beachten, dass die angegebenen Werte für  $P_{SFP}$  Defaultwerte darstellen, die jedenfalls auf der sicheren Seite liegen und damit eher zu hohe als zu niedrige Ergebnisse für den Luftförderungsenergiebedarf von Gebäuden ergeben sollen. Es handelt sich nicht um Anforderungswerte, die eingehalten werden müssen. Die starke Größenabhängigkeit bei Nichtwohngebäuden ist auf die Überlegung zurückzuführen, dass bei Anlagen, die große Bereiche versorgen und dadurch ein sehr langes Rohrleitungsnetz benötigen, die Druckverluste in den Rohrleitungen des Verteilnetzes drastisch ansteigen.

Der ursprüngliche Vorschlag für Defaultwerte beinhaltete keine Abhängigkeit von der Art des Gebäudes dessen Größe, insbesondere für Nichtwohngebäude. Unter der Annahme höherer Gesamtwirkungsgrade der Ventilatoren bei gleichzeitig steigenden Druckverlusten durch größer Verteilnetze sollte der spezifische Leistungsbedarf der Ventilatoren in etwa konstant sein. Dies belegen auch diverse Forschungsarbeiten (Schmidt et al., 2006) und Normen (VDI 3803:2002). Der daraus abgeleitete Vorschlag lautete, die Kategorie SFP 4 als Defaultwert für Zuluftventilatoren in Teil- und Vollklimaanlagen und SFP 3 für Zuluftventilatoren in Lüftungsanlagen und Abluftventilatoren unabhängig von der Konditionierungsart anzusetzen. Dieser Vorschlag wurde vom Normungskomitee nicht angenommen, stattdessen wurden die Werte gemäß Tabelle 6.1 auf der vorherigen Seite festgelegt. Die Ablehnung wurde damit begründet, dass die Druckverluste in größeren Anlagen stark ansteigen, was zu höheren Werten der spezifischen Leistungsaufnahmen führe. Daher sei die Einführung einer gewissen Größenstaffelung unumgänglich.

## 6.2. VVS-Systematik

Die Berechnung des Luftförderungsenergiebedarfs von VVS-Anlagen beruht auf einem Modell von Schiller (Schiller, 2005), das in erster Linie für den Einsatz in DIN V 18599 Teil 7 ausgearbeitet wurde. Dieses Modell ist auch in Abschnitt 3.2 kurz beschrieben.

Grundlage dieses vereinfachten Berechnungsmodells ist das in Abbildung 6.2 auf der nächsten Seite dargestellte Regelschema für eine VVS-Anlage. Das Kanalnetz der VVS-Anlage kann in zwei Bereiche mit unterschiedlichen Druck- und Widerstandsverhältnissen aufgeteilt werden:

- Abschnitt 1 (RLT-Zentrale): konstante Widerstände, variable Druckverluste ( $\Delta p_{var}^*$  im Auslegungsfall)
- Abschnitt 2 (Verteilnetz): variable Widerstände, konstante Druckverluste ( $\Delta p_{konst}$ )

Das Verhältnis der Druckverluste im Auslegungsfall kann durch die Druckverhältnis-Zahl  $f_p$  ausgedrückt werden. Somit können in weiterer Folge der variable und der konstante Druckverlust in Abhängigkeit von der Druckverhältnis-Zahl und dem Gesamtdruckverlust im Auslegungszustand formuliert werden.

$$f_p = \frac{\Delta p_{konst}}{\Delta p_{ges}} = \frac{\Delta p_{konst}}{\Delta p_{konst} + \Delta p_{var}} \quad (6.4)$$

$$\Delta p_{var}^* = (1 - f_p) \cdot \Delta p_{ges}^* \quad (6.5)$$

$$\Delta p_{konst} = f_p \cdot \Delta p_{ges}^* \quad (6.6)$$

Die erforderliche Ventilatorleistung in Abhängigkeit von den variablen Druckverlusten kann gemäß der Gleichung 6.7 berechnet werden. Aus dem quadratischen Zusammenhang zwischen Luftvolumenstrom und Druckverlusten gemäß den Proportionalitätsgesetzen nach Bernoulli in der Gleichung 6.8 kann der variable Druckverlust bei einem Teillastvolumenstrom  $v_{VVS}$  in

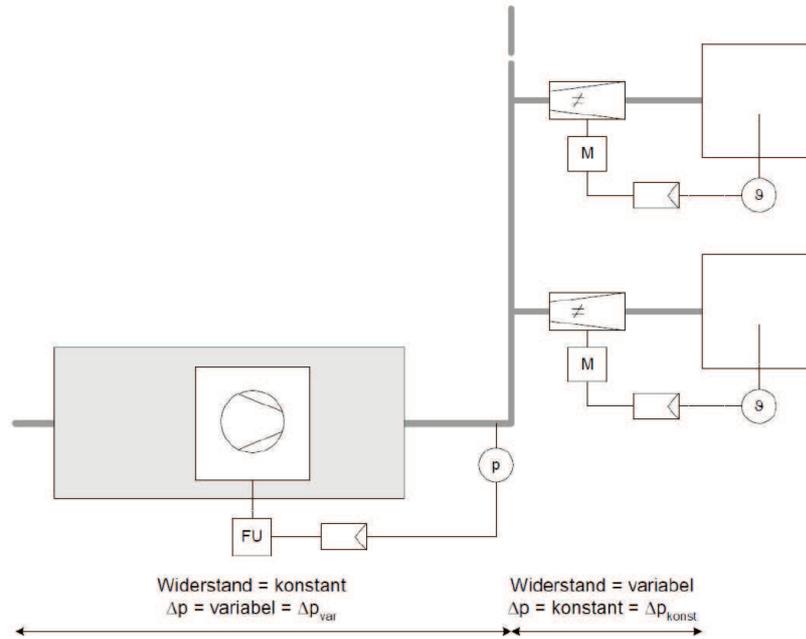


Abbildung 6.2.: Regelschema für VVS-Anlagen als Grundlage für eine vereinfachte Berechnung (Bildquelle: Schiller, 2005)

Abhängigkeit vom Auslegungszustand berechnet werden.

$$P_{VVS} = \frac{v_{VVS} \cdot (\Delta p_{konst} + \Delta p_{var})}{\eta_{ges}} \quad (6.7)$$

$$\Delta p_{var} = \Delta p_{var}^* \cdot \left( \frac{v_{VVS}}{v_{max}} \right)^2 \quad (6.8)$$

Eingesetzt in die Gleichung 6.7 kann so die Ventilatorleistung für einen beliebigen Teillastvolumenstrom ermittelt und weiter zusammengefasst werden:

$$P_{VVS} = \frac{v_{VVS} \cdot \left[ f_p \cdot \Delta p_{ges}^* + (1 - f_p) \cdot \Delta p_{ges}^* \cdot \left( \frac{v_{VVS}}{v_{max}} \right)^2 \right]}{\eta_{ges}} \quad (6.9)$$

$$P_{VVS} = \frac{v_{VVS} \cdot \Delta p_{ges}^* \cdot f_p}{\eta_{ges}} + \frac{v_{VVS}^3 \cdot \Delta p_{ges}^* \cdot (1 - f_p)}{\eta_{ges} \cdot v_{max}^2} \quad (6.10)$$

In Abbildung 6.3 auf der nächsten Seite ist der Einfluss der Druckverhältnis-Zahl auf die Gesamt-Druckverluste (a) und die Ventilator-Leistungsaufnahme (b) im Teillastfall dargestellt. Eine Druckverlust-Zahl  $f_p = 1,0$  beschreibt eine Anlage mit konstantem Volumenstrom, bei  $f_p = 0$  sind keine konstanten Druckverluste in Abschnitt 1 (RLT-Zentrale) vorhanden, sämtliche Druckverluste treten in Abschnitt 2 (Verteilnetz) auf und sind variabel.

Die monatliche Energieaufnahme der Ventilatoren wird durch die Integration der Ventilatorleistung über die Betriebsstunden während des Monats erreicht und ist in Gleichung 6.11

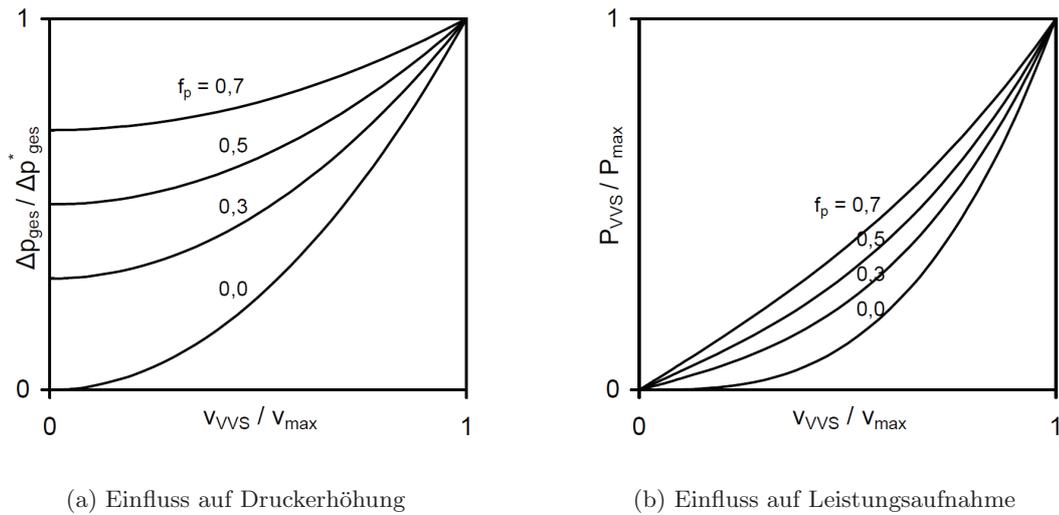


Abbildung 6.3.: Einfluss der Druckverhältnis-Zahl  $f_p$  auf die Gesamt-Druckerhöhung (a) und die Leistungsaufnahme des Ventilators (b) in einer VVS-Anlage als dimensionslose Verhältniszahl (eigene Darstellung nach Schiller, 2005)

zusammengefasst. Dabei ist  $\sum_m v_{VVS}$  die Summe der stündlichen Volumenströme innerhalb des Betrachtungsmonats (in  $[\text{m}^3/\text{h}]$ ) und  $\sum_m v_{VVS}^3$  die Summe der potenzierten stündlichen Volumenströme innerhalb des Betrachtungszeitraums (in  $[\text{m}^9/\text{h}^3]$ ).

$$Q_{LF,VVS} = \frac{\Delta p_{ges}^* \cdot f_p}{\eta_{ges}} \cdot \sum_m v_{VVS} + \frac{\Delta p_{ges}^* \cdot (1 - f_p)}{\eta_{ges} \cdot v_{max}^2} \cdot \sum_m v_{VVS}^3 \quad (6.11)$$

Der Berechnung der Luftvolumenströme unter Berücksichtigung deren Häufigkeiten kommt aufgrund der großen Nichtlinearität des Luftförderungsenergiebedarfs eine sehr große Bedeutung zu. Der Wert  $\sum_m v_{VVS}^3$  lässt sich aus einem Monatsbilanzverfahren nicht explizit ermitteln. Schiller (2005) hat aus der Simulation verschiedener Beispierräume eine empirische Näherung für dessen Berechnung gefunden:

$$\sum_m v_{VVS}^3 = \sum_m v_{VVS} \cdot (0,8 \cdot v_{VVS} + 0,2 \cdot v_{max})^2 \quad (6.12)$$

### Umsetzung im Rahmen der Norm

Für die Anwendung in der ÖNORM H 5057 wurde das Verfahren unverändert übernommen, es wurden lediglich die Formelzeichen an die in der Norm verwendeten angepasst und Defaultwerte für die Berechnung festgelegt:

- Die Luftvolumenströme für Zuluft und Abluft weisen – sofern nicht anderes bekannt – die selben Werte auf.
- Als Fixwert für die Druckverhältnis-Zahl  $f_p$  wird bei VVS-Anlagen 0,4 festgelegt.

- Es wird eine von der Heizlast und der Kühllast abhängige Berechnung für den Defaultwert des maximalen Luftvolumenstroms definiert.
- Als Richtwert für die gesamten Druckverluste im Auslegungsfall werden 1.200 Pa für den Zuluftvolumenstrom und 800 Pa für den Abluftvolumenstrom angegeben.
- Für den gesamten Ventilatorwirkungsgrad wird ein Defaultwert von 0,70 im Auslegungsfall festgelegt.

In Abbildung 6.4 ist die Systematik der Berechnung des Luftförderungsenergiebedarfs von VVS-Anlagen nochmals zusammengefasst:

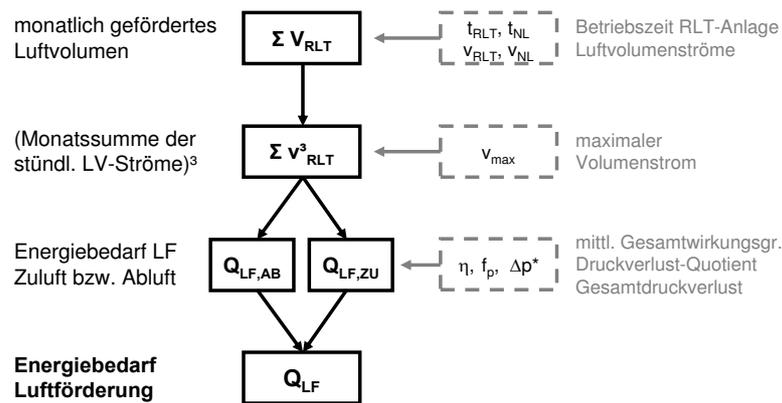


Abbildung 6.4.: Systematik der Berechnung des Luftförderungsenergiebedarfs einer RLT-Anlage mit variablem Volumenstrom (VVS-System)

### 6.3. Erforderliche Normenänderungen

Die Arbeiten an dieser Dissertation haben gezeigt, dass die Systematik der Berechnung des Luftförderungsenergiebedarfs einer maßgeblichen Veränderung unterzogen werden musste. Bisher wurde eine getrennte Bilanzierung für die Luftvolumenströme für hygienische und darüber hinausgehend für prozessbedingte Lüftung vorgenommen, indem zuerst Einzelergebnisse berechnet und diese schließlich zum Gesamtergebnis summiert wurden. In der neuen Version der Norm wird die Berechnung getrennt für die verschiedenen Anlagenarten vorgenommen, eine Aufteilung der Luftvolumenströme findet nicht mehr statt (siehe Abbildung 6.5).

Voraussetzung für diese Änderung war die Überarbeitung der Berechnung der Zuluftvolumenströme. Durch das Ermitteln des gesamten Zuluftvolumenstroms in Abhängigkeit von der Anlagenart kann nun auch deren gesamter Luftförderungsenergiebedarf berechnet werden, ohne Teilberechnungen unterschiedlicher Systeme zuerst trennen und abschließend wieder zusammenführen zu müssen.

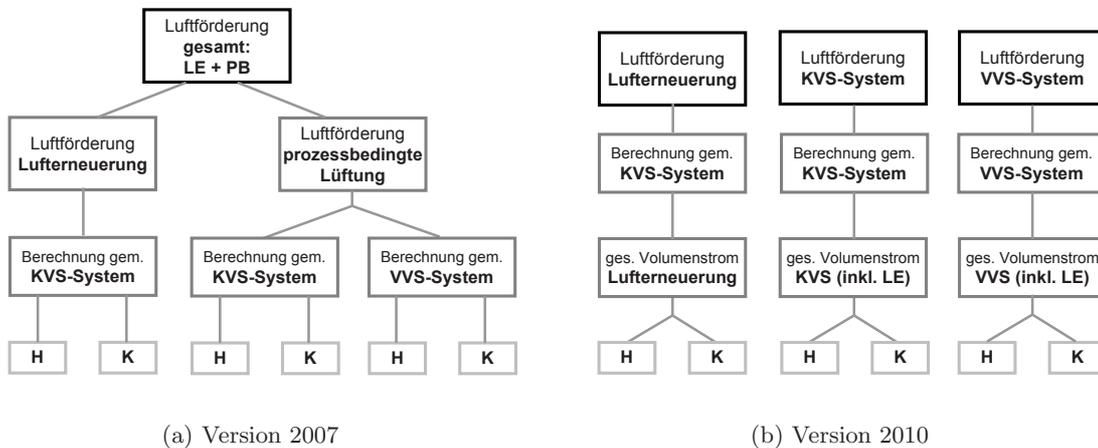


Abbildung 6.5.: Grundsätzliche Systematik der Berechnung des Luftförderungsenergiebedarfs in Version 2007 (a) und Version 2010 (b) der ÖNORM H 5057

Im gesamten Abschnitt wurden in der Version 2007 der Norm vielfach unvollständige oder nicht definierte Bezugszeiten in den Berechnungen verwendet. In diesen Fällen wurden Korrekturen vorgenommen, um jeweils eindeutige und im Einzelfall zutreffende Größen als Bezugszeiten zu verwenden. Dies betrifft insbesondere die Berücksichtigung von Nachtlüftung, die in der Version 2007 nur sehr unzureichend in die Ermittlung des Luftförderungsenergiebedarfs – insbesondere bei VVS-Anlagen – eingegangen ist.

#### 6.3.1. KVS-Systeme

Im Rahmen der Überarbeitung wurden bei der Berechnung des Luftförderungsenergiebedarfs von KVS-Anlagen vier wesentliche Änderungen vorgenommen:

- Systematik der KVS-Berechnung
- Einführung einer detaillierten Berechnungsmethode

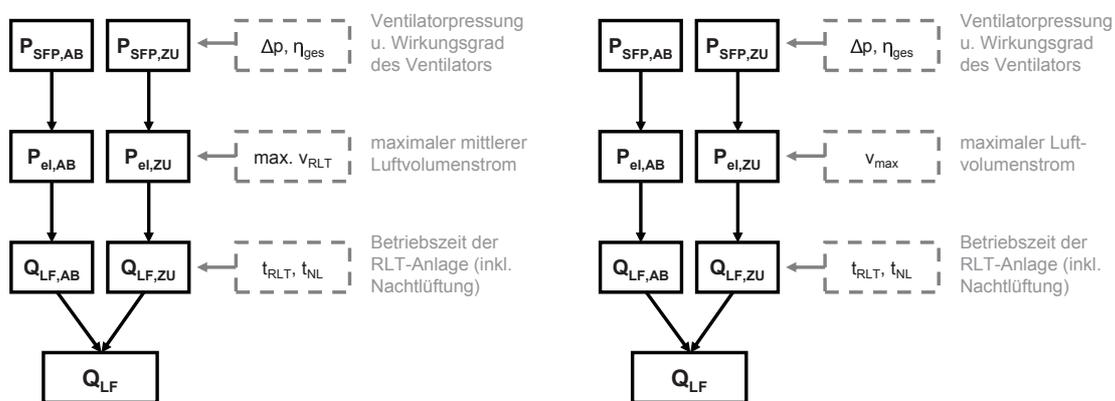
- Abgrenzung der Heiz- und der Kühlperiode
- Einschränkung der Betriebszeit der Nachtlüftung

### Systematik der KVS-Berechnung

Die Systematik der Berechnung des Luftförderungsenergiebedarfs von KVS-Anlagen blieb im Grunde unverändert. Eine wesentliche Adaption musste jedoch vorgenommen werden: In der Version 2007 wurde die elektrische Leistungsaufnahme  $P_{el}$  für den Zuluft- und den Abluftvolumenstrom mithilfe des „maximalen mittleren Luftvolumenstrom“ berechnet. Dieser maximale mittlere Luftvolumenstrom ist der aus der maximal auftretenden Luftwechselzahl (für hygienische Lüftung, Nachtlüftung oder prozessbedingte Lüftung) berechnete mittlere Luftvolumenstrom im Monat. Es wird also die Luftwechselzahl mit dem Lüftungsvolumen und den Vollnutzungsstunden multipliziert und anschließend auf die gesamten Stunden des Monats bezogen.

Im Sinne der Berechnung der erforderlichen elektrischen Leistung eines Ventilators ist anstatt des maximalen mittleren Luftvolumenstroms jedoch der maximal zu fördernde Luftvolumenstrom zu verwenden. Nur so kann die maximal erforderliche Leistung berechnet werden.

Diese Veränderung ist in Abbildung 6.6 dargestellt: die Veränderung in der Systematik ist minimal, die Auswirkung auf die Ergebnisse ist aber erheblich.



(a) Version 2007

(b) Version 2010

Abbildung 6.6.: Systematik der Berechnung des Luftförderungsenergiebedarfs von KVS-Anlagen in Version 2007 (a) und Version 2010 (b) der ÖNORM H 5057

### Einführung einer detaillierten Berechnungsmethode

In der Version 2007 der ÖNORM H 5057 konnte die Berechnung des spezifischen Leistungsbedarfs ausschließlich mit Defaultwerten für  $P_{SFP}$  in Abhängigkeit vom geförderten Luftvolumenstrom vorgenommen werden. Die vorgegebenen Werte lagen für Anlagen mit einem

Luftvolumenstrom unter  $1.000 \text{ m}^3/\text{h}$  bei SFP 1, für Anlagen über  $50.000 \text{ m}^3/\text{h}$  bei SFP 7. Insbesondere bei Anlagen mit sehr hohen Luftvolumenströmen – wobei in der Berechnungspraxis häufig das gesamte Gebäude als mit einer Anlage versorgt angenommen wird – führte dies zu außergewöhnlich hohen Energiebedarfswerten für die Luftförderung.

Im Zuge der Überarbeitung der Norm wurde einerseits die Möglichkeit einer detaillierten Berechnung für den spezifischen Leistungsbedarf  $P_{SFP}$  eingeführt, andererseits wurden die Vorgabewerte für die Defaultberechnung überarbeitet. Abweichend vom Vorschlag, die Kategorie SFP 4 unabhängig von Gebäudetyp und Größe als Defaultwert vorzugeben, wurde wie in Tabelle 6.1 auf Seite 72 dargestellt eine Aufteilung nach Art des Lüftungsgeräts, Gebäudetyp und Größe des Gebäudes getroffen. Den so definierten Klassen wurden abhängig von der Anordnung des Ventilators und der Konditionierungsart Werte für  $P_{SFP}$  aus den Kategorien SFP 1 bis SFP 7 zugeordnet.

Die Ergebnisse für den Luftförderungsenergiebedarf bei KVS-Anlagen sind für große Nichtwohngebäude nach der Defaultwerte-Methode auch gemäß Version 2010 der ÖNORM H 5057 äußerst hoch. Durch die Möglichkeit, eine detaillierte Berechnung vornehmen zu können, kann die Defaultwerte-Methode jedoch umgangen werden. Durch Erhebung der Parameter Förderdruck und gesamter Ventilatorwirkungsgrad kann ein realistischerer Wert für den Energiebedarf der Ventilatoren berechnet werden. Diese Vorgangsweise ist Energieausweiserstellern dringend anzuraten, da der Endenergiebedarf des Gebäudes bei Anwendung der Defaultwerte-Methode maßgeblich höher sein kann als bei Verwendung der detaillierten Berechnung.

### **Abgrenzung der Heiz- und der Kühlperiode**

Sowohl in der Version 2007 als auch in der Version 2010 der Norm wird bei der Berechnung des Luftförderungsenergiebedarfs zwischen Heizfall und Kühlfall unterschieden. Maßgeblich dafür ist der Einfluss der Nachtlüftung, die zu einer verlängerten monatlichen Laufzeit der RLT-Anlage im Kühlfall führt.

In der ursprünglichen Ausgabe der Norm war keine Regelung enthalten, durch die eine Abgrenzung der beiden Berechnungsfälle möglich gewesen wäre. Es wurden daher der Luftförderungsenergiebedarf für den Heizfall und der Luftförderungsenergiebedarf für den Kühlfall in zwölf Monaten im Jahr mit voller spezifischer Ventilatorleistung und voller Laufzeit der Anlage berechnet. Dadurch wurde einerseits der Luftförderungsenergiebedarf exakt doppelt bilanziert, andererseits wurde Nachtlüftung das ganze Jahr über jeden Tag angenommen.

Bei der Überarbeitung der Norm wurde die Länge der Heizperiode – also die Anzahl der Tage im Monat innerhalb der Heizperiode – als Abgrenzungskriterium herangezogen. Innerhalb der Heizperiode wird die Berechnung für den Heizfall angewandt, außerhalb der Heizperiode jene für den Kühlfall.

Diese Abgrenzung wurde auch für die Bilanzierung der Ergebniswerte herangezogen: Innerhalb der Heizperiode wird der Luftförderungsenergiebedarf dem Heizenergiebedarf zugerechnet, außerhalb zählt er zum Kühlenergiebedarf.

### **Einschränkung der Betriebszeit der Nachtlüftung**

Wie bereits beschrieben wurde Nachtlüftung in der Version 2007 über die Berechnung des Luftförderungsenergiebedarfs im Kühlfall an jedem Tag des Jahres angenommen. Durch die

Abgrenzung von Heiz- und Kühlfall über die Kühlperiode wurde die Betriebszeit auf die Zeit außerhalb der Heizperiode beschränkt. Dies bedeutete jedoch weiterhin eine sehr große Laufzeit der Nachtlüftung, wodurch der zusätzliche Energiebedarf für die Luftförderung die Reduktion des Kühlbedarfs und in weiterer Folge des Kühlenergiebedarfs bei Weitem übertraf.

Aus diesem Grund war es erforderlich, die Anzahl der Tage, an denen Nachtlüftung sinnvoll und daher einzusetzen ist, zu erheben und die Betriebszeit der RLT-Anlage für Nachtlüftung auf diese Tage zu beschränken. Der ursprüngliche Ansatz, aus der Kühlbedarfsberechnung gemäß der ÖNORM B 8110-6 oder aus der neu eingeführten überschlägigen Kühllastberechnung gemäß der ÖNORM H 5058 eine Ableitung der monatlich erforderlichen Nachtlüftungstage vorzunehmen, war nicht erfolgreich. Daher wurde in Anlehnung an vergleichbaren Studien und Normen ein Wert von 55 Tagen mit Nachtlüftung während der gesamten Kühlperiode festgelegt. Diese Anzahl an Tagen wird gemäß der Verteilung des Kühlbedarfs auf die Monate der Kühlperiode aufgeteilt und als  $d_{C,NL}$  bezeichnet.

### 6.3.2. VVS-Systeme

#### Luftvolumenströme

Durch die virtuelle Aufteilung der Luftströme auf Lufterneuerung und prozessbedingte Lüftung und anschließend getrennte Berechnung des Luftförderungsenergiebedarfs traten bei VVS-Anlagen erhebliche Probleme auf. Aufgrund dessen, dass bei der Berechnung des erforderlichen mittleren Luftvolumenstroms der Anteil der hygienischen Lüftung abgezogen wurde (siehe Gleichung 6.13, vereinfachte Formelzeichen), konnte der verbliebene prozessbedingte Luftvolumenstrom der VVS-Anlage in einzelnen Monaten gegen Null tendieren.

$$v_{RLT,c,VVS} = \frac{1000 \cdot (Q_c - Q_{c,LE})}{t_{RLT} \cdot c_{p,L} \cdot \rho_L \cdot (\theta_{i,c} - \theta_{c,RLT})} - v_{RLT,c,LE} \geq 0 \quad (6.13)$$

In einer Grenzwertbetrachtung für den Luftförderungsenergiebedarf der VVS-Anlage mit  $v_{RLT,VVS} \rightarrow 0$  ergibt sich damit  $Q_{LF,VVS} \rightarrow \infty$  (vereinfachte Formelzeichen):

$$\begin{aligned} \lim_{v \rightarrow 0} Q_{LF,VVS} &= \lim_{v \rightarrow 0} \left[ \frac{\Delta p \cdot f_p}{\eta_V} \cdot t_n \cdot v + \frac{\Delta p \cdot (1 - f_p)}{\eta_V \cdot v^2} \cdot t_n \cdot v \cdot (0.8 \cdot v + 0.2 \cdot v_{max})^2 \right] \\ &= \frac{\Delta p \cdot f_p}{\eta_V} \cdot t_n \cdot \lim_{v \rightarrow 0} v + \\ &+ \frac{\Delta p \cdot (1 - f_p)}{\eta_V} \cdot t_n \cdot \left[ 0,64 \lim_{v \rightarrow 0} \frac{v^2}{v} + 0,32 v_{max} \lim_{v \rightarrow 0} \frac{v}{v} + 0,04 v_{max}^2 \lim_{v \rightarrow 0} \frac{1}{v} \right] \\ &= \text{konst.} \cdot 0 + \text{konst.} \cdot \left[ 0,64 \cdot 0 + 0,32 v_{max} + 0,04 v_{max}^2 \cdot \frac{1}{0} \right] \\ &= \infty \end{aligned}$$

Das bedeutete, dass in Monaten mit einem prozessbedingten Luftwechsel, der gleich hoch oder geringer als der hygienische Luftwechsel war, ein unendlich hoher Luftförderungsenergiebedarf bei VVS-Anlagen entstand. Dieses Problem konnte durch die neue überarbeitete

Berechnung der Luftvolumenströme und dabei insbesondere durch die Definition des gesamten zu fördernden Luftvolumenstroms  $v_{RLT,ges}$  behoben werden.

### Eingangsgrößen und Defaultwerte

Ein im Zuge der Überarbeitung nicht behandeltes Problem betrifft die Umsetzung der von Schiller entwickelten Methode im Berechnungsalgorithmus der ÖNORM H 5057. In der Version 2010 wurde die in Gleichung 6.11 erläuterte Berechnung des Luftförderungsenergiebedarfs von Ventilatoren in VVS-Anlagen wie folgt eingebunden (getrennt für Zuluft- und Abluftvolumenstrom):

$$Q_{LF,VVS,ZUL} = \frac{\Delta p_{ZUL}^* \cdot f_{p,ZUL} \cdot \sum V_{RLT,ges}}{3600 \cdot 1000 \cdot \eta_{ZUL}} + \frac{\Delta p_{ZUL}^* \cdot (1 - f_{p,ZUL}) \cdot \sum v_{RLT,ges}^3}{3600 \cdot 1000 \cdot \eta_{ZUL} \cdot (v_{RLT,ges,ZUL})^2} \quad (6.14a)$$

$$Q_{LF,VVS,ABL} = \frac{\Delta p_{ABL}^* \cdot f_{p,ABL} \cdot \sum V_{RLT,ges}}{3600 \cdot 1000 \cdot \eta_{ABL}} + \frac{\Delta p_{ABL}^* \cdot (1 - f_{p,ABL}) \cdot \sum v_{RLT,ges}^3}{3600 \cdot 1000 \cdot \eta_{ABL} \cdot (v_{RLT,ges,ABL})^2} \quad (6.14b)$$

mit

$$v_{RLT,ges,ZUL} = v_{RLT,ges,ABL} = v_{RLT,ges} \quad (6.15)$$

Die in den beiden Gleichungen jeweils im Nenner des zweiten Terms enthaltenen Größen  $(v_{RLT,ges,ZUL})^2$  und  $(v_{RLT,ges,ABL})^2$  sollten im Sinne der Gleichung 6.11 den Auslegungsvolumenstrom der Anlage darstellen, um den Einfluss des Proportionalitätsgesetzes aus Gleichung 6.8 sicherzustellen. Somit ist die in der ÖNORM H 5057 in der Version 2010 enthaltene Berechnung des Luftförderungsenergiebedarfs von VVS-Anlagen fehlerhaft und ist im Zuge der nächsten Überarbeitung jedenfalls zu korrigieren.

Ein weiteres Problem betrifft die vorgegebenen Defaultwerte für die Druckverhältnis-Zahl:

*Bei variablen Volumenstromanlagen betragen die Quotienten  $f_{p,ZUL}$  und  $f_{p,ABL}$  aus Konstant- und Gesamtdruckanteil für die Berechnung jeweils 0,4.*  
(ÖNORM H 5057:2010)

Damit wird für die Druckverhältnis-Zahl  $f_p$  sowohl für den Zuluft- als auch für den Abluftvolumenstrom ein Fixwert vorgegeben. Dies ist nicht im Sinne der Berechnung, da bei bekannten Anlagenparametern die Druckverhältnis-Zahl auch berechnet werden kann, was durch die Gleichungen in der Norm auch ermöglicht wird. Es wäre wünschenswert, die für  $f_{p,ZUL}$  und  $f_{p,ABL}$  definierten Vorgabewerte als Defaultwerte zu betrachten und auch so zu bezeichnen, um bei vorliegenden Anlagenparametern eine Berechnung und damit exaktere Ergebnisse zu ermöglichen.



# 7. Nutzenergiebedarf zur Konditionierung

## 7.1. Modell der spezifischen Energiekennwerte

Im Modell der spezifischen Energiekennwerte werden zur Ermittlung des sensiblen und des latenten Wärmebedarfs für die Konditionierung feuchter Luft Enthalpiedifferenzen zwischen den einzelnen Konditionierungsschritten berechnet. Folgende Grundgleichungen bilden dafür die Basis (unter der Voraussetzung von  $h_L = h_D = 0$  bei  $0^\circ\text{C}$ ):

$$h_L = c_{p,L} \cdot \theta \quad (7.1a)$$

$$h_D = r_0 + c_{p,D} \cdot \theta \quad (7.1b)$$

Damit kann die Enthalpie der Luft-Wasserdampf-Mischung als Summe der Einzelenthalpien bezogen auf 1 kg trockene Luft berechnet werden:

$$h = h_L + x \cdot h_D \quad (7.2a)$$

$$h = c_{p,L} \cdot \theta + x \cdot (r_0 + c_{p,D} \cdot \theta) \quad (7.2b)$$

Zur vereinfachten Darstellung der Vorgänge bei der Konditionierung des Luftvolumenstroms wird das  $h, x$ -Diagramm für feuchte Luft nach Mollier herangezogen (siehe Abbildung 7.1 auf der nächsten Seite).

Für die Berechnung des Nutzenergiebedarfs zur Konditionierung des Luftvolumenstroms muss definiert werden, welche Bestandteile der Anlage in den einzelnen Zeitschritten aktiv sein müssen und dadurch eine Konditionierung hervorrufen. Eine Konditionierung im Sinne dieser Betrachtung erfolgt dabei dann, wenn sich Temperatur oder absolute Luftfeuchte des Luftvolumenstroms im jeweiligen Anlagenbestandteil verändern. Dadurch verändert sich der Enthalpieinhalt des Luftvolumenstroms. Die Differenz des Enthalpieinhalts von Ausgangs- und Endpunkt wird – unter Berücksichtigung der Dichte der Luft – abschließend in die Energiemenge umgerechnet, die dem Luftvolumenstrom im jeweiligen Konditionierungsschritt zugeführt oder entzogen werden muss.

Die verschiedenen Anlagenbestandteile bewirken unterschiedliche Konditionierungsvorgänge, die jeweils im  $h, x$ -Diagramm dargestellt werden können (durch Darstellung von Lufttemperatur und absoluter Luftfeuchte vor und nach der Konditionierung). Eine aktive Konditionierung erfolgt in den Anlagenbestandteilen Luftvorerhitzer, Luftkühler, Luftbefeuchter und Luftnacherhitzer und im Falle eines elektrischen Luftvorheizregisters in der Luftvorwärmung. In den anderen Anlagenbestandteilen erfolgt eine passive Konditionierung (Erdreichwärmetauscher, Wärme- und Feuchterückgewinnung, Mischkammer).

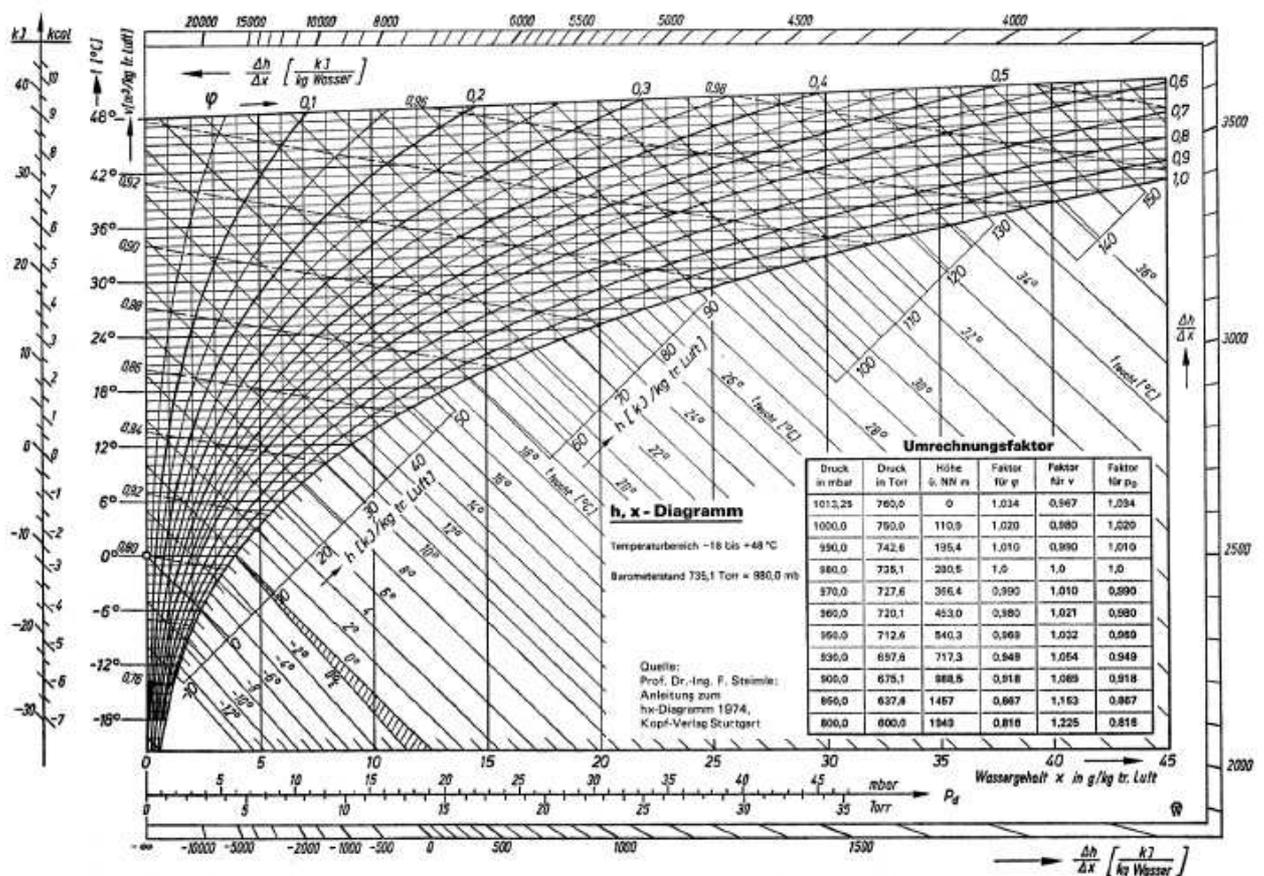


Abbildung 7.1.:  $h, x$ -Diagramm für feuchte Luft nach Mollier (Luftdruck: 980 hPa = 980 mbar) (Bildquelle: Recknagel et al., 2007)

Zur besseren Veranschaulichung, welche Konditionierungsschritte für die verschiedenen Luftzustände erforderlich sind, können im  $h, x$ -Diagramm Zonen definiert werden (siehe Abbildung 7.2 auf der nächsten Seite). Diese Zonen umfassen jeweils Luftzustände, die die gleichen Konditionierungsschritte erfahren müssen, um schlussendlich die gewünschte Temperatur und Feuchte der Zuluft in den Raum zu erreichen (Behaglichkeitsbereich). Das  $h, x$ -Diagramm kann in sechs unterschiedliche Zonen mit verschiedenen Konditionierungserfordernissen unterteilt werden:

- Zone 1a: Heizen + Befeuchten
- Zone 1b: Befeuchten
- Zone 1c: Kühlen + Befeuchten
- Zone 2: Kühlen
- Zone 3: Kühlen + Entfeuchten
- Zone 4: Heizen

Die Einteilung der  $h, x$ -Zonen unterscheidet sich für Anlagen mit adiabater Befeuchtung (Verdunstungsbefeuchtung) und Anlagen mit Dampfbefeuchtung:

- Bei adiabater Befeuchtung wird Wasser in den Luftvolumenstrom gesprüht das dort zu einem gewissen Anteil verdunstet. Die zur Verdunstung erforderliche Energie wird dem Luftvolumenstrom entzogen (Verdunstungskälte), wodurch es zu einer Reduktion der Lufttemperatur im Volumenstrom kommt. Es ist daher eine zusätzliche Nacherhitzung erforderlich, um die schlussendlich gewünscht Zulufttemperatur erreichen zu können<sup>1</sup>. Die Zustandsänderung bei Verdunstungsbefeuchtung ist annähernd isenthalp (gleicher Enthalpie).
- Bei Dampfbefeuchtung wird die erforderliche Luftfeuchtigkeit in Form von Dampf in den Luftvolumenstrom eingebracht. In Abhängigkeit von der Temperatur des zugeführten Dampfes kommt es in der Regel zu keiner Temperaturänderung im Luftvolumenstrom, die Zustandsänderung ist annähernd isochor (gleicher Temperatur).

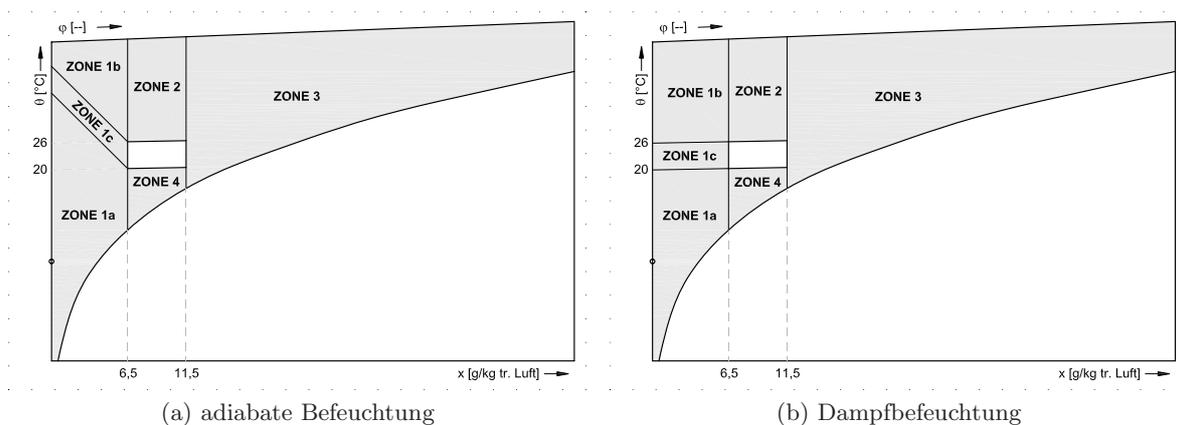


Abbildung 7.2.: Zonenteilung des  $h, x$ -Diagramms bei adiabater Befeuchtung (Verdunstungsbefeuchtung) (a) und Dampfbefeuchtung (b)

### 7.1.1. Einbindung in die Energiebedarfsberechnung der ÖNORM H 5057

Die Berechnung des Nutzenergiebedarfs zur Konditionierung des Zuluftvolumenstroms basiert in der ÖNORM H 5057 auf dem Modell der spezifischen Energiekennwerte. In der bisherigen Anwendung des Modells wurde dabei für verschiedene Benchmark-Anlagen unter Annahme bestimmter Rahmenbedingungen der Nutzenergiebedarf zur Konditionierung monatsweise ermittelt, die Ergebnisse wurden tabellarisch in der Norm festgehalten. Dieser monatliche Nutzenergiebedarf wurde spezifisch für die Konditionierung eines Luftvolumenstroms von  $1 \text{ m}^3/\text{h}$  berechnet – daraus ergibt sich die Bezeichnung der „spezifischen Energiekennwerte“ (SEK). Diese tabellarisch festgehaltenen Werte dienen als Eingangsgrößen für die Berechnung in der Norm.

Abbildung 7.3 auf der nächsten Seite zeigt die Systematik des Verfahrens der spezifischen Energiekennwerte. In einer RLT-Anlage muss einem Luftvolumenstrom von  $1 \text{ m}^3/\text{h}$  Energie zugeführt werden, um ihn von Außenluftbedingungen (im vorliegenden Beispiel mit einer Außenlufttemperatur von  $3^\circ\text{C}$  und einer absoluten Außenluftfeuchte von  $2,1 \text{ g/kg}$ ) auf die geforderten Zuluftbedingungen (in diesem Fall  $31^\circ\text{C}$  und  $6,5 \text{ g/kg}$ ) konditionieren zu können. Dazu wird in drei Schritten vorgegangen:

<sup>1</sup>Durch die Regelung der adiabaten Befeuchtung kann eine derartige Nacherhitzung vermieden werden.

### 1. Auswahl einer Benchmark-Anlage

Die spezifischen Energiekennwerte wurden für 41 verschiedene Benchmark-Anlagen berechnet. Deshalb ist im ersten Schritt eine dieser Benchmark-Anlagen als Referenzsystem auszuwählen, um einen Ausgangswert für die Berechnung des anlagenspezifischen SEK-Werts zu erhalten. Bei der Auswahl der Benchmark-Anlage sind die wesentlichen Unterscheidungskriterien (energetische Klassifizierungsmerkmale) die Feuchteanforderung der Gebäudezone, die Art der Befeuchtung, die Art des Wärmerückgewinnungssystems und dessen Rückwärmzahl beziehungsweise Rückfeuchtzahl. Für die ausgewählte Benchmark-Anlage werden die monatlichen spezifischen Energiekennwerte der tabellarischen Aufstellung entnommen.

### 2. Anpassung der Benchmark-Parameter

Im zweiten Schritt werden die für die Berechnung der SEK-Werte der Benchmark-Anlage definierten Benchmark-Parameter an die Parameter der tatsächlichen Anlage angepasst. Es erfolgt eine Korrektur für tatsächliche Zulufttemperatur und Zuluftfeuchte, für tatsächliche Betriebszeit und Betriebstage sowie für tatsächliche Rückwärmzahl und Rückfeuchtzahl.

### 3. Denormierung der Energiekennwerte

Abschließend werden die so ermittelten spezifischen Energiekennwerte (für einen Luftvolumenstrom von  $1 \text{ m}^3/\text{h}$ ) der Anlage durch Denormierung auf den tatsächlichen Luftvolumenstrom umgerechnet.

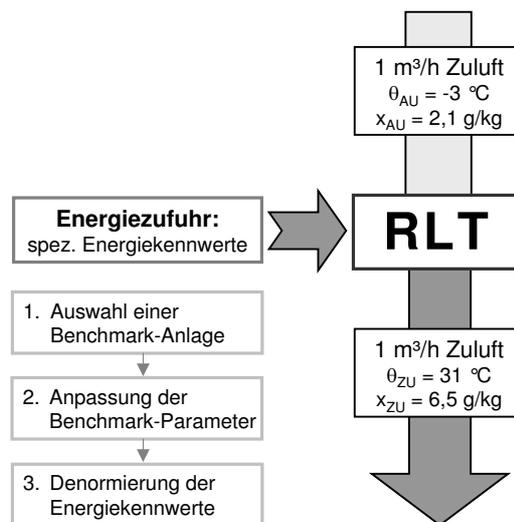


Abbildung 7.3.: Übersichtsdarstellung der Systematik des Verfahrens der spezifischen Energiekennwerte

Die spezifischen Energiekennwerte der 41 Benchmarkanlagen sind Monats-Summenwerte, die in Stundenschritten berechnet wurden. Die Berechnung der stündlich erforderlichen Energiemenge zur Konditionierung erfolgt durch das Bilden von Enthalpiedifferenzen zwischen dem gewünschten Zuluftzustand und dem vorhandenen Außenluftzustand der Luft unter Berücksichtigung der Art der Konditionierung. Dazu wurden Jahresverläufe von Temperatur und Luftfeuchtigkeit in Stundenschritten an den Worst-Case-Standorten Wien-Innere Stadt und

Klagenfurt als Berechnungsgrundlage für die Außenluftenthalpie herangezogen. Die ausgewählten Jahresverläufe entstammen Datensätzen von Testreferenzjahren der beiden Standorte. Nach der Denormierung der Energiekennwerte ist daher noch eine Standortumrechnung erforderlich.

Je nach Art der Befeuchtung in der jeweiligen Benchmark-Anlage wurden zwei oder drei verschiedene spezifische Energiekennwerte berechnet. Bei Anlagen mit Verdunstungsbefeuchtung wurde der Nutzenergiebedarf für die Befeuchtung – also für die Nacherhitzung nach der Verdunstungskühlung bei adiabater Befeuchtung – in den SEK-Wert für Heizen eingerechnet. Bei Anlagen mit Dampfbefeuchtung hingegen wurde der Nutzenergiebedarf für die Befeuchtung explizit berechnet.

- spezifische Energiekennwerte für **Heizen** –  $q_H$
- spezifische Energiekennwerte für **Kühlen** –  $q_C$
- spezifische Energiekennwerte für **Befeuchten** –  $q_{St}$  (Dampfbefeuchtung)

Ein Vergleich mit den Energiekennwerten aus der Nutzenergiebedarfsberechnung – Heizwärmebedarf HWB und Kühlbedarf KB – ist nicht ohne Weiteres möglich, da in den SEK-Werten auch der latente Wärmebedarf berücksichtigt wird, was bei HWB und KB nicht passiert. In der ÖNORM H 5057 werden daher für derartige Vergleiche stets Werte ohne latenten Wärmeanteil herangezogen – für die Berechnung von erforderlicher Zulufttemperatur beziehungsweise Zuluftvolumenstrom werden spezifische Energiekennwerte für Heizen und Kühlen bereitgestellt, die nur aus den Differenzen des sensiblen Wärmeinhalts berechnet wurden.

### 7.1.2. Berechnung der spezifischen Energiekennwerte

#### Benchmark-Anlagen

Um der großen Vielfalt an ausgeführten RLT-Anlagen Rechnung zu tragen und die spezifischen Energiekennwerte möglichst gut angepasst an die tatsächlich vorhandene Anlage berechnen zu können, wurden 41 Benchmark-Anlagen definiert, für die spezifische Energiekennwerte zur Verfügung gestellt werden. Die Benchmark-Anlagen werden über verschiedene energetische Klassifizierungsmerkmale charakterisiert, jede Anlage deckt eine bestimmte Kombination ab. Diese energetischen Klassifizierungsmerkmale sind:

- Feuchteanforderung in der Gebäudezone
  - keine Feuchteanforderung:  
Es werden keine Anforderungen an den Feuchtgrad der Luft gestellt. Es wird keine Be- oder Entfeuchtung vorgenommen.
  - Feuchteanforderung im Behaglichkeitsbereich (mit Toleranz):  
Die Anforderungen an den Feuchtegehalt der Zuluft gewähren einen Toleranzbereich. Die Zuluftfeuchte muss im Bereich von 6,5 bis 11,5 g/kg liegen.
  - erhöhte Feuchteanforderung (ohne Toleranz):  
Die Anforderungen an den Feuchtegehalt sind ohne Toleranz einzuhalten. Der Zielwert des Feuchtegehalts kann innerhalb des Bereichs 6,5 bis 11,5 g/kg individuell festgelegt werden.

- Typ des Luftbefeuchtungs-Systems
  - Verdunstungsbefeuchtung:
 

In der ÖNORM H 5057 werden Verdunstungsbefeuchter (adiabate Befeuchtung) mit Zuluftfeuchteregelung abgebildet. Im Gegensatz zu Verdunstungsbefeuchtern mit Taupunktregelung, die stets auf 100% relative Feuchte befeuchten, wird angenommen dass in nach der Zuluftfeuchte geregelten Verdunstungsbefeuchtern die adiabate Befeuchtung auf 60% relative Feuchte erfolgt. Das bedeutet, die Außenluft wird erwärmt (Vorerwärmung), adiabatisch auf 60% relative Luftfeuchtigkeit befeuchtet und danach auf die gewünschte Raumtemperatur nacherwärmt (Nacherwärmung), wodurch die relative Luftfeuchtigkeit wieder etwas abnimmt. Die zusätzliche Energie für die Befeuchtung, die sich im Grunde durch die Nacherwärmung der Zuluft ergibt, findet sich im Nutzenergiebedarf für Heizen  $q_H$  wieder.
  - Dampfbefeuchtung:
 

Bei der Berechnung der Dampfbefeuchtung wird idealisiert angenommen, dass die Temperatur während der Befeuchtung konstant bleibt (Dampfbefeuchtung mit Sattdampf). Der Energiebedarf für die Dampfbefeuchtung wird als Nutzenergiebedarf für die Befeuchtung  $q_{St}$  ausgegeben.
- Typ des Wärmerückgewinnungs-Systems
  - keine Wärmerückgewinnung
  - Wärmerückgewinnung:
 

Die Wärmerückgewinnung wird mit Hilfe des angenommenen Abluftzustandes berechnet.
  - Wärme- und Feuchterückgewinnung:
 

Die Wärme- und Feuchterückgewinnung wird mit Hilfe des angenommenen Abluftzustandes berechnet. Die Rückfeuchtzahl wird vereinfacht gleich der Rückwärmzahl angesetzt.
- Rückwärmzahl
  - Stützstellen für die Rückwärmzahl bei 0%, 45%, 60%, 75% und 90%

Die Konfiguration der 41 Benchmark-Anlagen resultiert aus der Kombination der einzelnen energetischen Klassifizierungsmerkmale. Sie sind in Abbildung 7.4 auf der nächsten Seite dargestellt.

Zusätzlich zu den beschriebenen vier energetischen Klassifizierungsmerkmalen mussten für die Berechnung der spezifischen Energiekennwerte noch weitere Parameter definiert werden. Diese sogenannten Benchmark-Parameter sind:

- tägliche Betriebszeit der RLT-Anlage
- jährliche Nutzungstage der RLT-Anlage
- erforderliche Zuluftfeuchte bei Befeuchtung ohne Toleranz

Auf Grundlage der energetischen Klassifizierungsmerkmale der verschiedenen Benchmark-Anlagen und der weiteren Benchmark-Parameter wurden spezifische Energiekennwerte für

Variantennummer	Feuchteanforderung			Befeuchter		Wärmerückgewinnung			Rückwärmezahl			
	keine	auf Grenzbereich	auf Grenzwert	Verdunstungsbefeuchter	Dampf-befeuchter	keine	Wärme	Wärme u. Feuchte	45 %	60 %	75 %	90 %
1	•					•						
2	•						•		•			
3	•						•			•		
4	•						•				•	
5	•						•					•
6		•		•		•						
7		•		•			•		•			
8		•		•			•			•		
9		•		•			•				•	
10		•		•			•					•
11		•		•				•	•			
12		•		•				•		•		
13		•		•				•			•	
14		•		•				•				•
15			•	•		•						
16			•	•			•		•			
17			•	•			•			•		
18			•	•			•				•	
19			•	•			•					•
20			•	•				•	•			
21			•	•				•		•		
22			•	•				•			•	
23			•	•				•				•
24		•			•	•						
25		•			•		•		•			
26		•			•		•			•		
27		•			•		•				•	
28		•			•		•					•
29		•			•			•	•			
30		•			•			•		•		
31		•			•			•			•	
32		•			•			•				•
33			•		•	•						
34			•		•		•		•			
35			•		•		•			•		
36			•		•		•				•	
37			•		•		•					•
38			•		•			•	•			
39			•		•			•		•		
40			•		•			•			•	
41			•		•			•				•

Abbildung 7.4.: Konfiguration der Benchmark-Anlagen zur Bestimmung der spezifischen Energiekennwerte (Bildquelle: Vornorm ÖNORM H 5057:2007)

die 41 Benchmark-Anlagen berechnet. Die Berechnung wurde für verschiedene Zulufttemperaturen im Bereich von 10 °C bis 50 °C<sup>2</sup> durchgeführt. Die Darstellung der berechneten Werte erfolgte in der Art, dass der Basiswert der spezifischen Energiekennwerte für eine Zulufttemperatur von 20 °C – sowohl für Heizen als auch für Kühlen – und eine tägliche Betriebszeit von 12 h angegeben wurde. Für andere Zulufttemperaturen als 20 °C wurden Temperaturkorrekturgradienten für verschiedene Temperaturintervalle angegeben, mithilfe derer in einem weiteren Schritt die Korrektur auf die tatsächliche Zulufttemperatur vorgenommen werden konnte.

## Ermittlung der spezifischen Energiekennwerte

Bei der Ermittlung der spezifischen Energiekennwerte wurde folgendermaßen vorgegangen:

1. Für die stündlichen Klimadaten der Worst-Case-Klimata für den Heizfall und den Kühlfall werden die Außenluftenthalpien berechnet.
2. Je nach Anlagenvariante werden die erforderlichen Zuluftenthalpien berechnet. Dabei wird die Zulufttemperatur in 1 °C-Schritten variiert.
3. Rückwärmzahl und Rückfeuchtzahl werden in die Berechnung miteinbezogen.
4. Durch den Bezug auf die jeweilige Dichte der Luft (unter Berücksichtigung der Druckerhöhung von Zuluft und Abluft durch die Ventilatoren) wird der Energieinhalt der Außen- und der Zuluft bezogen auf 0 °C berechnet.
5. Es wird die Differenz des Energieinhalts von Außenluft und Zuluft ermittelt. Diese Differenz entspricht der stündlich zuzuführenden Energiemenge.
6. Die Berechnung für alle Stunden eines Monats und die anschließende Summation der Einzelwerte ergeben den jeweiligen spezifischen Energiekennwert. Die SEK-Werte werden für eine Zulufttemperatur von 20 °C berechnet, für die Korrektur auf die tatsächliche Zulufttemperatur werden Temperaturkorrekturgradienten angegeben.

## Abluftzustand

Zur Berücksichtigung der Wärme- und Feuchterückgewinnungs-Systeme ist es erforderlich, auch den Zustand der Abluft zu kennen ( $\theta_{AB}$  und  $x_{AB}$ ). Dazu werden je nach  $h, x$ -Zone gemäß VDI 2078 die Werte der nächstliegenden Grenze des Behaglichkeitsbereichs des Raumluftzustands angesetzt. Dieser beträgt in Abhängigkeit von der jeweiligen Feuchteanforderung:

- keine Feuchteanforderung
  - $x_{AB} = x_{AU}$  (keine Anforderung)
  - $\theta_{AB} = \theta_{AU}$  mit:  $20 \leq \theta_{AB} \leq 26$  °C
- Feuchteanforderung mit Toleranz

---

<sup>2</sup>Der Bereich der Zulufttemperaturen betrug in der Ausgabe 2007 der ÖNORM H 5057 ursprünglich 14 bis 35 °C. Im Zuge der Adaptierung im Jahr 2010 wurde die Möglichkeit geschaffen, auch Lüftungsanlagen von Passivhäuser mit einer Zulufttemperatur von bis zu 50 °C abbilden zu können. Aus diesem Grund wurde der Wertebereich der Zulufttemperaturen ausgedehnt.

–  $x_{AB} = x_{AU}$  mit:  $6,5 \leq x_{AB} \leq 11,5$  g/kg

–  $\theta_{AB} = \theta_{AU}$  mit:  $20 \leq \theta_{AB} \leq 26$  °C

- Feuchteanforderung ohne Toleranz

–  $x_{AB} = 9,0$  g/kg

–  $\theta_{AB} = \theta_{AU}$  mit:  $20 \leq \theta_{AB} \leq 26$  °C

Nachdem im Sommerfall (bzw. Kühlfall) keine Wärmerückgewinnung berücksichtigt wird, beträgt die relevante Ablufttemperatur in jedem Fall 20,0 °C, die Abluftfeuchte entspricht der geforderten Zuluftfeuchte und daher demjenigen Wert des Behaglichkeitsbereichs, der der Außenluftfeuchte am nächsten liegt.

## Randbedingungen

Der Berechnung der spezifischen Energiekennwerte liegt eine Reihe von weiteren Annahmen und Randbedingungen zugrunde. Nachstehend sind alle allgemeingültigen Randbedingungen aufgelistet (Eiper, 2006):

- Rückwärmzahlen werden als konstante Eigenschaft betrachtet (laut VDI 2071). Effekte wie Vereisung und Kondensation werden nicht berücksichtigt.
- Es wird davon ausgegangen, dass Rückwärmzahlen und Rückfeuchtzahlen gleich groß sind (laut VDI 2071). Im Falle der Feuchterückgewinnung bezieht sich die Rückwärmzahl beziehungsweise Rückfeuchtzahl auf die Enthalpiedifferenz. Im Falle der Wärmerückgewinnung bezieht sich die Rückwärmzahl auf die Temperaturdifferenz.
- Die Kennwerte werden für Tagesbetrieb von 6:00 bis 18:00 Uhr (4380 h im Jahr) berechnet. Die Anlage wird 365 Tage im Jahr betrieben.
- Zuluftvolumenstrom = Abluftvolumenstrom
- Die spezifischen Energiekennwerte werden für eine Zulufttemperatur von 20 °C berechnet. Die Korrektur auf die tatsächliche Zulufttemperatur erfolgt in einem Folgeschritt.
- Die Unterscheidung zwischen Heiz- und Kühlfall erfolgt über die stündliche Außenlufttemperatur. Liegt die Außenlufttemperatur unter 20 °C muss beheizt werden, liegt sie über 20 °C muss gekühlt werden.
- Der Ventilatorwirkungsgrad wird mit 70% angesetzt
- Die Druckerhöhung der Zuluft beträgt 1200 Pa.
- Die Druckerhöhung der Abluft beträgt 800 Pa.
- Die Dichte der Luft wird je nach Druck und Temperatur berechnet.
- Die Wärmerückgewinnung wird im Sommer nicht berücksichtigt. Es wird ein Bypass-Kanal vorausgesetzt.

## Berechnungsparameter

Die für die Berechnung der spezifischen Energiekennwerte für die Benchmark-Anlagen (siehe Abbildung 7.4 auf Seite 89) herangezogenen Algorithmen und die erforderlichen Berechnungsparameter wurden von Eiper dokumentiert und sollten als Anhang des OIB-Leitfadens erscheinen (im Leitfaden Version 2.5 noch enthalten) (Eiper, 2006; OIB-LF 2.5, 2006). Nachdem in weiteren Überarbeitungsschritten die Inhalte des OIB-Leitfadens jedoch sukzessive in die Normenreihe ÖNORM B 8110 und H 5056 bis H 5059 ausgegliedert wurden und der Anhang in dieser Form nicht veröffentlicht wurde, ist diese Dokumentation in keinem öffentlich zugänglichen Dokument verfügbar. Aus diesem Grund sind die wesentlichen Punkte der Dokumentation in Anhang A zusammengestellt.

### 7.1.3. Berechnung des Nutzenergiebedarfs zur Konditionierung des Luftvolumenstroms

#### Schritt 1: Auswahl einer Benchmark-Anlage

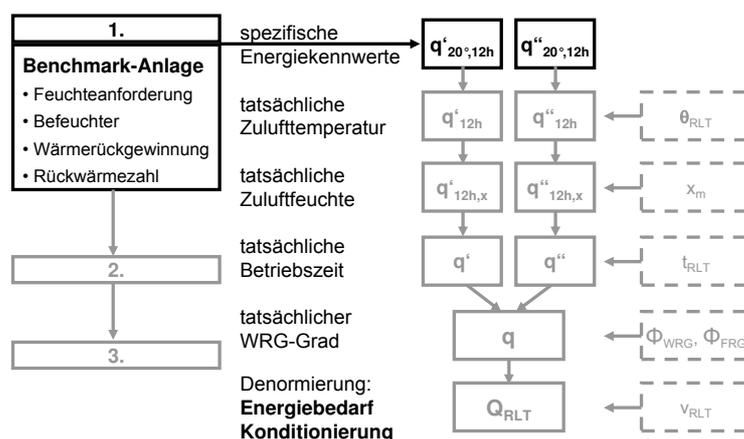


Abbildung 7.5.: Berechnung des Nutzenergiebedarfs zur Konditionierung des Luftvolumenstroms. Schritt 1: Auswahl einer Benchmark-Anlage

Im ersten Schritt (Abbildung 7.5) wird eine der 41 Benchmark-Anlagen ausgewählt, die der tatsächlich vorhandenen Anlage in ihrer Konfiguration am ähnlichsten ist. Als Auswahlkriterien werden die folgenden vier energetische Klassifizierungsmerkmale herangezogen:

- Feuchteanforderung in der Gebäudezone
- Typ des Luftbefeuchtungs-Systems
- Typ des Wärmerückgewinnungs-Systems
- Rückwärmzahl

Durch die Auswahl der Benchmark-Anlage können aus den Tabellen im Anhang die monatlichen spezifischen Energiekennwerte für Heizen, Kühlen und Befeuchten abgelesen werden. Dabei ist in Abhängigkeit von der Rückwärmzahl der tatsächlichen Anlage der SEK-Wert

der Benchmark-Anlage mit der nächst größeren und der nächst kleineren Rückwärmzahl auszuwählen ( $q'$  und  $q''$ ). Zusätzlich sind auch die Temperaturkorrekturgradienten angegeben, mithilfe derer im zweiten Schritt die Korrektur auf die tatsächliche Zulufttemperatur vorgenommen werden kann.

## Schritt 2: Anpassung der Benchmark-Parameter

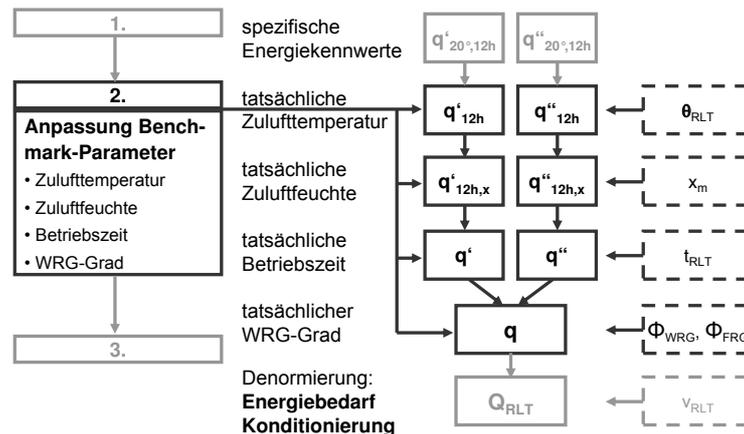


Abbildung 7.6.: Berechnung des Nutzenergiebedarfs zur Konditionierung des Luftvolumenstroms. Schritt 2: Anpassung der Benchmark-Parameter

Schritt zwei der Berechnung (Abbildung 7.6) umfasst die Korrektur der spezifischen Energiekennwerte auf die tatsächlichen Parameter der RLT-Anlage. Folgende Korrekturen sind in der ÖNORM H 5057 vorgesehen:

- **Korrektur auf die tatsächliche Zulufttemperatur:**  
Die Bezugstemperatur der spezifischen Energiekennwerte beträgt für Heizen und für Kühlen  $20^\circ\text{C}$ . Die Korrektur auf die tatsächliche Zulufttemperatur erfolgt über Temperaturkorrekturgradienten, die wie die spezifischen Energiekennwerte anlagenspezifisch angegeben sind<sup>3</sup>. Die tatsächliche Zulufttemperatur wird monatsweise in Abhängigkeit von der Anlagenart, vom monatlichen Nutzenergiebedarf und vom Energiebedarf für Luftförderung berechnet.
- **Korrektur auf die tatsächliche Zuluftfeuchte:**  
Bei Anlagen mit einer Feuchteanforderung ohne Toleranz – also auf einen bestimmten Grenzwert – gab es bis zur Ausgabe 2007 die Möglichkeit einer Korrektur des Standardwerts der Zuluftfeuchte von  $9,0\text{ g/kg}$  auf einen beliebigen Wert im Bereich von  $6,5$  bis  $11,5\text{ g/kg}$ . Dazu waren abermals Feuchtekorrekturgradienten  $g_{St}$  angegeben, mithilfe derer die Korrektur vorgenommen werden konnte. Im Rahmen der Neuauflage im Jahr 2010 wurde diese Feuchtekorrektur aus dem Berechnungsrahmen gestrichen, da eine derartige Befeuchtung ohne Toleranz auf einen individuellen Wert nicht mehr dem

<sup>3</sup>Es sind Temperaturkorrekturgradienten  $g_H$  und  $g_C$  für Stützstellen der Zulufttemperatur bei  $10^\circ\text{C}$ ,  $14^\circ\text{C}$ ,  $20^\circ\text{C}$ ,  $28^\circ\text{C}$ ,  $25^\circ\text{C}$ ,  $42^\circ\text{C}$  und  $50^\circ\text{C}$  angegeben. Damit kann von der Berechnungs-Zulufttemperatur der spezifischen Energiekennwerte von  $20^\circ\text{C}$  auf die tatsächliche Zulufttemperatur korrigiert werden.

Grundgedanken der Bedarfsermittlung entspricht, sondern durch spezielle Nutzeranforderungen bestimmt wird.

- Korrektur auf die tatsächliche Betriebszeit:

Die Berechnung der SEK-Werte wurde für eine tägliche Betriebszeit der RLT-Anlage von zwölf Stunden an jedem Tag des Jahres vorgenommen. Nachdem die Nutzungsprofile der ÖNORM B 8110-5 jedoch für alle Nutzungsarten andere RLT-Betriebszeiten vorsehen, ist eine entsprechende Korrektur erforderlich.

Neben der Korrektur für die effektive Betriebszeit der Anlage ist außerdem noch eine Anpassung aufgrund der Tag-Nacht-Asymmetrie während der tatsächlichen Betriebszeit erforderlich. Diese wird mithilfe der Korrekturfaktoren  $f_{h,H}$  für Heizen,  $f_{h,C}$  für Kühlen und  $f_{h,St}$  für Dampfbefeuchtung erreicht (David et al., 2006; Schiller, 2005). Abbildung 7.7 zeigt die Höhe der Korrekturfaktoren aufgetragen über der täglichen Anlagenbetriebszeit. Die Abbildung bildet den Umstand ab, dass bei RLT-Anlagen mit einer längeren als einer täglichen Betriebszeit von zwölf Stunden der Nutzenergiebedarf für Heizen steigt während jener für Kühlen sinkt (mit unterschiedlicher Ausprägung je nach Feuchteanforderung in der Gebäudezone beim Entfeuchten). Der Grund dafür ist die geringere Außenlufttemperatur während der Nachtstunden. Der Nutzenergiebedarf für Dampfbefeuchtung ist unabhängig von der täglichen Anlagenbetriebszeit, da die absolute Außenluftfeuchte keinen maßgeblichen Tag-Nacht-Schwankungen unterworfen ist.

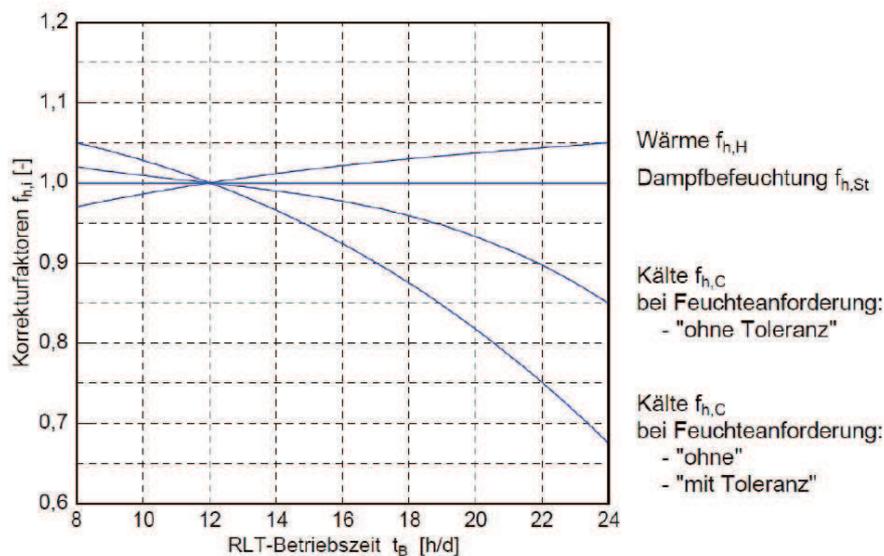


Abbildung 7.7.: Korrektur der spezifischen Energiekennwerte an die tatsächliche Betriebszeit. Korrekturfaktoren  $f_{h,H}$ ,  $f_{h,C}$  und  $f_{h,St}$  für die erforderliche Anpassung aufgrund der Tag-Nacht-Asymmetrie (Bildquelle: Schiller, 2005)

- Korrektur auf die tatsächliche Rückwärmezahl / Rückfeuchtezahl:

Nachdem für die Benchmark-Anlagen Stützstellen für Rückwärme- und Rückfeuchtezahl definiert wurden, ist eine Korrektur auf die tatsächlichen Werte der Anlage erforderlich. Sämtliche bisherigen Berechnungsschritte sind für die nächst kleinere und die nächst größere Stützstelle von  $\Phi_{WRG}$  und  $\Phi_{FRG}$  durchzuführen. Im Zuge der Korrektur wird linear zwischen diesen beiden Werten interpoliert und so die spezifischen

Energiekennwerte für die tatsächliche Rückwärme- und Rückfeuchtezahl berechnet.

### Schritt 3: Denormierung

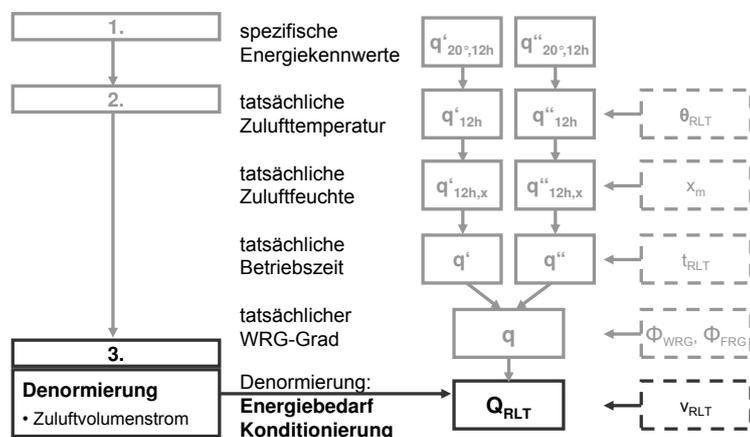


Abbildung 7.8.: Berechnung des Nutzenergiebedarfs zur Konditionierung des Luftvolumenstroms. Schritt 3: Denormierung

Der dritte Schritt umfasst die Denormierung (Abbildung 7.8. Bis zu diesem Zeitpunkt werden alle Berechnungsschritte für den spezifischen Luftvolumenstrom von  $1 \text{ m}^3/\text{h}$  durchgeführt. Im Zuge der Denormierung erfolgt die Umrechnung auf den tatsächlichen monatlichen Luftvolumenstrom der RLT-Anlage. Dazu wird der korrigierte SEK-Wert mit dem Luftvolumenstrom multipliziert, das Ergebnis ist der Nutzenergiebedarf zur Konditionierung (Heizen, Kühlen, Befeuchten) des gesamten Luftvolumenstroms am „Worst-Case“-Standort.

### Schritt 4: Umrechnung auf den tatsächlichen Standort

Die bisherigen Berechnungsschritte wurden allesamt für einen fiktiven „Worst-Case“-Standort durchgeführt – für Heizen ist dies Klagenfurt, für Kühlen Wien-Innere Stadt. Im vierten Schritt erfolgt die Umrechnung auf den tatsächlichen Standort, um die ermittelten Werte mit dem Heizwärmebedarf und dem Kühlbedarf vergleichbar zu machen. Diese Vergleichbarkeit ist erforderlich, um in weiterer Folge aufteilen zu können, welcher Anteil des Nutzenergiebedarfs über die RLT-Anlage beziehungsweise über ein statisches Heiz- oder Kühlsystem eingebracht wird. Wie bereits zuvor beschrieben wurde, ist diese Aufteilung mit erheblichen Unsicherheiten verbunden, da über die spezifischen Energiekennwerte auch die latente Wärme berücksichtigt wird, die im Heizwärmebedarf und Kühlbedarf unberücksichtigt bleibt.

Die Umrechnung erfolgt über das Verhältnis von Heizgradstunden zu Kühlgradstunden am tatsächlichen Standort. Die Anzahl der monatlichen Heizgradstunden (über Monatsmittelwert der Außentemperatur und Stunden des Monats) am Standort ist berechenbar, die Umrechnung erfolgt über einen empirisch ermittelten Zusammenhang (siehe Abbildung 7.10 auf Seite 101). Dieser Zusammenhang wurde aus einer Analyse von Klimadaten-

sätzen verschiedener Standorte in Österreich hergeleitet und stellt sich wie folgt dar:

$$G_H \leq 8.000 \text{ Kh} : G_C = -5,250 \cdot 10^{-9} \cdot G_H^3 + 1,214 \cdot 10^{-4} \cdot G_H^2 - 9,496 \cdot 10^{-1} \cdot G_H + 2529 \quad (7.3a)$$

$$G_H > 8.000 \text{ Kh} : G_C = 0 \quad (7.3b)$$

## 7.2. Erforderliche Normenänderungen

Im Zuge der Überarbeitung der ÖNORM H 5057 mussten auch im Kapitel „Nutzenergiebedarf der RLT-Anlage für Heizen, Befeuchten und Kühlen“ einige Änderungen vorgenommen werden. Diese Änderungen betrafen einerseits editorielle Aspekte wie das Ergänzen unvollständiger Formelzeichen in Text und Gleichungen oder die Anpassung an die geänderte Struktur der Norm (siehe Kapitel 4). Andererseits wurde jedoch auch die Anwendung des Modells der spezifischen Energiekennwerte um einzelne Aspekte wie die Standortkorrektur oder das abgebildete Temperatur-Spektrum der Zulufttemperaturen ergänzt und um andere Aspekte reduziert.

Die maßgeblichen Änderungen werden in den folgenden Abschnitten beschrieben.

### Erweiterung des Temperaturspektrums

In der Version 2007 der Norm war das Bestimmen der spezifischen Energiekennwerte für eine Zulufttemperatur im Spektrum von 14 bis 35 °C möglich. Die Berechnung erfolgte wie zuvor beschrieben, indem eine Anpassung der SEK-Ausgangswerte, die für eine Zulufttemperatur von 20 °C berechnet wurden, an die tatsächliche Zulufttemperatur vorgenommen wurde. Die Anpassung erfolgte mittels Temperaturkorrekturgradienten, die jeweils für einen Bereich von ca. 8 K tabellarisch angegeben waren. Als problematisch erwies sich hier, dass als Bezugstemperaturen nicht jene bei Eintritt in den Raum, sondern die Temperaturen bei Austritt aus der RLT-Anlage herangezogen wurden. Diese Temperaturen sind um den Wärmeeintrag der Ventilatoren im Zuluftvolumenstrom korrigiert und damit stets niedriger als die eigentlichen Zulufttemperaturen. Damit wurde beispielsweise bei Induktionsanlagen mit einer zulässigen Zulufttemperatur von 14 °C durch die Temperaturkorrektur für den Wärmeeintrag der Ventilatoren der Bereich der zulässigen Temperaturwerte verlassen und es standen keine Werte für den Temperaturkorrekturgradienten zur Verfügung. Der Wertebereich der möglichen Zulufttemperaturen reichte auch im Heizfall bei Gebäuden mit höheren vorgesehenen Zulufttemperaturen als 35 °C – beispielsweise bei Passivhäusern – nicht aus.

In der überarbeiteten Norm blieb die Struktur der Temperaturanpassung unverändert. Es wurden jedoch der Wertebereich auf 10 bis 50 °C ausgedehnt und zusätzliche Temperaturkorrekturgradienten angegeben. Damit können nun auch Anlagen mit sehr niedrigen oder sehr hohen Austrittstemperaturen aus der RLT-Anlage problemlos normkonform behandelt werden.

Zur Erweiterung des Wertebereichs der möglichen Zulufttemperaturen musste die Berechnung der tabellarisch festgehaltenen spezifischen Energiekennwerte überarbeitet werden. Im Zuge dessen wurden auch einige Anpassungen im Berechnungsalgorithmus der SEK-Werte

vorgenommen. So wurden beispielsweise die aus der deutschen Berechnung übernommenen Rahmenbedingungen (Behaglichkeitsbereiche, etc.) an die österreichischen Verhältnisse angepasst oder der Programmcode bereinigt, wodurch einige Unstimmigkeiten behoben werden konnten.

## Befeuchtung auf Grenzwert

In der ÖNORM H 5057 sind drei Anforderungsniveaus für Be- und Entfeuchtung vorgegeben:

- keine Feuchteanforderung (o.Bef.)
- Befeuchtung mit Toleranz (m.T., Befeuchtung auf Grenzbereich): Es ist ein Behaglichkeitsbereich von 6,5 bis 11,5 g/kg absoluter Luftfeuchtigkeit angegeben, auf den die Zuluft durch Be- und Entfeuchtung konditioniert werden muss.
- Befeuchtung ohne Toleranz (o.T., Befeuchtung auf Grenzwert): Der Behaglichkeitsbereich wird auf einen bestimmten Wert eingeschränkt, auf den hin die Be- und Entfeuchtung vorgenommen werden muss. Der geforderte Wert kann im Bereich 6,5 bis 11,5 g/kg frei gewählt werden.

Die Berechnung in der Version 2010 der Norm erfolgte analog zu der der frei wählbare Zulufttemperatur: Mittels tabellarisch festgehaltener Feuchtekorrekturkoeffizienten wurde vom Bezugswert 9 g/kg auf den tatsächlich geforderten Grenzwert der Anlage für die Zuluftfeuchte hin umgerechnet. Die vorgegebene Struktur der Feuchtekorrekturkoeffizienten ist in Tabelle 7.1 dargestellt.

Tabelle 7.1.: Struktur der Korrekturgradienten für frei wählbare absolute Zuluftfeuchte in Abhängigkeit von der Zulufttemperatur (nach Vornorm ÖNORM H 5057:2007)

Monat	Zuluft-temp. °C	Wärme		Dampf		Kälte	
		$g_{H,x,u,m}$ Wh/(m <sup>3</sup> /h)	$g_{H,x,o,m}$ Wh/(m <sup>3</sup> /h)	$g_{St,x,u,m}$ Wh/(m <sup>3</sup> /h)	$g_{St,x,o,m}$ Wh/(m <sup>3</sup> /h)	$g_{C,x,u,m}$ Wh/(m <sup>3</sup> /h)	$g_{C,x,o,m}$ Wh/(m <sup>3</sup> /h)
Jänner	14 °C	375	312	376	376	0	0
	20 °C	368	306	369	306	0	0
	28 °C	359	298	361	299	0	0
	35 °C	351	292	353	292	0	0
Februar	14 °C	337	280	337	337	0	0
	20 °C	330	275	331	275	0	0
	28 °C	322	268	324	268	0	0
	35 °C	315	262	317	262	0	0
...							

Die angegebenen Feuchtekorrekturgradienten definierten, um wieviel der spezifische Energiekennwert für Verdunstungsbefeuchtung (Wärme), Dampfbefeuchtung (Dampf) und Entfeuchtung (Kälte) je g/kg Abweichung vom Ausgangswert 9 g/kg absoluter Luftfeuchte zu- oder abnimmt.

Diese Berücksichtigung der Feuchtekorrektur erschien auf den ersten Blick schlüssig zu sein. Bei genauerer Betrachtung der Berechnungsalgorithmen der SEK-Werte und damit auch der

Korrekturgradienten für Temperatur und Feuchte wurde jedoch ein wesentlicher Mangel offensichtlich: Die Feuchtekorrekturgradienten unterscheiden sich nicht nur für den Anlagenparameter „Befeuchtertyp“ (Verdunstungsbefeuchtung, Dampfbefeuchtung) und die unterschiedlichen Zulufttemperaturen wie für die abgebildeten Gradienten angenommen. Es ist auch eine Unterscheidung für die Anlagenparameter „Wärmerückgewinnung“ und „Rückwärmezahl“ erforderlich, um korrekte Ergebnisse aus der Berechnung mittels Feuchtekorrekturgradienten zu erhalten.

Dies bedeutete, dass die vergleichsweise einfache Darstellung der Korrekturgradienten in einer Tabelle mit den Parametern „Zulufttemperatur“ und „Befeuchtertyp“ wie oben dargestellt durch mehrere wesentlich umfangreichere Tabellen ersetzt werden müsste. Diese Tabellen müssten unterschiedliche Korrekturgradienten für die Parameter „Zulufttemperatur“, „Befeuchtertyp“, „Wärmerückgewinnung“ und „Rückwärmezahl“ bereitstellen.

Nachdem die Befeuchtung ohne Toleranz auf einen Grenzwert eher einer Nutzeranforderung als einer Bedarfsanforderung entspricht<sup>4</sup>, wurde im zuständigen Normungskomitee ON-K 235 bereits seit geraumer Zeit eine intensive Diskussion über die Notwendigkeit dieses Aspekts geführt. Die erforderliche Erweiterung der Tabellen und damit einhergehend der größere Umfang der Norm führten dazu, dass die Feuchtekorrektur auf eine frei wählbare, absolute Zuluftfeuchte aus der Norm eliminiert wurde. Eine Befeuchtung ohne Toleranz auf einen Grenzwert kann immer noch abgebildet werden, jedoch ist dieser Grenzwert mit 9 g/kg absoluter Luftfeuchte festgelegt.

## Behandlung von Lüfterneuerungsanlagen

In der ursprünglichen Variante der ÖNORM H 5057 wurde der Nutzenergiebedarf zur Konditionierung des Luftvolumenstroms bei Lüfterneuerungsanlagen mittels einer vereinfachten Berechnung ermittelt. Dabei wurde die Annahme getroffen, dass Anlagen mit einem Luftvolumenstrom zur Abdeckung des hygienisch erforderlichen Luftwechsels keinen Beitrag zur Konditionierung des Raumes über die Abdeckung der Lüftungswärmeverluste hinaus liefern. Es wurde angenommen, dass LE-Anlagen die Zuluft lediglich auf die geforderte Raumsolltemperatur im Heiz- und im Kühlfall konditionieren und weder eine erhöhte Heiz- oder Kühlfunktion, noch gezielte Entfeuchtung vorhanden sind.

Damit konnte der Nutzenergiebedarf zur Konditionierung von LE-Anlagen vereinfacht berechnet werden. In einer Tabelle wurden „spezifische Energiekennwerte (Monatsmittelwerte) zur Lüfterneuerung“ vorgegeben, bei deren Berechnung keine unterschiedlichen Benchmark-Anlagen definiert wurden und deren Anwendung bei Befeuchtung auf Anlagen mit Dampfbefeuchtung beschränkt war. Dadurch war auch die Korrektur der Benchmark-Parameter deutlich einfacher, es musste nur die Wärmerückgewinnung berücksichtigt werden und die Denormierung stattfinden. Tabelle 7.2 auf der nächsten Seite zeigt die Systematik der beschriebenen Tabelle mit spezifischen Energiekennwerten zur Lüfterneuerung. Die angegebenen Werte beruhen auf der Integration von  $P = v \cdot \rho_L \cdot c_{p,L} \cdot (\theta_i - \theta_e)$  über die angegebenen Zeiträume (24 h/d, 12 h/d und 7 h/d) für alle Tage des Monats.  $\theta_i$  entspricht der angegebenen Raumsolltemperatur, die stundenweisen Werte für  $\theta_e$  entstammen den TRY-Klimadatensätzen „Wien-Innere Stadt“ für Kühlen und „Klagenfurt“ für Heizen.

---

<sup>4</sup>Die Befeuchtung auf einen von 9 g/kg absoluter Luftfeuchte abweichenden Fixwert (ohne Toleranz) kann analog zu einer Raumsolltemperatur von beispielsweise 23 °C aufgrund von Nutzerwünschen anstatt von 20 beziehungsweise 22 °C wie aus den Nutzungsprofilen angesehen werden.

Tabelle 7.2.: Spezifische Energiekennwerte für Dampfbefeuchtung, Heizung und Kühlung zur Lufterneuerung [kWh/(m<sup>3</sup>/h)] (nach Vornorm ÖNORM H 5057:2007)

Monat	Befeuchten $q_{St,LE}$			Heizen $q_{h,LE}$			Kühlen $q_{c,LE}$			
	6,5 g/kg			+20 °C			+26 °C			
	24 h/d	12 h/d	7 h/d	24 h/d	12 h/d	7 h/d	24 h/d	12 h/d	7 h/d	
Jänner	2,48	1,16	0,61	5,86	2,67	1,43	6,31	0	0	0
Februar	1,83	0,87	0,45	4,19	1,81	0,97	4,63	0	0	0
...										
Summe	10,81	5,09	2,72	33,11	13,82	7,45	38,27	0,27	0,22	0,13

Das Ergebnis der Berechnung des Nutzenergiebedarfs zur Luftvolumenstrom-Konditionierung von Lufterneuerungsanlagen wurde bei Anlagen mit prozessbedingt erhöhtem Luftvolumenstrom zur Bestimmung des Zuluftzustands – also Zulufttemperatur und Zuluftvolumenstrom – entsprechend Abbildung 7.9 auf der nächsten Seite herangezogen:

$$\theta_{RLT,h} = \theta_{ih} + \frac{1000 \cdot (Q_h - Q_{h,LE})}{d_{Nutz} \cdot \theta_{RLT,d} \cdot c_{p,L} \cdot \rho_L \cdot (v_{RLT,KVS} + v_{RLT,VVS})} \leq 35^\circ\text{C} \quad (7.4a)$$

$$\theta_{RLT,c} = \theta_{ic} + \frac{1000 \cdot (Q_c - Q_{c,LE})}{d_{Nutz} \cdot \theta_{RLT,d} \cdot c_{p,L} \cdot \rho_L \cdot (v_{RLT,KVS} + v_{RLT,VVS})} \geq 17^\circ\text{C} \quad (7.4b)$$

$$v_{RLT,h,VVS,ZUL} = \frac{1000 \cdot (Q_h - Q_{h,LE})}{d_{Nutz} \cdot \theta_{RLT,d} \cdot c_{p,L} \cdot \rho_L \cdot (\theta_{ih} - \theta_{h,RLT})} - v_{RLT,h,LE} \geq 0 \quad (7.5a)$$

$$v_{RLT,c,VVS,ZUL} = \frac{1000 \cdot (Q_c - Q_{c,LE})}{d_{Nutz} \cdot \theta_{RLT,d} \cdot c_{p,L} \cdot \rho_L \cdot (\theta_{ic} - \theta_{c,RLT})} - v_{RLT,c,LE} \geq 0 \quad (7.5b)$$

Problematisch bei dieser Vorgangsweise zur Bestimmung des Zuluftzustands sind die unterschiedlichen Berechnungsgrundlagen von  $Q_h$  und  $Q_c$  einerseits und  $Q_{h,LE}$  und  $Q_{c,LE}$  andererseits. Der Heizwärmebedarf und der Kühlbedarf werden unter Verwendung des Klimamodells aus der ÖNORM B 8110-5 für den jeweiligen Standort berechnet, die Werte von  $Q_{h,LE}$  und  $Q_{c,LE}$  hingegen beruhen – wie bereits beschrieben – auf den TRY-Datensätzen von Klagenfurt und Wien.

Um die eingesetzten Berechnungsgrößen zumindest vergleichbar zu machen, ist auf jeden Fall eine Standortkorrektur für  $Q_{h,LE}$  und  $Q_{c,LE}$  vorzunehmen. Diese wird im folgenden Abschnitt beschrieben. Abgesehen von den unterschiedlichen Standorten beeinflusst auch die Nutzungszeit der Gebäude die Vergleichbarkeit der Ansätze „Temperaturmittelwert bilden, dann Energiebedarf berechnen“ versus „Energiebedarf berechnen, dann Mittelwertbildung durch Integration über die Zeit“:

- Bei Gebäuden mit einer Nutzungszeit von 24 h sind beide Vorgehensweisen – gleiche Klimadaten vorausgesetzt – korrekt. Die Ergebniswerte der beiden Ansätze stimmen überein.

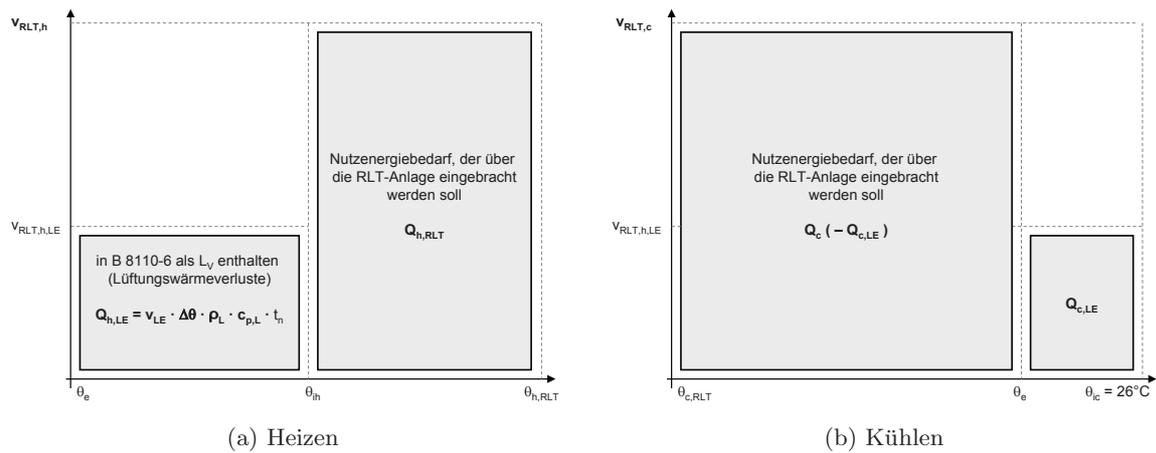


Abbildung 7.9.: Berechnung des Zuluftzustands (Zulufttemperatur, Zuluftvolumenstrom) für Heizen (a) und Kühlen (b) bei prozessbedingter Lüftung auf Grundlage des  $\theta, v$ -Diagramms unter Anwendung des Nutzenergiebedarfs zur Luftvolumenstrom-Konditionierung von Lüfterneuerungsanlagen

- Bei kürzerer Nutzungszeit als 24 h (12 h, 7 h) wird die Berechnung von  $Q_{h,LE}$  und  $Q_{c,LE}$  für die stundenweisen Außentemperaturwerte zur tatsächlichen Nutzungszeit (6:00 bis 18:00 Uhr und 15:00 bis 22:00 Uhr) durchgeführt, was zu einem anderen Temperaturmittelwert führen würde.  $Q_h$  und  $Q_c$  hingegen werden trotzdem mit dem Monatsmittelwert unter Berücksichtigung aller Stunden im Monat gebildet. Demnach stimmen die Ergebniswerte der beiden Ansätze für diese Fälle nicht überein.

## Standortkorrektur

In der Version 2007 der ÖNORM H 5057 konnte keine Standortkorrektur bei der Berechnung des Nutzenergiebedarfs zur Konditionierung des Zuluftvolumenstroms vorgenommen werden, da die erforderlichen Angaben im Rahmen der Norm nicht zur Verfügung gestellt wurden. Im Zuge der Überarbeitung wurde ein Modell für die Umrechnung des Standorts ausgearbeitet und in die neue Ausgabe der Norm übernommen. Die Umrechnung erfolgt gemäß den Gleichungen 7.6a bis 7.6c.

$$Q_{H,RLT,SO} = Q_{H,RLT} \cdot \frac{G_{h,Standort}}{G_{h,Klagenfurt}} \quad (7.6a)$$

$$Q_{C,RLT,SO} = Q_{C,RLT} \cdot \frac{G_{c,Standort}}{G_{c,Klagenfurt}} \quad (7.6b)$$

$$Q_{St,RLT,SO} = Q_{St,RLT} \quad (7.6c)$$

Dabei entspricht  $G_h$  den Heizgradstunden und  $G_c$  den Kühlgradstunden, einerseits am tatsächlichen Standort und andererseits am Referenzstandort für die Berechnung (Klagenfurt für Heizen, Wien für Kühlen). Die Heiz- und Kühlgradstunden an den Referenzstandorten

wurden aus den Klimadatensätzen berechnet und sind tabellarisch in der Norm festgehalten. Die Heizgradstunden am tatsächlichen Standort können mithilfe des Klimamodells aus der ÖNORM B 8110-5 berechnet werden:

$$G_{h,Standort} = (\theta_{ih} - \theta_e) \cdot d \cdot 24 \quad (7.7)$$

Für die Kühlgradstunden am tatsächlichen Standort wurde ein Berechnungsmodell auf Grundlage empirischer Daten zu Heizgradstunden und Kühlgradstunden an verschiedenen Standorten in ganz Österreich erstellt. Dazu wurden für 12 TRY-Datensätze die monatlichen Heizgrad- und Kühlgradstunden berechnet und übereinander aufgetragen (siehe Abbildung 7.10). Daraus ergibt sich mit einem Bestimmtheitsmaß von  $R^2 = 0,935$  der Zusammenhang, der in den Gleichungen 7.3a und 7.3b dargestellt und so auch in die Norm aufgenommen wurde.

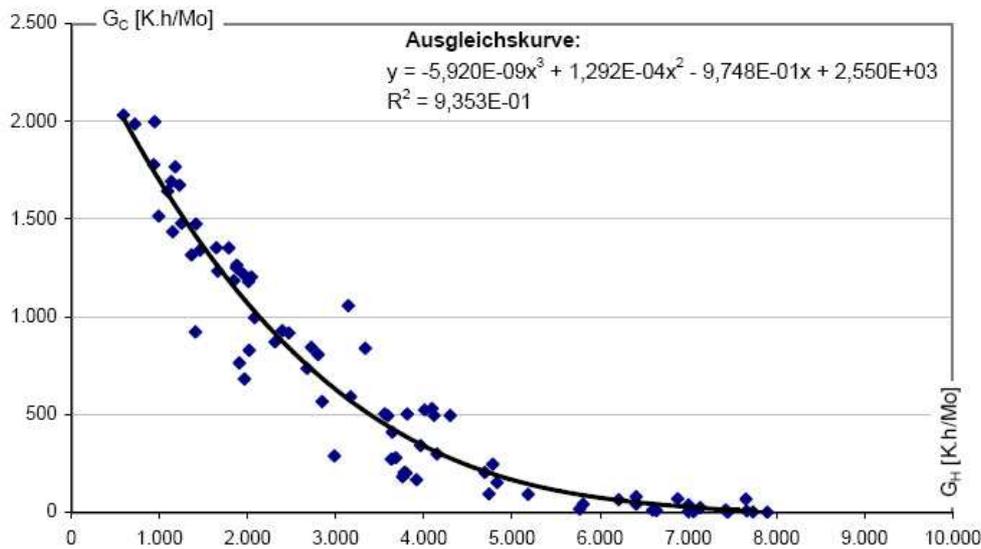


Abbildung 7.10.: Zusammenhang zwischen monatlichen Heiz- und Kühlgradstunden (Datengrundlage: TRY-Datensätze der Standorte Bregenz, Eisenstadt, Klagenfurt, Linz, Linz, Salzburg, St. Pölten, Wien Hohe Warte, Graz, Großenzersdorf, Innsbruck, Wien Innere Stadt)

### Abgrenzung zwischen Bedarfswerten und Nutzenübergabe

Der in Abbildung 7.11 auf der nächsten Seite dargestellte Zusammenhang zwischen den aus Raum und Nutzung entstehenden Bedarfswerten Heizwärmebedarf und Kühlbedarf und der Nutzenübergabe durch die RLT-Anlage verursacht durch unterschiedliche Berechnungsansätze ein Problem bei der Abgrenzung:

- Bedarfswerte aus Raum und Nutzung: Die Berechnung der Bedarfswerte Heizwärmebedarf und Kühlbedarf erfolgt anhand des quasi-stationären Monatsbilanzverfahrens auf Grundlage des standortspezifischen Klimas gemäß der ÖNORM B 8110-5.
- Nutzenübergabe durch die RLT-Anlage: Die erforderliche Nutzenübergabe der RLT-Anlage an den Raum erfolgt durch die Definition des Zuluftzustands hinsichtlich Zulufttemperatur, Zuluftvolumenstrom und Zuluftfeuchte.

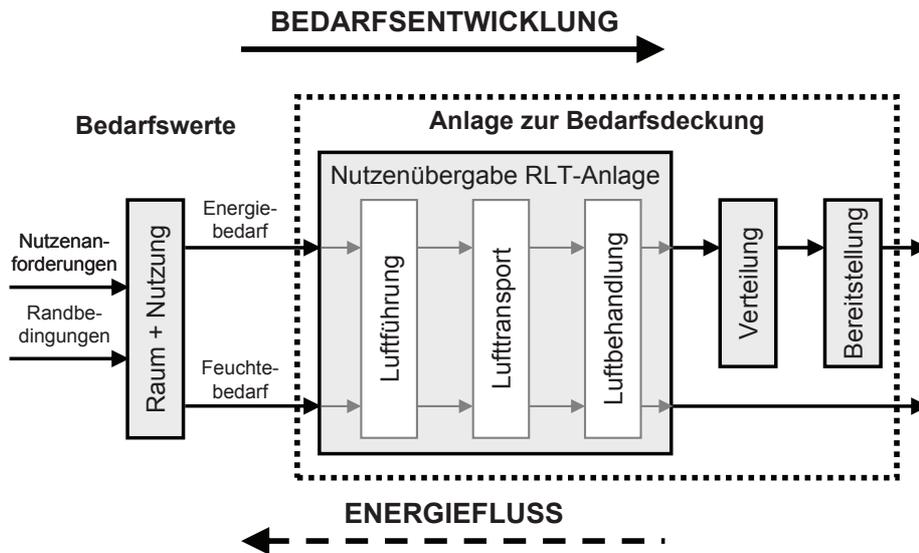


Abbildung 7.11.: Verknüpfung der Systembereiche in klimatisierten Räumen mit den Untersystemen bei RLT-Anlagen nach der Methode der Bedarfsentwicklung (eigene Darstellung nach Reichert, 2000)

Der erforderliche Nutzenergiebedarf zum Herstellen des Zuluftzustands für die Nutzenübergabe berücksichtigt neben den sensiblen Lasten auch latente Lasten, Wärme- und Feuchterückgewinnung sowie erhöhte prozessbedingte Luftvolumenströme. In den Bedarfswerten Heizwärmebedarf und Kühlbedarf hingegen sind nur sensible Lasten, Wärmerückgewinnung und der hygienisch erforderliche Luftvolumenstrom berücksichtigt. Aus diesem Grund ist die Abgrenzung zwischen der Bedarfsberechnung und dem Energiebedarf für die Nutzenübergabe nicht eindeutig möglich. Um berechnen zu können, wie groß die verbleibende Nutzenübergabe für ein statisches Heiz- oder Kühlsystem ist, ist diese Abgrenzung jedoch zwingend erforderlich.

Ein Aspekt der Abgrenzungsproblematik wurde im Zuge der Überarbeitung der Norm gelöst: Sofern ein erhöhter prozessbedingter Luftvolumenstrom gefördert wird, ist der über den hygienisch erforderlichen hinausgehende Luftvolumenstrom ebenfalls auf die geforderte Zulufttemperatur zu konditionieren und ist somit Bestandteil der Nutzenübergabe der RLT-Anlage  $Q_{H,RLT}$ .

Bei der Berechnung der verbleibenden Nutzenübergabe über ein statisches Heizsystem wird die Nutzenübergabe der RLT-Anlage  $Q_{H,RLT}$  dem Heizwärmebedarf  $Q_h$  gegenübergestellt. Die Differenz der beiden Werte ist die erforderliche Nutzenübergabe des statischen Heizsystems:

$$Q_{H,stat} = Q_h - Q_{H,RLT} \quad (7.8)$$

Wie in Abbildung 7.12 auf der nächsten Seite dargestellt ist, werden dadurch aber zwei unterschiedliche Größen miteinander verglichen.

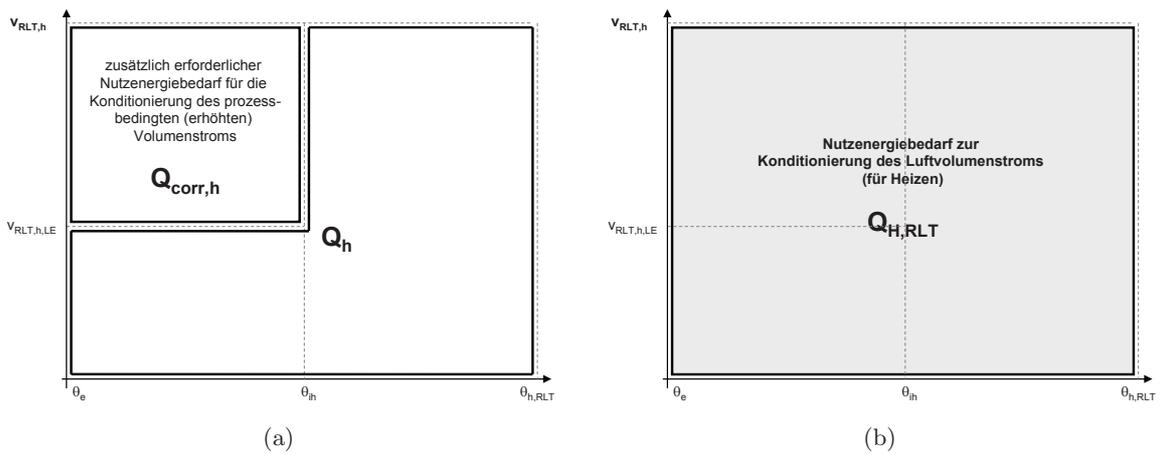


Abbildung 7.12.: Abgrenzung der Energiebedarfswerte  $Q_h$ ,  $Q_{corr,h}$  (a) und  $Q_{H,RLT}$  auf Grundlage des  $\theta, v$ -Diagramms

Um eine Vergleichbarkeit herzustellen, muss der Korrekturterm  $Q_{corr,h}$  eingeführt werden.

$$Q_{corr,h} = (v_{RLT,ges} - v_{RLT,LE}) \cdot \rho_L \cdot c_{p,L} \cdot t_{RLT,d} \cdot d_{Nutz} \cdot (\theta_{ih} - \theta_e) \quad (7.9)$$

Dieser Wert berücksichtigt abermals nur sensible Lasten und dient einzig dazu, die beiden Werte  $Q_h$  und  $Q_{H,RLT}$  hinsichtlich der geförderten (prozessbedingten) Luftvolumenströme vergleichbar zu machen. Die anderen Unterschiede der Berechnungssystematik wie latente Lasten oder Wärme- und Feuchterückgewinnung werden im Korrekturterm  $Q_{corr,h}$  nicht berücksichtigt.

### 7.3. Standortspezifische Berechnung der spezifischen Energiekennwerte

Das konventionelle Modell der Berechnung der spezifischen Energiekennwerte der ÖNORM H 5057 beruht auf der Kennwert- oder Benchmark-Methode nach Schiller (2005). Dabei werden auf Grundlage einer stundenweisen Berechnung des Nutzenergiebedarfs zur Konditionierung eines Außenluftvolumenstroms von  $1 \text{ m}^3/\text{h}$  Monatssummenwerte gebildet, um eine Einbindung in das quasi-stationäre Monatsbilanzverfahren vornehmen zu können. Die Berechnung basiert auf Klimadaten von „Worst-Case“-Standorten für Heizen und für Kühlen. Über einen verhältnismäßig groben Zusammenhang aus Heizgradstunden und Kühlgradstunden erfolgt schließlich die Umrechnung von den ausgewählten Worst-Case-Klimata auf den tatsächlichen Standort des Gebäudes mit monatsweisen Klimadaten gemäß des Klimamodells aus ÖNORM B 8110-5. Diese abschließende Umrechnung reduzierte die Exaktheit des gesamten Verfahrens erheblich und führte zu Problemen bei der Rückeinbindung der Ergebniswerte in die Gebäudebilanzierung.

Die Berechnung über Monatssummenwerte der spezifischen Energiekennwerte machte es erforderlich, in einer Reihe von Tabellen diese SEK-Werte für verschiedene Anlagentypen anzugeben. Diese Darstellungsform hatte den erheblichen Nachteil, dass die SEK-Werte einmal für die Erstellung der Norm berechnet wurden und seitdem nur noch unter erheblichem Aufwand von einem eingeschränkten Personenkreis nachvollzogen werden können. Für Normennutzer, die im Regelfall keinen Zugang zu den einschlägigen Dokumentationen der Berechnung haben, ist es somit nicht möglich, die Berechnung der Werte nachzuvollziehen. Dadurch wurde die Verständlichkeit der ÖNORM H 5057 wesentlich beeinträchtigt.

#### Einsatzgrenzen

Das in Abschnitt 7.1 beschriebene Modell der spezifischen Energiekennwerte weist einige Aspekte auf, die den Einsatz im Rahmen der Berechnungen der ÖNORM H 5057 beeinträchtigen. Die wesentlichsten Problemstellen sind dabei die folgenden:

- Die ursprüngliche SEK-Berechnung enthält Ungenauigkeiten bei Kühlen und Entfeuchten. Diese Ungenauigkeiten setzen sich aus zwei Teilaspekten zusammen:
  - Für Anlagen „ohne Feuchteanforderung“ und mit Befeuchtung „mit Toleranz“ wurde keine Taupunktprüfung vorgenommen, als Zuluftfeuchte damit unabhängig von der Zulufttemperatur der jeweilige Wert im Soll-Feuchtebereich gewählt.
  - Für Anlagen mit Befeuchtung „ohne Toleranz“ wurde zwar eine Taupunktprüfung und anschließendes Kühlen und Entfeuchten auf die Taupunktlinie hin vorgenommen, das Nacherhitzen auf die gewünschte Zuluftfeuchte ist jedoch in den spezifischen Energiekennwerten nicht enthalten.
- Die physikalisch korrekte Einbindung der spezifischen Energiekennwerte in die Berechnungsumgebung ist nicht vollständig gegeben. Nicht einwandfrei zu behandeln sind beispielsweise die richtige Denormierung oder die richtige Anpassung der Benchmark-Parameter an die tatsächlichen Anlagenparameter (tatsächliche Anlagenbetriebszeit).
- Die Umrechnung auf den tatsächlichen Standort muss bei der SEK-Berechnung mithilfe eines stark vereinfachten Modells vorgenommen werden. Die Berechnung über

Heizgradstunden und Kühlgradstunden ist uneinheitlich: Die tabellarisch in der Norm angegebenen Werte der „Worst-Case“-Standorte wurden über Stundenwerte der Außenlufttemperatur berechnet, die Berechnung der Standortwerte erfolgt hingegen über Monatsmittelwerte.

- Zur Aufteilung des einzubringenden Energiebedarfs (Nutzenübergabe) auf RLT-Anlage und statisches Heiz- beziehungsweise Kühlsystem ist der Vergleich von sensiblen (Heizwärmebedarf und Kühlbedarf) mit sensiblen und latenten Energiebedarfswerten notwendig.
- Es existieren unzählige Varianten von RLT-Anlagen. Die Zusammenfassung zu 41 Benchmark-Anlagen deckt lediglich ein sehr schmales Spektrum ab. So ist beispielsweise die Berücksichtigung von zentralen Umluftanlagen nicht möglich.
- Die tabellarische Darstellung der monatlichen spezifischen Energiekennwerte führt dazu, dass die Herleitung nicht nachvollzogen werden kann und die Verständlichkeit der Berechnungsalgorithmen für den Normen-Nutzer nur eingeschränkt gegeben ist. Außerdem ist die spätere Adaptierbarkeit der SEK-Werte beeinträchtigt, da lediglich ein sehr kleiner Personenkreis mit deren Ermittlung vertraut ist.

## Aufgabenstellung

Es sollte daher im Rahmen dieser Dissertation ein alternatives Modell mit der Zielsetzung entwickelt werden, die durch die genannten Einsatzgrenzen bedingten Einschränkungen für die Berechnung des Nutzenergiebedarfs zur Konditionierung des Zuluftvolumenstroms deutlich zu verringern. Dabei sollten außerdem einige Mängel, die durch die Berechnung über das Modell der spezifischen Energiekennwerte vorgegeben waren, beseitigt werden.

Im Vordergrund stand eine dahingehende Änderung des SEK-Modells, dass eine nachvollziehbare stundenweise Berechnung der Energiekennwerte für Heizen, Kühlen und Befeuchten ermöglicht werden sollte. Im Zuge dieser Modellanpassung sollten außerdem möglichst viele Aspekte der dargestellten Mängelliste behandelt werden, um schlussendlich ein weitgehend vollständiges Modell zur Berechnung der SEK-Werte vorlegen zu können.

Um diese Aufgabenstellung zu konkretisieren, war es erforderlich, eine Zielsetzung zu formulieren. Es wurden daher konkrete Ziele definiert, wobei eine Unterscheidung in Primär- und Sekundärziele vorgenommen wurde. Die Primärziele waren in den neuen Berechnungsalgorithmen jedenfalls zu berücksichtigen, von den Sekundärzielen sollten so viele wie möglich erfüllt werden.

- Primärziele:
  - standortspezifische Berechnung des Nutzenergiebedarfs
  - Umstellung von monatsweiser auf stundenweise Berechnung
  - physikalisch korrekte Berechnungsalgorithmen
  - möglichst vollständige Berücksichtigung aller Konditionierungsvorgänge
  - einfache Darstellbarkeit und Reproduzierbarkeit

- Sekundärziele:
  - Berücksichtigung von Erdreichwärmetauschern und anderen Vorheizregistern
  - Auswirkung von Vorwärmung auf die Effizienz des Wärmerückgewinnungssystems
  - Wärme- und Feuchterückgewinnung auch im Kühlfall
  - Berücksichtigung der tatsächlichen Ventilatorpressung
  - Ermittlung der stündlich erforderlichen Zulufttemperaturen in die Gebäudezone
  - korrekte Aufteilung der Nutzenübergabe auf RLT-Anlage und statisches Heiz- beziehungsweise Kühlsystem

## Modellansatz

Der wesentliche Schritt der Berechnungsumstellung bestand im Erstellen eines nachvollziehbaren und normativ abbildbaren Modells der Konditionierungsvorgänge in einer raumlufttechnischen Anlage. Gleichzeitig sollte das neue Modell auf die standortspezifischen Klimadaten zurückgreifen, die vom Klimadatenmodell der ÖNORM B 8110-5 zur Verfügung gestellt werden.

Außenlufttemperatur und Außenluftfeuchte weisen starke Schwankungen im Monatsverlauf auf, sodass auf Grundlage von Monatsmittelwerten keine ausreichend genaue Berechnung des Nutzenergiebedarfs zur Konditionierung des Luftvolumenstroms möglich ist. Daher ist die Ermittlung der spezifischen Energiekennwerte vollständig in Stundenschritten vorzunehmen, um den Anspruch einer hinreichend genauen Berechnung überhaupt erfüllen zu können. Dies erforderte jedoch auch die Bereitstellung von stundenweisen Klimadaten, die auf den Monatswerten des normativ festgelegten Klimamodells basieren.

Die zuvor beschriebenen Ziele können mit dem entwickelten Modell der „standortspezifischen stundenweisen Berechnung der spezifischen Energiekennwerte“ weitgehend erfüllt werden. Dieses Modell basiert auf drei wesentlichen Elementen:

- standortspezifische stundenweise Berechnung der Außenluftzustände
- stundenweise Energiebedarfsberechnung des Raumes für Heizen und Kühlen
- stundenweise Bestimmung der Konditionierungsvorgänge in den verschiedenen Bestandteilen einer Klimaanlage

In diesem Abschnitt wird dargestellt, wie dieses Modell aufgebaut ist und wie dessen grundsätzliche Funktionsweise aussieht. Es werden Systematik, Randbedingungen und Einschränkungen des Modells erläutert.

Daran anschließend wird in Abschnitt 7.3.1 die standortspezifische stundenweise Berechnung der Außenluftzustände beschrieben. Diese als „halbsynthetisches Klimamodell“ bezeichnete Berechnung ist bereits im Anhang der ÖNORM B 8110-5:2010 abgebildet.

Im darauf folgenden Abschnitt 7.3.2 wird der gewählte Ansatz für die stundenweise Energiebedarfsberechnung im Detail beschrieben. Es wurde das „vereinfachte stundenweise Berechnungsverfahren“ der ÖNORM EN ISO 13790 herangezogen und um einige Aspekte ergänzt, sodass die Anwendung im vorliegenden Modell uneingeschränkt möglich ist. Die Beschreibung

umfasst auch die Einbindung der Eingangsdaten aus der normativ festgelegten monatsweisen Energiebedarfsberechnung des Energieausweises aus ÖNORM B 8110-6.

Die stundenweise Bestimmung der Konditionierungsvorgänge in den Einzelkomponenten der Klimaanlage wird in Abschnitt 7.3.3 dargestellt. Dazu wird detailliert erläutert, welche Änderungen Temperatur, absolute Feuchte und Luftdruck in den einzelnen Anlagenbestandteilen der dem Modell zugrundegelegten Referenzanlage erfahren.

Um die Berechnung abzuschließen ist es erforderlich, aus den berechneten Luftzuständen den Energiebedarf der aktiven Konditionierungselemente zu bestimmen. Dazu wird die Enthalpie der Luft in den einzelnen Elementen und daraus der resultierende Nutzenergiebedarf für Heizen, Kühlen und Befeuchten ermittelt. Dieser Berechnungsteil wird in Abschnitt 7.3.4 beschrieben.

Nach der detaillierten Beschreibung der Berechnungsgänge wird in den Abschnitten 7.3.6 und 7.3.5 abschließend gezeigt, welche Auswirkungen die vorgenommenen Änderungen auf das Ergebnis haben und welchen Validierungsprüfungen das neue Berechnungsmodell unterzogen wurde.

## **Anlagenkonfiguration**

Um die Konditionierungsvorgänge in den Einzelkomponenten einer Klimaanlage beschreiben zu können, wurde eine Referenzanlage definiert. Bei der Definition dieser Referenzanlage traten jedoch zwei wesentliche Probleme auf:

Einerseits ist in modernen Anlagen das Heizen und Kühlen des Raumes nicht mehr vorrangige Aufgabe der raumlufttechnischen Anlage. Meist stehen mittlerweile Aspekte wie Gewährleistung einer geforderten Raumlufteigenschaft oder die Feuchtezu- und -abfuhr im Vordergrund. Häufig zählt auch das Abdecken kurzfristiger Spitzen der Heiz- oder der Kühllast zu den vorrangigen Anforderungen an eine raumlufttechnische Anlage. Der erforderliche Luftvolumenstrom in der Anlage wird jedoch so gering wie möglich gehalten, um die vorhandenen Aufgaben zufriedenstellend erfüllen zu können. Damit kann der entstehende Luftförderungsenergiebedarf so weit wie möglich reduziert werden. In älteren Anlagen ist diese Trennung zwischen Raumkonditionierung und Erfüllen der Hygieneanforderungen an die Raumlufte nur selten vorhanden. Es wurden häufig Anlagen errichtet, die primär zur Raumkonditionierung und erst sekundär zur Erfüllung der Hygieneanforderungen dienen. Nachdem in Rahmen der Energiebedarfsberechnung des Energieausweises aber neben modernen auch bestehende Anlagen zu bewerten sind, ist die Anlagenkonfiguration so zu wählen, dass sie auf beide Grundtypen raumlufttechnischer Anlagen anwendbar ist.

Andererseits gibt es in der Praxis unzählige verschiedene Arten raumlufttechnischer Anlagen. Je nach Anwendungszweck werden sie zentral oder dezentral, als Voll- oder Teilklimaanlage, als KVS- oder als VVS-Anlage, als Einzonen- oder als Mehrzonensystem, mit oder ohne Umluftführung, etc. ausgeführt. Eine Berücksichtigung all dieser Bauformen ist Aufgabe einer Auslegungsrechnung. Im Zuge der Energiebedarfsberechnung im Energieausweis würde dies jedoch dazu führen, dass die erforderlichen Berechnungsalgorithmen viel zu umfangreich wären und damit den Rahmen einer Norm deutlich überschreiten würden.

Für die im Energieausweis abgebildeten raumlufttechnischen Anlagen wurden daher folgende Einschränkungen vorgenommen:

- einheitlicher Aufbau durch Definition einer Referenzanlage
- variable Ausführung als Lüftungs-, Teilklima- oder Vollklimaanlagen, jedoch immer auf Grundlage der Konfiguration einer Referenzanlage, bei der einzelne Anlagenbestandteile nicht vorhanden sind
- stundenweise erforderlicher Nutzenergiebedarf für Heizen und Kühlen im zu konditionierenden Raum sind bestimmende Faktoren für Zulufttemperatur (KVS-Anlagen) beziehungsweise Zuluftvolumenstrom (VVS-Anlagen)

Aufgrund der vorgenommenen Einschränkungen wurde eine Referenzanlage definiert, anhand derer die Konditionierungsschritte in einer RLT-Anlage beschrieben werden können (siehe Abbildung 7.13 auf der nächsten Seite). Diese Referenzanlage entspricht in ihrem grundsätzlichen Aufbau einer marktüblichen Vollklimaanlage. Sie verfügt über die folgenden Anlagenkomponenten:

- Drosselklappen (DK)
- Luftvorwärmung durch Erdreichwärmetauscher (EWT, in Abbildung 7.13 nicht dargestellt)
- Wärmetauscher für Wärme- und Feuchterückgewinnung aus der Abluft (WRG)
- Mischkammer für Umluftführung (MK)
- Luftfilter (FI)
- Luftvorerhitzer (LVH)
- Luftkühler (LKU)
- Luftbefeuchter als Verdunstungs- oder Dampfbefeuchter (BEF)
- Lufterhitzer (LNH)
- Ventilatoren (VENT)

Um neben der abgebildeten Vollklimaanlage auch Teilklima- und Lüftungsanlagen berechnen zu können, besteht im standortspezifischen SEK-Modell die Möglichkeit, einzelne Anlagenkomponenten als inaktiv zu betrachten. So werden beispielsweise bei einer Vollklimaanlage alle Bestandteile in der Berechnung berücksichtigt, bei einer reinen Lüftungsanlage werden hingegen – sofern vorhanden – nur der Erdreichwärmetauscher und die Wärmerückgewinnungsanlage berücksichtigt.

Analog zu den Ansätzen des bestehenden SEK-Modells der ÖNORM H 5057 wurden auch in der Überarbeitung drei grundlegende Kategorien von RLT-Anlagen definiert, anhand derer die wesentlichen Konditionierungsvorgänge beschrieben werden können:

- RLT-Anlagen ohne Befeuchtung,
- RLT-Anlagen mit Verdunstungsbefeuchtern,
- RLT-Anlagen mit Dampfbefeuchtern.

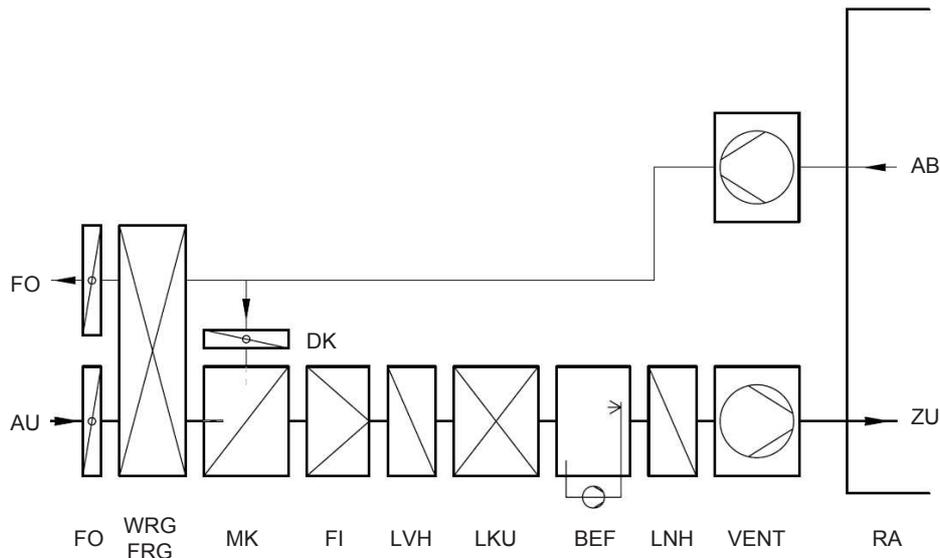


Abbildung 7.13.: Anlagenkonfiguration der Referenzklimaanlage: Vollklimaanlage wahlweise mit Dampf- oder Verdunstungsbefeuchtung

Als Regelungssysteme für die Verdunstungsbefeuchtung wurden Taupunktregelung und Zuluftfeuchteregelung umgesetzt. Bei Dampf- oder Verdunstungsbefeuchtung wurde Zuluftfeuchteregelung als Regelungssystem gewählt.

Die Definition einer Referenzanlage ermöglicht es in weiterer Folge auch Druckverluste für verschiedene Anlagenbestandteile anzusetzen. Diese Druckverluste können einerseits für eine exaktere Berechnung des Energiebedarfs zur Konditionierung des Luftvolumenstroms herangezogen werden. Andererseits besteht so die Möglichkeit, den Luftförderungsenergiebedarf der Ventilatoren von der pauschalen Berechnung über tabellarisch vorgegebene Defaultwerte für die spezifische Leistungsaufnahme der Ventilatoren  $P_{SFP}$  loszulösen und damit plausible Ergebnisse zu erhalten. Hierzu ist es erforderlich, Standarddruckverluste für die verschiedenen Bestandteile (unterschiedliche Effizienzklassen) vorzugeben und zusätzlich die Druckverluste im Luftleitungsnetz abzuschätzen oder vom Nutzer abzufragen.

### Systematik der Berechnung

Das maßgebliche Kriterium des standortspezifischen stundenweisen SEK-Modells ist das korrekte Verknüpfen der drei Elemente „standortspezifische Außenluftzustände“, „stundenweise Energiebedarfsberechnung“ und „Konditionierungsvorgänge in der Klimaanlage“. Es bestehen starke Wechselwirkungen sowohl zwischen diesen drei Elementen als auch zwischen den aufeinanderfolgenden Zeitschritten, welche im Berechnungsmodell entsprechend berücksichtigt werden müssen.

Zusätzlich ist zu berücksichtigen, dass gemäß ÖNORM B 8110-6 eine getrennte Berechnung des Energiebedarfs im Heiz- und im Kühlfall mit unterschiedlichen Eingangsgrößen vorgenommen wird. Diese getrennte Berechnung hat auch maßgeblichen Einfluss auf die stundenweise Energiebedarfsberechnung, die im neuen SEK-Modell eingesetzt wird.

Zum Verknüpfen der drei Elemente wurde eine schrittweise Vorgangsweise mit vier separaten Berechnungsschleifen gewählt, die für alle Stunden des Jahres abgeschlossen sein müssen, bevor die nächste Berechnungsschleife gestartet werden kann. Die gesamte Berechnung ist für den Heizfall und den Kühlfall jeweils getrennt voneinander zu durchlaufen, um die gewünschten Ergebnisse für den Nutzenergiebedarf zur Konditionierung des Luftvolumenstroms zu erhalten:

- **Berechnungsschleife 1: Außenluftzustände**
  - Schritt 1.1: standortspezifische Außenluftzustände berechnen
  - Schritt 1.2: Erdreichtemperaturen berechnen
- **Berechnungsschleife 2: Energiebedarfswerte**
  - Schritt 2.1: stundenweise Energiebedarfswerte
  - Schritt 2.2: Sollwerte für Zulufttemperatur und Luftvolumenstrom
  - Schritt 2.2: Temperatureintrag durch Ventilatorabwärme
- **Berechnungsschleife 3: Konditionierungsschritte**
  - Schritt 3.1: Abluftzustand bestimmen
  - Schritt 3.2: Passive Konditionierungsschritte berechnen
  - Schritt 3.3: Istwerte für die Zulufttemperatur berechnen
  - Schritt 3.4: Aktive Konditionierungsschritte berechnen
  - Schritt 3.5: Raumluftzustand und verbleibenden Nutzenergiebedarf bestimmen
- **Berechnungsschleife 4: Ergebnisberechnung**
  - Schritt 4.1: Enthalpie der einzelnen Konditionierungsschritte berechnen
  - Schritt 4.2: Energieeintrag durch aktive Konditionierungselemente berechnen

Die beschriebene Systematik ist in Abbildung 7.14 auf der nächsten Seite grafisch dargestellt und wird in den folgenden Abschnitten im Detail erläutert.

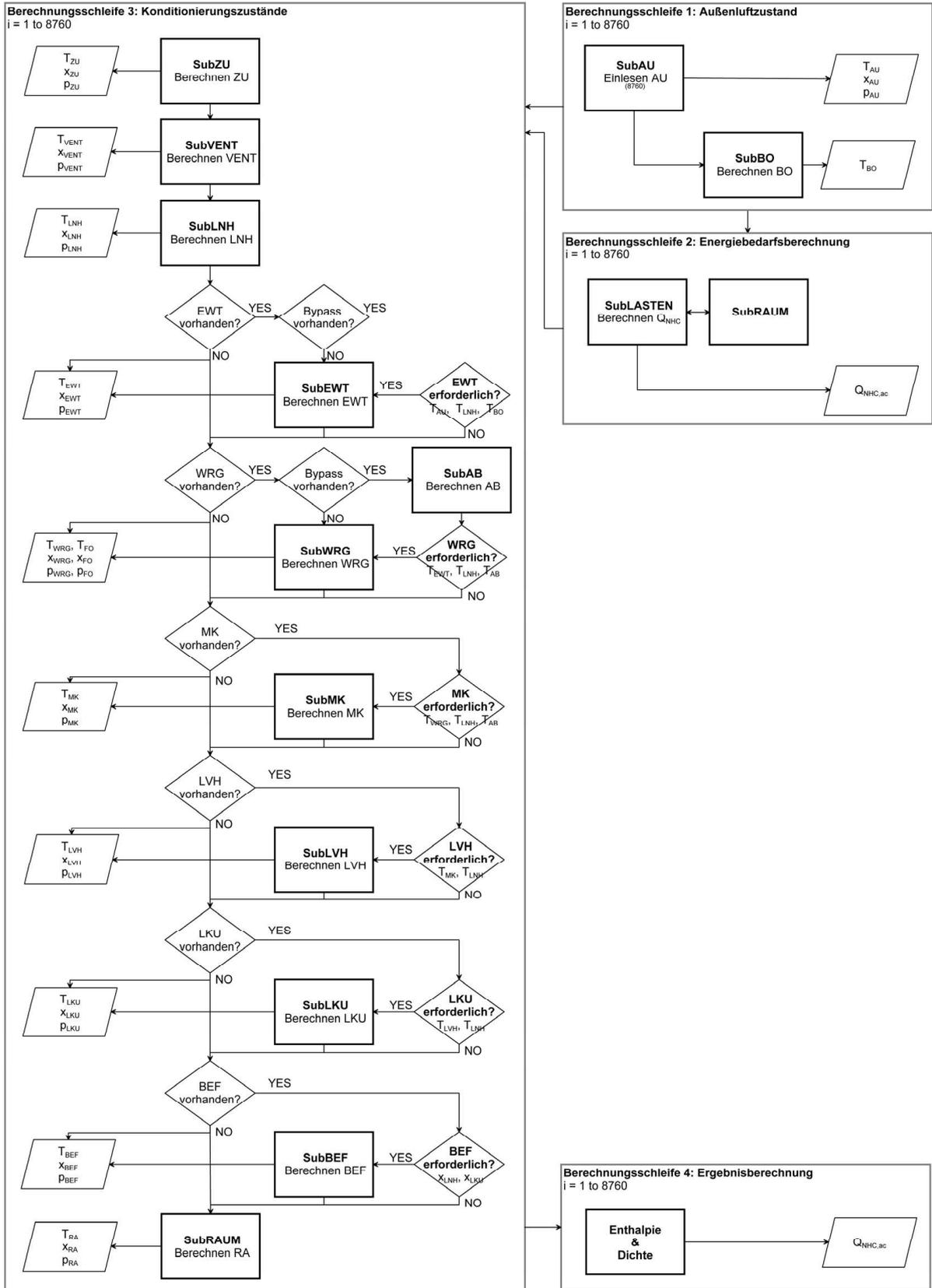


Abbildung 7.14.: Flussdiagramm zur Berechnung von Temperatur, Feuchte und Druckwerten in den einzelnen Anlagenteilen der RLT-Anlage

### 7.3.1. Berechnungsschleife 1: Außenluftzustände

#### Außenluftzustand

Eine standortspezifische Berechnung der spezifischen Energiekennwerte ist erforderlich, um die Berechnungsalgorithmen der verschiedenen Energieausweisnormen konsistent zu gestalten. Die bisherige Berechnung der spezifischen Energiekennwerte nach ÖNORM H 5057 war der einzige Berechnungsteil in den Algorithmen des Energieausweises, in dem die Berechnung nicht direkt für den tatsächlichen Standort nach dem Klimamodell aus ÖNORM B 8110-5 vorgenommen wurde. Stattdessen wurden die SEK-Werte für zwei Referenzstandorte berechnet und anschließend auf das Standortklima umgerechnet. Daher ist im bisherigen SEK-Modell der ÖNORM H 5057 auch kein Bezug auf das Klimadatenmodell des Energieausweises vorhanden.

Für die Berechnung der stundenweisen Außenluftzustände kommt das „halbsynthetische Klimadatenmodell“ der ÖNORM B 8110-5:2010 zum Einsatz. Es wurde unter Leitung der Magistratsabteilung MA 39 der Stadt Wien und mit Unterstützung der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (ZAMG) ausgearbeitet. Das entwickelte Modell wurde von Pöhn et al. (2009a, 2009b) dokumentiert.

Für die Berechnung der stundenweisen Außenlufttemperatur  $\theta_{AU}$  wird die gemäß ÖNORM B 8110-5 in Abhängigkeit von Klimaregion und Seehöhe zu bestimmende Monatsmitteltemperatur  $\theta_e$  als Ausgangswert herangezogen. Der jeweiligen Monatsmitteltemperatur wird einerseits eine Sinus-Schwingung mit einer Monatsamplitude  $A_{m,\theta}$  aufgeprägt um den Monatsverlauf der Außenlufttemperatur zu berücksichtigen. Andererseits werden die so erhaltenen Tagesmittelwerte wiederum mit einer Cosinus-Schwingung mit einer Tagesamplitude  $A_{d,\theta}$  überlagert um den Tagesverlauf der Außenlufttemperatur abbilden zu können. Die angegebenen Amplituden der monatsweisen und tageweisen Temperaturschwingung unterscheiden sich sowohl für die einzelnen Monate als auch für die sieben klimatologischen Regionen Österreichs. Die verschiedenen Monatsamplituden der Außenlufttemperatur sind in Tabelle 7.3 auf der nächsten Seite angegeben, die verschiedenen Tagesamplituden in Tabelle 7.4 auf Seite 114.

Gleichung 7.10 zeigt die Berechnung der stundenweisen Außenlufttemperaturen mithilfe der Monats- und Tagesamplituden der Temperaturschwingung (siehe ÖNORM B 8110-5:2010, Gleichung C.1, Formelzeichen angepasst). Die Ergebniswerte müssen dahingehend angepasst werden, dass ein stetiger Übergang von Monatsende des einen Monats zu Beginn des nächsten Monats resultiert.

$$\theta_{AU} = \theta_e + A_{m,\theta} \cdot \sin\left(\frac{d_m}{d} \cdot 2\pi\right) - A_{d,\theta} \cdot \cos\left(\frac{h_d}{24} \cdot 2\pi\right) \quad (7.10)$$

$d_m$       laufender Tag des Monats  
 $h_d$       laufende Stunde des Tages

Die Berechnung der stundenweisen Außenluftfeuchte erfolgt analog zu jener der stundenweisen Außenlufttemperatur. Als Basiswert wird hier der Jahresmittelwert der Außenluftfeuchte in Abhängigkeit von der Klimaregion herangezogen. Diesem Jahresmittelwert wird eine Cosinus-Schwingung für den Jahresverlauf mit einer Jahresamplitude  $A_{a,x}$  aufgeprägt. Die Monats-

und Tagesverläufe werden wiederum über eine Sinus-Schwingung mit einer Monatsamplitude  $A_{m,x}$  und einer Cosinus-Schwingung mit einer Tagesamplitude  $A_{d,x}$  erzeugt.

Gleichung 7.11 zeigt die Berechnung der stundenweisen Außenluftfeuchte mithilfe von Jahres-, Monats- und Tagesamplituden der Feuchteschwingung auf Grundlage des Jahresmittelwerts der Außenluftfeuchte (siehe ÖNORM B 8110-5:2010, Gleichung C.2, Formelzeichen angepasst).

$$x_{AU} = x_m - A_{a,x} \cdot \cos\left(\frac{d_{m,a}}{365} \cdot 2\pi\right) + A_{m,x} \cdot \sin\left(\frac{d_m}{d} \cdot 2\pi\right) - A_{d,x} \cdot \cos\left(\frac{h_d}{24} \cdot 2\pi\right) \quad (7.11)$$

$d_{m,a}$       laufender Tag des Jahres  
 $d_m$         laufender Tag des Monats  
 $h_d$         laufende Stunde des Tages

Tabelle 7.3.: Monatsamplitude der Außenlufttemperatur (Quelle: ÖNORM B 8110-5:2010)

Monatsamplitude der Außenlufttemperatur $A_{m,\theta}$							
	W	NF	N	ZA	SB	S/SO	N/SO
Januar	3,9	3,8	3,1	3,2	5,2	5,0	3,3
Februar	4,3	4,9	4,1	6,3	5,9	7,0	4,0
März	4,7	7,5	4,9	6,7	6,7	6,3	4,3
April	4,5	5,3	4,8	6,1	5,9	5,9	3,7
Mai	5,5	5,4	4,9	6,4	7,3	6,4	4,8
Juni	5,2	5,0	4,4	5,8	6,4	4,7	4,5
Juli	4,8	5,3	5,9	6,1	6,2	6,0	4,4
August	5,0	5,1	5,6	6,0	7,1	6,5	4,3
September	6,0	5,3	5,2	6,6	6,3	4,8	4,3
Oktober	4,2	4,7	4,9	5,4	5,0	5,4	4,0
November	3,6	4,1	3,9	4,8	4,4	3,8	3,1
Dezember	2,8	3,3	2,5	3,8	3,7	3,6	2,2

Tabelle 7.4.: Tagesamplitude der Außenlufttemperatur (Quelle: ÖNORM B 8110-5:2010)

Tagesamplitude der Außenlufttemperatur $A_{d,\theta}$							
	W	NF	N	ZA	SB	S/SO	N/SO
Januar	8,3	7,6	8,8	7,4	6,3	6,1	8,7
Februar	8,2	6,9	6,3	6,6	5,9	6,9	6,6
März	5,8	6,0	5,7	5,5	6,4	5,4	5,8
April	8,3	6,2	6,6	7,7	7,0	6,3	7,2
Mai	6,8	7,2	5,9	6,2	5,5	6,9	5,9
Juni	6,0	7,5	7,1	6,9	6,0	5,8	5,7
Juli	5,0	6,1	5,3	6,1	4,3	4,9	5,2
August	5,2	5,4	5,4	6,2	5,2	3,8	5,7
September	5,9	5,4	5,4	5,2	5,3	4,1	5,4
Oktober	6,0	5,6	6,1	5,9	5,3	7,4	6,5
November	8,8	7,6	5,4	8,2	7,0	9,7	8,1
Dezember	7,8	7,1	6,6	7,8	7,6	5,6	8,1

Tabelle 7.5.: Jahresmittelwert und Jahresamplitude der Außenluftfeuchte (Quelle: ÖNORM B 8110-5:2010)

Jahresmittelwert $x_m$ und Jahresamplitude $A_{a,x}$							
	W	NF	N	ZA	SB	S/SO	N/SO
$x_m$	6,5	6,8	6,8	6,1	6,4	7,3	6,4
$A_{a,x}$	3,2	3,8	3,6	3,3	3,7	4,1	3,4

Tabelle 7.6.: Monatsamplitude der Außenluftfeuchte (Quelle: ÖNORM B 8110-5:2010)

Monatsamplitude der Außenluftfeuchte $A_{m,x}$							
	W	NF	N	ZA	SB	S/SO	N/SO
Januar	0,6	0,6	0,7	0,5	0,5	0,6	0,6
Februar	0,7	0,6	0,7	0,5	0,7	0,5	0,7
März	0,7	0,7	0,7	0,7	0,8	0,9	0,8
April	0,9	1,0	0,7	0,9	0,8	1,3	0,8
Mai	1,8	1,7	1,4	1,5	1,3	1,5	1,3
Juni	1,7	1,8	1,7	1,8	1,8	1,6	1,4
Juli	1,6	1,8	1,6	1,6	2,0	2,0	1,6
August	1,3	1,7	2,1	1,7	1,9	1,7	1,5
September	1,4	1,3	1,2	1,5	1,4	1,6	1,7
Oktober	1,0	1,0	1,0	1,1	0,9	1,1	1,0
November	1,1	0,7	0,6	0,8	0,7	0,6	0,8
Dezember	0,5	0,5	0,6	0,5	0,4	0,7	0,6

Tabelle 7.7.: Tagesamplitude der Außenluftfeuchte (Quelle: ÖNORM B 8110-5:2007)

Tagesamplitude der Außenluftfeuchte $A_{d,x}$							
	W	NF	N	ZA	SB	S/SO	N/SO
Januar	1,8	1,7	1,8	1,5	1,5	1,4	1,6
Februar	1,6	1,4	1,7	1,5	1,5	1,7	1,4
März	1,4	1,4	1,6	1,5	1,9	1,5	1,7
April	2,2	2,1	2,4	1,9	2,1	2,0	2,2
Mai	2,4	2,7	2,4	2,5	2,5	3,6	3,2
Juni	2,8	3,2	3,9	2,8	3,2	3,6	3,5
Juli	2,5	2,4	2,6	2,6	2,5	3,5	3,4
August	2,8	2,8	2,9	2,6	3,2	2,9	2,4
September	2,0	2,8	2,5	2,1	3,0	2,5	2,6
Oktober	1,7	2,5	2,4	2,5	2,6	2,9	2,7
November	1,9	2,1	1,7	2,2	2,5	3,3	2,6
Dezember	1,9	1,6	1,6	1,7	1,7	1,5	2,0

## Bodentemperaturen

Für die Ermittlung der stündlichen Erdreich- oder Bodentemperaturen wird das im Anhang der ÖNORM EN 15241 beschriebene Modell herangezogen. Die Entstehung dieses Modells geht auf Zimmermann und Huber zurück (Huber et al., 2006; Zimmermann, 2003; Zimmermann und Huber, 2000).

Als Basis für die Berechnung der Erdreichtemperatur wird die mittlere jährliche Außenlufttemperatur  $\theta_{AU,m}$  herangezogen. Dieser wird eine Sinusschwingung aufgeprägt, deren Amplitude von der Verlegetiefe der Luftleitungen und der Temperaturdifferenz der Monatsmittelwerte der Außenlufttemperatur abhängt. Zusätzlich bewirkt die Verlegetiefe eine zeitliche Verschiebung des Verlaufs der Erdreichtemperatur im Vergleich mit der Lufttemperatur aufgrund der mit der Tiefe größer werdenden thermischen Trägheit des Erdreichs. In Abbildung 7.15 auf der nächsten Seite ist die Abhängigkeit der Erdreichtemperatur von der Verlegetiefe der Luftleitungen dargestellt.

Die thermische Trägheit des Erdreichs wird mithilfe von Korrekturparametern für die Amplitude  $y_{BO}$  und die zeitliche Verschiebung  $\Delta t_{BO}$  der Sinusschwingung sowie des Erdreichkorrekturfaktors  $f_{BO}$  in Abhängigkeit von der Verlegetiefe des Erdreichwärmetauschers  $s_{LL}$  berücksichtigt.

$$y_{BO} = -0,00035 \cdot s_{LL}^3 + 0,01381 \cdot s_{LL}^2 - 0,1993 \cdot s_{LL} + 1 \quad (7.12)$$

$$\Delta t_{BO} = 24 \cdot (-0,0195 \cdot s_{LL}^4 + 0,3385 \cdot s_{LL}^3 - 1,0156 \cdot s_{LL}^2 + 10,298 \cdot s_{LL} + 0,1786) \quad (7.13)$$

$$\theta_{BO} = f_{BO} \cdot \left[ \theta_{AU,m} - y_{BO} \cdot \Delta \theta_{AU} \cdot \sin \left( \frac{2 \cdot \pi}{8760} \cdot [i - \Delta t_{BO} + 24, 25] \right) \right] \quad (7.14)$$

Dabei ist  $i$  die laufende Stunde des Jahres. Werte für  $f_{BO}$  können in Abhängigkeit des Erdreichmaterials aus Tabelle 7.8 entnommen werden.

Tabelle 7.8.: Erdreichkorrekturfaktoren  $f_{BO}$  für verschiedene Erdreichmaterialien (Quelle: ÖNORM EN 15241:2007)

Erdreichmaterial	Korrekturfaktor $f_{BO}$
feuchtes Erdreich	1,00
trockener Sand	0,90
feuchter Sand	0,98
feuchter Lehm	1,04
nasser Lehm	1,05

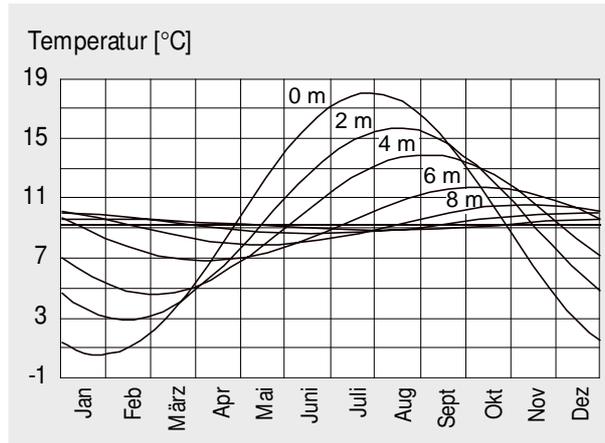


Abbildung 7.15.: Erdreichtemperaturen für verschiedene Verlegetiefen der Luftleitungen (Bildquelle: Zimmermann, 2003)

### 7.3.2. Berechnungsschleife 2: Energiebedarfswerte

#### Stundenweise Zuluftzustände

Nachdem die Berechnung der spezifischen Energiekennwerte im standortspezifischen Berechnungsmodell stundenweise erfolgt ist es erforderlich, auch die Ermittlung der Eingangsgrößen Zulufttemperatur und Zuluftvolumenstrom stundenweise durchzuführen. Dazu ist eine stundenweise Berechnung des Nutzenergiebedarfs des zu konditionierenden Raums für Heizen und für Kühlen erforderlich. Dies erfordert exakte stundenweise Verläufe für Wärmeeinträge und Wärmeverluste des Raums.

Diese Anforderung ist für die maßgeblichen Wärmeverluste in der Regel unproblematisch: Die Berechnung von Transmissions-, Lüftungs- und Infiltrationswärmeverlusten erfolgt über deren Leitwerte und die Temperaturdifferenz zwischen innen und außen als Potenzial. Diese Verlustberechnung kann sowohl über Stundenwerte der erforderlichen Temperaturen oder monatsweise über Monatsmittelwerte vorgenommen werden. Somit stehen durch die stundenweise Berechnung der Temperatur der Außenluft und der Solltemperatur des Raumes die erforderlichen Eingangsgrößen für eine stundenweise Ermittlung der Wärmeverluste zur Verfügung.

Anders verhält es sich bei der Berücksichtigung interner und solarer Wärmeeinträge:

- Interne Lasten durch Personen und Geräte sind stark nutzungsabhängig und variieren im Tagesverlauf erheblich. Sie sind in detaillierten Nutzungsprofilen zu definieren. Die für die Energieausweisberechnung anzuwendenden Nutzungsprofile der ÖNORM B 8110-5 enthalten jedoch nur Angaben zu Mittelwerten der internen Lasten durch Personen und Geräte und zur Nutzungszeit der verschiedenen Nutzungskategorien.
- Auch interne Lasten durch Beleuchtung sind stark stundenweisen Schwankungen unterworfen, die von der Tageslichtnutzung und der Nutzung des Gebäudes bestimmt sind. Als Eingangsgröße für die Beleuchtungslasten dient der monatsweise ermittelte Energiebedarf für Beleuchtung (LENI) gemäß ÖNORM H 5059. Dieser Berechnung ist kein stundenweiser Verlauf der Beleuchtungslasten zu entnehmen.

- Für eine stundenweise Berechnung der solaren Wärmeeinträge sind detaillierte Strahlungsdaten erforderlich. Mithilfe von Stundenwerten der Strahlung kann die Einstrahlung auf die Fensterflächen nach Orientierung getrennt ermittelt werden. In weiterer Folge sind jedoch auch stärker diversifizierte Verschattungsfaktoren notwendig, um die Wirkung der Verschattungsmaßnahmen im Tagesverlauf plausibel nachbilden zu können. Für die Energieausweisberechnung im Monatsbilanzverfahren sind ausschließlich Monatsmittelwerte für die solare Einstrahlung und im Jahresverlauf konstante Verschattungsfaktoren angegeben.

Abgesehen von den stundenweise auftretenden Wärmegewinnen und Wärmeverlusten des konditionierten Raumes ist zu berücksichtigen, dass die Wärmespeicherfähigkeit des untersuchten Raumes einen erheblichen Einfluss auf den stundenweisen Verlauf des Nutzenergiebedarfs für Heizen und Kühlen hat.

Ein weiteres Problem bei der Berechnung des stundenweisen Nutzenergiebedarfs ist die Unterscheidung, ob die Anlage Heizen oder Kühlen muss, beziehungsweise ob überhaupt keine Konditionierung erforderlich ist. Im bisherigen Verfahren wurde diese Problematik durch die Bildung der Monatssummenwerte für die SEK-Werte umgangen<sup>5</sup>. Im standortspezifischen stundenweisen SEK-Modell sollen auch Perioden ohne Konditionierungserfordernis berücksichtigt und entsprechend abgebildet werden. Durch die Berechnung des stundenweisen Nutzenergiebedarfs für Heizen und Kühlen kann diese Forderung erfüllt werden.

Die Ermittlung des stundenweisen Nutzenergiebedarfs eines zu konditionierenden Raumes ist normativ auf CEN-Ebene in der ÖNORM EN ISO 13790 festgelegt. Sie kann entweder mithilfe eines ausführlichen dynamischen Simulationsverfahrens oder des vereinfachten dynamischen Stunden-Berechnungsverfahren vorgenommen werden. Das quasi-stationäre Monats-Berechnungsverfahren ist nicht geeignet, da als Ergebnisgrößen Monatswerte ausgegeben werden. Das vereinfachte dynamische Stunden-Berechnungsverfahren und das quasi-stationäre Monats-Berechnungsverfahren sind in der ÖNORM EN ISO 13790 vollständig beschrieben.

In der österreichischen Umsetzung in der ÖNORM B 8110-6 sind ebenfalls alle drei genannten Berechnungsverfahren zugelassen, vollständig beschrieben wird jedoch nur das quasi-stationäre Monats-Berechnungsverfahren. Für dieses Verfahren sind auch national vorzuzugende Eingabegrößen wie Klimadaten, Nutzungsprofile, etc. definiert. Die Anwendung dieser Eingangsgrößen für genauere – also stundenweise – Berechnungsverfahren ist jedoch aufgrund des unzureichenden Detaillierungsgrads nur eingeschränkt möglich.

Zur Berechnung stundenweiser Nutzenergiebedarfswerte und in weiterer Folge stundenweiser Zulufttemperaturen und Luftvolumenströme war es daher naheliegend, auf das in der ÖNORM EN ISO 13790 beschriebene vereinfachte dynamische Stundenberechnungsverfahren zurückzugreifen. Als Eingangsdaten werden die Daten der monatsweisen Berechnung gemäß der ÖNORM B 8110-6 herangezogen, die für den Einsatz in der stundenweisen Methode angepasst werden.

---

<sup>5</sup>Es wurde für den SEK-Wert für Heizen in jeder Stunde in der die Außenlufttemperatur unter der monatlichen mittleren Zulufttemperatur für Heizen liegt, eine Konditionierung auf diese Zulufttemperatur vorgenommen. Für Kühlen wurde analog vorgegangen – das heißt, dass in jeder Stunde, in der die Außenlufttemperatur über der mittleren Zulufttemperatur für Kühlen liegt, auf diesen Wert hin gekühlt wurde. Sobald während der monatlichen Nutzungszeit der Benchmark-Anlage kein Stundenwert des Worst-Case-Klimas unter (Heizen) beziehungsweise über (Kühlen) der geforderten monatsweisen Zulufttemperatur liegt, ist daher kein SEK-Wert und damit auch kein Nutzenergiebedarf zur Luftvolumenstrom-Konditionierung vorhanden. Zeiträume ohne Heiz- und Kühlerfordernis sind daraus jedoch nicht ablesbar.

## Vereinfachtes dynamisches Stunden-Berechnungsverfahren

Das vereinfachte Stundenverfahren stellt eine vereinfachte Form einer dynamischen thermischen Gebäude- und Anlagensimulation dar. Mit diesem Modell sollen gemäß der ÖNORM EN ISO 13790 folgende Aspekte erreicht werden:

- Transparenz und Robustheit wie bei der quasi-stationären monatlichen Berechnung
- eindeutig festgelegte Berechnungsalgorithmen, die uneingeschränkt nachvollzogen werden können
- Reduktion der Eingangsdaten auf ein Mindestmaß
- direkte Eingabemöglichkeit von stundenweisen Zeitschemata
- Erweiterungsmöglichkeit durch direkte Abbildung des physikalischen Verhaltens
- höherer Genauigkeitsgrad für Gebäude mit hohem Einfluss der Wärmespeicherkapazität

Detaillierte Beschreibungen des vereinfachten dynamischen Stundenverfahrens wurden beispielsweise von Millet (2007), Kokogiannakis (2008) oder van Dijk und Spiekman (2004) vorgenommen. Die Erweiterung des Verfahrens um einzelne Elemente wurde für den Einsatz in verschiedenen nationalen Normen angestrebt. So haben beispielsweise Mijakowski et al. (2009) das Modell um ein Modul zur Abbildung von RLT-Anlagen ergänzt, Ménard (2005) hat eine Einbindung thermoaktiver Bauteilsysteme (TABS) für die Anwendung in der SIA 382/2 erreicht.

Die Grundlage des vereinfachten Stundenverfahrens ist ein Raummodell, das auf einem „Widerstands-Kapazitäten-Modell“ beruht. Dazu werden fünf Temperaturknoten festgelegt, die miteinander über Widerstände in Verbindung gesetzt werden.

Die fünf Temperaturknoten sind Außenluft  $\theta_{AU}$ , Zuluft  $\theta_{ZU}$ , Oberflächen der raumumfassenden Bauteile  $\theta_{WA}$ , thermische Speichermassen  $\theta_{SM}$  und Innenraumluft  $\theta_{RA}$ , die stundenweise berechnet werden (Ménard, 2005). Ergänzend dazu kann noch die operative Temperatur  $\theta_{OP}$  als Mittelwert aus Lufttemperatur und Temperatur der thermischen Speichermassen (Strahlungstemperatur) ermittelt werden, die jedoch kein eigener Temperaturknoten ist und für die Berechnung im Modell eigentlich nicht erforderlich ist.

Die Verknüpfungen zwischen den einzelnen Temperaturknoten werden durch Widerstände in Form von Leitwerten für Wärmeübergang, Wärmedurchgang und Lüftung hergestellt. An den Knoten „Temperatur der thermischen Speichermassen“ ist eine Kapazität angebunden, die die thermische Speicherwirksamkeit der untersuchten Gebäudezone darstellt. Das so entstehende „Raummodell mit fünf Widerständen und einer Kapazität (R5C1)“, ist in Abbildung 7.16 auf der nächsten Seite dargestellt.

Durch dieses Raummodell ist es möglich, die stündlich auftretenden Gewinn- und Verlustposten des Raums direkt dort angreifen zu lassen, wo sie physikalisch tatsächlich wirken:

- **solare Wärmegewinne:** Die Solarstrahlung tritt über die transparenten Flächen der Gebäudehülle als kurzwellige Strahlung in die Gebäudezone ein. Sie trifft auf die raumumschließenden Flächen und wird dort zum überwiegenden Teil absorbiert<sup>6</sup>. Dadurch erwärmen sich die Flächen und geben Wärme über langwellige Wärmestrahlung, Konvektion und Wärmeleitung ab.

---

<sup>6</sup>Im vorliegenden Modell wird die eintretende Solarstrahlung vollständig von den umfassenden Flächen absorbiert.

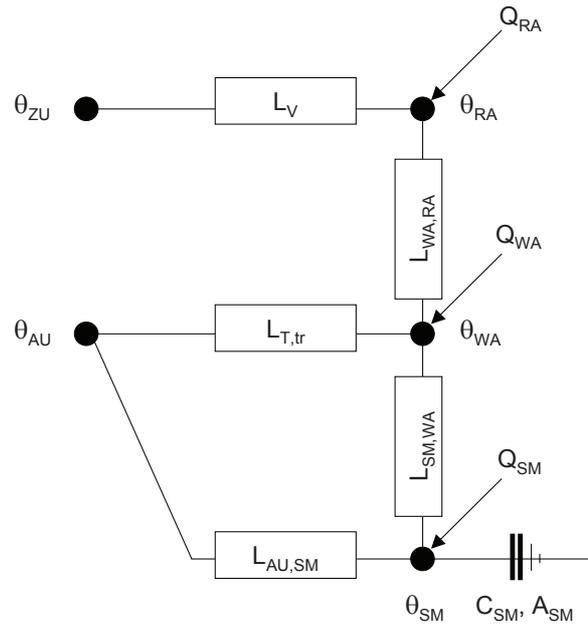


Abbildung 7.16.: R5C1-Modell als Grundlage des Raummodells des vereinfachten Stundenverfahrens (eigene Darstellung nach Ménard, 2005)

- **interne Wärmegewinne:** Die internen Lasten einer Gebäudezone werden zu 50 % konvektiv an die Raumluft abgegeben, die anderen 50 % wirken radiativ auf die raumumschließenden Flächen und werden von der Speichermasse absorbiert.
- **Lüftungswärmeverluste:** Die Lüftungswärmeverluste wirken über den Lüftungsleitwert als Widerstand unmittelbar zwischen den Temperaturknoten Raumluft und Zuluft. Der Lüftungsleitwert wird aus dem stündlichen Luftwechsel (aus natürlicher Lüftung, mechanischer Lüftung und Infiltration) und der spezifischen Wärmekapazität der Luft berechnet.
- **Transmissionswärmeverluste opake Bauteile:** Transmissionswärmeverluste durch opake Bauteile wirken auf den Speichermasseknoten und beschreiben dessen Wärmeabgabe an die Außenluft.
- **Transmissionswärmeverluste Fenster:** Die Transmissionswärmeverluste durch Fenster wirken auf den Knoten „Oberflächentemperatur“ der umfassenden Bauteile und berücksichtigen, dass der Wärmeaustausch am Fenster hauptsächlich konvektiv passiert.
- **Wärmeeintrag über Heiz- oder Kühlsystem:** Für Wärme die über ein aktives Heiz- oder Kühlsystem zu- beziehungsweise abgeführt wird unterscheidet man, ob die Wärmeabgabe über ein statisches System oder über eine raumlufttechnische Anlage vorgenommen wird. Die Abgabe über die raumlufttechnische Anlage wirkt direkt auf den Raumluftknoten, indem die Zulufttemperatur erhöht beziehungsweise reduziert wird. Dadurch verringert sich auch der Anteil an Wärme, der über das statische System zu- beziehungsweise abgeführt werden muss. Dieser Wärmeanteil wirkt radiativ auf den Innentemperatur- und konvektiv auf den Strahlungstemperaturknoten.

Das grundsätzliche Ziel der stundenweise Berechnung gemäß der ÖNORM EN ISO 13790 ist die Ermittlung des Energiebedarfs zur Konditionierung des betrachteten Raums in Stundenschritten (in kWh/h). Dazu wird mit Hilfe eines Crank-Nicholson-Schemas mit einem Zeitschritt von einer Stunde die Raumlufttemperatur  $\theta_{RA}$  und die operative Temperatur  $\theta_{OP}$  in Abhängigkeit der vorhandenen Wärmeeinträge und Wärmeverluste berechnet (Ménard, 2005). Diese Berechnung wird im folgenden Abschnitt im Detail dargestellt.

### Raummodell (R5C1-Modell)

Das R5C1-Raummodell basiert darauf, dass auftretende Lasten, Widerstände und die Wärmespeicherkapazität des untersuchten Raummodells über ein Knotenmodell miteinander verknüpft werden. Das Resultat bilden die Temperaturwerte für jeden der Knoten des Modells. Der Nutzenergiebedarf zur Konditionierung des Raums wird in weiterer Folge dadurch bestimmt, welche Raumlufttemperatur sich ohne beziehungsweise mit definierter Wärmezufuhr einstellt. Bei der Beschreibung des Modells werden der Reihe nach die Widerstände, die Kapazität, die Lasten und abschließend die resultierenden Temperaturwerte erläutert. Die Gleichungen entstammen der ÖNORM EN ISO 13790, wobei die verwendeten Formelzeichen an die in dieser Dissertation verwendeten Symbole und Indizes angepasst wurden.

- **Widerstände:**

- Lüftungsleitwert  $L_V$ :

Der Lüftungsleitwert (= lüftungsbedingter Wärmestrom bezogen auf die Temperaturdifferenz) ist definiert als die Summe der Lüftungsleitwerte aus mechanischer Lüftung und aus Infiltration (Gleichung 7.15a). Sofern keine mechanische Lüftungsanlage installiert ist wird angenommen, dass im Lüftungsleitwert aufgrund natürlicher Lüftung der Leitwert für Infiltration bereits enthalten ist (Gleichung 7.15b).

$$L_V = L_{V,RLT} + L_{V,INF} \quad (7.15a)$$

$$L_V = L_{V,FL} \quad (7.15b)$$

- Transmissionsleitwert opake Flächen  $L_{T,op}$ :

Der gesamte Transmissionsleitwert  $L_T$  wird in dieser Berechnung unterteilt in die Transmissionsleitwerte für opake Flächen  $L_{T,op}$  und für Fenster, Türen und andere verglaste Flächen  $L_{T,tr}$ . Die Leitwertzuschläge für zwei- und dreidimensionale Wärmebrücken werden dabei dem Transmissionsleitwert für opake Flächen  $L_{T,op}$  zugeschlagen.

$$L_{T,op} = L_T - L_{T,tr} \quad (7.16)$$

- Transmissionsleitwert Fenster, Türen und anderen verglaste Flächen  $L_{T,tr}$ :

Die getrennte Berechnung des Transmissionsleitwertes für Fenster, Türen und andere verglaste Flächen ist erforderlich, um eine korrekte Zuordnung der Wärmegewinne und -verluste zu den verschiedenen Temperaturknoten vornehmen zu können. Die Transmissionswärmeverluste über verglaste Flächen wirken nicht auf die

Speichermassen des Raums sondern vorwiegend über Strahlung auf die raumumschließenden Wände. Dadurch ist eine andere Verrechnung als bei den Verlusten über opake Flächen erforderlich.

$$L_{T,tr} = \sum (A_{i,tr} \cdot U_{i,tr}) \quad (7.17)$$

– Wärmeübergangskoeffizienten:

Die eigentliche Wärmeübertragung aus Transmission erfolgt über drei Bestandteile, die in einer stationären Berechnung im Transmissionsleitwert  $L_T$  zusammengefasst sind:

- \* Wärmeübergangskoeffizient zwischen Speichermasse und Außenluft  $L_{AU,SM}$ :  
Der „Wärmeübergangskoeffizient außen“  $L_{AU,SM}$  beschreibt den Widerstand zwischen Speichermasse und Außenluft, was der Summe der Wärmedurchgangswiderstände durch die Bauteilschichten außerhalb der Speichermasse und dem äußeren Wärmeübergangskoeffizienten  $\alpha_a$  entspricht.
- \* Wärmeübergangskoeffizient zwischen Speichermasse und Oberflächen  $L_{SM,WA}$ :  
Der „Wärmeübergangskoeffizient Strahlung“  $L_{SM,WA}$  hingegen stellt jenen Widerstand dar, der zwischen den Temperaturknoten für Speichermasse und für die raumumfassenden Bauteiloberflächen wirkt. In der stationären Betrachtung entspricht dieser Wert jenem Anteil des inneren Wärmeübergangskoeffizienten  $\alpha_i$ , der aus Strahlung resultiert und ebenfalls in die Berechnung des U-Werts einfließt.
- \* Wärmeübergangskoeffizient zwischen Oberflächen und Raumluft  $L_{WA,RA}$ :  
Der „Wärmeübergangskoeffizient Konvektion“  $L_{WA,RA}$  ist der Widerstand zwischen den Knoten „raumumfassende Oberflächen“ und „Raumluft“. In diesem Leitwert ist der konvektive Anteil des inneren Wärmeübergangswiderstands  $\alpha_i$  enthalten.

Die explizite Darstellung mit Aufteilung des U-Werts auf drei unterschiedliche Leitwerte wird durch die physikalisch korrekte Abbildung der Wirkungsweise der Wärmegewinne und -verluste erforderlich.

– Wärmeübergangskoeffizient außen  $L_{AU,SM}$ :

Der Wärmeübergangskoeffizient außen ist somit die Differenz aus Transmissionsleitwert der opaken Flächen und dem Wärmeübergangskoeffizient Strahlung:

$$L_{AU,SM} = \frac{1}{\frac{1}{L_{T,op}} - \frac{1}{L_{SM,WA}}} \quad (7.18)$$

– Wärmeübergangskoeffizient Strahlung  $L_{SM,WA}$ :

$$L_{SM,WA} = A_{SM} \cdot l_{SM,WA} \quad (7.19a)$$

$$l_{SM,WA} = 9.1 \text{ in W/m}^2 \cdot \text{K} \quad (7.19b)$$

Dabei ist  $A_{SM}$  die wirksame Fläche der thermischen Speichermasse und  $l_{SM,WA}$  der Wärmeübergangskoeffizient zwischen der thermischen Speichermasse und den in den Raum weisenden Oberflächen.  $A_{SM}$  wird gemäß der Gleichung 7.24 berechnet.

– Wärmeübergangskoeffizient Konvektion  $L_{WA,RA}$ :

$L_{WA,RA}$  ist der Leitwert (beziehungsweise thermischer Kopplungswert) zwischen Oberfläche der umfassenden Bauteile und Innenluftknoten. Der Wärmeübergang zwischen diesen Knoten passiert vorwiegend konvektiv. Maßgebliche Größen sind dabei der spezifische Kopplungswert  $l_{WA,RA}$  und die zum Raum weisenden Flächen  $A_{WA}$ .

$$L_{WA,RA} = A_{WA} \cdot l_{WA,RA} \quad (7.20a)$$

$$l_{WA,RA} = 3.45 \text{ in W/m}^2\cdot\text{K} \quad (7.20b)$$

Wenn keine detaillierten Angaben über die Raumdimensionen (Länge, Breite, Höhe) vorhanden sind, kann  $A_{WA}$  gemäß der Gleichung 7.21 berechnet werden:

$$A_{WA} = 4.5 \cdot A_{BF} \quad (7.21)$$

– sonstige Leitwerte:

Ergänzend zu den bisher beschriebenen thermischen Leitwerten sind noch drei weitere Werte erforderlich, die eine exakte Zuordnung der anderen Leitwerte zu den verschiedenen Knoten ermöglichen, jedoch nicht physikalisch eindeutig beschrieben werden können:

$$L_1 = \frac{1}{\frac{1}{L_V} - \frac{1}{L_{WA,RA}}} \quad (7.22a)$$

$$L_2 = L_1 + L_{T,tr} \quad (7.22b)$$

$$L_3 = \frac{1}{\frac{1}{L_2} - \frac{1}{L_{AU,SM}}} \quad (7.22c)$$

#### • Kapazität:

Die Kapazität  $C_{SM}$ <sup>7</sup> stellt in dieser Berechnung die Wärmespeicherfähigkeit der Bauteile im Raum dar. Sie wird gemäß der vereinfachten Berechnung der ÖNORM EN ISO 13786 ermittelt und ist die Summe der spezifischen Wärmespeicherkapazitäten der einzelnen Bauteile im Raum. Sie kann alternativ auch durch die in nationalen Anwendungsdokumenten definierte Defaultwerte in Abhängigkeit von der Gebäudeschwere vorgegeben werden.

$$C_{SM} = \sum A_j \cdot \chi_j \quad (7.23)$$

Die strahlungswirksame Fläche der speicherwirksamen Masse  $A_{SM}$  wird gemäß der Gleichung 7.24 berechnet. Alternativ zur Berechnung kann  $A_{SM}$  in einem vereinfachten

---

<sup>7</sup>In Normen und Literatur wird  $C_{SM}$  üblicherweise als  $C_m$  bezeichnet.

Verfahren der Tabelle 7.9 entnommen werden.

$$A_{SM} = \frac{C_{SM}^2}{\sum A_j \cdot \chi_j^2} \quad (7.24)$$

$$= \frac{(\sum A_j \cdot \chi_j)^2}{\sum A_j \cdot \chi_j^2}$$

Tabelle 7.9.: Standardwerte für dynamische Berechnungsparameter im vereinfachten Stundenverfahren gemäß ÖNORM EN ISO 13790

Klasse	$A_{SM}$
sehr leicht	$2.5 \cdot A_{BF}$
leicht	$2.5 \cdot A_{BF}$
mittelschwer	$2.5 \cdot A_{BF}$
schwer	$3.0 \cdot A_{BF}$
sehr schwer	$3.5 \cdot A_{BF}$

• **Lasten:**

Die Aufteilung der in der Gebäudezone auftretenden Lasten (interne Lasten, solare Gewinne und durch Raumkonditionierung zu- oder abgeführte Wärme) auf die einzelnen Temperaturknoten ist folgendermaßen vorzunehmen:

- Lasten auf Oberflächenknoten  $Q_{WA}$ :

Auf den Oberflächentemperatur-Knoten wirken 50% der internen Lasten infolge des radiativen Wärmeübergangs:

$$Q_{WA} = 0.5 Q_{int} \quad (7.25)$$

Die Aufteilung der Solarstrahlung und der restlichen internen Lasten auf die Knoten „Raumluft“ und „Speichermasse“ erfolgt in Abhängigkeit vom Verhältnis der strahlungswirksamen Fläche der Gebäudezone zur Summe der in die Zone weisenden Flächen:

- Lasten auf Raumluftknoten  $Q_{RA}$ :

$$Q_{RA} = \frac{A_{SM}}{A_{WA}} \cdot (0.5 Q_{int} + Q_{sol}) \quad (7.26)$$

- Lasten auf Speichermasseknoten  $Q_{SM}$ :

$$Q_{SM} = \left[ 1 - \frac{A_{SM}}{A_{WA}} - \frac{L_{T,tr}}{l_{SM,WA} \cdot A_t} \right] \cdot (0.5 Q_{int} + Q_{sol}) \quad (7.27)$$

Neben den internen Lasten und der Solarstrahlung wirkt auf den Speichermasseknoten auch noch die durch Raumkonditionierung zu- oder abgeführte Wärme  $Q_{HC}$ . Wird diese berücksichtigt, kann die totale auf den Speichermasseknoten wirkende Last gemäß Gleichung 7.28 berechnet werden:

$$Q_{SM,tot} = Q_{SM} + L_{AU,SM} \cdot \theta_{AU} + \frac{L_3}{L_2} \cdot \left[ Q_{SM} + L_{T,tr} \cdot \theta_{AU} + L_1 \cdot \left( \frac{Q_{HC} + Q_{WA}}{L_V} + \theta_{ZU} \right) \right] \quad (7.28)$$

- **Temperaturen:**

Auf Grundlage der auf die einzelnen Knoten wirkenden Lasten, der Widerstände zwischen den Knoten und der Kapazität können für jeden Zeitschritt die Temperaturen der einzelnen Knoten ermittelt werden:

- Zulufttemperatur  $\theta_{ZU}$ :

Die Zulufttemperatur wird im Ansatz der ÖNORM EN ISO 13790 durch das gewichtete Mittel aus Luftvolumenstrom durch Infiltration und Außenluftvolumenstrom einerseits und aus Luftvolumenstrom durch mechanische oder natürliche Lüftung und der zugehörigen Temperatur andererseits bestimmt (Mittelwert für den jeweiligen Zeitschritt).

$$\theta_{ZU} = \frac{L_{V,INF} \cdot \theta_{AU} + L_{V,RLT} \cdot \theta_{RLT}}{L_V} \quad (7.29)$$

- Strahlungstemperatur der Speichermasse  $\theta_{SM}$ :

Die Strahlungstemperatur der Speichermasse wird jeweils zu Beginn und am Ende des betrachteten Zeitschritts berechnet ( $\theta_{SM,t-1}$  und  $\theta_{SM,t}$ ). Sie wird durch die wirksame Wärmespeicherkapazität und die Lasten, die auf den Speichermassenknoten wirken, definiert. Als mittlere Temperatur für den jeweiligen Zeitschritt kann gemäß Gleichung 7.30b  $\theta_{SM}$  berechnet werden.

$$\theta_{SM,t} = \frac{\theta_{SM,t-1} \cdot [C_m + 0.5 \cdot (L_1 + L_{AU,SM})] + Q_{SM,tot}}{C_m + 0.5 \cdot (L_1 + L_{AU,SM})} \quad (7.30a)$$

$$\theta_{SM} = \frac{\theta_{SM,t} + \theta_{SM,t-1}}{2} \quad (7.30b)$$

- Raumlufttemperatur  $\theta_{RA}$ :

Die Temperatur des Raumluftknotens wird wie folgt berechnet (Mittelwert für den jeweiligen Zeitschritt):

$$\theta_{RA} = \frac{L_{SM,WA} \cdot \theta_{SM} + Q_{SM} + L_{T,tr} \cdot \theta_{AU} + L_1 \left( \theta_{ZU} + \frac{Q_{WA} + Q_{HC}}{L_V} \right)}{L_{SM,WA} + L_{T,tr} + L_1} \quad (7.31)$$

- Oberflächentemperatur  $\theta_{WA}$ :

Die Temperatur der in die Gebäudezone weisenden Bauteiloberflächen wird gemäß Gleichung 7.32 ermittelt:

$$\theta_{WA} = \frac{L_{WA,RA} \cdot \theta_{RA} + L_V \cdot \theta_{ZU} + Q_{WA} + Q_{HC}}{L_{WA,RA} + L_V} \quad (7.32)$$

- operative Temperatur  $\theta_{OP}$ :

Aus der mittleren Strahlungstemperatur der Speichermassen und der Raumtemperatur kann abschließend die operative (gefühlte) Temperatur bestimmt werden:

$$\theta_{OP} = 0.5 \theta_{RA} + 0.5 \theta_{SM} \quad (7.33)$$

## Nutzenergiebedarfsberechnung

Für die Berechnung des stündlich erforderlichen Nutzenergiebedarfs wird die Temperatur des Raumluftknotens  $\theta_{RA}$  als Bezugsgröße verwendet. Um den Nutzenergiebedarf für Heizen und Kühlen des Raumes ermitteln zu können, ist dessen Berechnung dreimal durchzuführen, wobei jeweils die zugeführte Wärmemenge  $Q_{HC}$  variiert wird:

1. ohne zu- oder abgeführte Wärme:  $Q_{HC} = 0 \rightarrow \theta_{RA,0}$
2. mit einer definierten Wärmemenge von  $10 \text{ W/m}^2_{BF}$ :  $Q_{HC} = 10 \cdot A_{BF} \rightarrow \theta_{RA,10}$
3. mit der tatsächlichen Wärmemenge  $Q_{HC} = Q_{HC,ac} \rightarrow \theta_{RA,ac}$

Als Eingangsparameter sind dazu einerseits die Raumsolltemperatur für Heizen  $\theta_{RA,soll,H}$  und für Kühlen  $\theta_{RA,soll,C}$  anzugeben – also jene Raumtemperatur, die im Konditionierungsfall als Grenztemperatur dient und nicht über- beziehungsweise unterschritten werden soll. Andererseits muss der Startwert der Temperatur der Speichermassen definiert werden. Dieser wird mit  $\theta_{RA,soll,H}$  festgelegt. Als zusätzliche Eingangsgrößen können die verfügbare Heiz- und Kühlleistung des Heiz- und Kühlsystems ( $P_{H,max}$  und  $P_{C,max}$ ) dienen, was jedoch bei der Berechnung von Heizwärme- und Kühlbedarf als theoretischen Bedarfswerten des Raumes nicht relevant ist. Heiz- und Kühlleistung der Anlagen können angegeben werden, wenn das Raummodell zum Abbilden des tatsächlichen Raumverhaltens eingesetzt werden soll.

Das Zusammenspiel dieser Eingangsgrößen mit dem stundenweise erforderlichen uneingeschränkten Heizwärme- und Kühlbedarf  $Q_{HC,un}$  der Anlage und der Raumlufttemperatur  $\theta_{RA}$  wird in Abbildung 7.17 auf der nächsten Seite dargestellt. Der Vergleich des Wärmebedarfs  $Q_{HC,un}$  mit den Leistungswerten  $P_{H,max}$  und  $P_{C,max}$  ist in diesem Fall zulässig, da es sich um einen Wärmebedarf je Stunde mit der Einheit kWh/h handelt, was einem Leistungsbedarf entspricht. Dieser Leistungsbedarf kann durch die maximale Heiz- und Kühlleistung nach oben und unten beschränkt werden.

Wie in Abbildung 7.17 dargestellt wird, können bei der Konditionierung fünf mögliche Konstellationen auftreten:

1.  $Q_{HC,un} > P_{H,max}$   
Die Heizleistung der Anlage reicht nicht aus, um den stundenweise erforderlichen Nutzenergiebedarf für Heizen abzudecken. Die geforderte Raumsolltemperatur im Heizfall  $\theta_{RA,soll,H}$  könnte nicht eingehalten werden ( $\theta_{RA,ac} < \theta_{RA,soll,H}$ ).
2.  $Q_{HC,un} \leq P_{H,max}$  und  $\theta_{RA,0} < \theta_{RA,soll,H}$   
Die vorhandene Heizleistung reicht aus, um den stundenweise erforderlichen Nutzenergiebedarf für Heizen abzudecken. Es erfolgt eine Konditionierung auf die geforderte Raumsolltemperatur für Heizen ( $\theta_{RA,ac} = \theta_{RA,soll,H}$ ).
3.  $\theta_{RA,soll,H} \leq \theta_{RA,0} \leq \theta_{RA,soll,C}$   
Die Raumtemperatur liegt ohne Konditionierung innerhalb des Sollwertfeldes. Es ist keine Konditionierung ( $Q_{HC,ac} = 0$ ) erforderlich, die tatsächliche Raumtemperatur  $\theta_{RA,ac}$  liegt zwischen  $\theta_{RA,soll,H}$  und  $\theta_{RA,soll,C}$ .
4.  $Q_{HC,un} \geq P_{C,max}$  und  $\theta_{RA,0} > \theta_{RA,soll,C}$ <sup>8</sup>

---

<sup>8</sup>Negative Werte für  $Q_{HC}$  definieren einen erforderlichen Nutzenergiebedarf für Kühlen. Die maximale Kühllast der Anlage weist daher ebenfalls ein negatives Vorzeichen auf.

Die vorhandene Kühlleistung reicht aus, um den stundenweise erforderlichen Nutzenergiebedarf für Kühlen abzudecken. Es erfolgt eine Konditionierung auf die geforderte Raumsolltemperatur für Kühlen  $\theta_{RA,soll,C}$  ( $\theta_{RA,ac} = \theta_{RA,soll,C}$ ).

5.  $Q_{HC,un} < P_{C,max}$

Die Kühlleistung der Anlage reicht nicht aus, um den stundenweise erforderlichen Nutzenergiebedarf für Kühlen abzudecken. Die geforderte Raumsolltemperatur im Kühlfall  $\theta_{RA,soll,C}$  könnte nicht eingehalten werden ( $\theta_{RA,ac} > \theta_{RA,soll,C}$ ).

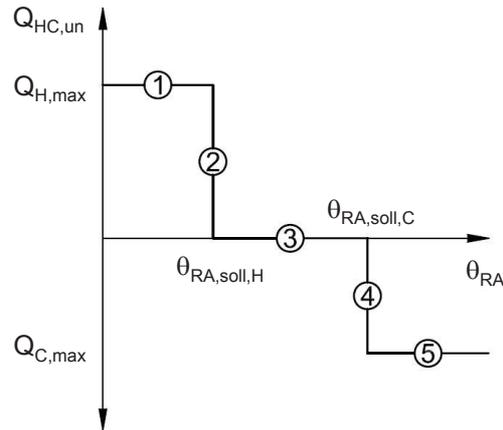


Abbildung 7.17.: Darstellung des Zusammenhangs zwischen Raumverhalten (Raumtemperatur) und Anlagenverhalten (Heiz- und Kühlleistung, stündlicher Nutzenergiebedarf für Heizen und Kühlen) (eigene Darstellung nach Ménard, 2005)

Die Berechnung des erforderlichen Nutzenergiebedarfs und der Raumtemperatur erfolgt für jeden Stundenschritt in drei Schritten, die maßgeblich von den zuvor definierten Konstellationen abhängig sind:

• **Schritt 1: keine Konditionierung**

Im ersten Schritt wird das Verhalten des Gebäudes ohne Einfluss einer aktiven Konditionierung betrachtet. Dabei wird das Konditionierungserfordernis überprüft. Dazu wird der Formelapparat für jeden Zeitschritt des Jahres durchlaufen, wobei folgende Festlegung getroffen wird:

$$Q_{HC} = Q_{HC,0} = 0 \tag{7.34}$$

Gleichung 7.34 besagt, dass keine Wärme durch Konditionierung zu- oder aus dem Raum abgeführt wird. Dadurch kann durch die Berechnung von  $\theta_{RA,0}$  eine Aussage darüber getroffen werden, wie stark die Raumtemperatur absinkt, wenn keine Konditionierung vorgenommen wird.

Das Kondtionierungserfordernis wird durch die Ungleichung 7.35 überprüft:

$$\theta_{RA,soll,H} \leq \theta_{RA,0} \leq \theta_{RA,soll,C} \tag{7.35}$$

Für den Fall dass die Ungleichung erfüllt ist (Situation 3), ist keine Konditionierung erforderlich. In diesem Fall ist  $Q_{HC,ac} = 0$  und  $\theta_{RA,ac} = \theta_{RA,0}$ . Ist die Ungleichung nicht erfüllt, so ist Schritt 2 anzuwenden.

- **Schritt 2: Konditionierung mit definierter Anlagenleistung**

Im zweiten Schritt wird der Formelapparat unter Annahme der Festlegungen der Gleichung 7.36 mit einer definierten Anlagenleistung durchlaufen.

$$Q_{HC} = Q_{HC,10} = 10.0 \cdot A_{BF} \quad (7.36)$$

Dadurch wird unterstellt, dass für jeden Zeitschritt eine Beheizung mit einer spezifischen Leistung von  $10 \text{ W/m}_{BF}^2$  vorgenommen wird. Als Speichermassentemperatur zu Beginn jedes Zeitschritts wird der Temperaturwert am Ende des letzten Zeitschritts bei Berechnung mit ausreichender Heiz- oder Kühlleistung herangezogen (aus Schritt 3 des Zeitschritts  $t - 1$ ). Es ist daher erforderlich, die drei Berechnungsschritte für jeden Zeitschritt abzuschließen, bevor der nächste Zeitschritt betrachtet werden kann (vereinfachtes dynamisches Berechnungsverfahren).

Im vorliegenden Modell wird angenommen, dass ein linearer Zusammenhang zwischen Raumtemperatur und Nutzenergiebedarf für Heizen und Kühlen vorliegt. Daher kann der Nutzenergiebedarf für Heizen und Kühlen je Zeitschritt folgendermaßen ermittelt werden:

$$Q_{HC,un} = Q_{HC,10} \cdot \frac{\theta_{RA,soll} - \theta_{RA,0}}{\theta_{RA,10} - \theta_{RA,0}} \quad (7.37)$$

Für  $\theta_{RA,soll}$  ist im Heizfall  $\theta_{RA,soll,H}$  und im Kühlfall  $\theta_{RA,soll,C}$  anzusetzen.

Das Vorzeichen des stundenweisen Nutzenergiebedarfs für Heizen und Kühlen ist im Heizfall positiv (+) und im Kühlfall negativ (-), was aus der Gleichung 7.37 abzuleiten ist.

- **Schritt 3: Konditionierung mit der tatsächlichen Wärmemenge**

Es ist zu prüfen, ob der stundenweise Nutzenergiebedarf für Heizen und Kühlen (= Leistungsbedarf) mit der vorhandenen Anlagenleistung abgedeckt werden kann (die maximale Kühlleistung muss mit negativem Vorzeichen angegeben werden):

$$P_{C,max} \leq Q_{HC,un} \leq P_{H,max} \quad (7.38)$$

– Anlagenleistung reicht aus:

Ist Ungleichung 7.38 erfüllt, so ist für den aktuellen Zeitschritt die installierte Anlagenleistung ausreichend und es gilt  $Q_{HC,ac} = Q_{HC,un}$  (uneingeschränkte Anlagenleistung, Situation 2 oder 4).

– Anlagenleistung reicht nicht aus:

Ist Ungleichung 7.38 nicht erfüllt, so ist die installierte Anlagenleistung für den aktuellen Zeitschritt nicht ausreichend. Daher ist die stundenweise erforderliche Heiz- oder Kühlleistung auf die vorhandene Anlagenleistung einzuschränken (eingeschränkte Anlagenleistung):

\* Heizleistung reicht nicht aus (Situation 1):  $Q_{HC,ac} = P_{H,max}$

\* Kühlleistung reicht nicht aus (Situation 5):  $Q_{HC,ac} = P_{C,max}$

Die Überprüfung nach der ausreichenden Heiz- und Kühlleistung ist für die Berechnung des stundenweisen Nutzenergiebedarfs für Heizen und Kühlen nicht erforderlich. Es gilt in jedem Fall  $Q_{HC,ac} = Q_{HC,un}$ .

Abschließend ist die Berechnung der Temperaturen in den einzelnen Knoten gemäß den Gleichungen 7.29 bis 7.32 mit der tatsächlich zu- oder abzuführenden Wärmemenge zu wiederholen. Nur so kann die tatsächliche Raumtemperatur  $\theta_{RA,ac}$  und die Temperatur der Speichermassen bestimmt werden. Diese Temperaturwerte sind als Eingangsgrößen für die Berechnung im nächsten Zeitschritt erforderlich.

### Soll-Zuluftzustand

Um bei Klimaanlage eine Raumkonditionierung über den Zuluftvolumenstrom vornehmen zu können ist es erforderlich, die Zulufttemperatur abweichend von der geforderten Raumsolltemperatur zu gestalten. Die über den Luftvolumenstrom in die Gebäudezone eingebrachte Wärmemenge ist abhängig von der Höhe des Zuluftvolumenstroms einerseits und der Differenz zwischen Zulufttemperatur und Raumsolltemperatur andererseits:

$$Q = v \cdot \rho_L \cdot c_{p,L} \cdot \Delta\theta \cdot t \quad (7.39)$$

Der Nutzenergiebedarf kann somit entweder durch Variation der Zulufttemperatur (KVS-System) oder durch Variation des Zuluftvolumenstroms (VVS-System) verändert werden. Im bisherigen Berechnungsmodell des Nutzenergiebedarfs zur Konditionierung des Zuluftvolumenstroms wurden die Zulufttemperaturen als Monatsmittelwerte vorgegeben. Nachdem ursprünglich das gesamte Berechnungsverfahren im Energieausweis auf Monatsmittelwerten basierte, war eine Berechnung anders als in dieser Form nicht möglich.

Auf Grundlage des stündlichen Nutzenergiebedarfs für Heizen und Kühlen  $Q_{HC,ac}$  kann nun jedoch auch stundenweise der für dessen Abdecken erforderliche Zuluftzustand bestimmt werden. Dabei beschränkt sich die Bezeichnung „Zuluftzustand“ auf die Parameter Zulufttemperatur  $\theta_{ZU,soll}$ , Zuluftvolumenstrom  $v_{RLT}$  und auf den Wärmeeintrag (und damit die Temperaturerhöhung) durch die Ventilatoren  $\Delta\theta_{VENT}$ . Die erforderliche Zulufttemperatur wird hier um das Attribut „soll“ ergänzt, da es sich dabei um einen Sollwert handelt.

Für die Zulufttemperatur und den Zuluftvolumenstrom ist jeweils ein Bereich definiert, innerhalb dessen die Werte variiert werden können. Die Zulufttemperatur kann für die Berechnungen gemäß der ÖNORM H 5057 grundsätzlich im Bereich von  $17^\circ\text{C} \leq \theta_{ZU} \leq 35^\circ\text{C}$  liegen. Dieser Bereich kann in Einzelfällen bis zu  $14^\circ\text{C}$  (bei Induktionsanlagen) und bis zu  $50^\circ\text{C}$  (für Passivhäuser) ausgedehnt werden. Die individuellen Grenzwerte sind jedoch von Anlage zu Anlage unterschiedlich und können frei gewählt werden. Der Zuluftvolumenstrom ist durch den maximalen Luftvolumenstrom der Anlage nach oben hin begrenzt. Der hygienisch erforderliche Außenluftwechsel des versorgten Raums muss jedenfalls gedeckt werden, wodurch die Untergrenze des zulässigen Luftvolumenstrom-Bereichs festgelegt wird.

- **Anlagen mit konstantem Volumenstrom (KVS-Anlagen)**

Bei KVS-Anlagen wird der Wärmeeintrag in das Gebäude durch die Variation der Zulufttemperatur gesteuert. Die erforderliche Zulufttemperatur ist bei vorhandenem Nutzenergiebedarf ( $Q_{HC,ac} \neq 0$ ) gemäß der Gleichung 7.40a zu berechnen, wobei die Raumlufttemperatur  $\theta_{RA}$  bei Konditionierung mit uneingeschränkter Anlagenleistung bestimmt wird: Sofern kein Nutzenergiebedarf vorhanden ist ( $Q_{HC,ac} = 0$ ), ist die Gleichung 7.40b anzuwenden. Für den Fall von KVS-Anlagen wird der Wärmeeintrag durch

den Zuluftventilator, der die Temperaturerhöhung  $\Delta\theta_{VENT}$  nach sich zieht, gemäß der Gleichung 7.40c berücksichtigt:

$$\theta_{ZU,soll} = \theta_{RA} + \frac{Q_{HC,ac}}{v_{RLT} \cdot c_{p,L} \cdot \rho_L} \quad (7.40a)$$

$$\theta_{ZU,soll} = \theta_{AU} + \Delta\theta_{VENT} \quad (7.40b)$$

$$\Delta\theta_{VENT} = \frac{P_{SFP,ZUL}}{\rho_L \cdot \frac{c_{p,L}}{3,6}} \quad (7.40c)$$

• **Anlagen mit variablem Volumenstrom (VVS-Anlagen)**

Bei VVS-Anlagen bestimmt die Größe des Zuluftvolumenstroms den Wärmeeintrag in das Gebäude. Die Zulufttemperatur ist eine konstante Anlagengröße. Die Berechnung des Zuluftvolumenstroms ist dabei abhängig vom Konditionierungserfordernis:

- Heizen erforderlich:  $Q_{HC,ac} > 0$

$$\theta_{ZU,soll} = \theta_{ZU,max} \quad (7.41a)$$

$$v_{RLT} = \frac{Q_{HC,ac} - \left[ v_{RLT,LE} \cdot \rho_L \cdot \frac{c_{p,L}}{3,6} \cdot (\theta_{RA} - \theta_{AU}) \right]}{(\theta_{ZU,max} - \theta_{RA}) \cdot \rho_L \cdot \frac{c_{p,L}}{3,6}} \leq v_{max} \quad (7.41b)$$

- Kühlen erforderlich:  $Q_{HC,ac} < 0$

$$\theta_{ZU,soll} = \theta_{ZU,min} \quad (7.42a)$$

$$v_{RLT} = \frac{-Q_{HC,ac} - \left[ v_{RLT,LE} \cdot \rho_L \cdot \frac{c_{p,L}}{3,6} \cdot (\theta_{RA} - \theta_{AU}) \right]}{(\theta_{RA} - \theta_{ZU,min}) \cdot \rho_L \cdot \frac{c_{p,L}}{3,6}} \leq v_{max} \quad (7.42b)$$

- keine Konditionierung erforderlich:  $Q_{HC,ac} = 0$

$$\theta_{ZU,soll} = \theta_{AU} + \Delta\theta_{VENT} \quad (7.43a)$$

$$v_{RLT} = v_{RLT,LE} \quad (7.43b)$$

Bei VVS-Anlagen wird die Temperaturerhöhung  $\Delta\theta_{VENT}$  gemäß der Gleichung 7.44 ermittelt:

$$\Delta\theta_{VENT} = \frac{P_{VVS,ZUL}}{\rho_L \cdot \frac{c_{p,L}}{3,6}} \quad (7.44)$$

Dabei wird die Ventilatorleistung im jeweiligen Zeitschritt gemäß der Gleichung 7.45 berechnet, wobei die Druckverhältnis-Zahl  $f_p = 0,40$  zu setzen ist. Für  $\Delta p_{ges}^*$  und  $\eta_{ges}$  sind die Werte im Auslegungsfall zu verwenden.

$$P_{VVS,ZUL} = \frac{v_{RLT} \cdot \Delta p_{ges}^* \cdot f_p}{\eta_{ges}} + \frac{v_{RLT}^3 \cdot \Delta p_{ges}^* \cdot (1 - f_p)}{\eta_{ges} \cdot v_{max}^2} \quad (7.45)$$

Der tatsächliche Zuluftzustand kann erst in der *Berechnungsschleife 3* definiert werden, wenn bekannt ist, welche Temperatur die behandelte Luft nach den sogenannten „passiven Konditionierungsschritten“ Erdreichwärmetauscher, Wärmerückgewinnung und Mischkammer aufweist. Sofern diese Temperatur bereits ausreicht, um das Konditionierungserfordernis zu erfüllen – also beispielsweise im Heizfall über der geforderten Zulufttemperatur  $\theta_{ZU,soll}$  liegt – wird keine weitere Konditionierung mehr vorgenommen. In diesem Fall unterscheidet sich die tatsächliche Zulufttemperatur von der vorgegebenen Soll-Zulufttemperatur.

## Eingangsgrößen

Für die stundenweise Berechnung des Nutzenergiebedarfs für Heizen und Kühlen müssen die vorliegenden Eingangsparameter aus der ÖNORM B 8110-5 und der ÖNORM B 8110-6 an die erforderlichen Größen entsprechend angepasst werden. Dies ist insbesondere durch den Umstieg von monatsweiser auf stundenweise Berechnung notwendig, da viele Eingangsparameter nur als mittlere Monatswerte verfügbar sind. Damit einhergehend ist eine gewisse Verschlechterung der Ergebnisqualität im Vergleich zu einer Berechnung mit stundenweise definierten Eingangsparametern nicht zu verhindern.

Eine Anpassung ist für die Eingangsparameter Betriebszeiten, Raumsolltemperaturen, interne Wärmelasten und solare Wärmegevinne erforderlich:

- **Betriebszeiten**

Die täglichen Nutzungsstunden des Gebäudes werden durch den in der ÖNORM B 8110-5 vorgegebenen Wert  $t_{Nutz,d}$  bestimmt. Die tatsächliche Nutzungszeit wird für die mögliche Anzahl an täglichen Nutzungsstunden gemäß Tabelle 7.10 festgelegt:

Tabelle 7.10.: Tatsächliche Nutzungszeit in Abhängigkeit der täglichen Nutzungsstunden

$t_{Nutz,d}$	$d_{Nutz,a}$	Nutzungszeit	Nutzungstage	Nutzungsprofil
24 h/d	365 d/a	0:00 bis 24:00 Uhr	Montag bis Sonntag	Wohngebäude, Krankenhäuser, Pflegeheime
12 h/d	269 d/a	6:00 bis 18:00 Uhr	Montag bis Freitag	Bürogebäude, Kindergarten und Pflichtschulen, höhere Schulen und Hochschulen
12 h/d	365 d/a	6:00 bis 18:00 Uhr	Montag bis Freitag	Pensionen, Hotels, Gaststätten
7 h/d	365 d/a	15:00 bis 22:00 Uhr	Montag bis Sonntag	Veranstaltungsstätten
12 h/d	365 d/a	6:00 bis 18:00 Uhr	Montag bis Sonntag	Sportstätten
12 h/d	317 d/a	6:00 bis 18:00 Uhr	Montag bis Samstag	Verkaufsstätten

- **Raumsolltemperaturen**

Die Raumsolltemperaturen für die stundenweise Berechnung werden aus den Vorgaben der ÖNORM B 8110-5 übernommen:

$$\theta_{RA,soll,H} = \theta_{i,h} \quad (7.46a)$$

$$\theta_{RA,soll,C} = \theta_{i,c} \quad (7.46b)$$

- **interne Wärmelasten**

Interne Wärmelasten werden aus der ÖNORM B 8110-5 übernommen. Sie wirken während der tatsächlichen Nutzungszeit des Gebäudes und setzen sich aus Personen- und Gerätelasten ( $q_{i,h}$  bzw.  $q_{i,c}$ ) sowie aus Beleuchtungslasten ( $q_{bel,h}$  bzw.  $q_{bel,c}$ ) zusammen. Sie unterscheiden sich jeweils für die Berechnung der Heizwärmebedarf und des Kühlbedarfs.

$$Q_{int,h} = (q_{i,h} + q_{bel,h}) \cdot A_{BF} \text{ in W} \quad (7.47a)$$

$$Q_{int,c} = (q_{i,c} + q_{bel,c}) \cdot A_{BF} \text{ in W} \quad (7.47b)$$

Die Berechnung der Beleuchtungslasten erfolgt auf Grundlage der ÖNORM H 5059 und der ÖNORM B 8110-6.

$$q_{bel,h} = 0.5 \cdot \frac{LENI \cdot 1000}{t_{Nutz,d} \cdot d_{Nutz,a}} \text{ in W/m}^2 \quad (7.48a)$$

$$q_{bel,c} = 1.0 \cdot \frac{LENI \cdot 1000}{t_{Nutz,d} \cdot d_{Nutz,a}} \text{ in W/m}^2 \quad (7.48b)$$

Dieser Ansatz für die Berücksichtigung der Beleuchtungslasten unterstellt, dass sich der gesamte jährliche Beleuchtungsenergiebedarf der Gebäudezone konstant auf die Nutzungsstunden des Gebäudes verteilt. Tägliche Schwankungen der Beleuchtungslasten werden daher in diesem Modell nicht berücksichtigt. Auch die durch Personen und Geräte hervorgerufenen internen Lasten werden während der Nutzungszeit als konstant angenommen.

- **solare Wärmegewinne**

Bei der Berücksichtigung solarer Wärmegewinne muss im vorliegenden Modell eine gravierende Vereinfachung getroffen werden. In der Energieausweisberechnung gemäß der ÖNORM B 8110-6 mit Klimadaten aus der ÖNORM B 8110-5 werden solare Gewinne für Heizwärme- und Kühlbedarfsberechnung als Summenwerte der monatlichen Solarstrahlung in kWh pro Monat für die gesamte Gebäudezone ausgewiesen. Diese Monatswerte können aus zwei Gründen nicht auf Stundenwerte heruntergebrochen werden: Einerseits kann der lokale Einfluss des Wetters nicht berücksichtigt werden und andererseits sind in den Algorithmen des Energieausweises keine Abminderungsfaktoren der Solarstrahlung für Verschattungselemente auf Basis von Stundenwerten verfügbar.

Es wurden daher die Monatssummen der Solarstrahlung der Gebäudezone auf Stundenwerte heruntergebrochen, indem für jede Orientierung eine konstante Einstrahlung in der Zeit von 6:00 bis 18:00 Uhr an allen Tagen des Monats angenommen wurde. Eine Aufteilung gemäß monatlich variierender Einstrahlungsfaktoren (Änderung der Einstrahlungszeit, stärkste Einstrahlung um die Mittagszeit) wurde nach Überprüfung des daraus resultierenden Effekts wieder verworfen, da die Verbesserung der Ergebnisse lediglich im Promille-Bereich liegt. Diese Verbesserung rechtfertigt nicht den Mehraufwand der komplexen Eingabe.

$$Q_{sol,h} = \frac{Q_{s,h} \cdot 1000}{d_n \cdot (18 - 6)} \text{ in W} \quad (7.49a)$$

$$Q_{sol,c} = \frac{Q_{s,c} \cdot 1000}{d_n \cdot (18 - 6)} \text{ in W} \quad (7.49b)$$

### 7.3.3. Berechnungsschleife 3: Konditionierungsschritte

Mit der Berechnung der Sollwerte für Lufttemperatur und Luftvolumenstrom der Zuluft ist die *Berechnungsschleife 2* gemäß Abbildung 7.14 auf Seite 111 abgeschlossen. Damit kann zu *Berechnungsschleife 3* übergegangen werden, in der die Konditionierungszustände in den einzelnen Anlagenkomponenten der raumlufttechnischen Anlage berechnet werden.

In diesem Abschnitt wird daher dargestellt, wie die einzelnen Konditionierungszustände bestimmt werden, wobei für jeden Zustand drei Werte erforderlich sind:

- die Lufttemperatur  $\theta$ ,
- die absolute Luftfeuchte  $x$  und
- der Luftdruck  $p$ .

Für die passiven Konditionierungselemente Erdreichwärmetauscher, Wärmerückgewinnungssystem und Umluftführung über eine Mischkammer sind die Konditionierungsschritte unabhängig von der Art der raumlufttechnischen Anlage identisch. In den aktiven Konditionierungselementen Luftvorerhitzer, Luftkühler, Luftbefeuchter und Luftnacherhitzer unterscheiden sich die Konditionierungszustände in Abhängigkeit von der Art der Befeuchtung in der RLT-Anlage.

Daher wird für die genannten aktiven Konditionierungselemente die Berechnung für die folgenden Befeuchtungsarten getrennt voneinander dargestellt:

- keine Befeuchtung
- Verdunstungsbefeuchtung mit Taupunktregelung
- Verdunstungsbefeuchtung mit Zuluftfeuchteregelung
- Dampfbefeuchtung mit Zuluftfeuchteregelung

Dazu werden für die in Abbildung 7.13 auf Seite 109 dargestellte Anlagenkonfiguration die verschiedenen Konditionierungsschritte beschrieben. Für die passiven Konditionierungselemente werden die Konditionierungsschritte lediglich einmal unabhängig von der jeweiligen Befeuchtungsart erläutert.

Diese Vorgangsweise, bei der die Konditionierungsschritte in den verschiedenen Anlagenkomponenten individuell berechnet werden, ermöglicht es auch, einzelne Anlagenbestandteile nicht in der Berechnung berücksichtigen zu können. Bei RLT-Anlagen ohne Luftkühler wird beispielsweise keine Kühlfunktion berücksichtigt – es erfolgt keine Veränderung des Luftzustands zwischen dem Vorerhitzer und dem Befeuchter. Analog kann auch für alle anderen Anlagenbestandteile wie Erdreichwärmetauscher, Wärme- und Feuchterückgewinnung, Mischkammer, etc. vorgegangen werden.

Um die verschiedenen Konditionierungsschritte zu verdeutlichen, werden diese in Grafiken jeweils exemplarisch für die sechs Zonen des  $h, x$ -Diagramms gemäß VDI 2078 dargestellt. Diese Zuordnung zu  $h, x$ -Zonen weist jedoch keine Relevanz für die Berechnung im vorliegenden Modell auf, da die Prüfung nach dem Konditionierungserfordernis für alle Anlagenbestandteile individuell für jeden Zeitschritt erfolgt.

Zur vollständigen Darstellung der Luftzustände in den einzelnen Konditionierungselementen werden vorweg noch die Enthalpieberechnung, die Taupunktberechnung und das Berechnungsmodell des Erdreichwärmetauschers erläutert.

## Taupunktberechnung

Bei Konditionierungselementen mit Kühlwirkung (Erdreichwärmetauscher, Wärmerückgewinnung, Luftkühler, Befeuchter) ist davon auszugehen, dass eine Entfeuchtung stattfinden kann. Dazu ist zu prüfen, ob bei Luftaustritt aus dem Konditionierungselement der Taupunkt unterschritten wird. Der dazu erforderliche Sättigungsdampfdruck wird mithilfe der empirischen Näherung nach Magnus berechnet (siehe Gleichung 7.50). Für den in der Klimatechnik relevanten Bereich liefert die Magnus-Formel Ergebnisse mit hinreichender Genauigkeit (Rechnagel et al., 2007). Es werden die Magnus-Parameter über ebenen Wasseroberflächen gemäß des Modells von Sonntag angewendet (Sonntag, 1990).

$$p_{S,j} = p_0 \cdot \exp\left(\frac{m \cdot \theta_j}{T_n + \theta_j}\right) \quad (7.50)$$

mit den Magnus-Parametern:

$$\begin{aligned} p_0 &= 611,2 && \text{Sättigungsdampfdruck bei } \theta = 0^\circ \text{ und } p = 1013,25 \text{ Pa; in [Pa]} \\ m &= 17.62 \\ T_n &= 243.12 && \text{in } [^\circ\text{C}] \end{aligned}$$

Die Berechnung der Taupunktfeuchte erfolgt nach der Gleichung 7.51, die der Berechnung der absoluten Luftfeuchte bei einer relativen Feuchtigkeit von  $\varphi = 1,0$  entspricht:

$$x_{TAU,j} = \frac{p_{S,j}}{p_j - p_{S,j}} \cdot \frac{R_L}{R_D} \quad (7.51)$$

Für die Berechnung der Taupunkttemperatur bei gegebener absoluter Luftfeuchte wird die Gleichung 7.51 nach  $p_{S,j}$  aufgelöst, mit der Gleichung 7.50 gleichgesetzt und nach  $\theta_j$  aufgelöst. Das Ergebnis ist in der Gleichung 7.52 dargestellt. Es werden abermals die Magnus-Parameter über ebenen Wasseroberflächen gemäß Sonntag verwendet (siehe auch Gleichung 7.50).

$$\theta_{TAU,j} = \frac{\ln\left(\frac{p_j \cdot x}{(R_L/R_D - x) \cdot p_0}\right) \cdot T_n}{m - \ln\left(\frac{p_j \cdot x}{(R_L/R_D - x) \cdot p_0}\right)} \quad (7.52)$$

## Enthalpieberechnung

Der Nutzenergiebedarf für Heizen, Kühlen und Befeuchten zur Konditionierung des Luftvolumenstroms in einer raumluftechnischen Anlage wird mithilfe der Enthalpiedifferenzen der Luftzustände in den einzelnen Anlagenkomponenten gebildet. Die Berechnung der Enthalpiewerte erfolgt bei bekanntem  $x$  und  $\theta$  des Zustands  $j$  gemäß der Gleichung 7.53.

$$h(\theta_j, x_j) = c_{p,L} \cdot \theta_j + x_j \cdot (r_0 + c_{p,D} \cdot \theta_j) \quad (7.53)$$

Diese Gleichung kann umformuliert werden, sodass bei bekannter Enthalpie  $h$  die Lufttemperatur  $\theta$  berechnet werden kann:

$$\theta_{h,x}(h_j, x_j) = \frac{h_j - r_0 \cdot x_j}{c_{p,L} + c_{p,D} \cdot x_j} \quad (7.54)$$

## Erdreichwärmetauscher

In der ÖNORM H 5057 wurden Erdreichwärmetauscher bisher nicht berücksichtigt. Dies war mit ein Grund, warum der in der ÖNORM H 5057 ermittelte Nutzenergiebedarf zur Konditionierung des Luftvolumenstroms eigentlich nicht mit dem in der ÖNORM B 8110-6 ermittelten Nutzenergiebedarf des Raumes für Heizen und Kühlen (Heizwärmebedarf und Kühlbedarf) verglichen werden konnte. Die Aufteilung, welcher Anteil der erforderlichen Nutzenergie über die RLT-Anlage und welcher über ein konventionelles Heiz- beziehungsweise Kühlsystem eingebracht werden muss, ist daher nicht korrekt durchführbar.

Es musste daher ein Modell gefunden werden, mithilfe dessen der Luftzustand nach einem Erdreichwärmetauscher in Stundenschritten berechnet werden konnte. Dieses Modell musste so einfach sein, dass es in einer Norm abbildbar ist und in das vorliegende standortspezifische SEK-Modell eingebunden werden konnte.

Dazu wurden basierend auf Zusammenstellungen von van de Brake (2008) und Thevenard (2007) die gängigsten Modelle zur Abbildung von Erdreichwärmetauschern auf ihre Tauglichkeit für die vorliegende Anwendung untersucht:

- Boulard-Algorithmus (Boulard et al., 1989a,b)
- Santamouris-Algorithmus (Santamouris et al., 1996; Mihalakakou et al., 1995)
- Hollmuller-Algorithmus (Hollmuller und Lachal, 2001, 2005)
- Zimmermann-Algorithmus (Zimmermann und Huber, 2000)
- Hanby-Algorithmus (Al-Ajmi et al., 2006)

Sämtliche untersuchten Modelle basieren auf Finite-Elemente-Methoden, deren Ergebnisse sehr stark von den Randbedingungen am Grundstück abhängen. Es ist daher stets Voraussetzung, diese Randbedingungen exakt zu kennen um plausible Ergebnisse zu erhalten. Die beschriebenen Modelle wurden zum überwiegenden Teil entwickelt, um in Bemessungs- und Auslegungsprogrammen für Erdreichwärmetauscher implementiert zu werden. So stellt beispielsweise der Zimmermann-Algorithmus die Grundlage für das EWT-Auslegungsprogramm WKM (Huber et al., 2006) dar. Der Hollmuller-Algorithmus war die Grundlage für ein Modul zur Berücksichtigung von Erdreichwärmetauschern im Simulationsprogramm TRNSYS (Klein et al., 2008).

Für den Einsatz in der vorliegenden Anwendung, wo es in erster Linie um die Temperaturveränderung der Zuluft in einem Erdreichwärmetauscher und daraus abgeleitet um den Energieertrag geht, sind die vorgestellten Modelle zu komplex. Es wird daher der vereinfachte Ansatz der ÖNORM EN 15241 herangezogen, der auf dem WKM-Modell (Wärme-Kapazitäten-Modell) von Zimmermann und Huber (Huber et al., 2006; Zimmermann, 2003; Zimmermann und Huber, 2000) basiert und an dem geringfügige Vereinfachungen vorgenommen wurden. So wurde mit dem umgebenden Erdreichpolster beispielsweise ein grundlegendes Element des von Zimmermann vorgestellten WKM-Modells im EN 15241-Modell vernachlässigt.

Das reduzierte Modell der ÖNORM EN 15241 entspricht im Prinzip einem in Erdeich eingebetteten luftdurchströmten Wärmetauscher, dessen Wärmeeintrag vom umgebenden Erdreich durch den Wärmedurchgang durch das EWT-Rohr und den Wärmeübergang vom Rohr auf den darin turbulent strömenden Luftvolumenstrom bestimmt wird. Die Erdreichtemperatur

wird über die mittlere jährliche Außentemperatur und die mittlere Temperaturamplitude der Außenluft bestimmt, die eine Sinus-Schwingung mit einer Schwingungsdauer von 8760 h und eine Verschiebung gegenüber der Außentemperaturen ergeben.

Mit dem vereinfachten Modell nach ÖNORM EN 15241 können folgende Werte berechnet werden:

- Temperatur der Luft nach dem Erdreichwärmetauscher
- Wärmestrom zwischen dem Erdreich und der Luft
- Druckverluste abhängig von der Luftgeschwindigkeit und den entsprechenden Luftleitungsparametern

Insbesondere die Möglichkeit, die Temperatur der Luft nach dem Erdreichwärmetauscher in Abhängigkeit von der Eintrittstemperatur berechnen zu können, ist für die exakte Berechnung der spezifischen Energiekennwerte wichtig. Aus diesem Grund wird das in der ÖNORM EN 15241 abgebildete Verfahren in geringfügig abgewandelter Form auch hier eingesetzt. Im Folgenden wird das Berechnungsverfahren beschrieben, die Struktur der Beschreibung ist dabei eng an jene der ÖNORM EN 15241 angelehnt.

Das vereinfachte Verfahren zur Abbildung der Vorwärmung der Luft über einen Erdreich-Luft-Wärmeübertrager berücksichtigt einerseits die thermische Trägheit des Bodens abhängig von der Verlegetiefe der Rohre und andererseits die spezifischen Parameter der Luftleitungen.

Zuerst erfolgt die Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizienten der Luftleitung. Dieser ist stark von der Strömungsgeschwindigkeit der Luft und diese wiederum von Querschnitt  $A_{LL}$  und Anzahl  $a_{LL}$  der Luftleitungen und dem geförderten Luftvolumenstrom  $v_{RLT}$  abhängig:

$$v_{LL}^* = \frac{v_{RLT}}{A_{LL} \cdot a_{LL}} \quad (7.55)$$

Mithilfe der so ermittelten Strömungsgeschwindigkeit kann nach der Formel von Schack (Recknagel et al., 2007) der innere Wärmeübergangskoeffizient der Luftleitung berechnet werden. Dabei ist als Lufttemperatur das arithmetische Mittel der Lufttemperaturen vor und nach dem Erdreichwärmetauscher ( $\theta_{AU}$  bzw.  $\theta_{EWT}$ ) anzusetzen. Um eine Iteration zu vermeiden, kann vereinfacht die Außenlufttemperatur  $\theta_{AU}$  angesetzt werden.

$$\alpha_{LL,i} = \left[ 4,13 + 0,23 \cdot \frac{\theta_{AU}}{100} - 0,0077 \cdot \frac{\theta_{AU}}{100}^2 \right] \cdot \frac{v_{LL}^{*0,75}}{d_{LL,i}^{0,25}} \quad (7.56)$$

Der Wärmedurchgangskoeffizient (für einen Zylinder) kann damit gemäß der Gleichung 7.57 berechnet werden<sup>9</sup>:

$$U_d = \left( \frac{1}{2\pi} \cdot \frac{1}{\lambda_{LL}} \cdot \ln \frac{d_{LL,a}}{d_{LL,i}} + \frac{1}{\alpha_{LL,i}} \cdot \frac{1}{\frac{d_{LL,i}}{2}} \right)^{-1} \quad (7.57)$$

---

<sup>9</sup>Die Formel zur Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizienten  $U_d$  wurde im Vergleich zur ÖNORM EN 15241 ergänzt, da dort offensichtlich die U-Wert-Berechnung für Zylinder (siehe „Peclet-Formel für den Zylinder“ (Polifke und Kopitz, 2005) nicht vollständig abgebildet wurde. Die Berechnungen mit der Originalformel aus der ÖNORM EN 15241 führten zu absolut unplausiblen Ergebnissen.

Die Lufttemperatur nach dem Erdreichwärmetauscher  $\theta_{EWT}$  kann somit berechnet werden:

$$\theta_{EWT} = \theta_{BO} - (\theta_{BO} - \theta_{AU}) \cdot \exp\left(\frac{-U_d \cdot d_{LL,i} \cdot \pi \cdot l_{LL}}{V_V \cdot n_L \cdot \rho_L \cdot c_{p,L}}\right) \quad (7.58)$$

Die absolute Luftfeuchtigkeit nach dem Erdreichwärmetauscher  $x_{EWT}$  ist maßgeblich von der Austrittstemperatur der Luft  $\theta_{EWT}$  bestimmt. Sofern  $\theta_{EWT}$  die Taupunkttemperatur bei  $x_{AU}$  unterschreitet, findet eine Entfeuchtung statt, wodurch  $x_{EWT}$  nach dem Erdreichwärmetauscher der Taupunktfeuchte  $x_{TAU}$  (bei  $\varphi = 1,0$ ) entspricht. Die Berechnung erfolgt somit abhängig von der Austrittstemperatur der Luft aus dem Erdreichwärmetauscher.

Der Luftdruck nach dem Erdreichwärmetauscher  $p_{EWT}$  ist gemäß der Gleichung 7.59 unter Verwendung der Gleichung 7.60 zu berechnen. Bei der Druckverlustberechnung werden dabei vereinfachend lediglich die Verluste aus der Rohrreibung in den Luftleitungen berücksichtigt. Die Verluste aus Luftansaugung, Richtungs- und Querschnittsänderung werden nicht berücksichtigt.

$$p_{EWT} = p_{AU} - \Delta p_{EWT} \quad (7.59)$$

$$\Delta p_{EWT} = \lambda_{LL} \cdot \frac{l_{LL}}{d_{LL,i}} \cdot \frac{\rho_{L,EWT}}{2} \cdot v_{LL}^2 \quad (7.60)$$

## Wärme- und Feuchterückgewinnung

Bei der ursprünglichen Berechnung der spezifischen Energiekennwerte wurde im Kühlfall keine Wärme- und Feuchterückgewinnung berücksichtigt. Es wurde angenommen, dass das Wärmerückgewinnungssystem der raumlufttechnischen Anlage durch einen Sommerbypass umgangen wird. (OIB-LF 2.6, 2007)

Insbesondere bei hohen Außenlufttemperaturen ist jedoch auch im Kühlfall der Einsatz einer Wärme- und gegebenenfalls Feuchterückgewinnung durchaus sinnvoll. So kann die niedrigere – weil gekühlte – Lufttemperatur des Abluftvolumenstroms aus dem Raum genutzt werden, um die Zulufttemperatur zu reduzieren und somit den stundenweisen Energiebedarf für die Raumkühlung zu senken.

Die Berechnung der Wärme- und Feuchterückgewinnung für den Kühlfall erfolgt analog zu jener für den Heizfall. Mithilfe der Rückwärmezah und der Rückfeuchtezahl wird die Lufttemperatur und die Luftfeuchte nach dem Wärme- und Feuchterückgewinnungssystem ermittelt.

$$\theta_{WRG} = \theta_{AU} + \Phi_{WRG} \cdot (\theta_{AB} - \theta_{EWT}) \quad (7.61a)$$

$$x_{WRG} = x_{AU} + \Phi_{FRG} \cdot (x_{AB} - x_{EWT}) \quad (7.61b)$$

## Umluftführung in der Mischkammer

Prozessbedingte Umluftführung zum Zwecke des Heizens oder Kühlens findet insbesondere bei großen raumlufttechnischen Anlagen häufige Anwendung. Umluftführung ist vor allem dann erforderlich, wenn die RLT-Anlage als alleiniges Heizungs- oder Kühlsystem eingesetzt

wird. Dabei kann durch die begrenzte Zulufttemperatur und die geringe Wärmekapazität der Luft zur Abdeckung der Heiz- oder Kühllast ein Luftwechsel erforderlich werden, der den hygienischen Luftwechsel wesentlich überschreitet. In diesem Fall wird häufig nur der erforderliche hygienische Luftwechsel durch einen Außenluftvolumenstrom, der darüber hinausgehende prozessbedingte Luftwechsel hingegen über einen Umluftvolumenstrom abgedeckt. Der Vorteil dieses Systems liegt darin, dass für den Anteil des prozessbedingten Luftwechsels keine Konditionierung von Außenluftzustand auf Raumluftzustand vorgenommen werden muss und daher der Nutzenergiebedarf zur Konditionierung des Luftvolumenstroms geringer ist. Der Nachteil hingegen besteht darin, dass der Energiebedarf für die Luftförderung erheblich größer ist als der Pumpenergiebedarf für das Wasser, wenn die erforderliche Heiz- oder Kühlleistung über ein konventionelles wassergeführtes System abgedeckt wird.

Bisher wurden Umluftsysteme bei zentralen raumlufttechnischen Anlagen im Normenwerk zum Energieausweis nicht abgebildet. Daher ist es ein zentraler Punkt des Überarbeitungsvorschlags, Algorithmen für die Berechnung des Energiebedarfs derartiger Systeme zur Verfügung zu stellen.

Die Systematik des Berechnungsmodells für Umluftführung ist bei einer stundenweisen Berechnung der spezifischen Energiekennwerte – und damit verbunden der Zulufttemperaturen und Luftvolumenströme – vergleichsweise einfach: Entsprechend der realen Luftbehandlung in einer Mischkammer wird der Außenluftanteil  $(1 - u)$  mit Luftzustand nach dem Wärmérückgewinnungssystem und der Umluftanteil  $u$  mit Luftzustand der Abluft aus dem Raum miteinander vermischt. Es stellt sich entsprechend den beiden Luftvolumenströmen in der Mischkammer ein gewichtetes Mittel für den Energieinhalt der Luft ein.

$$\theta_{MK} = \theta_{AB} \cdot u + \theta_{WRG} \cdot (1 - u) \quad (7.62a)$$

$$x_{MK} = x_{AB} \cdot u + x_{WRG} \cdot (1 - u) \quad (7.62b)$$

Die Umluftführung über die Mischkammer wird über Drosselklappen geregelt. Dadurch kann bei ungünstig wirkenden Temperaturverhältnissen von eintretender Luft, Abluft und Raumluft die Umluftführung (im Sinne einer Bypassfunktion) unterbrochen werden.

Der Druckverlust für die Mischkammer ist auch anzusetzen, wenn keine Umluftführung vorgenommen wird, da die Mischkammer vom Zuluftvolumenstrom trotzdem durchlaufen wird, wodurch ein Druckverlust auftritt.

## Referenzanlage

Als Grundlage für die Konditionierungszustände in den einzelnen Anlagenbestandteilen dient die Referenzanlage aus Abbildung 7.18. Passive Konditionierungselemente sind Erdreichwärmetauscher (EWT, nicht dargestellt), Wärme- und Feuchterückgewinnung (WRG, FRG) und Umluftführung in der Mischkammer (MK). Aktive Konditionierungselemente sind Luftvorerhitzer (LVH), Luftkühler (LKU), Befeuchter (BEF) und Luftnacherhitzer (LNH).

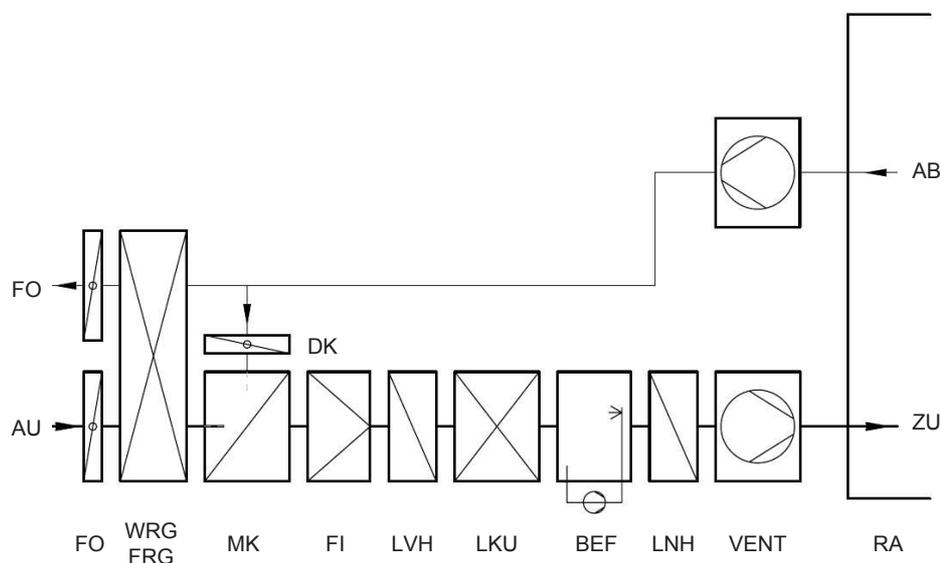


Abbildung 7.18.: Anlagenkonfiguration der Referenzklimaanlage: Vollklimaanlage wahlweise mit Dampf- oder Verdunstungsbefeuchtung (identisch mit Abbildung 7.13)

Der Sollwert des Zuluftzustands ( $\theta_{ZU,soll}$  und  $x_{ZU,soll}$ ) ist – ebenso wie der Temperatureintrag durch den Ventilator ( $\Delta\theta_{VENT}$ ) – aus *Berechnungsschleife 2* bekannt. Der tatsächliche Zuluftzustand ( $\theta_{ZU}$  und  $x_{ZU}$ ) ist erst definiert, nachdem die Wirkung der passiven Konditionierungselemente bestimmt wurde. Die Druckverluste  $\Delta p$  in den verschiedenen Anlagenbestandteilen sind Eingabegrößen, wobei alternativ Defaultwerte gemäß der Tabelle 3.2 auf Seite 39 herangezogen werden können. Die beschriebenen Luftzustände sind jeweils die Werte nach den einzelnen Anlagenkomponenten, womit MK den Luftzustand nach den passiven und LNH jenen nach den aktiven Konditionierungselementen beschreibt.

### Passive Konditionierungselemente

Um die Wirkung der passiven Konditionierungselemente berechnen zu können, ist vorweg der Abluftzustand der Luft zu bestimmen, der dem Raumlufzustand des vorangegangenen Zeitschritts ( $t = t - 1$ ) entspricht (siehe Tabelle 7.11 auf der nächsten Seite).

Anschließend kann die Wirkungsweise der passiven Konditionierungselemente Erdreichwärmetauscher, Wärmerückgewinnungssystem und Umluftführung über die Mischkammer berechnet werden (siehe Tabelle 7.12 auf der nächsten Seite). Als Kriterium, ob die passiven Konditionierungselemente aktiv sind oder ein gegebenenfalls vorhandener Bypasskanal aktiv ist, wird der Soll-Zuluftzustand herangezogen, der in *Berechnungsschleife 2* ermittelt wurde.

Tabelle 7.11.: Zustände des Abluftvolumenstroms in der RLT-Anlage unabhängig von der Befeuchtungsart

	Zustand der Zuluft	Bedingung & Anweisung
AB	$\theta_{AB} = \theta_{RA}$ (bei t-1) $x_{AB} = x_{RA}$ (bei t-1) $p_{AB} = p_{RA} - \Delta p_{AB}$ (bei t-1)	-

Tabelle 7.12.: Zustände des Zuluftvolumenstroms in den passiven Konditionierungselementen der RLT-Anlage unabhängig von der Befeuchtungsart

	Zustand der Zuluft	Bedingung & Anweisung
EWT	$\theta_{EWT} = \theta_{BO} - (\theta_{BO} - \theta_{AU}) \cdot e^{\frac{-U_d \cdot d_{LL,i} \cdot \pi \cdot l_{LL}}{V_V \cdot n_L \cdot \rho_L \cdot c_p \cdot L}}$ $x_{EWT} = x_{AU}$ $p_{EWT} = p_{AU} - \Delta p_{EWT}$ kein EWT vorhanden: $\theta_{EWT} = \theta_{AU}$ $x_{EWT} = x_{AU}$ $p_{EWT} = p_{AU}$	Taupunktprüfung: $\theta_{EWT} < \theta_{TAU}(x_{AU}, p_{EWT})$ Entfeuchtung findet statt $x_{EWT} = x_{TAU}(\theta_{EWT}, p_{EWT})$  Bypassfunktion: $(\theta_{AU} \geq \theta_{BO}) \wedge (\theta_{AU} \leq \theta_{ZU,soll} - \Delta\theta_{VENT})$ $(\theta_{AU} \leq \theta_{BO}) \wedge (\theta_{AU} \geq \theta_{ZU,soll} - \Delta\theta_{VENT})$ EWT-Bypass aktiv $\theta_{EWT} = \theta_{AU}$ $x_{EWT} = x_{AU}$ $p_{EWT} = p_{AU}$
WRG	$\theta_{WRG} = \Phi_{WRG} \cdot (\theta_{AB} - \theta_{EWT}) + \theta_{EWT}$ $x_{WRG} = \Phi_{FRG} \cdot (x_{AB} - x_{EWT}) + x_{EWT}$ $p_{WRG} = p_{EWT} - \Delta p_{WRG}$ kein WRG vorhanden: $\theta_{WRG} = \theta_{EWT}$ $x_{WRG} = x_{EWT}$ $p_{WRG} = p_{EWT}$	Bypassfunktion: $(\theta_{EWT} \geq \theta_{AB}) \wedge (\theta_{AU} \leq \theta_{ZU,soll} - \Delta\theta_{VENT})$ $(\theta_{EWT} \leq \theta_{AB}) \wedge (\theta_{AU} \geq \theta_{ZU,soll} - \Delta\theta_{VENT})$ WRG-Bypass aktiv $\theta_{WRG} = \theta_{EWT}$ $x_{WRG} = x_{EWT}$ $p_{WRG} = p_{EWT}$
MK	$\theta_{MK} = \theta_{WRG} \cdot (1 - u_{UM}) + \theta_{AB} \cdot u_{UM}$ $x_{MK} = x_{WRG} \cdot (1 - u_{UM}) + x_{AB} \cdot u_{UM}$ $p_{MK} = p_{WRG} - \Delta p_{MK}$ keine MK vorhanden: $\theta_{MK} = \theta_{WRG}$ $x_{MK} = x_{WRG}$ $p_{MK} = p_{WRG}$	Bypassfunktion: $(\theta_{WRG} \geq \theta_{AB}) \wedge (\theta_{AU} \leq \theta_{ZU,soll} - \Delta\theta_{VENT})$ $(\theta_{WRG} \leq \theta_{AB}) \wedge (\theta_{AU} \geq \theta_{ZU,soll} - \Delta\theta_{VENT})$ MK inaktiv $\theta_{MK} = \theta_{WRG}$ $x_{MK} = x_{WRG}$ $p_{MK} = p_{WRG} - \Delta p_{MK}$  Überheizen verhindern: $(\theta_{WRG} < \theta_{AB}) \wedge (\theta_{MK} > \theta_{ZU,soll} - \Delta\theta_{VENT})$ MK inaktiv $\theta_{MK} = \theta_{WRG}$ $x_{MK} = x_{WRG}$ $p_{MK} = p_{WRG} - \Delta p_{MK}$

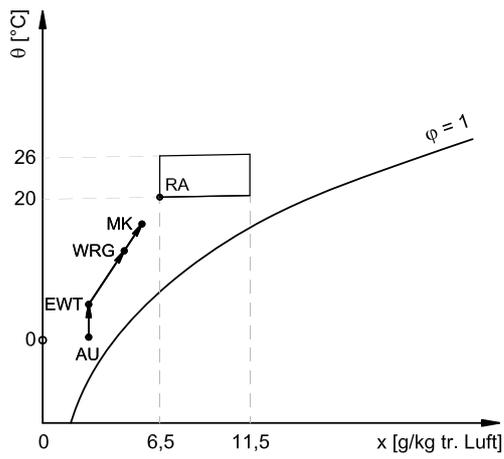
## Tatsächlicher Zuluftzustand

Mit dem bekannten Zustand der Luft nach den passiven Konditionierungselementen kann in weiterer Folge der tatsächliche Zuluftzustand und damit auch der erforderliche Luftzustand nach dem Ventilator und nach dem Luftnacherhitzer festgelegt werden. Dabei ist bereits zu berücksichtigen, welche aktiven Konditionierungselemente tatsächlich in der RLT-Anlage vorhanden sind (siehe Tabelle 7.13). Diese Werte sind die Voraussetzung für die weitere Berechnung der Konditionierungszustände in den verbleibenden aktiven Konditionierungselementen Vorerhitzer, Kühler und Befeuchter, die sich in Abhängigkeit von der Befeuchtungsart unterscheiden und daher getrennt dargestellt werden.

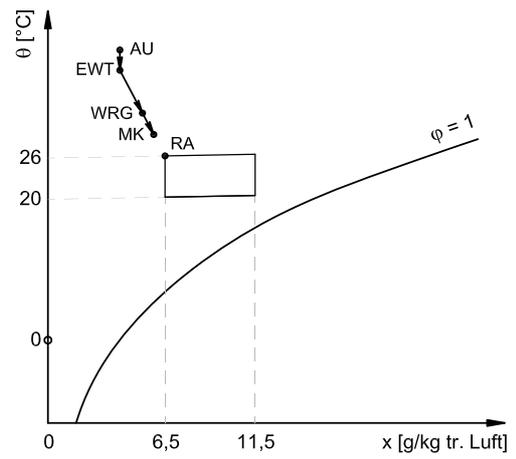
In den zugehörigen Abbildungen ist für die verschiedenen Zonen im  $h, x$ -Diagramm die Vorgangs- und Wirkungsweise bei der Konditionierung in passiven und anschließend in aktiven Konditionierungselementen dargestellt. Die Zonenteilung des  $h, x$ -Diagramms wurde dabei analog wie von Reichert (2000) vorgeschlagen (siehe Abbildung 3.3 auf Seite 31).

Tabelle 7.13.: Zustände des Zuluftvolumenstroms in den passiven Konditionierungselementen der RLT-Anlage unabhängig von der Befeuchtungsart

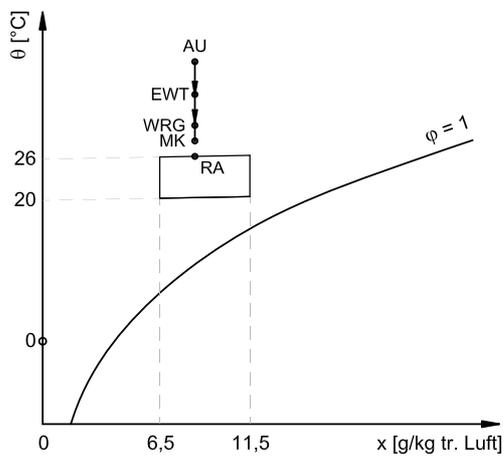
Zustand der Zuluft		Bedingung & Anweisung
		Prüfung auf Heizen und Kühlen: $\theta_{MK} < \theta_{ZU,soll} - \Delta\theta_{VENT}$ & Heizfunkt. $\theta_{MK} > \theta_{ZU,soll} - \Delta\theta_{VENT}$ & Kühlfunkt. Heizen oder Kühlen aktiv: $\theta_{ZU} = \theta_{ZU,soll}$
ZU	$\theta_{ZU} = \theta_{MK} + \Delta\theta_{VENT}$ $x_{ZU} = x_{MK}$ $p_{ZU} = p_{AU} + \Delta p_{RA}$	Prüfung auf Be- und Entfeuchten: $x_{MK} < x_{ZU,min}$ & Befeuchten vorh. $x_{MK} > x_{ZU,max}$ & Kühlfunkt. Vorh. Be- oder Entfeuchten aktiv: $x_{MK} < x_{ZU,min} : x_{ZU} = x_{ZU,min}$ $x_{MK} > x_{ZU,max} : x_{ZU} = x_{ZU,max}$
		Taupunktprüfung: $\theta_{ZU} - \Delta\theta_{VENT} \leq \theta_{TAU}(x_{ZU}, p_{ZU})$ Entfeuchtung findet statt $x_{ZU} = x_{TAU}(\theta_{ZU} - \Delta\theta_{VENT}, p_{ZU})$
VENT	$\theta_{VENT} = \theta_{ZU}$ $x_{VENT} = x_{ZU}$ $p_{VENT} = p_{ZU} + \Delta p_{ZU}$	–
LNH	$\theta_{LNH} = \theta_{VENT} - \Delta\theta_{VENT}$ $x_{LNH} = x_{VENT}$ $p_{LNH} = p_{BEF} + \Delta p_{LNH}$	–
RA	$\theta_{RA}$ : gemäß Lastberechnung $x_{RA} = x_{ZU}$ $p_{RA} = p_{AU}$	–



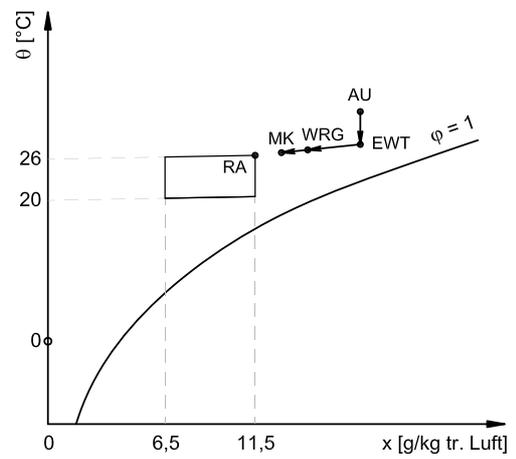
(a) Zone 1a



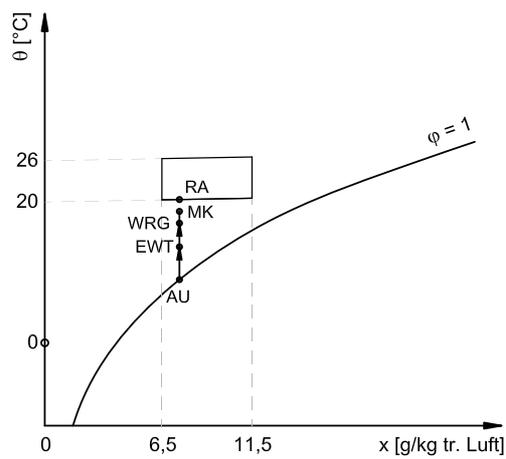
(b) Zone 1b



(c) Zone 2



(d) Zone 3



(e) Zone 4

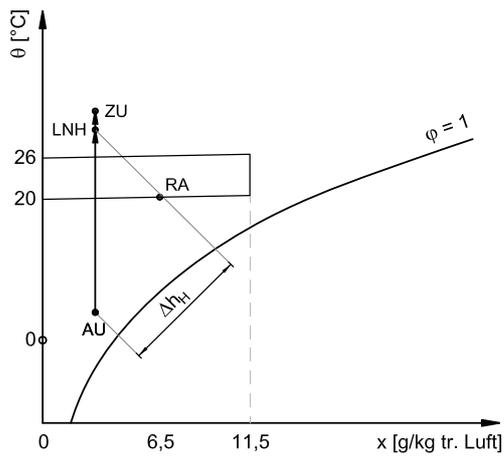
Abbildung 7.19.: Konditionierung durch passive Konditionierungselemente in Zone 1a (a), Zone 1b (b), Zone 2 (c), Zone 3 (d) und Zone 4 (e)

## Aktive Konditionierungselemente ohne Befeuchtung

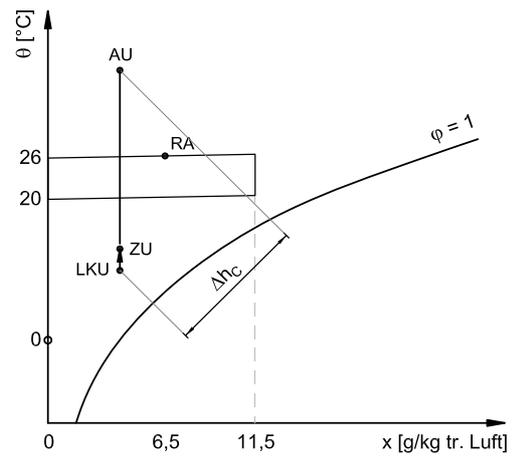
Eine RLT-Anlage ohne Befeuchtung kommt ohne den Anlagenbestandteil „Befeuchtung“ aus, auch der „Luftvorerhitzer“ ist nicht zwangsweise erforderlich. Eine Angabe des unteren Grenzwerts des Behaglichkeitsbereichs für Raumluftfeuchte ist daher nicht zulässig beziehungsweise erforderlich. Eine Entfeuchtung über den Luftkühler ist uneingeschränkt möglich, die Angabe des oberen Behaglichkeitsgrenzwertes der Raumluftfeuchte daher zulässig. Es ist kein Anlagenbestandteil für Befeuchtung vorhanden, die Leistung des Luftnacherhitzers auf die Nachheizfunktion bei Luftkühlung beschränkt. Die erforderliche Zulufttemperatur im Heizfall (nach dem Luftnacherhitzer) wird bereits im Luftvorerhitzer erreicht.

Tabelle 7.14.: Zustände des Zuluftvolumenstroms in den aktiven Konditionierungselementen der RLT-Anlage: ohne Befeuchtung

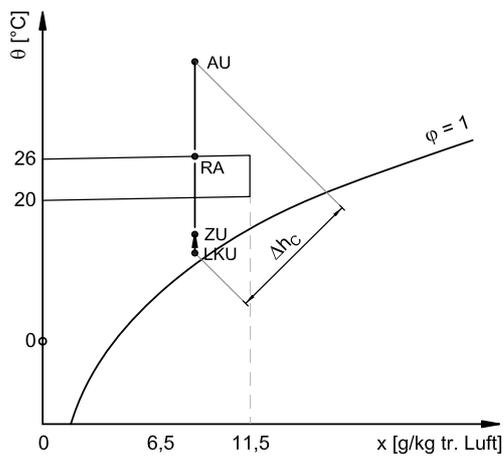
	Zustand der Zuluft	Bedingung & Anweisung
LVH	$\theta_{LVH} = \theta_{LNH}$ $x_{LVH} = x_{LNH}$ $p_{LVH} = p_{MK} - \Delta p_{LVH}$	$\theta_{MK} \geq \theta_{LNH}$ LVH inaktiv
	kein LVH vorhanden: $\theta_{LVH} = \theta_{MK}$ $x_{LVH} = x_{MK}$ $p_{LVH} = p_{MK}$	$\theta_{LVH} = \theta_{MK}$ $x_{LVH} = x_{MK}$ $p_{LVH} = p_{MK} - \Delta p_{LVH}$
LKU	grundsätzlich ohne Entfeuchtung: $\theta_{LKU} = \theta_{LNH}$ $x_{LKU} = x_{LVH}$ $p_{LKU} = p_{LVH} - \Delta p_{LKU}$	Kühlerfordernis prüfen: $\theta_{LVH} \leq \theta_{LNH}$ LKU inaktiv $\theta_{LKU} = \theta_{LVH}$
	kein LKU vorhanden: $\theta_{LKU} = \theta_{LVH}$ $x_{LKU} = x_{LVH}$ $p_{LKU} = p_{LVH}$	Entfeuchtungsprüfung: $x_{LVH} > x_{LNH}$ Entfeuchtung erforderlich $x_{LKU} = x_{LNH}$ $\theta_{LKU} = \theta_{TAU}(x_{LKU}, p_{LKU})$
BEF	kein BEF vorhanden: $\theta_{BEF} = \theta_{LKU}$ $x_{BEF} = x_{LKU}$ $p_{BEF} = p_{LKU}$	Taupunktprüfung: $\theta_{LKU} < \theta_{TAU}(x_{LVH}, p_{LKU})$ Entfeuchtung findet statt $x_{LKU} = x_{TAU}(\theta_{LKU}, p_{LKU})$ $x_{BEF} = x_{LNH} = x_{LKU}$
		–



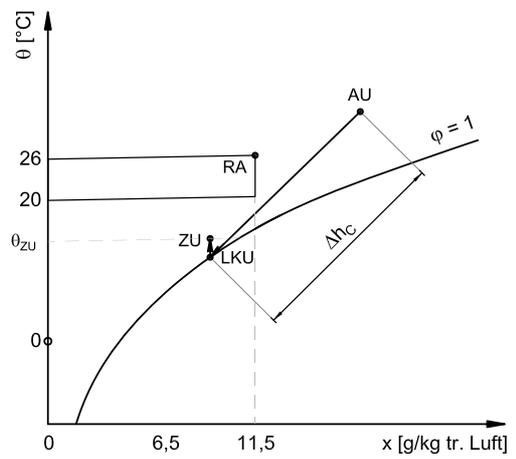
(a) Zone 1a



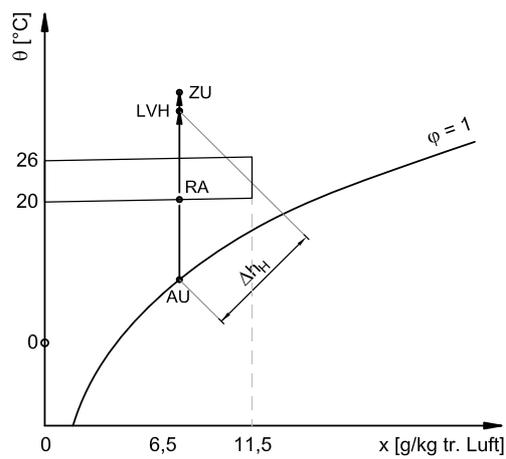
(b) Zone 1b



(c) Zone 2



(d) Zone 3



(e) Zone 4

Abbildung 7.20.: Konditionierung ohne Befeuchtung in Zone 1a (a), Zone 1b (b), Zone 2 (c), Zone 3 (d) und Zone 4 (e)

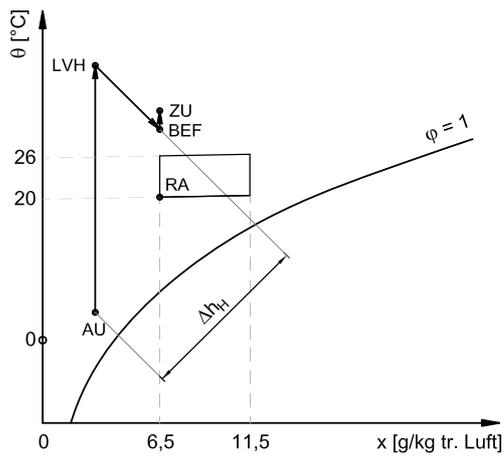
## Aktive Konditionierungselemente mit Verdunstungsbefeuchtung mit Zuluftfeuchteregelung

Bei RLT-Anlagen mit Zuluftfeuchte geregelter Verdunstungsbefeuchtung wird die erforderliche Zuluftfeuchte direkt über einen Relativ-Feuchtefühler in der betreffenden Gebäudezone bestimmt. Der Relativ-Feuchtefühler regelt das Befeuchterventil, sodass der Befeuchterwirkungsgrad beliebig variiert werden kann und so die gewünschte Zuluftfeuchte direkt und stetig erreicht wird (Siemens Building Technologies Group, 2009).

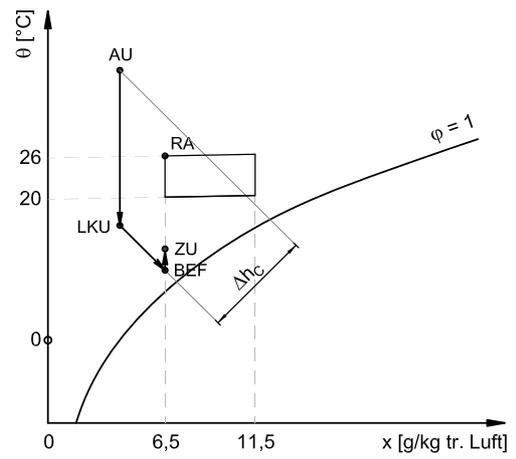
Im Luftvorerhitzer ist eine stark erhöhte Temperatur erforderlich, um bei adiabater Befeuchtung den Enthalpiewert des geforderten Zuluftzustands gewährleisten zu können.

Tabelle 7.15.: Zustände des Zuluftvolumenstroms in den aktiven Konditionierungselementen der RLT-Anlage: Verdunstungsbefeuchtung mit Zuluftfeuchteregelung

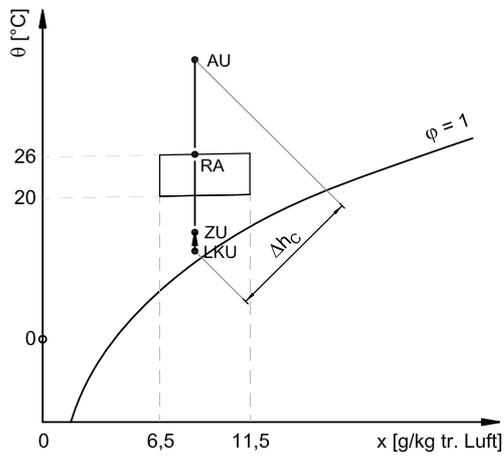
	Zustand der Zuluft	Bedingung & Anweisung
LVH	$\theta_{LVH} = \theta(h(\theta_{LNH}, x_{LNH}), x_{MK})$ $x_{LVH} = x_{MK}$ $p_{LVH} = p_{MK} - \Delta p_{LVH}$ kein LVH vorhanden: $\theta_{LVH} = \theta_{MK}$ $x_{LVH} = x_{MK}$ $p_{LVH} = p_{MK}$	$h(\theta_{MK}, x_{MK}) \geq h(\theta_{LNH}, x_{LNH})$ LVH inaktiv $\theta_{LVH} = \theta_{MK}$ $x_{LVH} = x_{MK}$ $p_{LVH} = p_{MK} - \Delta p_{LVH}$
LKU	grundsätzlich ohne Entfeuchtung: $x_{LKU} = x_{LVH}$ $\theta_{LKU} = \theta(h(\theta_{LNH}, x_{LNH}), x_{LKU})$ $p_{LKU} = p_{LVH} - \Delta p_{LKU}$ kein LKU vorhanden: $\theta_{LKU} = \theta_{LVH}$ $x_{LKU} = x_{LVH}$ $p_{LKU} = p_{LVH}$	Kühlerfordernis prüfen: $h(\theta_{LVH}, x_{LVH}) \geq h(\theta_{LNH}, x_{LNH})$ LKU inaktiv $\theta_{LKU} = \theta_{LVH}$ Entfeuchtungsprüfung: $x_{LVH} > x_{LNH}$ Entfeuchtung erforderlich $x_{LKU} = x_{LNH}$ $\theta_{LKU} = \theta_{TAU}(x_{LKU}, p_{LKU})$ Taupunktprüfung: $h(\theta_{LKU}, x_{LKU}) > h(\theta_{LNH}, x_{LNH})$ Entfeuchtung findet statt $x_{LKU} = x_{TAU}(\theta_{LKU}, p_{LKU})$ $\theta_{LKU} = \theta_{TAU}(x_{LKU}, p_{LKU})$ $x_{BEF} = x_{LNH} = x_{VENT} = x_{ZU} = x_{LKU}$
BEF	$\theta_{BEF} = \theta_{LNH}$ $x_{BEF} = x_{LNH}$ $p_{BEF} = p_{LKU} - \Delta p_{BEF}$	–



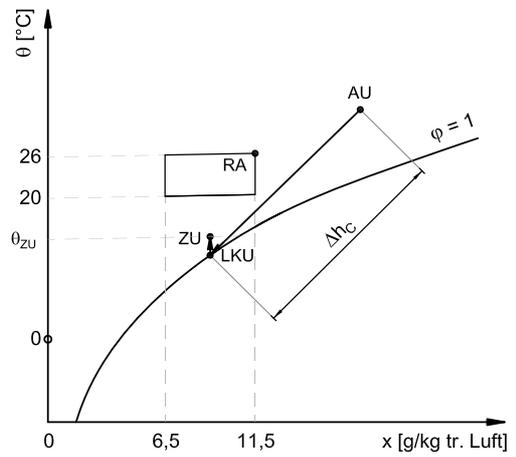
(a) Zone 1a



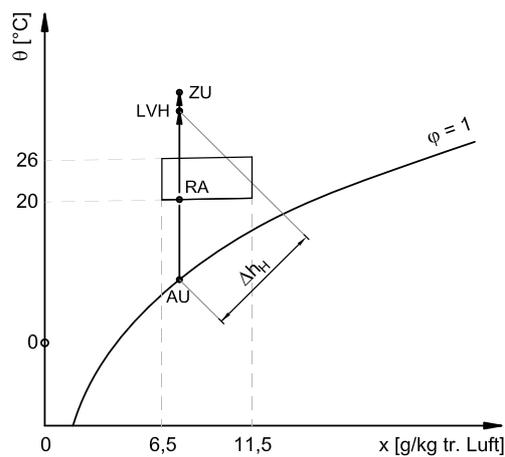
(b) Zone 1b



(c) Zone 2



(d) Zone 3



(e) Zone 4

Abbildung 7.21.: Konditionierung mit Verdunstungsbefeuchtung mit Zuluftfeuchte-Regelung in Zone 1a (a), Zone 1b (b), Zone 2 (c), Zone 3 (d) und Zone 4 (e)

## Aktive Konditionierungselemente mit Verdunstungsbefeuchtung mit Taupunktregelung

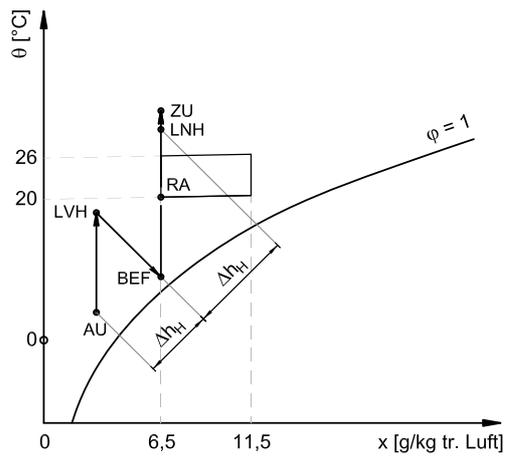
Bei Verdunstungsbefeuchtung mit Taupunktregelung erfolgt für Luftzustände in der Zone 1a im Vorerhitzer eine Aufheizung bei konstanter Luftfeuchte, mit der bei adiabater Befeuchtung die geforderte Zuluftfeuchte mit einer relativen Luftfeuchte  $\varphi$  von nahezu 100 % erreicht wird (der maximale Befeuchterwirkungsgrad  $\eta_{BEF}$  ist zu berücksichtigen und vom Benutzer vorzugeben). Nach der adiabaten Befeuchtung wird im Nacherhitzer eine Aufheizung auf die erforderliche Zulufttemperatur vorgenommen.

Diese Art der Befeuchtungsregelung hat zur Folge, dass bei Anlagen mit hohen Rückwärme- und Rückfeuchtezahlen beziehungsweise mit hohem Umluftanteil der Enthalpieinhalt der Luft nach der Mischkammer (siehe Abschnitt „Passive Konditionierungselemente“) bereits höher ist als am Taupunkt mit der geforderten Zuluftfeuchte (Befeuchtungsziel). Um eine möglichst hohe Energieeffizienz zu erzielen, kann daher die Zuluftfeuchte im Behaglichkeitsbereich frei bestimmt werden. Bei Befeuchtung „ohne Toleranz“ gemäß der ÖNORM B 8110-5 und der ÖNORM H 5057 ist diese Möglichkeit nicht gegeben, die Zuluftfeuchte muss stets einen bestimmten Wert einhalten.

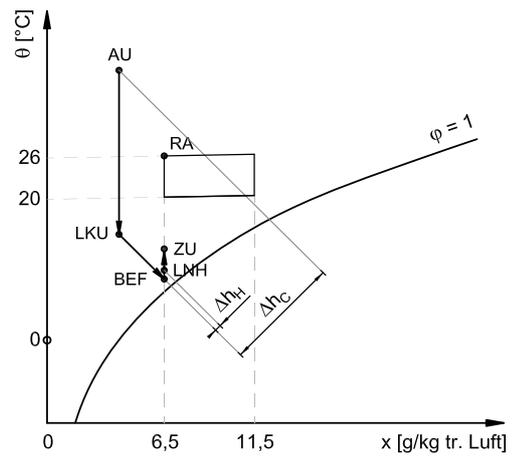
Bei Verdunstungsbefeuchtung mit Taupunktregelung sind die Konditionierungsschritte in den einzelnen aktiven Konditionierungselementen einerseits sehr stark voneinander abhängig, andererseits hat die Art der erforderlichen Konditionierung maßgeblichen Einfluss. Daher werden für diese Befeuchtungsart nicht wie bei den übrigen Befeuchtertypen die Konditionierungsschritte getrennt nach den Konditionierungselementen sondern für die verschiedenen Zonen im  $h, x$ -Diagramm dargestellt.

Tabelle 7.16.: Zustände des Zuluftvolumenstroms in den aktiven Konditionierungselementen der RLT-Anlage: Verdunstungsbefeuchtung mit Taupunktregelung

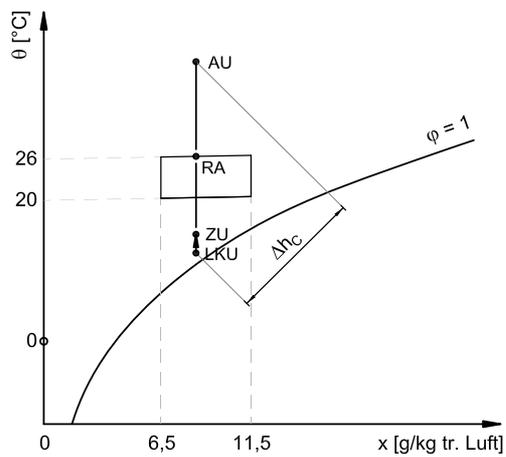
	Zustand der Zuluft	Bedingung & Anweisung
	$\theta_{MK} = \theta_{LNH} \wedge x_{MK} = x_{LNH}$ keine Konditionierung: $\theta_{BEF} = \theta_{LKU} = \theta_{LVH} = \theta_{MK}$ $x_{BEF} = x_{LKU} = x_{LVH} = x_{MK}$ $p_{LVH} = p_{MK} - \Delta p_{LVH}$ (wenn vorhanden) $p_{LKU} = p_{LVH} - \Delta p_{LKU}$ (wenn vorhanden) $p_{BEF} = p_{LKU} - \Delta p_{BEF}$	
Zone 1a	$h(\theta_{MK}, x_{MK}) \leq h(\theta_{LNH}, x_{LNH}) \wedge x_{MK} < x_{LNH}$ : Heizen $\theta_{LVH} = \theta_{MK}$ $x_{LVH} = x_{MK}$ kein Kühlen: $\theta_{LKU} = \theta_{LVH}, x_{LKU} = x_{LVH}$ Befeuchten $x_{100\%} = x_{MK} + \frac{x_{LNH} - x_{MK}}{\eta_{BEF}}$ $x_{BEF} = x_{MK} + \eta_{BEF} \cdot (x_{100\%} - x_{MK})$ $\theta_{BEF} = \theta(h(\theta_{TAU}(x_{100\%}, p_{BEF}), x_{100\%}), x_{LNH})$	
Zone 1b	$h(\theta_{MK}, x_{MK}) > h(\theta_{LNH}, x_{LNH}) \wedge x_{MK} < x_{LNH}$ : kein Heizen: $\theta_{LVH} = \theta_{MK}, x_{LVH} = x_{MK}$ Kühlen $\theta_{LKU} = \theta(h(\theta_{TAU}(x_{100\%}, p_{LKU}), x_{100\%}), x_{MK})$ $x_{LKU} = x_{LVH}$ Befeuchten $x_{100\%} = x_{MK} + \frac{x_{LNH} - x_{MK}}{\eta_{BEF}}$ $x_{BEF} = x_{MK} + \eta_{BEF} \cdot (x_{100\%} - x_{MK})$ $\theta_{BEF} = \theta(h(\theta_{TAU}(x_{100\%}, p_{BEF}), x_{100\%}), x_{LNH})$	
Zone 2	$\theta_{MK} > \theta_{LNH} \wedge x_{MK} = x_{LNH}$ : kein Heizen: $\theta_{LVH} = \theta_{MK}, x_{LVH} = x_{MK}$ Kühlen $\theta_{LKU} = \theta_{LNH}$ $x_{LKU} = x_{LNH}$ kein Befeuchten: $\theta_{BEF} = \theta_{LKU}, x_{BEF} = x_{LKU}$	Taupunktprüfung: $\theta_{LKU} \leq \theta_{TAU}(x_{LKU}, p_{LKU})$ $x_{LKU} = x_{TAU}(\theta_{LKU}, p_{LKU})$
Zone 3	$x_{MK} > x_{LNH}$ : kein Heizen: $\theta_{LVH} = \theta_{MK}, x_{LVH} = x_{MK}$ Kühlen (und Entfeuchten) $\theta_{LKU} = \theta_{TAU}(x_{LNH}, p_{LKU})$ $x_{LKU} = x_{LNH}$ kein Befeuchten: $\theta_{BEF} = \theta_{LKU}, x_{BEF} = x_{LKU}$	Taupunktprüfung: $\theta_{LKU} \leq \theta_{TAU}(x_{LKU}, p_{LKU})$ $x_{LKU} = x_{TAU}(\theta_{LKU}, p_{LKU})$
Zone 4	$\theta_{MK} < \theta_{LNH} \wedge x_{MK} = x_{LNH}$ Heizen $\theta_{LVH} = \theta_{LNH}$ $x_{LVH} = x_{LNH}$ kein Kühlen: $\theta_{LKU} = \theta_{LVH}, x_{LKU} = x_{LVH}$ kein Befeuchten: $\theta_{BEF} = \theta_{LKU}, x_{BEF} = x_{LKU}$	Taupunktprüfung: $\theta_{LKU} \leq \theta_{TAU}(x_{LKU}, p_{LKU})$ $x_{LKU} = x_{TAU}(\theta_{LKU}, p_{LKU})$



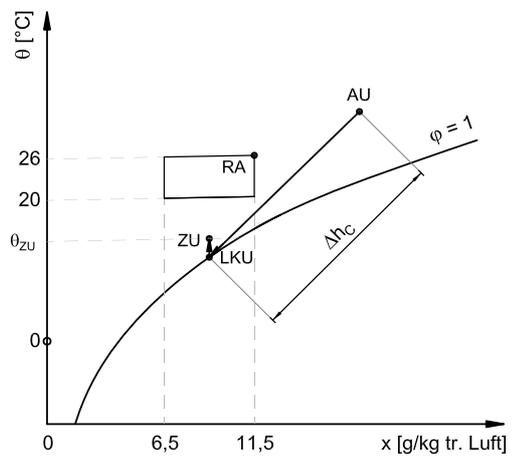
(a) Zone 1a



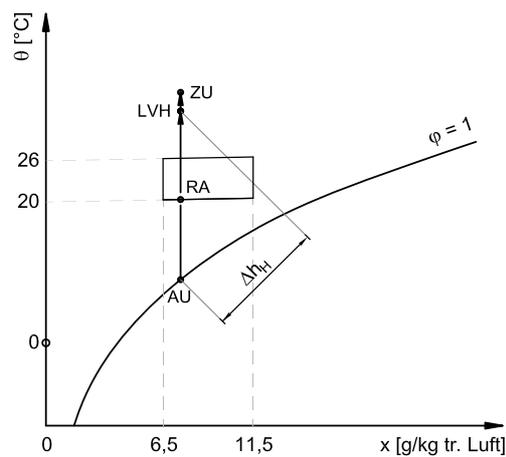
(b) Zone 1b



(c) Zone 2



(d) Zone 3



(e) Zone 4

Abbildung 7.22.: Konditionierung mit Verdunstungsbefeuchtung mit Taupunkt-Regelung in Zone 1a (a), Zone 1b (b), Zone 2 (c), Zone 3 (d) und Zone 4 (e)

## Aktive Konditionierungselemente mit Dampfbefeuchtung mit Zuluftfeuchteregelung

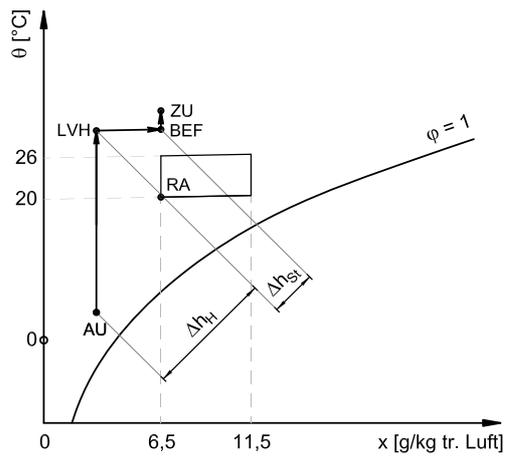
Bei Dampfbefeuchtung erfolgt die Richtung der Zustandsänderung entsprechend des Wärmeinhalts des eingebrachten Wasserdampfes. Bei Befeuchtung mit Sattdampf mit einer Temperatur von rund 100 °C erfolgt die Zustandsänderung in etwa isotherm<sup>10</sup>. Die Regelung der erforderlichen Zuluftfeuchte erfolgt auch hier durch eine direkte, stetige Feuchteregelung, die eine exakte Zuluftfeuchte in Abhängigkeit von der Raumluftfeuchte bei jedem Zeitschritt gewährleistet (Siemens Building Technologies Group, 2009).

Bei Anlagen mit Dampfbefeuchtung wird im Zuge der Befeuchtung dem Luftvolumenstrom nicht nur Wasser sondern auch Wärme zugeführt. Die so eingebrachte Enthalpiedifferenz wird als  $\Delta h_{St}$  bezeichnet und führt in weiterer Folge zum spezifischen Energiekennwert für (Dampf-) Befeuchtung  $q_{St}$ . Dieser SEK-Wert tritt bei Anlagen mit Verdunstungsbefeuchtung nicht auf.

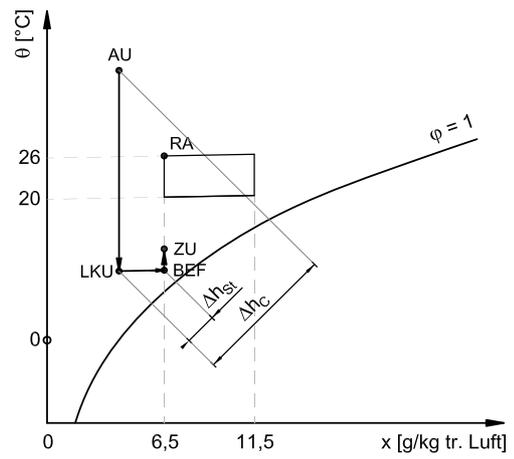
Tabelle 7.17.: Zustände des Zuluftvolumenstroms in den aktiven Konditionierungselementen der RLT-Anlage: Dampfbefeuchtung mit Zuluftfeuchteregelung

	Zustand der Zuluft	Bedingung & Anweisung
LVH	$\theta_{LVH} = \theta_{LNH}$ $x_{LVH} = x_{MK}$ $p_{LVH} = p_{MK} - \Delta p_{LVH}$ kein LVH vorhanden: $\theta_{LVH} = \theta_{MK}$ $x_{LVH} = x_{MK}$ $p_{LVH} = p_{MK}$	$\theta_{MK} \geq \theta_{LNH}$ LVH inaktiv $\theta_{LVH} = \theta_{MK}$ $x_{LVH} = x_{MK}$ $p_{LVH} = p_{MK} - \Delta p_{MK}$
LKU	grundsätzlich ohne Entfeuchtung: $\theta_{LKU} = \theta_{LNH}$ $x_{LKU} = x_{LVH}$ $p_{LKU} = p_{LVH} - \Delta p_{LKU}$ kein LKU vorhanden: $\theta_{LKU} = \theta_{LVH}$ $x_{LKU} = x_{LVH}$ $p_{LKU} = p_{LVH}$	Kühlerfordernis prüfen: $\theta_{LVH} \leq \theta_{LNH}$ LKU inaktiv $\theta_{LKU} = \theta_{LVH}$ $x_{LKU} = x_{LVH}$ Entfeuchtungsprüfung: $x_{LVH} > x_{LNH}$ Entfeuchtung erforderlich $\theta_{LKU} = \theta_{TAU}(x_{LNH}, p_{LKU})$ $x_{LKU} = x_{TAU}(\theta_{LKU}, p_{LKU})$ Taupunktprüfung: $\theta_{LKU} < \theta_{TAU}(x_{LVH}, p_{LKU})$ Entfeuchtung findet statt $x_{LKU} = x_{TAU}(\theta_{LKU}, p_{LKU})$ $x_{BEF} = x_{LNH} = x_{VENT} = x_{ZU} = x_{LKU}$
BEF	$\theta_{BEF} = \theta_{LKU}$ $x_{BEF} = x_{LNH}$ $p_{BEF} = p_{LKU} - \Delta p_{BEF}$	Befeuchtungsprüfung: $x_{LKU} > x_{LNH}$ BEF inaktiv $\theta_{BEF} = \theta_{LKU}$ $x_{BEF} = x_{LKU}$

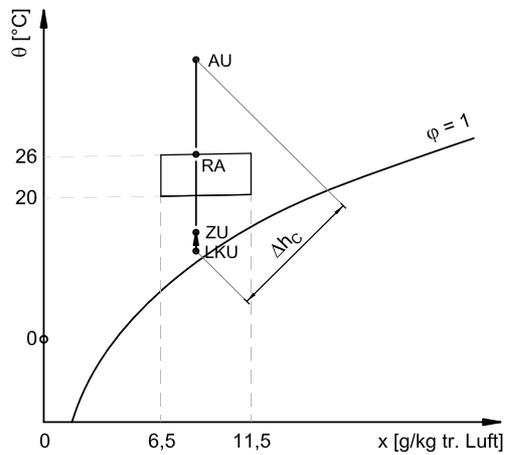
<sup>10</sup>isotherm ... parallel zu den Linien gleicher Temperatur (Isothermen)



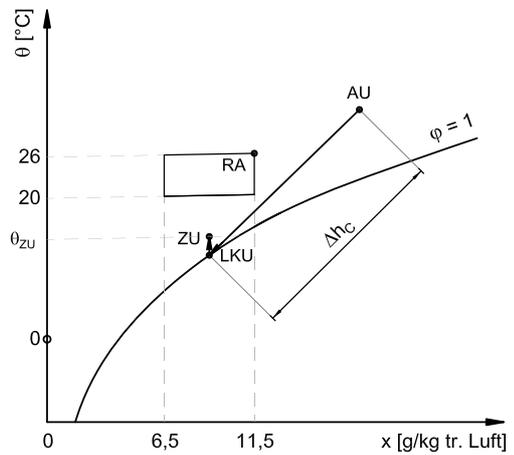
(a) Zone 1a



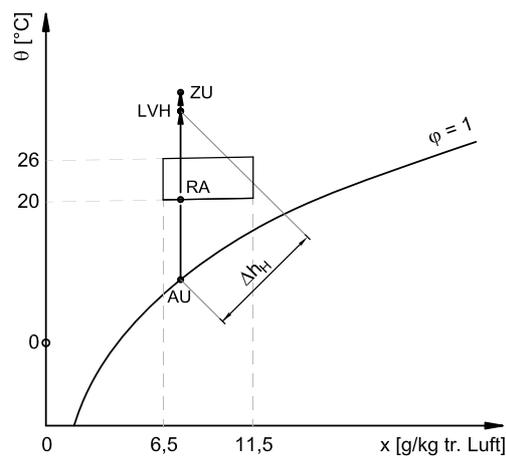
(b) Zone 1b



(c) Zone 2



(d) Zone 3



(e) Zone 4

Abbildung 7.23.: Konditionierung mit Dampfbefeuchtung mit Zuluftfeuchte-Regelung in Zone 1a (a), Zone 1b (b), Zone 2 (c), Zone 3 (d) und Zone 4 (e)

### 7.3.4. Berechnungsschleife 4: Ergebnisberechnung

Aus den anlagenspezifisch bestimmten stündlich erforderlichen Enthalpiedifferenzen zur Konditionierung des Zuluftvolumenstroms können unter Berücksichtigung der Dichte der Luft  $\rho_L$  die spezifischen Energiekennwerte für Heizen, Kühlen und Befeuchten als Jahres- oder Monatswerte berechnet werden. Die so ermittelten SEK-Werte sind nun standortspezifisch auf Grundlage des halbsynthetischen Klimamodells und werden in Stundenschritten berechnet. Durch die Multiplikation mit dem tatsächlichen stündlichen Luftvolumenstrom erfolgt die Denormierung im jeweiligen Zeitschritt, wodurch es zu einem geringeren Fehlerpotential kommt, als wenn die Denormierung mit Monatsmittelwerten des Luftvolumenstroms vorgenommen wird.

$$Q_{H,RLT} = \sum_{i=1}^{8760} \left[ \left( \frac{h_{LVH,i}}{3,6} \cdot \rho_{L,LVH,i} - \frac{h_{MK,i}}{3,6} \cdot \rho_{L,MK,i} \right) \cdot v_{RLT,i} \right. \\ \left. + \left( \frac{h_{LNH,i}}{3,6} \cdot \rho_{L,LNH,i} - \frac{h_{BEF,i}}{3,6} \cdot \rho_{L,BEF,i} \right) \cdot v_{RLT,i} \right] \quad (7.63)$$

$$Q_{C,RLT} = \sum_{i=1}^{8760} \left( \frac{h_{LVH,i}}{3,6} \cdot \rho_{L,LVH,i} - \frac{h_{LKU,i}}{3,6} \cdot \rho_{L,LKU,i} \right) \cdot v_{RLT,i} \quad (7.64)$$

$$Q_{St,RLT} = \sum_{i=1}^{8760} \left( \frac{h_{BEF,i}}{3,6} \cdot \rho_{L,BEF,i} - \frac{h_{LKU,i}}{3,6} \cdot \rho_{L,LKU,i} \right) \cdot v_{RLT,i} \quad (7.65)$$

### 7.3.5. Validierungs- und Plausibilitätsprüfungen

Um zu prüfen, inwieweit die Ergebnisse der Teilmodelle des neu ausgearbeiteten standortspezifischen Modells zur Berechnung des Nutzenergiebedarfs zur Luftvolumenstromkonditionierung mit jenen anerkannter Berechnungsmodelle übereinstimmen, wurden für die wesentlichen Berechnungsteile Validierungsprüfungen vorgenommen.

Folgende Berechnungsteile wurden einer detaillierten Validierungsprüfung unterzogen:

- Modell der Konditionierung in der raumlufttechnischen Anlage
- Modell der stundenweisen Nutzenergiebedarfsberechnung
- halbsynthetisches Klimadaten-Modell
- Erdreichwärmetauscher-Modell

Die Validierung wurde anhand von Vergleichsrechnungen mit anerkannten Berechnungsprogrammen, normativ festgelegter Vergleichsbeispiele oder den Vergleich der Ergebnisse mit Referenzwerten durchgeführt.<sup>11</sup>

Als Bewertungsgröße der Übereinstimmung wurden Mittelwert  $\bar{x}$  und Standardabweichung  $\sigma$  der Differenzen der Ergebnisse des zu validierenden Modells und des Vergleichsmodells herangezogen. Dieser Ansatz ist im Artikel „Einflussparameter auf Heizwärmebedarf und Kühlbedarf von Gebäuden in verschiedenen Berechnungsmethoden von EN ISO 13790“ von Gratzl-Michlmair, Heimrath und Schranzhofer (2010b) ausführlich erläutert. Kurzfassung und Abstract des Artikels befinden sich im Anhang dieser Dissertation (siehe Anhang F.6).

#### Modell der Konditionierung in der raumlufttechnischen Anlage

Das Modell der Konditionierung in der RLT-Anlage, das die Grundlage für die Ermittlung der spezifischen Energiekennwerte für Heizen, Kühlen und Befeuchten darstellt, musste einer Validierungsprüfung unterzogen werden. Die Validierungsprüfung erfolgte durch einen Vergleich mit den Ergebnissen des bereits in der ÖNORM H 5057 eingesetzten Modells zur Bestimmung der Tabellenwerte der SEK-Werte.

Für eine nachvollziehbare Validierungsprüfung war es erforderlich, die Rahmenbedingungen der beiden Modelle möglichst zu vereinheitlichen. Folgende Aspekte waren zu berücksichtigen:<sup>12</sup>

Rahmenbedingung	Validierungsmodell	Testmodell
Betriebszeiten der RLT-Anlage	12 h/d, 365 d/a	gemäß Nutzungsprofilen ( <i>angepasst</i> )
Klimadatensatz	Klimadatensätze für Worst-Case-Klima für Heizen und Kühlen	halbsynthetisches Klimamodell ( <i>angepasst</i> )

<sup>11</sup>Anmerkung: Das zu validierende Modell wird als „Testmodell“, das Vergleichswerte liefernde Modell als „Validierungsmodell“ bezeichnet.

<sup>12</sup>Der Modellansatz der verschiedenen Modelle wurde derart abgewandelt, dass ein Vergleich mit den Ergebnissen des jeweils anderen Modells möglich ist. Dass jeweils adaptierte Modell wurde mit dem Zusatz *angepasst* gekennzeichnet.

Zulufttemperatur, Zuluftfeuchte	Tabellenwerte für 20 °C; mit Toleranz: 6,5 bis 11,5 g/kg, ohne Toleranz 9,0 g/kg	variable Zulufttemperatur und Zuluftfeuchte ( <i>angepasst</i> )
Wärme- und Feuchterückgewinnungsgrad	Stützstellen bei 0 %, 45 %, 60 %, 75 % und 90 %	variable WRG und FRG ( <i>angepasst</i> )
Regelung der Zuluftfeuchte	Zuluftfeuchteregelung	Zuluftfeuchteregelung und Taupunktregelung ( <i>angepasst</i> )
Enthalpieberechnung	geringe Rundungsgenauigkeit ( <i>angepasst</i> )	erhöhte Rundungsgenauigkeit
Druckverluste im Dampfbefeuchter	zusätzliche Druckverluste ( <i>angepasst</i> )	keine zusätzlichen Druckverluste
Ergebnisgrößen	Monatswerte	Stundenwerte ( <i>angepasst</i> )

Bei den folgenden Rahmenbedingungen war keine Anpassung möglich, sodass Abweichungen in den Ergebnissen des Testmodells und des Validierungsmodells zu erwarten sind:

Rahmenbedingung	Validierungsmodell	Testmodell
Taupunktberechnung	gemäß DIN 4108-3	Magnus-Formel über Wasser, Magnus-Parameter gemäß Sonntag (1990)
Wärme- und Feuchterückgewinnung	keine Bypassregelung	Bypassregelung vorhanden
Wärmerückgewinnung im Kühlfall	im Kühlfall keine WRG möglich	Wärmerückgewinnung auch im Kühlfall
Nachheizen bei Entfeuchtung	dem Kühlen zugerechnet	dem Heizen zugerechnet

Die Validierungsrechnung wurde für 19 der 41 Benchmark-Anlagen aus der ÖNORM H 5057 durchgeführt. Dabei wurden die folgenden Parameter variiert:

- Art der Befeuchtung:
  - ohne Befeuchtung
  - Verdunstungsbefeuchtung mit Zuluftfeuchte-Regelung
  - Dampfbefeuchtung
- Wärme- und Feuchterückgewinnung:
  - keine Wärme- und Feuchterückgewinnung
  - Rückwärmezahl 45 %
  - Rückwärmezahl 90 %
  - Rückwärmezahl und Rückfeuchtezahl 60 %
- Feuchteanforderung:
  - mit Toleranz (m.T.)
  - ohne Toleranz (o.T.)

Die Beurteilung der Ergebnisse erfolgt anhand von Mittelwert  $\bar{x}$  und Standardabweichung  $\sigma$  der relativen Abweichungen, wobei als Bezugsgröße (100 %) für die Ergebnisdifferenz die Ergebnisse des Validierungsmodells dienen. Mittelwert  $\bar{x}$  und Standardabweichung  $\sigma$  sind daher im vorliegenden Anwendungsfall relative Größen und damit dimensionslos.

Für Heizen ergeben sich während der Kühlperiode, für Kühlen während der Heizperiode – bedingt durch die niedrigen absoluten Werte – sehr große relative Abweichungen, die durch die unterschiedlichen Ansätze in den beiden Modellen zu erklären sind. Von den niedrigen absoluten Werten abgesehen sind die großen Abweichungen während der Kühlperiode außerdem darauf zurückzuführen, dass die Berücksichtigung des Nutzenergiebedarfs für das Nachheizen bei Entfeuchtung in Test- und Validierungsmodell komplett unterschiedlich vorgenommen wird. Im Testmodell wird dieser Nutzenergiebedarf dem Heizen, im Validierungsmodell dem Kühlen zugeschlagen. Dadurch sind die Ergebnisse für Heizen und Kühlen während der Kühlperiode nur bedingt miteinander vergleichbar.

Diese großen Abweichungen haben maßgebliche Auswirkungen auf den Mittelwert und die Standardabweichung der Differenzen. Daher wurden im Heizfall die Werte der Kühlperiode und im Kühlfall die Werte der Heizperiode aus dem Wertebereich ausgeschlossen.

Abbildung 7.24 zeigt die Ergebnisse für die Validierungsprüfung der untersuchten Benchmark-Anlagen.

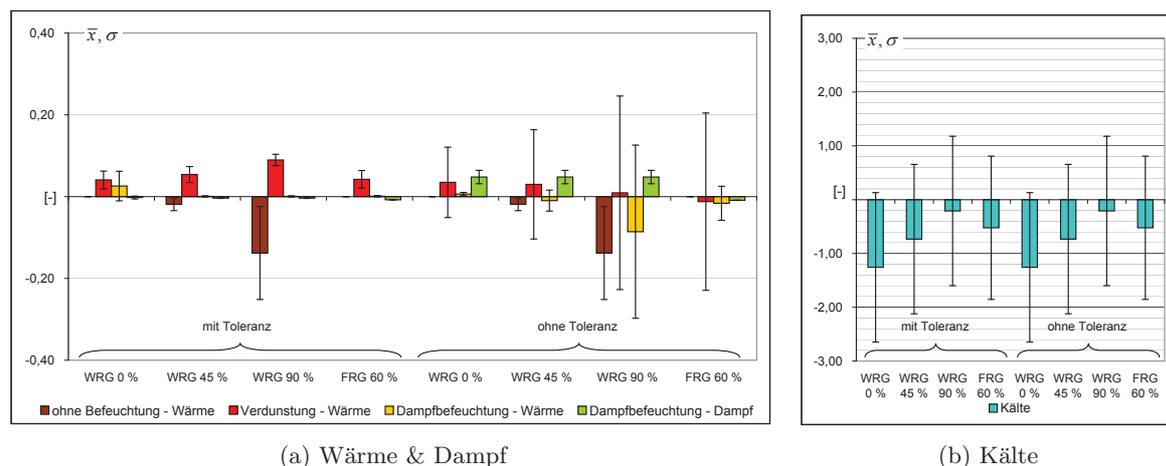


Abbildung 7.24.: Mittelwert  $\bar{x}$  und Standardabweichung  $\sigma$  (Differenzen bezogen auf die Ergebnisse des Validierungsmodells) für die Varianten der Validierung des Modells der Konditionierung in der RLT-Anlage

Die in Abbildung 7.24 dargestellten Validierungsergebnisse sind folgendermaßen zu interpretieren, die Erläuterung erfolgt einerseits getrennt für Heizen und Kühlen und andererseits getrennt nach der Art der Befeuchtung:

- **ohne Befeuchtung – Wärme**

Ergebnis: Ohne Wärmerückgewinnung ( $\Phi_{WRG} = 0$ ) ist keine Abweichung der Ergebnisse vorhanden, mit Wärmerückgewinnung treten Abweichungen auf, die mit steigenden Rückwärmezahlen zunehmen. Die Abweichungen treten bei Befeuchtung auf einen Behaglichkeitsbereich (mit Toleranz, m.T.) und bei Befeuchtung auf einen Grenzwert (ohne Toleranz, o.T.) gleichermaßen auf und betragen bis zu 10 %.

Interpretation: Die Abweichungen bei höheren Wärmerückgewinnungsgraden sind darauf zurückzuführen, dass im alten SEK-Modell die Wärmerückgewinnung über die Enthalpiedifferenzen anstatt über die Temperaturdifferenzen berücksichtigt wurde. Die Berücksichtigung über Temperaturdifferenzen entspricht der üblichen Vorgangsweise, wodurch die auftretenden Abweichungen zu erwarten waren und tolerierbar sind.

- **Verdunstungsbefeuchtung (mit Zuluftfeuchte-Regelung) – Wärme**

Ergebnis: Bei Verdunstungsbefeuchtung sind größere Abweichungen bis zu 10% vorhanden.

Interpretation: Bei Verdunstungsbefeuchtung mit Zuluftfeuchte-Regelung wird der Zuluftvolumenstrom im Vorerhitzer auf die geforderte Zuluftenthalpie konditioniert ( $h = h_{ZU}$ ), ohne dass eine Feuchtezufuhr stattfindet ( $x = x_{AU}$ ). Dadurch werden im Vorerhitzer relativ hohe Temperaturen bis zu 50°C erreicht. Im Testmodell fließt die Dichte im Vorerhitzer in die Umrechnung von Enthalpie auf Wärme (von  $h$  auf  $q$ ) ein. Im Validierungsmodell wird die starke Temperaturerhöhung im Vorerhitzer und deren Auswirkung auf die Dichte nicht berücksichtigt, da lediglich die endgültige Dichte der Zuluft in den Raum mit zwar gleicher Enthalpie, jedoch höherer Luftfeuchte und damit geringerer Temperatur als Bezugsgröße für die Umrechnung von Enthalpie auf Wärme angesetzt wird.

- **Dampfbefeuchtung – Wärme**

Ergebnis: Es sind keine maßgeblichen Abweichungen vorhanden, die Ergebnisse stimmen sehr gut überein.

- **Dampfbefeuchtung – Dampf**

Ergebnis: Es sind lediglich geringfügige Abweichungen bei Anlagen mit Befeuchtung auf einen Grenzwert (o.T.) vorhanden, die Ergebnisse stimmen grundsätzlich gut überein.

- **Kühlen**

Ergebnis: Bei der Validierungsprüfung für Kühlen treten erhebliche Unterschiede zwischen den Ergebnissen des Validierungs- und des Testmodells auf.

Interpretation: Die Ergebnisse für den Nutzenergiebedarf für Kühlen sind aus folgenden Gründen, die im Zuge der Vereinheitlichung der Rahmenbedingungen nicht korrigiert werden konnten, lediglich sehr eingeschränkt miteinander vergleichbar:

- Im Testmodell wird auch im Kühlfall eine Wärmerückgewinnung vorgenommen.
- Das Nacherhitzen bei Entfeuchtung wird im Testmodell in Analogie zum tatsächlichen Energiebedarf dem Nutzenergiebedarf für Heizen anstatt wie im Validierungsmodell jenem für Kühlen zugerechnet. Eine Vereinheitlichung der beiden Modelle ist für diesen Punkt leider nicht möglich, da dies eine maßgebliche Änderung der Berechnungsstruktur der Modelle nach sich ziehen würde.
- Bei Entfeuchtung ist im Testmodell die Zulufttemperatur das maßgebliche Kriterium und nicht mehr wie im Validierungsmodell die Zuluftfeuchte (um die geforderte Zulufttemperatur einzuhalten erfolgt eine stärkere Entfeuchtung als durch den oberen Grenzwert des Behaglichkeitsbereichs vorgegeben).

**Resümee:** Unter Berücksichtigung der genannten Unterschiede zwischen den Modellen wird das standortspezifische Modell der spezifischen Energiekennwerte (Testmodell) als am ursprünglichen SEK-Modell (Validierungsmodell) validiert betrachtet.

## Stundenweise Berechnung von Heizwärmebedarf und Kühlbedarf

Es wurde eine Validierung des vereinfachten stundenweisen Berechnungsmodells (HRLYM-Modell) vorgenommen um zu prüfen, ob die Anwendung des R5C1-Modells aus der ÖNORM EN ISO 13790 im vorliegenden Anwendungsfall plausible Ergebnisse liefert. Die Validierung der stundenweisen Berechnung des Nutzenergiebedarfs für Heizen und Kühlen wurde anhand folgender Modelle vorgenommen:

- Validierungsbeispiel gemäß der ÖNORM EN 15265
- Validierung gegen TRNSYS-Modell (Klein et al., 2008)

Mit den Validierungsbeispielen gemäß der ÖNORM EN 15265 wurde geprüft, inwieweit die Ergebnisse der hier vorliegende Umsetzung der Algorithmen des normativ festgelegten stundenweisen Berechnungsmodells mit den Monats- und Jahreswerten anderer Berechnungsmodelle übereinstimmen. Die Validierung mit dem TRNSYS-Modell diente in erster Linie zur Überprüfung, ob die berechneten Stundenwerte mit denen eines validierten thermischen Gebäudesimulationsprogramms übereinstimmen. Dazu wurde eine Parameteranalyse für unterschiedliche Eingangsgrößen durchgeführt, wodurch beim HRLYM-Modell schlussendlich auch eine Validierung der einzelnen Eingangsparameter vorgenommen wurde.

Die Ergebnisse der beiden Validierungsprüfungen können wie folgt zusammengefasst werden:

- **Validierungsbeispiel gemäß der ÖNORM EN 15265:**

Die Ergebnisse der normativ festgelegten Validierungsprüfungen P1 bis P12 ergeben Abweichungen für Heizen  $rQ_H$  und Kühlen  $rQ_C$  von maximal  $\pm 8\%$  gemäß der ÖNORM EN 15265 (siehe Abbildung 7.25). Damit kann das HRLYM-Modell im vorliegenden Anwendungsfall in der normativ festgelegten *Genauigkeitsstufe B* eingeordnet werden.

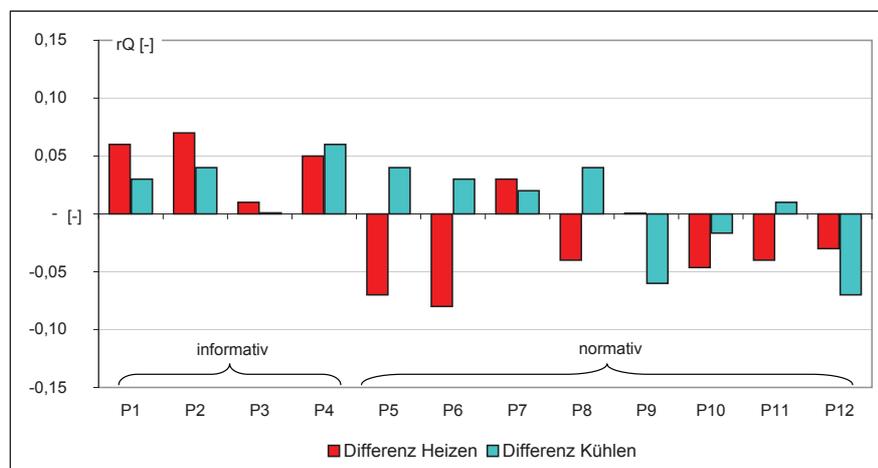


Abbildung 7.25.: Spezifischer Differenzwert gemäß der ÖNORM EN 15265 für Heizen  $rQ_H$  und für Kühlen  $rQ_C$  für die informativen und normativen Validierungsprüfungen

- **Validierung gegen TRNSYS-Modell:**

Für die Validierung des HRLYM-Modells gegen TRNSYS waren einige Anpassungen der Eingangsgrößen erforderlich, um die Rahmenbedingungen für die Berechnung der beiden Modelle einheitlich zu gestalten. Als Validierungsbeispiel wurde das Gebäudemodell der ÖNORM B 8110-6, Beiblatt 1 herangezogen.

Zur Beurteilung der Ergebnisse dieser Validierungsprüfung wurden die Gebäude in den beiden Modellen jeweils schrittweise erweitert: Auf Basis der Ergebnisse der Variante „nur Transmissionswärmeverluste“ (V01) wurde das Gebäude um die Elemente „Beleuchtung“ (V02), „interne Lasten“ (V02), „Lüftung“ (V03), „Solarstrahlung“ (V04) und schließlich „Speichermassen“ (V05) erweitert.

Maßgebliche Abweichungen sowohl in den stundenweisen Ergebniswerten als auch in den Jahressummen für Heizen und Kühlen zwischen HRLYM und TRNSYS traten erst bei der Berücksichtigung der Solarstrahlung ab Variante V04 auf. Diese Abweichungen sind darauf zurückzuführen, dass die Eingangsgrößen der beiden Modelle nicht miteinander vergleichbar sind: Im HRLYM-Modell kann die Solarstrahlung nur aus den Monatswerten der solaren Einträge ermittelt werden und wird gleichmäßig auf alle Tage des Monats aufgeteilt. Diese Vereinfachung entspricht nicht den realen Bedingungen, wie sie in TRNSYS nachgebildet werden. Die Mittelwerte der Differenzen und deren Standardabweichung sind in Abbildung 7.26 dargestellt.

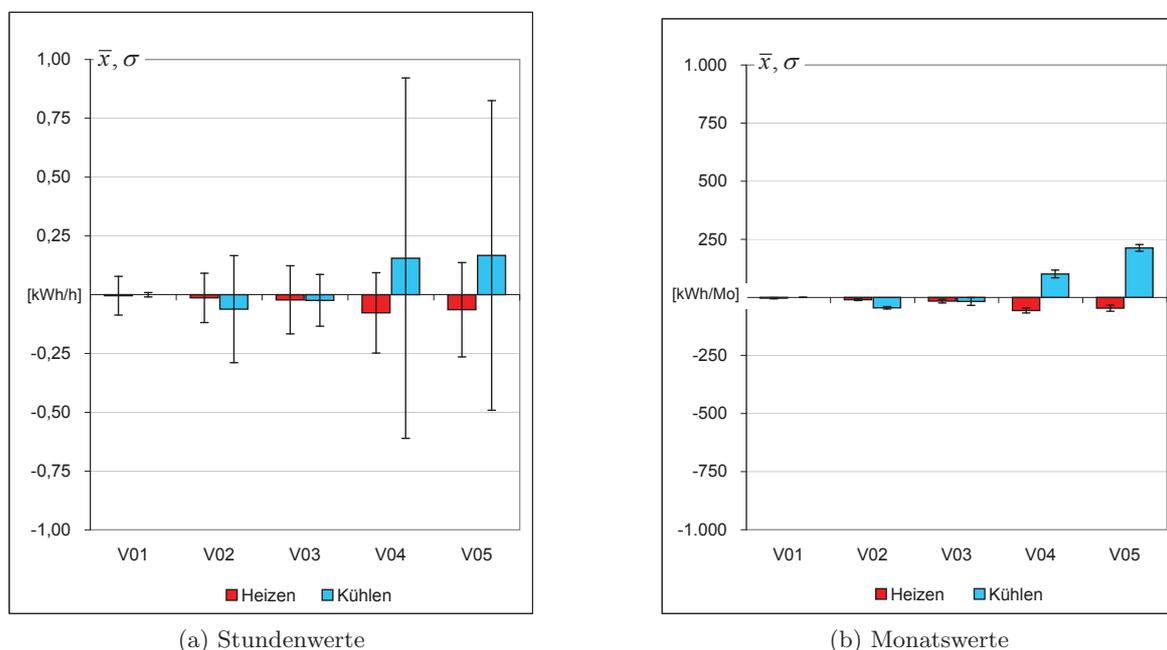


Abbildung 7.26.: Mittelwert  $\bar{x}$  und Standardabweichung  $\sigma$  (Stundenwerte (a) und Monatswerte (b)) des HRLYM-Modells im Vergleich zur TRNSYS-Simulation für die Varianten „nur Transmission“ (V01), „interne Lasten“ (V02), „Lüftung“ (V03), „Solarstrahlung“ (V04) und „Speichermassen“ (V05)

**Resümee:** Die Genauigkeitsstufe B der ÖNORM EN 15265 ist gleichbedeutend mit „guten“ Ergebnissen einer thermischen Gebäudesimulation. Diese Ergebnisqualität ist für ein stundenweises Verfahren mit Eingabegrößen aus einem quasi-stationären Monatsverfahren wie in der vorliegenden Anwendung sehr zufriedenstellend. Auch die Abweichungen gegenüber TRNSYS sind auf die eingeschränkten Eingabegrößen aus dem Monatsverfahren zurückzuführen und daher im Wesentlichen durch die mangelhafte Berücksichtigung der Solarstrahlung bedingt.

Die Ergebnisse der Validierungsprüfungen werden für den vorliegenden Anwendungsfall des R5C1-Modells daher als ausreichend erachtet.

## Klimadaten

Die verwendeten Klimadaten beruhen auf dem halbsynthetischen Klimamodell (HSKM), das in der ÖNORM B 8110-5 Beiblatt 2 definiert ist. Für die Validierung dieses Modells wurden Vergleiche mit Test-Reference-Year-Daten (TRY, Periode 1991 - 2005) für zwölf verschiedene Standorte in Österreich vorgenommen. Dabei wurden für Außenlufttemperatur  $\theta_{AU}$ , Außenluftfeuchte  $x_{AU}$  und Außenluftenthalpie  $h_{AU}$  jeweils Stundenwerte und Monatsmittelwerte des halbsynthetischen Klimamodells mit den TRY-Daten verglichen. Als Beurteilungsgrößen kamen wiederum Mittelwert  $\bar{x}$  und Standardabweichung  $\sigma$  der Differenzen der Ergebniswerte zum Einsatz.

In Abbildung 7.27 auf Seite 162 sind die Abweichungen der Ergebnisse zwischen halbsynthetischem Klimamodell (HSKM) und Testreferenzyear (TRY) für Außenlufttemperatur (a), Außenluftfeuchte (b) und Außenluftenthalpie (c, d) dargestellt. Der Vergleich wurde jeweils auf Grundlage von Monatsmittelwerten beziehungsweise für die Außenluftenthalpie auch auf Grundlage von Stundenwerten durchgeführt. Es wird deutlich, dass zwischen den beiden Modellen durchaus erhebliche Unterschiede vorhanden sind:

- Außenlufttemperatur: Die mittlere jährliche Außenlufttemperatur beträgt etwa  $10^\circ\text{C}$ , die dargestellten mittleren Abweichungen der Monatsmittelwerte  $\bar{x}$  betragen je nach Standort bis zu  $3,0\text{K}$ . Dazu kommen Standardabweichungen  $\sigma$  von bis zu  $2,0\text{K}$ . Die hohen Werte von  $\bar{x}$  lassen darauf schließen, dass bereits die Monatsmittelwerte des HSK-Modells erhebliche Abweichungen hervorrufen. Diese Monatsmittelwerte werden aus dem Klimadatenmodell der ÖNORM B 8110-5 übernommen, dessen Modellansatz diese Abweichungen zu Gunsten eines einfachen Modells offensichtlich in Kauf nimmt.
- Außenluftfeuchte: Für die Außenluftfeuchte ist der Mittelwert der Differenzen  $\bar{x}$  eher gering, dafür ist die Standardabweichung  $\sigma$  vergleichsweise hoch. Dies bedeutet, dass der angesetzte Jahresmittelwert die tatsächlichen Verhältnisse relativ gut abbildet, die überlagernden Monats- und Tagesschwingungen jedoch Abweichungen hervorrufen.
- Außenluftenthalpie: Die Abweichungen der Außenluftenthalpie (c, d) stellen eine Überlagerung der Differenzen von Außenlufttemperatur und Außenluftfeuchte dar. Die Mittelwerte der Abweichungen sind mäßig hoch, die zugehörigen Standardabweichungen eher hoch. Dies lässt sich vergleichsweise gut durch die hohen Mittelwerte der Differenzen der Außenlufttemperatur und die hohen Standardabweichungen der Differenzen der Außenluftfeuchte erklären.

Im Zuge der Berechnung von Außenlufttemperatur und -feuchte erfolgte ursprünglich keine Überprüfung, ob die Sättigungsfuchte überschritten ist. So trat häufig der Fall auf, dass Außenluftzustände im übersättigten Bereich liegen, was keinem realen Luftzustand entspricht. Dadurch wurden die Gesamtergebnisse der Berechnung durch den Einfluss des Klimamodells zum Teil erheblich verfälscht. Es wurde daher im Rahmen der Einarbeitung des halbsynthetischen Klimamodells in das standortspezifische SEK-Modell eine diesbezügliche Überprüfung eingeführt, sodass nun keine Außenluftzustände mit einer relativen Luftfeuchte größer  $100\%$  ( $\varphi > 1,0$ ) mehr auftreten können.

Für die Abweichungen der Stundenwerte der Außenluftenthalpie  $h$  – dargestellt in Abbildung 7.27 (d) sind die Mittelwerte  $\bar{x}$  nur geringfügig höher als jene der Abweichungen der Monatsmittelwerte in 7.27 (c). Die Standardabweichungen  $\sigma$  hingegen sind deutlich höher,

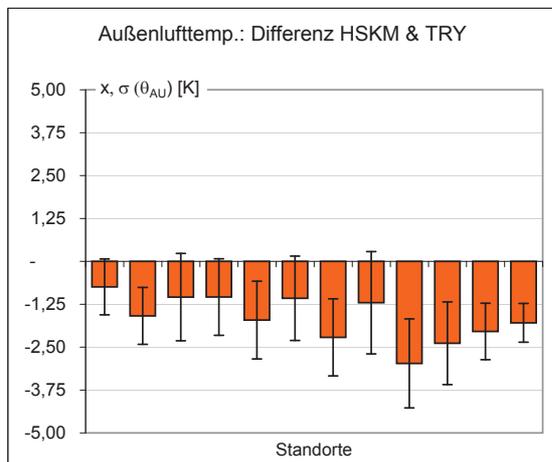
die Werte bei stundenweiser Betrachtung werden beinahe doppelt so hoch wie bei der Betrachtung der Monatsmittelwerte. Dies bedeutet, dass die Abweichungen der einzelnen Stundenwerte deutlich größere Schwankungen aufweisen als jene der Monatsmittelwerte. Dies ist unter anderem auf die fast 1000-fache Anzahl an Werten bei der stundenweisen im Vergleich zur monatsweisen Betrachtung zurückzuführen. Die größeren Abweichungen der Einzelwerte bei stundenweiser Betrachtung werden auch durch die Darstellungen der stundenweisen Temperatur-, Feuchte-, und Enthalpieverläufe der Außenluft in den Monaten Jänner und Juli in der Abbildung 7.28 auf Seite 163 unterstrichen.

**Resümee:** Die stundenweisen Ergebniswerte des halbsynthetischen Klimamodells für Außenlufttemperatur und Außenluftfeuchte am Standort Klagenfurt in den Monaten Jänner und Juli stimmen tendenziell gut mit den realen Verläufen, die durch das Test-Reference-Year-Modell beschrieben werden, überein.

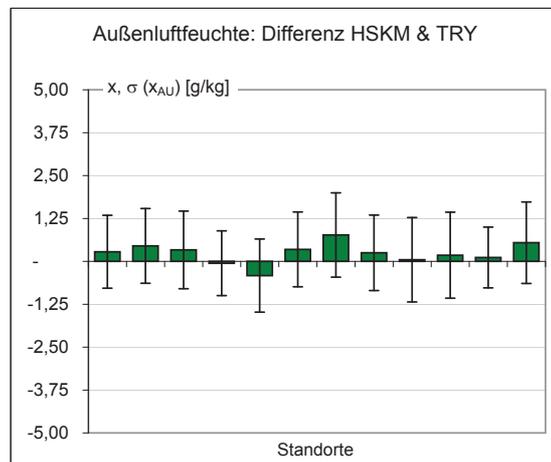
Die Abweichungen sind einerseits bedingt durch die Vereinfachungen des allgemeinen Klimamodells der ÖNORM B 8110-5 zur Bestimmung der Monatsmittelwerte der Außenlufttemperatur für die sieben Klimazonen. Für den Standort Klagenfurt sind die Abweichungen in den Monaten Jänner (0,042 K) und Juli (1,325 K) mäßig hoch. An anderen Standorten treten deutlich höhere Abweichungen der Differenzen der Monatsmittelwerte auf (bis zu 6 K), was auf das Klimadatenmodell der ÖNORM B 8110-5 zurückzuführen ist. Offensichtlich ist dieses Klimadatenmodell nicht mit der Systematik der „Testreferenceyears“ kompatibel. Es ist daher zu prüfen, ob mit diesem Modell korrekte Ergebnisse auch für das quasi-stationäre Monatsbilanzverfahren gewährleistet werden können.

Andererseits wird durch die harmonischen Monats- und Tagesschwankungen von Temperatur und Feuchte und damit in weiterer Folge auch Enthalpie der Außenluft eine Annahme getroffen, die lediglich eine sehr eingeschränkte Abbildung der lokalen Klima- und Wetterverhältnisse darstellen kann. Analog zur Vereinfachung für das allgemeine Klimamodell der ÖNORM B 8110-5 war daher bereits bei der Entwicklung des HSK-Modells mit Abweichungen zu rechnen, deren Höhe sich in den Darstellungen in Abbildung 7.28 widerspiegelt.

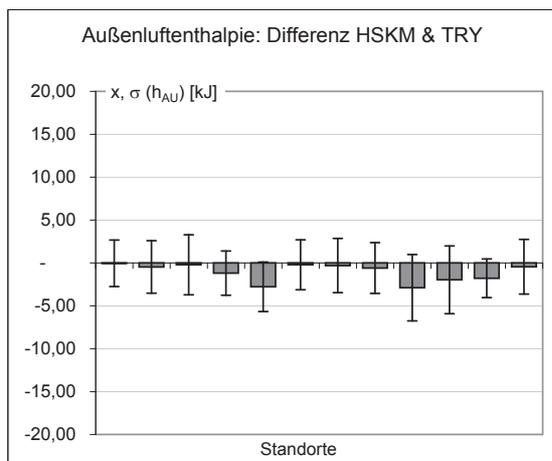
Für die schlussendlich maßgeblichen Enthalpiewerte treten beachtlich geringe Differenzen zwischen dem HSK-Modell und den TRY-Daten auf. Die Mittelwerte der Differenzen der Stundenwerte betragen maximal 3 kJ/kg, was einer Abweichung von rund 10 % entspricht. Ein derartiger Maximalwert der Abweichungen würde in Analogie zur Einteilung der Validierungsprüfungen gemäß der ÖNORM EN 15265 wiederum eine Einordnung in *Genauigkeitsstufe B* mit guten Ergebnissen bedeuten. Dieses Ergebnis ist in Anbetracht der erforderlichen Vereinfachungen der Modelle (höhenabhängige Berechnung der Monatsmittelwerte, harmonische Schwingungen für Stundenwerte) und des Einsatzzwecks ausreichend. Dadurch kann die Validierungsprüfung des halbsynthetischen Klimamodells als ausreichend erfüllt betrachtet werden, das grundsätzliche Klimadatenmodell gemäß der ÖNORM B 8110-5 ist zu prüfen und gegebenenfalls zu überarbeiten.



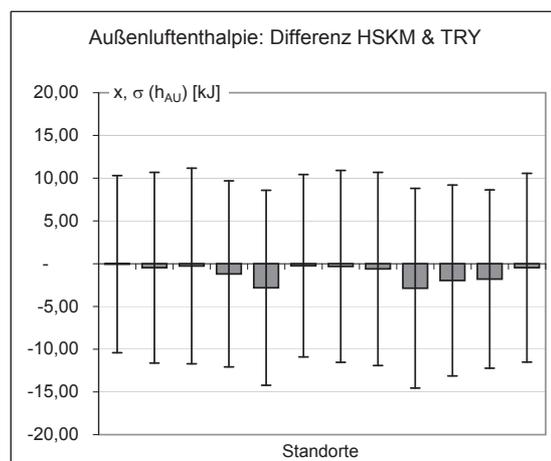
(a) Außenlufttemperatur



(b) Außenluftfeuchte

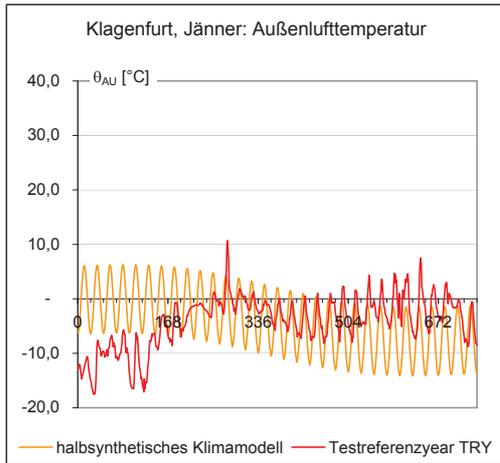


(c) Außenluftenthalpie (Monatsmittelwerte)

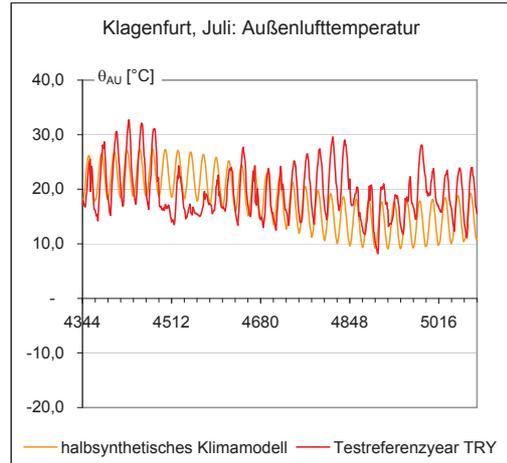


(d) Außenluftenthalpie (Stundenwerte)

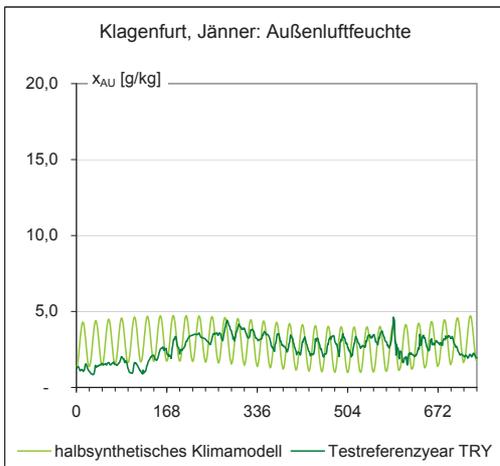
Abbildung 7.27.: Mittelwert  $\bar{x}$  und Standardabweichung  $\sigma$  der Differenzen der Monatswerte gemäß halbsynthetischem Klimamodell (HSKM) und Testreferenz-Jahr (TRY) von Temperatur (a), Feuchte (b) und Enthalpie (c, d) der Außenluft an zwölf Standorten in Österreich



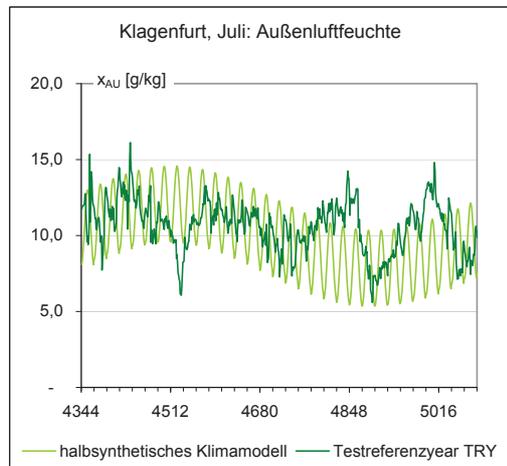
(a) Außenlufttemperatur Jänner



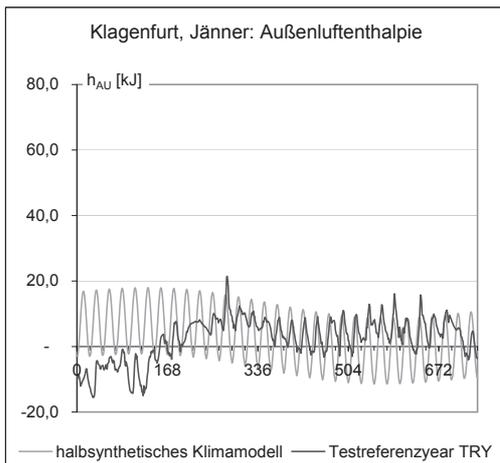
(b) Außenlufttemperatur Juli



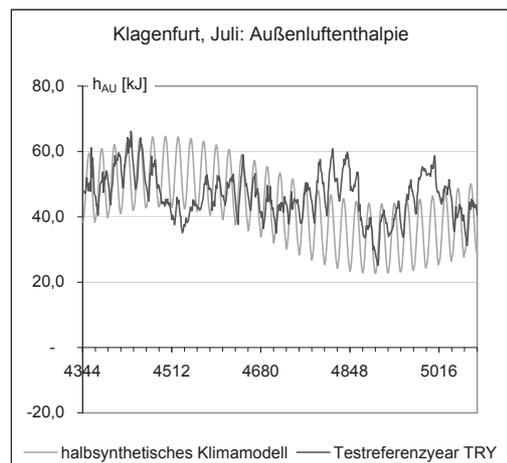
(c) Außenluftfeuchte Jänner



(d) Außenluftfeuchte Juli



(e) Außenluftenthalpie Jänner



(f) Außenluftenthalpie Juli

Abbildung 7.28.: Verlauf von Temperatur (a, b), Feuchte (c, d) und Enthalpie (e, f) der Außenluft am Standort Klagenfurt in den Monaten Jänner und Juli für Werte gemäß halbsynthetischem Klimamodell und Testreferenz-Jahr

## Erdreichwärmetauscher

Für das Modell des Erdreichwärmetauschers wurde eine Validierungsprüfung vorgenommen, mittels derer die Umsetzung des vereinfachten EWT-Modells der ÖNORM EN 15241 im Rahmen der standortspezifischen SEK-Berechnung auf ihre Tauglichkeit geprüft wurde. Als Validierungsbeispiele wurden dazu einerseits Berechnungsbeispiele aus verschiedenen Literaturquellen herangezogen, wobei nur in wenigen Fällen konkrete Eingabedaten und die dazugehörigen Ergebnisse verfügbar waren. Andererseits wurden andere Berechnungsprogramme für Erdreichwärmetauscher verwendet, um Vergleichsrechnungen durchzuführen. Die Ergebnisse der Validierungsprüfungen sind in weiterer Folge dargestellt.

Das in der ÖNORM EN 15241 beschriebene EWT-Modell wurde in das Programm zur Berechnung standortspezifischer SEK-Werte integriert. Zur Validierung wurden die damit gewonnenen Ergebnisse mit jenen des Programms WKM v3.8 für die Auslegung von Erdreichwärmetauschern (Huber et al., 2006) und den Ergebnissen einer Sensitivitätsanalyse von Blümel et al. (2001) verglichen. Als Validierungsbeispiel wurde eine Anlagenkonfiguration gewählt, wie sie auch Blümel et al. (2001) für eine Sensitivitätsanalyse von Einflussgrößen auf Erdreichwärmetauscher gewählt haben. Die Ergebnisse der Validierungsrechnung sind in der Tabelle 7.18 für die Modelle EN, WKM-1<sup>13</sup>, WKM-2<sup>14</sup>, WKM-3<sup>15</sup> und Blümel et al. (2001)<sup>16</sup> dargestellt.

Tabelle 7.18.: Ergebnisse der Validierungsrechnung für die Modelle EN, WKM-1, WKM-2, WKM-3 und Blümel

Modell	$q_{h,EWT}$	$q_{c,EWT}$
EN 15241 angewandt im standortspezifischen SEK-Modell (Testmodell)	1733 kWh/a	1747 kWh/a
WKM-1: Ergebniswerte der Berechnung (Heizgrenze 20 °C, Kühlgrenze 20 °C)	1788 kWh/a	1176 kWh/a
WKM-2: Ergebniswerte über $\theta_{AU}$ und $\theta_{EWT}$ nach Paepe und Janssens (2003)	3185 kWh/a	2587 kWh/a
WKM-3: Klimadatensatz Graz.dat (berechnet mit WKM v3.8)	2933 kWh/a	1414 kWh/a
Simulation Blümel (berechnet mit WKM v2.0) (Blümel et al., 2001)	2667 kWh/a	2076 kWh/a

Die Ergebnisse der Validierungsrechnung (dargestellt in der Tabelle 7.18) sind äußerst heterogen, was darauf zurückzuführen ist, dass die Eingabeparameter in das Programm WKM

<sup>13</sup>Die Berechnungsergebnisse des WKM-Programms sind abhängig von der Heiz- und Kühlgrenztemperatur auch wenn kein Bypass-System vorgesehen ist. Diese Abhängigkeit ist im EN-Modell nicht abgebildet.

<sup>14</sup>Um die Heiz- und Kühlgrenze zu umgehen, wurde eine vereinfachte Berechnung des Energieertrags nach Paepe und Janssens (2003) auf Grundlage von  $Q = \dot{v} \cdot \rho_L \cdot c_{p,L} \cdot \Delta\theta \cdot t$  vorgenommen.

<sup>15</sup>Um einen Vergleich zu den Ergebnissen von Blümel herstellen zu können, wurde das Modell WKM-3 definiert, das mit dem Klimadatensatz für Graz (graz.dat) berechnet wurde.

<sup>16</sup>Der von Blümel et al. (2001) eingesetzte Klimadatensatz für Graz aus dem WKM-Archiv ist für die Anwendung im SEK-Modell nicht verfügbar. Aus diesem Grund wurde der Klimadatensatz TRY-Klagenfurt verwendet, weswegen Abweichungen zwischen den Ergebnissen von Blümel und dem SEK-Modell zu erwarten sind.

nicht vollständig nachvollziehbar sind (Defaultwerte für Heiz- und Kühlgrenze und Ergebnisänderung auch wenn kein Bypass-System vorhanden ist). Es wurde daher eine vertiefte Analyse anhand der ausgegebenen Lufttemperaturen für das Modell WKM-2 vorgenommen. Folgende Aspekte waren dabei auffallend:

- Erdreichtemperatur  $\theta_{BO}$ :  
Die Temperatur des umgebenden Erdreichs unterscheidet sich in den beiden Modellen EN und WKM-2 erheblich voneinander. Durch eine Korrektur im EN-Modell auf die Parameter  $\theta_{AUm} = 10^\circ\text{C}$ ,  $\Delta\theta_{AU} = 10\text{K}$  und  $\Delta T_{BO} = 0\text{h}$  kann die Deckung der Kurven der Lufttemperaturen nach dem EWT in der Abbildung 7.29 auf der nächsten Seite wesentlich verbessert werden.
- Erdreichtemperatur  $\theta_{BO}$ :  
Die Abbildung 7.29 auf der nächsten Seite zeigt, dass die Lufttemperaturen nach dem EWT bei der Berechnung mit dem Modell WKM-2 deutlich geringeren Schwankungen unterworfen sind als im EN-Modell. Dies ist darauf zurückzuführen, dass im EN-Modell die Erdreichtemperaturen  $\theta_{BO}$  nicht durch den Wärmestrom vom Erdreich zum EWT beeinflusst werden. Im WKM-Modell wird dies berücksichtigt, sodass in Phasen mit hohen Entzugsleistungen die Erdreichtemperatur sinkt und danach eine verminderte Übertragungsleistung durch den EWT zur Verfügung steht.
- Wärmeübergangskoeffizient  $U_d$ :  
Im EN-Modell wurde im Unterschied zu anderen gängigen EWT-Berechnungsalgorithmen der Einfluss des an das Rohr angrenzenden Erdreichs vollständig vernachlässigt. In der Regel wird dieser Einfluss durch einen zusätzlichen Term in der  $U_d$ -Berechnung berücksichtigt (Polifke und Kopitz, 2005):

$$U_d = (R_{\alpha,i} + R_{\lambda,Rohr} + R_{\lambda,Erde})^{-1} \quad (7.66)$$

Durch die Vernachlässigung des Terms  $R_{\lambda,Erde}$  im EN-Modell ergibt sich ein höherer U-Wert und damit aus der Formel  $Q = U \cdot A \cdot \Delta\theta \cdot t$  ein höherer Wärmestrom vom Erdreich zum Luftvolumenstrom im EWT.

Die Abbildung 7.29 enthält eine grafische Darstellung der mittleren täglichen Temperaturen der Außenluft ( $\theta_{AU}$ ), des Erdreichs gemäß EN-Modell ( $\theta_{BO}$ ) und der Luft nach dem Erdreichwärmetauscher für das EN-Modell ( $\theta_{EWT}(\text{EN})$ ) beziehungsweise für das Modell WKM-2 ( $\theta_{EWT}(\text{WKM})$ ).

### Resümee:

Zusammenfassend muss festgehalten werden, dass die Ergebnisse der Validierungsprüfung des Erdreichwärmetauschers nur wenig zufriedenstellend sind. Die Übereinstimmung mit dem Modell WKM-1 ist unter Berücksichtigung der vernachlässigten Einflussparameter im hier angewandten EN-Modell gut, bei den übrigen Modellen ist die Übereinstimmung – auch untereinander – mangelhaft.

Diesen eher mangelhaften Validierungsergebnissen ist jedoch entgegenzuhalten, dass es sich beim angewandten Modell einerseits um ein normativ festgelegtes und andererseits um ein stark vereinfachtes Modell handelt. Der Hauptzweck dieses Modells war es, die pauschale Abbildung der Effizienz von Erdreichwärmetauschern gemäß der ÖNORM B 8110-6 zu verbessern. Dieser Zweck wird mit dem eingesetzten Modell erfüllt, die Ergebnisse variieren für unterschiedliche Konfigurationen deutlich voneinander und ergeben plausiblere Werte als eine

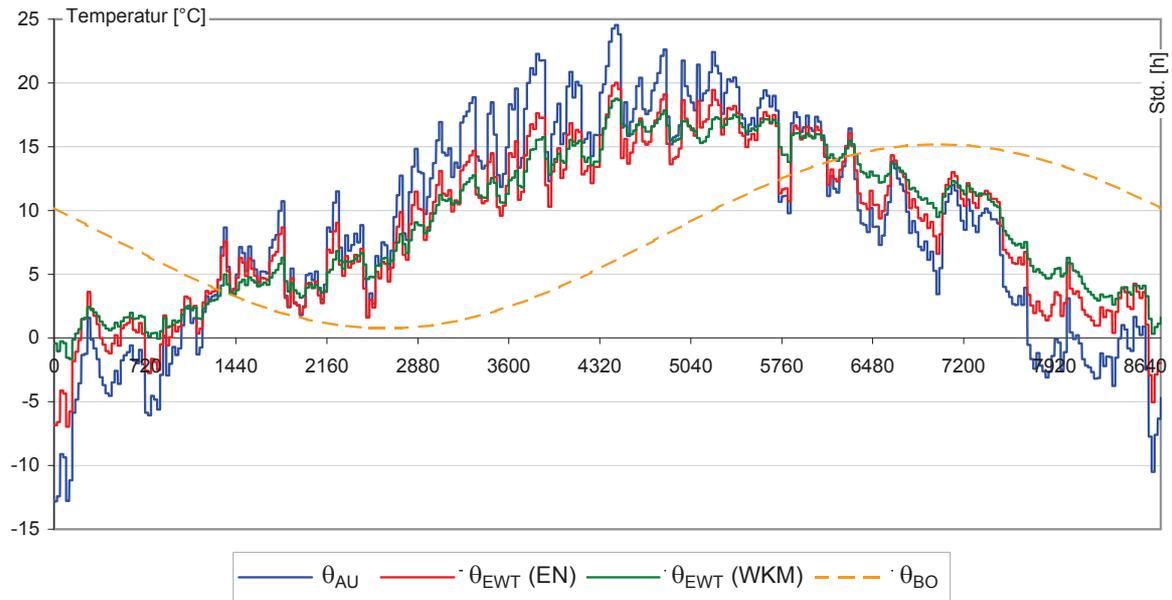


Abbildung 7.29.: Gegenüberstellung der mittleren täglichen Austrittstemperaturen aus dem Erdreichwärmetauscher des EN-Modells im Vergleich mit dem Modell WKM-2. Annahmen: Klimadatensatz TRY Klagenfurt, Luftvolumenstrom  $500 \text{ m}^3/\text{h}$ , Außendurchmesser  $200 \text{ mm}$ , Verlegetiefe  $2,0 \text{ m}$ , Länge  $50 \text{ m}$ , 1 Rohrstrang, Erde feucht, PVC-Rohr ( $\lambda = 0.23 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ )

monatliche Effizienz von  $10\%$  oder  $15\%$  wie in der ÖNORM B 8110-6 angesetzt. Aus diesem Grund wird das Modell trotz geringer Übereinstimmung bei den Validierungsergebnissen beibehalten.

### 7.3.6. Auswirkungen auf die Ergebnisse

Im vorigen Abschnitt wurde dargestellt, dass die wesentlichen Berechnungsteile des standort-spezifischen SEK-Modells detaillierten Validierungsprüfungen unterzogen wurden. Die Validierungsergebnisse der einzelnen Teile sind zufriedenstellend, es spricht daher nichts dagegen, die Teilmodelle zu einem Gesamtmodell zusammenzufügen.

In diesem Abschnitt wird erläutert, wie sich die Gesamtergebnisse des neuen SEK-Modells von jenen des bisherigen SEK-Modells unterscheiden. Für diese Aufgabenstellung wurden für insgesamt 720 Varianten der jährliche Nutzenergiebedarf für Heizen, Kühlen und Befeuchten für beide SEK-Modelle berechnet.

#### Parameter

Für die verschiedenen Varianten wurden folgende Parameter variiert:

- Standort: zwölf Standorte in Österreich in unterschiedlichen Klimaregionen und mit unterschiedlicher Seehöhe
- Nutzungszeit des Gebäudes: 7 h/d (Nutzungsprofil Veranstaltungsstätten), 12 h/d (Nutzungsprofil Bürogebäude), 24 h/d (Nutzungsprofil Pflegeheim)
- Befeuchtertyp: keine Befeuchtung, Verdunstungsbefeuchtung, Dampfbefeuchtung; jeweils mit Zuluftfeuchte-Regelung
- Art der Wärmerückgewinnung: Wärmerückgewinnung, Wärme- und Feuchterückgewinnung
- Grad der Wärmerückgewinnung: Defaultsysteme gemäß der ÖNORM B 8110-6

Wie sich Erdreichwärmetauscher, Mischkammer und tatsächliche Ventilatorpressung auf die Qualität der Ergebnisse auswirken, konnte nicht erhoben werden, da für diese Parameter keine vergleichbaren Eingangsgrößen für das ursprüngliche Modell  $SEK_{alt}$  verfügbar sind. Die genannten Elemente wurden der Berechnung im Modell  $SEK_{neu}$  neu hinzugefügt, sodass kein Vergleich der Ergebnisse – abgesehen von der Validierung mit anderen Modellen – vorgenommen werden konnte.

#### Ergebnisse

Die Ergebnisse der Vergleichsrechnung sind in der Abbildung 7.30 auf der nächsten Seite dargestellt. Abgebildet sind dabei die Ergebnisse des Nutzenergiebedarfs für Heizen (a), Kühlen (b) und Befeuchten (c) nach der neuen SEK-Berechnung  $SEK_{neu}$  auf der Abszisse, jene der ursprünglichen Berechnung  $SEK_{alt}$  auf der Ordinate. Bei übereinstimmenden Ergebnissen der beiden Berechnungsmodelle würde die eingetragene lineare Trendlinie durch den Ursprung eine Steigung von  $k = 1$  aufweisen, auch das Bestimmtheitsmaß würde  $R^2 = 1$  betragen.

Bei Betrachtung der Ergebnisgrafik für alle Varianten in der Abbildung 7.30 ist auf den ersten Blick kein Zusammenhang zwischen den Ergebnissen zu erkennen. Dies ist darauf zurückzuführen, dass sich die entwickelten Berechnungsteile in einzelnen Aspekten deutlich von

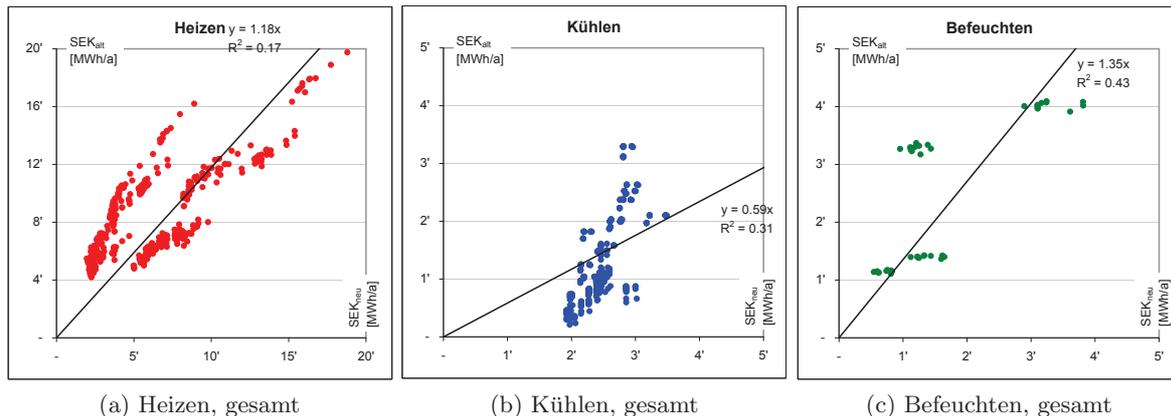


Abbildung 7.30.: Gegenüberstellung der Ergebnisse des Nutzenergiebedarfs für Heizen, Kühlen und Befeuchten (Dampfbefeuchtung) für die verschiedenen Modelle für alle untersuchten Varianten

der ursprünglichen Berechnung unterscheiden, da sie an Genauigkeit gewinnen. Die auftretenden Abweichungen zwischen den Ergebnissen der beiden Modelle sind daher bei detaillierterer Betrachtung auf wenige unterschiedliche Parameter reduzierbar. Sie können durchaus plausibel erklärt und anhand der Darstellungen in den Abbildungen 7.31 auf Seite 170 und 7.32 auf Seite 171 übersichtlich gezeigt werden:

- **Standort**

Der Einfluss der Klimadaten ist in der Abbildung 7.31 zu erkennen und ist speziell bei Befeuchtung besonders stark ausgeprägt: Durch die Berechnung der SEK-Werte über Worst-Case-Klimata beim Modell SEK<sub>alt</sub> wird grundsätzlich keine Unterscheidung des Standortklimas vorgenommen. Für Heizen und Kühlen wird dies durch die Standortkorrektur erreicht. Diese Standortkorrektur ist jedoch für Befeuchtung nicht möglich, wodurch der Nutzenergiebedarf für Befeuchten – abgesehen von einem geringen Einfluss des Heizwärmebedarfs – nahezu unabhängig vom Standort ist. Aus der Darstellung (c) der Abbildung 7.30 beziehungsweise den Darstellungen (c, f) der Abbildung 7.32 ist dies ablesbar, da die SEK<sub>alt</sub>-Werte der Punktwolken auf der Ordinate alle nahezu gleich sind, die SEK<sub>neu</sub>-Werte auf der Abszisse jedoch variieren. Dieser Effekt ist besonders ausgeprägt in der Darstellung (c) von Abbildung 7.31 zu erkennen, wo für eine Anlagenkonfiguration an den verschiedenen Standorten nahezu konstante Ergebnisse im Modell SEK<sub>alt</sub> auftreten, im Modell SEK<sub>neu</sub> jedoch deutliche Unterschiede vorhanden sind.

Für Heizen und Kühlen ist aus der Abbildung 7.31 ein deutlich besserer Zusammenhang der Ergebnisse in Abhängigkeit von den verschiedenen Standorten zu erkennen. Dieser Zusammenhang ist zwar linear, geht jedoch nicht durch den Ursprung und weist eine Steigung von  $k \neq 1$  auf. Dies bedeutet, dass zwar in beiden Modellen ein Einfluss des Standorts auf die Ergebniswerte von Heizen und Kühlen vorhanden ist, dieser jedoch verschieden stark ausgeprägt ist. Bei Kühlen kann das Bestimmtheitsmaß  $R^2$  noch deutlich erhöht werden, wenn die Standorte Eisenstadt, Bregenz und Graz nicht berücksichtigt werden (von  $R^2 = 0,52$  auf  $R^2 = 0,98$ ). Offensichtlich ist die Standortkorrektur für diese Standorte im Modell SEK<sub>alt</sub> nur unzureichend und wird durch das standortspezifische Modell in SEK<sub>neu</sub> anders abgebildet.

- **tägliche Nutzungszeit**

Im Modell  $SEK_{alt}$  wird versucht, während der Betriebszeit der RLT-Anlage einen größtmöglichen Nutzenergiebedarf über die RLT-Anlage in den Raum einzubringen. Ob die Anlage bei Anfall des Nutzenergiebedarfs tatsächlich in Betrieb ist, konnte bisher durch die Einschränkungen des Monatsbilanzverfahrens nicht abgebildet werden.

Im Modell  $SEK_{neu}$  kann der zeitliche Anfall des Nutzenergiebedarfs abgebildet werden. Unter der Annahme, dass die Grundlasten über ein konventionelles Heiz- oder Kühlsystem abgedeckt werden, ist bei eingeschränkter Betriebszeit der RLT-Anlage der verbleibende Nutzenergiebedarf für Heizen und Kühlen dementsprechend geringer. Eine detaillierte Analyse der Auswirkungen dieses Aspekts wird durch die Darstellungen in der Abbildung 7.32 ermöglicht.

Der beschriebene Zusammenhang aus zeitlichem Anfall des Nutzenergiebedarfs und Betriebszeit der raumlufttechnischen Anlage wird insbesondere für den Nutzenergiebedarf für Heizen deutlich: In den Darstellungen (a) und (d) der Abbildung 7.32 sind die Ergebnisse der verschiedenen Varianten getrennt nach deren täglichen Nutzungszeiten von 24 h (Pflegeheim) und 12 h (Bürogebäude) aufgliedert. Bei einer Nutzungszeit von 24 h ist bei Heizen die Abweichung von der Steigung  $k = 1$  gering, auch das Bestimmtheitsmaß ist mit  $R^2 = 0,91$  hoch. Im Unterschied dazu ist die Steigung bei einer täglichen Nutzungszeit von 12 h deutlich höher ( $k = 2$ ). Das bedeutet, dass die Ergebnisse für den Nutzenergiebedarf zur Konditionierung des Luftvolumenstroms für Heizen für das Modell  $SEK_{alt}$  rund zweimal höher waren als jene des Modells  $SEK_{neu}$ . Die von der RLT-Anlage abgedeckte Nutzenübergabe für Heizen war also im ursprünglichen Modell rund doppelt so hoch.

Bei den Ergebniswerten der Dampfbefeuchtung ist der Effekt ebenso zu erkennen: Wenn die Variantenergebnisse nach der täglichen Nutzungszeit unterschieden werden, ist eine eindeutige Tendenz in den Ergebnissen ablesbar, der Zusammenhang ist nahezu linear mit geringer Abweichung der einzelnen Werte ( $R^2$  ist jeweils relativ hoch). Die Steigung der Trendlinien lässt jedoch erkennen, dass die Ergebnisse für eine tägliche Nutzungszeit von 24 h sehr gut übereinstimmen ( $k = 1, 2$ ). Bei kürzerer täglicher Nutzungszeit tritt der zuvor beschriebene Effekt wieder deutlich zu Tage, nämlich dass die Ergebniswerte von  $SEK_{alt}$  rund 2,5 Mal höher sind als jene von  $SEK_{neu}$ .

Auch für Kühlen ist die Tendenz zu erkennen, dass der Zusammenhang zwischen den Ergebnissen der beiden Modelle  $SEK_{alt}$  und  $SEK_{neu}$  deutlicher wird, wenn eine Unterscheidung nach den untersuchten Nutzungsprofilen und demnach der täglichen Nutzungszeit vorgenommen wird. Der Zusammenhang bleibt zwar weiterhin eher niedrig, das Bestimmtheitsmaß  $R^2$  steigt jedoch zumindest bei einer Nutzungszeit von 12 h/d auf 0,40 an. Der allgemein eher ungünstige Zusammenhang für die Ergebniswerte des Nutzenergiebedarfs für Kühlen ist auf die im Abschnitt 7.3.5 beschriebenen Unterschiede zwischen den beiden Modellen zurückzuführen.

- **Befeuchtertyp**

Die Art der Befeuchtung hat keinen erkennbaren Einfluss auf die Qualität der Ergebnisse. Es treten keine maßgeblichen Unterschiede beim Nutzenergiebedarf für Heizen und Kühlen auf die darauf zurückzuführen sind, dass keine Befeuchtung, Verdunstungs- oder Dampfbefeuchtung vorhanden ist.

- **Wärmerückgewinnung**

Im Modell  $SEK_{alt}$  ist im Kühlfall keine Wärmerückgewinnung möglich. Im neuen Modell hingegen wird – sofern eine Wärmerückgewinnung vorhanden ist – diese im Bedarfsfall auch zum Kühlen genutzt. Für den vorliegenden Ergebnisvergleich wurde jedoch im Modell  $SEK_{neu}$  ein Sommerbypass aktiviert, um vergleichbare Rahmenbedingungen zu schaffen.

Dies war jedoch nur bedingt erfolgreich, da im Modell  $SEK_{alt}$  auch eine Wechselwirkung zwischen der im Heizfall aktiven Wärmerückgewinnung und dem Nutzenergiebedarf für Kühlen vorhanden ist: Bei steigenden Rückwärmehzahlen tritt häufiger ein Überwärmen durch die Wärmerückgewinnung auf, sodass im Zuge der weiteren Konditionierung in der RLT-Anlage die Kühlung aktiv werden muss. Diese Möglichkeit der Überwärmung ist im neuen Modell  $SEK_{neu}$  ausgeschlossen, in einem derartigen Fall würde der Bypasskanal aktiviert werden.

- **Feuchterückgewinnung**

Der Einfluss der Feuchterückgewinnung ist hauptsächlich bei den Ergebnisgrafiken für Befeuchtung zu erkennen: Sofern Feuchterückgewinnung vorhanden ist, wird diese in beiden Modellen entsprechend abgebildet, die Ergebniswerte stimmen vergleichsweise gut überein, wenn eine Unterscheidung nach der täglichen Nutzungszeit vorgenommen wird (siehe Abbildung 7.32, Darstellungen (c) und (f)).

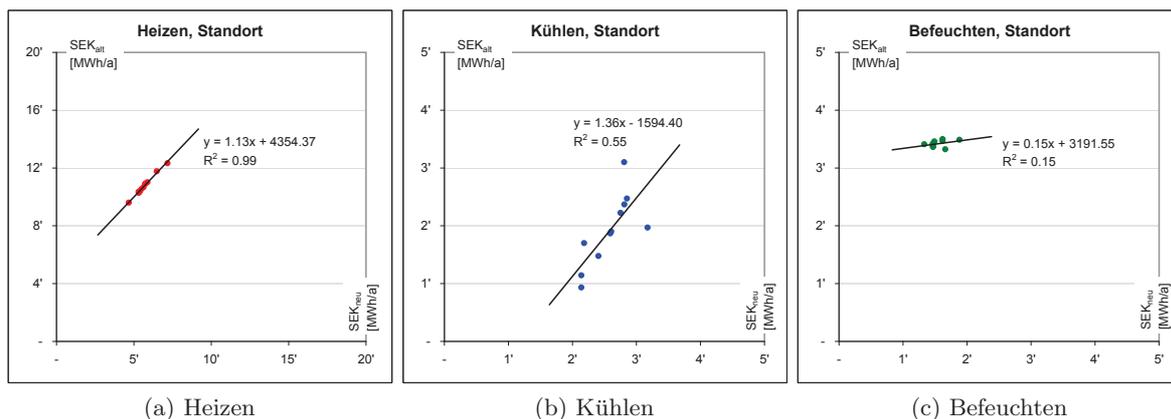


Abbildung 7.31.: Gegenüberstellung der Ergebnisse des Nutzenergiebedarfs für Heizen, Kühlen und Befeuchten (Dampfbefeuchtung) für die verschiedenen Modelle an den zwölf untersuchten Standorten

## Resümee

Der Vergleich der Ergebniswerte der Modelle  $SEK_{neu}$  und  $SEK_{alt}$  zeigt, dass für die maßgeblichen Parameter (Art der Befeuchtung, Grad der Wärme- und Feuchterückgewinnung) die in einem SEK-Modell abzubilden sind, gute Übereinstimmung herrscht. Die Ergebnisse unterscheiden sich geringfügig in Abhängigkeit von den verschiedenen Standorten, wobei insbesondere bei den Ergebnissen für Befeuchtung deutliche Unterschiede zu erkennen sind, da im Modell  $SEK_{alt}$  keine Standortkorrektur für Befeuchtung vorgenommen wird. Deutliche Unterschiede in den Ergebnissen sind für die verschiedenen Nutzungsprofile auszumachen, wobei

der Einfluss der täglichen Nutzungszeit und dabei insbesondere die Tag-Nacht-Ungleichheit des Klimas zu sehr starken Abweichungen führt. Es sollte daher geprüft werden, ob die diesbezügliche Anpassung im Modell  $SEK_{alt}$ , das aus den deutschen Algorithmen übernommen wurde, auch für Österreich zufriedenstellende Ergebnisse liefert und nicht gegebenenfalls zu adaptieren ist.

Abgesehen von den erläuterten Unterschieden bei den maßgeblichen Parametern werden beim standortspezifischen Modell  $SEK_{neu}$  zusätzliche Parameter berücksichtigt, die die Qualität der Ergebnisse der spezifischen Energiekennwerte deutlich verbessern. Durch das neu eingeführte Erdreichwärmetauscher-Modell, die Berücksichtigung von Mischkammern und die Möglichkeit die tatsächlichen Druckverluste in den Anlagenteilen angeben zu können, werden Aspekte in die Berechnung aufgenommen, die bisher gar nicht oder nur rudimentär vorhanden waren.

Außerdem wird durch die Umstellung auf ein Stundenverfahren eine eindeutige Abgrenzung zwischen Bedarfsdeckung über die RLT-Anlage und Bedarfsdeckung über ein konventionelles Heiz- und Kühlsystem ermöglicht. Dadurch kann in weiterer Folge eine wesentlich eindeutigere Bilanzierung im Zuge der Berechnung des Endenergiebedarfs für Heizen und Kühlen erreicht werden.

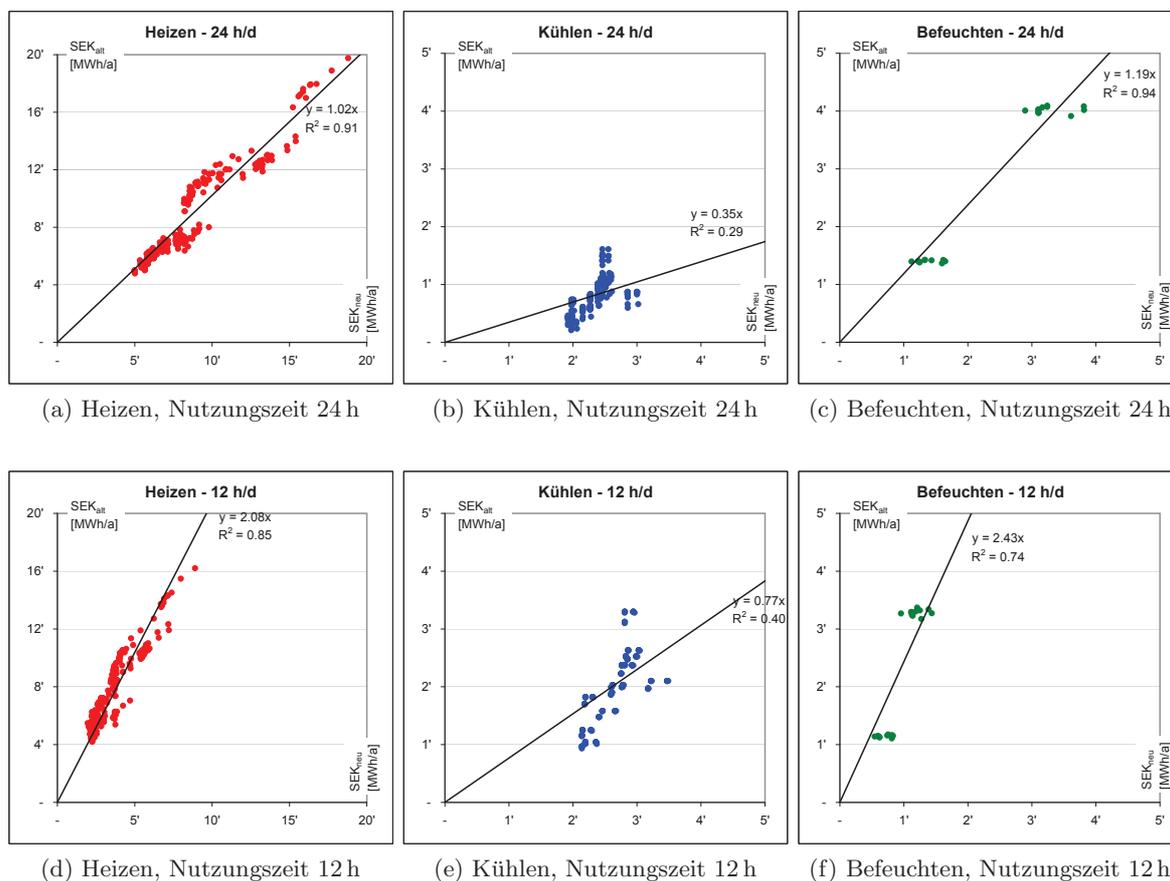


Abbildung 7.32.: Gegenüberstellung der Ergebnisse des Nutzenergiebedarfs für Heizen, Kühlen und Befeuchten (Dampfbefeuchtung) für die verschiedenen Modelle für eine tägliche Nutzungszeit von 24 h und 12 h

Die Frage nach der Gesamtverbesserung der Ergebnisse der spezifischen Energiekennwerte zur Berechnung des Nutzenergiebedarfs zur Konditionierung des Luftvolumenstroms durch Einsatz des Modells  $SEK_{neu}$  kann nur qualitativ und nicht quantitativ beantwortet werden. Dabei müssen sowohl Vor- als auch Nachteile berücksichtigt werden, die folgendermaßen gegenübergestellt werden können:

Vorteile	Nachteile
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Das Modell <math>SEK_{neu}</math> beruht auf einer stundenweisen dynamischen Berechnung des Nutzenergiebedarfs und der Konditionierungsschritte in der RLT-Anlage.</li> <li>• Durch die Einführung des halbsynthetischen Klimadatenmodells kann eine standortspezifische Berechnung durchgeführt werden, die mit der übrigen Energieausweisberechnung in Übereinstimmung gebracht werden kann.</li> <li>• Das Modell wurde um zusätzliche Berechnungsteile erweitert, wodurch nun auch Erdreichwärmetauscher, Umluftbeziehungsweise Mischluftbetrieb und tatsächliche Druckverluste in den verschiedenen Anlagenteilen berücksichtigt werden können.</li> <li>• Es ist eine deutlich bessere Abgrenzung zwischen Nutzenübergabe durch die RLT-Anlage und durch ein konventionelles Heiz- und Kühlsystem möglich.</li> <li>• Die Wirkungsweise der RLT-Anlage kann deutlich besser abgebildet werden.</li> <li>• Eine korrekte Zuordnung des Nutzenergiebedarfs zu den Konditionierungselementen Vorerhitzer, Kühler, Befeuchter und Nacherhitzer ist uneingeschränkt möglich.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Das verwendete Klimadatenmodell der ÖNORM B 8110-6 weist teilweise gravierende Abweichungen von den TRY-Datensätzen auf, wodurch die Qualität der Ergebnisse erheblich eingeschränkt wird.</li> <li>• Das neue Modell ist bedeutend komplexer als das bisherige, was seinen Einsatz im Rahmen einer Norm erschwert.</li> <li>• Die stundenweise Nutzenergiebedarfsberechnung stellt notwendigerweise die Grundlage des Modells <math>SEK_{neu}</math> dar. Dadurch weisen bereits die Modell-Eingangsgrößen „Heizwärmebedarf“ und „Kühlbedarf“ Abweichungen von der übrigen Nutzenergiebedarfsberechnung auf.</li> <li>• Durch die Nutzenergiebedarfsberechnung auf Monatsbasis in den übrigen Algorithmen des Energieausweises stehen keine ausreichend detaillierten Eingangsdaten für eine korrekte stundenweise Berechnung zur Verfügung.</li> </ul>

## 8. Ergebniswerte und Einbindung in andere Normen

Sämtliche Ergebniswerte der ÖNORM H 5057 dienen in der weiteren Berechnung einerseits als Eingangswerte für die Berechnung des Endenergiebedarfs oder werden andererseits als Hilfsenergiebedarf bilanziert:

- **Nutzenergiebedarf der RLT-Anlage für Heizen:**  
Dieser Wert bestimmt die Nutzenübergabe für Heizen über die RLT-Anlage. Er dient als Voraussetzung für die Bestimmung der Abgabe-, Übergabe und Verteilverluste der Luftheizung und zur Abgrenzung der Nutzenübergabe durch das statische Heizsystem über Radiatoren, Flächenheizung, etc. Die weitere Berechnung des Endenergiebedarfs für Heizen erfolgt in der ÖNORM H 5056.
- **Nutzenergiebedarf der RLT-Anlage für Kühlen:**  
Der Nutzenergiebedarf für Kühlen wird analog wie jener für Heizen für die Kühlanlage verwendet: Einerseits werden auf Grundlage dieses Werts die Abgabe-, Verteil- und Übergabeverluste berechnet, andererseits dient er zur Bestimmung der über das statische Kühlsystem bereitzustellenden Nutzenübergabe zur Deckung des Kühlbedarfs. Der Kühlenergiebedarf wird unter Einbindung des Nutzenergiebedarfs für Kühlen gemäß der ÖNORM H 5058 berechnet.
- **Nutzenergiebedarf der RLT-Anlage für Befeuchten:**  
Der Nutzenergiebedarf der RLT-Anlage definiert die erforderliche Nutzenübergabe an die RLT-Anlage für Dampfbefeuchtung. Auf Grundlage dieses Werts wird in der ÖNORM H 5056 der Endenergiebedarf für Befeuchten berechnet.
- **Luftförderungsenergiebedarf:**  
Der Luftförderungsenergiebedarf wird abhängig von der Länge der Heizperiode auf Heizen und Kühlen aufgeteilt. Während der Heizperiode stellt er – analog zu den Pumpen zur Warmwasserverteilung – einen Hilfsenergiebedarf des Heizungssystems dar, außerhalb der Heizperiode ist er ein Hilfsenergiebedarf des Kühlsystems und wird dem Kühlenergiebedarf zugerechnet.

In den folgenden Abschnitten wird die exakte Einbindung der genannten Ergebniswerte in die ÖNORM H 5056 für Luftheizung, Luftbefeuchtung und Luftförderung und in die ÖNORM H 5058 für Luftkühlung und Luftförderung erläutert.

## 8.1. Heizen

Der Nutzenergiebedarf der RLT-Anlage für Heizen ist Voraussetzung für die Berechnung der Verluste der Luftheizung in der ÖNORM H 5056. In der Abbildung 8.1 ist dargestellt, welche Elemente im Falle eines Kombisystems aus Luftheizung und statischem Heizsystem berücksichtigt werden.

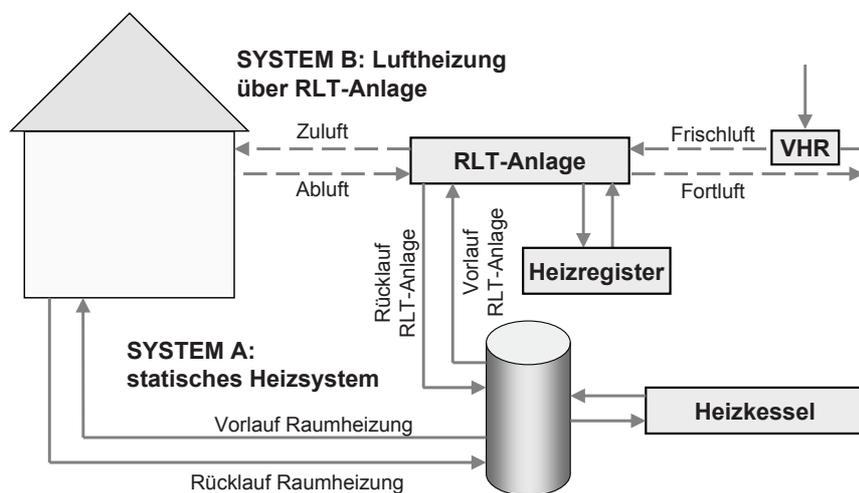


Abbildung 8.1.: Systematische Darstellung eines Kombisystems aus Luftheizung über die RLT-Anlage und einem statischen Heizsystem

Die Abbildung 8.2 auf der nächsten Seite zeigt das Energieflussbild für ein derartiges Kombisystem aus einer Luftheizung über die RLT-Anlage und einem statischen Heizsystem. Die Wärmeverluste des Gebäudes  $Q_l$  durch Transmission, Lüftung und Infiltration werden teilweise durch den über die RLT-Anlage eingebrachten Nutzenergiebedarf  $Q_{H,RLT,SO}$  abgedeckt, der Rest der Verluste wird über ein statisches Wärmeabgabesystem wie Radiatoren, Flächenheizung etc. eingebracht. Es ist einerseits die Berücksichtigung der Wärmeverluste des Raumheizungssystems und der Luftheizung durch Abgabe, Verteilung, Übergabe und Speicherung und andererseits die Berücksichtigung der nutzbaren Wärmegewinne und der nutzbaren rückgewinnbaren Verluste erforderlich. Dadurch kann die durch ein oder mehrere Bereitstellungssysteme bereitzustellende Wärme ermittelt werden. In den Verlusten der Luftheizung  $Q_{LH}$  ist außerdem auch der Korrekturwert  $Q_{corr,h}$  (siehe Abbildung 7.12 auf Seite 103) enthalten.

Die Bereitstellung der erforderlichen Wärme erfolgt einerseits über ein konventionelles Heizungssystem wie Heizkessel, Raumheizgeräte und Herde, Stromdirektheizung oder Fernwärme. Im dargestellten Fall eines Kombisystems ist zusätzlich zur indirekten Konditionierung über einen Wärmetauscher ( $Q_{LH,indir}^*$ ) ein Vorheizregister ( $Q_{LH,dir,1}^*$ ) und ein elektrisches Heizregister ( $Q_{LH,dir,2}^*$ ) in der RLT-Anlage vorhanden.

Der gesamte Heizenergiebedarf  $Q_{HEB}$  beinhaltet zudem die Verluste der Wärmebereitstellung – auch jene der direkten Beheizung in der RLT-Anlage, die zumeist mittels elektrischer Heizregister erfolgt.

Somit kann die Bilanzierung der durch das konventionelle Heizungssystem bereitzustellenden Wärme  $Q_H^*$ , der Wärmeverluste der Raumheizung  $Q_H$  und des Heizenergiebedarfs  $Q_{HEB}$

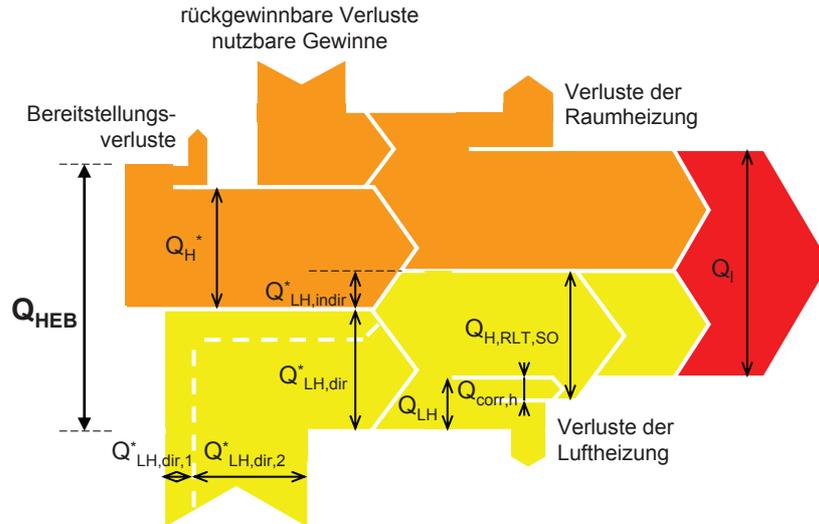


Abbildung 8.2.: Energieflussdiagramm eines Kombisystems aus Luftheizung über die RLT-Anlage und einem statischen Heizsystem (Nutzung von Umweltwärme nicht berücksichtigt)

gemäß der ÖNORM H 5056 wie folgt dargestellt werden (Nutzung von Umweltwärme nicht enthalten):

$$Q_H^* = Q_t + Q_{H,WA} + Q_{H,WV} + Q_{H,WS} + Q_{LH} - (...) - Q_{LH,dir}^* - \eta_{HT} \cdot (Q_g + Q_{H,beh} + Q_{TW,beh} + Q_{Sol,beh} + Q_{LH,beh}) \quad (8.1)$$

$$Q_H = Q_{H,WA} + Q_{H,WV} + Q_{H,WS} + Q_{H,WB} + Q_{kom,WB} \cdot r_h \quad (8.2)$$

$$Q_{HEB,H} = Q_t + Q_H + Q_{LH} - (...) - \eta_{HT} \cdot (Q_g + Q_{H,beh} + Q_{TW,beh} + Q_{Sol,beh} + Q_{LH,beh}) \quad (8.3)$$

Für die (Strom-) Direktheizungen der RLT-Anlage ist analog wie für das konventionelle Heizungssystem  $Q_H^*$  und in einem weiteren Schritt  $Q_{H,WB}$  zu berechnen. Dieses  $Q_{H,WB}$  der Direktheizungen fließt in  $Q_H$  ein.

### Luftheizungsanlagen

Im Zuge der Überarbeitung der ÖNORM H 5057 wurden spezifische Energiekennwerte für den Bereich 10 bis 50 °C – anstatt wie zuvor für den Bereich 14 bis 35 °C – tabellarisch angegeben, um die Korrektur auf die tatsächliche Zulufttemperatur durchführen zu können. Die Erweiterung bis 50 °C wurde vorgenommen, um auch „Gebäude (...) mit ausschließlicher Deckung der Heizlast über ein Luftheizungs-System“ (ÖNORM H 5057) korrekt abbilden zu können.

Die Erweiterung des zulässigen Zulufttemperaturbereichs ist die wesentliche Voraussetzung dafür, Gebäude mit ausschließlicher Luftheizung in der Norm berücksichtigen zu können. In der tatsächlichen Anwendung beträgt der Anteil der Bedarfsdeckung am Heizwärmebedarf über die RLT-Anlage bei Gebäuden mit sehr geringem Heizwärmebedarf<sup>1</sup> zwischen 90 und 96 %. Es ist jedoch zu beachten, dass der Luftförderungsenergiebedarf der Ventilatoren im Zuluftvolumenstroms ( $Q_{LF,h,RLT,ZUL}$ ) als Wärmeeintrag in den Luftvolumenstrom angesehen wird und zu einer Reduktion der erforderlichen Zulufttemperatur führt. Dieser Wert ist daher zum monatsweisen standortkorrigierten Nutzenergiebedarf für das Heizen des Zuluftvolumenstroms ( $Q_{RLT,h,SO}$ ) hinzuzuzählen, um einen Vergleich anstellen zu können.

Die verbliebenen Differenzen sind auf folgende wesentliche Aspekte zurückzuführen, die aus den unterschiedlichen Berechnungsansätzen für den Heizwärmebedarf  $Q_h$  und den Nutzenergiebedarf für das Heizen des Luftvolumenstroms  $Q_{H,RLT}$  resultieren:

- Das Standortklima wird bei der Heizwärmebedarfs- und der Kühlbedarfsberechnung und für die SEK-Werte und deren Umrechnung auf den tatsächlichen Standort unterschiedlich berücksichtigt.
- Bei der Berechnung von  $Q_{H,RLT}$  und  $Q_{C,RLT}$  werden latente Wärmelasten implizit berücksichtigt, die bei der Nutzenergiebedarfsberechnung nach der ÖNORM B 8110-6 unberücksichtigt bleiben.
- Die Tag-Nacht-Asymmetrie bleibt in der Nutzenergiebedarfsberechnung nach der ÖNORM B 8110-6 unberücksichtigt, wohingegen sie in die Berechnung der SEK-Werte in Form eines Korrekturfaktors einfließt.
- Der Korrekturwert  $Q_{corr,h}$  zur Abgrenzung der Luftvolumenströme bei prozessbedingter Lüftung ist ein statischer Wert, der die Nutzbarkeit der Wärmegewinne nicht berücksichtigt. Bei Gebäuden mit sehr geringem Heizwärmebedarf und prozessbedingtem Luftvolumenstrom kann dieser Korrekturwert zu Abweichungen führen<sup>2</sup>.

## 8.2. Kühlen

Analog zum Heizen ist auch beim Kühlen der Nutzenergiebedarf der RLT-Anlage für Kühlen die Voraussetzung für die Berechnung der Verluste der Luftkühlung in der ÖNORM H 5058. Die Abbildung 8.3 auf der nächsten Seite zeigt die berücksichtigten Elemente für den Fall eines Kombisystems mit Nutzenübergabe über die RLT-Anlage und über ein statisches Abgabesystem in Verbindung mit einer zentralen Kältemaschine mit Rückkühlung und der Möglichkeit eines Kältespeichers.

In der Abbildung 8.4 auf Seite 178 ist das zum dargestellten Kombisystem zugehörige Energieflussdiagramm abgebildet. Dabei ist der Energiefluss entgegengesetzt gerichtet als beim Energieflussdiagramm für Heizen in der Abbildung 8.2 auf der vorherigen Seite, da zur Deckung des Kühlbedarfs  $Q_c$  – erhöht um einen Korrekturfaktor für Anpassungs- und Regelfähigkeitsverluste zu  $Q_{c,korr}$  – die nicht nutzbare Wärmemenge aus dem Raum abgeführt werden muss. Zusätzlich dazu treten Verluste dahingehend auf, dass Wärmetransmission von

<sup>1</sup>Sehr geringer Heizwärmebedarf heißt in diesem Zusammenhang geringer als 25 kWh/m<sup>2</sup>a

<sup>2</sup>Bei Gebäuden in denen die Heizlast ausschließlich über das Luftheizungssystem gedeckt wird, ist dies jedoch keine Option, da kein höherer als der Lufterneuerungs-Luftwechsel angesetzt werden sollte. Stattdessen wird gegebenenfalls die Zulufttemperatur auf bis zu 50 °C erhöht.

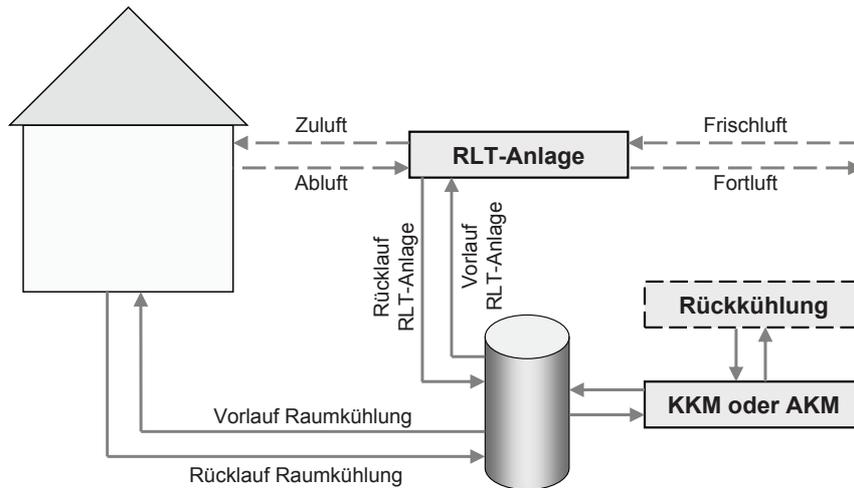


Abbildung 8.3.: Systematische Darstellung eines Kombisystems aus Luftkühlung über die RLT-Anlage und einem statischen Kühlsystem (Bildquelle: Michlmair und Streicher, 2009b)

der Umgebung zum gekühlten Medium (in Luft- und Wasserleitungen) hin auftritt und die durch die Kältebereitstellung abzuführende Wärmemenge damit erhöht wird. Demnach ist auch bei den Verlusten der kühltechnischen Anlage der Wärmestrom umgekehrt als im Falle des Heizens.

Ausgehend vom korrigierten Kühlbedarf  $Q_{c,korr}$  wird dessen Nutzenübergabe im vorliegenden Fall des Kombisystems auf die RLT-Anlage und ein statisches Kühlsystem aufgeteilt. Die Nutzenübergabe durch die RLT-Anlage ist durch  $Q_{C,RLT,SO}$  aus der ÖNORM H 5057 definiert, der Anteil des statischen Kühlsystems an der Nutzenübergabe  $Q_{c,kon}$  entspricht der verbleibenden Differenz. Bei der Kälteverteilung im Luft- und Wasserleitungsnetz treten Verluste auf, deren Berücksichtigung die bereitzustellenden Kälte für das statische System  $Q_{C^*,kon}$  und die RLT-Anlage  $Q_{C^*,RLT}$  erhöht. Die gesamte erforderliche Energie der Kältebereitstellungsanlage wird als  $Q_{C^*,Ber}$  bezeichnet, wobei die Kältebereitstellungsanlage auch mehrere RLT-Anlagen und unterschiedliche statische Kühlsysteme versorgen kann.

Die Berücksichtigung der Bereitstellung erfolgt in Abhängigkeit von der vorhandenen Bereitstellungsanlage. Im Fall von Kompressionskältemaschinen sind die Nennkälte-Leistungszahlen ( $EER$ ) verschiedener Anlagentypen tabellarisch festgehalten. Die gesamte Jahresarbeitszahl der verschiedenen Kompressionskältemaschinen kann durch Berücksichtigung der Teillastregelung mithilfe von Teillastfaktoren ( $PLV_{AV}$ ) ermittelt werden. Bei Absorptionskältemaschinen sind einerseits Werte für das Nennwärmeverhältnis  $\zeta$  angegeben, andererseits sind auch für Absorptionskältemaschinen Teillastfaktoren definiert. Auf Grundlage dieser Angaben kann der Strom- oder Wärmebedarf der Kältemaschine zur Bereitstellung der erforderlichen Energie von Kompressions- und Absorptionskältemaschinen  $Q_{C,kom}$  und  $Q_{C,Abs}$  berechnet werden.

Der Energiebedarf der Rückkühlung  $Q_{C,Rück}$  wird durch den spezifischen elektrischen Energiebedarf der Rückkühlung bestimmt. Dieser Wert ist ein in Abhängigkeit von der Art des Rückkühlers vorgegebener Fixwert. Der Hilfsenergiebedarf setzt sich aus dem Luftförderungs-

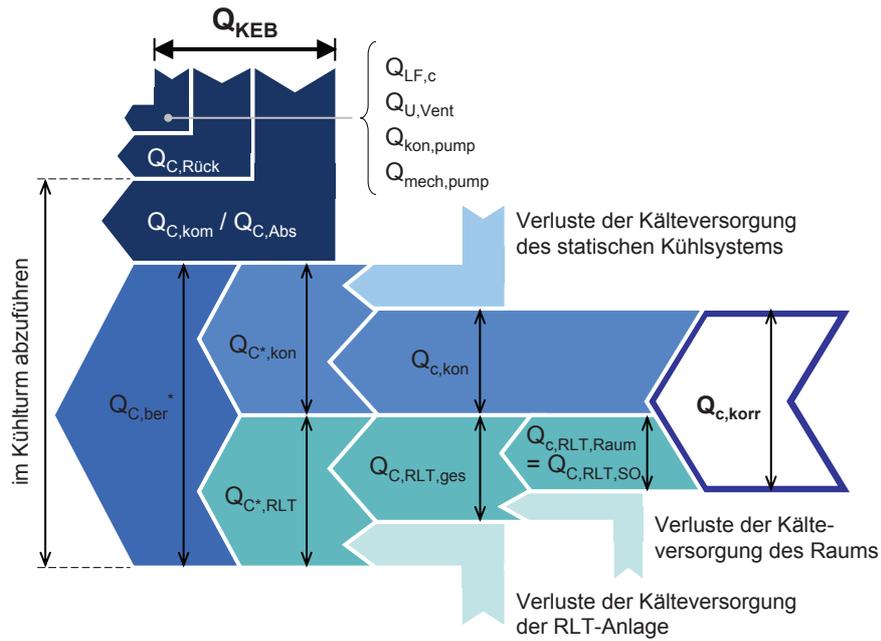


Abbildung 8.4.: Energieflussdiagramm eines Kombisystems aus Luftkühlung über die RLT-Anlage und einem statischen Kühlsystem

energiebedarf im Kühlfall  $Q_{LF,c}$ , dem Strombedarf der Gebläsekonvektoren  $Q_{U,Vent}$  und dem Energiebedarf der Pumpen für die Kühlwasserverteilung  $Q_{mech,pump}$  und  $Q_{kon,pump}$  zusammen.

## 8.3. Befeuchten

Die Berechnung des Endenergiebedarfs für Befeuchtung ist abhängig vom vorhandenen Befeuchtungssystem und erfolgt in der ÖNORM H 5056. Der Befeuchtungsenergiebedarf wird bei der Ermittlung des Endenergiebedarfs mitbilanziert.

### 8.3.1. Dampfbefeuchtung

Auf Grundlage des Nutzenergiebedarfs für die Befeuchtung des Luftvolumenstroms  $Q_{St,RLT}$  wird der Endenergiebedarf mithilfe von tabellarisch festgehaltenen Endenergiefaktoren (siehe Tabelle 8.1) für die Dampferzeugung berechnet. Die angegebenen Endenergiefaktoren beinhalten auch die Bereitschafts- und Verteilungsverluste und beziehen sich auf den unteren Heizwert.

$$Q_{BFEB} = Q_{St,RLT} \cdot f_{St,EE} \quad (8.4)$$

Tabelle 8.1.: Defaultwerte für Endenergiefaktoren für die Dampferzeugung bei Dampfbefeuchtern bezogen auf den unteren Heizwert (nach ÖNORM H 5056:2010)

Art der Dampfbefeuchtung	$f_{St,EE}$
Elektroden- oder Widerstandsheizung (elektrisch)	1,16
gasbefeuert – Rohwasser (brennwertbezogen)	1,51
ölbefeuert – Rohwasser (brennwertbezogen)	1,45
Ferndampf ohne Mantelheizung	1,44
Ferndampf mit Mantelheizung	1,55

### 8.3.2. Verdunstungsbefeuchtung

Im Falle von Verdunstungsbefeuchtung beziehungsweise adiabater Befeuchtung wird der maßgebliche Anteil des erforderlichen Energiebedarfs durch den erhöhten Nutzenergiebedarf für das Heizen des Luftvolumenstroms gemäß der ÖNORM H 5057 abgedeckt, der infolge der Verdunstungskühlung des Luftvolumenstroms entsteht. Damit steigt der Heizenergiebedarf als Bestandteil des Endenergiebedarfs deutlich an, womit der eigentliche Endenergiebedarf für Verdunstungsbefeuchtung im Wesentlichen im Heizenergiebedarf enthalten ist. Als Befeuchtungsenergiebedarf wird lediglich der Pumpenergiebedarf zur Förderung des Befeuchtungswassers bilanziert. Dieser Wert stellt an sich einen Hilfsenergiebedarf dar und wird über die spezifische elektrische Leistungsaufnahme der Pumpen bezogen auf den zu befeuchtenden Luftvolumenstrom (Defaultwerte siehe Tabelle 8.2 auf der nächsten Seite) und die Pumpenbetriebszeit bestimmt.

$$Q_{BFEB} = Q_{Be} \quad (8.5)$$

$$Q_{Be} = \frac{1}{1000} \cdot V_V \cdot n_{L,RLT,h,m} \cdot P_{el,Be} \cdot t_{RLT,d} \cdot d_{Nutz} \cdot f_{Be} \quad (8.6)$$

Tabelle 8.2.: Defaultwerte für spezifische Leistungsaufnahme und Befeuchtungsfaktoren von Verdunstungsbefeuchtern (nach ÖNORM H 5056:2010)

Befeuchtertyp	Regelung	$P_{el,Be}$	$f_{Be}$ Feuchte	$f_{Be}$ Feuchte
		W/(m <sup>3</sup> /h)	6 g/kg	8 g/kg
Kontakt- und Rieselbefeuchter	ungeregelt und ventilgeregelt	0,01	1,00	1,00
	ungeregelt	0,20	1,00	1,00
Umlaufsprühbefeuchter	ventilgeregelt	0,20	1,00	1,00
	getaktet	0,20	0,35	0,50
	drehzahlgeregelt	0,20	0,20	0,30
Hochdruckbefeuchter	drehzahlgeregelt	0,04	0,35	0,50

### Abgrenzung adiabate Befeuchtung

In der Version 2010 der beiden Normen ÖNORM H 5056 und ÖNORM H 5057 ist im Falle von adiabater Befeuchtung (Verdunstungsbefeuchtung) keine Abgrenzung des erforderlichen Nutzenergiebedarfs für Befeuchtung und für Beheizung möglich. Der Nutzenergiebedarf zur Konditionierung des Luftvolumenstroms  $Q_{H,RLT}$  für Heizen umfasst beide Anteile. Bei der Berechnung der Verluste der Luftheizung und des erforderlichen Heizenergiebedarfs in der ÖNORM H 5056 würde der Befeuchtungsenergiebedarf zu erhöhter bereitzustellender Energie und damit schließlich zu einem größeren Heizenergiebedarf führen.

Die Erhöhung dieser Werte kann aufgrund der fehlenden Abgrenzung nicht berücksichtigt werden.

## 8.4. Luftförderungsenergiebedarf

Der Luftförderungsenergiebedarf wird während der Heizperiode als Hilfsenergiebedarf für Heizen und außerhalb der Heizperiode als Hilfsenergiebedarf für Kühlen bilanziert. Die Abgrenzung der Heizperiode erfolgt über die Anzahl an Heiztagen pro Monat.

## 8.5. Erforderliche Normenänderungen

Die größte Auswirkung auf die Bilanzierung entstand dadurch, dass Lufterneuerung und prozessbedingte Lüftung einen gemeinsamen Ergebniswert liefern. Dies betrifft einerseits den Luftförderungsenergiebedarf, der nicht mehr in die Anteile LE und PB aufgeteilt werden kann. Andererseits ist auch der Nutzenergiebedarf für die Luftvolumenstrom-Konditionierung betroffen, wo ebenfalls nur noch ein Wert weiterbilanziert werden muss. Der Nutzenergiebedarf zur Konditionierung des LE-Luftvolumenstroms wird in der weiteren Bilanzierung nicht mehr benötigt, er ist lediglich eine interne Hilfsgröße zur Bestimmung des monatlichen Zuluftzustands.

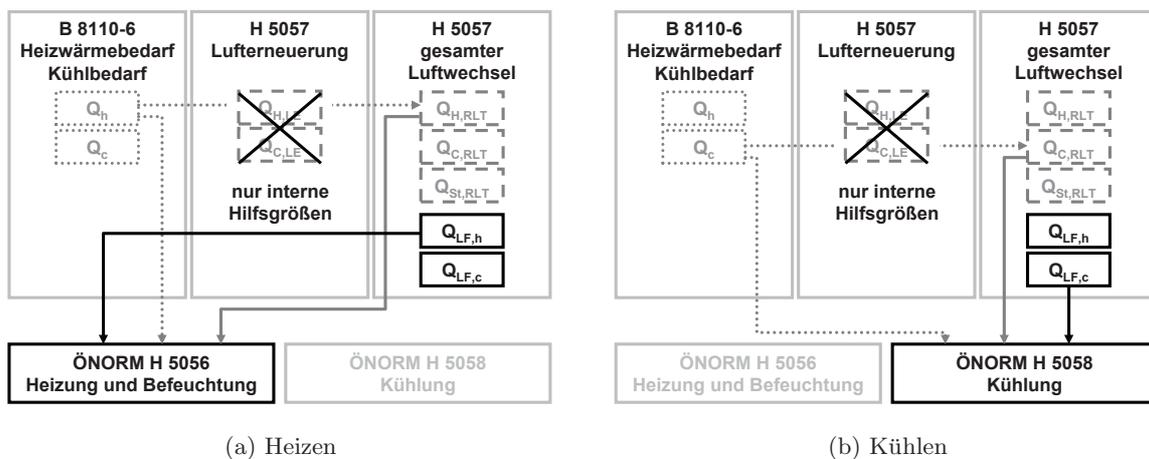


Abbildung 8.5.: Systematik der Bilanzierung der Ergebniswerte aus ÖNORM H 5057 für Heizen (a) und Kühlen (b)

### 8.5.1. Bilanzierung Heizen

Die wesentlichste Änderung bei der Bilanzierung des Nutzenergiebedarfs für Heizen betrifft dessen Einbindung in die Algorithmen der Luftheizung in der ÖNORM H 5056, die bisher nicht eindeutig gelöst war. Im Zuge der Überarbeitung wurde der Abschnitt „Luftheizung“ vollkommen neu organisiert, was sich auch auf die Bilanzierung für das Heizen auswirkte war.

### 8.5.2. Bilanzierung Kühlen

Bei der Bilanzierung für das Kühlen waren keine maßgeblichen Änderungen erforderlich. Die Einbindung in ÖNORM H 5058 war bereits in der ursprünglichen Fassung der Normen nachvollziehbar und schlüssig gelöst, die einzige wesentliche Anpassung wurde dadurch hervorgerufen, dass Lufterneuerung und prozessbedingte Lüftung nun einen gemeinsamen und nicht mehr zwei getrennte Ergebniswerte liefern.

### 8.5.3. Bilanzierung Befeuchtung

Die Algorithmen für die Berechnung des Endenergiebedarfs für Befeuchtung sind in der Version 2010 der Normen in der ÖNORM H 5056 enthalten anstatt wie zuvor in der ÖNORM H 5058, um die thematische Zuordnung des Befeuchtens zum Heizen zu erreichen. Dies ist insbesondere bei Verdunstungsbefeuchtern wesentlich, da in diesem Fall die Heizfunktion die für die Befeuchtung erforderliche Nutzenergie in den Luftvolumenstrom einbringt.

Davon abgesehen waren für die Bilanzierung der Befeuchtung keine weiteren Veränderungen erforderlich.

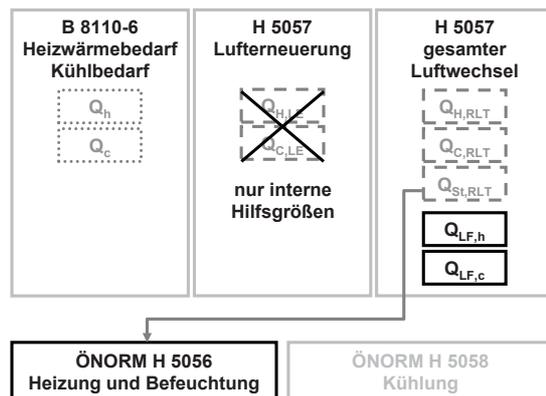


Abbildung 8.6.: Systematik der Bilanzierung der Ergebniswerte aus der ÖNORM H 5057 für Befeuchten

### 8.5.4. Bilanzierung Luftförderung

Vor der Überarbeitung der Normenserie wurde der Endenergiebedarf der Luftförderung nicht nachvollziehbar bilanziert. Für den der Heizung zuordenbaren Anteil waren keinerlei Bestimmungen in den entsprechenden Normen enthalten, bei Kühlung stellte lediglich der Lufterneuerungsanteil einen Teil des Kühlenergiebedarfs dar. Gemäß der ÖNORM H 5055, deren Bilanzierungsregeln für den Endenergiebedarf sich von denen im OIB-Leitfaden unterscheiden, wird der Luftförderungsenergiebedarf als  $LFEB$  direkt in den Endenergiebedarf eingerechnet (siehe Gleichung 8.7). In diesem Fall ist jedoch der Anteil der Lufterneuerung bei Kühlung doppelt bilanziert.

$$EEB = HEB + KEB + LFEB + BelEB + BefEB \quad (8.7)$$

Im Zuge der Überarbeitung wurde der  $LFEB$  entsprechend der Länge der Heizperiode auf Heizen und Kühlen aufgeteilt und wird als Hilfsenergiebedarf im Heizenergiebedarf und im Kühlenergiebedarf bilanziert. Die Berechnung des Endenergiebedarfs  $EEB$  in der ÖNORM H 5055 ist daher um den Ausdruck  $LFEB$  zu reduzieren (siehe Gleichung 8.8).

### 8.5.5. Einbindung der Luftheizung in die ÖNORM H 5056

In der Ausgabe 2010 der ÖNORM H 5056 war die Systematik zur Berücksichtigung von Luftheizungssystemen mangelhaft gelöst. Eine anwendbare Berechnung der Verluste der Luft-

heizungssysteme und die Einbindung in die Berechnung des Heizenergiebedarfs waren nicht vorhanden.

Aus diesem Grund wurde der Abschnitt „Luftheizung“ der ÖNORM H 5056 vollständig erneuert. Insbesondere die Berechnung der Verluste und der für Luftheizung bereitzustellenden Energie wurde vollständig neu ausgearbeitet. Die Einbindung in die durch den Kessel bereitzustellende Energie und den Heizenergiebedarf wurde anhand von Referenzsystemen analysiert und formelmäßig umgesetzt.

Eine Besonderheit dieses Abschnitts stellt die Unterteilung in direkte und indirekte Konditionierung des Luftvolumenstroms dar. Direkte Bereitstellungssysteme verfügen über kein zwischengeschaltetes Wärmeübertragungsmedium, die Erwärmung erfolgt direkt an den Heizflächen des Wärmebereitstellungssystems. Direkte Bereitstellungssysteme sind beispielsweise gasbefeuerte Luftherhitzer oder Elektro-Luftherhitzer. Im Unterschied dazu wird bei indirekt beheizten Anlagen die Luft durch einen Wärmetauscher erwärmt, es ist ein zwischengeschaltetes Medium (Wasserkreislauf) erforderlich.

### 8.5.6. Einbindung der Luftkühlung in die ÖNORM H 5058

Die Einbindung der Luftkühlung in die ÖNORM H 5058 war bereits in der Ausgabe 2007 weitgehend korrekt gelöst. Es wurden nun lediglich einige geringfügige Anpassungen dahingehend vorgenommen, dass der Nutzenergiebedarf zur Konditionierung des Luftvolumenstroms für Kühlen auf der korrekten Bilanzenebene der Nutzenübergabe eingebunden wurde ( $Q_{c,RLT,Raum}$  anstatt  $Q_{c,RLT,ges}$ ).

Eine weitere größere Änderung betraf die Bilanzierung des Luftförderungsenergiebedarfs. In der Version 2007 wurde lediglich der Anteil für Lufterneuerung in den Kühlenergiebedarf eingerechnet, der darüber hinausgehende prozessbedingte Anteil sollte an anderer Stelle bilanziert werden. In der Ausgabe 2010 wird der gesamte außerhalb der Heizperiode auftretende Luftförderungsenergiebedarf zum Kühlenergiebedarf hinzugerechnet. Dies bedeutet, dass auch Gebäude ohne aktive Kühlanlage einen Kühlenergiebedarf aufweisen.

Abgesehen davon wurden lediglich einige redaktionelle Änderungen bei Formelzeichen und Formulierungen vorgenommen.

### 8.5.7. Bilanzierung des Endenergiebedarfs

Der Endenergiebedarf bei Nichtwohngebäuden sollte gemäß eines Vorschlags an das ON-K 235 zur Überarbeitung der ÖNORM H 5055 und an den OIB-Sachverständigenbeirat zur Richtlinie 6 zur Überarbeitung des OIB-Leitfadens wie in Gleichung 8.8 dargestellt berechnet werden. Beide Dokumente sind bis dato<sup>3</sup> noch nicht veröffentlicht.

$$EEB = HEB + KEB + BelEB + BefEB \quad (8.8)$$

Die Einbindung der Energiebedarfswerte der raumluftheiztechnischen Anlage erfolgen damit indirekt über den Heizenergiebedarf  $HEB$  und den Kühlenergiebedarf  $KEB$ :

---

<sup>3</sup>Stand: Jänner 2011

- Nutzenergiebedarf der RLT-Anlage zur Luftvolumenstrom-Konditionierung für Heizen  $Q_{H,RLT,SO}$ : als Eingangsgröße für die Bewertung der Luftheizung
- Nutzenergiebedarf der RLT-Anlage zur Luftvolumenstrom-Konditionierung für Kühlen  $Q_{C,RLT,SO}$ : als Eingangsgröße für die Bewertung der Luftkühlung
- Nutzenergiebedarf der RLT-Anlage zur Luftvolumenstrom-Konditionierung für Befeuchten  $Q_{St,RLT,SO}$ : als Eingangsgröße für die Berechnung des Endenergiebedarfs für Dampfbefeuchtung
- Luftförderungsenergiebedarf  $Q_{LF}$ :
  - während der Heizperiode: als Hilfsenergiebedarf des Heizungssystems und damit als Teil des Heizenergiebedarfs
  - außerhalb der Heizperiode: als Hilfsenergiebedarf des Kühlsystems und damit als Teil des Kühlenergiebedarfs

### Darstellung am Energieausweis

Auf der zweiten Seite des Energieausweises können die Ergebniswerte dargestellt werden, eine direkte Einbindung in den Endenergiebedarf erfolgt jedoch nicht. Eine mögliche Interpretation der derzeit (gemäß OIB-Richtlinie 6 aus 2007) im Energieausweis dargestellten Werte kann wie in Tabelle 8.3 beschrieben aussehen.

Tabelle 8.3.: Mögliche Interpretation der auf der zweiten Seite des Energieausweises dargestellten Werte mit Bezug auf raumluftechnische Anlagen

Bezeichnung im Energieausweis	zuordenbare Größe aus H 5057	Kommentar
<i>NERLT-h</i>	$Q_{H,RLT,SO}$	Diese Zuordnung erscheint sinnvoll, jedoch ist fraglich, warum diesen Nutzenergiebedarfswerten, die lediglich Eingangsgrößen für die weitere Berechnung darstellen, so hohe Bedeutung zugemessen wird, dass sie auf dem Energieausweis ausgegeben werden.
<i>NERLT-k</i>	$Q_{C,RLT,SO}$	
<i>NERLT-d</i>	$Q_{St,RLT,SO}$	
<i>NE</i>	$Q_{LF}$	<i>NE</i> wird in der Erläuterung der OIB-Richtlinie 6 als „jährlicher Nutzenergiebedarf“ (OIB-RL 6, 2007) beschrieben. Um den nicht unwesentlichen Luftförderungsenergiebedarf im Energieausweis darstellen zu können, kann dieser Wert hier ausgewiesen werden.
<i>RLTEB</i>	$\sum Q_{i,RLT,SO}$	<i>RLTEB</i> wird als „jährlicher Raumluftechnikenergiebedarf“ (OIB-RL 6, 2007) beschrieben, wobei jedoch nicht nachvollziehbar ist, welcher Wert aus ÖNORM H 5057 darunter verstanden wird. Daher wird in <i>RLTEB</i> die Summe aus <i>NERLT-h</i> , <i>NERLT-k</i> und <i>NERLT-d</i> ausgewiesen.

**Teil III.**

## **Zusammenfassung und Ausblick**



## 9. Zusammenfassung

Diese Dissertation beschäftigt sich ausführlich mit den Berechnungsalgorithmen der ÖNORM H 5057 „Raumlufttechnik-Energiebedarf für Wohn- und Nichtwohngebäuden [*sic!*]“. Anwendungsbereich dieser Norm ist die Berechnung des Endenergiebedarfs der Luftförderung und des Nutzenergiebedarfs zur Konditionierung des Zuluftvolumenstroms von Gebäuden. Die berechneten Werte dienen zur Erstellung von Energieausweisen.

Das Hauptziel dieser Dissertation war einen in sich geschlossenen Algorithmus zu definieren, der die Bewertung der Energieeffizienz raumlufttechnischer Anlagen ermöglicht. Dieser Algorithmus sollte im Zuge der ersten Überarbeitung der Norm in diese aufgenommen werden, um eine schlüssige Berechnung des Raumlufttechnik-Energiebedarfs zu ermöglichen. Ausgehend von den Berechnungsalgorithmen der ursprünglichen Norm waren Fehler zu korrigieren, Mehrdeutigkeiten zu beheben und schließlich die Verständlichkeit für den Normenleser zu erhöhen.

Abgesehen von der Überarbeitung und Konkretisierung der bestehenden Berechnungsalgorithmen sollte außerdem ein alternatives Modell für die Berechnung des Nutzenergiebedarfs für die Konditionierung des Luftvolumenstroms ausgearbeitet werden. Dieses alternative Modell soll zukünftig eine standortspezifische Berechnung des Raumlufttechnik-Energiebedarfs ermöglichen, die mit dem speziell für die Energieausweisberechnung in Österreich entwickelten Klimamodell der ÖNORM B 8110-5 in Einklang zu bringen ist. Dazu sollte die monatsweise Berechnung der spezifischen Energiekennwerte auf ein Stundenmodell umgestellt werden und außerdem zusätzlich Aspekte raumlufttechnischer Anlagen – wie beispielsweise Erdreichwärmetauscher, Umluftführung oder tatsächliche Ventilatorpressung – in das Modell aufgenommen werden.

Für die Überarbeitung der bestehenden Berechnungsalgorithmen wurde eine detaillierte Analyse der ursprünglichen Norm vorgenommen. Im Zuge der Einarbeitung der Berechnung in das offizielle Energieausweis-Schulungstool des Österreichischen Instituts für Bautechnik (OIB) wurden zahlreiche Unstimmigkeiten offensichtlich. Diese Unstimmigkeiten waren einerseits widersprüchlich definierte Bezüge, die eine eindeutige Umsetzung in einer Software verhinderten. Derartige Bezüge waren beispielsweise nicht eindeutige Bezugszeiten, Volumenstrom- oder Leistungsgrößen. Andererseits wurden im Zuge des Normungsprozesses Änderungen am Grundkonzept des Modells vorgenommen, die in weiterer Folge maßgebliche Einschränkungen für dessen Qualität bedeuteten. Diese Änderungen wurden dahingehend adaptiert, dass sie an das Grundkonzept des Modells angepasst wurden und damit nun plausible Ergebnisse liefern. Die uneindeutigen Angaben wurden so korrigiert, dass nun keine mehrdeutigen Interpretationen mehr möglich sind. Außerdem wurde die ursprüngliche Berechnung der tabellarisch festgehaltenen spezifischen Energiekennwerte einer grundlegenden Analyse unterzogen, wobei ebenfalls zahlreiche Fehler in der Programmierung behoben wurden. Im Zuge dessen wurde auch der Bereich der möglichen Zulufttemperaturen von 14 bis 35 °C auf 10 bis 50 °C erweitert, wodurch nun auch reine Luftheizungssysteme – wie sie beispielsweise in Passivhäusern eingesetzt werden – abgebildet werden können.

Abgesehen davon waren einige als Voraussetzung für eine vollständige Berechnung notwendigen Bestandteile gar nicht in der Norm abgebildet – beispielsweise die Abgrenzung der Heiz- von der Kühlperiode, die Standortkorrektur oder die Betriebszeit der Nachtlüftung. Diese Bestandteile wurden dahingehend ergänzt, dass sie teils aus anderen Normen übernommen und teils neu entwickelt wurden. Außerdem wurde die Gliederung der Norm erheblich verändert, die verwendeten Ausdrücke vereinheitlicht und erläuternde Textpassagen eingefügt. Dadurch sollte es nun auch dem in puncto raumluftechnischer Anlagen weniger fachkundigen Normenleser – wie es Energieausweisersteller eventuell sind – möglich sein, die wesentlichen Inhalte der Norm ohne ergänzende Erläuterungen für sich erschließen zu können.

Bei der Neuentwicklung des standortspezifischen Modells der spezifischen Energiekennwerte wurde in einem ersten Schritt das ursprüngliche Berechnungsmodell nachgebildet und eine Unterscheidung nach den verschiedenen Konditionierungselementen eingeführt. Darauf aufbauend wurden zusätzliche Aspekte – wie Erdreichwärmetauscher, Umluftführung oder Bypasskanäle für die Wärmerückgewinnung (auch im Kühlfall) – ergänzt. Anschließend wurde eine stundenweise Berechnung der Zulufttemperaturen und -volumenströme implementiert, wozu parallel zum quasi-stationären Monatsbilanzverfahren das vereinfachte Stundenverfahren zur Berechnung von Heizwärmebedarf und Kühlbedarf erforderlich geworden ist.

Auf Grundlage der stundenweisen Zuluftzustände und des in Beiblatt 1 der ÖNORM B 8110-5 beschriebenen halbsynthetischen Klimadatenmodells kann so eine stundenweise, standortspezifische Berechnung der spezifischen Energiekennwerte vorgenommen werden. Dieses Berechnungsmodell wurde in einen entsprechenden Programmcode umgesetzt und einer detaillierten Validierungs- und Plausibilitätskontrolle unterzogen. Abschließend wurde erhoben, inwiefern sich die Ergebnisse des neuen Modells von jenen des ursprünglichen SEK-Modells unterscheiden.

Der als Ergebnis dieser Dissertation entstandene Vorschlag zur Überarbeitung der ÖNORM H 5057 wurde zuerst in das OIB-Schulungstool aufgenommen. Daran anschließend wurden die Algorithmen von den führenden Anbietern professioneller Energieausweis-Software in Österreich in ihre Programme aufgenommen und kritisch auf deren Anwendbarkeit und Eindeutigkeit hin geprüft. Im Zuge eines ausführlichen Validierungsprozesses wurden einige geringfügige Veränderungen am Normenvorschlag vorgenommen. Schließlich konnten jedoch vollständig übereinstimmende Ergebnisse zwischen der Umsetzung im OIB-Schulungstool und den wesentlichen Energieausweis-Programmen erzielt werden, die im Beiblatt 1 zur ÖNORM H 5057 veröffentlicht wurden. Auch der ausgearbeitete Vorschlag zur Überarbeitung der ÖNORM H 5057 wurde nahezu uneingeschränkt übernommen und als ÖNORM H 5057:2010 veröffentlicht.

Das neu entwickelte standortspezifische stundenweise Berechnungsmodell der spezifischen Energiekennwerte wurde ebenfalls zu einem Normenvorschlag weiterentwickelt. Das Beiblatt 2 zur ÖNORM H 5057 befindet sich derzeit in der Begutachtungsphase im zuständigen Normungsgremium ON-K 235 des österreichischen Normungsinstituts. Es wird geprüft, ob die Vorzüge des Modells – die bessere Verständlichkeit und Nachvollziehbarkeit, der umfassendere Ansatz durch zusätzliche Berechnungsteile und insbesondere die standortspezifische Berechnung – dessen Nachteile übertreffen und daher die Normwerdung rechtfertigen. Nachteile sind beispielsweise die größere Komplexität und dadurch hervorgerufen auch der deutlich größere Umfang des Modells. Eine diesbezügliche Entscheidung ist nicht vor Mitte 2011 zu erwarten.

## 10. Resümee und Ausblick

Die Überarbeitung der ÖNORM H 5057 dahingehend, dass eine Abbildung in Berechnungsprogrammen ermöglicht wurde, war unausweichlich und dringend notwendig. Der positiv verlaufene Validierungsprozess mit den Softwareherstellern belegt, dass die vorgenommene und in der Version 2010 der Norm berücksichtigte Überarbeitung ihren Hauptzweck eindeutig erfüllt hat. Außerdem ist die in dieser Dissertation enthaltene detaillierte Beschreibung der Berechnungsalgorithmen der ÖNORM H 5057 die einzige in dieser Form. Sie kann insofern hervorragend verwendet werden, um Anwendern und Energieausweisberechnern ein besseres Verständnis der Norm zu vermitteln.

Im Gegensatz zum ursprünglichen Modell bedeutet die Entwicklung des standortspezifischen Modells zur Berechnung der spezifischen Energiekennwerte, das auf einer stundenweisen Berechnung basiert, einen deutlich höheren Berechnungsaufwand, der ohne Computerunterstützung nicht handhabbar ist. Neben der Berechnung der Stundenwerte von Außenlufttemperatur und Außenluftfeuchte sind auch der Heizwärmebedarf und der Kühlbedarf in Stundenschritten zu berechnen. Diese stundenweise Berechnung bedürfte eigentlich genauerer Eingabegrößen, als sie für die Berechnung im Monatsbilanzverfahren derzeit zur Verfügung gestellt werden. Trotz der mangelhaften Eingabegrößen zeigt die Validierung des Modells, dass die Ergebnisse ausreichend zufriedenstellend für den intendierten Zweck sind.

Die Berücksichtigung von Erdreichwärmetauschern und Umluftführung stellt eine deutliche Bereicherung für die normative Berechnung des Raumluftechnik-Energiebedarfs dar. Angesichts der unzähligen Varianten raumluftechnischer Anlagen ist jedoch zu bezweifeln, dass das neu entwickelte Modell eine maßgebliche Erweiterung der abbildbaren Anlagen ermöglicht. Unter Berücksichtigung des teils außergewöhnlich hohen Energiebedarfs, den raumluftechnische Anlagen nach sich ziehen, sollten auch normativ nicht oder nur eingeschränkt abbildbare Anlagen jedenfalls bewertet werden können.

Insgesamt kann somit für die vorgenommene Überarbeitung der Norm grundsätzlich ein positives Resümee gezogen werden. Es sollte lediglich geprüft werden, inwiefern die aus den deutschen Algorithmen übernommene Berücksichtigung der Tag-Nacht-Asymmetrie bei der Berechnung des Nutzenergiebedarfs zur Konditionierung des Luftvolumenstroms für die Anwendung im österreichischen Klimadatenmodell tauglich ist. Hier ergeben sich deutliche Abweichungen zwischen der monatsweisen und der stundenweisen Berechnung der spezifischen Energiekennwerte.

Die Weiterentwicklung hin zu einem standortspezifischen Modell für die Berechnung der spezifischen Energiekennwerte auf Grundlage des halbsynthetischen Klimamodells ist eher kritisch zu betrachten. Sofern allgemein eine Weiterentwicklung der übrigen Energieausweissnormen zu Stundenmodellen vorgenommen wird, bedeutet die Verwendung des ausgearbeiteten Modells einen sinnvollen ersten Schritt. Sollte dem nicht so sein, tritt durch die zahlreichen zusätzlich erforderlichen Angaben ein erheblich größerer Eingabeaufwand auf – etwa für das vereinfachte Stundenverfahren von Heizwärmebedarf und Kühlbedarf oder für die vernünftige Anwendung

der Modelle der Mischkammer und des Erdreichwärmetauschers. Dieser zusätzliche Eingabeaufwand kann nur eingeschränkt durch die höhere Qualität der Ergebnisse gerechtfertigt werden.

Abgesehen davon bedeutet die Umsetzung des neuen Modells für die Hersteller der Energieausweisprogramme einen beträchtlichen zusätzlichen Programmieraufwand. Nachdem die geplante Vorgangsweise vorsieht, die ursprüngliche SEK-Berechnung beizubehalten und das neue Modell wahlweise zur Verfügung zu stellen, ist fraglich, ob die Programmhersteller bereit sind, diesen Aufwand – der noch dazu zu längeren Rechenzeiten ihrer Programme führen wird – zu betreiben.

Das neue Modell an sich beinhaltet alle Voraussetzungen, um die Berechnung des Raumluftechnik-Energiebedarfs in der ÖNORM H 5057 komplett auf ein Stundenmodell umzustellen. Durch die stundenweise Berechnung des Zuluftzustands können auch die zu fördernden Luftvolumenströme in Stundenschritten erhoben werden. Dies bedeutet für die Berechnung des Luftförderungsenergiebedarfs beträchtliche zusätzliche Möglichkeiten – etwa in Form von Teillastbetriebs-Stufen von KVS-Anlagen oder der gezielteren Nachbildung von alternativen Regelgrößen wie Raumbelegung oder Zeitsteuerung. Dazu sind jedoch auch zusätzliche Angaben für Eingangsgrößen erforderlich. Diese Entwicklung würde bedeuten, dass die Algorithmen der ÖNORM H 5057 über den ausschließlichen Einsatz für Nachweisverfahren hinaus dahingehend erweitert werden würden, dass auch der Einsatz als Planungswerkzeug denkbar wäre. Diese Perspektive stellt eine bedeutende Erweiterung des Anwendungsbereichs dar, der nur von den Mitgliedern des zuständigen Normungskomitees beschlossen werden kann, beziehungsweise auch von den Vorgaben des Österreichischen Instituts für Bautechnik abhängig ist.

# Literaturverzeichnis

- AL-AJMI, F. ; LOVEDAY, D.L. ; HANBY, V.I.: The cooling potential of earth-air heat exchangers for domestic buildings in a desert climate. In: *Building and Environment* 41 (2006), Nr. 3, S. 235–244. – ISSN 0360-1323
- BACH, H. ; REICHERT, E. ; WALZ, A.: MERLAN – Methode zur Berechnung des Energiebedarfs von raumlufttechnischen Anlagen / Universität Stuttgart. Stuttgart, 2000. AiF-Vorhaben-Nr.: 11235 N, Abschlussbericht
- BECK, E.: *Energieverbrauch, -einsparpotential und -grenzwerte von Lüftungsanlagen*. Kassel, Universität und Gesamthochschule Kassel, Dissertation, 2000
- BLÜMEL, E. ; FINK, C. ; REISE, C.: Luftdurchströmte Erdreichwärmetauscher. Handbuch zur Planung und Ausführung von luftdurchströmten Erdreichwärmetauschern für Heiz- und Kühlanwendungen / AEE INTEC, Fraunhofer ISE. Gleisdorf, 2001. – Forschungsbericht
- BLUM, M. ; HOFER, G. ; GRATZL-MICHLMAIR, M.: Kriterienkatalog zum klima:aktiv haus für Dienstleistungs- und Verkaufsgebäude. Version 1.4 / Energieinstitut Vorarlberg in Zusammenarbeit mit e7, IBO und TU Graz. Bregenz, 2010. – Forschungsbericht
- BOULARD, J. ; RAZAFINJOHANY, E. ; BAILLE, A.: Heat and water vapour transfer in a greenhous with an underground heat storage system - Part I. Experimental results. In: *Agricultural and Forest Meteorology* 45 (1989), S. 175–184
- BOULARD, J. ; RAZAFINJOHANY, E. ; BAILLE, A.: Heat and water vapour transfer in a greenhous with an underground heat storage system - Part II. Model. In: *Agricultural and Forest Meteorology* 45 (1989), S. 185–194
- BRAKE, J. van de: Old technology for new buildings, a study on earth-to-air heat exchangers / University of Technology Eindhoven. Eindhoven, 2008. – Forschungsbericht
- BRANDEMUEHL, M. ; HABERL, J. ; KREIDER, J. ; SPITLER, J.: Energy Estimations and Modeling Methods. In: *The ASHRAE Handbook*. I-P edition. Atlanta, Ga. : American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers, 1997 (Fundamentals)
- CEN/TR 15615 : 2008: *Explanation of the general relationship between various European standards and the Energy Performance of Buildings Directive (EPBD) - Umbrella Document*
- CRESNIK, G. ; SCHULTER, D. ; MAYDL, P. ; MICHLMAIR, M. ; MACH, T.: Planungsleitlinien zur Umsetzung der „Strategie Nachhaltig Bauen und Sanieren in der Steiermark“. Teil 1 - Projektentwicklungsphase / Technische Universität Graz. Graz, 2008. – Forschungsbericht
- DAVID, R. ; BOER, J. de ; ERHORN, H. ; REISS, J. ; ROUVEL, L. ; SCHILLER, H. ; WEISS, N. ; WENNING, M.: *Heizen, Kühlen, Belüften und Beleuchten. Bilanzierungsgrundlagen zur DIN V 18599*. Stuttgart : Fraunhofer IRB Verlag, 2006

- DAVID, R. ; ROUVEL, L. ; WENNING, M.: SANIREV 2 - Energetische Bewertung von Gebäuden mit raumluftechnischen Anlagen. Schwerpunkt: Entwicklung eines Bewertungssystems für den Nutzenergiebedarf für klimatisierte Gebäude / Technische Universität München. München, 2005. – Forschungsbericht
- DIJK, D. van: Energy performance calculation procedures for the EPBD (1). Introduction / TNO Built Environment and Geosciences. Delft, 02 2007 (P25)
- DIJK, D. van: Energy performance calculation procedures for the EPBD (2). Quality for purpose / TNO Built Environment and Geosciences. Delft, 2007 (P26)
- DIJK, D. van ; SPIEKMAN, M.: Energy Performance of Buildings. Outline for Harmonised EP Procedures / TNO Building and Construction Research. Delft, 2004. – final report Task B6 of ENPER-TEBUC-project
- DIJK, H. van ; SPIEKMAN, M. ; WILDE, P. de: A monthly method for calculating energy performance in the context of European building regulations. In: *Proceedings: Building Simulation 2005*, 2005
- DIN 4108-3 : 2001: *Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden - Teil 3: Klimabedingter Feuchteschutz; Anforderungen, Berechnungsverfahren und Hinweise für Planung und Ausführung*
- DIN V 18599 : 2007: *Energetische Bewertung von Gebäuden*
- DIN V 4701-10 : 2003: *Energetische Bewertung heiz- und raumluftechnischer Anlagen - Teil 10: Heizung, Trinkwassererwärmung, Lüftung*
- EIPER, T.: *Berechnungsmethode für die Bestimmung der spezifischen Energiekennwerte zur Bewertung raumluftechnischer Anlagen*. Graz, 2006. – Anhang zum unveröffentlichten OIB-Leitfaden „Energietechnisches Verhalten von Gebäuden“, Version 2.5
- EIPER, T. ; STREICHER, W.: Berechnung des Energieausweises über die Gesamtenergieeffizienz des Berlaymont Gebäudes (EU-Kommissionsgebäude in Brüssel) / Technische Universität Graz. Graz, 2005. – Forschungsbericht
- ELSBERGER, M.: *Nutzenergiebedarf klimatisierter Gebäude mittels Monatsbilanzierung*, Technische Universität München, Dissertation, 2001
- ENEV: *Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden (Energieeinsparverordnung – EnEV) (idF v. 24.07.2007)*. 2007
- ENEV: *Verordnung zur Änderung der Energieeinsparverordnung (idF v. 29.04.2009)*. 2009
- EPBD: *Richtlinie 2002/91/EG des Europäischen Parlaments und des Rates über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden (idF v. 16.12.2002)*. Amtsblatt Nr. L 001 vom 04.01.2003. 2003
- FEIST, W.: *Thermische Gebäudesimulation: Kritische Prüfung unterschiedlicher Modellansätze*. Heidelberg : Verlag CF Müller, 1994
- FITZNER, K. (Hrsg.): *Raumklimatechnik. Band 2: Raumluf- und Raumkühltechnik*. Bd. 2. Berlin-Heidelberg : Springer-Verlag, 2008

- GLÜCK, B.: *Vergleichsprozesse der Klimatechnik*. Heidelberg : Müller, 1998
- GRATZL-MICHLMAIR, M. et al.: Instrument zur Bewertung der Gebäudeenergieeffizienz in frühen Planungsphasen. In: OUWEHAND, J. (Hrsg.): *Internationales Anwenderforum Energetische Sanierung von Gebäuden* Bd. 4. Neumarkt i.d. Oberpfalz, Deutschland, 2010, S. 120–127
- GRATZL-MICHLMAIR, M. ; HEIMRATH, R. ; SCHRANZHOFER, H.: Einflussparameter auf Heizwärmebedarf und Kühlbedarf von Gebäuden in verschiedenen Berechnungsmethoden von EN ISO 13790. In: *Bauphysik* 32 (2010), Nr. 5, S. 296–302
- GRATZL-MICHLMAIR, M. et al.: IEAA-Bewertungstool: Programmmanual / Technische Universität Graz, IFZ, Universität für Bodenkultur. Graz, 2010. – Forschungsbericht
- GRATZL-MICHLMAIR, M. ; STALLER, H. ; DJALILI, M.: Integration energierelevanter Aspekte in Architekturwettbewerben (IEAA). In: FACHHOCHSCHULGÄNGE BURGENLAND (Hrsg.): *Null-Emissions Gebäude (2009)* Bd. 13. Pinkafeld, 2009, S. 9–16
- GRATZL-MICHLMAIR, M. ; STALLER, H. ; DJALILI, M. ; SMUTNY, R. ; TREBERSPURG, M.: Tool for Evaluation of Energy Efficiency of Buildings in Early Design Stages. In: INTERNATIONAL SOLAR ENERGY SOCIETY (Hrsg.): *EuroSun 2010 Proceedings*. Graz, 2010. – digital
- GRATZL-MICHLMAIR, M. ; STREICHER, W.: Pflichtenheft Energieausweis KAGes / Technische Universität Graz. Graz, 2010. – Forschungsbericht
- GUMMERER, C. ; TRITTHART, W. ; GEISSLER, S.: IEA TAST 23: EDV-unterstützte Gebäudesimulation. Optimization of Solar Energy Use in Large Buildings / Ökologie-Institut, IFZ - Interuniversitäres Forschungszentrum für Technik, Arbeit und Kultur. Wien, 2000. – Forschungsbericht
- HAUSLADEN, G. ; MENGEDOHT, G.: Energieeinsparverordnung; Untersuchung differenzierter Ansätze zur energetischen Bewertung von Gebäuden mit Anlagen zur Raumluftkonditionierung. Band 4: Anlagentechnische Kenngrößen für den Lufttransport in RLT-Anlagen sowie Herleitung eines Bewertungsverfahrens zur Begrenzung des Energiebedarfs von RLT-Anlagen unter Anwendung von Aufwandszahlen / Ingenieurbüro Hausladen GmbH. Kirchheim bei München, 2000. – Forschungsbericht
- HOGELING, J. ; DIJK, D. van: Weitere Informationen über die CEN Normen für die EPBD / ISSO, TNO Building Environment and Geosciences. 2007 (P40)
- HOGELING, J. ; DIJK, D. van: More information on the set of CEN standards for the EPBD / ISSO, TNO Building Environment and Geosciences. Delft, 2008 (P60)
- HOLLMULLER, P. ; LACHAL, B.: Buried pipe systems with sensible and latent heat exchange: Validation of numerical simulation against analytical solution and long-term monitoring. In: *IBPSA 2005*. Montreal, 2005
- HOLLMULLER, Pierre ; LACHAL, Bernard: Cooling and preheating with buried pipe systems: monitoring, simulation and economic aspects. In: *Energy and Buildings* 33 (2001), Nr. 5, S. 509–518. – ISSN 0378-7788

- HÖRNER, M.: Methodik zur Erfassung, Beurteilung und Optimierung des Elektrizitätsbedarfs von Gebäuden. Modul 2.2 Luftförderung / ARGE DS-Plan GmbH (DSP) und IWU Institut Wohnen und Umwelt GmbH (IWU). 2003. – Forschungsbericht
- HUBER, A. ; WIDMER, P. ; THORUD, B.: *Programm WKM. Auslegung von Luft-Erdregistern. Version 3.8.* 2006
- JAHN, A.: *Methoden der energetischen Prozessbewertung raumluftechnischer Anlagen und Grundlagen der Simulation*, Technische Universität Berlin, Dissertation, 1978
- KALTSCHMITT, M. ; STREICHER, W. ; WIESE, A.: *Renewable energy: technology, economics, and environment.* Berlin : Springer Verlag, 2007
- KLEIN, S.A.; BECKMANN, W.A. et al.: *TRNSYS - A transient systems simulation program. Version 16.1.* University of Wisconsin, USA: Solar Energy Laboratory, 2008
- KOKOGIANNAKIS, G.: *Support for the Integration of Simulation in the European Energy Performance of Buildings Directive.* Strathclyde, University of Strathclyde, Dissertation, 2008
- KRENN, O.R.: *Validierung des Monatsbilanzverfahrens zur Berechnung des jährlichen Kühlwärmebedarfs von Gebäuden.* Wien, Technische Universität Wien, Diplomarbeit, 2004
- LAHMIDI, H. ; CARUEL, M.: How does ventilation impact global energy consumption? / CSTB. Paris, France, 2009 (P111)
- LAHMIDI, H. ; CARUEL, M.: How to calculate airflows / CSTB. Paris, France, 2009 (P110)
- MICHLMAIR, M.: Vergleichsberechnungen Energieausweiserstellung LKH Rottenmann. Validierung der vereinfachten Berechnungsmethode zur Erstellung eines Energieausweises am LKH Rottenmann / Technische Universität Graz. Graz, 2008. – Forschungsbericht
- MICHLMAIR, M. ; MACH, T. ; HEINZ, A.: Housing and Renovation in the Austrian Building Stock / Graz University of Technology. Graz, 2009. – Forschungsbericht
- MICHLMAIR, M. ; STREICHER, W.: Renovation in Austria. Working paper CZ-AT EEG / Graz University of Technology. Graz, 2007. – Forschungsbericht
- MICHLMAIR, M. ; STREICHER, W.: Raumluftechnische Anlagen im Energieausweis - Ausblick auf die Überarbeitung 2009. In: *Perspektiven* Heft 1-2 (2009), S. 49–51
- MICHLMAIR, M. ; STREICHER, W.: Systematik der Berechnung des Kühl(technik)energiebedarfs. In: *Perspektiven* Heft 1-2 (2009), S. 67–69
- MIHALAKAKOU, G. ; SANTAMOURIS, M. ; ASIMAKOPOULOS, D. ; TSELEPIDAKI, I.: Parametric prediction of the buried pipes cooling potential for passive cooling applications. In: *Solar Energy* 55 (1995), Nr. 3, S. 163–173. – ISSN 0038-092X
- MIJAKOWSKI, M. ; NAROWSKI, P. ; SOWA, J.: Integrated calculations of thermal behaviour of buildings and processes in AHU - The tool for assessment of energy performance of complex buildings. In: *Proceedings: Building Simulation 2009.* Glasgow, Scotland, 2009, S. 875–882

- MIKULITS, R.: Die Umsetzung der OIB-Richtlinien in den Bundesländern. In: *Perspektiven* Heft 1-2 (2009), S. 23–25
- MILLET, J.-R.: The simple hourly method of prEN 13790: a dynamic method for the future. In: *Clima 2007: WellBeing Indoors*, 2007
- MÉNARD, M.: Stundenmodell nach prEN ISO 13790 zur Berechnung des Kälteenergiebedarfs SIA-380/4: Modellbeschreibung und Einbindung in die bestehende 380/4-Struktur / Lemon Consult GmbH, HTA Luzern. Zürich, 2005. – Forschungsbericht
- MOAREFI, M.: Die Normenserie ÖNORM H 5055. In: *Perspektiven* Heft 1-2 (2009), S. 40–41
- ÖNORM H 5056 : 2010: *Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden - Heiztechnik-Energiebedarf*
- ÖNORM H 5057 : 2010: *Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden - Raumlufttechnik-Energiebedarf für Wohn- und Nichtwohngebäude*
- ÖNORM H 5057 BBL 1 : 2011: *Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden - Raumlufttechnik-Energiebedarf für Wohn- und Nichtwohngebäude - Beiblatt 1: Validierungsbeispiel für die Berechnung des Raumlufttechnik-Energiebedarfs.* – unveröffentlicht, im Entwurfsstadium
- ÖNORM H 5058 : 2010: *Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden - Kühltechnik-Energiebedarf*
- ÖNORM H 5058 BBL 1 : 2011: *Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden - Kühltechnik-Energiebedarf - Beiblatt 1: Validierungsbeispiel für die Berechnung des Kühltechnik-Energiebedarfs.* – unveröffentlicht, im Entwurfsstadium
- ÖNORM H 5059 : 2010: *Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden - Beleuchtungsenergiebedarf*
- OIB-ERL ZU RL 6: *Erläuternde Bemerkungen zu OIB-Richtlinie 6 Energieeinsparung und Wärmeschutz und zum OIB-Leitfaden Energietechnisches Verhalten von Gebäuden.* Österreichisches Institut für Bautechnik (Hrsg.). 2007
- OIB-LF 2.5: *Leitfaden Energietechnisches Verhalten von Gebäuden, Version 2.5.* Österreichisches Institut für Bautechnik (Hrsg.). 2006. – unveröffentlicht
- OIB-LF 2.6: *Leitfaden Energietechnisches Verhalten von Gebäuden. Version 2.6.* Österreichisches Institut für Bautechnik (Hrsg.). 2007
- OIB-RL 6: *OIB-Richtlinie 6. Energieeinsparung und Wärmeschutz.* Österreichisches Institut für Bautechnik (Hrsg.). 2007
- ÖNORM B 8110 TEIL 3 : 1999: *Wärmeschutz im Hochbau - Teil 3: Wärmespeicherung und Sonneneinflüsse*
- ÖNORM B 8110 TEIL 5 : 2007: *Wärmeschutz im Hochbau - Teil 5: Klimamodell und Nutzungsprofile*
- ÖNORM B 8110 TEIL 5 : 2010: *Wärmeschutz im Hochbau - Teil 5: Klimamodell und Nutzungsprofile*
- ÖNORM B 8110 TEIL 6 : 2007: *Wärmeschutz im Hochbau - Teil 6: Grundlagen und Nachweisverfahren - Heizwärmebedarf und Kühlbedarf*

- ÖNORM B 8110 TEIL 6 : 2010: *Wärmeschutz im Hochbau - Teil 6: Grundlagen und Nachweisverfahren - Heizwärmebedarf und Kühlbedarf*
- ÖNORM EN 13779 : 2008: *Lüftung von Nichtwohngebäuden - Allgemeine Grundlagen und Anforderungen für Lüftungs- und Klimaanlage und Raumkühlsysteme*
- ÖNORM EN 15232 : 2007: *Energieeffizienz von Gebäuden - Einfluss von Gebäudeautomation und Gebäudemanagement*
- ÖNORM EN 15241 : 2007: *Lüftung von Gebäuden - Berechnungsverfahren für den Energieverlust aufgrund der Lüftung und Infiltration in Nichtwohngebäuden*
- ÖNORM EN 15242 : 2009: *Lüftung von Gebäuden - Berechnungsverfahren zur Bestimmung der Luftvolumenströme in Gebäuden einschließlich Infiltration*
- ÖNORM EN 15243 : 2007: *Lüftung von Gebäuden - Berechnung der Raumtemperaturen, der Last und Energie von Gebäuden mit Klimaanlage*
- ÖNORM EN 15251 : 2007: *Eingangsparameter für das Raumklima zur Auslegung und Bewertung der Energieeffizienz von Gebäuden - Raumluftqualität, Temperatur, Licht und Akustik*
- ÖNORM EN 15265 : 2007: *Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden - Berechnung des Heiz- und Kühlenergieverbrauchs - Allgemeine Kriterien und Validierungsverfahren*
- ÖNORM EN 15603 : 2008: *Energieeffizienz von Gebäuden – Gesamtenergieverbrauch und Festlegung der Energiekennwerte*
- ÖNORM EN ISO 13790 : 2008: *Energieeffizienz von Gebäuden - Berechnung des Energiebedarfs für Heizung und Kühlung*
- ÖNORM EN ISO 13791 : 2005: *Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden - Sommerliche Raumtemperaturen bei Gebäuden ohne Anlagentechnik - Allgemeine Kriterien und Validierungsverfahren*
- ÖNORM EN ISO 13792 : 2005: *Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden - Berechnung von sommerlichen Raumtemperaturen bei Gebäuden ohne Anlagentechnik - Vereinfachtes Berechnungsverfahren*
- PAEPE, M. D. ; JANSSENS, A.: Thermo-hydraulic design of earth-air heat exchangers. In: *Energy and Buildings* 35 (2003), Nr. 4, S. 389–397. – ISSN 0378-7788
- PÖHN, C. ; GEYER, J.: Ergänzung der Excel-Schulungstools um ein Wärmepumpenmodul und der Einbindung von Primärenergiebedarf und CO<sub>2</sub>-Emissionen / Stadt Wien (MA 39) und Enertec Graz. Wien, 2009. – Forschungsbericht
- PÖHN, C. ; GRATZL-MICHLMAIR, M. ; STREICHER, W.: Standortunabhängige Berechnung des Energiebedarfs für Heizen / Befeuchten und Kühlen / Entfeuchten in Ergänzung zur Vornorm ÖNORM H 5057 / Stadt Wien (MA 39) und Technische Universität Graz (IWT). Wien, 2009. – Forschungsbericht
- POLIFKE, W. ; KOPITZ, J.: *Wärmeübertragung. Grundlagen, analytische und numerische Methoden.* München : Pearson Studium, 2005

- PRISA 382/2: *Thermischer Leistungsbedarf, Heizwärme- und Klimakältebedarf von klimatisierten Gebäuden*
- RECKNAGEL, H. ; SPRENGER, E. ; SCHRAMEK, E.-R. (Hrsg.): *Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik*. 73. Auflage. München : Oldenbourg Industrieverlag, 2007
- REICHERT, E.: *Ein Verfahren zur Bestimmung des Energie- und Stoffaufwands zur Luftbehandlung bei raumluftechnischen Anlagen*. Stuttgart, Universität Stuttgart, Dissertation, 2000
- ROUVEL, L. ; ELSBERGER, M.: *Energieeinsparverordnung; Untersuchung differenzierter Ansätze zur energetischen Bewertung von Gebäuden mit Anlagen zur Raumluftechnikonditionierung. Band 3: Nutzenergiebedarfsbewertung für raumluftechnisch versorgte Gebäude / Technische Universität München*. München, 2000. – Forschungsbericht
- SANTAMOURIS, M. ; MIHALAKAKOU, G. ; BALARAS, C. A. ; LEWIS, J. O. ; VALLINDRAS, M. ; ARGIRIOU, A.: *Energy conservation in greenhouses with buried pipes*. In: *Energy* 21 (1996), Nr. 5, S. 353–360. – ISSN 0360-5442
- SCHILLER, H.: *SANIREV 2 - Energetische Bewertung von Gebäuden mit raumluftechnischen Anlagen. Schwerpunkt: Berechnungsverfahren für den Nutzenergiebedarf der thermischen Luftaufbereitung in raumluftechnischen Anlagen / Schiller Engineering*. Hamburg, 2005. – Forschungsbericht
- SCHMIDT, M. ; KOLARIK, F. ; KNABE, G. ; LAMPERT, J.: *Forschungsvorhaben BOLKA - Bestimmung des Energiebedarfs zur Optimierung von Luftkanalsystemen Raumluftechnischer Anlagen / Universität Stuttgart, Technische Universität Dresden*. Stuttgart, 2004. – Forschungsbericht
- SCHMIDT, M. ; KOLARIK, F. ; RICHTER, W. ; LAMPERT, J.: *Forschungsvorhaben BOLKA-II - Bestimmung des Energiebedarfs zur Optimierung von Luftkanalsystemen Raumluftechnischer Anlagen Teil II / Universität Stuttgart, Technische Universität Dresden*. Stuttgart, 2005. – Forschungsbericht
- SCHMIDT, M. ; NI, J. ; SCHLOSSER, Th.: *ENERGO - Entwicklung eines Verfahrens zur Ermittlung von Energetischen Kennwerten für Raumluftechnische Anlagen / Universität Stuttgart, Lehrstuhl für Raumluftechnik*. Stuttgart, 2006. – Forschungsbericht
- SCHMIDT, M. ; SCHLOSSER, Th.: *ENERGO 2 - Entwicklung eines Verfahrens zur Ermittlung von Energetischen Kennwerten für Raumluftechnische Anlagen 2 / Universität Stuttgart, Lehrstuhl für Heiz- und Raumluftechnik*. Stuttgart, 2009. – Forschungsbericht
- SIA 2024 : 2006: *Standard-Nutzungsbedingungen für die Energie- und Gebäudetechnik*
- SIEMENS BUILDING TECHNOLOGIES GROUP, (Hrsg.): *Regeltechnik*. Online im Internet: URL: <http://www.buildingtechnologies.siemens.com> [Stand: 2009-12-11]. 2009
- SOFIC, M.: *Erhöhung der Anwendbarkeit vereinfachter Berechnungsverfahren zur Bestimmung des Heizwärme- und Kühlbedarfs von Gebäuden (als Basis für ein Sicherheitskonzept)*. Wien, Technische Universität Wien, Dissertation, 2009

- SONNTAG, D.: Important new Values of the Physical Constants of 1986, Vapour Pressure Formulations based on ITS-90, and Psychrometer Formulae. In: *Z. Meteorol.* 40 (1990), S. 340–344
- TÖGLHOFER, C. et al.: Heat.AT - Die Auswirkungen des Klimawandels auf Heiz- und Kühlernergiebedarf in Österreich 2 / Joanneum Research, Technische Universität Graz. Graz, 2009. – Forschungsbericht
- THEVENARD, D.: Bibliographic search on the potential of earth tubes / Numerical Logics Inc. Waterloo, Canada, 2007. – Forschungsbericht
- VDI 2067 TEIL 21 : 2003: *Wirtschaftlichkeit gebäudetechnischer Anlagen. Energieaufwand der Nutzenübergabe Raumlufttechnik*
- VDI 2071 : 1997: *Wärmerückgewinnung in Raumlufttechnischen Anlagen*
- VDI 2078 : 1996: *Berechnung der Kühllast klimatisierter Räume (VDI-Kühllastregeln)*
- VDI 3803 : 2002: *Raumlufttechnische Anlagen. Bauliche und technische Anforderungen*
- VORNORM ÖNORM H 5056 : 2007: *Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden - Heiztechnik-Energiebedarf*
- VORNORM ÖNORM H 5057 : 2007: *Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden - Raumlufttechnik-Energiebedarf für Wohn- und Nichtwohngebäude*
- VORNORM ÖNORM H 5058 : 2007: *Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden - Kühltechnik-Energiebedarf*
- VORNORM ÖNORM H 5059 : 2007: *Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden - Beleuchtungsennergiebedarf*
- VORSCHLAG ÖNORM H 5057 BBL 2 : 2011: *Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden - Raumlufttechnik-Energiebedarf für Wohn- und Nichtwohngebäude - Beiblatt 2: Alternative Berechnung spezifischer Energiekennwerte.* – unveröffentlicht, als Vorschlag im Jänner 2011 an das ON-K 235 ergangen
- WAGMEISTER, S.: Die Normenserie ÖNORM B 8110. In: *Perspektiven* Heft 1-2 (2009), S. 35–39
- ZIMMERMANN, M.: *Handbuch der passiven Kühlung. Rationelle Energienutzung in Gebäuden.* Fraunhofer IRB Verlag, 2003
- ZIMMERMANN, M. ; HUBER, A.: Detailed design tools for low energy cooling technologies. In: ROEL, H. (Hrsg.): *Detailed design tools, Annex 28.* International Energy Agency, Building Research Ltd, 2000, S. J-1–J-25
- ZWEIFEL, G.: How to deal with the calculation of cooling, humidification and dehumidification systems? / Lucerne University of Applied Sciences. Lucerne, Switzerland, 2009 (P113)

# Abbildungsverzeichnis

2.1. Bewertungsebenen des thermischen Verhaltens von Gebäuden. (Bildquelle: Cresnik et al., 2008) . . . . .	10
2.2. Darstellung der Verknüpfung der Energieströme in Gebäuden. (eigene Darstellung nach CEN/TR 15615:2008) . . . . .	12
2.3. Flussdiagramm der Hauptschritte bei der Berechnung des Nutzenergiebedarfs in ÖNORM EN ISO 13790. (Bildquelle: ÖNORM EN ISO 13790:2008) . . . . .	13
2.4. Zusammenhang der Normen des Mandats M 343 auf Nutzenergie-, Endenergie- und Primärenergieebene für die Beurteilung von Gebäuden (eigene Darstellung nach CEN/TR 15615:2008) . . . . .	16
2.5. Wärmebilanz mit Darstellung der nutzbaren und nicht nutzbaren Wärmege- winne im Monatsbilanzverfahren der ÖNORM B 8110-6. . . . .	19
2.6. Energieflussbild als Grundlage für die Berechnung des Kühlenergiebedarfs KEB. (nach Michlmair und Streicher, 2009a) . . . . .	21
2.7. Berücksichtigung von Kombisystemen in der ÖNORM H 5058. (Bildquelle: Michlmair und Streicher, 2009a) . . . . .	22
2.8. Darstellung des Nutzenergiebedarfs zur Konditionierung des Zuluftvolumen- stroms und des Luftförderungsenergiebedarfs in einer RLT-Anlage . . . . .	23
3.1. Zusammenhang zwischen Energieaufnahme und Nutzenergieabgabe (a) und zwischen normierter Energieaufwandszahl und Auslastung (b) beim Aufwandszahlen-Modell (Bildquelle: Hausladen und Mengedoht, 2000) . . . . .	28
3.2. Zweidimensionales Abarbeitungsschema der dynamischen Optimierung für die Variablen Lufttemperatur ( $t$ ) und Luftfeuchte ( $x$ ) zur Optimierung des klima- technischen Prozesses (Bildquelle: Glück, 1998) . . . . .	30
3.3. Zonierung des $h, x$ -Diagramms bei einem adiabaten Wäscher mit geregelter Befeuchtungsgrad (a) und Dampfbefeuchtung (b) (Bildquelle: Reichert, 2000) . . . . .	31
3.4. Zustandsverläufe der Luft im $h, x$ -Diagramm bei einem adiabaten Wäscher mit geregelter Befeuchtungsgrad (a) und Dampfbefeuchtung (b) (Bildquelle: Reichert, 2000) . . . . .	31
3.5. Ermittlung der Außentemperaturbereiche für Zulufterwärmung und Zuluft- kühlung (a) sowie der mittleren Temperaturen und der Häufigkeiten (b) für die Häufigkeitsverteilungs-Methode (Bildquelle: David et al., 2005) . . . . .	33
3.6. Summenhäufigkeitsverteilung der absoluten Außenluftfeuchte (a) und Auf- teilung des $h, x$ -Diagramm in Zonen gleicher Zustandsverläufe (b) für die Häufigkeitsverteilungs-Methode (Bildquelle: David et al., 2005) . . . . .	33
3.7. Darstellung der Bereichsgrenze der Feuchte-Sollwerte für den Zuluftzustand (a) und des spezifischen Jahres-Nutzenergiebedarfs der energetischen Luftauf- bereitung (b) bei der Benchmark-Methode (Bildquelle: Schiller, 2005) . . . . .	35
3.8. Druckverlauf in einer Lüftungsanlage bei einem Ventilator mit Druck- und Saugleitung (Bildquelle: Recknagel et al., 2007) . . . . .	38

3.9.	Zusammenhang der Normen des Mandats M 343 auf Nutzenergie-, Endenergie- und Gesamtenergieebene für die Beurteilung von raumlufttechnischen Anlagen. (eigene Darstellung nach CEN/TR 15615:2008) . . . . .	44
4.1.	Verknüpfung der Systembereiche in klimatisierten Räumen mit den Untersystemen bei RLT-Anlagen nach der Methode der Bedarfsentwicklung (eigene Darstellung nach Reichert, 2000) . . . . .	54
4.2.	Einteilung der Lufttechnik ergänzt um den Anwendungsbereich der ÖNORM H 5057 (eigene Darstellung nach Recknagel et al., 2007) . . . . .	58
5.1.	Zusammenhang von Zulufttemperatur, Zuluftvolumenstrom und Wärmemenge bei prozessbedingter Lüftung in einem $\theta, v$ -Diagramm . . . . .	67
5.2.	Systematik der Berechnung des Luftvolumenstroms gemäß ÖNORM H 5057, Ausgabe 2007 (a) und Ausgabe 2010 (b) . . . . .	68
6.1.	Systematik der Defaultberechnung des Luftförderungsenergiebedarfs einer RLT-Anlage mit konstantem Volumenstrom (KVS-System) . . . . .	71
6.2.	Regelschema für VVS-Anlagen als Grundlage für eine vereinfachte Berechnung (Bildquelle: Schiller, 2005) . . . . .	74
6.3.	Einfluss der Druckverhältnis-Zahl $f_p$ auf die Gesamt-Druckerhöhung (a) und die Leistungsaufnahme des Ventilators (b) in einer VVS-Anlage als dimensionslose Verhältniszahl (eigene Darstellung nach Schiller, 2005) . . . . .	75
6.4.	Systematik der Berechnung des Luftförderungsenergiebedarfs einer RLT-Anlage mit variablem Volumenstrom (VVS-System) . . . . .	76
6.5.	Grundsätzliche Systematik der Berechnung des Luftförderungsenergiebedarfs in Version 2007 (a) und Version 2010 (b) der ÖNORM H 5057 . . . . .	77
6.6.	Systematik der Berechnung des Luftförderungsenergiebedarfs von KVS-Anlagen in Version 2007 (a) und Version 2010 (b) der ÖNORM H 5057 . . . . .	78
7.1.	$h, x$ -Diagramm für feuchte Luft nach Mollier (Luftdruck: 980 hPa = 980 mbar) (Bildquelle: Recknagel et al., 2007) . . . . .	84
7.2.	Zonenteilung des $h, x$ -Diagramms bei adiabater Befeuchtung (Verdunstungsbefeuchtung) (a) und Dampfbefeuchtung (b) . . . . .	85
7.3.	Übersichtsdarstellung der Systematik des Verfahrens der spezifischen Energiekennwerte . . . . .	86
7.4.	Konfiguration der Benchmark-Anlagen zur Bestimmung der spezifischen Energiekennwerte . . . . .	89
7.5.	Berechnung des Nutzenergiebedarfs zur Konditionierung des Luftvolumenstroms. Schritt 1: Auswahl einer Benchmark-Anlage . . . . .	92
7.6.	Berechnung des Nutzenergiebedarfs zur Konditionierung des Luftvolumenstroms. Schritt 2: Anpassung der Benchmark-Parameter . . . . .	93
7.7.	Korrektur der spezifischen Energiekennwerte an die tatsächliche Betriebszeit. Korrekturfaktoren $f_{h,H}$ , $f_{h,C}$ und $f_{h,St}$ für die erforderliche Anpassung aufgrund der Tag-Nacht-Asymmetrie (Bildquelle: Schiller, 2005) . . . . .	94
7.8.	Berechnung des Nutzenergiebedarfs zur Konditionierung des Luftvolumenstroms. Schritt 3: Denormierung . . . . .	95

7.9. Berechnung des Zuluftzustands (Zulufttemperatur, Zuluftvolumenstrom) für Heizen (a) und Kühlen (b) bei prozessbedingter Lüftung auf Grundlage des $\theta, v$ -Diagramms unter Anwendung des Nutzenergiebedarfs zur Luftvolumenstrom-Konditionierung von Lufterneuerungsanlagen . . . . .	100
7.10. Zusammenhang zwischen monatlichen Heiz- und Kühlgradstunden . . . . .	101
7.11. Verknüpfung der Systembereiche in klimatisierten Räumen mit den Untersystemen bei RLT-Anlagen nach der Methode der Bedarfsentwicklung (eigene Darstellung nach Reichert, 2000) . . . . .	102
7.12. Abgrenzung der Energiebedarfswerte $Q_h, Q_{corr,h}$ (a) und $Q_{H,RLT}$ auf Grundlage des $\theta, v$ -Diagramms . . . . .	103
7.13. Anlagenkonfiguration der Referenzklimaanlage: Vollklimaanlage wahlweise mit Dampf- oder Verdunstungsbefeuchtung . . . . .	109
7.14. Flussdiagramm zur Berechnung von Temperatur, Feuchte und Druckwerten in den einzelnen Anlagenteilen der RLT-Anlage . . . . .	111
7.15. Erdreichtemperaturen für verschiedene Verlegetiefen der Luftleitungen . . . . .	117
7.16. R5C1-Modell als Grundlage des Raummodells des vereinfachten Stundenverfahrens (eigene Darstellung nach Ménard, 2005) . . . . .	120
7.17. Darstellung des Zusammenhangs zwischen Raumverhalten (Raumtemperatur) und Anlagenverhalten (Heiz- und Kühlleistung, stündlicher Nutzenergiebedarf für Heizen und Kühlen) . . . . .	127
7.18. Anlagenkonfiguration der Referenzklimaanlage: Vollklimaanlage wahlweise mit Dampf- oder Verdunstungsbefeuchtung (identisch mit Abbildung 7.13) . . . . .	140
7.19. Konditionierung durch passive Konditionierungselemente in Zone 1a (a), Zone 1b (b), Zone 2 (c), Zone 3 (d) und Zone 4 (e) . . . . .	143
7.20. Konditionierung ohne Befeuchtung in Zone 1a (a), Zone 1b (b), Zone 2 (c), Zone 3 (d) und Zone 4 (e) . . . . .	145
7.21. Konditionierung mit Verdunstungsbefeuchtung mit Zuluftfeuchte-Regelung in Zone 1a (a), Zone 1b (b), Zone 2 (c), Zone 3 (d) und Zone 4 (e) . . . . .	147
7.22. Konditionierung mit Verdunstungsbefeuchtung mit Taupunkt-Regelung in Zone 1a (a), Zone 1b (b), Zone 2 (c), Zone 3 (d) und Zone 4 (e) . . . . .	150
7.23. Konditionierung mit Dampfbefeuchtung mit Zuluftfeuchte-Regelung in Zone 1a (a), Zone 1b (b), Zone 2 (c), Zone 3 (d) und Zone 4 (e) . . . . .	152
7.24. Mittelwert $\bar{x}$ und Standardabweichung $\sigma$ (Differenzen bezogen auf die Ergebnisse des Validierungsmodells) für die Varianten der Validierung des Modells der Konditionierung in der RLT-Anlage . . . . .	156
7.25. Spezifischer Differenzwert gemäß der ÖNORM EN 15265 für Heizen $rQ_H$ und für Kühlen $rQ_C$ für die informativen und normativen Validierungsprüfungen . . . . .	158
7.26. Mittelwert $\bar{x}$ und Standardabweichung $\sigma$ (Stundenwerte (a) und Monatswerte (b)) des HRLYM-Modells im Vergleich zur TRNSYS-Simulation für die Varianten „nur Transmission“ (V01), „interne Lasten“ (V02), „Lüftung“ (V03), „Solarstrahlung“ (V04) und „Speichermassen“ (V05) . . . . .	159
7.27. Mittelwert $\bar{x}$ und Standardabweichung $\sigma$ der Differenzen der Monatswerte gemäß halbsynthetischem Klimamodell (HSKM) und Testreferenz-Jahr (TRY) von Temperatur (a), Feuchte (b) und Enthalpie (c, d) der Außenluft an zwölf Standorten in Österreich . . . . .	162
7.28. Verlauf von Temperatur (a, b), Feuchte (c, d) und Enthalpie (e, f) der Außenluft am Standort Klagenfurt in den Monaten Jänner und Juli für Werte gemäß halbsynthetischem Klimamodell und Testreferenz-Jahr . . . . .	163

7.29. Gegenüberstellung der mittleren täglichen Austrittstemperaturen aus dem Erdreichwärmetauscher des EN-Modells im Vergleich mit dem Modell WKM-2	166
7.30. Gegenüberstellung der Ergebnisse des Nutzenergiebedarfs für Heizen, Kühlen und Befeuchten (Dampfbefeuchtung) für die verschiedenen Modelle für alle untersuchten Varianten . . . . .	168
7.31. Gegenüberstellung der Ergebnisse des Nutzenergiebedarfs für Heizen, Kühlen und Befeuchten (Dampfbefeuchtung) für die verschiedenen Modelle an den zwölf untersuchten Standorten . . . . .	170
7.32. Gegenüberstellung der Ergebnisse des Nutzenergiebedarfs für Heizen, Kühlen und Befeuchten (Dampfbefeuchtung) für die verschiedenen Modelle für eine tägliche Nutzungszeit von 24 h und 12 h . . . . .	171
8.1. Systematische Darstellung eines Kombisystems aus Luftheizung über die RLT-Anlage und einem statischen Heizsystem . . . . .	174
8.2. Energieflussdiagramm eines Kombisystems aus Luftheizung über die RLT-Anlage und einem statischen Heizsystem (Nutzung von Umweltwärme nicht berücksichtigt) . . . . .	175
8.3. Systematische Darstellung eines Kombisystems aus Luftkühlung über die RLT-Anlage und einem statischen Kühlsystem (Bildquelle: Michlmair und Streicher, 2009b) . . . . .	177
8.4. Energieflussdiagramm eines Kombisystems aus Luftkühlung über die RLT-Anlage und einem statischen Kühlsystem . . . . .	178
8.5. Systematik der Bilanzierung der Ergebniswerte aus ÖNORM H 5057 für Heizen (a) und Kühlen (b) . . . . .	181
8.6. Systematik der Bilanzierung der Ergebniswerte aus der ÖNORM H 5057 für Befeuchten . . . . .	182
A.1. Sättigungsdampfdruck über ebenen Wasseroberflächen nach der Magnus-Formel nach Sonntag (1990) . . . . .	208
F.1. Qualitativer Verlauf von Entscheidungsfreiheit und Folgekosten von Entscheidungen während des Planungsverlaufs von Bauvorhaben (Bildquelle: Gratzl-Michlmair et al., 2009) . . . . .	270
F.2. Ausdrucke der Module „1-Gebäude-Basis“ (a) und „E-Ergebnisse“ (b) des IEAA-Bewertungstools (Gratzl-Michlmair et al., 2010c) . . . . .	271
F.3. Links: Mittlere monatliche Temperaturänderung [°C]. Rechts: Mittlere relative Änderung der Monatssummen der Globalstrahlung [%]. (Bildquelle: Töglhofer et al., 2009) . . . . .	275
F.4. Verteilung des HWB und KB für den Gebäudetyp Einfamilienhaus unter dem Basisklima und dem Klimaszenario „Zukunft“ (derzeitiger Gebäudebestand). (Bildquelle: Töglhofer et al., 2009) . . . . .	276
F.5. Kriterienkatalog klima:aktiv haus für Dienstleistungs- und Verkaufsgebäude (Bildquelle: Blum et al., 2010) . . . . .	277
F.6. Mittelwerte und Standardabweichungen der Differenzen des stündlichen HWB und KB zwischen HRLYM und SIM für die verschiedenen Varianten (Bildquelle: Gratzl-Michlmair et al., 2010b) (a) und Sensitivitätsanalyse der wirksamen Wärmespeicherkapazität mit $\bar{x}$ von SIM als Beurteilungsgröße (Bildquelle: Gratzl-Michlmair et al., 2010b) (b) . . . . .	278

F.7. Growth of total useful floor area in Austria in the period 1971-2007 (mio sqm) (a) und Overview of the ownership of buildings in Austria (b) (Bildquelle jeweils: Michlmair et al., 2009) . . . . .	280
F.8. Übersicht über die NBS-Projektentwicklung im geförderten Geschößbau (Bildquelle: Cresnik et al., 2008) . . . . .	282



# Tabellenverzeichnis

3.1.	Klassifizierung der spezifischen Ventilatorleistung gemäß ÖNORM EN 13779	37
3.2.	Richtwerte für Druckverluste des Zuluft- und Abluftvolumenstroms gemäß Beck (2000)	39
3.3.	Richtwerte für Wirkungsgrade der Luftförderungseinrichtungen des Zuluft- und Abluftvolumenstroms gemäß Beck (2000)	40
3.4.	Anhaltswerte für das Luftvolumenstromverhältnis im vereinfachten Berechnungsverfahren des Luftförderungsenergiebedarfs nach Schmidt et al. (2005, vereinfacht)	43
4.1.	Überblick über die Normen mit Berechnungsalgorithmen zur Berechnung der für den Energieausweis erforderlichen Energiekennzahlen (nach OIB-LF 2.6, 2007)	56
6.1.	Defaultwerte für die spezifische Leistungsaufnahme in Anlehnung an ÖNORM EN 13779 (nach ÖNORM H 5057:2010)	72
7.1.	Struktur der Korrekturgradienten für frei wählbare absolute Zuluftfeuchte in Abhängigkeit von der Zulufttemperatur (nach Vornorm ÖNORM H 5057:2007)	97
7.2.	Spezifische Energiekennwerte für Dampfbefeuchtung, Heizung und Kühlung zur Lufterneuerung [kWh/(m <sup>3</sup> /h)] (nach Vornorm ÖNORM H 5057:2007)	99
7.3.	Monatsamplitude der Außenlufttemperatur (Quelle: ÖNORM B 8110-5:2010)	113
7.4.	Tagesamplitude der Außenlufttemperatur (Quelle: ÖNORM B 8110-5:2010)	114
7.5.	Jahresmittelwert und Jahresamplitude der Außenluftfeuchte (Quelle: ÖNORM B 8110-5:2010)	114
7.6.	Monatsamplitude der Außenluftfeuchte (Quelle: ÖNORM B 8110-5:2010)	114
7.7.	Tagesamplitude der Außenluftfeuchte (Quelle: ÖNORM B 8110-5:2007)	115
7.8.	Erdreichkorrekturfaktoren $f_{BO}$ für verschiedene Erdreichmaterialien	116
7.9.	Standardwerte für dynamische Berechnungsparameter im vereinfachten Stundenvorgang gemäß ÖNORM EN ISO 13790	124
7.10.	Tatsächliche Nutzungszeit in Abhängigkeit der täglichen Nutzungsstunden	131
7.11.	Zustände des Abluftvolumenstroms in der RLT-Anlage unabhängig von der Befeuchtungsart	141
7.12.	Zustände des Zuluftvolumenstroms in den passiven Konditionierungselementen der RLT-Anlage unabhängig von der Befeuchtungsart	141
7.13.	Zustände des Zuluftvolumenstroms in den passiven Konditionierungselementen der RLT-Anlage unabhängig von der Befeuchtungsart	142
7.14.	Zustände des Zuluftvolumenstroms in den aktiven Konditionierungselementen der RLT-Anlage: ohne Befeuchtung	144
7.15.	Zustände des Zuluftvolumenstroms in den aktiven Konditionierungselementen der RLT-Anlage: Verdunstungsbefeuchtung mit Zuluftfeuchteregelung	146

7.16. Zustände des Zuluftvolumenstroms in den aktiven Konditionierungselementen der RLT-Anlage: Verdunstungsbefeuchtung mit Taupunktregelung . . . . .	149
7.17. Zustände des Zuluftvolumenstroms in den aktiven Konditionierungselementen der RLT-Anlage: Dampfbefeuchtung mit Zuluftfeuchteregelung . . . . .	151
7.18. Ergebnisse der Validierungsrechnung für die Modelle EN, WKM-1, WKM-2, WKM-3 und Blümel . . . . .	164
8.1. Defaultwerte für Endenergiefaktoren für die Dampferzeugung bei Dampfbefeuchtern bezogen auf den unteren Heizwert (nach ÖNORM H 5056:2010) . .	179
8.2. Defaultwerte für spezifische Leistungsaufnahme und Befeuchtungsfaktoren von Verdunstungsbefeuchtern (nach ÖNORM H 5056:2010) . . . . .	180
8.3. Mögliche Interpretation der auf der zweiten Seite des Energieausweises dargestellten Werte mit Bezug auf raumlufttechnische Anlagen . . . . .	184
A.1. Magnus-Parameter für die Berechnung des Sättigungsdampfdrucks (nach Sonntag, 1990, Formelzeichen angepasst) . . . . .	207

# A. Berechnungsparameter für die ursprüngliche SEK-Berechnung

Die hier dargestellten Berechnungsparameter für die ursprüngliche SEK-Berechnung wurden von Eiper (2006) beschrieben und sollte Teil des OIB-Leitfadens mit den gesamten Berechnungsalgorithmen werden (OIB-LF 2.5, 2006). Diese Leitfaden wurde nicht wie geplant veröffentlicht, wodurch auch keine Dokumentation des ursprünglichen Verfahrens zur Berechnung der spezifischen Energiekennwerte vorhanden ist. Aus diesem Grund wird die Beschreibung an dieser Stelle sozusagen „nachgereicht“.

Die Formelzeichen und Indizes wurden aus der Beschreibung von Eiper übernommen, eine Anpassung an die übliche Notation in dieser Arbeit wurde nicht vorgenommen. Die Symbole und Abkürzungen dieses Anhangs sind nicht im Symbol- und Abkürzungsverzeichnis enthalten.

## Sättigungsdampfdruck

Für die Berechnung wird der Sättigungsdampfdruck des Wasserdampfes in der Luft benötigt. Die Ermittlung erfolgt vereinfacht nach der Magnus-Formel. In Abbildung A.1 auf der nächsten Seite ist der Sättigungsdampfdruck für Wasserdampf über ebenen Wasseroberflächen dargestellt. Die angewandte Gleichung zur Berechnung des Sättigungsdampfdruckes lautet:

$$p_{Satt} = A \cdot e^{\frac{m \cdot T_e}{T_n + T_e}} \quad (\text{A.1})$$

$p_{Satt}$	Sättigungsdampfdruck; in [Pa]
$T_e$	Außenlufttemperatur; in [°C]
$A, m, T_n$	Magnus-Parameter

Die Magnus-Parameter  $A$ ,  $m$  und  $T_n$  können Tabelle A.1 entnommen werden:

Tabelle A.1.: Magnus-Parameter für die Berechnung des Sättigungsdampfdrucks (nach Sonntag, 1990, Formelzeichen angepasst)

Bezeichnung	Temperaturbereich	$A$	$m$	$T_n$
Magnus über Wasser	-45 bis 50 °C	6,112	17,62	243,12
Magnus über Eis	-80 bis 0,01 °C	6,112	22,46	272,62

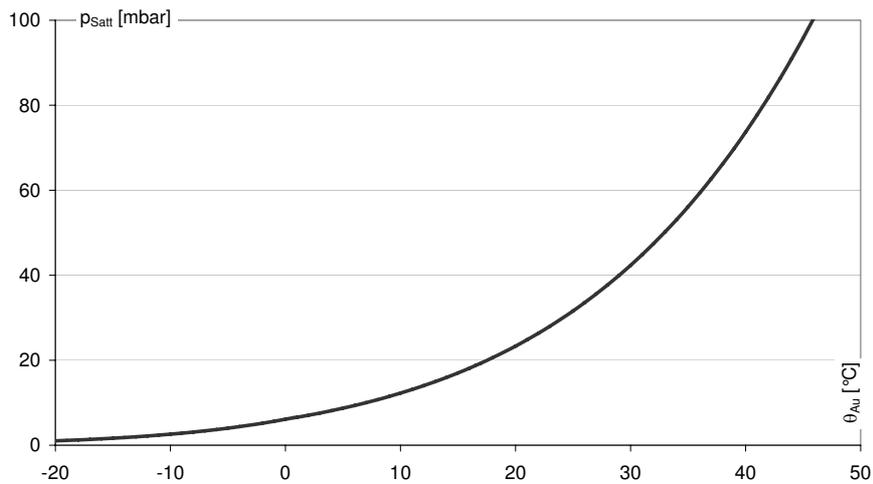


Abbildung A.1.: Sättigungsdampfdruck über ebenen Wasseroberflächen nach der Magnus-Formel nach Sonntag (1990)

### Feuchtegrad der Luft

Die Klimadaten enthalten die relative Luftfeuchtigkeit in %. Die Berechnung der absoluten Luftfeuchtigkeit (Feuchtegrad) erfolgt nach folgender Gleichung:

$$x_e = \frac{R_L}{R_D} \cdot \frac{p_{Dampf}}{p_e - p_{Dampf}} \quad (A.2)$$

$x_e$	absolute Feuchte der Außenluft; in [g/kg]
$R_L = 0,287$	Gaskonstante (trockene Luft); in [kJ/(kg · K)]
$R_D = 0,462$	Gaskonstante (Dampf); in [kJ/(kg · K)]
$p_{Dampf}$	Partialdruck des Dampfes; in [Pa]
$p_e$	Außenluftdruck; in [Pa]

Die Berechnung des Wasserdampfpartialdruckes erfolgt nach folgender Gleichung:

$$p_{Dampf} = p_{Satt} \cdot \varphi \quad (A.3)$$

$p_{Dampf}$	Partialdruck des Dampfes; in [Pa]
$p_{Satt}$	Sättigungsdampfdruck; in [Pa]
$\varphi$	relative Luftfeuchte; in [-]

### Enthalpie der Luft

$$h = c_{p,L} \cdot \theta + x \cdot (r_0 + c_{p,D} \cdot \theta) \quad (A.4)$$

$h$	Enthalpie; in [kJ/kg]
$\theta$	Lufttemperatur; in [°C]
$c_{p,L}$	spezifische Wärmekapazität der trockenen Luft; in [kJ/(kg · K)]
$c_{p,D}$	spezifische Wärmekapazität des Wasserdampfes; in [kJ/(kg · K)]
$r_0$	Verdampfungswärme; in [kJ/kg]
$x$	absolute Luftfeuchte; in [g/kg]

## Wärme- und Feuchterückgewinnung

Die Wärme- und Feuchterückgewinnung wird nur im Heizfall zu Gunsten des Nutzenergiebedarfs für Heizen und Befeuchten berücksichtigt. Die „Kälterückgewinnung“ im Sommerfall wird in den Betrachtungen nicht mit einbezogen sondern vereinfachend vernachlässigt. Die reine Wärmerückgewinnung bezieht sich auf die Temperaturdifferenz. Die Feuchterückgewinnung bezieht sich auf die Enthalpiedifferenz. Durch die Wärme- und Feuchterückgewinnung erfolgt eine Vorkonditionierung der Zuluft von  $h_{AU}$  auf  $h_{AU,WRG}$ . Das Ergebnis dient dann als Basis für die weitere Berechnung der Enthalpiedifferenzen.

Die Temperatur bzw. die Feuchte die man über die Wärmerückgewinnung bzw. Feuchterückgewinnung erreicht, berechnet sich nach folgender Formel:

$$h = c_{p,L} \cdot \theta_{WRG} + x_{WRG} \cdot (r_0 + c_{p,D} \cdot \theta_{WRG}) \quad (\text{A.5})$$

$h$	Enthalpie; in [kJ/kg]
$\theta_{WRG}$	Lufttemperatur nach der Wärmerückgewinnung; in [°C]
$c_{p,L}$	spezifische Wärmekapazität der trockenen Luft; in [kJ/(kg · K)]
$c_{p,D}$	spezifische Wärmekapazität des Wasserdampfes; in [kJ/(kg · K)]
$r_0$	Verdampfungswärme; in [kJ/kg]
$x_{WRG}$	absolute Luftfeuchte nach der Wärmerückgewinnung; in [g/kg]

## Enthalpiedifferenz

Für den Winterfall (Heizen) bei  $\theta_{ZU} > \theta_e$ :

$$\Delta h = h_{ZU} - h_{AU} \quad (\text{A.6})$$

$\Delta h$	Enthalpiedifferenz; in [kJ/kg]
$h_{ZU}$	Enthalpie der Zuluft; in [kJ/kg]
$h_{AU}$	Enthalpie der Außenluft; in [kJ/kg]

Für den Sommerfall (Kühlen) bei  $\theta_{ZU} < \theta_e$ :

$$\Delta h = h_{AU} - h_{ZU} \quad (\text{A.7})$$

$\Delta h$	Enthalpiedifferenz; in [kJ/kg]
$h_{ZU}$	Enthalpie der Zuluft; in [kJ/kg]
$h_{AU}$	Enthalpie der Außenluft; in [kJ/kg]

## Berechnung der erforderlichen Enthalpie

Um von der errechneten Enthalpiedifferenz in kJ/kg auf den spezifischen Wert in Wh/(m<sup>3</sup>/h) zu gelangen, benötigt man die Dichte des jeweiligen Zustandes. Der Index  $i$  steht für Außenluft (AU), Zuluft (ZU) und Abluft (AB). Die Berechnung der Dichte erfolgt nach folgender Formel:

$$\rho_i = \frac{100 \cdot (p_e + \Delta p_{Vent})}{1000 \cdot R_L \cdot (\theta_i + 273,15)} \cdot \frac{1 + x_i}{1 + 1,608 \cdot x_i} \quad (\text{A.8})$$

$\rho_i$	Dichte der Luft; in [kg/m <sup>3</sup> ]
$p_e$	Außenluftdruck; in [Pa]
$\theta_i$	Temperatur der Zuluft; in [°C]
$R_L = 0,287$	Gaskonstante (trockene Luft); in [kJ/(kg · K)]
$\Delta p_{Vent}$	Förderdruck des Ventilators; in [Pa]
$x_i$	absolute Luftfeuchte der Zuluft; in [g/kg]

Die Druckerhöhung  $\Delta p_{Vent}$  durch die Ventilatoren wird pauschal mit 1200 Pa für Zuluftventilatoren und 800 Pa für Abluftventilatoren angesetzt. Die ermittelten Enthalpien in kJ/kg für die Zuluft, Abluft und Außenluft werden mit Hilfe der jeweiligen Dichte in Wh/(m<sup>3</sup>/h) umgerechnet. Die Berechnung erfolgt nach folgender Formel:

$$q_i = \frac{\Delta h_i}{3,6} \cdot \rho_i \quad (\text{A.9})$$

$q_i$	spezifischer Energiekennwert; in [Wh/(m <sup>3</sup> /h)]
$\Delta h$	Enthalpiedifferenz; in [kJ/kg]
$\rho_i$	Dichte der Luft; in [kg/m <sup>3</sup> ]

## Klimadaten

Die Berechnung der spezifischen Energiekennwerte basiert auf einem „Worst-Case“-Klima. Dazu wurde für den Heizfall der Standort Klagenfurt (Berechnung von  $q_H$  und  $q_{St}$ ) und für den Kühlfall der Standort Wien-Innere Stadt (Berechnung von  $q_C$ ) ausgewählt. Die Klimadaten entstammen jeweils dem Testreferenzjahr 2005 des Standorts aus der Periode 1991 bis 2005. Details sind der folgenden Darstellung zu entnehmen.

- Heizfall: Klagenfurt
  - geografische Länge: 14° 19' 25"
  - geografische Breite: 46° 38' 59"
  - Seehöhe: 450 m.ü.A.
  - Auswahl aus der Periode 1991 – 2005
  - Testreferenzjahr J: 1993, F: 1997, M: 1997, A: 2001, M: 1996, J: 1993, J: 1999, A: 1995, S: 2002, O: 2005, N: 2005, D: 1995
- Kühlfall: Wien-Innere Stadt
  - geografische Länge: 16° 22' 02"
  - geografische Breite: 48° 11' 58"
  - Seehöhe: 171 m.ü.A.
  - Auswahl aus der Periode 1991 – 2005
  - Testreferenzjahr J: 2003, F: 2000, M: 1992, A: 1994, M: 2005, J: 1996, J: 2004, A: 2004, S: 2000, O: 1996, N: 1992, D: 1994

## **B. Normenvorschlag: Standortsspezifische stundenweise Berechnung der spezifischen Energiekennwerte**

Ein maßgebliches Ergebnis dieser Arbeit war die Ausarbeitung eines Normenvorschlags für ein Beiblatt 2 zur ÖNORM H 5057, das die standortsspezifische stundenweise Berechnung der spezifischen Energiekennwerte beinhaltet. Der Vorschlag wurde im Jänner 2011 an das zuständige Normungskomitee ON-K 235 übermittelt. Dabei wurde das Resümee dieser Arbeit, dass die Normwerdung und der Einbindung des Beiblatts in das derzeitige Regelwerk nur bedingt sinnvoll ist, erläutert.

Auf den folgenden Seiten sind neben dem Deckblatt und dem Inhaltsverzeichnis die Abschnitte „Vorwort“, „Anwendungsbereich“, „Normative Verweisungen“, „Begriffe“ und „Methodik“ abgebildet.



VORSCHLAG Gratzl

ÖNORM  
H 5057 Beiblatt 2

Ausgabe: 2011-01-07

## Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden

### Raumlufttechnik-Energiebedarf für Wohn- und Nichtwohngebäude

Beiblatt 2: Alternative Berechnung spezifischer Energiekennwerte

Energy performance of buildings — Energy use for ventilation systems of residential and non-residential buildings — Supplement 2: Alternative methode for calculating the specific energy demand for conditioning processes in air handling units

Performance énergétique des bâtiments — Besoin d'énergie pour la ventilation des immeubles destinés l'habitation ou à d'autres usages — Supplément 2: Immeuble de bureaux — Exemple de validation

---

#### Medieninhaber und Hersteller

Austrian Standards Institute/  
Österreichisches Normungsinstitut (ON)  
Heinestraße 38, 1020 Wien

ICS 91.140.30

#### Copyright © Austrian Standards Institute 2009.

**Alle Rechte vorbehalten!** Nachdruck oder Vervielfältigung, Aufnahme auf oder in sonstige Medien oder Datenträger nur mit Zustimmung gestattet!

E-Mail: [publishing@as-plus.at](mailto:publishing@as-plus.at)  
Internet: [www.as-plus.at/nutzungsrechte](http://www.as-plus.at/nutzungsrechte)

**zuständig** ON-Komitee ON-K 235  
Wirtschaftlicher Energieeinsatz in Gebäuden

**Verkauf** von in- und ausländischen Normen und Regelwerken durch  
Austrian Standards plus GmbH  
Heinestraße 38, 1020 Wien  
E-Mail: [sales@as-plus.at](mailto:sales@as-plus.at)  
Internet: [www.as-plus.at](http://www.as-plus.at)  
24-Stunden-Webshop: [www.as-plus.at/shop](http://www.as-plus.at/shop)  
Tel.: +43 1 213 00-444

## Inhalt

Vorwort .....	3
1 Anwendungsbereich .....	3
2 Normative Verweisungen.....	3
3 Begriffe .....	4
4 Methodik .....	4
5 Berechnungsschleife 1: Außenluftzustände .....	6
5.1 Schritt 1.1: standortspezifische Außenluftzustände berechnen .....	6
5.2 Schritt 1.2: Erdreichtemperaturen berechnen .....	6
6 Berechnungsschleife 2: Energiebedarfswerte .....	7
6.1 Schritt 2.1: stundenweise Energiebedarfswerte .....	7
6.1.1 Widerstände .....	7
6.1.2 Kapazität.....	8
6.1.3 Lasten .....	8
6.1.4 Temperaturen.....	9
6.1.5 Nutzenergiebedarfsberechnung .....	10
6.1.6 Eingangsgrößen .....	11
6.2 Schritt 2.2: Sollwerte für Zulufttemperatur und Luftvolumenstrom .....	12
6.2.1 Anlagen mit konstantem Zuluftvolumenstrom.....	12
6.2.2 Anlagen mit variablem Zuluftvolumenstrom .....	12
6.3 Schritt 2.3: Temperatureintrag durch Ventilatorabwärme.....	13
6.3.1 Anlagen mit konstantem Zuluftvolumenstrom.....	13
6.3.2 Anlagen mit variablem Zuluftvolumenstrom .....	13
7 Berechnungsschleife 3: Konditionierungsschritte .....	14
7.1 Schritt 3.1: Bestimmen des Abluftzustands .....	15
7.2 Schritt 3.2: Passive Konditionierungsschritte berechnen .....	15
7.3 Schritt 3.3: Istwerte für den Zuluftvolumenstrom berechnen.....	16
7.4 Schritt 3.4: Aktive Konditionierungsschritte berechnen .....	17
7.4.1 Aktive Konditionierung „ohne Befeuchtung“ .....	17
7.4.2 Aktive Konditionierung „Verdunstungsbefeuchtung mit Zuluftfeuchteregelung“ .....	18
7.4.3 Aktive Konditionierung „Verdunstungsbefeuchtung mit Taupunktregelung“ .....	19
7.4.4 Aktive Konditionierung „Dampfbefeuchtung mit Zuluftfeuchteregelung“ .....	21
7.5 Schritt 3.5: Raumluftzustand und verbleibenden Nutzenergiebedarf bestimmen.....	22
8 Berechnungsschleife 4: Ergebnisberechnung.....	22
Literaturhinweise .....	23

## Vorwort

Die Berechnung des Nutzenergiebedarfs der RLT-Anlage für Heizen, Befeuchten und Kühlen gemäß ÖNORM H 5057:2010 beruht auf einem Kennwertverfahren mit tabellarisch vorgegebenen spezifischen Energiekennwerten basierend auf Worst-Case-Klimadaten. Das im vorliegenden Normenbeiblatt abgebildete Verfahren wurde entwickelt, um eine alternative Berechnung zu diesen tabellarisch vorgegebenen spezifischen Energiekennwerten auf Grundlage der Klimadaten aus ÖNORM B 8110-5:2010 vornehmen zu können. Das hier abgebildete Verfahren ermöglicht zudem die Berücksichtigung zusätzlicher Anlagenelemente, die bisher nur unzureichend behandelt werden konnten.

Das vorliegende Verfahren stellt eine stundenweise Berechnung dar und beruht auf einer alternativen Ermittlung des Nutzenergiebedarfs für Heizen (Heizwärmebedarf) und Kühlen (Kühlbedarf) gemäß ÖNORM EN ISO 13790:2008 auf Grundlage von Eingangsparametern aus ÖNORM B 8110-6:2010.

## 1 Anwendungsbereich

Die vorliegenden ÖNORM definiert ein alternatives Verfahren für die Berechnung des Nutzenergiebedarfs für die Konditionierung (Heizen, Befeuchten und Kühlen) des Luftvolumenstroms in raumluftechnischen Anlagen. Es kann verwendet werden, um das in Kapitel 8 und 10 der ÖNORM H 5057:2010 festgelegten Berechnungsmodell zu ersetzen. Es stellt zudem ein offenes Berechnungsmodell dar, das zukünftig um weitere Berechnungsteile ergänzt werden kann.

## 2 Normative Verweisungen

Die folgenden zitierten Dokumente sind für die Anwendung dieses Dokuments erforderlich. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen). Rechtsvorschriften sind immer in der jeweils geltenden Fassung anzuwenden.

ÖNORM B 8110-5, *Wärmeschutz im Hochbau – Teil 5: Klimamodell und Nutzungsprofile*

ÖNORM B 8110-6, *Wärmeschutz im Hochbau – Teil 6: Grundlagen und Nachweisverfahren – Heizwärmebedarf und Kühlbedarf*

ÖNORM B 8110-6 Beiblatt 3: *Wärmeschutz im Hochbau – Teil 6: Grundlagen und Nachweisverfahren – Heizwärmebedarf und Kühlbedarf – Beiblatt 3: Nicht-Wohngebäude – Validierungsbeispiele für den Heizwärmebedarf und Kühlbedarf*

ÖNORM EN 13779, *Lüftung von Nichtwohngebäuden – Allgemeine Grundlagen und Anforderungen für Lüftungs- und Klimaanlageanlagen und Raumkühlsysteme*

ÖNORM EN ISO 13790, *Energieeffizienz von Gebäuden – Berechnung des Energiebedarfs für Heizung und Kühlung (ISO 13790:2008)*

ÖNORM H 5056 Beiblatt 3, *Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden – Heiztechnik-Energiebedarf. Beiblatt 3: Nichtwohngebäude*

ÖNORM H 5057, *Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden – Raumluftechnik-Energiebedarf für Wohn- und Nichtwohngebäude*

## VORSCHLAG ÖNORM H 5057 Beiblatt 2:2011

### 3 Begriffe

Für die Anwendung dieser ÖNORM gelten die Begriffe nach [ÖNORM H 5057:2009](#).

### 4 Methodik

Das maßgebliche Kriterium des standortspezifischen, stundenweisen SEK-Modells ist das korrekte Verknüpfen der drei Elemente „standortspezifische Außenluftzustände“, „stundenweise Energiebedarfsberechnung“ und „Konditionierungsvorgänge in der Klimaanlage“. Es bestehen starke Wechselwirkungen zwischen diesen drei Elementen, sodass eine stundenweise lineare Berechnung nicht möglich ist. Zusätzlich ist zu berücksichtigen, dass gemäß ÖNORM B 8110-6 eine getrennte Berechnung des Energiebedarfs im Heiz- und im Kühlfall mit unterschiedlichen Eingangsgrößen vorgenommen wird. Diese getrennte Berechnung beeinflusst auch die stundenweise Energiebedarfsberechnung, die im alternativen SEK-Modell eingesetzt wird.

Zum Verknüpfen der drei Elemente wurde eine schrittweise Vorgangsweise mit vier separaten Berechnungsschleifen gewählt, die für alle Stunden des Jahres abgeschlossen sein müssen, bevor die nächste Berechnungsschleife gestartet werden kann. Die gesamte Berechnung ist für den Heizfall und den Kühlfall jeweils getrennt voneinander zu durchlaufen, um die gewünschten Ergebnisse für den Nutzenergiebedarf zur Konditionierung des Luftvolumenstroms zu erhalten:

- Berechnungsschleife 1: Außenluftzustände
  - Schritt 1.1: standortspezifische Außenluftzustände berechnen
  - Schritt 1.2: Erdreichtemperaturen berechnen
- Berechnungsschleife 2: Energiebedarfswerte
  - Schritt 2.1: stundenweise Energiebedarfswerte
  - Schritt 2.2: Sollwerte für Zulufttemperatur und Luftvolumenstrom
  - Schritt 2.3: Temperatureintrag durch Ventilatorabwärme
- Berechnungsschleife 3: Konditionierungsschritte
  - Schritt 3.1: Abluftzustandbestimmen
  - Schritt 3.2: Passive Konditionierungsschritte berechnen
  - Schritt 3.3: Istwerte für die Zulufttemperatur berechnen
  - Schritt 3.4: Aktive Konditionierungsschritte berechnen
  - Schritt 3.5: Raumluftzustand und verbleibenden Nutzenergiebedarf bestimmen
- Berechnungsschleife 4: Ergebnisberechnung
  - Schritt 4.1: Enthalpie der einzelnen Konditionierungsschritte berechnen
  - Schritt 4.2: Energieeintrag durch aktive Konditionierungselemente berechnen

Die beschriebene Systematik ist in [Abbildung 1](#) grafisch dargestellt.

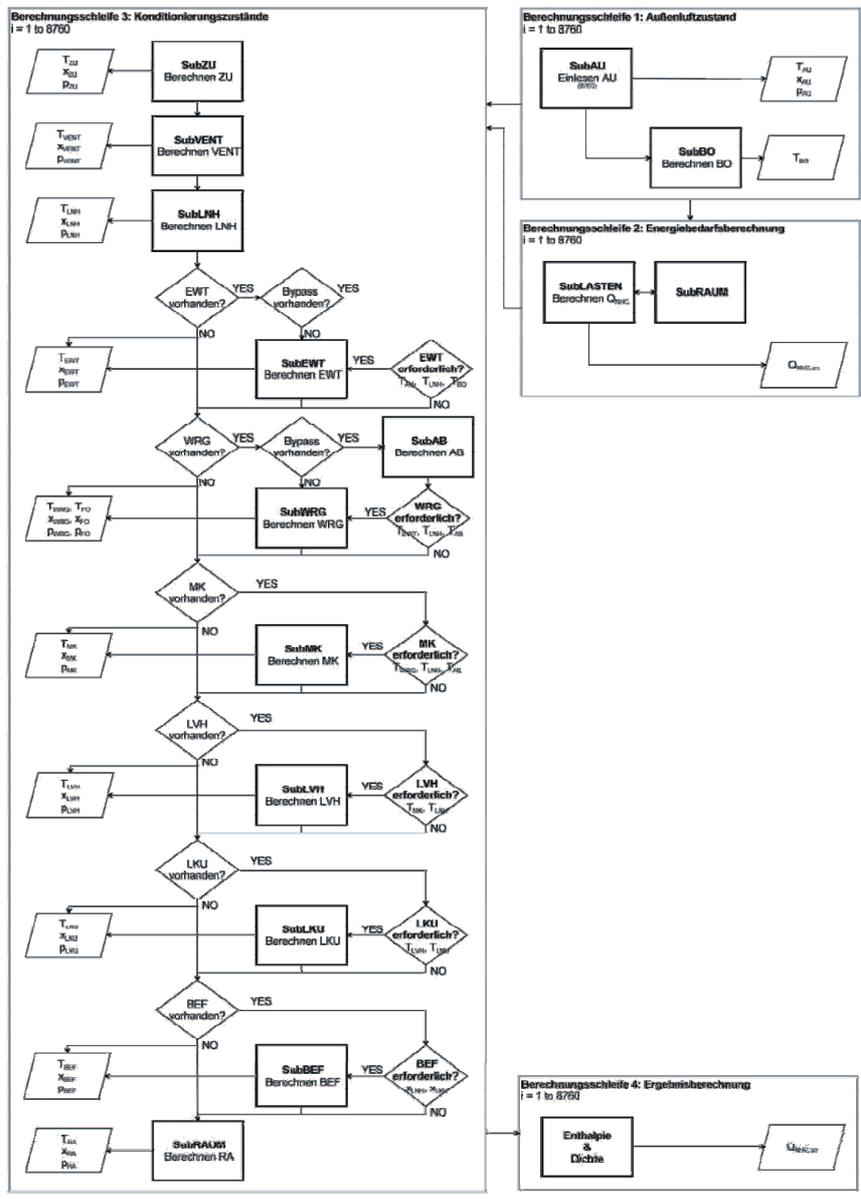


Abbildung 1: Flussdiagramm zur Berechnung des Nutzenergiebedarfs für Heizen, Befeuchten und Kühlen des Luftvolumenstroms in RLT-Anlagen

# C. Musterprogrammierung des standortspezifischen Modells der spezifischen Energiekennwerte

## Sub Klimaanlage

```
' ERGEBNISWERTE *****
' ZUSTANDSWERTE DER LUFT IN DEN EINZELNEN ANLAGENKOMPONENTEN
  Public T(8760, 13, 2) As Single
  Public x(8760, 13, 2) As Single
  Public p(8760, 13, 2) As Single
  Public h(8760, 13, 2) As Single
  Public Q(8760, 13, 2) As Single

' ERGEBNISWERTE SEK-BERECHNUNG
  Public Q_HRLT(2) As Single
  Public Q_CRLT(2) As Single
  Public Q_STRLT(2) As Single

' GLOBALE VARIABLEN *****
' TEMPERATUR- und FEUCHTEWERTE
  Public T_RAsoll(2) As Single      ' Setpoint-Temperatur Heizen und Kühlen [°C]
  Public theta_ZUmin As Single     ' minimale Zulufttemperatur [°C]
  Public theta_ZUmax As Single     ' maximale Zulufttemperatur [°C]

  Public x_ZUmin As Single         ' minimale Zuluftfeuchte [kg/kg]
  Public x_ZUmax As Single         ' maximale Zuluftfeuchte [kg/kg]

' GEBÄUDEKENNWERTE
  Public V_V As Single             ' Lüftungsvolumen [m3]
  Public BGF As Single             ' Bruttogrundfläche [m2]
  Public BF As Single              ' Bezugsfläche [m2]

' ZEITANGABEN ZUR NUTZUNG
  Public d_Nutz(12) As Variant     ' Nutzungstage im Monat [d]
  Public d_RLTa As Integer         ' jährliche RLT-Nutzungsstunden [d]
  Public d(12) As Integer          ' Monatstage [d]
  Public d_HGr1 As Integer         ' Heizende [d]
  Public d_HGr2 As Integer         ' Heizanfang [d]
  Public d_KGr1 As Integer         ' Kühlanfang [d]
  Public d_KGr2 As Integer         ' Kühlende [d]

  Public t_Nutzd As Variant        ' tägliche Nutzungsstunden [h]
  Public t_RLTd As Single          ' Betriebsstunden der RLT-Anlage [h]

' RLT-ANLAGE
  Public n_L(4) As Single          ' Luftwechsel [1/h]
  Public v_RLT(8760, 2) As Single  ' Volumenstrom [m3/h]
  Public u(8760) As Single         ' Umluftanteil [-]
  Public v_max As Single           ' maximaler Luftvolumenstrom [m3/h]

  Public ANLAGE(13) As Boolean     ' Anlagenbestandteile EIN/AUS
```

```

Public delta_P(13) As Single      ' Druckverluste in Anlagenkomp. [Pa]
Public NL As Byte                 ' Nachtlüftung AUS...0, EIN...1
Public BA_RLT As Integer          ' BA Lüftung:
                                   ' NAT, LE, PB-KVS, PB-VVS
Public BA_BEF As Integer          ' BA des Befeuchters
                                   ' keine, Verd-ZF, Verd-TP, Dampf
Public FA As Integer              ' Feuchteanforderung
                                   ' ohne, m.T., o.T.

Public deltaT_VENT(8760) As Single ' Temperaturerhöhung Ventilator
Public P_SFPZUL As Single         ' spez. Ventilatorleistung [W/(m3/s)]
Public P_SFPABL As Single         ' spez. Ventilatorleistung [W/(m3/s)]

' KONSTANTEN FEUCHTE LUFT
Public rho_L As Single            ' Dichte der Luft [kg/m3]
Public c_pL As Single            ' spez. Waermekapazitaet Luft [kJ/kg]
Public c_pD As Single            ' spez. Waermekapazitaet Dampf [kJ/kg]
Public r_0 As Single             ' Verdampfungswärme Wasser [kJ/kg]
Public R_L As Single             ' Gaskonstante Luft [kJ/kg.K]
Public R_D As Single             ' Gaskonstante Dampf [kJ/kg.K]

' LASTBERECHNUNG *****
' AUSGABEWERTE
Public Q_HCac(8761, 2, 2) As Single ' Nutzenergiebedarf H + K [Wh/h]
Public T_RAac(8760, 2) As Single ' Innenlufttemperatur H + K [°C]

' SONSTIGE KENNWERTE
Public A_j As Single              ' Bauteil-Fläche mit therm. Masse [m2]
Public A_SM As Single            ' wirksame Fläche der therm. Masse [m2]
Public A_WA As Single            ' Flächen, die zur Gebäudezone weisen [m2]
Public C_SM As Single            ' wirksame Wärmespeicherkapazität [Wh/K]

' TEMPERATUREN in den KNOTEN
Public T_RLT As Single           ' Temp. d. Zuluft [°C]
Public T_SMt(2, 5, 2) As Single ' Temp. d. Speichermassen [°C]
Public T_RA(2) As Single         ' Temp. d. Raumluft [°C]
Public T_WA(2) As Single         ' Temp. d. [°C]
Public T_SM(2, 5, 2) As Single   ' Temp. d. [°C]
Public T_OP(2) As Single         ' operative Raumtemp. [°C]
Public T_RAraum As Single        ' Raumsolltemperatur [°C]

' LASTEN
Public q_i(2) As Single          ' spez. interne Lasten H + K [W/m2]
Public q_bel(2) As Single        ' spez. Beleuchtungslasten H + K [W/m2]

Public Q_max(2) As Single        ' maximale Heiz- und Kühllast
Public Q_SMtot As Single         ' totale Last auf Speichermasse [W]
Public Q_HCun(8760, 2) As Single ' unbeschr. Nutzenergiebed. H + K [Wh/h]
Public Q_s(2, 12) As Single      ' monat. solare Gewinne H + K [kWh/m2.a]

' LEITWERTE
Public L_V As Single             ' Lüftungsleitwert gesamt [W/K]
Public L_VRLT As Single          ' Lüftungsleitwert Ventilation [W/K]
Public L_VINF As Single          ' Lüftungsleitwert Infiltration [W/K]

Public L_Ttr As Single           ' TM-Leitwert der Fenster [W/K]
Public L_T As Single            ' TM-Leitwert gesamt [W/K]
Public L_WARA As Single          ' Kopplungswert zw. RA und IN [W/K]
Public L_SMRA As Single          ' Kopplungswert zw. SM und IN [W/K]
Public L_Top As Single           ' TM-Leitwert opak (ohne Fenster) [W/K]
Public L_AUSM As Single          ' Kopplungswert zw. AU und SM [W/K]

Public L_1 As Single             ' Kopplungswert
Public L_2 As Single             ' Kopplungswert
Public L_3 As Single             ' Kopplungswert

```

```

' LASTAUFTEILUNG
  Public Q_HCstat(8760, 2, 2) As Single ' Nutzenergiebed. stat. System [Wh/h]

' ERDREICHWAERMETAUSCHER *****
' EINGANGSGROESSEN
  Public T_emax As Single ' max. mittl. monatl. Außentemp. [°C]
  Public T_emin As Single ' min. mittl. monatl. Außentemp. [°C]

  Public s_LL As Single ' Verlegetiefe der Luftleitungen [m]
  Public d_LLi As Single ' Innendurchmesser Luftleitungen [m]
  Public d_LLl As Single ' Außendurchmesser Luftleitungen [m]
  Public n_LL As Integer ' Anzahl Luftleitungen [Stk.]
  Public A_LL As Single ' Oberflaeche der Luftleitungen [m2]
  Public k_LL As Single ' Waermeleitfaehigkeit Luftleit. [??]
  Public f_BO As Single ' Erdreichmaterialfaktor [-]
  Public r_LL As Single ' innere Rauigkeit Luftleitungen [??]

  Public n_LLE As Single
  Public n_LRLT As Single
  Public n_LNL As Single

  Public BYPASSEWT As Boolean ' EWT-Bypass WAHR/FALSCH

' ERGEBNISGROESSEN
  Public QEWT(8760, 2) As Single ' Wärmestrom vom Erdreich zur Luft [Wh]

' OERTLICHE VARIABLEN
  Public T_AUm As Single ' mittlere jährliche Außentemp. [°C]
  Public deltaT_e As Single ' Diff. zw. T_emax und T_emin [K]

' WAERMERUECKGEWINNUNG *****
  Public RWZ As Single ' Rückwärmzahl [-]
  Public RFZ As Single ' Rückfeuchtezahl [-]
  Public BYPASS_WRG As Boolean ' Sommerbypass: WAHR / FALSCH

```

**Sub** Klimaanlage()

```

' *****
' SYSTEMATIK *****
' *****

' Bestandteile der abgebildeten RLT-Anlage:
' - 0 BO Erdreich
' - 1 AU Außenluft
' - 2 AB Abluft
' - 3 FO Fortluft
'
' - 4 EWT Erdreichwärmetauscher
' - 5 WRG Wärmerückgewinnung / Feuchterückgewinnung
' - 6 MK Mischkammer
' - 7 LVH Luftvorerhitzer
' - 8 LKU Luftkuehler (inkl. Entfeuchten
' - 9 BEF Befeuchter (Dampf / Verdunstung / (Riesel))
' - 10 LNH Luftnacherhitzer
' - 11 VENT Ventilator
'
' - 12 ZU Zuluft
' - 13 RA Raumluft
'
' die angegebenen Zahlen dient der Zuordnungen zu mehrdimensionalen Variablen
' wie beispielsweise Temperatur T, absolute Feuchte x oder Druck p des Zuluft-
' volumenstroms

```

```

' Berechnungsschritte:
' - Berechnungsschleife 1: Außenluftzustände
' - Berechnungsschleife 2: Energiebedarfswerte
' - Berechnungsschleife 3: Konditionierungsschritte
' - Berechnungsschleife 4: Ergebnisberechnung

' *****
' LOKALE VARIABLENDEKLARATION *****
' *****

Dim wks As Worksheet          ' dient zum Festhalten des Eingabe-Sheets

' *****
' EINLESEN STARTEN *****
' *****

' Festhalten des Ausgangs-Sheets, von dem Makro gestartet wird
Application.ScreenUpdating = False
Set wks = ActiveSheet

Call SubEinlesen(1)

wks.Activate

' *****
' BERECHNUNG STARTEN *****
' *****

' Zwei Durchläufe für Heizen (n = 1) und Kühlen (n = 2)
For n = 1 To 2

' BERECHNUNGSSCHLEIFE 1: Außenluftzustand *****

For i = 1 To 8760

' AUSSENLUFTZUSTAND, BODENTEMPERATUR
Call SubAU(i)
Call SubBO(i, s_LL, f_BO, T_AUm, deltaT_e)

Next i

' BERECHNUNGSSCHLEIFE 2: Energiebedarfsberechnung *****

For i = 1 To 8760          ' Berechnung erfolgt Schrittweise:

' Lüftungsleitwert L_V
' Berechnen des stundenweisen Lüftungsleitwerts (Vent + Nat + Inf)
If h_RLTd(i) = 1 Then
L_V = L_VRLT + L_VINF
ElseIf L_VINF <> 0 Then
L_V = L_VINF
Else
' Wenn L_V = 0 --> Div#0; Wert wird minimal gesetzt
L_V = 0.001
End If

' für T_RLT in SubRaummodell ist T_ZU = T_AU
T(i, 12, n) = T(i, 1, 0)

Call SubLASTEN(i, n)          ' Lastberechnung aufrufen

' ZULUFTZUSTAND bestimmen (Temperatur und Volumenstrom)

' Abgrenzung: Betriebszeit der RLT-Anlage und RLT-Anlage vorhanden
If v_RLT(i, 0) > 0 And BA_RLT > 1 Then

' KVS-System

```

```

' NAT, LE, KVS: Luftvolumenstrom bleibt unverändert
If BA_RLT = 2 Or BA_RLT = 3 Then

    v_RLT(i, n) = v_RLT(i, 0)

    ' Temperatureintrag durch Ventilator
    deltaT_VENT(i) = P_SFPZUL / (rho_L * (c_pL / 3.6))

    ' Heizlast oder Kühllast vorhanden
    If Q_HCac(i, 0, n) <> 0 Then
        T(i, 12, n) = T(i, 13, n) + (Q_HCac(i, 0, n) -
            (v_RLT(i, n) * rho_L * (c_pL / 3.6) *
            (T(i, 13, n) - T(i, 1, 0)))) /
            (v_RLT(i, 0) * rho_L * (c_pL / 3.6))
    End If

    ' keine Last vorhanden
    If Q_HCac(i, 0, n) = 0 Then
        T(i, 12, n) = T(i, 1, 0) + deltaT_VENT(i)
    End If

    ' Beschränkung auf maximale und minimale Zulufttemperatur
    If T(i, 12, n) > theta_ZUmax Then
        T(i, 12, n) = theta_ZUmax

        ElseIf T(i, 12, n) < theta_ZUmin Then
            T(i, 12, n) = theta_ZUmin
    End If
End If

' VVS-System
If BA_RLT = 4 Then

    ' Heizlast vorhanden
    If Q_HCac(i, 0, n) > 0 Then
        v_RLT(i, n) = (Q_HCac(i, 0, n) - (v_RLT(i, 0) * rho_L *
            (c_pL / 3.6) * (T(i, 13, n) - T(i, 1, 0)))) /
            ((theta_ZUmax - T(i, 13, n)) * rho_L * (c_pL / 3.6))

        deltaT_VENT(i) = 2

        T(i, 12, n) = theta_ZUmax
    End If

    ' Kühllast vorhanden
    If Q_HCac(i, 0, n) < 0 Then

        v_RLT(i, n) = -(Q_HCac(i, 0, n) - (v_RLT(i, 0) * rho_L *
            (c_pL / 3.6) * (T(i, 13, n) - T(i, 1, 0)))) /
            ((T(i, 13, n) - theta_ZUmin) * rho_L * (c_pL / 3.6))

        deltaT_VENT(i) = 2

        T(i, 12, n) = theta_ZUmin
    End If

    ' keine Last vorhanden
    If Q_HCac(i, 0, n) = 0 Then
        v_RLT(i, n) =
            v_RLT(i, 0)

        deltaT_VENT(i) = 2

        T(i, 12, n) =
            T(i, 1, 0) + deltaT_VENT(i)
    End If

```

```

' Beschränkung auf maximalen bzw. hygienischen Luftvolumenstrom
If v_RLT(i, n) > v_max Then
    v_RLT(i, n) = v_max
    ElseIf v_RLT(i, n) < v_RLT(i, 0) Then
        v_RLT(i, n) = v_RLT(i, 0)
End If

' Beschränkung auf maximale und minimale Zulufttemperatur
If T(i, 12, n) > theta_ZUmax Then
    T(i, 12, n) = theta_ZUmax
    ElseIf T(i, 12, n) < theta_ZUmin Then
        T(i, 12, n) = theta_ZUmin
End If
End If
End If
Next i

' Ausgangswerte für Raumlufzustand (t = 0)
For k = 1 To 13
    T(0, k, n) = T_RAsoll(1)
    x(0, k, n) = 0.0065
Next k

' BERECHNUNGSSCHLEIFE 3: Konditionierungsschritte *****
For i = 1 To 8760

    ' L_VRLT ist für VVS-System nicht mehr konstant!
    If BA_RLT = 4 Then
        L_VRLT = v_RLT(i, n) * rho_L * (c_pL / 3.6)
    End If

    ' Lüftungsleitwert L_V
    ' Berechnen des stundenweisen Lüftungsleitwerts (Vent + Nat + Inf)
    If h_RLTd(i) = 1 Then
        L_V = L_VRLT + L_VINF
        ElseIf L_VINF <> 0 Then
            L_V = L_VINF
        Else
            ' Wenn L_V = 0 --> Div#0; Wert wird minimal gesetzt
            L_V = 0.001
        End If

    ' Abgrenzung: Betriebszeit der RLT-Anlage und RLT-Anlage vorhanden
    If v_RLT(i, n) > 0 And BA_RLT > 1 Then

        ' ABLUFTZUSTAND
        Call SubAB(i, n)

        ' ERDREICHWAERMETAUSCHER EWT
        If ANLAGE(4) = True Then
            Call SubEWT(i, n)
        Else
            T(i, 4, n) = T(i, 1, 0)
            x(i, 4, n) = x(i, 1, 0)
            p(i, 4, n) = p(i, 1, 0)
        End If

        ' WAERMERUECKGEWINNUNG WRG
        If ANLAGE(5) = True Then
            Call SubWRG(i, n)
        Else
            T(i, 5, n) = T(i, 4, n)
            x(i, 5, n) = x(i, 4, n)
            p(i, 5, n) = p(i, 4, n)

            T(i, 3, n) = T(i, 2, n)
            x(i, 3, n) = x(i, 2, n)
            p(i, 3, n) = p(i, 2, n)
        End If
    End If
End For

```

```

End If

' MISCHKAMMER MK
If ANLAGE(6) = True Then
  Call SubMK(i, n)
Else
  T(i, 6, n) = T(i, 5, n)
  x(i, 6, n) = x(i, 5, n)
  p(i, 6, n) = p(i, 5, n)
End If

' ZULUFTZUSTAND ZU, VENT, LNH
Call SubZU(i, n)
Call SubVENT(i, n)
Call SubLNH(i, n)

' LUFTVORERHITZER LVH
If ANLAGE(7) = True Then
  Call SubLVH(i, n)
Else
  T(i, 7, n) = T(i, 6, n)
  x(i, 7, n) = x(i, 6, n)
  p(i, 7, n) = p(i, 6, n)
End If

' LUFTKÜHLER LKU
If ANLAGE(8) = True Then
  Call SubLKU(i, n)
Else
  T(i, 8, n) = T(i, 7, n)
  x(i, 8, n) = x(i, 7, n)
  p(i, 8, n) = p(i, 7, n)
End If

' BEFEUCHTER BEF
If ANLAGE(9) = True Then
  Call SubBEF(i, n)
Else
  T(i, 9, n) = T(i, 8, n)
  x(i, 9, n) = x(i, 8, n)
  p(i, 9, n) = p(i, 8, n)
End If

' LUFTNACHERHITZER LNH
If ANLAGE(10) = True Then
  p(i, 10, n) = p(i, 9, n) - delta_P(10)
Else
  p(i, 10, n) = p(i, 9, n)
End If

' außerhalb der Betriebszeit keine Konditionierung
Else
  For j = 2 To 13
    T(i, j, n) = T(i, 1, 0)
    x(i, j, n) = x(i, 1, 0)
    p(i, j, n) = p(i, 1, 0)
  Next j
End If

' RAUMLUFTZUSTAND RA
Call SubRA(i, n)
Next i

' BERECHNUNGSSCHLEIFE 4: Ergebnisberechnung *****
' Ausgangswerte = 0 setzen
Q_HRLT(n) = 0

```

```

Q_CRLT(n) = 0
Q_STRLT(n) = 0

For i = 1 To 8760
  For j = 1 To 13
    ' Enthalpieberechnung: Funktion von T und x
    h(i, j, n) = h_Tx(T(i, j, n), x(i, j, n))

    ' für Außenluft in n = 0 abgelegt!
    If j = 1 Then
      h(i, j, 0) = h_Tx(T(i, j, 0), x(i, j, 0))
    End If
  Next j

  Q_HRLT(n) = Q_HRLT(n) -
    + (h(i, 10, n) / (3.6 * 10 ^ 6) * rho(p(i, 10, n), T(i, 10, n), x(i, 10, n)
    )) -
    - h(i, 9, n) / (3.6 * 10 ^ 6) * rho(p(i, 9, n), T(i, 9, n), x(i, 9, n))) -
    * v_RLT(i, n) -
    + (h(i, 7, n) / (3.6 * 10 ^ 6) * rho(p(i, 7, n), T(i, 7, n), x(i, 7, n)) -
    - h(i, 6, n) / (3.6 * 10 ^ 6) * rho(p(i, 6, n), T(i, 6, n), x(i, 6, n))) -
    * v_RLT(i, n)

  Q_CRLT(n) = Q_CRLT(n) -
    - (h(i, 8, n) / (3.6 * 10 ^ 6) * rho(p(i, 8, n), T(i, 8, n), x(i, 8, n)) -
    - h(i, 7, n) / (3.6 * 10 ^ 6) * rho(p(i, 7, n), T(i, 7, n), x(i, 7, n))) -
    * v_RLT(i, n)

  Q_STRLT(n) = Q_STRLT(n) -
    + (h(i, 9, n) / (3.6 * 10 ^ 6) * rho(p(i, 9, n), T(i, 9, n), x(i, 9, n)) -
    - h(i, 8, n) / (3.6 * 10 ^ 6) * rho(p(i, 8, n), T(i, 8, n), x(i, 8, n))) -
    * v_RLT(i, n)

Next i

' nur bei Dampfbeaufchtung wird für Q_STRLT ein Wert ausgegeben;
' für andere Werte ergibt sich durch Rundungsungenauigkeiten eine Differenz
' zwischen h_LKU und h_BEF, die durch diese Bedingung 0 gesetzt wird
If BA_BEF > 3 Then
  Q_STRLT(n) = 0
End If

Next n

' Ergebnisausgabe aufrufen
Call Ergebnisausgabe

' Variablen zurücksetzen
Erase T
Erase x
Erase p
Erase h
Erase Q
Erase Q_HCac
Erase Q_HCstat
Erase v_RLT

End Sub

```

## Sub Einlesen

Sub SubEinlesen(i)

```
' ***** EINLESEN *****

Call d_Monat
Call d_HeizGr
Call d_KuehlGr
Call d_NutzMo

' Nutzungszeiten
t_Nutzd = Worksheets("GT").Cells(35, 7).Value
t_RLTd = Worksheets("GT").Cells(39, 7).Value

' Flächen- und Volumswerte
BGF = Worksheets("BPH").Cells(11, 3).Value
BF = Worksheets("BPH").Cells(10, 7).Value
V_V = Worksheets("BPH").Cells(11, 7).Value

' Temperatur- und Feuchtwerte
T_RAsoll(1) = Worksheets("LV").Cells(26, 4).Value
T_RAsoll(2) = Worksheets("LV").Cells(26, 5).Value

FA = Worksheets("LV").Cells(28, 3).Value
x_ZUmin = Worksheets("LV").Cells(27, 4).Value / 1000
x_ZUmax = Worksheets("LV").Cells(27, 5).Value / 1000

theta_ZUmin = Worksheets("LV").Cells(32, 4).Value
theta_ZUmax = Worksheets("LV").Cells(32, 5).Value

' Luftvolumenstrom
n_LLE = Worksheets("LV").Cells(37, 5).Value
n_LRLT = Worksheets("LV").Cells(39, 5).Value
n_LNL = Worksheets("LV").Cells(40, 5).Value
BA_RLT = Worksheets("LV").Cells(9, 3).Value

v_max = Worksheets("LV").Cells(40, 11).Value

' spezifische Leistungsaufnahme des Zuluftventilators
P_SFPPZUL = Worksheets("LVn").Cells(58, 18).Value

' *****
' ALLGEMEINE EINGABEN *****
' *****

' Konstanten der Luft
rho_L = 1.2
c_pL = 1.005
c_pD = 1.86
r_0 = 2501.6
R_L = 0.287
R_D = 0.462

' Luftwechsel zuweisen
n_L(1) = n_LLE
n_L(2) = n_LLE
n_L(3) = n_LRLT
n_L(4) = n_LLE
' Belegung "0" mit Luftwechsel bei tatsächlicher BA_RLT
n_L(0) = n_L(BA_RLT)

' Luftvolumenstrom und Umluftanteil festlegen
For i = 1 To 8760
    v_RLT(i, 0) = n_L(0) * V_V * h_RLTd(i)
    u(i) = (n_L(0) - n_L(1)) / n_L(0)
Next i
```

```

' *****
' ANLAGENBESTANDTEILE *****
' *****

' einzelne RLT-Bestandteile einlesen
  For j = 4 To 10
    ANLAGE(j) = Worksheets("LV").Cells(7 + j, 11).Value
  Next j

' Druckverluste RLT-Bestandteile einlesen
' Defaultwerte aus (Beck, 2000, S. 14): "Druckverlust [Pa], übliche Werte"
  For j = 4 To 10
    delta_P(j) = Worksheets("LV").Cells(7 + j, 10).Value

    If ANLAGE(j) = True And delta_P(j) = 0 Then
      ' Defaultwerte
      delta_P(4) = 100
      delta_P(5) = 192
      delta_P(6) = 50
      delta_P(7) = 77
      delta_P(8) = 186
      delta_P(9) = 134
      delta_P(10) = 77
    End If

  Next j

  ' Rohrnetz
  ' Zuluftkanal
  delta_P(12) = Worksheets("LV").Cells(18, 10).Value
  If delta_P(12) = 0 Then
    ' Defaultwert
    delta_P(12) = 643
  End If
  ' Abluftkanal
  delta_P(2) = Worksheets("LV").Cells(18, 10).Value
  If delta_P(2) = 0 Then
    ' Defaultwert
    delta_P(2) = 607
  End If

  ' Einlassöffnung
  delta_P(13) = 10

' *****
' EINGABEN LASTBERECHNUNG & RAUMTEMPERATUR *****
' *****

' wirksame Gebäudespeicherkapazität
  C_SM = Worksheets("BPH").Cells(20, 5).Value
  A_j = Worksheets("BPH").Cells(12, 3).Value
  A_SM = Worksheets("LV").Cells(12, 13).Value

' Lüftungsleitwerte
  ' mechanische Lüftung kann ggf. durch 8760 Werte für VVS ersetzt werden
  LVRLT = V_V * n_L(0) * rho_L * (c_pL / 3.6)
  L_VINF = Worksheets("LV").Cells(19, 13).Value

' Transmissionleitwerte
  ' Fenster
  With Worksheets("FE")
    L_Ttr = WorksheetFunction.Sum(Range(.Cells(9, 15), .Cells(18, 15)))
  End With
  ' gesamter Transmissionsleitwert
  With Worksheets("GG")

```

```

        L_T = WorksheetFunction.Sum(Range(.Cells(38, 6), .Cells(60, 6))) + L_Ttr
    End With

' solare Gewinne (Monatsmittelwert)
    For m = 1 To 12
        Q_s(1, m) = Worksheets("HWBn").Cells(48 + m, 5).Value _
            / (d(m) * (18 - 6)) * 1000
        Q_s(2, m) = Worksheets("KBn").Cells(48 + m, 5).Value _
            / (d(m) * (18 - 6)) * 1000
    Next m

    For m = 1 To 12
        d_Nutz(m) = Worksheets("GT").Cells(22 + m, 7).Value
    Next m

' Nutzungszeiten (Gebäude, RLT-Anlage)
    t_Nutzd = Worksheets("GT").Cells(35, 7).Value
    t_RLTd = Worksheets("GT").Cells(39, 7).Value

' interne Lasten + Beleuchtungslasten aus GT
    q_i(1) = Worksheets("GT").Cells(59, 7).Value
    q_i(2) = Worksheets("GT").Cells(60, 7).Value

    q_bel(1) = 0.5 * Worksheets("BelEB").Cells(53, 6).Value / _
        (Worksheets("GT").Cells(36, 7).Value * t_Nutzd) * 1000

    q_bel(2) = 1 * Worksheets("BelEB").Cells(53, 6).Value / _
        (Worksheets("GT").Cells(36, 7).Value * t_Nutzd) * 1000

' maximale Heiz- und Kühllast aus LVn
    Q_max(1) = Worksheets("LV").Cells(17, 3).Value * 1000
    Q_max(2) = Worksheets("LV").Cells(18, 3).Value * 1000

' Leitwerte für Widerstände im R5C1-Modell
'   Transmissionsleitwert durch opake Flächen der Gebäudehülle
    L_Top = L_T - L_Ttr

'   Leitwert zwischen Luftknoten und "mittlerem Knoten"
    A_WA = 4.5 * BF                                     ' Lambda_at = 4,5 [-]
    L_WARA = 3.45 * A_WA                               ' h_is = 3.45 W/m2.K
'   Leitwert zwischen Masse und "mittlerem Knoten"
    L_SMRA = 9.1 * A_SM                               ' h_ms = 9,10 W/m2.K
'   Leitwert zwischen Außenluft und Masse
    L_AUSM = 1 / ((1 / L_Top) - (1 / L_SMRA))

' *****
' EINGABEN ERDREICHWAERMETAUSCHER (EWT) *****
' *****

' maximale/minimale mittlere Monatstemperatur aus SK einlesen
'   später ggf. Ermittlung aus Stundenwerten
    Worksheets("SK").Activate
    T_emax = WorksheetFunction.Max(Range("B35:G35"), Range("B48:G48"))
    T_emin = WorksheetFunction.Min(Range("B35:G35"), Range("B48:G48"))

    deltaT_e = (T_emax - T_emin) / 2

' Geometriedaten EWT
    s_LL = Worksheets("LV").Cells(51, 4).Value
    n_LL = Worksheets("LV").Cells(52, 4).Value
    l_LL = Worksheets("LV").Cells(53, 4).Value
    d_LLi = Worksheets("LV").Cells(54, 4).Value / 100
    d_LLa = Worksheets("LV").Cells(55, 4).Value / 100
    A_LL = d_LLi * Application.Pi * l_LL * n_LL

' Erdreichkoeffizienten
    f_BO = Worksheets("LV").Cells(56, 4).Value

```

```

k_LL = Worksheets("LV").Cells(57, 4).Value

' Bypass-Angaben
BYPASS_EWT = Worksheets("LV").Cells(59, 4).Value
'BYPASS_EWT = True

For i = 1 To 8760
    T_AU = Worksheets("T_ZU_Altern").Cells(4 + i, 1).Value
    T_AUm = T_AUm + T_AU
Next i
T_AUm = T_AUm / 8760

' *****
' EINGABEDATEN WAERMERUECKGEWINNUNG (WRG) *****
' *****

RWZ = Worksheets("LV").Cells(33, 10).Value
RFZ = Worksheets("LV").Cells(34, 10).Value

' Bypass-Angaben
BYPASS_WRG = Worksheets("LV").Cells(33, 8).Value
'BYPASS_WRG = True

' Einlesen der BA_RLT
BA_BEF = Worksheets("LV").Cells(26, 11)

' Einlesen der Nachtlüftung
If Worksheets("LV").Cells(40, 5).Value > 0 Then
    NL = 1
Else
    NL = 0
End If

End Sub

```

## Sub AU

Sub SubAU(i)

```

' *****
' LOKALE VARIABLENDEKLARATION *****
' *****

Dim T_AU As Single      ' Außenlufttemperatur [°C]
Dim x_AU As Single     ' absolute Außenluftfeuchte [kg/kg]
Dim p_AU As Single     ' Luftdruck der Außenluft [Pa]

Dim SK As Integer      ' Standortklima (W,SB,N,NF,N/SO,S/SO,SB,ZA)

Dim T_e(1 To 12) As Single ' Monatsmitteltemperatur [°C]
Dim x_m As Single      ' mittlere monatliche Luftfeuchte [kg/kg]
Dim A_mT As Single     ' Monatsamplitude der Temperatur [K]
Dim A_dT As Single     ' Tagesamplitude der Temperatur [K]
Dim A_ax As Single     ' Jahresamplitude der Luftfeuchte [kg/kg]
Dim A_mx As Single     ' Monatsamplitude der Luftfeuchte [kg/kg]
Dim A_dx As Single     ' Tagesamplitude der Luftfeuchte [kg/kg]

Dim h_d As Integer     ' laufende Stunde des Tages
Dim d_w As Integer     ' laufender Wochentag (für Betriebszeiten)
Dim w As Integer       ' laufende Woche (für Wochentag)
Dim h_m0 As Integer    ' Stunde des jeweiligen Monatsanfangs
Dim d_m0 As Integer    ' Tag des jeweiligen Monatsanfangs
Dim d_a As Integer     ' laufender Tag des Jahres
Dim d_m As Integer     ' laufender Tag des Monats

Dim m0(1 To 12, 1 To 12) As Single ' Hilfsgröße
Dim det(0 To 12) As Single ' Determinante
Dim T_korr(1 To 12) As Single ' Temperaturkorrekturwert [°C]
Dim m(0 To 12, 1 To 12, 1 To 12) As Single ' mehrdimensionales Array für Monatswerte

' *****
' BERECHNUNG *****
' *****

For j = 1 To Monat(i) ' Tag des jeweiligen Monatsanfangs
    d_m0 = d_m0 + d(j - 1)
    If j = 1 Then
        d_m0 = 0
    End If
    h_m0 = d_m0 * 24 ' Stunde des jeweiligen Monatsanfangs
Next j

h_d = i Mod 24 ' laufende Stunde des Tages
w = i \ (24 * 7) + 1 ' laufende Woche
d_w = (i - (w - 1) * (24 * 7)) \ (24) + 1 ' laufender Wochentag
d_a = i \ 24 + 1 ' laufender Tag des Jahres
If Monat(i) = 1 Then ' laufender Tag des Monats
    d_m = d_a
Else
    d_m = d_a Mod d_m0
End If

' Hilfsgrößen werden nicht mehr benötigt, daher 0 gesetzt:
d_m0 = 0
h_m0 = 0

' *****
' Berechnung gemäß ÖNORM B 8110-5, Anhang C:

' Standortklima einlesen
SK = Worksheets("SK").Cells(6, 8).Value

```

```

' Monatsmitteltemperatur einlesen
For j = 1 To 12
  If j <= 6 Then
    T_e(j) = Worksheets("SK").Cells(35, 1 + j).Value
  Else
    T_e(j) = Worksheets("SK").Cells(48, 1 + j - 6).Value
  End If
Next j

' Basiswerte Feuchte einlesen (monatl. Mittelwert, Jahresamplitude)
x_m = Worksheets("AU").Cells(33, 10 + SK).Value
A_ax = Worksheets("AU").Cells(34, 10 + SK).Value

' Tagessamplituden einlesen
A_dT = Worksheets("AU").Cells(2 + Monat(i), 1 + SK).Value
A_dx = Worksheets("AU").Cells(2 + Monat(i), 10 + SK).Value

' Monatsamplituden einlesen
A_mT = Worksheets("AU").Cells(17 + Monat(i), 1 + SK).Value
A_mx = Worksheets("AU").Cells(17 + Monat(i), 10 + SK).Value

' für Stundentemperaturen wird Mittelwertstreuung über T_corr hergestellt
For k = 1 To 12
  For l = 1 To 12
    If k = 1 Then
      m(0, k, l) = d(1) - 15
    ElseIf l = k - 1 Or (l = 12 And k = 1) Then
      m(0, k, l) = 15
    Else
      m(0, k, l) = 0
    End If
  Next l
Next k

For j = 1 To 12
  For k = 1 To 12
    For l = 1 To 12
      m(j, k, l) = m(0, k, l)
      If j = k Then
        If l = 12 Then
          m(j, k, l) = T_e(1) - T_e(12)
        Else
          m(j, k, l) = T_e(l + 1) - T_e(l)
        End If
      End If
    Next l
  Next k
Next j

For j = 0 To 12
  For k = 1 To 12
    For l = 1 To 12
      m0(k, l) = m(j, k, l)
    Next l
  Next k
  det(j) = Application.MDeterm(m0())
  If j > 0 Then
    T_korr(j) = det(j) / det(0)
  End If
Next j

' stundenweise Außenlufttemperatur berechnen
T(i, 1, 0) = T_e(Monat(i)) - _
  T_korr(Monat(i)) * 15 + _
  T_korr(Monat(i)) * d_m + _
  (A_mT - 15 * Abs(T_korr(Monat(i)))) * -

```

```

        Sin(d_m / d(Monat(i)) * 2 * Application.Pi) - _
A_dT * Cos(h_d / 24 * 2 * Application.Pi)

' stundenweise Luftfeuchte berechnen
x(i, 1, 0) = 1 / 1000 * (x_m - _
A_ax * Cos(d_a / 365 * 2 * Application.Pi) + _
A_mx * Sin(d_m / d(Monat(i)) * 2 * Application.Pi) - _
A_dx * Cos(h_d / 24 * 2 * Application.Pi))

' stundenweisen Luftdruck berechnen
' keine Berechnung vorgegeben, es wird ein einheitlicher Druck von 970 mbar als
' Luftdruck der Außenluft angenommen; Auswirkungen der Vereinfachung s. Textteil
p_AU = 970
p(i, 1, 0) = p_AU * 100

```

End Sub

## Sub Lasten

Sub SubLASTEN(i, n)

```

' *****
' BERECHNUNG STARTEN *****
' *****

' Berechnung starten: Stundenwerte

' Ausgangswert der Speichermassentemp. definieren
' (Heizfall: 20/22 °C; Kühlfall: 26 °C)
If i = 1 Then

    T_SMt(0, 0, n) = T_RAsoll(1)          ' Fall Q_HCac (tats. stündl. Werte)
    T_SMt(0, 1, n) = T_RAsoll(1)          ' Fall Q_HC = 0
    T_SMt(0, 2, n) = T_RAsoll(1)          ' Fall Q_HC = 10 * BF

End If

T_RAraum = T_RAsoll(n)

' 2 Schleifen für Q_HC = 0 (j = 1) und für Q_HC = 10 W/m2 * BF (j = 2)
For j = 1 To 2

    Call SubRaummodell(i, j, n, (j - 1) * 10 * BF)

    ' Temperaturpotential der Speichermasse speichern
    T_SMt(0, j, n) = T_SMt(1, j, n)
    T_SM(0, j, n) = T_SM(1, j, n)

Next j

' SCHRITT 1:
' Prüfung, ob freie Raumtemperatur im Sollbereich

If (T_RAsoll(1) <= T_RA(1)) And (T_RA(1) <= T_RAsoll(2)) Then
    ' im Behaglichkeitsbereich, keine Konditionierung erforderlich,
    Q_HCun(i, 1) = 0
    T_RAraum = T_RA(1)
Else
    If T_RA(1) < T_RAsoll(1) Then
        ' zu kalt, Heizen erforderlich
        T_RAraum = T_RAsoll(1)
    Else
        ' zu warm, Kühlen erforderlich
        T_RAraum = T_RAsoll(2)
    End If
End If

End Sub

```

```

' SCHRITT 2:
' Berechnung der unbegrenzten stündlichen Heiz- (n=1) und Kühllast (n=2)
' (Berechnung der dazu erforderlichen (stündlichen) Temperaturen erfolgte
' bereits im vorherigen Schritt)

' für unterbrochenen Heiz- und Kühlbetrieb: t_h
Q_HCun(i, n) = (10 * BF) * (T_RAraum - T_RA(1)) / (T_RA(2) - T_RA(1)) * t_h(i)

' SCHRITT 3:
' Beschränkung des unbegrenzten stündlichen HWB (n=1) und KB (n=2)

' keine Beschränkung auf positive Werte erforderlich
Q_HCac(i, 0, n) = Q_HCun(i, n)

' Aufteilung auf 2 Spalten für Ausgabe
' Heizlast: in Spalte 1
If Q_HCun(i, n) > 0 Then
    Q_HCac(i, 1, n) = Q_HCun(i, n)
    ' Kühllast: in Spalte 2 (bzw. keine Last)
Else
    Q_HCac(i, 2, n) = Q_HCun(i, n)
End If

' SCHRITT 4: Berechnung mit der tatsächlichen Heiz- und Kühllast
' (3. Schleife mit Q_HC = Q_HCac)

Call SubRaummodell(i, 0, n, Q_HCac(i, 0, n))

' Temperatur der Speichermasse speichern
' tatsächliche Speichermassentemperatur wird als Grundwert für nächsten
' Zeitschritt übernommen
T_SMt(0, 0, n) = T_SMt(1, 0, n)

' Ausgabe der Raumlufttemperatur aus Raummodell für Berechnungsschleife 3
T(i, 13, n) = T_RA(0)

End Sub

```

## Sub Raummodell

Sub SubRaummodell(i, j, n, Q<sub>HC</sub>)

```
' Sub wird 2x durchlaufen:
' - Berechnung Nutzenergiebedarf —> Zulufttemperaturen (Start in "SubLasten")
' - Berechnung Rauminnentemperatur mit tats. Zulufttemp. (Start in "SubRA")

' j = 0: QHC = tats. Nutzenergiebedarf (3. Schleife)
' j = 1: QHC = 0
' j = 2: QHC = 10 * BF

' TSM, TSMt
' 1 ... aktueller Zeitschritt
' 0 ... vorangegangener Zeitschritt

' TRLT = Zulufttemperatur des hygienischen Luftwechsels
' - für 1. Lastberechnung: TRLT = TAU —> setze TZU = TAU in "SubAU"
' - für Raumlufttempberechnung: TRLT = TZU, ist —> wird in "Klimaanlage"
' überschrieben
TRLT = (T(i, 1, 0) * LVINF + T(i, 12, n) * LVRLT * hRLTd(i)) / LV

' Leitwertberechnung
L1 = 1 / ((1 / LV) + (1 / LWARA))
L2 = L1 + LTtr
L3 = 1 / ((1 / L2) + (1 / LSMRA))

' totale Lasten auf den Speichermasseknoten
QSMtot = -
    QSM(i, n) + LAUSM * T(i, 1, 0) + L3 / L2 * -
    (QWA(i, n) + LTtr * T(i, 1, 0) + L1 * ((QRA(i, n) + QHC) / LV + TRLT))

' Temperatur der Speichermasse am Ende des Zeitschritts t
TSMt(1, j, n) = -
    (TSMt(0, 0, n) * (CSM - 0.5 * (L3 + LAUSM)) + QSMtot) / -
    (CSM + 0.5 * (L3 + LAUSM))

' Temperatur der Speichermasse während des Zeitschritts t
TSM(1, j, n) = -
    (TSMt(1, j, n) + TSMt(0, j, n)) / 2

' Temperatur der raumumschließenden Bauteileobflächen
TWA(j) = -
    (LSMRA * TSM(1, j, n) + QWA(i, n) + LTtr * T(i, 1, 0) + L1 * -
    (TRLT + (QRA(i, n) + QHC) / LV)) / (LSMRA + LTtr + L1)

' Raumlufttemperatur
TRA(j) = -
    (LWARA * TWA(j) + LV * TRLT + QRA(i, n) + QHC) / (LWARA + LV)

' operative Temperatur
TOP(j) = -
    (TRA(j) + TSM(1, j, n)) / 2
```

End Sub

## Sub ZU

Sub SubZU(i, n)

```
' DRUCK *****
p(i, 12, n) = p(i, 1, 0) + delta_P(13)

' TEMERATUR *****
' Heizen erforderlich und Heizregister vorhanden —> HEIZEN
If T(i, 6, n) < T(i, 12, n) - deltaT_VENT(i) And _
  (ANLAGE(7) = True Or ANLAGE(10) = True) Then
  ' T(i,12) kann von "SOLL" übernommen werden

  ' Kühlen erforderlich und Kühlregister vorhanden —> KÜHLEN
  ElseIf T(i, 6, n) > T(i, 12, n) - deltaT_VENT(i) And _
    ANLAGE(8) = True Then
    ' T(i,12) kann von "SOLL" übernommen werden

  ' keine Konditionierung erforderlich
  Else
    T(i, 12, n) = T(i, 6, n) + deltaT_VENT(i)

End If

' FEUCHTE *****
' x_MK < x_min
If (x(i, 6, n) < x_ZUmin) And _
  (ANLAGE(7) = True Or ANLAGE(9) = True Or BA_BEf = 3) Then
  x(i, 12, n) = x_ZUmin

  ' x_MK > x_max
  ElseIf x(i, 6, n) > x_ZUmax And ANLAGE(8) = True Then
    x(i, 12, n) = x_ZUmax

  ' x_min <= x_MK <= x_max
  Else
    x(i, 12, n) = x(i, 6, n)

End If

' TAUPUNKT-Prüfung:
If T(i, 12, n) - deltaT_VENT(i) < T_TAU(x(i, 12, n), p(i, 12, n), i) Then
  x(i, 12, n) = x_TAU(T(i, 12, n) - deltaT_VENT(i), p(i, 12, n))
End If
```

End Sub

## Sub VENT

Sub SubVENT(i, n)

```
' ***** BERECHNUNG *****
T(i, 11, n) = T(i, 12, n)
x(i, 11, n) = x(i, 12, n)
p(i, 11, n) = p(i, 12, n) + delta_P(12)
```

End Sub

## Sub LNH

Sub SubLNH(i, n)

$T(i, 10, n) = T(i, 11, n) - \text{deltaT\_VENT}(i)$   
 $x(i, 10, n) = x(i, 11, n)$

End Sub

## Sub BO

Sub SubBO(i, s\_LL, f\_BO, T\_AUm, deltaT\_e)

' Berechnung der Erdreichtemperatur

' \*\*\*\*\*  
' *LOKALE VARIABLENDEKLARATION* \*\*\*\*\*  
' \*\*\*\*\*

Dim deltat\_BO As Single

' Kurvenverschiebung [h]

Dim y\_BO As Single

' Amplitudenkorrekturfaktor [-]

' \*\*\*\*\*  
' *BERECHNUNG* \*\*\*\*\*  
' \*\*\*\*\*

' Amplitudenkorrekturfaktor

$y\_BO = -$   
 $-0.00035 * s\_LL ^ 3 + 0.01381 * s\_LL ^ 2 - 0.1993 * s\_LL + 1$

' Kurvenverschiebung

$deltat\_BO = -$   
 $24 * (-0.0195 * s\_LL ^ 4 + 0.3385 * s\_LL ^ 3 - 1.0156 * s\_LL ^ 2 +$   
 $10.298 * s\_LL + 0.1786)$

' Erdreichtemperatur

$T(i, 0, 0) = -$   
 $f\_BO * (T\_AUm - y\_BO * \text{deltaT\_e} * -$   
 $\text{Sin}((2 * \text{Application.Pi}) / 8760 * (i - deltat\_BO + 24.25)))$

End Sub

## Sub EWT

Sub SubEWT(i, n)

' \*\*\*\*\*  
' *SYSTEMATIK* \*\*\*\*\*  
' \*\*\*\*\*

' - Möglichkeit von Sommerbypass und Winterbypass vorsehen

' - Entfeuchtung im EWT: im Sommerfall kommt es im EWT zu einer Entfeuchtung,  
' wenn  $T\_BO < T\_TAU(x\_AU)$

' - Bypassfunktion: zusätzliches Kriterium mit Zulufttemperatur erforderlich

' \* Heizen: Bypass, wenn über EWT GEKÜHLT wird, obwohl HEIZEN erforderlich

' \* Kühlen: Bypass, wenn über EWT GEHEIZT wird, obwohl KÜHLEN erforderlich

' \*\*\*\*\*  
' *BERECHNUNG* \*\*\*\*\*  
' \*\*\*\*\*

```

p(i, 4, n) = p(i, 1, 0) ' - delta_P(4)

' EWT aktivieren:
' Bezugsgröße: ZULUFT-VENT aus theta_ZU, soll (Lastberechnung für 8760 h)
' Var 1: kein Bypass
' Var 2: Bypass vorh. & Heizen erforderlich & EWT heizt
' Var 3: Bypass vorh. & Kühlen erforderlich & EWT kühlt
If BYPASSEWT = False -
  Or BYPASSEWT = True And T(i, 12, n) - deltaT_VENT(i) > T(i, 1, 0) -
    And T(i, 1, 0) < T(i, 0, 0) -
  Or BYPASSEWT = True And T(i, 12, n) - deltaT_VENT(i) < T(i, 1, 0) -
    And T(i, 1, 0) > T(i, 0, 0) -
  Then

  ' Luftdruck nach EWT
  p(i, 4, n) = p(i, 1, 0) - delta_P(4)

  ' Lufttemperatur nach EWT
  T(i, 4, n) = -
    T(i, 0, 0) - (T(i, 0, 0) - T(i, 1, 0)) * -
    Exp((( -1) * U_LL(i, v_RLT(i, n), k_LL, d_LLi, d_LLd, n_LL) * A_LL) -
    / (v_RLT(i, n) * rho_L * (c_pL / 3.6)))

  ' übertragene Wärmemenge (für weitere Berechnung nicht relevant)
  Q_EWT(i, n) = -
    A_LL * U_LL(i, v_RLT(i, n), k_LL, d_LLi, d_LLd, n_LL) -
    * (T(i, 0, 0) - (T(i, 1, 0) + T(i, 4, n)) / 2)

  ' Feuchte nach EWT
  ' T_EWT < T_TAU -> Entfeuchtung auf x_TAU(T_EWT)
  If T(i, 4, n) < T_TAU(x(i, 1, 0), p(i, 4, n), i) Then

    x(i, 4, n) = x_TAU(T(i, 4, n), p(i, 4, n))

  Else
    ' keine Unterschreitung des Taupunkts, damit keine Entfeuchtung
    x(i, 4, n) = x(i, 1, 0)
  End If

  ' EWT-Bypass aktiv (EWT = AU)
  Else
    T(i, 4, n) = T(i, 1, 0)
    x(i, 4, n) = x(i, 1, 0)
    p(i, 4, n) = p(i, 1, 0)

```

End If

End Sub

## Sub AB

Sub SubAB(i, n)

```

T(i, 2, n) = T(i - 1, 13, n) + deltaT_VENT(i)
x(i, 2, n) = x(i - 1, 13, n)
p(i, 2, n) = p(i - 1, 13, n) - delta_P(2)

```

End Sub

## Sub WRG

Sub SubWRG(i, n)

```
' *****
' SYSTEMATIK *****
' *****

' - Systemparameter werden aus "LV" eingelesen:
'   * WRG, FRG (bzw. RWZ und RFZ)
'   * Sommer-, Winterbypass
' - RWZ und RFZ werden als Jahreswert konstant gehalten
'   (keine stundenweise Berechnung), (Angaben aus B 8110-6)
' - Definitionen:
'   * Rückwärmzahl und Rückfeuchtezahl aus Recknagel, Sprenger
'   * wenn über Enthalpien (wie hier) gerechnet wird, darf nicht der
'     WRG (Wärmerückgewinnungsgrad) oder der eta_WRG (Wärmebereitstellungsgrad)
'     angesetzt werden, da dann die Enthalpie-Auswirkung doppelt angesetzt
'     werden würde

' *****
' BERECHNUNG *****
' *****

' DRUCK *****

  p(i, 5, n) = p(i, 4, n) - delta_P(5)
  p(i, 3, n) = p(i, 1, 0) + delta_P(5)

' TEMPERATUR & FEUCHTE *****

' WRG aktivieren:
' Bezugsgröße: ZULUFT-VENT aus theta_ZU, soll (Lastberechnung für 8760 h)
' Var 1: kein Bypass
' Var 2: Bypass vorh. & Heizen erforderlich & WRG heizt
' Var 3: Bypass vorh. & Kühlen erforderlich & WRG kühlt
If BYPASS_WRG = False _
  Or BYPASS_WRG = True And _
    T(i, 12, n) - deltaT_VENT(i) > T(i, 4, n) And T(i, 4, n) < T(i, 2, n) _
  Or BYPASS_WRG = True And _
    T(i, 12, n) - deltaT_VENT(i) < T(i, 4, n) And T(i, 4, n) > T(i, 2, n) _
  Then

  ' ZULUFT: nach WRG-ZU (--> *_WRG)
  T(i, 5, n) = T(i, 4, n) + RWZ * (T(i, 2, n) - T(i, 4, n))
  x(i, 5, n) = x(i, 4, n) + RFZ * (x(i, 2, n) - x(i, 4, n))

  ' FORTLUFT: nach WRG-AB (--> *_FO)
  T(i, 3, n) = T(i, 2, n) - RWZ * (T(i, 2, n) - T(i, 4, n))
  x(i, 3, n) = x(i, 2, n) - RFZ * (x(i, 2, n) - x(i, 4, n))

  ' MGM, 2010-08-01:
  ' Überheizen im Kühlfall verhindern --> MK inaktiv
  ' WRG > ZU-Vent & WRG kühlt
  If T(i, 5, n) > T(i, 12, n) - deltaT_VENT(i) And T(i, 4, n) < T(i, 2, n) Then

    ' ZULUFT
    T(i, 5, n) = T(i, 4, n)
    x(i, 5, n) = x(i, 4, n)

    ' FORTLUFT: nach WRG-AB (--> *_FO)
    T(i, 3, n) = T(i, 2, n)
    x(i, 3, n) = x(i, 2, n)

End If
```

```

' WRG-Bypass aktiv (WRG = EWT)
Else
  ' ZULUFT: nach WRG-ZU (--> *_WRG)
  T(i, 5, n) = T(i, 4, n)
  x(i, 5, n) = x(i, 4, n)
  p(i, 5, n) = p(i, 4, n)

  ' FORTLUFT: nach WRG-AB (--> *_FO)
  T(i, 3, n) = T(i, 2, n)
  x(i, 3, n) = x(i, 2, n)
  p(i, 3, n) = p(i, 1, 0)

```

End If

End Sub

## Sub MK

Sub SubMK(i, n)

```

' DRUCK *****

```

```

  p(i, 6, n) = p(i, 5, n) - delta_P(6)

```

```

' TEMPERATUR & FEUCHTE *****

```

```

  ' MK aktivieren:

```

```

  ' Bezugsgröße: ZULUFT-VENT aus theta_ZU, soll (Lastberechnung für 8760 h)

```

```

  ' Temperaturregelung!! (Enthalpie und Feuchte sind keine Kriterien!)

```

```

  ' Var 1: Heizen erforderlich & MK heizt

```

```

  ' Var 2: Kühlen erforderlich & MK kühlt

```

```

If T(i, 12, n) - deltaT_VENT(i) > T(i, 5, n) And T(i, 5, n) < T(i, 2, n) -
  Or T(i, 12, n) - deltaT_VENT(i) < T(i, 5, n) And T(i, 5, n) > T(i, 2, n) -
  Then

```

```

  T(i, 6, n) = T(i, 2, n) * u(i) + T(i, 5, n) * (1 - u(i))
  x(i, 6, n) = x(i, 2, n) * u(i) + x(i, 5, n) * (1 - u(i))

```

```

  ' Überheizen im Kühlfall verhindern --> MK inaktiv

```

```

  ' MK > ZU-Vent & MK kühlt

```

```

If T(i, 6, n) > T(i, 12, n) - deltaT_VENT(i) And T(i, 5, n) < T(i, 2, n) -
  Then

```

```

  T(i, 6, n) = T(i, 5, n)
  x(i, 6, n) = x(i, 5, n)

```

```

End If

```

```

  ' MK nicht aktiv (MK = WRG)

```

```

Else
  T(i, 6, n) = T(i, 5, n)
  x(i, 6, n) = x(i, 5, n)

```

End If

End Sub

## Sub LVH

Sub SubLVH(i, n)

```
' SYSTEMATIK *****
' BA_RLT der Luftvorheizung
' - 0...kBef: keine Befeuchtung
' - 1...VBger: Verdunstungsbef. feuchtegeregelt
' - 2...VBunger: Verdunstungsbef. mit Taupunktregelung
' - 3...DBger: Dampfbefeuchtung geregelt
' BERECHNUNG *****
' DRUCK
    p(i, 7, n) = p(i, 6, n) - delta_P(7)
' TEMPERATUR
    If BA_BEF = 0 Then
        Call LVH_keine_Befeuchtung(i, n)
    End If
    If BA_BEF = 1 Then
        Call LVH_Verdunstung_Feuchte(i, n)
    End If
    If BA_BEF = 2 Then
        Call LVH_Verdunstung-Taupunkt(i, n)
    End If
    If BA_BEF = 3 Then
        Call LVH_Dampf(i, n)
    End If
' FEUCHTE
' nur Heizen, kein Befeuchten in LVH
x(i, 7, n) = x(i, 6, n)
```

End Sub

Private Sub LVH\_keine\_Befeuchtung(i, n)

```
' Konditionierungserfordernis: T_MK < T_ZU -> Heizen erforderlich
If T(i, 6, n) < T(i, 10, n) Then
    T(i, 7, n) = T(i, 10, n)
    ' T_MK >= T_ZU -> KEIN Heizen erforderlich (= T_MK)
Else
    T(i, 7, n) = T(i, 6, n)
End If
```

End Sub

Private Sub LVH\_Verdunstung\_Feuchte(i, n)

```
' Enthalpie nach LVH = Enthalpie der LNH
' Konditionierungserfordernis: h_MK < h_LNH -> Heizen erforderlich
If h_Tx(T(i, 6, n), x(i, 6, n)) < h_Tx(T(i, 10, n), x(i, 10, n)) Then
    ' Zuluftfeuchte = Raumluftfeuchte angesetzt! [2009-12-04]
    h(i, 10, n) = h_Tx(T(i, 10, n), x(i, 10, n))
    T(i, 7, n) = T_hx(h(i, 10, n), x(i, 6, n))
    ' T_MK >= T_ZU -> KEIN Heizen erforderlich (= T_MK)
Else
    T(i, 7, n) = T(i, 6, n)
```

```

    End If
End Sub

Private Sub LVH_Verdunstung-Taupunkt(i, n)
    ' Temperatur kann erst nach BEF-Berechnung ermittelt werden
    ' (h_LVH = h_BEF)
    T(i, 7, n) = T(i, 6, n)
End Sub

Private Sub LVH_Dampf(i, n)
    ' Konditionierungserfordernis: T_MK < T_ZU -> Heizen erforderlich
    If T(i, 6, n) < T(i, 10, n) Then
        T(i, 7, n) = T(i, 10, n)
        ' T_MK >= T_ZU -> KEIN Heizen erforderlich (= T_MK)
    Else
        T(i, 7, n) = T(i, 6, n)
    End If
End Sub

```

## Sub LKU

```
Sub SubLKU(i, n)

' Betriebsart (BA_RLT) der RLT-Anlage / der Befeuchtung
' - 0...k.Bef: keine Befeuchtung
' - 1...VBger: Verdunstungsbef. feuchtegeregelt
' - 2...VBunger: Verdunstungsbef. mit Taupunktregelung
' - 3...DBger: Dampfbefeuchtung geregelt

' DRUCK *****

p(i, 8, n) = p(i, 7, n) - delta_P(8)

' TEMPERATUR + FEUCHTE *****

' Verweise auf Private Subs in Abhängigkeit von der BA_RLT

If BA_BEF = 0 Then
    Call LKU_keine_Befeuchtung(i, n)
End If

If BA_BEF = 1 Then
    Call LKU_Verdunstung_Feuchte(i, n)
End If

If BA_BEF = 2 Then
    Call LKU_Verdunstung-Taupunkt(i, n)
End If

If BA_BEF = 3 Then
    Call LKU_Dampf(i, n)
End If

'MsgBox ("LKU fertig")

End Sub

Private Sub LKU_keine_Befeuchtung(i, n)

' Voraussetzung für vorliegende Berechnung:
' keine Befeuchtung —> Verdunstungskühlung nicht möglich

' Kühlen erforderlich: T_LVH > T_LNH
If T(i, 7, n) > T(i, 10, n) Then

    ' grundsätzlich keine Entfeuchtung
    x(i, 8, n) = x(i, 7, n)

    ' mit Entfeuchtung
    ' Austrittstemp liegt auf Sättigungslinie
    If x(i, 10, n) < x(i, 7, n) Then
        T(i, 8, n) = T_TAU(x(i, 10, n), p(i, 8, n), i)

        ' keine Entfeuchtung
    Else
        T(i, 8, n) = T(i, 10, n)

    End If

    ' Austrittstemp. unterhalb Sättigung
    ' T_LKU < T_TAU —> Temp nach LKU unter T_TAU —> Entfeuchtung auf x
    If T(i, 8, n) < T_TAU(x(i, 8, n), p(i, 8, n), i) Then

        x(i, 8, n) = x_TAU(T(i, 8, n), p(i, 8, n))

    End If

End Sub
```

```

      ' nachfolgende Feuchtwerte müssen korrigiert (reduziert) werden
      x(i, 9, n) = x(i, 8, n)
      x(i, 10, n) = x(i, 8, n)
      x(i, 11, n) = x(i, 8, n)
      x(i, 12, n) = x(i, 8, n)

End If

      ' kein Kühlen erforderlich
      '  $T_{LVH} \leq T_{LNH} \rightarrow T_{LKV} = T_{LVH} (= T_{MK})$ 
Else

      T(i, 8, n) = T(i, 7, n)
      x(i, 8, n) = x(i, 7, n)

      ' Entfeuchten aber eigentlich kein Kühlen
      '  $x_{LVH} > x_{LNH}$ 
If x(i, 7, n) > x(i, 10, n) Then

      T(i, 8, n) = T_TAU(x(i, 10, n), p(i, 8, n), i)
      x(i, 8, n) = x(i, 10, n)

      '  $T_{LKV} < T_{TAU} \rightarrow$  Temp nach LKV unter  $T_{TAU} \rightarrow$  Entfeuchtung auf x
If T(i, 8, n) < T_TAU(x(i, 8, n), p(i, 8, n), i) Then

      x(i, 8, n) = x_TAU(T(i, 8, n), p(i, 8, n))

End If

End If

End Sub

Private Sub LKV_Verdunstung_Feuchte(i, n)

      ' TEMPERATUR + FEUCHTE *****

      '  $T_{MK} > T_{ZU} \rightarrow$  Kühlen erforderlich
      ' ( $T_{LVH}$  als Kühl-Kriterium nicht geeignet, da im
      ' Heizfall immer  $> T_{LNH}$ , weil adiabate Befeuchtung)

      ' MGM, 2010-08-03:
      ' es entsteht ev. eine Falschberechnung durch Rundung:
      '  $T_{LVH}$  wird im vorherigen Schritt über h auf LNH hingerechnet,
      ' bei dieser Abfrage ergibt  $(37.8405 - 37.8405) > 0 \rightarrow$  WAHR
      ' so ist programmieren schwierig...
      ' MGM, 2010-08-10: gelöst (DANKE HERMANN!)
If (h_Tx(T(i, 7, n), x(i, 7, n)) - h_Tx(T(i, 10, n), x(i, 10, n))) > 0.001 Then

      ' Kühlen + Entfeuchten
If x(i, 7, n) > x(i, 10, n) Then

      x(i, 8, n) = x(i, 10, n)
      T(i, 8, n) = T_TAU(x(i, 8, n), p(i, 8, n), i)

      ' Kühlen + Befeuchten
Else

      x(i, 8, n) = x(i, 7, n)
      T(i, 8, n) = T_hx(h_Tx(T(i, 10, n), x(i, 10, n)), x(i, 8, n))

End If

If h_Tx(T(i, 10, n), x(i, 10, n)) < h_Tx(T(i, 8, n), x(i, 8, n)) Then

```

```

x(i, 8, n) = x_TAU(T(i, 10, n), p(i, 8, n))
T(i, 8, n) = T_TAU(x(i, 8, n), p(i, 8, n), i)

' nachfolgende Feuchtwerte müssen korrigiert (reduziert) werden
x(i, 9, n) = x(i, 8, n)
x(i, 10, n) = x(i, 8, n)
x(i, 11, n) = x(i, 8, n)
x(i, 12, n) = x(i, 8, n)

End If

' T_LNH <= T_ZU —> KEIN Kühlen erforderlich (= T_MK)
Else

T(i, 8, n) = T(i, 7, n)
x(i, 8, n) = x(i, 7, n)

End If

End Sub

Private Sub LKU_Verdunstung-Taupunkt(i, n)

' TEMPERATUR + FEUCHTE *****
' Zone 1a: Heizen + Befeuchten
' T_LKU kann noch nicht berechnet werden, da identisch mit T_LVH, das in
' SubBEF berechnet wird
x(i, 8, n) = x(i, 7, n)

' Zone 1b: Kühlen + Befeuchten
' T_LKU kann noch nicht berechnet werden, da identisch mit T_BEF, das in
' SubBEF berechnet wird

' Zone 2: Kühlen
' (T_LVH kein Kriterium da noch nicht bekannt!)
If (T(i, 6, n) > T(i, 10, n)) And (x(i, 6, n) = x(i, 10, n)) Then

' kein Vorerhitzer erforderlich, daher keine Veränderung von T im LVH
T(i, 7, n) = T(i, 6, n)

T(i, 8, n) = T(i, 10, n)
x(i, 8, n) = x(i, 10, n)

' T_LKU < T_TAU —> Temp nach LKU unter T_TAU —> Entfeuchtung auf x
If T(i, 8, n) < T_TAU(x(i, 8, n), p(i, 8, n), i) Then

x(i, 8, n) = x_TAU(T(i, 8, n), p(i, 8, n))

End If

End If

' Zone 3: Kühlen, Entfeuchten
If (x(i, 6, n) > x(i, 10, n)) Then
' kein Heizen, kein Befeuchten, Kühlen, Entfeuchten
T(i, 7, n) = T(i, 6, n)

T(i, 8, n) = T_TAU(x(i, 10, n), p(i, 8, n), i)
x(i, 8, n) = x(i, 10, n)

' T_LKU < T_TAU —> Temp nach LKU unter T_TAU —> Entfeuchtung auf x
If T(i, 8, n) < T_TAU(x(i, 8, n), p(i, 8, n), i) Then

x(i, 8, n) = x_TAU(T(i, 8, n), p(i, 8, n))

End If

End If

```

```

' Zone 4: Heizen
If (T(i, 6, n) < T(i, 10, n)) And (x(i, 6, n) = x(i, 10, n)) Then
  ' Heizen, kein Kühlen, kein Be- und Entfeuchten
  ' Heizen im Vorerhitzer auf T_LNH
  ' —> danach keine Konditionierung mehr erforderlich
  T(i, 7, n) = T(i, 10, n)

  T(i, 8, n) = T(i, 7, n)
  x(i, 8, n) = x(i, 7, n)

  ' T_LKU < T_TAU —> Temp nach LKU unter T_TAU —> Entfeuchtung auf x
  If T(i, 8, n) < T_TAU(x(i, 8, n), p(i, 8, n), i) Then
    x(i, 8, n) = x_TAU(T(i, 8, n), p(i, 8, n))

  End If

End If

End Sub

' keine Konditionierung
If (T(i, 6, n) = T(i, 10, n)) And (x(i, 6, n) = x(i, 10, n)) Then

  T(i, 7, n) = T(i, 10, n)

  T(i, 8, n) = T(i, 7, n)
  x(i, 8, n) = x(i, 7, n)

End If

End Sub

Private Sub LKU_Dampf(i, n)

' TEMPERATUR

' Heizfall
If T(i, 6, n) < T(i, 10, n) Then

  T(i, 8, n) = T(i, 7, n)

  ' Kühlfall oder Entfeuchtung
  Else

    ' mit Entfeuchtung
    ' Austrittstemp liegt auf Sättigungslinie
    If x(i, 10, n) < x(i, 7, n) Then
      T(i, 8, n) = T_TAU(x(i, 10, n), p(i, 8, n), i)

      ' keine Entfeuchtung
      Else
        T(i, 8, n) = T(i, 10, n)

      End If

    End If

  End If

End Sub

' FEUCHTE

' T_LKH < T_TAU(T_LMK)
' —> Entfeuchtung erforderlich, da Abkühlung unter Taupunkt
If T(i, 8, n) < T_TAU(x(i, 7, n), p(i, 8, n), i) Then

  ' MGM, 2010-08-13
  ' nachfolgende x-Werte müssen korrigiert werden
  x(i, 8, n) = x_TAU(T(i, 8, n), p(i, 8, n))
  x(i, 9, n) = x(i, 8, n)
  x(i, 10, n) = x(i, 8, n)
  x(i, 11, n) = x(i, 8, n)

```

$x(i, 12, n) = x(i, 8, n)$

' *Kühlung mit  $x = \textit{konstant}$*   
**Else**

$x(i, 8, n) = x(i, 6, n)$

**End If**

**End Sub**

## Sub BEF

```
Sub SubBEF(i, n)
' Betriebsart (BA_BEF) der RLT-Anlage / der Befeuchtung
' - 0...k.Bef: keine Befeuchtung
' - 1...VBger: Verdunstungsbef. feuchtegeregelt
' - 2...VBunger: Verdunstungsbef. mit Taupunktregelung
' - 3...DBger: Dampfbefeuchtung geregelt

' DRUCK *****

p(i, 9, n) = p(i, 8, n) - delta_P(9)

' TEMPERATUR + FEUCHTE *****
' Verweise auf Private Subs in Abhängigkeit von der Betriebsart (SubEinlesen)

If BA_BEF = 0 Then
    Call BEF_keine_Befeuchtung(i, n)
End If

If BA_BEF = 1 Then
    Call BEF_Verdunstung_Feuchte(i, n)
End If

If BA_BEF = 2 Then
    Call BEF_Verdunstung-Taupunkt(i, n)
End If

If BA_BEF = 3 Then
    Call BEF_Dampf(i, n)
End If

End Sub

Private Sub BEF_keine_Befeuchtung(i, n)
' BETRIEBSART 0: keine Befeuchtung
' keine Befeuchtung —> keine Veränderung von x und T im Vergleich zu LKU

T(i, 9, n) = T(i, 8, n)
x(i, 9, n) = x(i, 8, n)

End Sub

Private Sub BEF_Verdunstung_Feuchte(i, n)
' BETRIEBSART 1: Verdunstungsbefeuchtung mit Zuluftfeuchte-Regelung
' Feuchtegehalt und Temperatur wie gefordert
' Zustand identisch wie nach Luftnachheizung LNH (10)

T(i, 9, n) = T(i, 10, n)
x(i, 9, n) = x(i, 10, n)

End Sub

Private Sub BEF_Verdunstung-Taupunkt(i, n)
' BETRIEBSART 2: Verdunstungsbefeuchtung mit Taupunkt-Regelung
' LOKALE VARIABLENDEKLARATION *****
```

```

Dim BEF_WG As Single          ' Befeuchter-Wirkungsgrad [-]
Dim x_ZIEL As Single         ' Zielwert der Befeuchtung (BEF_WG = 1,0)

' EINLESEN *****
BEF_WG = Worksheets("LV").Cells(28, 11).Value

' BERECHNUNG *****

' Zone 1a:
' Heizen, Befeuchten, kein Kühlen (h_MK <= h_LNH, x_MK < x_LNH)
' kann LVH nicht als Kriterium verwenden, da noch unbekannt
' (aus h_BEF ergibt sich, wieviel geheizt werden muss)
If h_Tx(T(i, 6, n), x(i, 6, n)) <= h_Tx(T(i, 10, n), x(i, 10, n)) -
    And (x(i, 6, n) < x(i, 10, n)) Then

    ' x-Zielwert auf Sättigungslinie
    x_ZIEL = x(i, 7, n) + (x(i, 10, n) - x(i, 7, n)) / BEF_WG

    ' Zustand nach Befeuchter
    x(i, 9, n) = x(i, 7, n) + BEF_WG * (x_ZIEL - x(i, 7, n))
    T(i, 9, n) = T_hx(h_Tx(T_TAU(x_ZIEL, p(i, 9, n), i), x_ZIEL), x(i, 10, n))

    ' wenn im Heizfall Kühlen erforderlich werden würde (h_MK > h_BEF):
    If h_Tx(T(i, 9, n), x(i, 9, n)) < h_Tx(T(i, 6, n), x(i, 6, n)) Then

        ' x-Zielwert = Feuchte nach LVH (= Feuchte nach EWT): keine Befeuchtung
        x_ZIEL = x(i, 7, n)

        ' schrittweise Näherung zu x_ZIEL (Iteration mit Schrittweite 0.1 g/kg)
        ' (keine einfache analytische Lösung möglich)
        For m = 1 To 100
            x_ZIEL = x_ZIEL + 0.0001
            If T_hx(h_Tx(T(i, 6, n), x(i, 7, n)), x_ZIEL) -
                <= T_TAU(x_ZIEL, p(i, 9, n), i) Then
                m = 100
            End If
        Next m

        ' Zustand nach Befeuchter
        x(i, 9, n) = x(i, 7, n) + BEF_WG * (x_ZIEL - x(i, 7, n))
        T(i, 9, n) = -
            T_hx(h_Tx(T_TAU(x_ZIEL, p(i, 9, n), i), x_ZIEL), x(i, 9, n))

        ' Temperatur nach LVH (aus Enthalpie nach Befeuchtung)
        T(i, 7, n) = -
            T_hx(h_Tx(T_TAU(x_ZIEL, p(i, 7, n), i), x_ZIEL), x(i, 7, n))

        ' nachfolgende Feuchtwerte müssen korrigiert (reduziert) werden, da
        x(i, 10, n) = x(i, 9, n)
        x(i, 11, n) = x(i, 9, n)
        x(i, 12, n) = x(i, 9, n)

    Else
        ' Temperatur für LVH erst mit bekanntem h ermittelbar
        T(i, 7, n) = -
            T_hx(h_Tx(T_TAU(x_ZIEL, p(i, 7, n), i), x_ZIEL), x(i, 7, n))

    End If

    ' Zustand nach Luftkühler: kein LKU erforderlich, daher identisch mit LVH
    T(i, 8, n) = T(i, 7, n)
    x(i, 8, n) = x(i, 7, n)

End If

```

```

' Zone 1b:
  ' kein Heizen, Befeuchten, Kühlen ( $h_{MK} > h_{LNH}$ ,  $x_{MK} < x_{LNH}$ )
  If  $h_{Tx}(T(i, 6, n), x(i, 6, n)) > h_{Tx}(T(i, 10, n), x(i, 10, n))$  -
    And ( $x(i, 6, n) < x(i, 10, n)$ ) Then

    ' x-Zielwert auf Sättigungslinie
     $x_{ZIEL} = x(i, 7, n) + (x(i, 10, n) - x(i, 7, n)) / BEFWG$ 

     $x(i, 9, n) = x(i, 7, n) + BEFWG * (x_{ZIEL} - x(i, 7, n))$ 
     $T(i, 9, n) = T_{hx}(h_{Tx}(T_{TAU}(x_{ZIEL}, p(i, 9, n), i), x_{ZIEL}), x(i, 10, n))$ 

    ' keine LVH erforderlich, identisch mit MK
     $T(i, 7, n) = T(i, 6, n)$ 

    ' LKU erforderlich, keine Entfeuchtung erforderlich
    ' Temperatur für LKU erst mit bekanntem h ermittelbar
     $T(i, 8, n) = T_{hx}(h_{Tx}(T_{TAU}(x_{ZIEL}, p(i, 8, n), i), x_{ZIEL}), x(i, 7, n))$ 
     $x(i, 8, n) = x(i, 7, n)$ 

  End If

' Zone 2: Kühlen
  If ( $T(i, 6, n) > T(i, 10, n)$ ) And ( $x(i, 6, n) = x(i, 10, n)$ ) Then
    ' kein Befeuchten erforderlich, daher auch x und T identisch mit LKU
     $T(i, 9, n) = T(i, 8, n)$ 
     $x(i, 9, n) = x(i, 8, n)$ 
  End If

' Zone 3: Kühlen, Entfeuchten
  If ( $x(i, 6, n) > x(i, 10, n)$ ) Then
    ' kein Befeuchten erforderlich, daher auch x und T identisch mit LKU
     $T(i, 9, n) = T(i, 8, n)$ 
     $x(i, 9, n) = x(i, 8, n)$ 

  End If

' Zone 4: Heizen
  If ( $T(i, 6, n) < T(i, 10, n)$ ) And ( $x(i, 6, n) = x(i, 10, n)$ ) Then
    ' kein Befeuchten erforderlich, daher auch x und T identisch mit LKU
     $T(i, 9, n) = T(i, 8, n)$ 
     $x(i, 9, n) = x(i, 8, n)$ 
  End If

  If ( $T(i, 6, n) = T(i, 10, n)$ ) And ( $x(i, 6, n) = x(i, 10, n)$ ) Then
    ' keine Konditionierung erforderlich
     $T(i, 9, n) = T(i, 8, n)$ 
     $x(i, 9, n) = x(i, 8, n)$ 
  End If

End Sub

Private Sub BEF_Dampf(i, n)

' BETRIEBSART 3: Dampfbefeuchtung mit Zuluftfeuchte-Regelung

' Dampfbefeuchtung erfolgt in der Klimatechnik näherungsweise isotherm, also
' entlang der  $T = \text{konst.}$ -Linien; die Temperatur des Luftvolumenstroms bleibt
' damit bei Dampfbefeuchtung konstant (vgl. Rietschel Bd. 2, S. 60-63)

' Zone 1a, Zone 1b, Zone 1c:
  If ( $x(i, 8, n) < x(i, 10, n)$ ) Then

     $T(i, 9, n) = T(i, 8, n)$ 
     $x(i, 9, n) = x(i, 10, n)$ 

    ' durch Kühlung stärkere Entfeuchtung erforderlich
    If  $T(i, 8, n) < T(i, 10, n)$  Then
       $x(i, 9, n) = x(i, 8, n)$ 
    End If
  End If

```

```
      ' nachfolgende Feuchtwerte müssen korrigiert (reduziert) werden  
      ' (wurden bereits berechnet, durch Veränderung der Zuluftfeuchte ist  
      ' aber eine nachträgliche Anpassung erforderlich)  
      x(i, 10, n) = x(i, 9, n)  
      x(i, 11, n) = x(i, 9, n)  
      x(i, 12, n) = x(i, 9, n)
```

**End If**

```
      ' andernfalls keine Befeuchtung erforderlich!  
Else
```

```
      T(i, 9, n) = T(i, 8, n)  
      x(i, 9, n) = x(i, 8, n)
```

**End If**

**End Sub**

## Sub Functions

**Public Function** h\_Tx(T, x)

' *allgemeine Enthalpieberechnung feuchte Luft*  
$$h_{Tx} = c_{pL} * T + x * (r_0 + c_{pD} * T)$$

**End Function**

**Public Function** T\_hx(h, x)

' *Temperatur bei bekanntem T und x*  
$$T_{hx} = (h - r_0 * x) / (c_{pL} + c_{pD} * x)$$

**End Function**

**Public Function** x\_TAU(T\_i, p\_i)

' *absolute Feuchte bei phi = 1 und bekanntem T*  
$$x_{TAU} = p_S(T_i) / (p_i - p_S(T_i)) * R_L / R_D$$

**End Function**

**Public Function** T\_TAU(x\_i, p\_i, i)

' *Taupunktstemperatur bei phi = 1 und bekanntem x*  
a = 611.2                   ' [Pa]  
T\_n = 243.12               ' [°C]  
m = 17.62

' *in VBA ist Log() der natürliche Logarithmus ln()*  
$$T_{TAU} = \text{Log}((p_i * x_i) / ((R_L / R_D - x_i) * a)) * T_n / (m - \text{Log}((p_i * x_i) / ((R_L / R_D - x_i) * a)))$$

**End Function**

**Public Function** p\_S(T\_i)

' *Sättigungsdampfdruck*  
' *Magnus-Formel (nach Sonntag, 1990)*  
' *Sonntag, D.: Important new Values of the Physical Constants of 1986,*  
' *Vapour Pressure Formulations based on ITS-90, and Psychrometer*  
' *Formulae. In: Z. Meteorol. 40, 5, S. 340-344, 1990*

a = 611.2                   ' [Pa]  
T\_n = 243.12               ' [°C]  
m = 17.62

' *in [Pa]*  
$$p_S = a * \text{Exp}((m * T_i) / (T_n + T_i))$$

**End Function**

**Public Function** rho(p, T, x)

' *Dichte der Luft*  
$$\rho = p / (R_L * (T + 273.15)) * (1 + x) / (1 + R_D / R_L * x)$$

**End Function**

**Public Function** Log10(Ausdruck)

' *Hilfsberechnung 10er-Logarithmus (in VBA nicht enthalten)*  
$$\text{Log10} = \text{Log}(\text{Ausdruck}) / \text{Log}(10\#)$$

**End Function**

**Public Function** Q\_sol(i, n)

```

' solare Wärmelasten
  Q_sol = -
    t_Sol(i) * Q_s(n, Monat(i))

End Function

Public Function Q_int(i, n)

' interne Lasten
  Q_int = -
    t_Nutz(i) * (q_i(n) * BF + q_bel(n))

End Function

Public Function Q_RA(i, n)

' Lasten auf Raumlufknoten
  Q_RA = -
    0.5 * Q_int(i, n)

End Function

Public Function Q_SM(i, n)

' Lasten auf Speichermasseknoten
  Q_SM = -
    A_SM / A_WA * (0.5 * Q_int(i, n) + Q_sol(i, n))

End Function

Public Function Q_WA(i, n)

' Lasten auf Speichermasseknoten
  Q_WA = -
    (1 - A_SM / A_WA - L_Ttr / (9.1 * A_WA)) -
    * (0.5 * Q_int(i, n) + Q_sol(i, n))

End Function

Function t_Nutz(i)

' Definition des "NUTZUNGSFAHRPLANS"

  Dim h_d As Integer
  Dim d_w As Integer
  Dim w As Integer

  h_d = i Mod 24
  w = i \ (24 * 7) + 1
  d_w = (i - (w - 1) * (24 * 7)) \ (24) + 1

' Bueroernutzung: Bueroergebaeude, Schulen
  If d_Nutz(1) = 23 Then
    If d_w <= 5 Then
      GoTo Nutzung
    Else
      t_Nutz = 0
      GoTo Nutzung_Ende
    End If
  End If

' Geschaefternutzung: Verkaufsstuetten
  If d_Nutz(1) = 27 Then
    If d_w <= 6 Then
      GoTo Nutzung
    Else
      t_Nutz = 0

```

```

        GoTo Nutzung_Ende
    End If
End If

' Dauernutzung: Hotels, Krankenhaeuser, Wohnen,...
If d_Nutz(1) = 31 Then
    GoTo Nutzung
End If

Nutzung:

If t_Nutzd = 24 Then                                '(von 0:00 bis 24:00)
    t_Nutz = 1
End If

If t_Nutzd = 12 Then
    If h_d > 6 And h_d <= 18 Then                    '(von 6:00 bis 18:00)
        t_Nutz = 1
    Else
        t_Nutz = 0
    End If
End If

If t_Nutzd = 7 Then
    If h_d > 15 And h_d <= 22 Then                    '(von 15:00 bis 22:00)
        t_Nutz = 1
    Else
        t_Nutz = 0
    End If
End If

```

Nutzung\_Ende:

**End Function**

**Function** t\_Sol(i)

' *Definition des "SOLARFAHRPLANS"*

```

Dim h_d As Integer
Dim d_w As Integer
Dim w As Integer

```

```

h_d = i Mod 24
w = i \ (24 * 7) + 1
d_w = (i - (w - 1) * (24 * 7)) \ (24) + 1

```

' *Gleichmäßige Verteilung der täglichen Solarstrahlung auf 12 Stunden*  
 ' *für alle Monate gleich; kein tageweiser Unterschied*

```

If h_d > 6 And h_d <= 18 Then                        '(von 6:00 bis 18:00)
    t_Sol = 1
Else
    t_Sol = 0
End If

```

**End Function**

**Function** h\_RLTd(i)

' *Definition des "LUEFTUNGSFAHRPLANS"*

```

Dim h_d As Integer
Dim d_w As Integer
Dim w As Integer

```

' *d\_Nutz(1) ... Nutzungstage im Monat Jaenner (Public)*  
 ' *t\_Nutzd ... taegliche Nutzungsstunden (Public)*

```

    h_d = i Mod 24
    w = i \ (24 * 7) + 1
    d_w = (i - (w - 1) * (24 * 7)) \ (24) + 1

' Bueroernutzung: Bueroergebaeude, Schulen
  If d_Nutz(1) = 23 Then
    If d_w <= 5 Then
      GoTo Nutzung
    Else
      h_RLTd = 0
      GoTo Ende
    End If
  End If

' Geschaefternutzung: Verkaufstaetten
  If d_Nutz(1) = 27 Then
    If d_w <= 6 Then
      GoTo Nutzung
    Else
      h_RLTd = 0
      GoTo Ende
    End If
  End If

' Dauernutzung: Hotels, Krankenhaeuser, Wohnen,...
  If d_Nutz(1) = 31 Then
    GoTo Nutzung
  End If

Nutzung:

  If t_Nutzd = 24 Then                                     '(von 0:00 bis 24:00)
    h_RLTd = 1
  End If

  If t_Nutzd = 12 Then
    If h_d > 5 And h_d <= 19 Then                         '(von 5:00 bis 19:00)
      h_RLTd = 1
    Else
      h_RLTd = 0
    End If
  End If

  If t_Nutzd = 7 Then
    If h_d > 14 And h_d <= 23 Then                       '(von 14:00 bis 23:00)
      h_RLTd = 1
    Else
      h_RLTd = 0
    End If
  End If

Ende:

End Function

Function t_NL(i)

  h_d = i Mod 24
  w = i \ (24 * 7) + 1
  d_w = (i - (w - 1) * (24 * 7)) \ (24) + 1

' Bueroernutzung: Bueroergebaeude, Schulen
  If d_Nutz(1) = 23 Then
    If d_w <= 5 Then
      GoTo Nachtlueftung
    Else
      t_NL = 0
      GoTo Ende
    End If
  End If

```

```

        End If
    End If

' Geschäftsnutzung: Verkaufsstätten
    If d_Nutz(1) = 27 Then
        If d_w <= 6 Then
            GoTo Nachtlueftung
        Else
            t_NL = 0
            GoTo Ende
        End If
    End If

' Dauernutzung: Hotels, Krankenhaeuser, Wohnen,...
    If d_Nutz(1) = 31 Then
        GoTo Nachtlueftung
    End If

Nachtlueftung:

' Basiseinstellung: keine Nachtlüftung
    t_NL = 0

    If t_Nutzd = 12 Then
        If h_d > 22 Or h_d <= 6 Then
            t_NL = 1
        End If
    End If

    If t_Nutzd = 7 Then
        If h_d > 23 Or h_d <= 6 Then
            t_NL = 1
        End If
    End If

Ende:

End Function

Function t_h(i)

' Definition des "HEIZUNGSFAHRPLANS"

    Dim h_d As Integer
    Dim d_w As Integer
    Dim w As Integer

    Dim d_Heiza As Integer
    Dim Heizbetrieb As Boolean

    h_d = i Mod 24
    w = i \ (24 * 7) + 1
    d_w = (i - (w - 1) * (24 * 7)) \ (24) + 1

' unterbrochener Heizbetrieb
' WAHR = unterbrochen, Zeiten gem. B 8110-5
' FALSCH = kontinuierlich
    Heizbetrieb = Worksheets("LV").Cells(19, 3).Value
    d_Heiza = Worksheets("GT").Cells(42, 7).Value

    If Heizbetrieb = Falsch Then
        t_h = 1
        GoTo Nutzung_End
    End If

' Bueronutzung: Buerogebaeude, Schulen
    If d_Heiza = 269 Then
        If d_w <= 5 Then

```

```

        GoTo Nutzung
    Else
        t_h = 0
        GoTo Nutzung_Ende
    End If
End If

' Geschaeftsnutzung: Verkaufsstuetten
If d_Heiza = 317 Then
    If d_w <= 6 Then
        GoTo Nutzung
    Else
        t_h = 0
        GoTo Nutzung_Ende
    End If
End If

' Dauernutzung: Hotels, Krankenhaeuser, Wohnen,...
If d_Heiza = 365 Then
    GoTo Nutzung
End If

Nutzung:

If t_Nutzd = 24 Then                                     '(von 0:00 bis 24:00)
    t_h = 1
End If

If t_Nutzd = 12 Then
    If h_d > 5 And h_d <= 19 Then                       '(von 5:00 bis 19:00)
        t_h = 1
    Else
        t_h = 0
    End If
End If

If t_Nutzd = 7 Then
    If h_d > 14 And h_d <= 23 Then                       '(von 14:00 bis 23:00)
        t_h = 1
    Else
        t_h = 0
    End If
End If

Nutzung_Ende:

End Function

Function d_Monat()

' Tage des Monats

d(0) = 31
d(1) = 31
d(2) = 28
d(3) = 31
d(4) = 30
d(5) = 31
d(6) = 30
d(7) = 31
d(8) = 31
d(9) = 30
d(10) = 31
d(11) = 30
d(12) = 31

End Function

```

```

Function d_HeizGr ()
' Berechnung der Heizgrenze (= Laenge der Kühlperiode) aus Blatt BPH

  Dim d_h(12) As Integer
  Dim d_sum As Integer

  d_sum = 0

  For m = 1 To 12

    d_h(m) = Worksheets("BPH").Cells(47 + m, 23).Value

    Heizende:
    If d_h(m) < d(m) And d_h(m - 1) = d(m - 1) Then
      d_HGr1 = d_sum + d_h(m)
    End If

    Heizanfang:
    d_sum = d_sum + d(m)

    If d_h(m - 1) = 0 And d_h(m) > 0 Then
      d_HGr2 = d_sum - d_h(m)
    End If

  Next m

End Function

Function d_KuehlGr ()
' Berechnung der Kühlgrenze (= Laenge der Kühlperiode) aus Blatt BPH

  Dim d_K(12) As Integer
  Dim d_sum As Integer

  d_sum = 0
  d_K(0) = 0

  For m = 1 To 12

    d_K(m) = Worksheets("BPH").Cells(47 + m, 31).Value

    Kuehlanfang:
    If d_K(m) < d(m) And d_K(m - 1) = 0 And d_KGr1 = d_sum Then
      d_KGr1 = d_sum + d(m) - d_K(m)
    End If

    Kuehlende:
    If d_K(m - 1) = d(m - 1) And d_K(m) >= 0 Then
      d_KGr2 = d_sum + d_K(m)
    End If

    d_sum = d_sum + d(m)

  Next m

End Function

Function Monat(i)
' Berechnung des aktuellen Monats der Stunde i

  Dim d_sum(12) As Integer

  d_sum(1) = 31

```

```

d_sum(2) = d_sum(1) + 28
d_sum(3) = d_sum(2) + 31
d_sum(4) = d_sum(3) + 30
d_sum(5) = d_sum(4) + 31
d_sum(6) = d_sum(5) + 30
d_sum(7) = d_sum(6) + 31
d_sum(8) = d_sum(7) + 31
d_sum(9) = d_sum(8) + 30
d_sum(10) = d_sum(9) + 31
d_sum(11) = d_sum(10) + 30
d_sum(12) = d_sum(11) + 31

For m = 1 To 12
    If (i <= (d_sum(m)) * 24) And (i > (d_sum(m - 1)) * 24) Then
        Monat = m
    End If
Next m

End Function

Function d_NutzMo()

' Nutzungstage des jeweiligen Monats

For m = 1 To 12
    d_Nutz(m) = Worksheets("GT").Cells(22 + m, 7).Value
Next m

End Function

Function U_LL(i, v_RLTi, k_LL, d_LLi, d_LLa, n_LL)

' U-Wert der Luftleitung des Erdreichwärmetauschers

' SYSTEMATIK *****

' Berechnung des Volumenstrom-abhängigen Rohrleitungs-U-Wertes
' k_LL, d_LLi, d_LLa, n_LL als Konstanten
' theta_AU, v_RLT als Variablen

' VARIABLENDEKLARATION *****

Dim T_e As Single ' arithm. Lufttemp.-Mittel vor und nach dem EWT [°C]
Dim h_i As Single ' Waermeuebergangskoeffizient innen [W/m2.K]
                  ' entspricht alpha_i gem. ON-V 31 bzw. anderer Lit.

Dim T_SM As Single
Dim v_0 As Single ' Stroemungsgeschwindigkeit in der Luftleitung
Dim A_LL As Single ' Querschnitt der Luftleitungen [m2]

' BERECHNUNG *****

' nur runde Querschnitte möglich
A_LL = d_LLi ^ 2 * Application.Pi / 4 * n_LL

v_0 = v_RLTi / A_LL / 3600

h_i = (4.13 + 0.23 * (T(i, 1, 0) / 100) - 0.0077 * (T(i, 1, 0) / 100) ^ 2) * _
      v_0 ^ 0.75 / d_LLi ^ 0.25

' U-Wert der Luftleitung
U_LL = (1 / (2 * Application.Pi) * 1 / k_LL * _
      Log((d_LLa / 2) / (d_LLi / 2)) + 1 / h_i * 1 / (d_LLi / 2)) ^ (-1)

End Function

```

## Sub Ausgabe

Sub Ausgabe ()

```
' *****
' LOKALE VARIABLENDEKLARATION *****
' *****

' VARIABLEN FÜR AUSGABEBEREICH
  Dim r1 As Range
  Dim r2 As Range
  Dim r As Range
  Dim cellsT(8760, 28)
  Dim cellsx(8760, 28)
  Dim cellsh(8760, 28)
  Dim cellsp(8760, 28)
  Dim cellsQ(8760, 17)
  Dim cellsV(8760, 2)

' VARIABLEN FÜR KOPFZEILENBESCHRIFTUNG
  Dim Bez(13) As String

' *****
' ERGEBNISAUSGABE *****
' *****

  ' Ergebniswerte werden in einen Range geschrieben, der direkt ausgegeben wird
  '
  '   Range – Spalte 0 BO   Erdreich
  '   Range – Spalte 1 AU   Außenluft
  '   Range – Spalte 2 AB   Abluft
  '   Range – Spalte 3 FO   Fortluft
  '
  '   Range – Spalte 4 EWT   (Erdreichwärmetauscher)
  '   Range – Spalte 5 WRG   Wärmerückgewinnung / Feuchterückgewinnung
  '   Range – Spalte 6 MK   Mischkammer
  '   Range – Spalte 7 LVH   Luftvorerhitzer
  '   Range – Spalte 8 LKU   Luftkuehler (inkl. Entfeuchten)
  '   Range – Spalte 9 BEF   Befeuchter (Dampf / Verdunstung / (Riesel))
  '   Range – Spalte 10 LNH  Luftnacherhitzer
  '   Range – Spalte 11 VENT Ventilator
  '
  '   Range – Spalte 12 ZU   Zuluft
  '   Range – Spalte 13 RA   Raumluft

' Kopfzeilenbeschriftung definieren
  Bez(0) = "BO"
  Bez(1) = "AU"
  Bez(2) = "AB"
  Bez(3) = "FO"
  Bez(4) = "EWT"
  Bez(5) = "WRG"
  Bez(6) = "MK"
  Bez(7) = "LVH"
  Bez(8) = "LKU"
  Bez(9) = "BEF"
  Bez(10) = "LNH"
  Bez(11) = "VENT"
  Bez(12) = "ZU"
  Bez(13) = "RA"

For n = 1 To 2

' TEMPERATUR *****
```

```

' Kopfzeile beschriften
For j = 0 To 13
    cellsT(0, j) = "theta_" & Bez(j)
Next j

' Werte in Array eintragen
For i = 1 To 8760
    For j = 0 To 1
        cellsT(i, j) = T(i, j, 0)
    Next j
    For j = 2 To 13
        cellsT(i, j) = T(i, j, n)
    Next j
Next i

'Zielbereich Ausgabe ermitteln
Set r1 = Worksheets("T").Cells(1, ((n - 1) * 15 + 1))
Set r2 = Worksheets("T").Cells(1 + 8760, (n - 1) * 15 + 14)
Set r = Worksheets("T").Range(r1, r2)
r = cellsT

' FEUCHTE *****

' Kopfzeile beschriften
For j = 0 To 13
    cellsx(0, j) = "x_" & Bez(j)
Next j

' Werte in Array eintragen
' Ausgabe in g/kg
For i = 1 To 8760
    For j = 0 To 1
        cellsx(i, j) = x(i, j, 0) * 1000
    Next j
    For j = 2 To 13
        cellsx(i, j) = x(i, j, n) * 1000
    Next j
Next i

'Zielbereich Ausgabe ermitteln
Set r1 = Worksheets("x").Cells(1, (n - 1) * 15 + 1)
Set r2 = Worksheets("x").Cells(1 + 8760, (n - 1) * 15 + 14)
Set r = Worksheets("x").Range(r1, r2)
r = cellsx

' ENTHALPIE *****

' Kopfzeile beschriften
For j = 0 To 13
    cellsh(0, j) = "h_" & Bez(j)
Next j

' Werte in Array eintragen
' Ausgabe in kJ
For i = 1 To 8760
    For j = 0 To 1
        cellsh(i, j) = h(i, j, 0)
    Next j
    For j = 2 To 13
        cellsh(i, j) = h(i, j, n)
    Next j
Next i

'Zielbereich Ausgabe ermitteln
Set r1 = Worksheets("h").Cells(1, (n - 1) * 15 + 1)
Set r2 = Worksheets("h").Cells(1 + 8760, (n - 1) * 15 + 14)

```

```

Set r = Worksheets("h").Range(r1, r2)
r = cellsh

' DRUCK *****

' Kopfzeile beschriften
For j = 0 To 13
    cellsh(0, j) = "p-" & Bez(j)
Next j

' Werte in Array eintragen
' Ausgabe in Pa
For i = 1 To 8760
    For j = 0 To 1
        cellsp(i, j) = p(i, j, 0) / 100
    Next j
    For j = 2 To 13
        cellsp(i, j) = p(i, j, n) / 100
    Next j
Next i

' Zielbereich Ausgabe ermitteln
Set r1 = Worksheets("p").Cells(1, (n - 1) * 15 + 1)
Set r2 = Worksheets("p").Cells(1 + 8760, (n - 1) * 15 + 14)
Set r = Worksheets("p").Range(r1, r2)
r = cellsp

' LASTEN *****

' Kopfzeile beschriften
cellsQ(0, (n - 1) * 7 + 0) = "Q_HCac"
cellsQ(0, (n - 1) * 7 + 1) = "Q_HCac_H"
cellsQ(0, (n - 1) * 7 + 2) = "Q_HCac_C"

cellsQ(0, (n - 1) * 7 + 3) = "Q_HCstat"
cellsQ(0, (n - 1) * 7 + 4) = "Q_HCstat_H"
cellsQ(0, (n - 1) * 7 + 5) = "Q_HCstat_C"

' MGM, 2010-07-30: EWF-Test
' cellsQ(0, (n - 1) * 7 + 6) = "Q_EWT" & n

' Werte in Array eintragen
' Ausgabe in kWh/h
For i = 1 To 8760
    For j = 0 To 2
        cellsQ(i, j) = Q_HCac(i, j, n) / 1000
        cellsQ(i, j + 3) = Q_HCstat(i, j, n) / 1000
    Next j

    ' MGM, 2010-07-30: EWF-Test
    ' cellsQ(i, (n - 1) * 7 + 6) = Q_EWT(i, n) / 1000
Next i

' Zielbereich Ausgabe ermitteln
Set r1 = Worksheets("Q").Cells(1, (n - 1) * 7 + 1)
Set r2 = Worksheets("Q").Cells(1 + 8760, (n - 1) * 7 + 1 + 6)
Set r = Worksheets("Q").Range(r1, r2)
r = cellsQ

' Einzelwerte in Tabellenblatt LV ausgeben (Gesamtergebnis)
Worksheets("LV").Cells(17, 4 + n).Value = Q_HRLT(n)
Worksheets("LV").Cells(18, 4 + n).Value = Q_CRLT(n)
Worksheets("LV").Cells(19, 4 + n).Value = Q_STRLT(n)

Next n

```

```

' LUFTWECHSEL *****
For n = 0 To 2
    cellsV(0, n) = "v_RLT(" & n & ")"
    For i = 1 To 8760
        cellsV(i, n) = v_RLT(i, n)
    Next i
Next n

' Zielbereich Ausgabe ermitteln
Set r1 = Worksheets("Q").Cells(1, 16)
Set r2 = Worksheets("Q").Cells(1 + 8760, 18)
Set r = Worksheets("Q").Range(r1, r2)
r = cellsV

End Sub

```



## D. Überarbeitung der ÖNORM H 5058: Kühltechnik-Energiebedarf

Der Überarbeitungsbedarf der ÖNORM H 5058 erwies sich als deutlich geringer als jener der ÖNORM H 5057. Die Norm wurde in ihrer Entstehungsphase nahezu unverändert aus dem OIB-Leitfaden übernommen, der wiederum sehr stark an die Algorithmen der DIN-V 18599, Teil 7 angelehnt wurde. Probleme ergaben sich hauptsächlich aus den Unstimmigkeiten in der ÖNORM H 5057, die bei Kühlung über die RLT-Anlage die Ausgangswerte für die Berechnung des Kühlenergiebedarfs darstellen. Die allgemeine Systematik der Berechnung des Kühlenergiebedarfs gemäß ÖNORM H 5058 wird im Abschnitt 8.2 beschrieben.

Aus diesem Grund waren Änderungen nur zu folgenden Punkten erforderlich, die anschließend kurz erläutert werden:

- Abgrenzung des Kühlenergiebedarfs vom Kühltechnikenergiebedarf
- Länge der Kühlperiode
- Bilanzierung
- Abschätzung der Kühllast
- Endenergiebedarf der Befeuchtung

### Abgrenzung des Kühlenergiebedarfs vom Kühltechnikenergiebedarf

In der Vornorm ÖNORM H 5058:2007 erfolgte die Ermittlung des Kühlenergiebedarfs und des Kühltechnikenergiebedarfs analog zum Heizenergiebedarf in Form von „Kühlbedarf + Kühltechnikenergiebedarf = Kühlenergiebedarf“. Aufgrund der Wirkungsweise von Kältemaschinen als Wärmepumpensysteme und der damit verbundenen Nutzung von Umweltwärme ist jedoch diese Betrachtung nicht zulässig. Im Sinne der Definition der Technikenergiebedarfs-werte handelt es sich demnach auch beim Endenergiebedarf für Kühlen im Wesentlichen um einen Technikenergiebedarf. Darum wurden in Ausgabe 2010 der ÖNORM H 5058 Kühlenergiebedarf und Kühltechnikenergiebedarf gleichgesetzt:

$$Q_{KTEB,a} = Q_{KEB,a} \quad (D.1)$$

### Länge der Kühlperiode

Eine wesentliche Problemstellung in der Version 2007 von ÖNORM H 5056 und ÖNORM H 5058 war die Bestimmung der Länge der Heiz- und der Kühlperiode, die für die Berechnung der Laufzeit von Heiz- und Kühlsystem erforderlich ist. Im Zuge der Überarbeitung wurde in beiden Normen die Systematik der Berechnung über das Wärmebilanzverhältnis-Verfahren aus ÖNORM EN ISO 13790 übernommen und in die Normen eingeführt. Die Spezifizierung der Eingangs- und Ausgangsgrößen und die Einbindung in das österreichische Normenwerk erfolgte im Rahmen dieser Dissertation.

## Bilanzierung

Die Vorgangsweise bei der Bilanzierung zum Endenergiebedarf war in Ausgabe 2007 der Normen insbesondere hinsichtlich der Berücksichtigung des Luftförderungsenergiebedarfs uneinheitlich. Aus diesem Grund wird der Luftförderungsenergiebedarf in der Version 2010 der Normen jeweils dem Heiz- und Kühlenergiebedarf zugeschlagen und so in den Endenergiebedarf eingerechnet (siehe Kapitel 8). Als Abgrenzungskriterium dient dabei die Länge der Heizperiode: Während der Heizperiode wird der Luftförderungsenergiebedarf über den Heizenergiebedarf eingerechnet, außerhalb der Heizperiode über den Kühlenergiebedarf.

Damit musste die Berechnung des jährlichen Kühlenergiebedarfs  $Q_{KEB,a}$  dahingehend geändert werden, dass nun der gesamte Luftförderungsenergiebedarf außerhalb der Heizperiode berücksichtigt wird:

$$Q_{KEB,a} = Q_{C,Kom,i,a(Strom)} + Q_{C,Abs,i,a(Wärme)} + \sum_n Q_{C,Rück(Strom)} + \quad (D.2) \\ + Q_{mech,pump,a} + Q_{kon,pump,a} + \sum_n Q_{U,Vent} + Q_{LF,c}$$

## Abschätzung der Kühllast

Für die Berechnung des Energiebedarfs für die Rückkühlung und der Pumpenergie des Kühl- und Kaltwassersystems ist die Eingabe der Kühlleistung der Kältemaschine erforderlich. Sofern diese nicht bekannt ist – beispielsweise bei einer Energieausweisberechnung im Zuge der Baueinreichung – ist in Analogie zur Heizlast in der ÖNORM H 5056 eine Abschätzung der Kühllast erforderlich. Diese ist in der Version 2010 der ÖNORM H 5058 in Anhang A enthalten und beruht auf der Berechnungsmethode aus Anhang C der DIN-V 18599 Teil 2.

Die Methode basiert auf der Berechnung der stationären Kühllast  $P_{c,stat}$ . Dabei werden Transmissionswärmeströme, Lüftungswärmeströme und Wärmeströme aufgrund solarer Einstrahlung und interner Wärmequellen, einander in einer Bilanz gegenüber gestellt. Es werden jedoch keine Energiemengen, sondern Leistungswerte bilanziert. Dazu sind Strahlungsintensitäten und Außentemperaturen am Auslegungstag (Juli und September) erforderlich. Die Bilanzierung erfolgt durch Gegenüberstellung von Wärmequellen und Wärmesenken im betrachteten Gebäude.

Die Berechnung der maximalen Kühllast des Gebäudes  $P_{c,max}$  erfolgt auf Grundlage der stationären Kühllast  $P_{c,stat}$  unter Berücksichtigung der dynamischen Kenngrößen spezifische Speicherfähigkeit  $C$ , Zeitkonstante der Gebäudezone  $\tau$ , tägliche Betriebszeit der Kühlanlage  $t_{c,d}$  und zugelassene Schwankung der Innentemperatur  $\Delta\theta_c$ :

$$P_{c,max} = 0,8 \cdot P_{c,stat} \cdot \left(1 + 0,3 \cdot e^{-\frac{\tau}{120\text{h}}}\right) - \frac{C}{60\text{h/K}} \cdot (\Delta\theta_c - 2\text{K}) \cdot \frac{1}{1000} + \quad (D.3) \\ + \frac{C}{40\text{h/K}} \cdot \left(\frac{12\text{h}}{t_{c,d}} - 1\right) \cdot \frac{1}{1000}$$

Die berechnete maximale Kühllast ist zur Anwendung für die Abschätzung der erforderlichen Kühlleistung der Kältemaschinen noch um einen Korrekturfaktor  $f_{P,lat} = 1,50$  zu erhöhen. Dieser Korrekturfaktor wurde eingeführt, um nebn dem in  $P_{c,max}$  abgebildeten sensiblen

Anteil der Kühlleistung auch den latenten Anteil berücksichtigen zu können. Der Faktor  $f_{P,lat}$  wurde empirisch ermittelt.

Eine detaillierte Erläuterung der eingesetzten Methode wurde von David et al. (2006) vorgenommen.

### **Endenergiebedarf der Befeuchtung**

An der Berechnung des Endenergiebedarfs für Befeuchtung an sich wurde nichts verändert, die Beschreibung der Berechnungsvorgänge wurde lediglich von der ÖNORM H 5058 in die ÖNORM H 5056 übergeführt. Die Anordnung in der ÖNORM H 5056 ist aufgrund des Zusammenhangs mit dem Beheizen der Luft wesentlich naheliegender und damit sinnvoller als im Bereich der Kühlung in der ÖNORM H 5058.



## **E. Validierungsprozess ÖNORM H 5057 und ÖNORM H 5058**

Um zu gewährleisten, dass die normativ festgelegten Berechnungsalgorithmen zum Energieausweis in den kommerziellen Softwarelösungen korrekt umgesetzt wurden, wurde von den zuständigen Normungskomitees im Jahr 2008 ein Validierungsprozess gestartet, in den alle Softwarehersteller eingebunden sind. Das Resultat dieses Validierungsprozesses sind Beiblätter zu den jeweiligen Hauptnormen ÖNORM B 8110-6, ÖNORM H 5056, ÖNORM H 5057 und ÖNORM H 5058, in denen validierte Berechnungsergebnisse für unterschiedliche Beispielgebäude und -anlagen enthalten sind.

Das Begleiten und Vorantreiben des Validierungsprozesses für die beiden Normen ÖNORM H 5057 und ÖNORM H 5058 war Teil der Arbeit im Rahmen dieser Dissertation. Dazu wurden die überarbeiteten Berechnungsalgorithmen der beiden Normen in das offizielle Schulungstool zum Energieausweis des österreichischen Instituts für Bautechnik eingearbeitet und den Softwareherstellern als Musterlösung zur Verfügung gestellt.

Parallel dazu wurden Musteranlagen ausgearbeitet, die als Validierungsbeispiele herangezogen werden konnten. Für diese Musteranlagen mussten alle für die Abbildung im Energieausweis erforderlichen Angaben vorhanden sein. Die Auswahl und Definition der Musteranlagen erfolgte in enger Abstimmung mit Experten und Praktikern aus dem Bereich des Lüftungs- und Kühlanlagenbaus.

Das Resultat des Validierungsprozesses für den Raumluft- und Kühltechnik-Energiebedarf sind Beiblatt 1 zu ÖNORM H 5057 und Beiblatt 1 zu ÖNORM H 5058 (ÖNORM H 5057 Bbl 1:2011; ÖNORM H 5058 Bbl 1:2011), die beide Mitte November 2010 zum Entwurf aufgelegt wurden und noch im ersten Quartal 2011 als Norm erscheinen sollen.



## **F. Weitere Projekte in Zusammenhang mit diesem Dissertationsvorhaben**

Im Rahmen der Tätigkeit in der Arbeitsgruppe „Energieeffiziente Gebäude“ am Institut für Wärmetechnik der Technischen Universität Graz wurden weitere Projekte vom Autor bearbeitet, die in Zusammenhang mit der Arbeit an diesem Dissertationsvorhaben stehen. Diese Projekte werden in der Folge kurz erläutert.

### **F.1. Integration energierelevanter Aspekte in Architekturwettbewerbe**

*Die folgende Kurzfassung entstammt inklusive der ergänzenden Projektbeschreibung zur Ganze dem Manuskript (Gratzl-Michlmair et al., 2009). Weitere Veröffentlichungen zum Thema sind (Gratzl-Michlmair et al., 2010a) und (Gratzl-Michlmair et al., 2010d).*

#### **Kurzfassung**

Bis dato ist die Berücksichtigung von Kriterien der Energieeffizienz in Architekturwettbewerben mangels geeigneter Werkzeuge oft schwierig. Das Projekt „Integration energierelevanter Aspekte in Architekturwettbewerben (IEAA)“ widmet sich dieser Problematik. Es werden Maßnahmen und Werkzeuge aufgezeigt, wie eine derartige Berücksichtigung einfach vorgenommen werden kann. Zentrales Element dazu ist ein Bewertungstool, mithilfe dessen bereits im Entwurfsstadium eines Projekts quantitative Aussagen über die Energieeffizienz vorgenommen werden können. Erst diese Aussagen geben der Wettbewerbs-Jury die Möglichkeit, die zu beurteilenden Projekte aus energetischer Sicht miteinander zu vergleichen und somit das Thema Energieeffizienz in die Beurteilungskriterien mitaufzunehmen.

#### **Projektbeschreibung**

In den Phasen der Projektentwicklung und des Vorentwurfs wird eine Vielzahl von Entscheidungen getroffen, die die Energieeffizienz eines zu errichtenden Gebäudes maßgeblich beeinflussen. Durch mangelnde Kompaktheit, schlechte Orientierung und unzureichende Fensterflächenanteile begründete schlechte Energieeffizienz lässt sich im Zuge der weiteren Planung nur unter hohem Kostenaufwand korrigieren. Dieser Zusammenhang ist in Abbildung F.1 auf der nächsten Seite qualitativ dargestellt: im Planungsverlauf nimmt die Entscheidungsfreiheit ab, während die Folgekosten, die durch getroffene Entscheidungen entstehen, von Planungsphase zu Planungsphase stark zunehmen.

In den letzten Jahren wurden daher zahlreiche internationale und nationale Wettbewerbsverfahren durchgeführt, bei denen Energieeffizienz und alternative Energiesysteme zentrale

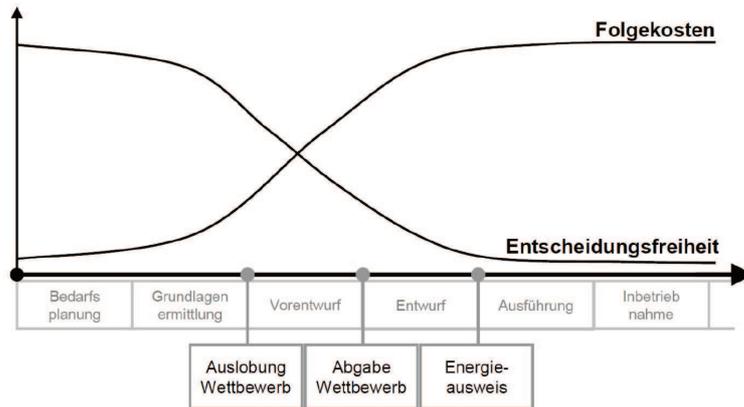
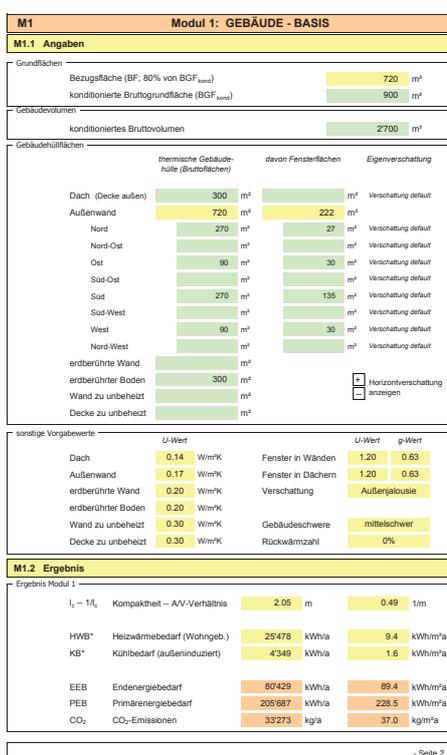


Abbildung F.1.: Qualitativer Verlauf von Entscheidungsfreiheit und Folgekosten von Entscheidungen während des Planungsverlaufs von Bauvorhaben (Bildquelle: Gratzl-Michlmair et al., 2009)

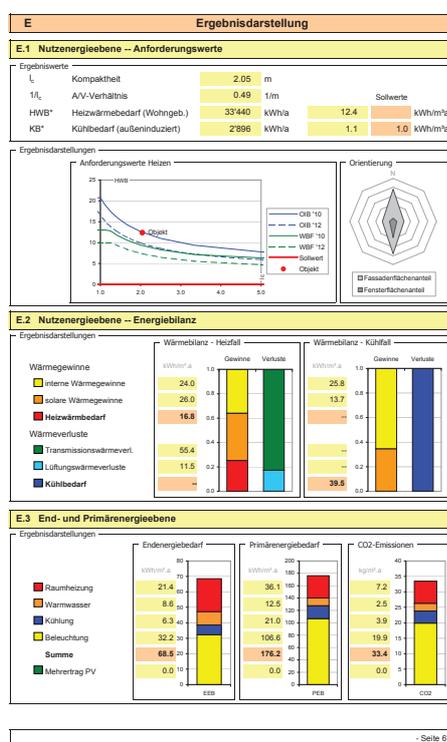
Bestandteile der Wettbewerbsausschreibungen waren. Ergebnisse und Erfahrungen von Auslobern, Teilnehmern und Jurymitgliedern zeigen jedoch, dass bei der Integration von energie-relevanten Aspekten in diese frühen Planungsphasen erhebliche Unsicherheiten und Probleme auftauchen. Hauptverantwortlich dafür sind folgende Aspekte:

- fehlende Konzepte und Standards: Derzeit existieren kaum Instrumente für eine rasche Beurteilung der Energieeffizienz eines Gebäudeentwurfs. Die verfügbaren Instrumente erfordern meist zahlreiche Informationen, die zu diesem Zeitpunkt entweder noch gar nicht feststehen oder sich im Laufe der weiteren Planung noch stark verändern. Außerdem ist mit der Berechnung meist ein sehr hoher Zeitaufwand für die Planenden verbunden. Daher ist ihr Einsatz in frühen Planungsphasen meist nur eingeschränkt möglich.
- Vorziehung späterer Planungsleistungen in den Wettbewerb: Häufig werden Leistungen, deren Erbringung erst zu einem späteren Zeitpunkt vereinbart ist, zum Zwecke der Wettbewerbsbeurteilung in die Entwurfsphase vorgezogen. Dies führt zu einem erhöhten Aufwand, der in der Regel nicht gesondert honoriert wird. Außerdem sind derartige Vorgriffe — beispielsweise das Festlegen der Bauteilaufbauten — meist nicht sinnvoll, da Änderungen im weiteren Planungsverlauf unumgänglich sind.
- Zusammensetzung der Wettbewerbsjury: Die Jurybesetzung hat maßgeblichen Einfluss, inwieweit Aspekte der Energieeffizienz in die Wettbewerbsbeurteilung mitaufgenommen werden. Derzeit sind meist keine Expertinnen oder Experten zum Thema Energieeffizienz in der Jury vertreten, falls doch, sind sie oft nur beratend tätig.
- Mehrkosten geforderter energierelevanter Maßnahmen: Mithilfe von Maßnahmen wie Einsatz höherwertiger Verschattungselemente, Erhöhung der Wärmedämmung oder Einsatz von kontrollierter Wohnraumlüftung inklusive Wärmerückgewinnung lassen sich geforderte energierelevante Standards erreichen, ohne Grundvoraussetzungen wie Kompaktheit oder Fensterflächenanteil erfüllen zu müssen. Diese zusätzlichen Maßnahmen sind jedoch in der Regel mit massiven Mehrkosten verbunden, die nicht dargestellt werden und somit nicht in die Beurteilung der Wettbewerbsprojekte mitaufgenommen werden.

Im Zuge des Projekts „Integration energierelevanter Aspekte in Architekturwettbewerben (IEAA)“ beschäftigt sich ein Projektteam bestehend aus dem Institut für Wärmetechnik der Technischen Universität Graz, dem Interuniversitären Forschungszentrum für Technik, Arbeit und Kultur und dem [sic!] AG Ressourcenorientiertes Bauen, Institut für Konstruktiven Ingenieurbau der Universität für Bodenkultur in Wien mit möglichen Lösungsansätzen für diese Problematik. Dazu wurden im Zuge einer State-of-the-Art-Analyse eine Online-Umfrage zum Thema „Energieeffizienz“ unter österreichischen Architektinnen und Architekten und ein Scan von bereits abgeschlossenen Architekturwettbewerben zu diesem Thema durchgeführt. Darauf aufbauend wurde ein Tool zur Beurteilung der Energieeffizienz von Gebäuden bereits in frühen Planungsstadien (IEAA-Bewertungstool) entwickelt und ein Auslobungsleitfaden (IEAA-Leitfaden) erstellt, der die Integration von Energieeffizienz-Aspekten in Wettbewerbsauslobungen vereinfachen soll.



(a) Modul 1 – Gebäude-Basis



(b) Modul E – Ergebnisse

Abbildung F.2.: Ausdrücke der Module „1-Gebäude-Basis“ (a) und „E-Ergebnisse“ (b) des IEAA-Bewertungstools (Gratzl-Michlmair et al., 2010c)

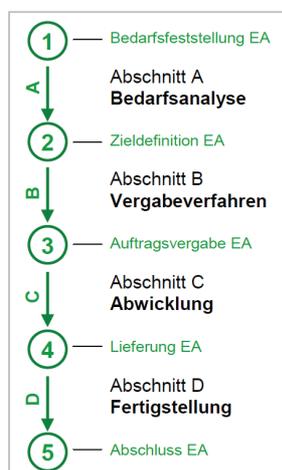
## F.2. Pflichtenheft Energieausweis

Der folgende Text entspricht der Einleitung für das „Pflichtenheft Energieausweis“ (Gratzl-Michlmair und Streicher, 2010), das im Auftrag der Steiermärkischen Krankenanstalten Gesellschaft KAGes erstellt wurde.

Bei der Erstellung von Energieausweisen für Krankenhäuser müssen – bedingt durch deren Größe und Komplexität – eine Vielzahl von Aspekten berücksichtigt werden, die bei anderen Gebäudetypen nicht relevant sind. So kommt beispielsweise der Zonierung, der korrekten Abbildung von Lüftungs- und Kühltechnik oder einer vereinfachten Geometrieingabe bei Krankenhäusern wesentlich größere Bedeutung zu als bei anderen Gebäuden. Diese höhere Komplexität steigert natürlich auch den Aufwand für den Ersteller und damit die Kosten für den Besteller derartiger Energieausweise.

Aus diesem Grund wurde das vorliegende „Pflichtenheft Energieausweis“ der KAGes entwickelt. Es kann sowohl vom Besteller als auch vom Ersteller von Energieausweisen herangezogen werden und soll gewährleisten, dass alle Beteiligten an der Erstellung von Energieausweisen für Gebäude der KAGes über eine gewisse gemeinsame Basisinformation zum Thema verfügen. So kann einerseits die Kommunikation zwischen den Vertragspartnern wesentlich erleichtert werden, andererseits erhalten Energieausweisersteller zusätzlich erforderliche Informationen, die für Krankenhäuser besonders zu berücksichtigen sind.

Das Pflichtenheft ist als Blattsammlung aufgebaut, die die unterschiedlichen Themenbereiche zum Energieausweis umfasst. Entsprechend des Ablaufs bei der Erstellung eines Energieausweises wurden vier Abschnitte festgelegt, die durch Meilensteine (siehe Abbildung) voneinander getrennt sind und denen die Blätter – unterteilt in drei verschiedene Kategorien – zugeordnet sind. Die drei Kategorien lauten:



- Infoblätter (IB): Infoblätter enthalten Basisinformationen (primär für den Besteller) und weiterführende Detailinformationen (primär für den Ersteller). Infoblätter dienen in erster Linie zur Information.
- Checklisten (CL): Diese Kategorie enthält Informationen für Besteller und Ersteller, welche Aspekte jeweils zu berücksichtigen sind. Sie dienen zur Information.
- Datenblätter (DB): Datenblätter dienen dazu, erforderliche Informationen für die EA-Erstellung zielgerichtet zu erheben und parallel dazu automatisch die erforderliche Dokumentation vorzunehmen. Die Datenblätter sind so aufgebaut, dass nacheinander die relevanten Punkte abgefragt werden, sodass zwar bewusst auf deren Berücksichtigung verzichtet werden kann, diese aber nicht vergessen werden können. Datenblätter werden vorrangig zur Dokumentation verwendet.

Jedes der Blätter ist so aufgebaut, dass er als eigenständiges Dokument angesehen werden kann. Insbesondere für Datenblätter bedeutet dies, dass sie dem Pflichtenheft entnommen werden und für den jeweils zu erstellenden Energieausweis verwendet werden können (als Kopie). Dazu sind im Header jeweils Angaben zu Standort, Bauteil und Gebäudezone sowie zu den Bearbeitern von Seiten des EA-Erstellers und der KAGes vorzunehmen.

### F.3. Vergleichsberechnungen Energieausweiserstellung LKH Rottenmann

*Der folgende Textauszug entspricht der Kurzfassung aus dem Endbericht des Projekts „Vergleichsberechnungen Energieausweiserstellung LKH Rottenmann. Validierung der vereinfachten Berechnungsmethode zur Erstellung eines Energieausweises am LKH Rottenmann“ (Michlmair, 2008).*

Das Projekt „Vergleichsrechnungen Energieausweiserstellung“ am Beispiel des Zubaus des Funktionstraktes zum LKH Rottenmann hatte zum Ziel, zu klären, inwieweit die Anwendung des vereinfachten Verfahrens gemäß OIB-Leitfaden und die Verwendung von Default-Nutzungsprofilen korrekte Ergebnisse für den Energieausweis liefern.

Dazu wurden vier verschiedene Berechnungsvarianten miteinander verglichen: Im Rahmen einer detaillierten Variante wurde eine exakte Zonierung (19 Zonen) vorgenommen und die tatsächlichen Nutzungsprofile erhoben. Für die zweite und dritte Variante wurde eine weniger detaillierte Zonierung (vier Zonen) einerseits mit realen Nutzungsprofilen und andererseits mit normgemäßen Default-Nutzungsprofilen hinterlegt, während in der vierten Berechnungsvariante keine Zonierung (eine Zone) vorgenommen wurde und ebenfalls die Default-Nutzungsprofile herangezogen wurden. Im Zuge der Berechnung wurde deutlich, dass vor allem die Erstellung der tatsächlichen Nutzungsprofile, die nur in enger Zusammenarbeit mit den zuständigen Personen auf Seiten des Immobilieneigentümers (technischer Dienst, Haustechnikplaner) erfolgen kann, sehr aufwändig ist. Auch die Zonierung erfordert einen vergleichsweise großen Zeitaufwand, da die erforderlichen Flächenberechnungen – sowohl der Grundrissflächen, als auch der Wand- und Deckenflächen – sehr zeitintensiv sind.

Die Ergebnisse der durchgeführten Vergleichsrechnungen zeigen, dass die Ergebnisse des „vereinfachten Verfahrens“ (Default-Nutzungsbedingungen, eine Zone) für den Zubau des Funktionstraktes zum Krankenhaus Rottenmann durchwegs niedriger sind als bei der detaillierten Berechnung. Eine Ausnahme bilden lediglich die Ergebnisse für den außeninduzierten Heizwärme- *[sic!]* und Kühlbedarf ( $HWB(x)$  bzw.  $KB(x)$ ), für deren Ermittlung stets das Nutzungsprofil Wohngebäude ( $HWB(x)$ ) bzw. kein Nutzungsprofil ( $KB(x)$  *[sic!]*) herangezogen wird. Bei diesen Werten unterscheiden sich die Ergebnisse nur geringfügig. Beim Ansetzen der Default-Nutzungsprofile ergeben sich durch eine Zonierung in vier thermische Zonen (Variante 3) keine nennenswerten Unterschiede im Vergleich zu Variante 4, in der keine Zonierung vorgenommen wurde.

Zusammenfassend muss festgehalten werden, dass die Berechnung des Energieausweises mithilfe des vereinfachten Verfahrens und der Annahme von Default-Werten aus Standard-Nutzungsprofilen Ergebnisse liefert, die niedriger sind als die Ergebnisse der detaillierten Berechnung. Die Verwendung von Standard-Nutzungsprofilen liegt daher nicht auf der „sicheren Seite“. Von einer generellen Verwendung der Standard-Nutzungsprofile gemäß ÖNORM B 8110-5 unabhängig von der tatsächlichen Nutzung des Gebäudes sollte daher bei der Erstellung objektbezogener Energieausweise zur Beurteilung der realen Situation in den Gebäuden abgesehen werden. Stattdessen sollte eine Zonierung in Nutzungseinheiten vorgenommen werden, für die möglichst reale Nutzungsprofile erstellt werden, die in weiterer Folge auch für andere objektbezogene Energieausweis-Berechnungen der KAGes verwendet werden können. Für die Erstellung von Energieausweisen, die im Rahmen eines behördlichen Verfahrens erforderlich sind, ist die Verwendung adaptierter Nutzungsprofile nicht zulässig. Es sind die

normativ festgelegten Standard-Nutzungsprofile anzuwenden. Dadurch ist auch keine Zonierung aufgrund unterschiedlicher Nutzungsprofile erforderlich und die Notwendigkeit nach einer höheren Zonenanzahl ist somit nur eingeschränkt gegeben.

## **F.4. HEAT.AT – Die Auswirkungen des Klimawandels auf Heiz- und Kühlenergiebedarf in Österreich 2**

*Die folgende Beschreibung entspricht der Kurzfassung des Zwischenberichts des Projekts HEAT.AT (Töglhofer et al., 2009).*

Die bisher durchgeführten Arbeiten umfassten aus gebäudetechnischer Sicht im Wesentlichen die Auswahl jener Kriterien, mit denen die Referenzgebäude definiert werden. Dazu wurde in einem ersten Schritt mithilfe einer Literaturlanalyse ermittelt, wie die Verteilung des Gebäudebestands in Österreich, Deutschland und der Schweiz innerhalb der einzelnen Energieklassen aussieht. Auf Grundlage der Literaturquellen wurde abgeleitet, wie der Gebäudebestand in Österreich mit einem Referenzgebäude-Modell dargestellt werden kann.

Für dieses Referenzgebäude-Modell wurden zehn Modellgebäude – unterschieden in die Gebäudetypen Bürogebäude, Einfamilien- und Mehrfamilienhäuser – definiert. Auf Basis der Geometrieangaben dieser Modellgebäude wurde mithilfe der Berechnungsalgorithmen des Energieausweises unter Verwendung von Nutzerprofilen [und] von Referenz-Klimadaten in weiterer Folge Bedarfswerte für Heizen und Kühlen berechnet. Die Berechnung des Heizwärme- und Kühlbedarfs beruht im Wesentlichen auf den Algorithmen der ÖNORM B 8110-6. Die berechneten Werte wurden als Grundlage für den weiteren Projektverlauf in einer Heizwärme- bzw. Kühlbedarfsmatrix zusammengefasst.

Aus klimatologischer Sicht galt es zunächst die Vorgaben der relevanten ÖNORM B 8110-5 zu analysieren, um eine Abstimmung mit den auf Basis des hoch aufgelösten regionalen Klimaänderungsszenario reclip:more (Loibl et al., 2007) am Wegener Zentrum durchgeführten Simulationen (Gobiet et al., 2006) zu ermöglichen. Dabei zeigte sich, dass eine Vereinbarkeit der beiden Modelle durch Verwendung eines sogenannten „Delta-Ansatzes“ ermöglicht werden kann.

Im konkreten Fall bedeutete dies, dass die Methodik zur Berechnung der klimatologischen Werte in der ÖNORM B 8110-5 als Basis herangezogen wurde. Diese Methodik beruht auf einem Dreischichten-Regressionsmodell, bei dem für sieben definierte Klimazonen seehöhenabhängig monatliche Temperatur- und Globalstrahlungswerte ausgewiesen werden. Dieses Modell, bei welchem als klimatologische Werte die Durchschnittswerte der Klimanormalperioden 1961 bis 1990 bzw. 1971 bis 2000 herangezogen werden, wurde sodann um die für die jeweiligen Regionen errechneten Klimaänderungssignale für die Periode 2041 bis 2050 erweitert. Mit dieser Vorgehensweise konnte sichergestellt werden, dass einerseits die räumliche Differenzierung des Klimaänderungssignals gewährleistet bleibt, andererseits eine Übertragung des systematischen Teils des Modellfehlers der Klimasimulationen unterbunden werden kann.

Durch diese Vorgehensweise konnten der Heizwärme- und der Kühlbedarf der Modellgebäude nicht nur anhand der derzeit in der ÖNORM B 8110-5 implementierten historischen Klimadaten, sondern auch anhand des Szenarios der zukünftigen Klimaentwicklung für unterschiedliche Seehöhen und Klimazonen ermittelt werden. Die Ergebnisse zeigen für alle Gebäudetypen eine deutliche klimabedingte Verschiebung vom Heizwärme- zum Kühlbedarf. Das

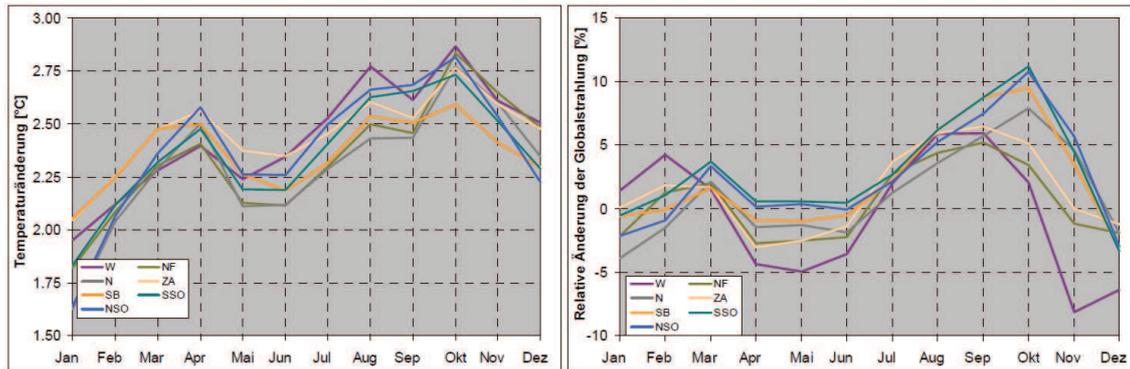


Abbildung F.3.: Links: Mittlere monatliche Temperaturänderung [°C]. Rechts: Mittlere relative Änderung der Monatssummen der Globalstrahlung [%]. (Bildquelle: Töglhofer et al., 2009)

Ausmaß dieses Effekts hängt neben den Gebäudetypen auch wesentlich von der Klimazone und der Seehöhe ab. Beim Heizwärmebedarf ist die relative Änderung in etwa konstant. Die klimabedingte Abnahme beträgt hier zwischen 20 und 35 Prozent. Schlecht gedämmte Gebäude verzeichnen damit in absoluten Werten eine stärkere Abnahme des Heizwärmebedarfs, während der zusätzliche Kühlbedarf bei zunehmender Dämmung stärker steigt. Bei einigen Gebäudetypen (Passivhäuser, bzw. Niedrigenergiehäuser in geringer Seehöhe) überwiegt der zusätzliche Kühlbedarf dahingehend deutlich die Reduktion des Heizwärmebedarfs.

Weiters wurden die Änderungen von Heizwärme- und Kühlbedarf gesondert auf Sensitivitäten gegenüber den Klimaelementen Temperatur und Solarstrahlung hin untersucht. Insbesondere zur Solarstrahlung ist anzumerken, dass die Klimaszenarien hohe Unsicherheiten enthalten und die Ergebnisse entsprechend vorsichtig interpretiert werden müssen. Die ausgewiesene Änderung der Solarstrahlung (leichte Zunahmen in der Heizperiode, deutliche Zunahmen im Spätsommer) resultiert sowohl in einer Verstärkung der temperaturbedingten Abnahme des Heizwärmebedarfes im Winter als auch in einer Verstärkung der temperaturbedingten Zunahme des Kühlbedarfes im Sommer. Im Verhältnis zur Temperaturänderung sind die Auswirkungen der Solarstrahlungsänderung jedoch relativ bescheiden. Je nach Klimazone beträgt der Solareffekt für die verwendeten Referenzgebäude bis zu 5 Prozent des Temperatureffektes beim Heizen beziehungsweise bis zu 10 Prozent beim Kühlen.

Eine Aufsummierung der errechneten Sensitivitäten auf Jahresbasis unterstreicht die Wichtigkeit, bei Aussagen zur Temperatur- und Globalstrahlungssensitivität zwischen einzelnen Gebäudestandards zu differenzieren. Für Gebäude auf 200 Meter Seehöhe (Nordösterreich) bedeutet eine Temperaturzunahme von einem Grad Celsius eine Abnahme des Heizwärmebedarfes von 2 kWh (EFH, Passivhaus) bis 15 kWh (EFH, Altbau), während der Kühlbedarf um 1 kWh (MFH, Altbau) bis 4 kWh (Büro, Niedrigenergie) ansteigt. Bei einer Erhöhung der Solarstrahlung um ein Prozent (vom jeweiligen Monatsdurchschnitt) sinkt der Heizwärmebedarf um 0,1 kWh (EFH, Passivhaus) bis 0,25 kWh (EFH, Altbau). Der errechnete Kühlbedarf steigt hingegen um 0,05 kWh (MFH, Altbau) bis 0,2 kWh (EFH, Niedrigenergie) an. Während also bei Gebäuden mit geringer Dämmung die Temperatur- und Globalstrahlungssensitivität des HWB um ein Vielfaches stärker ausgeprägt sind, überwiegt bei hoch gedämmten Gebäuden jeweils eine Verstärkung des KB. Diese unterschiedlichen Sensitivitäten bei verschiedenen Dämmstandards sind ebenfalls auf höheren Seehöhen zu beobachten, auch wenn sich hierbei die Proportionen zwischen den Änderungen des HWB und KB deutlich verschieben.

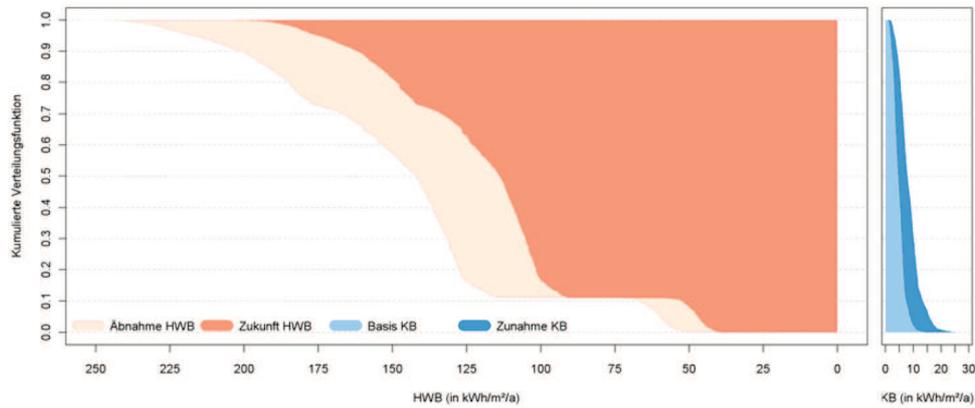


Abbildung F.4.: Verteilung des HWB und KB für den Gebäudetyp Einfamilienhaus unter dem Basisklima und dem Klimaszenario „Zukunft“ (derzeitiger Gebäudebestand). (Bildquelle: Töglhofer et al., 2009)

In weiterer Folge wurden die für den Gebäudebestand ermittelten Änderungen des Heizwärme- und Kühlbedarfs herangezogen, um erstmalig eine Abschätzung der monetären Auswirkungen dieser Änderungen durchzuführen. Die Abschätzung erfolgte für die klimabedingten, verbrauchsgebundenen Mengeneffekte auf Basis derzeitiger Energiepreise und wird wesentlich von den getroffenen Annahmen bezüglich der technischen Effizienz der eingesetzten Systeme (z.B. beim Kühlbedarf der EER als Maß für das Verhältnis zwischen eingesetzter Elektrizität und Kühlenergie-Output) und des Nutzungsverhaltens (z.B. Anteil der temperierten Flächen) beeinflusst. Die Ergebnisse zeigen, dass bei Bürogebäuden reine Betrachtungen des Heizwärme- und Kühlbedarf das Verhältnis zwischen Heizkostenabnahme und Kühlkostenzunahme etwa um den Faktor 1,5 unterschätzen. Im Gegensatz dazu muss bei Wohngebäuden davon ausgegangen werden, dass ein Gutteil der Nutzflächen mit „theoretischem Kühlbedarf“ gar keiner Raumtemperierung unterzogen wird, was geringere ökonomische Folgen impliziert. Die vorliegenden Analysen bestätigen also die Wichtigkeit, in die Betrachtungen nicht nur energetische, sondern auch monetäre Änderungen einzubeziehen.

## F.5. klima:aktiv-Kriterienkatalog für Dienstleistungsgebäude

Der klima:aktiv Gebäudestandard stellt einen Qualitätsnachweis für Gebäude dar, die gewisse Kriterien zur Energieeffizienz, Ökologie und Behaglichkeit einhalten. Dem Gebäudestandard liegen Bewertungskategorien zugrunde, die in verschiedenen Kriterienkatalogen für Wohngebäude (Neubau und Sanierung) und Dienstleistungs- und Verkaufsbauwerke definiert sind.

Die Bewertungskriterien für den Bereich „Energie und Versorgung“ (Blum et al., 2010) wurden in Zusammenarbeit von der e7 Energie Markt Analyse GmbH und dem Institut für Wärmetechnik der Technischen Universität Graz ausgearbeitet, wobei die Aspekte „Primärenergiebedarf und alternative Energiesysteme“ unter Leitung des IWT bearbeitet wurden.

Kriterienkatalog klima:aktiv haus						klima:aktiv			
Dienstleistungs- und Verkaufsgebäude									
						Punkte	1'000	348	
Nr.	Titel	Musskriterium	erreichbare Punkte	Eigenes Gebäude					
				Punkte					
<b>A Planung und Ausführung</b>						<b>max. 100</b>	<b>20</b>		
A 1.	<b>Planung</b>		<b>max. 90</b>	<b>0</b>					
A 1. 1	Vermeidung von motorisiertem Individualverkehr		max. 40	x					
A 1. 2	vereinfachende Berechnung der Lebenszykluskosten		max. 50	x					
A 1. 3	Produktmanagement - Einsatz schadstoffarmer und emissionsarmer Bauprodukte		max. 50	x					
A 1. 4	Gebäudehülle wärmebrückenoptimiert	$\Delta U_{WB}$	W/m <sup>2</sup> K	max. 30	x	0			
A 2.	<b>Ausführung</b>		<b>max. 40</b>	<b>20</b>					
A 2. 1	Gebäudehülle luftdicht	$n_{50}$	1.5 h <sup>-1</sup>	M	max. 30	x	0		
A 2. 2	Erfassung Energieverbräuche			M	max. 20	x	20		
<b>B Energie und Versorgung</b>						<b>max. 600</b>	<b>268</b>		
B 1.	<b>Nutzenergiebedarf</b>				<b>max. 350</b>	<b>138</b>			
B 1. 1	Heizwärmebedarf	HWB <sub>Linie</sub>	5 kWh/(m <sup>2</sup> a)	M	max. 150	x	75		
		HWB <sub>*,max (kah)</sub>	15.0 kWh/(m <sup>2</sup> a)						
B 1. 2	Kühlbedarf	KB*	0.8 kWh/(m <sup>2</sup> a)	M	max. 125	x	63		
B 1. 3	Tageslichtversorgung	mittl. Tageslichtfaktor	%		max. 100	x	0		
B 2.	<b>Primärenergiebedarf und alternative Energiesysteme</b>				<b>max. 300</b>	<b>131</b>			
B 2. 2	Primärenergiebedarf		299 kWh/m <sup>2</sup> a	M	max. 225	x	101		
B 2. 2	Lüftung energieeffizient			M	max. 90	x	30		
B 2. 2	alternative Energiesysteme				max. 50	x	0		
<b>C Baustoffe und Konstruktion</b>						<b>max. 200</b>	<b>20</b>		
C 1.	<b>Vermeidung von Umweltschadstoffen</b>				<b>max. 70</b>	<b>20</b>			
C 1. 1	Vermeidung von klimaschädlichen Substanzen			M	0	x	0		
C 1. 2	Vermeidung von PVC			tlw. M	20-70	x	20		
C 2.	<b>Einsatz ökologischer Baustoffe und Konstruktionen</b>				<b>max. 170</b>	<b>0</b>			
C 2. 1	ökologischer Kennwert der thermischen Gebäudehülle	OI <sub>31GH,BGRH</sub>			max. 100	x	0		
C 2. 2	Entsorgungsindikator der thermischen Gebäudehülle	EI			max. 50	x	0		
C 2. 3	zertifizierte Produkte				max. 50	x	0		
<b>D Komfort und Raumluftqualität</b>						<b>max. 100</b>	<b>40</b>		
D 1.	<b>Thermischer Komfort</b>				<b>max. 50</b>	<b>0</b>			
D 1. 1	Thermischer Komfort im Sommer				50	x	0		
D 2.	<b>Raumluftqualität</b>				<b>max. 60</b>	<b>40</b>			
D 2. 1	Komfortlüftung optimiert (CO <sub>2</sub> -Steuerung, Luftfilter, Schall etc.)			M	40	x	40		
D 2. 2	Einhaltung der Richtwerte der Raumluftqualität				50	x			
<b>Gesamt</b>							<b>348</b>		



Version 1.4 vom 26.01.2010

Abbildung F.5.: Kriterienkatalog klima:aktiv haus für Dienstleistungs- und Verkaufsgebäude (Bildquelle: Blum et al., 2010)

## F.6. Vergleich der Berechnungsmethoden zur Berechnung von Heizwärmebedarf und Kühlbedarf

Im folgenden Abschnitt sind Kurzfassung und Abstract des in der Zeitschrift *Bauphysik*, Ausgabe 05/2010 veröffentlichten Aufsatzes (Gratzl-Michlmair et al., 2010b) abgedruckt:

### Kurzfassung

Für die Berechnung des Energiebedarfs für Heizung und Kühlung können drei Verfahren gleichberechtigt eingesetzt werden: das ausführliche dynamische Simulationsverfahren, das vereinfachte dynamische Stundenverfahren und das quasi-stationäre Monatsverfahren. Diese verschiedenen Verfahren unterscheiden sich maßgeblich in ihrem Detaillierungsgrad und

liefern daher Ergebnisse unterschiedlicher Qualität. Zum Vergleich dieser Ergebnisse werden in der Validierungsnorm EN 15265 die Differenzen der Jahreswerte für die Beurteilung verwendet, die Abweichungen der einzelnen Stunden- und Monatswerte bleiben jedoch unberücksichtigt. In diesem Artikel wird daher einerseits dargestellt, wie die Standardabweichung der Einzeldifferenzen in die Qualitätsbewertung der Verfahren aufgenommen werden könnte. Andererseits wird aufgezeigt, welche Auswirkungen die einzelnen Posten der Wärmebilanz auf die Qualität der Ergebnisse haben.

## Abstract

For calculation of energy use for space heating and cooling three methods can be deployed: detailed simulation method, simplified hourly method and simplified monthly method. The different methods differ significantly in terms of level of detail and therefore also in the quality of their results. For the comparison of the results of different models a standard for validation was established, which evaluates the quality of the models based on differences of the annual sums of energy use for heating and cooling. Differences of hourly or monthly values do not influence the validation. This article shows, how mean value and standard deviation can be integrated into the validation method. Furthermore it describes the influence of the elements of the heat balance on the quality of the results.

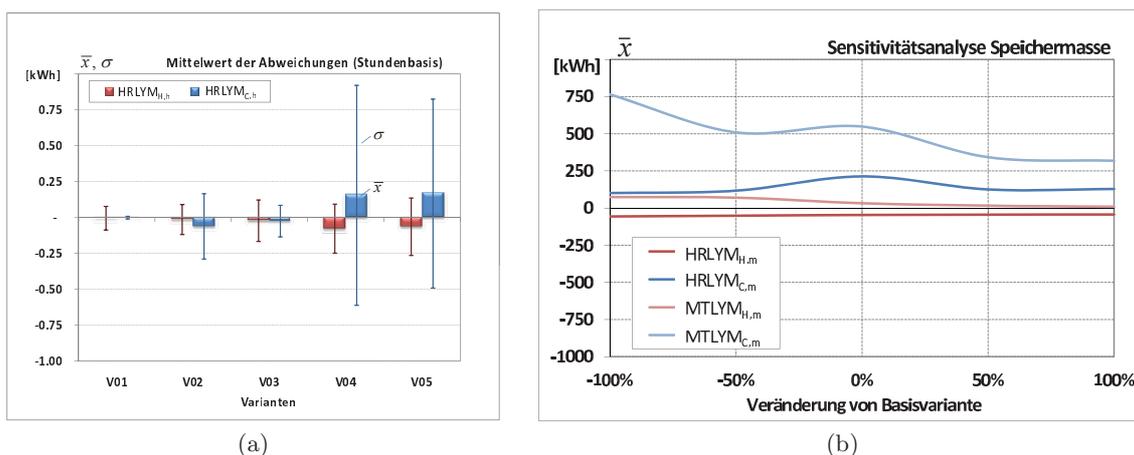


Abbildung F.6.: Mittelwerte und Standardabweichungen der Differenzen des stündlichen HWB und KB zwischen HRLYM und SIM für die verschiedenen Varianten (Bildquelle: Gratzl-Michlmair et al., 2010b) (a) und Sensitivitätsanalyse der wirksamen Wärmespeicherkapazität mit  $\bar{x}$  von SIM als Beurteilungsgröße (Bildquelle: Gratzl-Michlmair et al., 2010b) (b)

## F.7. Building Stock Analysis

### F.7.1. CZ-AT-EEG

*Der folgende Textauszug entspricht dem Abschnitt „Summary“ des Berichts „Renovation in Austria. Working paper CZ-AT EEG.“ (Michlmair und Streicher, 2007)*

In this paper an overview of the Austrian building stock and other ongoing developments in the sector of building renovations is given. The following specifications show the essential information.

The Austrian building stock consists of about 2,05 million buildings (3,9 million dwellings) and has a total useful floor area of about 299 Mio. m<sup>2</sup> in the year 2001. It is dominated by one family houses or semi detached houses, which together represent 76 % of all buildings.

The evolution of the heating demand of buildings with the building age is similar for many middle European countries. According to the building type and the age there is a range from about 230 kWh/(m<sup>2</sup>a) for buildings built close after the second world war down to 40 kWh/(m<sup>2</sup>a) for new multi dwelling buildings. The CO<sub>2</sub>-emissions of the buildings perform similar.

According to article 15 of the Austrian constitution the administration of the building law is the task of the nine federal states. This means that Austria had so far nine different building codes, nine different regulations concerning new or refurbished buildings and nine different conditions in the subsidy schemes for new and existing buildings. An agreement between the national state and the nine federal states, called §15a agreement, is close to be finalised. This agreement aims at the harmonisation of building laws referring to only one universally valid body of rules and regulations including the general quality standards for new and refurbished buildings. In the course of this harmonisation the Directive of the European Parliament on the Energy Performance of Buildings (EPBD) will be implemented.

A substantial reduction of the energy demand and the CO<sub>2</sub>-emissions in the building sector can only be done by intensifying the thermal renovation rate. If the thermal renovation rate would be increased from the current 1 % to 3 %, it would last until the year 2016 to reach the desired savings of the Kyoto-protocol.

Examples of renovations, which have been finished in the last few years, can show the direction of renovation practice in Austria and Europa. A reduction of up to 90 % of the former heating energy demand is possible in many cases.

### F.7.2. IEA-SHC Task 37: Renovation

*Die folgende Zusammenfassung entstammt dem Bericht „Housing and Renovation in the Austrian Building Stock“ (Michlmair et al., 2009), der im Rahmen der Tätigkeiten im Subtask A (Marketing and Communication Strategies) des IEA-SHC Task 37: „Advanced Housing Renovation with Solar & Conservation“ ausgearbeitet wurde.*

In this paper an overview of the Austrian building stock and ongoing developments in the building sector is given. Furthermore the state of the art of low energy- and passive houses and the typically used building technologies are described. In summary the following conclusions were worked out.

## Findings

The Austrian building stock consists of about 2,05 mio buildings (3,9 mio dwellings) and had a total useful floor area of about 299 mio sqm in the year 2001. It is dominated by detached houses and semi-detached houses, which together represent 76 % of all buildings. The buildings of the Austrian building stock are mainly privately owned (86,4 %). The average useful floor space per capita and also the average number of apartments per capita have been increasing for the last decades. According to the last census of buildings and apartments in 2001, an average useful floor space of 37,3sqm was available for each inhabitant. By 2007 approximately 42,3 sqm per capita were available.

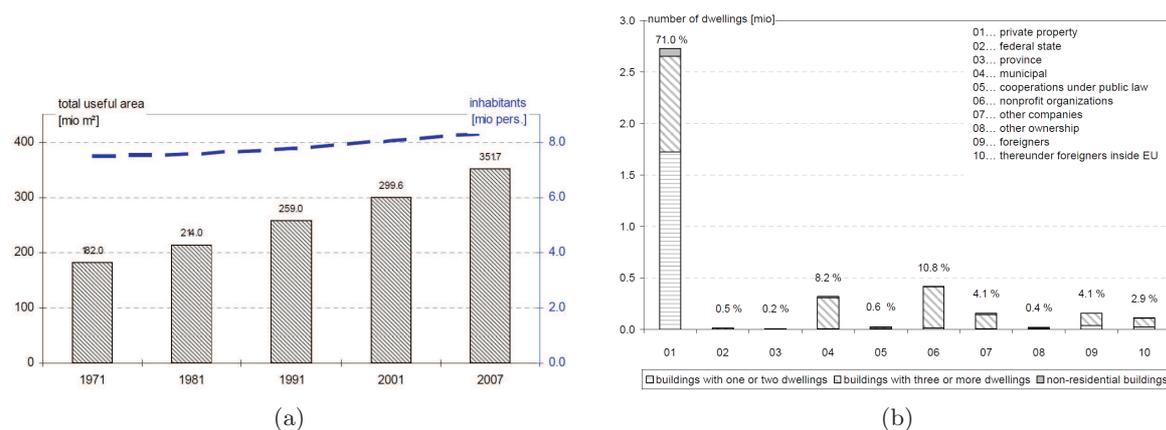


Abbildung F.7.: Growth of total useful floor area in Austria in the period 1971-2007 (mio sqm) (a) und Overview of the ownership of buildings in Austria (b) (Bildquelle jeweils: Michlmair et al., 2009)

The evolution of the heating demand of buildings with the building age is similar for many central-European countries. According to the building type and the age there is a range from about 230 kWh/(sqm<sub>GFA</sub>.a) for buildings built close after the second world war down to 40 kWh/(sqm<sub>GFA</sub>.a) for new apartment buildings. Central heating systems fueled by oil or natural gas are the most commonly used heating systems.

Since 1990 the CO<sub>2</sub>-emissions have been increasing continuously and reached 23,0 mio tons in 2003. Although the equivalent CO<sub>2</sub>-emissions in the sector „space heating and small consumers“ were nearly constant in the period from 1990 to 2003 the aimed reduction for the time-period 2008 to 2012 due to the Kyoto-protocol will be nearly impossible to reach. To work against this development different action plans and research programmes were started.

According to article 15 of the Austrian constitution the administration of the building law is task of the nine federal states. This means that Austria had so far nine different building codes, nine different regulations concerning new or refurbished buildings and nine different conditions in the subsidy schemes for new and existing buildings. By January 2009 the harmonisation of these building codes will be mainly finished. In the course of this harmonisation the directive of the European Parliament on the energy performance of buildings (EPBD) was implemented.

A substantial reduction of the energy demand and the CO<sub>2</sub>-emissions in the building sector can only be achieved by intensifying the thermal renovation rate. If the thermal renovation

rate would be increased from the current 1 % to 3 %, it would last until the year 2016 to reach the desired savings of the Kyoto-protocol in the sector of housing.

There are some major driving forces pushing thermal renovations in Austria forward. Additionally to the harmonisation of the building codes, the involved implementation of the EPBD and the building pass, especially subsidies for residential buildings act as such driving forces.

In contrast to the mentioned driving forces there are also hindrances for the improvement of the thermal renovation rate. Especially legal aspects (legal framework of residential buildings) and economic aspects (rebound-effects) have to be mentioned as widespread obstacles. From the technical point of view service-life of insulation materials and building renovations combined with district heating networks are notable aspects.

## **Recommendations**

With regard to the composition of the Austrian building stock two groups of buildings should be mainly focused on in future renovation activities: Firstly it is necessary to improve the condition of detached and apartment buildings erected in the time period 1945 to 1961. A vast part of heating energy has to be spent for conditioning of those buildings. Secondly and even more important it is to limit the growing number of detached houses in Austria. Although this is the Austrians favored kind of living those buildings emit an enormous amount of CO<sub>2</sub>. Despite this there are still some hindrances, which should be diminished in order to advance the renovation rate. Especially legal aspects – mainly concerning rent law, co-operative housing law and condominium law – often cause problems in connection with renovations of buildings. Those laws should be modified in order to improve the surrounding conditions for good thermal renovations of buildings in the future.

## **F.8. Planungsleitlinien zur Umsetzung der „Strategie Nachhaltig Bauen und Sanieren in der Steiermark“. Teil 1 – Projektentwicklung**

*Der folgende Textauszug entspricht der Beschreibung der Projektziele im Projektbericht (Cresnik et al., 2008) zum hier beschriebenen Projekt.*

Mit dem vorliegenden Projekt sollen Impulse für eine anwendungsorientierte Umsetzung der Strategie „Nachhaltig Bauen und Sanieren in der Steiermark“ für den geförderten Geschößwohnbau und den kommunalen Hochbau geschaffen werden. Hauptaugenmerk wird auf die Phase der Projektentwicklung gelegt. Gerade im frühen Stadium der Projektentwicklung können mit relativ geringen Mitteln hohe Effekte in Bezug auf eine nachhaltige Entwicklung im Baubereich erreicht werden.

Wesentliche Ansatzpunkte des vorliegenden Projektes sind:

- Ganzheitliches Denken: ökologisch, ökonomisch, sozial;
- Denken in Lebenszyklen;
- Ressourcenschonung und Kreislaufwirtschaft;

- Reduzierung der Flächenversiegelung und der Zersiedelung;
- Nutzung des Gebäudebestands;
- Emissionsminderung;
- Energieeinsparung und Klimaschutz.

Ergebnisse der Arbeit sind allgemein gültige Ablaufschemata für die Bereiche geförderter Geschoßwohnbau und kommunaler Hochbau, in denen die oben angeführten Ansatzpunkte integriert werden. Für die Entscheidungsträger werden Checklisten bereitgestellt, anhand derer sie Maßnahmen im Sinne der Nachhaltigen Entwicklung in ihrem Verantwortungsbereich setzen können.

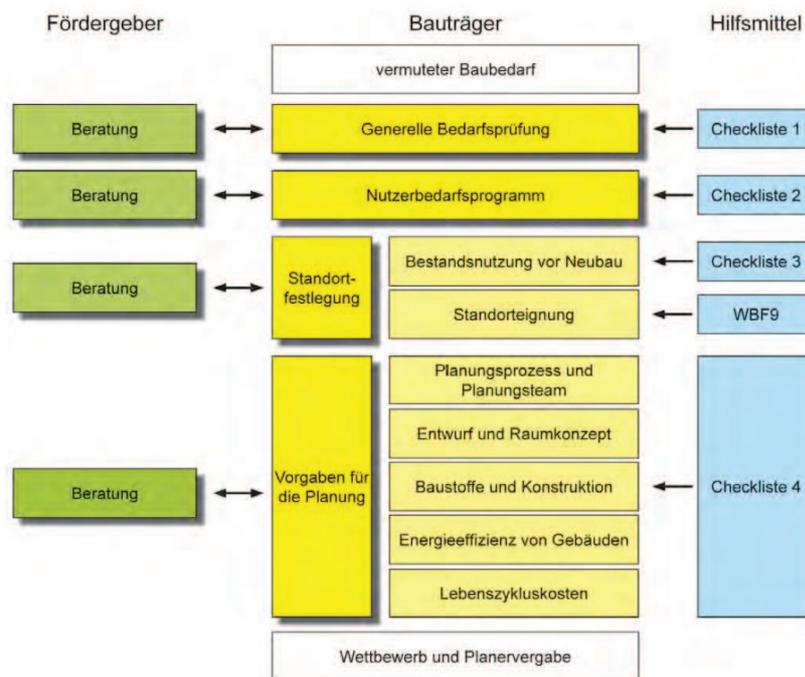


Abbildung F.8.: Übersicht über die NBS-Projektentwicklung im geförderten Geschoßbau (Bildquelle: Cresnik et al., 2008)





# LEBENS LAUF

## Dipl.-Ing. Markus GRATZL-MICHLMAIR

Veitlsöd 46  
84144 Geisenhausen  
Deutschland  
Tel.: +49 (0)173 / 3256617  
markus.gratzl@gratzl.co.at



---

**Persönliche Daten:** Staatsangehörigkeit: Österreich  
Muttersprache: Deutsch  
Geburtsdatum: 25. Juli 1981  
Geburtsort: Wels  
Familienstand: verheiratet mit Catherine Gratzl, keine Kinder

### Schulbildung:

- 2008 - 2011 Doktoratsstudium an der Doctoral School Maschinenbau der Technischen Universität Graz; Betreuer: Univ.-Prof. Wolfgang Streicher  
Dissertation: „Entwicklung und Adaption von Algorithmen zur Berechnung des Energiebedarfs raumluftechnischer Anlagen im Kontext des Energieausweises“
- 2002 - 2008 Studium Wirtschaftsingenieurwesen / Bauwesen  
Technische Universität Graz  
Diplomarbeit: „Ökobilanzierung von Wohnhausanlagen. Vergleich der lebenszyklusweiten Umweltwirkungen von vier Wohnhausanlagen verschiedener Bauweise.“  
mit ausgezeichnetem Erfolg abgeschlossen
- 1995 - 2000 HTBLA Linz Goethestaße (Bauwesen – Hochbau)  
mit ausgezeichnetem Erfolg abgeschlossen

### Berufliche Tätigkeit:

- seit 2010 Graf Architekten & Energieberater, Landshut (Deutschland)  
Aufbau der Sparte „Energieeffiziente Gebäude“, im Zuge dessen Bearbeitung unterschiedlicher Projekte zum Thema Energieeffizientes Bauen inkl. praktischer Umsetzung der erarbeiteten Projekt
- seit 2010 externer Lehrbeauftragter FH Wels, Studiengang Ökoenergietechnik  
Vorlesung und Übung „Energieeffiziente Gebäudetechnik“
- seit 2008 Vortragstätigkeit bei unterschiedlichen Organisationen (Austrian Standards plus Trainings, ZT-Forum Graz, WIFI Wien, Fa. A0 Archiphysik Wien) zu den Themen: Raumluftechnische Anlagen und Kühlanlagen, insbesondere in Konnex mit dem Energieausweis

- 2007 -2010 Institut für Wärmetechnik der Technischen Universität Graz  
wissenschaftlicher Projektmitarbeiter in der Arbeitsgruppe  
„Energieeffiziente Gebäude“  
eigenverantwortliche Bearbeitung von wissenschaftlichen Forschungsprojekten zum Thema Energieeffizienz in Gebäuden und in der Haustechnik
- seit 2007 Mitglied in Normungskomitee ON-K 235 „Wirtschaftlicher Energieeinsatz in Gebäuden“: maßgeblich Mitarbeit bei der Entwicklung der Normen ÖNORM H 5057 und ÖNORM H 5058 zu Raumluftechnik-energiebedarf und Kühlenergiebedarf im Energieausweis  
Ersatzmitglied in Normungskomitee ON-K 175 „Wärmeschutz von Gebäuden und Bauteilen“: bauphysikalische Berechnungen im Energieausweis (Heizwärme- und Kühlbedarf, sommerliche Überwärmung)  
Mitarbeit in Normungskomitee ON-AG 058-5 „Heizsysteme für Niedrigenergiehäuser“: Überarbeitung der Heizlast-Berechnung mit besonderem Fokus auf den Einsatz in Niedrigenergiehäusern
- 2004 - 2007 Architekturbüro Kamper, Graz  
Planung, Bauleitung von Hochbauprojekten
- 2000 - 2001 Fa. Gerstl Bauunternehmung, Wels  
tätig als Kalkulant von Hochbauprojekten
- 1996 - 1999 div. Baustellen- und Büropraktika, Wels

**Weiterbildungen:**

- seit 2008 Englisch für wissenschaftliche Bedienstete 2  
Viel Stoff - wenig Zeit: Wege aus der Vollständigkeitsfalle  
Erfolgreiche Rhetorik und professionelle Präsentationstechnik  
Kreatives Gedächtnistraining: Merk- und Denktechniken  
Führen, Delegieren, Motivieren

**Sonstige Kenntnisse:**

AutoCAD, ArchiCAD, ABIS-CAD  
Auer Success, ABK, ABIS-AVA  
TRNSYS, ArchiPhysik (jeweils Grundkenntnisse)  
sehr gute allgemeine EDV-Kenntnisse  
Englisch (sehr gute Kenntnisse in Wort und Schrift)  
Führerschein der Klassen B, E zu B