



Was Sie bewegt. Die MA 39 - PÜZ informiert.

MA 39 – PÜZ

1110 Wien, Rinnböckstraße 15

Bauphysiklabor

**Standortunabhängige Berechnung
des Energiebedarfs für Heizen / Be-
feuchten und Kühlen / Entfeuchten
in Ergänzung zur Vornorm ÖNORM
H 5057**

Ein Forschungsprojekt
zwischen TU Graz und MA 39
Teil - MA 39

Stand: 31. Dezember 2009

Inhaltsverzeichnis

1	HALBSYNTHETISCHES KLIMADATENMODELL	4
1.1	Luftfeuchte	4
1.2	Temperatur	5
	Das Temperaturmodell ist im Forschungsprojekt „Ergänzung der Excel-Schulungstools um ein Wärmepumpenmodul und der Einbindung von Primärenergiebedarf und CO2-Emissionen“ enthalten.	5
2	ANALYSE DER LUFTFEUCHTE FÜR 27 TESTREFERENZJAHRE	6

Ausgangssituation

Im Zuge der Ermittlung von Energiekennzahlen für Wohngebäude und Nicht-Wohngebäude wurde im Jahr 2007 die ÖNORM H 5057, basierend auf der DIN 18599-3, geschaffen. Gemäß den Rechenvorschriften dieser Norm können die Energiemengen für hygienebedingten Luftwechsel und in Abhängigkeit von einer gewählten Anlagenvariante nach Auswahl einer speziellen Anlage aus 41 Möglichkeiten mittels spezifischer Energiekennwerte für prozessbedingte KVS- und VVS-Anlagen berechnet werden.

Dabei basieren die spezifischen Energiekennwerte für den Sommerfall auf dem Wiener Testreferenzjahr und für den Winterfall auf dem Klagenfurter Testreferenzjahr. Eine Umrechnung dieser beiden Standorte auf einen beliebigen Standort erfolgt über Heizgrad- bzw. Kühlgradzeiten. Dieser Weg war und ist grundsätzlich mit folgenden beiden Nachteile behaftet:

- Die Anlagenvarianten sind vorgegeben und können nicht mit allfälligen geänderten Technologien ergänzt werden.
- Die Einschränkung auf die beiden Testreferenzjahre bietet für die künftige Anwendung, sowohl was Änderungen des Klimadatenmodells betrifft als auch die Standortunabhängigkeit betrifft, Nachteile.

Das gegenständliche Forschungsprojekt stellt die Grundlagen zusammen, welche gemeinsam mit dem Forschungsprojekt „Ergänzung der Excel-Schulungstools um ein Wärmepumpenmodul und der Einbindung von Primärenergiebedarf und CO₂-Emissionen“ die standortunabhängige Berechnung der spezifischen Energiekennwerte erlaubt. Dabei wurde einerseits von der MA 39 ein halb-synthetisches Klimadatenmodell geschaffen, welches bereits in die ÖNORM B 8110-5:2010 eingeflossen ist. Die Dokumentation des Temperaturmodells ist im oben zitierten Forschungsprojekt enthalten, jene des Feuchtemodells in diesem Forschungsprojekt. Darüber hinaus ist durch die TU Graz eine ausführliche Dokumentation des bisher im Rahmen der ÖNORM H 5057:2007+2010 verwendeten spezifischen Energiekennwerteverfahrens dargelegt und im Rahmen einer Grundlagenzusammenstellung einschließlich einer manuellen Überprüfung durch Simulationsprogramme die Methode der standortunabhängigen Berechnung der Energiekennwerte enthalten.

Es wird Aufgabe des nächsten Jahres sein, diese Grundlagenarbeit im Rahmen der ÖNORM H 5057 Beiblatt 2:2010 eine normative Anwendung zur Verfügung zu stellen.

1 Halbsynthetisches Klimadatenmodell

1.1 Luftfeuchte

Nach der Analyse von 27 Testreferenzjahren aus den 7 Klimaregionen (ausgewählt in Abstimmung mit der ZAMG) kann folgende Näherung (C.2) gefunden werden:

$$x_{h,m} = x_m - A_a \cdot \cos\left(\frac{d_{m,a}}{365} \cdot 2\pi\right) + A_m \cdot \sin\left(\frac{d_m}{MT} \cdot 2\pi\right) - A_d \cdot \cos\left(\frac{h_d}{24} \cdot 2\pi\right) \quad (\text{C.2})$$

Dabei wird einem Jahresmittelwert eine Jahresschwingung mit einer Jahresamplitude A_a mit einer Monatsschwingung mit der Amplitude A_m und einer Tagesschwingung mit der Amplitude A_d überlagert. Die Amplituden sind den folgenden Tabellen zu entnehmen.

Zur Bestimmung des Monatsmittelwertes der relativen Luftfeuchte sind die Stundenwerte des Wasserdampfpartialdrucks zu berechnen; aus den Stundenwerten der Wasserdampfpartialdrücke ist der Monatsmittelwert des Wasserdampfpartialdrucks zu errechnen und mit Hilfe des Monatsmittelwertes der Außentemperatur ist der Monatsmittelwert der relativen Luftfeuchte zu bestimmen.

Jahresmittelwert und Jahresamplitude

	Klimaregion						
	N	N/SO	NF	S/SO	SB	W	ZA
x_m	6,8 g/kg	6,4 g/kg	6,8 g/kg	7,3 g/kg	6,4 g/kg	6,5 g/kg	6,1 g/kg
A_a	3,6 g/kg	3,4 g/kg	3,8 g/kg	4,1 g/kg	3,7 g/kg	3,2 g/kg	3,3 g/kg

Tagesamplitude

A_d	Klimaregion						
	N	N/SO	NF	S/SO	SB	W	ZA
Jän	1,8 g/kg	1,6 g/kg	1,7 g/kg	1,4 g/kg	1,5 g/kg	1,8 g/kg	1,5 g/kg
Feb	1,7 g/kg	1,4 g/kg	1,4 g/kg	1,7 g/kg	1,5 g/kg	1,6 g/kg	1,5 g/kg
Mär	1,6 g/kg	1,7 g/kg	1,4 g/kg	1,5 g/kg	1,9 g/kg	1,4 g/kg	1,5 g/kg
Apr	2,4 g/kg	2,2 g/kg	2,1 g/kg	2,0 g/kg	2,1 g/kg	2,2 g/kg	1,9 g/kg
Mai	2,4 g/kg	3,2 g/kg	2,7 g/kg	3,6 g/kg	2,5 g/kg	2,4 g/kg	2,5 g/kg
Jun	3,9 g/kg	3,5 g/kg	3,2 g/kg	3,6 g/kg	3,2 g/kg	2,8 g/kg	2,8 g/kg
Jul	2,6 g/kg	3,4 g/kg	2,4 g/kg	3,5 g/kg	2,5 g/kg	2,5 g/kg	2,6 g/kg
Aug	2,9 g/kg	2,4 g/kg	2,8 g/kg	2,9 g/kg	3,2 g/kg	2,8 g/kg	2,6 g/kg
Sep	2,5 g/kg	2,6 g/kg	2,8 g/kg	2,5 g/kg	3,0 g/kg	2,0 g/kg	2,1 g/kg
Okt	2,4 g/kg	2,7 g/kg	2,5 g/kg	2,9 g/kg	2,6 g/kg	1,7 g/kg	2,5 g/kg
Nov	1,7 g/kg	2,6 g/kg	2,1 g/kg	3,3 g/kg	2,5 g/kg	1,9 g/kg	2,2 g/kg
Dez	1,6 g/kg	2,0 g/kg	1,6 g/kg	1,5 g/kg	1,7 g/kg	1,9 g/kg	1,7 g/kg

Monatsamplitude

A_m	Klimaregion						
	N	N/SO	NF	S/SO	SB	W	ZA
Jän	0,7 g/kg	0,6 g/kg	0,6 g/kg	0,6 g/kg	0,5 g/kg	0,6 g/kg	0,5 g/kg
Feb	0,7 g/kg	0,7 g/kg	0,6 g/kg	0,5 g/kg	0,7 g/kg	0,7 g/kg	0,5 g/kg
Mär	0,7 g/kg	0,8 g/kg	0,7 g/kg	0,9 g/kg	0,8 g/kg	0,7 g/kg	0,7 g/kg
Apr	0,7 g/kg	0,8 g/kg	1,0 g/kg	1,3 g/kg	0,8 g/kg	0,9 g/kg	0,9 g/kg

Mai	1,4 g/kg	1,3 g/kg	1,7 g/kg	1,5 g/kg	1,3 g/kg	1,8 g/kg	1,5 g/kg
Jun	1,7 g/kg	1,4 g/kg	1,8 g/kg	1,6 g/kg	1,8 g/kg	1,7 g/kg	1,8 g/kg
Jul	1,6 g/kg	1,6 g/kg	1,8 g/kg	2,0 g/kg	2,0 g/kg	1,6 g/kg	1,6 g/kg
Aug	2,1 g/kg	1,5 g/kg	1,7 g/kg	1,7 g/kg	1,9 g/kg	1,3 g/kg	1,7 g/kg
Sep	1,2 g/kg	1,7 g/kg	1,3 g/kg	1,6 g/kg	1,4 g/kg	1,4 g/kg	1,5 g/kg
Okt	1,0 g/kg	1,0 g/kg	1,0 g/kg	1,1 g/kg	0,9 g/kg	1,0 g/kg	1,1 g/kg
Nov	0,6 g/kg	0,8 g/kg	0,7 g/kg	0,6 g/kg	0,7 g/kg	1,1 g/kg	0,8 g/kg
Dez	0,6 g/kg	0,6 g/kg	0,5 g/kg	0,7 g/kg	0,4 g/kg	0,5 g/kg	0,5 g/kg

Eine ausführliche Dokumentation, wie diese Werte ermittelt wurden, ist dem Abschnitt „Analyse der Luftfeuchte für 27 Testreferenzjahre“ zu entnehmen.

1.2 Temperatur

Das Temperaturmodell ist im Forschungsprojekt „Ergänzung der Excel-Schulungstools um ein Wärmepumpenmodul und der Einbindung von Primärenergiebedarf und CO₂-Emissionen“ enthalten.

2 Analyse der Luftfeuchte für 27 Testreferenzjahre

In Zusammenarbeit mit der ZAMG wurden folgende 27 Orte ausgewählt, um die 7 Klimaregionen repräsentativ zur Ermittlung eines halbsynthetischen Temperaturmodells zu erfassen:

Ort	Detail	Klimaregion	Bundesland	Seehöhe
Großenzersdorf		N	W	153 m
Wien	Innere Stadt	N	W	171 m
Wien	Hohe Warte	N	W	198 m
Linz		N	OÖ	263 m
St. Pölten		N	NÖ	270 m
Allentsteig		N	NÖ	596 m
Eisenstadt		N/SO	B	184 m
Mönichkirchen		N/SO	NÖ	991 m
Salzburg	Freisaal	NF	S	420 m
Kufstein		NF	T	493 m
Innsbruck	Uni	NF	T	578 m
Wolfsegg		NF	OÖ	660 m
Bad Radkersburg		S/SO	St	208 m
Graz	Uni	S/SO	St	366 m
Klagenfurt		SB	K	450 m
Lienz		SB	T	659 m
Kötschach Mauthen		SB	K	714 m
Mallnitz		SB	K	1198 m
Virgen		SB	T	1198 m
Bregenz		W	V	424 m
Warth		W	V	1475 m
Bischofshofen		ZA	S	543 m
Windischgarsten		ZA	OÖ	596 m
Bad Aussee		ZA	St	660 m
Mariapfarr		ZA	S	1153 m
Ramsau	Dachstein	ZA	St	1203 m
Brenner		ZA	T	1445 m

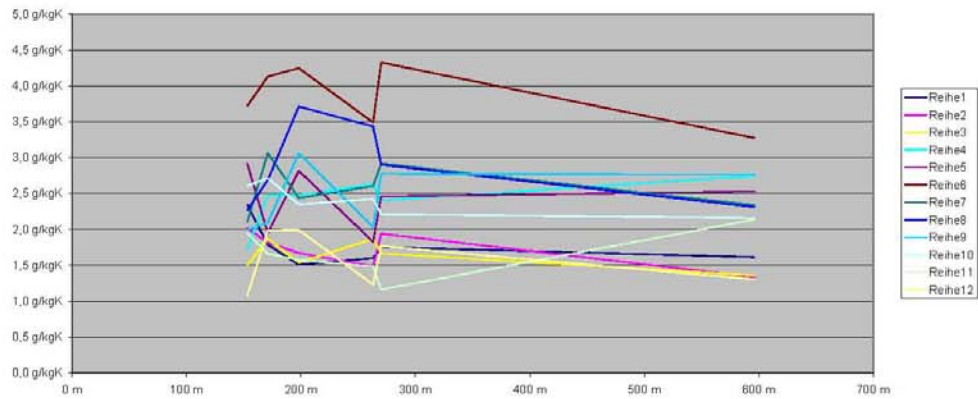
Für diese 27 Orte wurden Testreferenzjahre angeschafft, die den Analysen auf den nächsten Seiten zugrunde gelegt wurden. Dabei wurden einerseits mittlere Tagesamplituden ermittelt, mit denen sich allerdings nicht die Extremtemperaturen jedes Monats ermitteln lassen. Daher wurde als zweite Abweichung eines linearen Tagesmitteltemperaturenverlaufes eine Monatsamplitude ermittelt.

Halbsynthetisches Klimadatenmodell Österreich (HSKDM)

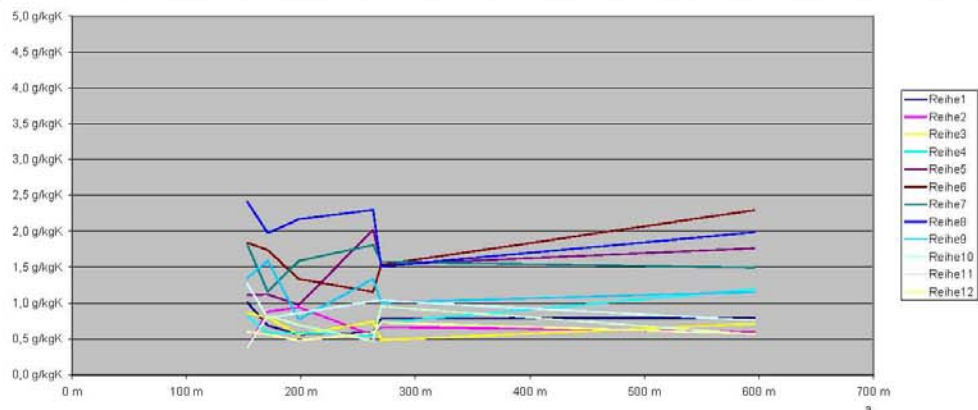
Klimaregion: N

Ort	Detail	Klimaregion	Bundesland	Seehöhe	6,4	3,6	0,7
Großenzersdorf		N	NO	153 m			17,5
Wien	Innere Stadt	N	W	171 m	6,3	3,5	6,8
Wien	Hohe Warte	N	W	198 m	6,7	3,9	7,2
Linz		N	OO	263 m	6,5	4,0	7,1
St. Pölten		N	NO	270 m	6,6	3,3	6,8
Allentsteig		N	NO	596 m	6,4	4,0	6,9
					5,9	3,0	6,3

	1	2	3	4	5	6	MW
	153 m	171 m	198 m	263 m	270 m	596 m	
1	2,3 g/kgK	1,8 g/kgK	1,5 g/kgK	1,6 g/kgK	1,8 g/kgK	1,6 g/kgK	1,8 g/kgK
2	2,0 g/kgK	1,8 g/kgK	1,7 g/kgK	1,5 g/kgK	1,9 g/kgK	1,3 g/kgK	1,7 g/kgK
3	1,5 g/kgK	1,9 g/kgK	1,5 g/kgK	1,8 g/kgK	1,7 g/kgK	1,4 g/kgK	1,6 g/kgK
4	1,7 g/kgK	2,5 g/kgK	2,5 g/kgK	2,6 g/kgK	2,4 g/kgK	2,7 g/kgK	2,4 g/kgK
5	2,9 g/kgK	1,9 g/kgK	2,8 g/kgK	1,8 g/kgK	2,5 g/kgK	2,5 g/kgK	2,4 g/kgK
6	3,7 g/kgK	4,1 g/kgK	4,2 g/kgK	3,5 g/kgK	4,3 g/kgK	3,3 g/kgK	3,9 g/kgK
7	2,1 g/kgK	3,1 g/kgK	2,4 g/kgK	2,6 g/kgK	2,9 g/kgK	2,3 g/kgK	2,6 g/kgK
8	2,3 g/kgK	2,7 g/kgK	3,7 g/kgK	3,4 g/kgK	2,9 g/kgK	2,3 g/kgK	2,9 g/kgK
9	2,0 g/kgK	2,1 g/kgK	3,1 g/kgK	2,0 g/kgK	2,8 g/kgK	2,8 g/kgK	2,5 g/kgK
10	2,6 g/kgK	2,7 g/kgK	2,3 g/kgK	2,4 g/kgK	2,2 g/kgK	2,2 g/kgK	2,4 g/kgK
11	2,0 g/kgK	1,7 g/kgK	1,6 g/kgK	1,5 g/kgK	1,2 g/kgK	2,1 g/kgK	2,1 g/kgK
12	1,1 g/kgK	2,0 g/kgK	2,0 g/kgK	1,2 g/kgK	1,8 g/kgK	1,3 g/kgK	1,6 g/kgK



	1	2	3	4	5	6	MW
	153 m	171 m	198 m	263 m	270 m	596 m	
1	1,0 g/kgK	0,7 g/kgK	0,6 g/kgK	0,6 g/kgK	0,8 g/kgK	0,8 g/kgK	0,7 g/kgK
2	0,4 g/kgK	0,9 g/kgK	0,9 g/kgK	0,5 g/kgK	0,7 g/kgK	0,6 g/kgK	0,7 g/kgK
3	0,9 g/kgK	0,8 g/kgK	0,8 g/kgK	0,7 g/kgK	0,5 g/kgK	0,7 g/kgK	0,7 g/kgK
4	0,8 g/kgK	0,6 g/kgK	0,8 g/kgK	0,5 g/kgK	0,7 g/kgK	1,2 g/kgK	0,7 g/kgK
5	1,1 g/kgK	1,1 g/kgK	1,0 g/kgK	2,0 g/kgK	1,5 g/kgK	1,8 g/kgK	1,4 g/kgK
6	1,8 g/kgK	1,7 g/kgK	1,3 g/kgK	1,2 g/kgK	1,5 g/kgK	2,3 g/kgK	1,7 g/kgK
7	1,8 g/kgK	1,2 g/kgK	1,6 g/kgK	1,8 g/kgK	1,8 g/kgK	1,5 g/kgK	1,6 g/kgK
8	2,4 g/kgK	2,0 g/kgK	2,2 g/kgK	2,3 g/kgK	1,5 g/kgK	2,0 g/kgK	2,1 g/kgK
9	1,3 g/kgK	1,6 g/kgK	0,8 g/kgK	1,3 g/kgK	1,0 g/kgK	1,2 g/kgK	1,2 g/kgK
10	1,3 g/kgK	0,8 g/kgK	0,8 g/kgK	1,0 g/kgK	1,0 g/kgK	0,8 g/kgK	1,0 g/kgK
11	0,4 g/kgK	0,8 g/kgK	0,7 g/kgK	0,5 g/kgK	1,0 g/kgK	0,8 g/kgK	0,8 g/kgK
12	0,8 g/kgK	0,8 g/kgK	0,5 g/kgK	0,8 g/kgK	0,7 g/kgK	0,8 g/kgK	0,8 g/kgK



Halbsynthetisches Klimadatenmodell Österreich (HSKDM)

Grossenzerndorf (g.L. 16°33'43", g.B. 48°11'58", Seehöhe 153 m), Auswahl aus der Periode 1991 - 2005

	$X_{min,h}$ [g/kg]	$X_{min,d}$ [g/kg]	$X_{min,e}$ [g/kg]	$X_{max,d}$ [g/kg]	$X_{max,h}$ [g/kg]	$A_{h,d}$ [g/kg]	$A_{h,m}$ [g/kg]
1	0,8	1,5	3,3	6,1	7,5	2,3	1,0
2	1,2	1,5	3,6	5,5	6,1	2,0	0,4
3	1,8	2,3	4,1	5,3	6,5	1,5	0,9
4	3,3	3,8	5,5	7,3	8,4	1,7	0,8
5	4,0	4,6	7,0	10,3	12,1	2,9	1,1
6	4,4	5,7	9,0	13,2	15,8	3,7	1,8
7	6,4	7,5	9,9	11,7	14,3	2,1	1,8
8	6,2	8,0	10,3	12,5	15,5	2,3	2,4
9	4,5	5,7	7,8	9,7	11,1	2,0	1,3
10	2,1	3,4	6,4	8,6	9,9	2,6	1,3
11	2,9	3,3	5,2	7,2	7,8	2,0	0,4
12	1,6	2,1	3,3	4,3	4,9	1,1	0,8

Wien-Innere Stadt (g.L. 16°22'02", g.B. 48°11'58", Seehöhe 171 m), Auswahl aus der Periode 1991 - 2005

	$X_{min,h}$ [g/kg]	$X_{min,d}$ [g/kg]	$X_{min,e}$ [g/kg]	$X_{max,d}$ [g/kg]	$X_{max,h}$ [g/kg]	$A_{h,d}$ [g/kg]	$A_{h,m}$ [g/kg]
1	1,2	1,6	3,3	5,1	6,1	1,8	0,7
2	2,8	2,9	4,6	6,6	7,9	1,8	0,9
3	2,7	2,8	4,3	6,8	7,5	1,9	0,8
4	2,8	3,2	5,5	8,1	8,9	2,5	0,6
5	4,2	4,9	7,1	8,8	10,4	1,9	1,1
6	5,0	5,6	8,8	13,8	16,7	4,1	1,7
7	6,7	7,6	10,5	13,7	15,1	3,1	1,2
8	6,9	8,7	11,0	14,0	16,2	2,7	2,0
9	5,2	6,3	8,1	10,5	12,5	2,1	1,6
10	3,6	4,1	7,1	9,6	10,9	2,7	0,8
11	3,1	3,8	5,0	7,1	8,1	1,7	0,9
12	2,3	2,5	3,9	6,5	7,4	2,0	0,6

Wien-Höhe Warte (g.L. 16°21'28", g.B. 48°15'00", Seehöhe 198 m), Auswahl aus der Periode 1991 - 2005

	$X_{min,h}$ [g/kg]	$X_{min,d}$ [g/kg]	$X_{min,e}$ [g/kg]	$X_{max,d}$ [g/kg]	$X_{max,h}$ [g/kg]	$A_{h,d}$ [g/kg]	$A_{h,m}$ [g/kg]
1	1,9	2,1	3,1	5,1	5,9	1,5	0,6
2	2,1	2,5	4,0	5,8	7,3	1,7	0,9
3	2,3	2,7	4,0	5,8	6,5	1,5	0,6
4	2,4	2,7	5,5	7,7	8,8	2,5	0,8
5	3,9	4,6	7,1	10,2	11,4	2,9	1,0
6	5,1	5,5	8,5	14,0	16,3	4,2	1,3
7	7,4	8,2	10,7	13,1	15,4	2,4	1,8
8	5,7	6,9	11,1	14,3	17,5	3,7	2,2
9	3,9	4,3	7,6	10,4	11,3	3,1	0,9
10	3,9	4,3	6,8	9,0	10,3	2,3	0,9
11	3,1	3,4	5,2	6,8	7,6	1,6	0,7
12	2,3	2,5	3,9	6,5	7,3	2,0	0,5

Linz (g.L. 14°17'10", g.B. 48°17'48", Seehöhe 263 m), Auswahl aus der Periode 1991 - 2005

	$X_{min,h}$ [g/kg]	$X_{min,d}$ [g/kg]	$X_{min,e}$ [g/kg]	$X_{max,d}$ [g/kg]	$X_{max,h}$ [g/kg]	$A_{h,d}$ [g/kg]	$A_{h,m}$ [g/kg]
1	1,8	2,0	3,6	5,2	6,0	1,8	0,8
2	1,9	2,3	3,7	5,3	5,9	1,5	0,5
3	2,6	3,0	4,6	6,6	7,8	1,9	0,7
4	2,7	2,9	5,6	8,2	9,0	2,6	0,5
5	6,0	6,6	8,5	10,5	13,7	1,8	2,0
6	5,9	8,7	9,7	13,8	15,2	3,5	1,2
7	6,5	7,1	10,0	12,3	15,4	2,6	1,8
8	5,6	6,4	10,2	13,2	17,0	3,4	2,3
9	5,7	6,7	8,3	10,8	12,4	2,0	1,3
10	3,7	4,4	6,7	9,3	10,6	2,4	1,0
11	3,1	3,3	5,1	6,3	7,0	1,5	0,5
12	1,9	2,1	3,5	4,8	5,3	1,2	0,8

St. Pölten (g.L. 15°38'00", g.B. 48°12'04", Seehöhe 270 m), Auswahl aus der Periode 1991 - 2005

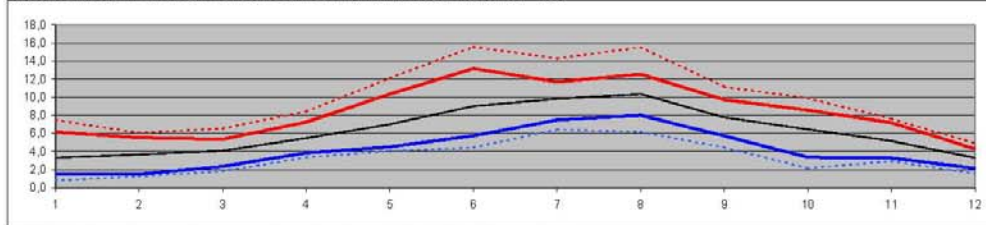
	$X_{min,h}$ [g/kg]	$X_{min,d}$ [g/kg]	$X_{min,e}$ [g/kg]	$X_{max,d}$ [g/kg]	$X_{max,h}$ [g/kg]	$A_{h,d}$ [g/kg]	$A_{h,m}$ [g/kg]
1	0,7	1,1	2,9	4,8	5,8	1,8	0,8
2	0,9	1,3	2,8	5,2	6,1	1,9	0,7
3	2,4	2,6	4,5	6,2	6,7	1,7	0,5
4	2,3	2,7	5,2	7,5	8,6	2,4	0,7
5	4,8	5,6	8,0	10,5	12,8	2,5	1,5
6	3,8	5,3	9,1	13,9	15,5	4,3	1,5
7	6,5	7,7	10,4	13,6	15,5	2,9	1,6
8	6,3	7,3	10,9	13,1	15,1	2,9	1,5
9	4,3	5,4	7,8	10,9	11,9	2,6	1,0
10	3,3	4,3	6,5	8,7	9,8	2,2	1,0
11	3,2	3,9	5,1	6,3	7,4	1,2	1,0
12	1,0	1,3	3,3	4,9	6,0	1,8	0,7

Allentsteig (g.L. 15°22'03" Ost, g.B. 48°11'28" Nord, Seehöhe 586 m), Auswahl aus der Periode 1991 - 2005

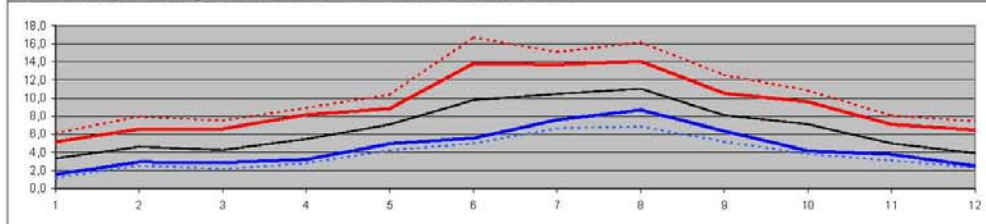
	$X_{min,h}$ [g/kg]	$X_{min,d}$ [g/kg]	$X_{min,e}$ [g/kg]	$X_{max,d}$ [g/kg]	$X_{max,h}$ [g/kg]	$A_{h,d}$ [g/kg]	$A_{h,m}$ [g/kg]
1	1,1	1,7	3,4	4,9	6,0	1,6	0,8
2	1,5	2,1	3,5	4,7	5,4	1,3	0,6
3	1,9	2,4	3,5	5,1	6,0	1,4	0,7
4	2,9	3,3	5,5	8,8	10,8	2,7	1,2
5	4,1	4,8	7,1	9,9	12,7	2,5	1,8
6	4,9	5,9	8,7	12,5	16,0	3,3	2,3
7	5,8	7,0	9,3	11,6	13,5	2,3	1,5
8	5,3	7,2	9,3	11,8	13,9	2,3	2,0
9	4,0	4,7	7,5	10,3	11,9	2,9	1,2
10	3,5	3,9	6,2	8,2	9,4	2,2	0,9
11	1,5	2,3	4,0	6,5	6,9	2,1	0,6
12	1,4	2,1	3,2	4,7	5,1	1,3	0,6

Halbsynthetisches Klimadatenmodell Österreich (HSKDM)

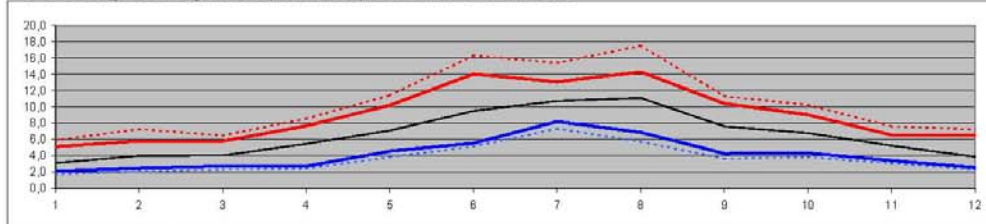
Grossenzersdorf (g.L. 16°33'43", g.B. 48°11'58", Seehöhe 153 m), Auswahl aus der Periode 1991 - 2005



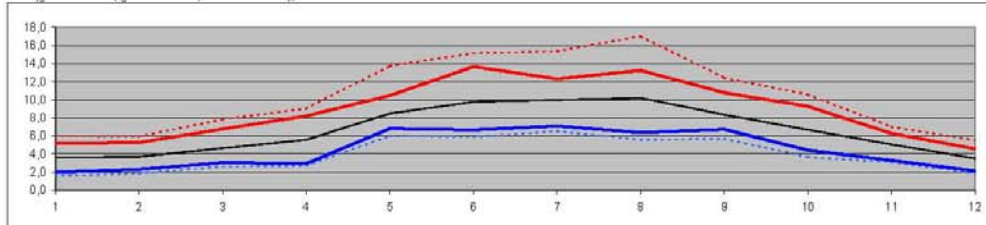
Wien-innere Stadt (g.L. 16°22'02", g.B. 48°11'58", Seehöhe 171 m), Auswahl aus der Periode 1991 - 2005



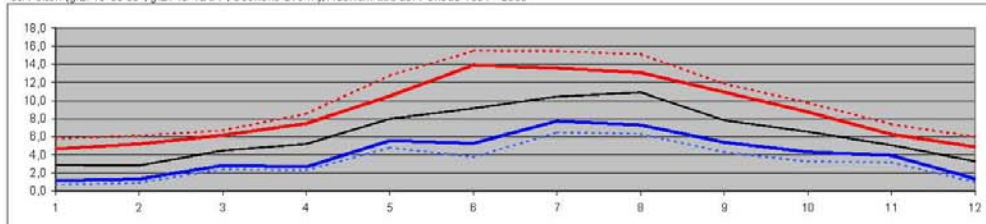
Wien-Hohe Warte (g.L. 16°21'20", g.B. 48°15'00", Seehöhe 198 m), Auswahl aus der Periode 1991 - 2005



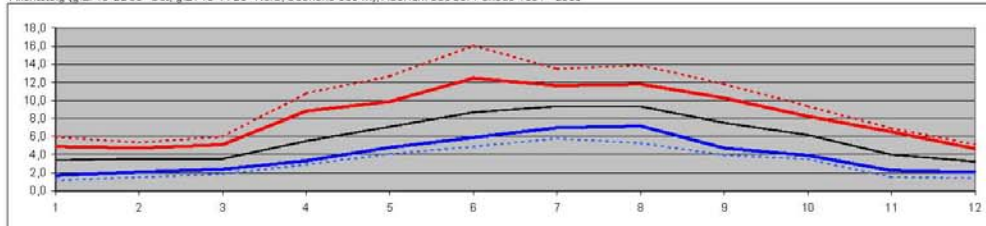
Linz (g.L. 14°17'10", g.B. 48°17'48", Seehöhe 263 m), Auswahl aus der Periode 1991 - 2005



St. Pölten (g.L. 15°38'00", g.B. 48°12'04", Seehöhe 270 m), Auswahl aus der Periode 1991 - 2005



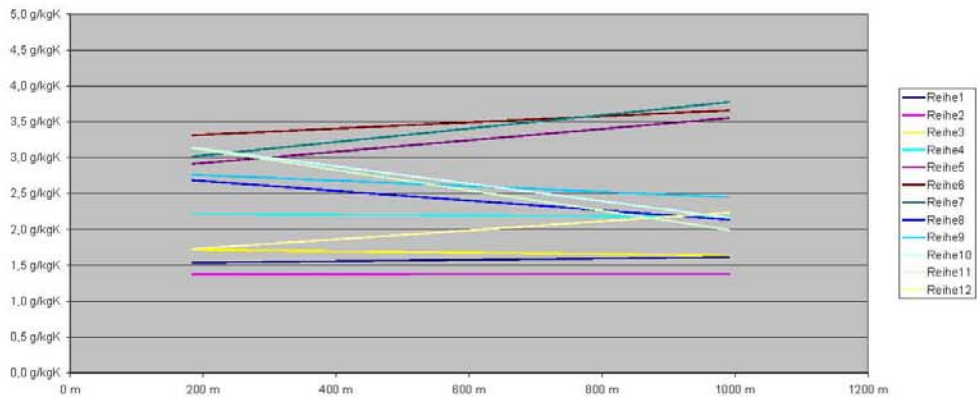
Allentsteig (g.L. 15°22'03" Ost, g.B. 48°11'28" Nord, Seehöhe 598 m), Auswahl aus der Periode 1991 - 2005



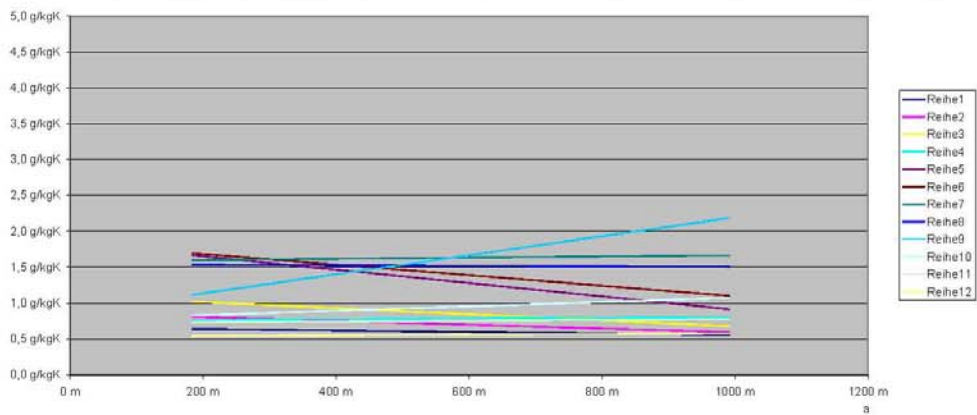
Halbsynthetisches Klimadatenmodell Österreich (HSKDM)

Klimaregion:	N/SO				6,0	3,4	0,8
Ort	Detail	Klimaregion	Bundesland	Seehöhe			15,5
Eisenstadt		N/SO	B	184 m	6,4	3,6	6,4
Mönichkirchen		N/SO	NO	991 m	5,5	3,3	8,7
							8,1

	1	2	3	4	5	6	MW
	184 m	991 m					
1	1,5 g/kgK	1,6 g/kgK					1,6 g/kgK
2	1,4 g/kgK	1,4 g/kgK					1,4 g/kgK
3	1,7 g/kgK	1,6 g/kgK					1,7 g/kgK
4	2,2 g/kgK	2,2 g/kgK					2,2 g/kgK
5	2,9 g/kgK	3,6 g/kgK					3,2 g/kgK
6	3,3 g/kgK	3,7 g/kgK					3,5 g/kgK
7	3,0 g/kgK	3,8 g/kgK					3,4 g/kgK
8	2,7 g/kgK	2,1 g/kgK					2,4 g/kgK
9	2,8 g/kgK	2,5 g/kgK					2,6 g/kgK
10	3,1 g/kgK	2,2 g/kgK					2,7 g/kgK
11	3,1 g/kgK	2,0 g/kgK					2,8 g/kgK
12	1,7 g/kgK	2,2 g/kgK					2,0 g/kgK



	1	2	3	4	5	6	MW
	184 m	991 m					
1	0,6 g/kgK	0,6 g/kgK					0,6 g/kgK
2	0,8 g/kgK	0,6 g/kgK					0,7 g/kgK
3	1,0 g/kgK	0,7 g/kgK					0,8 g/kgK
4	0,8 g/kgK	0,8 g/kgK					0,8 g/kgK
5	1,7 g/kgK	0,9 g/kgK					1,3 g/kgK
6	1,7 g/kgK	1,1 g/kgK					1,4 g/kgK
7	1,6 g/kgK	1,7 g/kgK					1,6 g/kgK
8	1,5 g/kgK	1,5 g/kgK					1,5 g/kgK
9	1,1 g/kgK	2,2 g/kgK					1,7 g/kgK
10	0,8 g/kgK	1,1 g/kgK					1,0 g/kgK
11	0,7 g/kgK	0,8 g/kgK					0,8 g/kgK
12	0,5 g/kgK	0,8 g/kgK					0,8 g/kgK



Halbsynthetisches Klimadatenmodell Österreich (HSKDM)

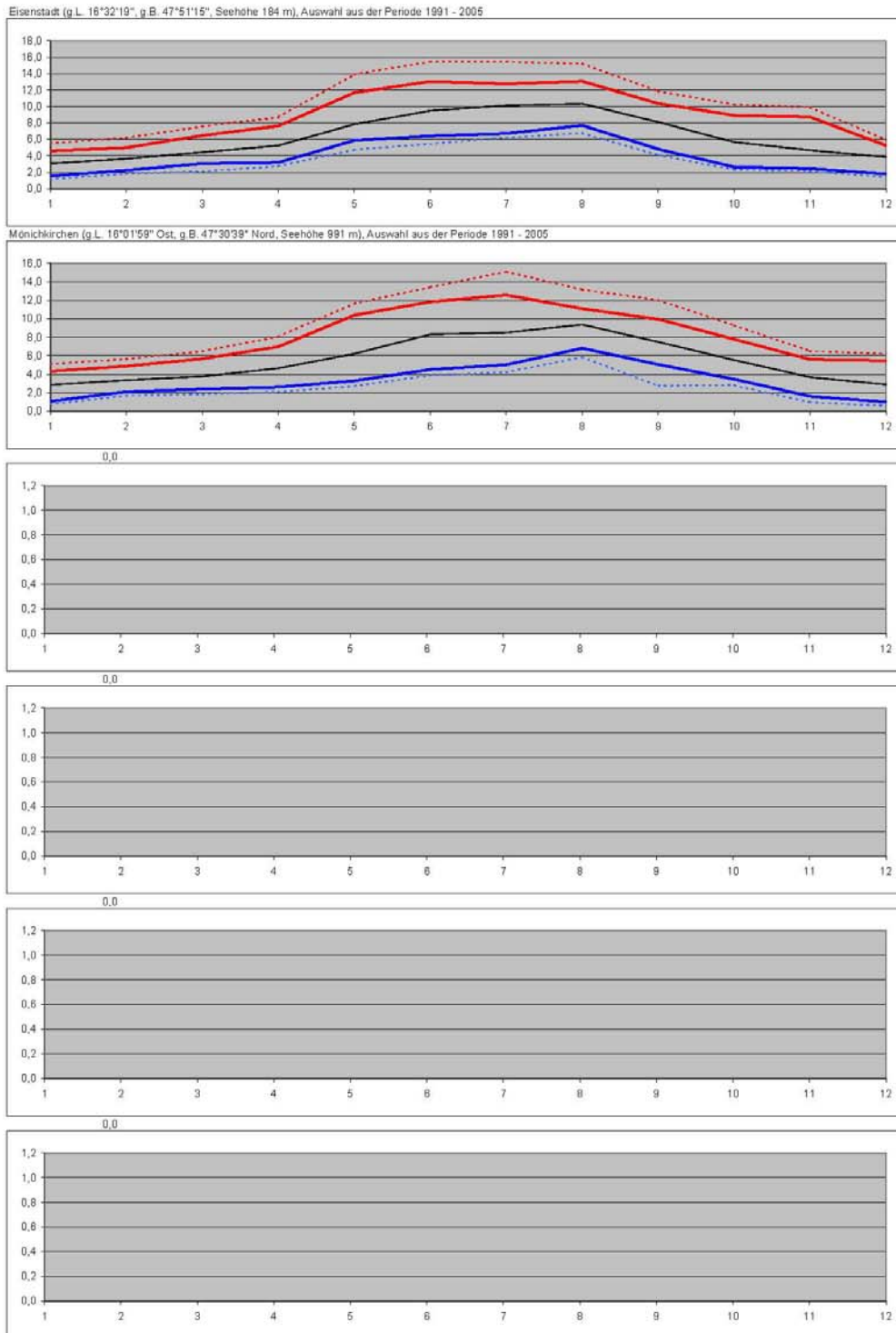
Eisenstadt (g.L. 16°32'19", g.B. 47°51'15", Seehöhe 194 m), Auswahl aus der Periode 1991 - 2005

	$X_{\text{min},h}$ [g/kg]	$X_{\text{min},t}$ [g/kg]	$X_{\text{min},d}$ [g/kg]	$X_{\text{min},j}$ [g/kg]	$X_{\text{min},j}$ [g/kg]	A_{tot} [g/kg]	A_{tot} [g/kg]
1	1,2	1,5	3,0	4,8	5,5	1,5	0,8
2	1,6	2,2	3,8	5,0	6,2	1,4	0,8
3	2,1	3,0	4,4	6,5	7,6	1,7	1,0
4	2,7	3,2	5,2	7,8	8,7	2,2	0,8
5	4,8	5,8	7,8	11,7	13,9	2,9	1,7
6	5,5	6,4	9,5	13,0	15,5	3,3	1,7
7	6,2	6,7	10,1	12,7	15,4	3,0	1,8
8	6,8	7,7	10,3	13,1	15,2	2,7	1,5
9	4,1	4,8	6,1	10,3	11,8	2,8	1,1
10	2,3	2,6	5,7	8,9	10,2	3,1	0,8
11	2,1	2,4	4,7	8,7	9,8	3,1	0,7
12	1,4	1,8	3,8	5,2	5,9	1,7	0,5

Mönchkirchen (g.L. 16°01'59" Ost, g.B. 47°30'39" Nord, Seehöhe 991 m), Auswahl aus der Periode 1991 - 2005

	$X_{\text{min},h}$ [g/kg]	$X_{\text{min},t}$ [g/kg]	$X_{\text{min},d}$ [g/kg]	$X_{\text{min},j}$ [g/kg]	$X_{\text{min},j}$ [g/kg]	A_{tot} [g/kg]	A_{tot} [g/kg]
1	0,8	1,1	2,8	4,3	5,1	1,6	0,6
2	1,7	2,1	3,4	4,9	5,8	1,4	0,6
3	1,8	2,4	3,8	5,7	6,5	1,6	0,7
4	2,1	2,6	4,8	7,0	8,1	2,2	0,8
5	2,7	3,3	6,2	10,4	11,8	3,6	0,9
6	3,8	4,5	8,3	11,8	13,4	3,7	1,1
7	4,2	5,0	8,5	12,8	15,1	3,8	1,7
8	5,8	6,8	8,4	11,1	13,1	2,1	1,5
9	2,7	3,0	7,5	9,9	12,0	2,5	2,2
10	2,8	3,5	5,5	7,8	9,3	2,2	1,1
11	1,0	1,8	3,7	5,8	6,5	2,0	0,8
12	0,6	1,0	2,9	5,5	6,2	2,2	0,6

Halbsynthetisches Klimadatenmodell Österreich (HSKDM)

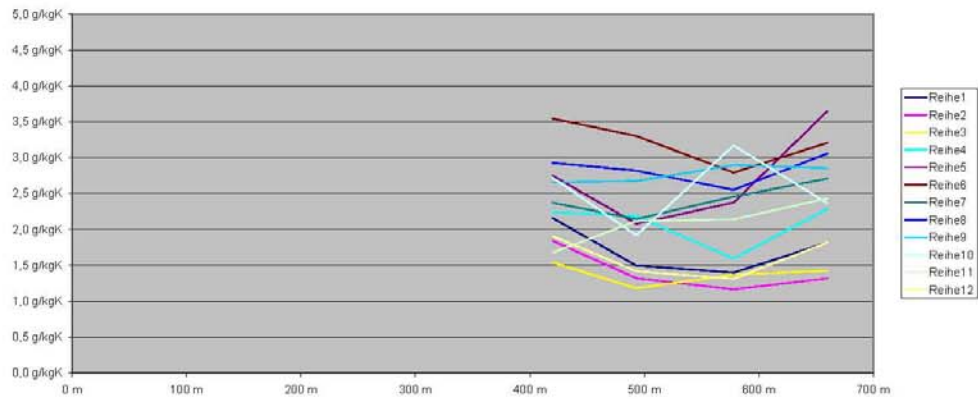


Halbsynthetisches Klimadatenmodell Österreich (HSKDM)

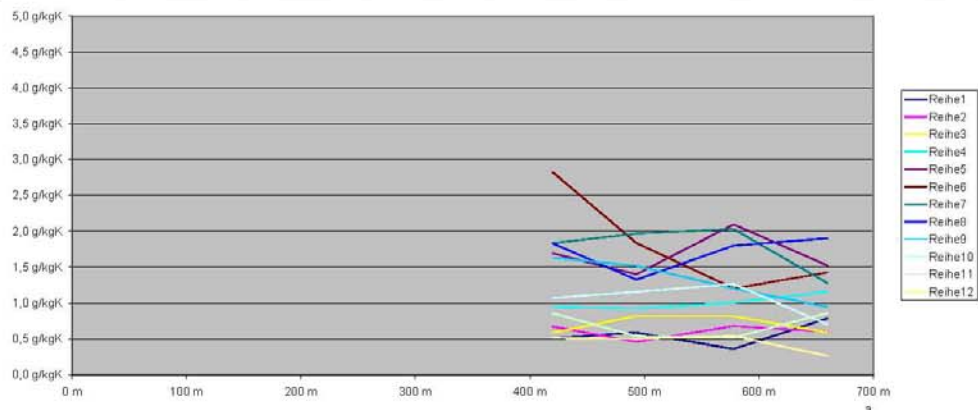
Klimaregion: NF

Ort	Detail	Klimaregion	Bundesland	Seehöhe	6,2	3,8	0,7 10,0 6,9
Salzburg	Freisaal	NF	S	420 m	6,5	3,9	6,9
Kufstein		NF	T	493 m	6,3	4,0	6,9
Innsbruck	Uni	NF	T	578 m	5,9	3,5	6,5
Wolfsegg		NF	OO	660 m	6,2	3,8	6,8

	1	2	3	4	5	6	MW
	420 m	493 m	578 m	660 m			
1	2,2 g/kgK	1,5 g/kgK	1,4 g/kgK	1,8 g/kgK			1,7 g/kgK
2	1,8 g/kgK	1,3 g/kgK	1,2 g/kgK	1,3 g/kgK			1,4 g/kgK
3	1,5 g/kgK	1,2 g/kgK	1,4 g/kgK	1,4 g/kgK			1,4 g/kgK
4	2,2 g/kgK	2,2 g/kgK	1,6 g/kgK	2,3 g/kgK			2,1 g/kgK
5	2,8 g/kgK	2,1 g/kgK	2,4 g/kgK	3,6 g/kgK			2,7 g/kgK
6	3,5 g/kgK	3,3 g/kgK	2,8 g/kgK	3,2 g/kgK			3,2 g/kgK
7	2,4 g/kgK	2,1 g/kgK	2,5 g/kgK	2,7 g/kgK			2,4 g/kgK
8	2,8 g/kgK	2,8 g/kgK	2,6 g/kgK	3,1 g/kgK			2,8 g/kgK
9	2,7 g/kgK	2,7 g/kgK	2,9 g/kgK	2,9 g/kgK			2,8 g/kgK
10	2,7 g/kgK	1,9 g/kgK	3,2 g/kgK	2,4 g/kgK			2,5 g/kgK
11	1,7 g/kgK	2,1 g/kgK	2,1 g/kgK	2,4 g/kgK			2,1 g/kgK
12	1,8 g/kgK	1,4 g/kgK	1,3 g/kgK	1,8 g/kgK			1,6 g/kgK



	1	2	3	4	5	6	MW
	420 m	493 m	578 m	660 m			
1	0,5 g/kgK	0,6 g/kgK	0,4 g/kgK	0,8 g/kgK			0,6 g/kgK
2	0,7 g/kgK	0,5 g/kgK	0,7 g/kgK	0,6 g/kgK			0,6 g/kgK
3	0,6 g/kgK	0,8 g/kgK	0,8 g/kgK	0,6 g/kgK			0,7 g/kgK
4	0,9 g/kgK	0,9 g/kgK	1,0 g/kgK	1,2 g/kgK			1,0 g/kgK
5	1,7 g/kgK	1,4 g/kgK	2,1 g/kgK	1,5 g/kgK			1,7 g/kgK
6	2,9 g/kgK	1,8 g/kgK	1,2 g/kgK	1,4 g/kgK			1,8 g/kgK
7	1,8 g/kgK	2,0 g/kgK	2,0 g/kgK	1,3 g/kgK			1,8 g/kgK
8	1,8 g/kgK	1,3 g/kgK	1,8 g/kgK	1,9 g/kgK			1,7 g/kgK
9	1,8 g/kgK	1,5 g/kgK	1,2 g/kgK	0,9 g/kgK			1,3 g/kgK
10	1,1 g/kgK	1,2 g/kgK	1,3 g/kgK	0,7 g/kgK			1,0 g/kgK
11	0,9 g/kgK	0,5 g/kgK	0,5 g/kgK	0,9 g/kgK			0,7 g/kgK
12	0,5 g/kgK	0,5 g/kgK	0,5 g/kgK	0,3 g/kgK			0,5 g/kgK



Halbsynthetisches Klimadatenmodell Österreich (HSKDM)

Salzburg-Freisaal (g.L. 13°03'09", g.B. 47°47'27", Seehöhe 420 m), Auswahl aus der Periode 1991 - 2005

	X _{max,h} [g/kg]	X _{max,d} [g/kg]	X _{max,e} [g/kg]	X _{max,o} [g/kg]	X _{max,s} [g/kg]	A _{h,d} [g/kg]	A _{h,m} [g/kg]
1	0,7	1,1	3,1	5,4	8,0	2,2	0,5
2	1,4	1,7	3,7	5,4	6,4	1,8	0,7
3	2,3	2,9	4,4	5,9	6,7	1,5	0,8
4	2,2	3,2	5,5	7,7	8,6	2,2	0,9
5	3,9	5,1	7,9	10,6	12,8	2,8	1,7
6	5,2	6,2	9,6	13,3	16,0	3,5	2,8
7	6,1	7,5	9,9	12,2	14,5	2,4	1,8
8	7,1	8,2	10,9	14,0	16,6	2,9	1,8
9	4,1	5,2	7,9	10,5	12,7	2,7	1,6
10	4,1	5,0	7,5	10,4	11,7	2,7	1,1
11	2,3	3,0	4,3	6,4	7,4	1,7	0,9
12	0,7	0,9	3,0	4,7	5,9	1,9	0,5

Kufstein (g.L. 12°09'48" Ost, g.B. 47°34'31" Nord, Seehöhe 493 m), Auswahl aus der Periode 1991 - 2005

	X _{max,h} [g/kg]	X _{max,d} [g/kg]	X _{max,e} [g/kg]	X _{max,o} [g/kg]	X _{max,s} [g/kg]	A _{h,d} [g/kg]	A _{h,m} [g/kg]
1	1,1	1,3	2,9	4,3	5,3	1,5	0,6
2	1,6	2,1	3,4	4,7	5,2	1,3	0,5
3	2,3	2,9	4,2	5,3	6,3	1,2	0,8
4	2,4	3,3	5,3	7,7	8,6	2,2	0,9
5	3,9	4,9	6,9	9,0	10,8	2,1	1,4
6	4,7	6,1	8,3	12,7	15,0	3,3	1,8
7	6,0	7,8	10,4	12,1	14,2	2,1	2,0
8	6,9	8,0	10,9	13,6	15,2	2,8	1,3
9	3,9	4,8	7,6	10,2	12,3	2,7	1,5
10	4,5	5,1	6,8	9,0	10,7	1,9	1,2
11	2,8	3,2	4,7	7,4	8,1	2,1	0,5
12	1,3	1,6	3,3	4,4	5,1	1,4	0,5

Innsbruck-Universität (g.L. 11°23'08", g.B. 47°15'38", Seehöhe 578 m), Auswahl aus der Periode 1991 - 2005

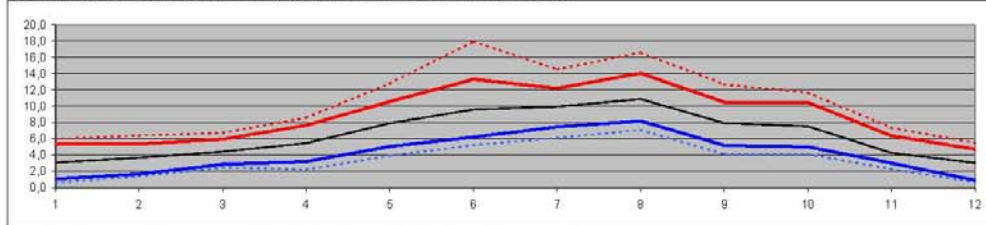
	X _{max,h} [g/kg]	X _{max,d} [g/kg]	X _{max,e} [g/kg]	X _{max,o} [g/kg]	X _{max,s} [g/kg]	A _{h,d} [g/kg]	A _{h,m} [g/kg]
1	1,6	1,7	3,1	4,5	5,1	1,4	0,4
2	1,6	2,1	3,3	4,5	5,2	1,2	0,7
3	1,9	2,4	4,1	5,2	6,3	1,4	0,8
4	2,3	2,8	4,5	6,0	7,5	1,6	1,0
5	4,2	4,6	5,5	9,4	13,1	2,4	2,1
6	5,7	6,3	8,8	11,9	13,7	2,8	1,2
7	6,0	7,4	9,8	12,3	15,0	2,5	2,0
8	5,7	7,5	10,0	12,8	14,4	2,8	1,8
9	3,8	5,0	8,3	10,8	11,8	2,9	1,2
10	1,9	3,2	5,7	8,6	10,8	3,2	1,3
11	1,8	2,3	4,1	6,5	7,2	2,1	0,5
12	1,5	1,7	3,2	4,3	5,2	1,3	0,5

Wolfsegg (g.L. 13°40'20" Ost, g.B. 48°08'19" Nord, Seehöhe 880 m), Auswahl aus der Periode 1991 - 2005

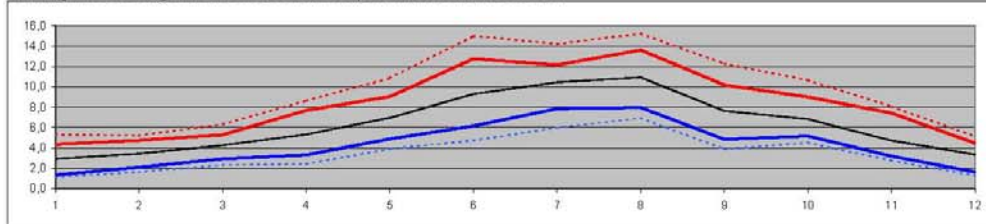
	X _{max,h} [g/kg]	X _{max,d} [g/kg]	X _{max,e} [g/kg]	X _{max,o} [g/kg]	X _{max,s} [g/kg]	A _{h,d} [g/kg]	A _{h,m} [g/kg]
1	1,2	1,5	3,0	5,2	6,4	1,8	0,8
2	1,7	2,3	3,7	4,9	5,6	1,3	0,6
3	2,4	2,0	4,3	5,6	6,4	1,4	0,6
4	2,7	2,6	5,0	7,2	9,1	2,3	1,2
5	3,4	4,1	7,0	11,4	13,8	3,5	1,5
6	5,2	6,0	9,1	12,4	14,3	3,2	1,4
7	6,4	7,7	10,0	13,1	14,4	2,7	1,3
8	5,6	6,8	10,6	13,0	15,3	3,1	1,8
9	4,8	5,8	8,0	11,5	12,4	2,9	0,9
10	3,6	4,2	6,0	9,0	9,8	2,4	0,7
11	2,0	2,3	4,1	7,2	8,6	2,4	0,9
12	2,0	2,2	3,5	5,9	6,1	1,6	0,3

Halbsynthetisches Klimadatenmodell Österreich (HSKDM)

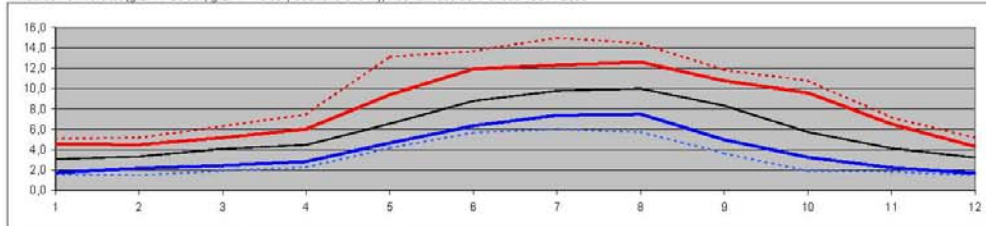
Salzburg-Freisaal (g.L. 13°03'09", g.B. 47°47'27", Seehöhe 420 m), Auswahl aus der Periode 1991 - 2005



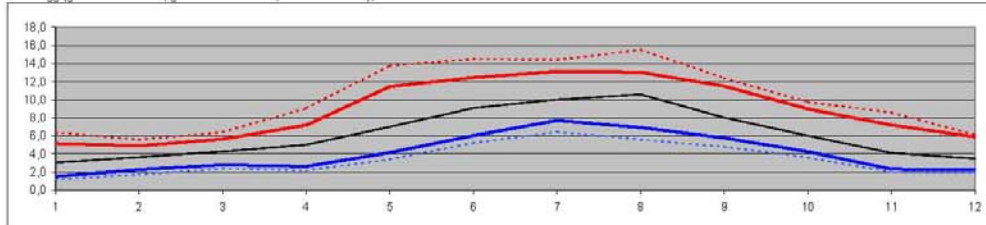
Kufstein (g.L. 12°09'46" Ost, g.B. 47°34'31" Nord, Seehöhe 493 m), Auswahl aus der Periode 1991 - 2005



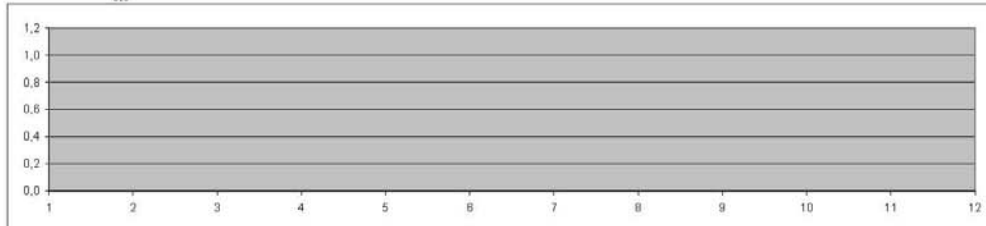
Innsbruck-Universität (g.L. 11°23'06", g.B. 47°15'36", Seehöhe 578 m), Auswahl aus der Periode 1991 - 2005



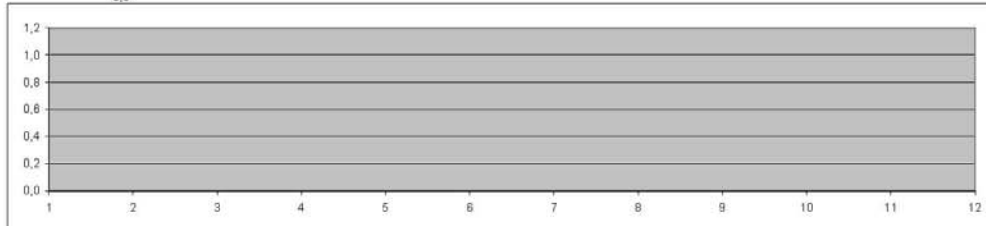
Wolfsegg (g.L. 13°40'20" Ost, g.B. 48°06'19" Nord, Seehöhe 660 m), Auswahl aus der Periode 1991 - 2005



0,0



0,0

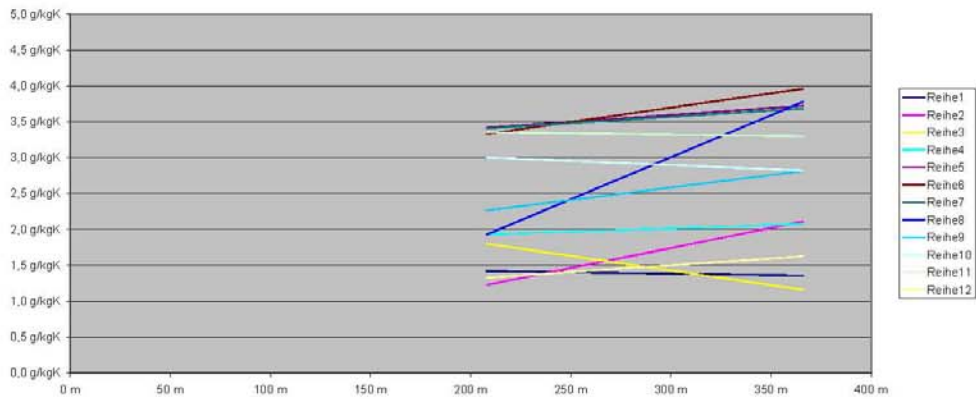


Halbsynthetisches Klimadatenmodell Österreich (HSKDM)

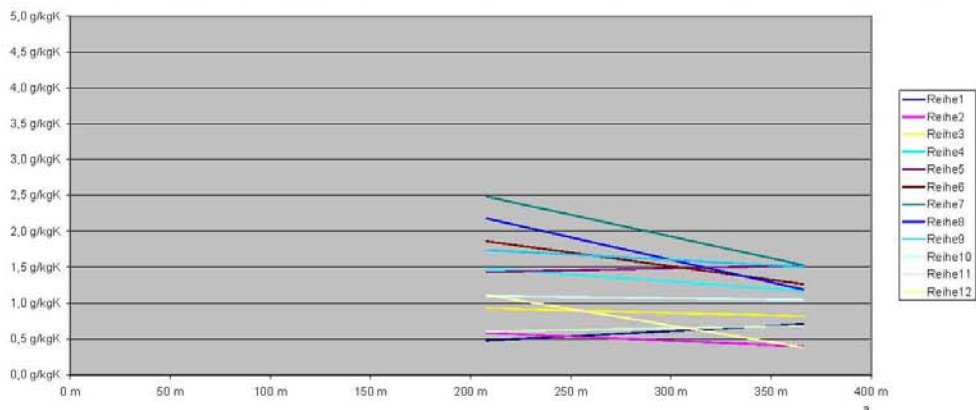
Klimaregion: S/SO

Ort	Detail	Klimaregion	Bundesland	Seehöhe	6,8	4,1	1,2
Bad Radkersburg		S/SO	St	208 m	6,8	4,1	16,9
Graz	Uni	S/SO	St	366 m	6,9	3,9	7,3
					6,7	4,2	7,4
							7,2

	1 208 m	2 366 m	3	4	5	6	MW
1	1,4 g/kgK	1,4 g/kgK					1,4 g/kgK
2	1,2 g/kgK	2,1 g/kgK					1,7 g/kgK
3	1,8 g/kgK	1,2 g/kgK					1,5 g/kgK
4	1,8 g/kgK	2,1 g/kgK					2,0 g/kgK
5	3,4 g/kgK	3,7 g/kgK					3,6 g/kgK
6	3,3 g/kgK	4,0 g/kgK					3,6 g/kgK
7	3,4 g/kgK	3,7 g/kgK					3,5 g/kgK
8	1,8 g/kgK	3,8 g/kgK					2,9 g/kgK
9	2,3 g/kgK	2,8 g/kgK					2,5 g/kgK
10	3,0 g/kgK	2,8 g/kgK					2,9 g/kgK
11	3,4 g/kgK	3,3 g/kgK					3,3 g/kgK
12	1,3 g/kgK	1,6 g/kgK					1,5 g/kgK



	1 208 m	2 366 m	3	4	5	6	MW
1	0,5 g/kgK	0,7 g/kgK					0,6 g/kgK
2	0,6 g/kgK	0,4 g/kgK					0,5 g/kgK
3	0,9 g/kgK	0,6 g/kgK					0,9 g/kgK
4	1,5 g/kgK	1,2 g/kgK					1,3 g/kgK
5	1,4 g/kgK	1,5 g/kgK					1,5 g/kgK
6	1,9 g/kgK	1,3 g/kgK					1,6 g/kgK
7	2,5 g/kgK	1,5 g/kgK					2,0 g/kgK
8	2,2 g/kgK	1,2 g/kgK					1,7 g/kgK
9	1,7 g/kgK	1,5 g/kgK					1,6 g/kgK
10	1,1 g/kgK	1,0 g/kgK					1,1 g/kgK
11	0,8 g/kgK	0,7 g/kgK					0,8 g/kgK
12	1,1 g/kgK	0,4 g/kgK					0,7 g/kgK



Halbsynthetisches Klimadatenmodell Österreich (HSKDM)

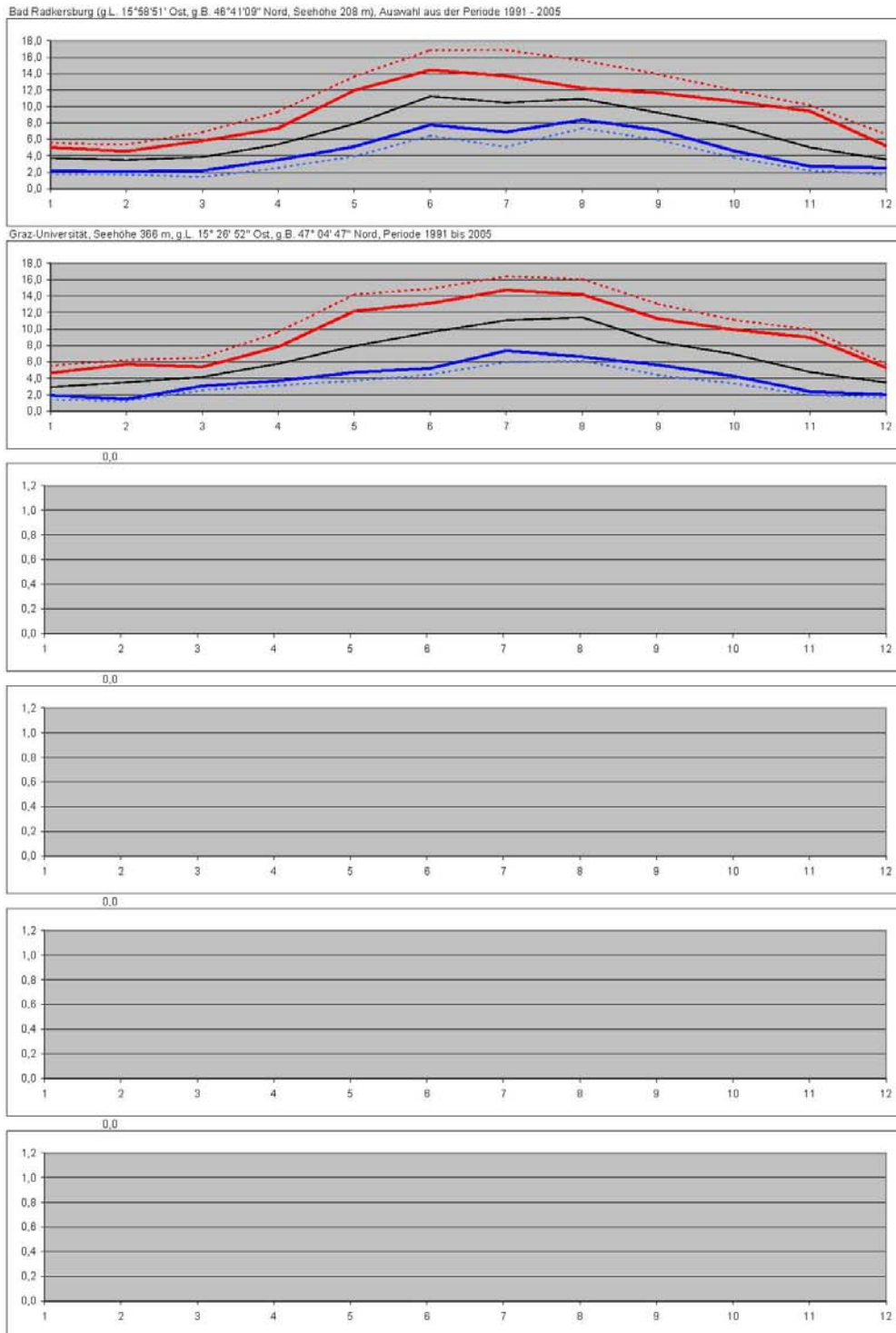
Bad Radkersburg (g.L. 15°59'51" Ost, g.B. 46°41'09" Nord, Seehöhe 208 m), Auswahl aus der Periode 1991 - 2005

	$X_{min,h}$ [g/kg]	$X_{min,d}$ [g/kg]	$X_{min,e}$ [g/kg]	$X_{min,s}$ [g/kg]	$X_{min,j}$ [g/kg]	$A_{s,e}$ [g/kg]	$A_{s,m}$ [g/kg]
1	1,8	2,2	3,7	5,0	5,8	1,4	0,5
2	1,7	2,1	3,5	4,8	5,4	1,7	0,6
3	1,4	2,2	3,8	5,8	6,8	1,8	0,9
4	2,5	3,5	5,4	7,4	9,4	1,8	1,5
5	3,9	5,1	7,9	11,9	13,8	3,4	1,4
6	6,5	7,8	11,2	14,4	18,8	3,3	1,9
7	5,1	8,9	10,5	13,7	18,9	3,4	2,5
8	7,4	8,4	10,9	12,2	15,6	1,9	2,2
9	5,9	7,1	9,2	11,7	13,9	2,3	1,7
10	3,8	4,8	7,6	10,8	12,0	3,0	1,1
11	2,2	2,7	5,0	8,4	10,1	3,4	0,8
12	1,7	2,5	3,6	5,2	6,8	1,3	1,1

Graz-Universität, Seehöhe 366 m, g.L. 15° 28' 52" Ost, g.B. 47° 04' 47" Nord, Periode 1991 bis 2005

	$X_{min,h}$ [g/kg]	$X_{min,d}$ [g/kg]	$X_{min,e}$ [g/kg]	$X_{min,s}$ [g/kg]	$X_{min,j}$ [g/kg]	$A_{s,e}$ [g/kg]	$A_{s,m}$ [g/kg]
1	1,4	1,9	2,9	4,8	5,5	1,4	0,7
2	1,2	1,5	3,5	5,7	6,2	2,1	0,4
3	2,6	3,1	4,2	5,4	6,5	1,2	0,8
4	3,1	3,7	5,8	7,8	9,8	2,1	1,2
5	3,7	4,7	7,9	12,2	14,2	3,7	1,5
6	4,4	5,2	8,8	13,1	14,8	4,0	1,3
7	6,0	7,4	11,1	14,7	18,4	3,7	1,5
8	6,1	6,8	11,4	14,2	16,1	3,8	1,2
9	4,4	5,6	8,4	11,2	13,0	2,8	1,5
10	3,4	4,3	6,9	9,9	11,1	2,8	1,0
11	2,9	2,4	4,7	9,0	9,9	3,3	0,7
12	1,7	2,0	3,5	5,3	5,7	1,8	0,4

Halbsynthetisches Klimadatenmodell Österreich (HSKDM)

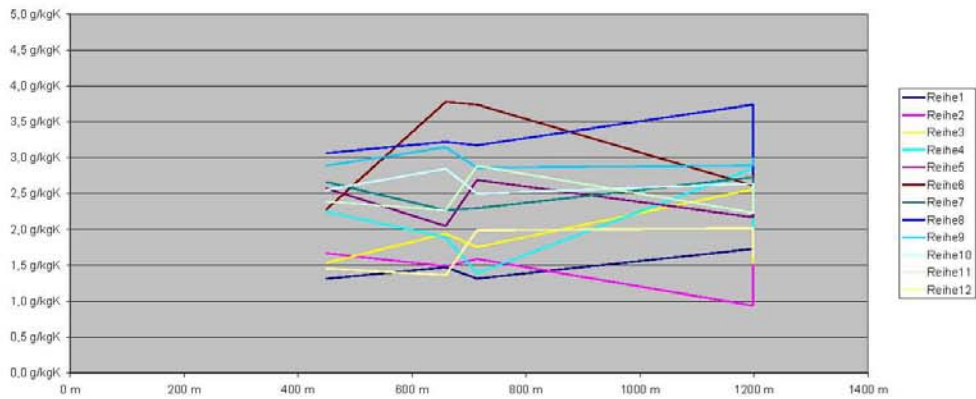


Halbsynthetisches Klimadatenmodell Österreich (HSKDM)

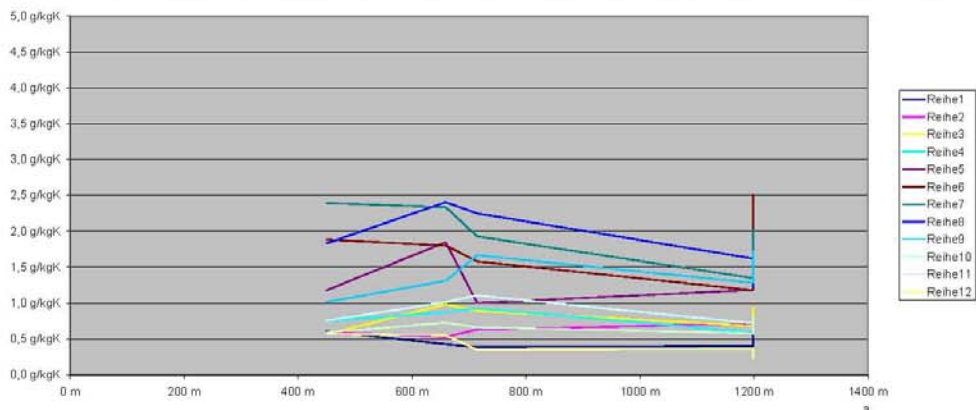
Klimaregion: SB

Ort	Detail	Klimaregion	Bundesland	Seehöhe	5,8	3,7	10,3
Klagenfurt		SB	K	450 m	6,0	3,9	6,5
Lienz		SB	T	659 m	6,0	4,2	6,7
Kötschach Mauthen		SB	K	714 m	6,0	3,7	6,7
Mallnitz		SB	K	1198 m	5,5	3,3	6,1
Virgen		SB	T	1198 m	5,6	3,3	5,8

	1	2	3	4	5	6	MW
	450 m	659 m	714 m	1198 m	1198 m		
1	1,3 g/kgK	1,5 g/kgK	1,3 g/kgK	1,7 g/kgK	1,9 g/kgK		1,5 g/kgK
2	1,7 g/kgK	1,5 g/kgK	1,8 g/kgK	0,9 g/kgK	1,8 g/kgK		1,5 g/kgK
3	1,5 g/kgK	1,9 g/kgK	1,8 g/kgK	2,6 g/kgK	1,5 g/kgK		1,9 g/kgK
4	2,2 g/kgK	1,9 g/kgK	1,4 g/kgK	2,8 g/kgK	1,8 g/kgK		2,1 g/kgK
5	2,6 g/kgK	2,0 g/kgK	2,7 g/kgK	2,2 g/kgK	2,8 g/kgK		2,5 g/kgK
6	2,3 g/kgK	3,8 g/kgK	3,7 g/kgK	2,6 g/kgK	3,4 g/kgK		3,2 g/kgK
7	2,7 g/kgK	2,3 g/kgK	2,3 g/kgK	2,7 g/kgK	2,5 g/kgK		2,5 g/kgK
8	3,1 g/kgK	3,2 g/kgK	3,2 g/kgK	3,7 g/kgK	2,8 g/kgK		3,2 g/kgK
9	2,9 g/kgK	3,1 g/kgK	2,9 g/kgK	2,9 g/kgK	3,0 g/kgK		3,0 g/kgK
10	2,5 g/kgK	2,8 g/kgK	2,5 g/kgK	2,6 g/kgK	2,5 g/kgK		2,6 g/kgK
11	2,4 g/kgK	2,3 g/kgK	2,9 g/kgK	2,2 g/kgK	2,5 g/kgK		2,5 g/kgK
12	1,5 g/kgK	1,4 g/kgK	2,0 g/kgK	2,0 g/kgK	1,8 g/kgK		1,7 g/kgK



	1	2	3	4	5	6	MW
	-450,0 K	659,0 K	714,0 K	1198,0 K	1198,0 K		
1	0,6 g/kgK	0,4 g/kgK	0,4 g/kgK	0,4 g/kgK	0,5 g/kgK		0,5 g/kgK
2	0,6 g/kgK	0,5 g/kgK	0,6 g/kgK	0,7 g/kgK	1,0 g/kgK		0,7 g/kgK
3	0,6 g/kgK	1,0 g/kgK	0,9 g/kgK	0,7 g/kgK	1,0 g/kgK		0,8 g/kgK
4	0,7 g/kgK	0,9 g/kgK	0,8 g/kgK	0,6 g/kgK	0,7 g/kgK		0,8 g/kgK
5	1,2 g/kgK	1,8 g/kgK	1,0 g/kgK	1,2 g/kgK	1,2 g/kgK		1,3 g/kgK
6	1,9 g/kgK	1,8 g/kgK	1,6 g/kgK	1,2 g/kgK	2,5 g/kgK		1,8 g/kgK
7	2,4 g/kgK	2,3 g/kgK	1,9 g/kgK	1,3 g/kgK	2,0 g/kgK		2,0 g/kgK
8	1,9 g/kgK	2,4 g/kgK	2,3 g/kgK	1,8 g/kgK	1,2 g/kgK		1,9 g/kgK
9	1,0 g/kgK	1,3 g/kgK	1,7 g/kgK	1,3 g/kgK	1,7 g/kgK		1,4 g/kgK
10	0,8 g/kgK	1,0 g/kgK	1,1 g/kgK	0,7 g/kgK	0,8 g/kgK		0,9 g/kgK
11	0,8 g/kgK	0,7 g/kgK	0,7 g/kgK	0,8 g/kgK	0,8 g/kgK		0,7 g/kgK
12	0,8 g/kgK	0,8 g/kgK	0,3 g/kgK	0,4 g/kgK	0,2 g/kgK		0,4 g/kgK



Halbsynthetisches Klimadatenmodell Österreich (HSKDM)

Klagenfurt (g.L. 14°19'25", g.B. 46°38'59", Seehöhe 450 m), Auswahl aus der Periode 1991 - 2005

	X _{min,h} [g/kg]	X _{min,d} [g/kg]	X _{min,m} [g/kg]	X _{max,d} [g/kg]	X _{max,m} [g/kg]	A _{h,d} [g/kg]	A _{h,m} [g/kg]
1	0,7	1,1	2,6	3,7	4,6	1,3	0,8
2	1,6	2,2	3,2	5,6	6,3	1,7	0,6
3	2,1	2,7	4,0	5,7	6,3	1,5	0,6
4	1,7	2,1	4,8	6,6	7,7	2,2	0,7
5	2,8	4,2	7,4	9,3	10,1	2,6	1,2
6	4,3	6,1	6,7	10,6	12,7	2,3	1,9
7	5,8	7,6	10,4	12,9	15,7	2,7	2,4
8	4,1	5,1	9,3	11,2	13,9	3,1	1,8
9	3,9	4,7	8,0	10,5	11,7	2,9	1,0
10	3,5	4,3	6,6	9,4	10,1	2,5	0,8
11	1,8	2,2	4,4	7,0	7,8	2,4	0,6
12	0,9	1,4	3,2	4,3	4,9	1,5	0,6

Lienz (g.L. 12°48'30", g.B. 46°49'39", Seehöhe 659 m), Auswahl aus der Periode 1991 - 2005

	X _{min,h} [g/kg]	X _{min,d} [g/kg]	X _{min,m} [g/kg]	X _{max,d} [g/kg]	X _{max,m} [g/kg]	A _{h,d} [g/kg]	A _{h,m} [g/kg]
1	0,7	1,2	2,5	4,2	4,5	1,5	0,4
2	1,3	1,5	3,0	4,5	5,3	1,5	0,5
3	1,4	1,7	3,9	5,5	7,3	1,9	1,0
4	2,1	2,6	4,8	6,4	7,7	1,8	0,9
5	4,5	5,4	7,5	9,5	12,3	2,0	1,8
6	3,5	4,2	8,5	11,8	14,7	3,8	1,8
7	7,1	8,7	10,9	13,3	16,3	2,3	2,3
8	4,0	5,3	9,8	11,7	15,2	3,2	2,4
9	4,1	4,9	8,1	11,2	13,0	3,1	1,3
10	2,6	3,2	6,1	8,9	10,3	2,8	1,0
11	1,6	2,0	3,8	6,8	7,5	2,3	0,7
12	0,9	1,3	2,8	4,0	4,7	1,4	0,6

Kötschach-Mauthen (g.L. 12°59'54" Ost, g.B. 46°40'39" Nord, Seehöhe 714 m), Auswahl aus der Periode 1991 - 2005

	X _{min,h} [g/kg]	X _{min,d} [g/kg]	X _{min,m} [g/kg]	X _{max,d} [g/kg]	X _{max,m} [g/kg]	A _{h,d} [g/kg]	A _{h,m} [g/kg]
1	1,5	1,9	3,1	4,8	4,9	1,3	0,4
2	1,4	2,0	3,2	5,2	5,9	1,6	0,6
3	1,3	1,7	3,5	5,2	6,6	1,8	0,9
4	3,0	3,4	4,8	6,2	7,6	1,4	0,9
5	3,7	4,2	7,3	9,6	11,1	2,7	1,0
6	3,5	4,2	8,8	11,6	14,2	3,7	1,6
7	6,3	7,9	10,0	12,5	14,8	2,3	1,9
8	4,9	6,3	10,4	12,8	15,7	3,2	2,3
9	3,2	4,3	7,4	10,0	12,3	2,9	1,7
10	2,8	4,0	6,3	8,9	10,0	2,5	1,1
11	1,4	2,2	4,9	8,0	8,5	2,9	0,7
12	0,7	1,0	3,0	4,9	5,4	2,0	0,3

Malnitz (g.L. 13°10'03" Ost, g.B. 46°59'13" Nord, Seehöhe 1198 m), Auswahl aus der Periode 1991 - 2005

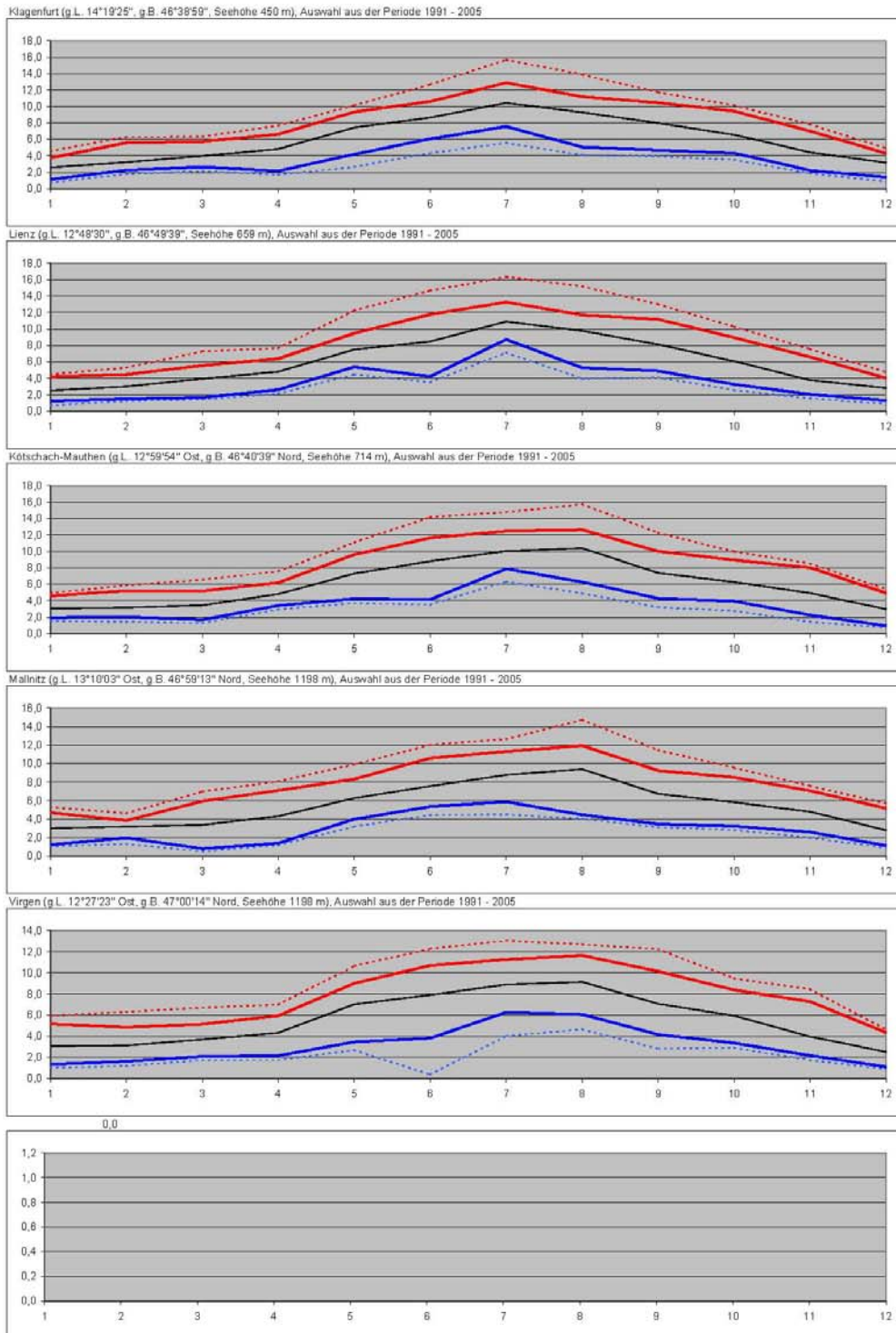
	X _{min,h} [g/kg]	X _{min,d} [g/kg]	X _{min,m} [g/kg]	X _{max,d} [g/kg]	X _{max,m} [g/kg]	A _{h,d} [g/kg]	A _{h,m} [g/kg]
1	1,0	1,2	3,0	4,7	5,3	1,7	0,4
2	1,3	2,0	3,2	3,8	4,6	0,9	0,7
3	0,5	0,8	3,4	5,9	7,0	2,6	0,7
4	1,2	1,4	4,3	7,1	8,1	2,9	0,6
5	3,2	4,0	6,3	8,3	9,9	2,3	1,2
6	4,4	5,4	7,6	10,8	12,0	2,6	1,2
7	4,3	5,9	8,0	11,3	12,7	2,7	1,3
8	4,0	4,5	9,4	11,9	14,7	3,7	1,6
9	3,1	3,5	6,7	9,2	11,5	2,9	1,3
10	2,8	3,2	5,9	8,5	9,6	2,6	0,7
11	2,0	2,6	4,8	7,1	7,6	2,7	0,6
12	0,9	1,1	2,8	5,2	5,7	2,0	0,4

Virgen (g.L. 12°27'23" Ost, g.B. 47°00'14" Nord, Seehöhe 1198 m), Auswahl aus der Periode 1991 - 2005

	X _{min,h} [g/kg]	X _{min,d} [g/kg]	X _{min,m} [g/kg]	X _{max,d} [g/kg]	X _{max,m} [g/kg]	A _{h,d} [g/kg]	A _{h,m} [g/kg]
1	1,0	1,3	3,1	5,2	5,9	1,9	0,5
2	1,2	1,6	3,1	4,8	6,3	1,6	1,0
3	1,7	2,1	3,7	5,1	6,7	1,5	1,0
4	1,6	2,2	4,3	5,9	7,0	1,9	0,7
5	2,7	3,5	7,0	9,0	10,7	2,8	1,2
6	0,4	3,8	7,9	10,7	12,3	3,4	2,5
7	4,0	6,3	9,9	11,3	13,1	2,5	2,0
8	4,7	6,1	9,1	11,6	12,7	2,9	1,2
9	2,8	4,2	7,1	10,1	12,3	3,0	1,7
10	2,9	3,4	6,0	8,4	9,5	2,5	0,8
11	1,8	2,2	4,0	7,3	8,5	2,5	0,8
12	0,9	1,1	2,5	4,4	4,6	1,6	0,2

	X _{min,h} [g/kg]	X _{min,d} [g/kg]	X _{min,m} [g/kg]	X _{max,d} [g/kg]	X _{max,m} [g/kg]	A _{h,d} [g/kg]	A _{h,m} [g/kg]
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							
11							
12							

Halbsynthetisches Klimadatenmodell Österreich (HSKDM)

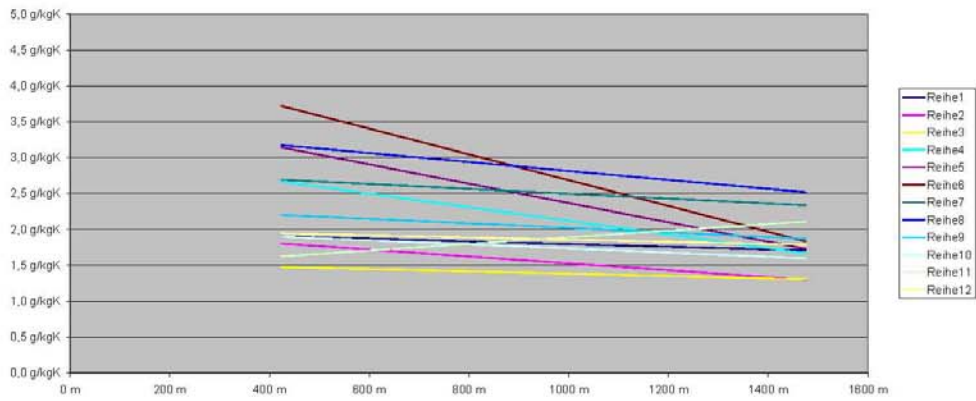


Halbsynthetisches Klimadatenmodell Österreich (HSKDM)

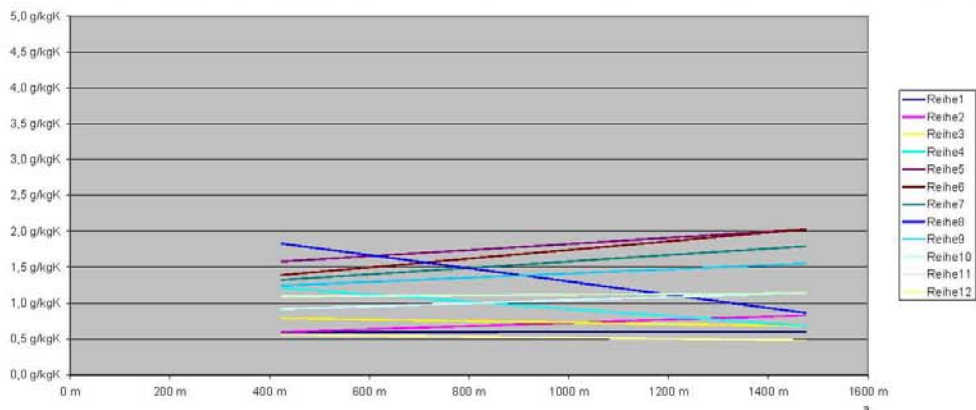
Klimaregion: W

Ort	Detail	Klimaregion	Bundesland	Seehöhe	5,8	3,2	0,8
Bregenz		W	V	424 m	6,8	3,6	10,2
Warth		W	V	1475 m	5,0	2,8	6,5
							7,5
							5,5

	1	2	3	4	5	6	MW
	424 m	1475 m					
1	1,9 g/kgK	1,7 g/kgK					1,8 g/kgK
2	1,8 g/kgK	1,3 g/kgK					1,8 g/kgK
3	1,5 g/kgK	1,3 g/kgK					1,4 g/kgK
4	2,7 g/kgK	1,7 g/kgK					2,2 g/kgK
5	3,1 g/kgK	1,7 g/kgK					2,4 g/kgK
6	3,7 g/kgK	1,8 g/kgK					2,8 g/kgK
7	2,7 g/kgK	2,3 g/kgK					2,5 g/kgK
8	3,2 g/kgK	2,5 g/kgK					2,8 g/kgK
9	2,2 g/kgK	1,9 g/kgK					2,0 g/kgK
10	1,9 g/kgK	1,6 g/kgK					1,7 g/kgK
11	1,6 g/kgK	2,1 g/kgK					1,9 g/kgK
12	1,8 g/kgK	1,8 g/kgK					1,8 g/kgK



	1	2	3	4	5	6	MW
	424 m	1475 m					
1	0,6 g/kgK	0,6 g/kgK					0,6 g/kgK
2	0,6 g/kgK	0,8 g/kgK					0,7 g/kgK
3	0,8 g/kgK	0,7 g/kgK					0,7 g/kgK
4	1,2 g/kgK	0,7 g/kgK					0,9 g/kgK
5	1,6 g/kgK	2,0 g/kgK					1,8 g/kgK
6	1,4 g/kgK	2,0 g/kgK					1,7 g/kgK
7	1,3 g/kgK	1,8 g/kgK					1,6 g/kgK
8	1,8 g/kgK	0,9 g/kgK					1,3 g/kgK
9	1,2 g/kgK	1,6 g/kgK					1,4 g/kgK
10	0,9 g/kgK	1,1 g/kgK					1,0 g/kgK
11	1,1 g/kgK	1,1 g/kgK					1,1 g/kgK
12	0,6 g/kgK	0,5 g/kgK					0,5 g/kgK



Halbsynthetisches Klimadatenmodell Österreich (HSKDM)

Bregenz (g.L. 9°44'45", g.B. 47°30'00", Seehöhe 424 m), Auswahl aus der Periode 1991 - 2005

	X _{min,h} (g/kg)	X _{min,t} (g/kg)	X _{min,d} (g/kg)	X _{min,m} (g/kg)	X _{min,j} (g/kg)	A _{h,t} (g/kg)	A _{h,m} (g/kg)
1	2,0	2,3	4,0	6,1	7,0	1,8	0,8
2	1,8	2,1	3,9	5,7	6,6	1,6	0,6
3	2,7	3,3	5,0	6,2	7,2	1,5	0,8
4	2,8	3,4	5,5	8,7	10,6	2,7	1,2
5	3,3	4,7	8,2	11,0	12,8	3,1	1,6
6	5,4	6,2	9,5	13,6	15,6	3,7	1,4
7	6,4	7,4	10,1	12,8	14,5	2,7	1,3
8	6,1	7,7	11,1	14,0	16,2	3,2	1,8
9	4,9	6,0	8,1	10,4	11,8	2,2	1,2
10	4,6	5,0	7,1	8,8	10,2	1,9	0,9
11	3,0	3,8	5,1	7,1	8,5	1,6	1,1
12	2,5	2,7	4,5	6,5	7,6	1,8	0,8

Warth (g.L. 10°11'08" Ost, g.B. 47°15'25" Nord, Seehöhe 1475 m), Auswahl aus der Periode 1991 - 2005

	X _{min,h} (g/kg)	X _{min,t} (g/kg)	X _{min,d} (g/kg)	X _{min,m} (g/kg)	X _{min,j} (g/kg)	A _{h,t} (g/kg)	A _{h,m} (g/kg)
1	0,8	1,0	2,7	4,5	5,4	1,7	0,8
2	0,8	1,4	2,7	4,0	5,1	1,3	0,8
3	1,5	2,1	3,4	4,8	5,5	1,3	0,7
4	1,8	2,4	4,0	5,8	6,5	1,7	0,7
5	2,3	4,0	5,4	7,4	9,8	1,7	2,0
6	4,0	5,4	7,3	8,1	11,8	1,8	2,0
7	3,4	5,1	7,9	9,8	11,7	2,3	1,8
8	5,4	6,3	8,3	11,3	12,1	2,5	0,9
9	3,9	5,3	6,6	9,0	10,8	1,9	1,6
10	2,5	3,0	4,7	6,2	8,0	1,6	1,1
11	1,5	2,0	3,8	6,2	8,0	2,1	1,1
12	1,1	1,5	3,0	5,1	5,8	1,8	0,5

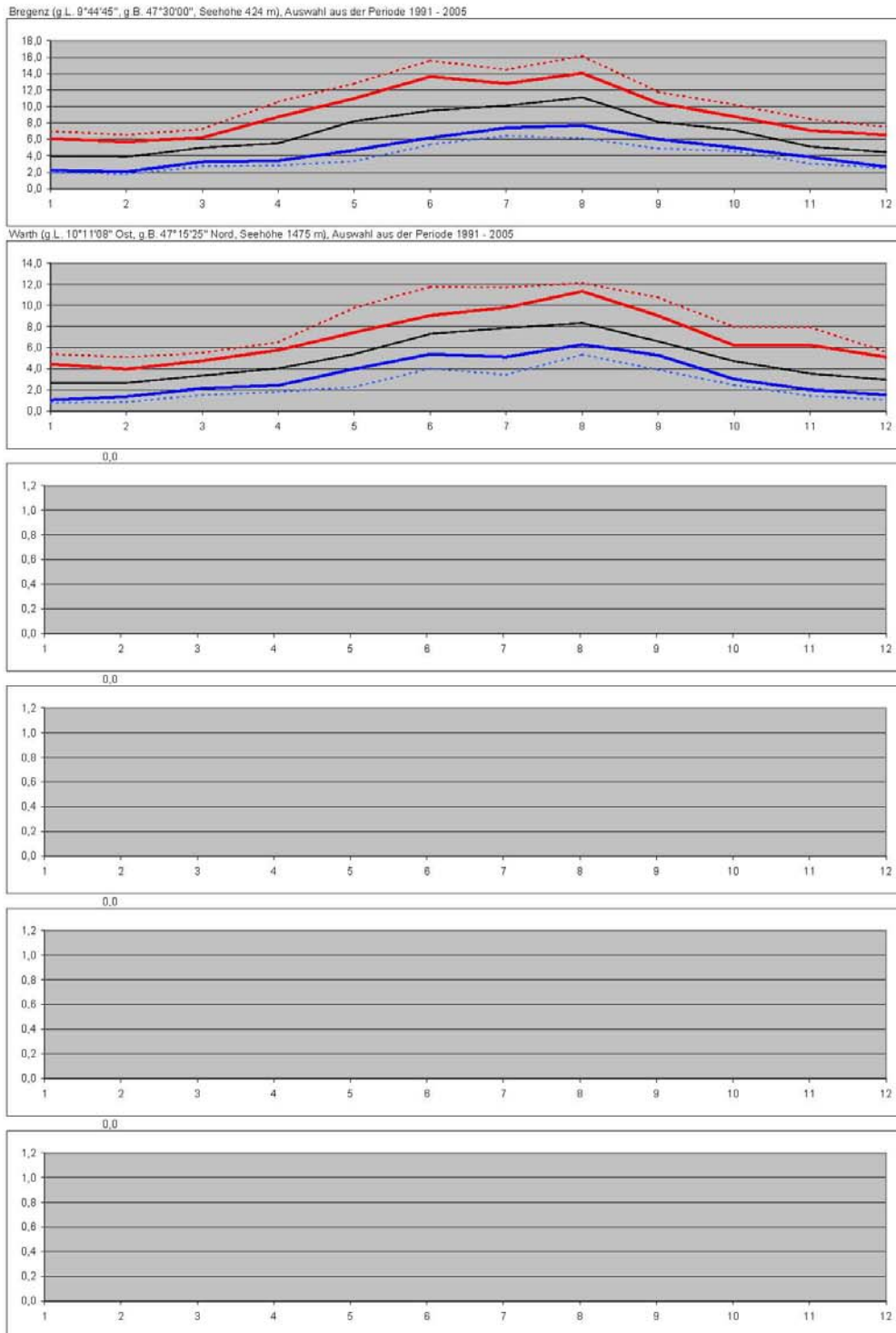
	X _{min,h} (g/kg)	X _{min,t} (g/kg)	X _{min,d} (g/kg)	X _{min,m} (g/kg)	X _{min,j} (g/kg)	A _{h,t} (g/kg)	A _{h,m} (g/kg)
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							
11							
12							

	X _{min,h} (g/kg)	X _{min,t} (g/kg)	X _{min,d} (g/kg)	X _{min,m} (g/kg)	X _{min,j} (g/kg)	A _{h,t} (g/kg)	A _{h,m} (g/kg)
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							
11							
12							

	X _{min,h} (g/kg)	X _{min,t} (g/kg)	X _{min,d} (g/kg)	X _{min,m} (g/kg)	X _{min,j} (g/kg)	A _{h,t} (g/kg)	A _{h,m} (g/kg)
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							
11							
12							

	X _{min,h} (g/kg)	X _{min,t} (g/kg)	X _{min,d} (g/kg)	X _{min,m} (g/kg)	X _{min,j} (g/kg)	A _{h,t} (g/kg)	A _{h,m} (g/kg)
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							
11							
12							

Halbsynthetisches Klimadatenmodell Österreich (HSKDM)

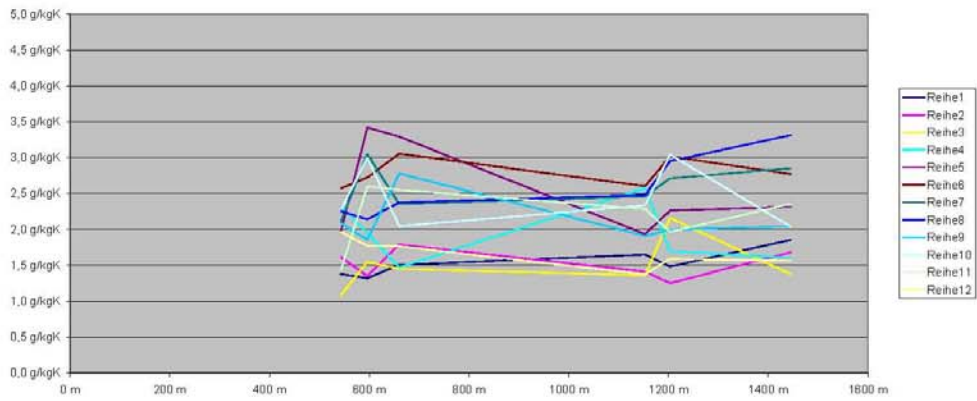


Halbsynthetisches Klimadatenmodell Österreich (HSKDM)

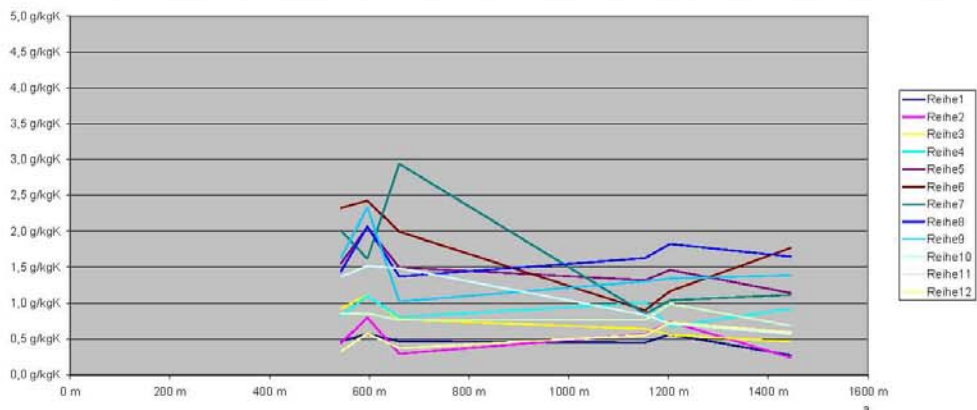
Klimaregion: ZA

Ort	Detail	Klimaregion	Bundesland	Seehöhe	5,6	3,3	0,6
Bischofshofen		ZA	S	543 m	5,9	3,7	6,1
Windischgarsten		ZA	OO	596 m	5,8	3,6	6,3
Bad Aussee		ZA	St	660 m	6,0	3,4	6,5
Maripfarr		ZA	S	1153 m	5,3	3,0	5,7
Ramsau	Dachstein	ZA	St	1203 m	5,5	3,2	5,7
Brenner		ZA	T	1445 m	5,2	3,1	5,7

	1 543 m	2 596 m	3 660 m	4 1153 m	5 1203 m	6 1445 m	MW
1	1,4 g/kgK	1,3 g/kgK	1,5 g/kgK	1,7 g/kgK	1,5 g/kgK	1,9 g/kgK	1,5 g/kgK
2	1,8 g/kgK	1,3 g/kgK	1,8 g/kgK	1,4 g/kgK	1,3 g/kgK	1,7 g/kgK	1,5 g/kgK
3	1,1 g/kgK	1,5 g/kgK	1,4 g/kgK	1,4 g/kgK	2,2 g/kgK	1,4 g/kgK	1,5 g/kgK
4	2,3 g/kgK	2,0 g/kgK	1,5 g/kgK	2,6 g/kgK	1,7 g/kgK	1,6 g/kgK	1,9 g/kgK
5	2,0 g/kgK	3,4 g/kgK	3,3 g/kgK	1,9 g/kgK	2,3 g/kgK	2,3 g/kgK	2,5 g/kgK
6	2,6 g/kgK	2,7 g/kgK	3,1 g/kgK	2,6 g/kgK	3,0 g/kgK	2,8 g/kgK	2,8 g/kgK
7	2,1 g/kgK	3,1 g/kgK	2,4 g/kgK	2,5 g/kgK	2,7 g/kgK	2,9 g/kgK	2,6 g/kgK
8	2,3 g/kgK	2,1 g/kgK	2,4 g/kgK	2,5 g/kgK	3,0 g/kgK	3,3 g/kgK	2,6 g/kgK
9	2,1 g/kgK	1,9 g/kgK	2,8 g/kgK	1,9 g/kgK	2,0 g/kgK	2,0 g/kgK	2,1 g/kgK
10	2,3 g/kgK	3,0 g/kgK	2,0 g/kgK	2,3 g/kgK	3,0 g/kgK	2,0 g/kgK	2,5 g/kgK
11	1,4 g/kgK	2,6 g/kgK	2,6 g/kgK	2,3 g/kgK	2,0 g/kgK	2,4 g/kgK	2,2 g/kgK
12	2,0 g/kgK	1,8 g/kgK	1,8 g/kgK	1,4 g/kgK	1,6 g/kgK	1,6 g/kgK	1,7 g/kgK



	1 543 m	2 596 m	3 660 m	4 1153 m	5 1203 m	6 1445 m	MW
1	0,5 g/kgK	0,6 g/kgK	0,5 g/kgK	0,4 g/kgK	0,6 g/kgK	0,3 g/kgK	0,5 g/kgK
2	0,4 g/kgK	0,8 g/kgK	0,3 g/kgK	0,6 g/kgK	0,7 g/kgK	0,2 g/kgK	0,5 g/kgK
3	0,9 g/kgK	1,1 g/kgK	0,8 g/kgK	0,6 g/kgK	0,5 g/kgK	0,5 g/kgK	0,7 g/kgK
4	0,8 g/kgK	1,1 g/kgK	0,8 g/kgK	1,0 g/kgK	0,7 g/kgK	0,9 g/kgK	0,9 g/kgK
5	1,6 g/kgK	2,1 g/kgK	1,5 g/kgK	1,3 g/kgK	1,5 g/kgK	1,1 g/kgK	1,5 g/kgK
6	2,3 g/kgK	2,4 g/kgK	2,0 g/kgK	0,9 g/kgK	1,2 g/kgK	1,8 g/kgK	1,8 g/kgK
7	2,0 g/kgK	1,8 g/kgK	2,9 g/kgK	0,9 g/kgK	1,0 g/kgK	1,1 g/kgK	1,6 g/kgK
8	1,4 g/kgK	2,1 g/kgK	1,4 g/kgK	1,6 g/kgK	1,6 g/kgK	1,8 g/kgK	1,7 g/kgK
9	1,6 g/kgK	2,3 g/kgK	1,0 g/kgK	1,3 g/kgK	1,3 g/kgK	1,4 g/kgK	1,5 g/kgK
10	1,4 g/kgK	1,5 g/kgK	1,5 g/kgK	0,8 g/kgK	0,7 g/kgK	0,6 g/kgK	1,1 g/kgK
11	0,9 g/kgK	0,9 g/kgK	0,8 g/kgK	0,8 g/kgK	1,0 g/kgK	0,7 g/kgK	0,8 g/kgK
12	0,3 g/kgK	0,6 g/kgK	0,4 g/kgK	0,6 g/kgK	0,7 g/kgK	0,6 g/kgK	0,5 g/kgK



Halbsynthetisches Klimadatenmodell Österreich (HSKDM)

Bischofshofen (g.L. 13°13'24" Ost, g.B. 47°24'20" Nord, Seehöhe 543 m), Auswahl aus der Periode 1991 - 2005

	$X_{min,h}$ [g/kg]	$X_{min,d}$ [g/kg]	$X_{m,d}$ [g/kg]	$X_{max,d}$ [g/kg]	$X_{max,h}$ [g/kg]	$A_{h,d}$ [g/kg]	$A_{h,m}$ [g/kg]
1	1,0	1,3	2,6	4,0	4,7	1,4	0,5
2	1,0	1,3	3,0	4,5	5,1	1,6	0,4
3	2,1	2,9	3,7	5,1	6,1	1,1	0,9
4	2,3	2,9	5,1	7,6	8,6	2,3	0,8
5	3,0	3,9	6,2	7,9	10,0	2,0	1,6
6	4,2	6,5	8,9	11,6	14,0	2,8	2,3
7	6,3	7,9	10,1	12,1	14,5	2,1	2,0
8	7,2	8,0	10,0	12,5	14,6	2,3	1,4
9	4,0	5,5	7,3	9,6	11,3	2,1	1,6
10	3,5	4,8	6,6	9,5	10,8	2,3	1,4
11	2,3	3,3	4,6	6,1	6,8	1,4	0,9
12	0,7	1,0	2,6	4,8	5,3	2,0	0,3

Wfndischgarsten (g.L. 14°20'00" Ost, g.B. 47°44'00" Nord, Seehöhe 596 m), Auswahl aus der Periode 1991 - 2005

	$X_{min,h}$ [g/kg]	$X_{min,d}$ [g/kg]	$X_{m,d}$ [g/kg]	$X_{max,d}$ [g/kg]	$X_{max,h}$ [g/kg]	$A_{h,d}$ [g/kg]	$A_{h,m}$ [g/kg]
1	1,0	1,3	2,7	4,0	4,8	1,3	0,6
2	1,0	1,0	3,4	4,6	5,3	1,3	0,8
3	1,9	2,6	4,1	5,7	7,2	1,5	1,1
4	2,6	3,3	5,0	7,2	8,7	2,0	1,1
5	2,8	4,0	6,8	10,9	13,8	3,4	2,1
6	5,3	6,6	8,2	12,0	15,6	2,7	2,4
7	5,1	6,1	8,8	12,2	14,4	3,1	1,8
8	6,1	7,6	8,8	11,8	14,5	2,1	2,1
9	4,7	6,1	7,8	9,8	13,1	1,9	2,3
10	3,2	4,1	5,6	10,1	12,3	3,0	1,5
11	1,1	1,9	4,0	7,1	8,0	2,6	0,9
12	0,6	0,8	2,8	4,3	5,3	1,8	0,6

Bad Aussee (g.L. 13°47'00" Ost, g.B. 47°38'41" Nord, Seehöhe 600 m), Auswahl aus der Periode 1991 - 2005

	$X_{min,h}$ [g/kg]	$X_{min,d}$ [g/kg]	$X_{m,d}$ [g/kg]	$X_{max,d}$ [g/kg]	$X_{max,h}$ [g/kg]	$A_{h,d}$ [g/kg]	$A_{h,m}$ [g/kg]
1	1,4	1,6	3,2	4,8	5,3	1,5	0,5
2	1,0	1,1	3,2	4,7	5,1	1,8	0,3
3	1,9	2,3	3,6	5,2	6,4	1,4	0,8
4	3,1	3,8	5,1	6,7	7,7	1,5	0,8
5	3,5	4,2	5,9	10,0	13,1	3,3	1,5
6	4,4	5,6	8,5	11,7	14,5	3,1	2,0
7	6,2	7,4	9,9	12,1	16,8	2,4	2,9
8	6,8	7,5	9,8	12,3	14,1	2,4	1,4
9	5,3	5,8	8,4	11,4	12,9	2,8	1,0
10	3,4	4,0	6,2	8,1	10,4	2,0	1,5
11	1,5	1,8	4,3	6,9	8,1	2,6	0,8
12	1,3	1,5	3,2	5,0	5,8	1,8	0,4

Manappfarr (g.L. 13°44'42" Ost, g.B. 47°09'07" Nord, Seehöhe 1153 m), Auswahl aus der Periode 1991 - 2005

	$X_{min,h}$ [g/kg]	$X_{min,d}$ [g/kg]	$X_{m,d}$ [g/kg]	$X_{max,d}$ [g/kg]	$X_{max,h}$ [g/kg]	$A_{h,d}$ [g/kg]	$A_{h,m}$ [g/kg]
1	0,9	1,0	2,7	4,3	5,1	1,7	0,4
2	1,2	1,6	3,0	4,4	5,2	1,4	0,5
3	1,5	2,1	3,7	4,9	5,6	1,4	0,6
4	1,7	1,5	4,1	6,6	8,4	2,6	1,0
5	3,2	3,9	6,0	7,8	9,7	1,9	1,3
6	4,7	5,5	7,6	10,7	11,7	2,8	0,9
7	5,3	6,0	8,7	10,9	12,0	2,5	0,9
8	5,3	6,4	8,8	11,4	13,3	2,5	1,6
9	4,3	5,1	7,0	9,0	10,7	1,9	1,3
10	2,7	3,3	5,5	8,0	9,0	2,3	0,8
11	1,4	2,0	3,8	6,5	7,5	2,3	0,8
12	1,1	1,4	2,6	4,1	4,9	1,4	0,8

Ramsau am Dachstein (g.L. 13°38'05" Ost, g.B. 47°25'33" Nord, Seehöhe 1203 m), Auswahl aus der Periode 1991 - 2005

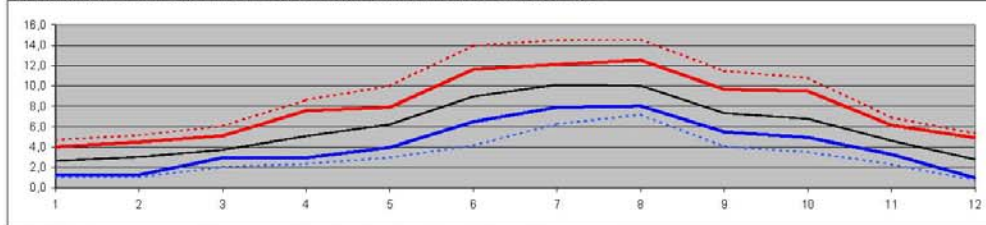
	$X_{min,h}$ [g/kg]	$X_{min,d}$ [g/kg]	$X_{m,d}$ [g/kg]	$X_{max,d}$ [g/kg]	$X_{max,h}$ [g/kg]	$A_{h,d}$ [g/kg]	$A_{h,m}$ [g/kg]
1	0,7	1,0	2,5	4,0	4,8	1,5	0,8
2	1,1	1,9	3,1	4,4	5,1	1,3	0,7
3	1,3	1,5	3,3	5,8	6,7	2,2	0,6
4	2,8	3,1	4,7	6,5	7,5	1,7	0,7
5	3,1	3,9	6,5	8,4	10,6	2,3	1,5
6	4,5	5,2	8,4	11,2	12,9	3,0	1,2
7	4,8	5,5	8,1	10,9	12,3	2,7	1,0
8	4,8	5,4	9,0	11,3	14,2	3,0	1,8
9	4,5	5,2	7,1	9,2	11,1	2,0	1,3
10	2,7	3,2	5,2	9,2	10,2	3,0	0,7
11	2,2	3,1	5,1	7,0	8,1	2,0	1,0
12	1,6	2,1	3,3	5,3	6,3	1,6	0,7

Brenner (g.L. 11°30'48" Ost, g.B. 47°00'20" Nord, Seehöhe 1445 m), Auswahl aus der Periode 1991 - 2005

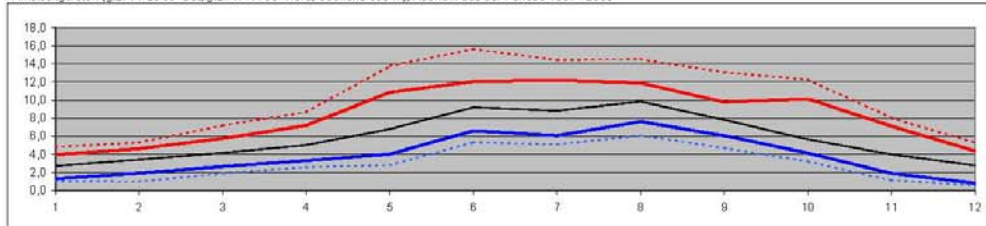
	$X_{min,h}$ [g/kg]	$X_{min,d}$ [g/kg]	$X_{m,d}$ [g/kg]	$X_{max,d}$ [g/kg]	$X_{max,h}$ [g/kg]	$A_{h,d}$ [g/kg]	$A_{h,m}$ [g/kg]
1	0,9	1,1	3,0	4,8	5,2	1,9	0,3
2	1,1	1,3	3,0	4,8	4,8	1,7	0,2
3	1,6	2,1	3,6	4,8	5,2	1,4	0,5
4	1,6	2,3	4,0	5,5	6,6	1,8	0,9
5	2,4	3,7	6,2	8,3	9,3	2,3	1,1
6	3,1	4,0	7,1	9,6	12,2	2,8	1,8
7	4,6	5,5	8,8	11,2	12,6	2,9	1,1
8	3,8	4,8	8,8	11,5	13,7	3,3	1,6
9	3,9	4,7	6,5	8,8	10,9	2,0	1,4
10	3,2	3,4	5,8	7,5	8,4	2,0	0,6
11	1,2	1,5	3,7	6,2	7,3	2,4	0,7
12	1,0	1,4	2,7	4,5	5,3	1,6	0,6

Halbsynthetisches Klimadatenmodell Österreich (HSKDM)

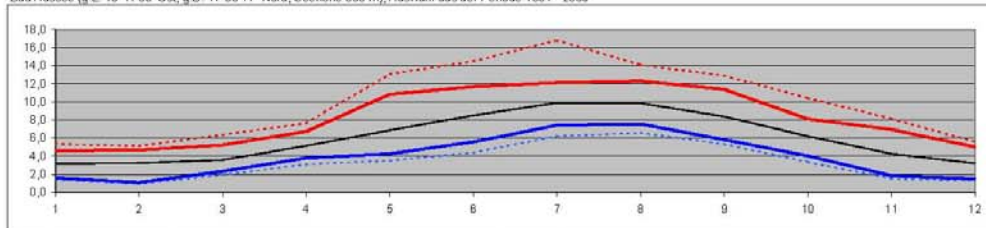
Bischofshofen (g.L. 13°13'24" Ost, g.B. 47°24'20" Nord, Seehöhe 543 m), Auswahl aus der Periode 1991 - 2005



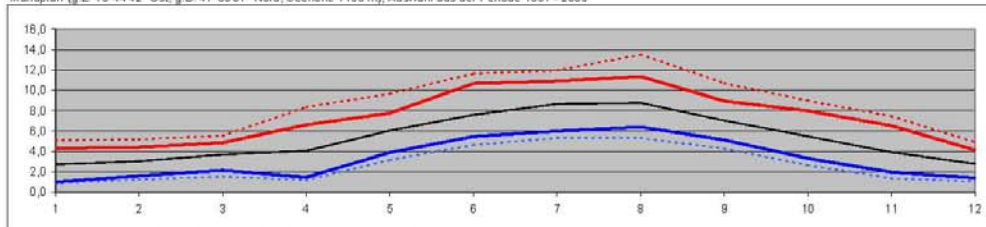
Mündschgarsten (g.L. 14°20'00" Ost, g.B. 47°44'00" Nord, Seehöhe 596 m), Auswahl aus der Periode 1991 - 2005



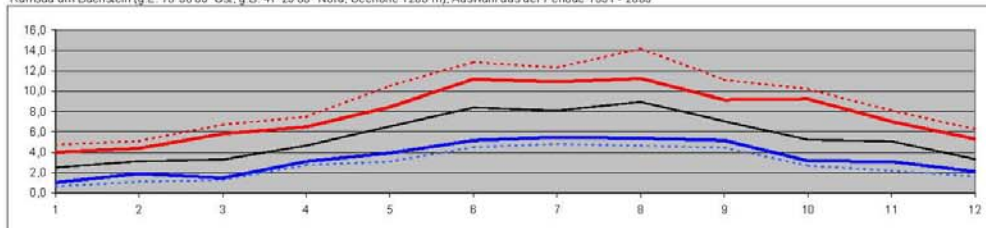
Bad Aussee (g.L. 13°47'00" Ost, g.B. 47°38'41" Nord, Seehöhe 680 m), Auswahl aus der Periode 1991 - 2005



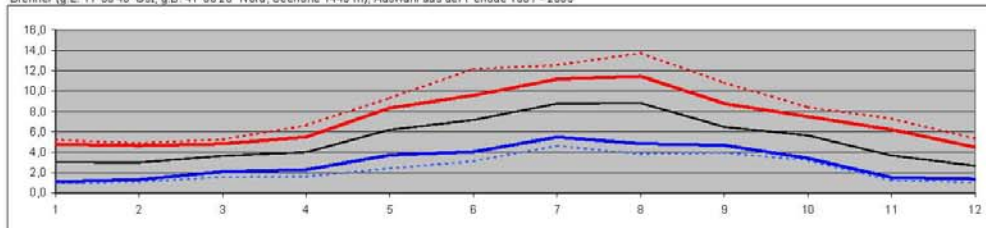
Manafjarr (g.L. 13°44'42" Ost, g.B. 47°09'07" Nord, Seehöhe 1153 m), Auswahl aus der Periode 1991 - 2005



Ramsau am Dachstein (g.L. 13°38'05" Ost, g.B. 47°25'33" Nord, Seehöhe 1203 m), Auswahl aus der Periode 1991 - 2005



Brenner (g.L. 11°30'48" Ost, g.B. 47°00'20" Nord, Seehöhe 1445 m), Auswahl aus der Periode 1991 - 2005





Was Sie bewegt. Die MA 39 - PÜZ informiert.

MA 39 – PÜZ

1110 Wien, Rinnböckstraße 15

Bauphysiklabor

**Standortunabhängige Berechnung
des Energiebedarfs für Heizen / Be-
feuchten und Kühlen / Entfeuchten
in Ergänzung zur Vornorm ÖNORM
H 5057**

Ein Forschungsprojekt
zwischen TU Graz und MA 39
Teil – TU Graz

Stand: 31. Dezember 2009

Standortunabhängige Berechnung des Energiebedarfs für
Heizen / Befeuchten und Kühlen / Entfeuchten
in Ergänzung zur Vornorm ÖNORM H 5057
(EA-H5057)

Institut für Wärmetechnik
Technische Universität Graz

Markus Gratzl-Michlmair¹
Wolfgang Streicher²

16. Dezember 2009

¹e-Mail: markus.michlmair@tugraz.at, Tel.: 0316 / 873-7312

²e-Mail: w.streicher@tugraz.at, Tel.: 0316 / 873-7306

Kurzfassung

Im Zuge der Umsetzung der EU-Richtlinie über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden aus dem Jahr 2002 wurde in Österreich ein Normenpaket geschnürt, in dem sämtliche den Energieausweis betreffende Berechnungsalgorithmen zusammengefasst sind. Die beiden Normenreihen ÖNORM B 8110 und ÖNORM H 5055 ff. geben Auskunft, wie in Österreich die erforderlichen Energiekennzahlen zu berechnen sind. Dabei erfolgt die Berechnung der Energiebedarfswerte einer raumlufttechnischen Anlagen in der ÖNORM H 5057.

Die Berechnung des Nutzenergiebedarfs zur Konditionierung des Zuluftvolumenstroms erfolgt mithilfe von spezifischen Energiekennwerten. Diese spezifischen Energiekennwerte wurden bislang für zwei Worst-Case-Klimata (Heizen und Kühlen) berechnet und als Monatswerte tabellarisch festgehalten. Es sollte eine Möglichkeit gefunden werden, die Berechnung auf Basis des allgemeinen Energieausweis-Klimamodells aus ÖNORM B 8110-5 vornehmen zu können. Dazu wurde ein halbsynthetisches Klimamodell entwickelt, das standortspezifisch und stundenweise Werte für Außenlufttemperatur und Außenluftfeuchte zur Verfügung stellt.

Die dadurch erforderlich gewordene Umstellung der Berechnungsalgorithmen von tabellarisch vorgegebenen Monatswerten hin zu stundenweise berechneten spezifischen Energiekennwerten wurde genutzt, um den Detaillierungsgrad der Berechnung zu erhöhen. Es wurden zusätzliche Aspekte wie Erdreichwärmetauscher, Feuchterückgewinnung im Kühlfall, Mischkammer und stundenweise Berechnung von Zulufttemperatur und Zuluftvolumenstrom berücksichtigt.

Neben der Darstellung des neuen Modells wird erläutert, wie das Modell der spezifischen Energiekennwerte in die Berechnungsalgorithmen der ÖNORM H 5057 eingebunden ist. Dabei wird auch die exakte Vorgangsweise bei der Ermittlung der spezifischen Energiekennwerte erläutert, wie sie bisher erfolgte und auf der die Tabellenwerte der gültigen Norm basieren.

Abstract

In the course of implementing the EU directive on energy performance of buildings dating (EPBD), Austria put together a package of standards, which summarizes all relevant algorithms for calculation of the energy performance of buildings in 2007. The two series of standards ÖNORM B 8110 and ÖNORM H 5055 ff provide information how energy indices are to be calculated. The calculation of heating and cooling demand of ventilation systems is described in ÖNORM H 5057.

The calculation of the energy demand to condition the airflow of the air-handling systems is performed by using specific energy indices. These specific energy indices were previously calculated for two worst-case-climates (for heating and for cooling) and presented tabulated as monthly values in the standard. Objective of this project was to find a way to calculate these values based on the overall climate model of energy performance calculations from ÖNORM B 8110-5. For this purpose a semi-synthetic climate model was developed, which provides site-specific and hourly values for ambient air temperature and outside air humidity.

The changeover from monthly to a hourly steps was used to increase the level of detail of the calculation of specific energy indices. Additional elements such as ground heat exchangers, heating and humidity recovery in the cooling mode, mixing chamber and hourly calculation of supply air temperature and airflow were integrated in the calculation.

Beside the presentation of the new model it is explained how the model of specific energy indices is involved into the calculation algorithms of ÖNORM H 5057. Therefore it is necessary to describe the approach of the previous calculation of specific energy indices being the basis of tabulated values of the valid standard.

Inhaltsverzeichnis

Symbolverzeichnis	5
Abkürzungsverzeichnis	6
1 Einleitung	9
1.1 Ausgangslage	9
1.2 Verbesserungspotential	10
1.3 Aufgabenstellung	11
1.4 Lösungsansatz	12
2 Modell der spezifischen Energiekennwerte	13
2.1 Einbettung in die Energiebedarfsberechnung der ÖNORM H 5057	16
2.2 Berechnung der spezifischen Energiekennwerte	17
2.2.1 Benchmark-Anlagen	17
2.2.2 Ermittlung der spezifischen Energiekennwerte	20
2.3 Berechnung des Nutzenergiebedarfs zur Konditionierung des Luftvolumenstroms	21
2.3.1 Schritt 1: Auswahl einer Benchmark-Anlage	21
2.3.2 Schritt 2: Anpassung der Benchmark-Parameter	22
2.3.3 Schritt 3: Denormierung	23
2.3.4 Schritt 4: Umrechnung auf den tatsächlichen Standort	24
2.4 Einsatzgrenzen des SEK-Modells	25
3 Halbsynthetisches Klimamodell	27
4 Standortsspezifische Berechnung der spezifischen Energiekennwerte	28
4.1 Allgemeines	28
4.1.1 Zielsetzung	28
4.1.2 Vorgangsweise	28
4.2 Schritt 1: Erstellen eines standortsspezifischen Modells	29
4.2.1 Anlagenkonfiguration	30

4.3	Schritt 2: Verfeinerung des Modells	32
4.3.1	Erdreichwärmetauscher	32
4.3.2	Wärme- und Feuchterückgewinnung Kühlfall	36
4.3.3	Umluftführung	37
4.3.4	Nacherhitzen bei Entfeuchtung	38
4.3.5	Variable Zulufttemperaturen	39
4.4	Verfeinertes SEK-Modell	54
4.4.1	RLT-Anlage ohne Befeuchtung	55
4.4.2	RLT-Anlage mit Verdunstungsbefeuchtung mit Zuluftfeuchteregelung	59
4.4.3	RLT-Anlage mit Verdunstungsbefeuchtung mit Taupunktregelung	63
4.4.4	RLT-Anlage mit Dampfbefeuchtung mit Zuluftfeuchteregelung	67
4.5	Berechnung der SEK-Werte	71
5	Zusammenfassung	72
	Verzeichnisse	75
	Literaturverzeichnis	75
	Abbilungsverzeichnis	77
	Tabellenverzeichnis	79
A	Berechnungsparameter für die ursprüngliche SEK-Berechnung	81
A.1	Sättigungsdampfdruck	81
A.2	Feuchtegrad der Luft	82
A.3	Enthalpie der Luft	82
A.4	Wärme- und Feuchterückgewinnung	83
A.5	Enthalpiedifferenz	83
A.6	Berechnung der erforderlichen Enthalpie	83
A.7	Klimadaten	84
B	Validierungsprüfungen	85
B.1	Standortspezifisches Modell	86
B.2	Erdreichwärmetauscher	88
B.3	Zulufttemperatur	90

Symbolverzeichnis

A Fläche; in [m ²]	φ relative Luftfeuchtigkeit; in [-]
a Anzahl; in [Stk.]	π Kreiszahl
c_p spezifische Wärmekapazität; in [kJ/(kg·K)]	θ Temperatur; in [°C]
d Durchmesser; in [m]	T zeitliche Verschiebung; in [h]
f Korrekturfaktor; in [-]	t Zeit; in [h]
G monatliche Gradstunden; in [K·h/Mo]	U Wärmedurchgangskoeffizient; in [W/(m ² · K)]
g Korrekturgradient; in [Wh/(m ³ /h·K)]	u Umluftanteil; in [-]
h Enthalpie; in [kJ/kg]	V Volumen; in [m ³]
L Leitwert; in [Wh/K]	v Luftvolumenstrom; in [m ³ /h]
l Länge; in [m]	v^* Strömungsgeschwindigkeit der Luft; in [m/s]
l flächenspezifischer Leitwert; in [Wh/(m ² ·K)]	x absolute Feuchte der Luft; in [g/kg] oder [kg/kg]
n Luftwechselzahl; in [1/h]	y Schwingungsamplitude; in [-]
P Leistung; in [W] oder [kW]	
Q Energiebedarf; in [kWh]	
q spezifischer Energiebedarf; in [Wh/m ³]	
q', q'' spezifischer Nutzenergiebedarf zur Konditionierung für die nächstkleinere und die nächstgrößere Stützstelle von Rückwärmzahl und Rückfeuchtzahl; in [Wh/m ³]	
r_0 Verdampfungswärme; in [kJ/kg]	
s Tiefe; in [m]	
α Wärmeübergangskoeffizient; in [W/(m ² · K)]	
Δ Differenz	
λ Wärmeleitfähigkeit; in [W/(m ² · K)]	
Φ Rückgewinnungszahl; in [-]	

Abkürzungsverzeichnis

a	außen	INF	Infiltration
AB	Abluft	int	intern
ac	airconditioned (engl.)	ISO	International Organization for Standardization (engl.)
AU	Außenluft	JH	Jahr
BEF	Luftbefeuchter	KB	Kühlbedarf
bel	Beleuchtung	KHL	Luftkühler
BF	Bezugsfläche	KVS	konstanter Volumenstrom
BO	Boden bzw. Erdreich	L	Luft
C	Kühlen	LE	Lufterneuerung
CEN	Comité Européen de Normalisation (franz.)	LENI	Beleuchtungsenergiebedarf
D	Dampf	LL	Luftleitung
DK	Drosselklappe	m	mittel
eff	effektiv	MA	Magistratsabteilung
EN	Europäische Norm	max	maximal
EWT	Erdreichwärmetauscher	MK	Mischkammer
FL	Fensterlüftung	MTLYM	monthly method (eng.)
FO	Fortluft	NEH	Luftnacherhitzer
FRG	Feuchterückgewinnung	Nutz	Nutzung
ges	gesamt	o	Oberfläche
H	Heizen	op	opak
HC	heating/cooling (engl.)	PB	prozessbedingt
HRLYM	hourly method (eng.)	R5C1	five resistances, one capacity (engl.)
HWB	Heizwärmebedarf	R6C1	six resistances, one capacity (engl.)
i	innen	RA	Raumluft
IN	Innenluft	RLT	raumlufttechnisch

SEK	spezifische Energiekennwerte
SFP	specific fan power (engl.)
SM	Speichermasse
sol	solar
St	Befeuchten
T	Transmission
TABS	thermoaktive Bauteilsysteme
tot	total
tr	transparent
TRNSYS	transient systems simulation (engl.)
un	uneingeschränkt
V	Ventilation
VEH	Luftvorerhitzer
VENT	Ventilator
VHR	Vorheizregister
VVS	variabler Volumenstrom
WKM	Wärme-Kapazitäten-Modell
WRG	Wärmerückgewinnung
ZU	Zuluft

Kapitel 1

Einleitung

1.1 Ausgangslage

Im Zuge der Umsetzung der EU-Richtlinie über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden [9] in Österreich musste ein Verfahren für die Berechnung von Energieausweisen erstellt werden. Die dazu erforderlichen Berechnungsalgorithmen sollten ursprünglich im „Leitfaden energietechnisches Verhalten von Gebäuden“, herausgegeben vom Österreichischen Institut für Bautechnik, erscheinen [31]. Im Zuge der weiteren Umsetzung der EU-Gebäuderichtlinie wurde jedoch 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 Richtlinie 6 „Energieeinsparung und Wärmeschutz“ [33] des harmonisierten österreichischen Baugesetzes veröffentlicht [32].

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 [21, 22, 23, ?] und andererseits die haustechnischen Aspekte der Berechnung in den Normen ÖNORM H 5056 bis ÖNORM H 5059 [43, 44, 45, 46]. Die Berechnung der Energiebedarfswerte von raumlufttechnischen Anlagen ist in der ursprünglichen Form in der Vornorm ÖNORM H 5057:2007 geregelt [44].

Bei der Einbindung der Vornorm ÖNORM H 5057 in die Energieausweis-Schulungssoftware wurde jedoch offenbar, 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 im Jahr 2009 in die Neufassung der ÖNORM H 5057 aufgenommen, die mit 2010-01-01 erscheinen wird [30]. Damit ist nun eine eindeutige Interpretierbarkeit der Norm gegeben, wodurch auch die Umsetzung in den Berechnungsprogramm problemlos möglich ist. Im Zuge dieser Überarbeitung wurde jedoch auch offensichtlich, dass einige in der ÖNORM abgebildeten Berechnungsansätze Potential zu einer weiteren Verfeinerung und damit Verbesserung der Ergebnisse aufweisen.

1.2 Verbesserungspotential

Der Energiebedarf einer raumlufttechnischen Anlage setzt sich aus zwei Elementen zusammen:

- dem Nutzenergiebedarf zur Konditionierung des Luftvolumenstroms und
- dem Endenergiebedarf zur Luftförderung.

Die Berechnung des Nutzenergiebedarfs zur Konditionierung des Luftvolumenstroms – also jene Energiemenge, die erforderlich ist, um über die RLT-Anlage eine Raumklimatisierung vornehmen zu können – erfolgt über den Ansatz der „spezifischen Energiekennwerte“ (SEK). Diese spezifischen Energiekennwerte geben an, wieviel Energie einem Luftvolumenstrom von $1 \text{ m}^3/\text{h}$ zugeführt werden muss, um die gewünschte Konditionierung – Heizen, Kühlen oder Befeuchten auf ein bestimmtes Temperatur- oder Feuchteniveau – vornehmen zu können. Durch Multiplikation mit dem tatsächlich auftretenden Luftvolumenstrom kann somit berechnet werden, welche Energiemenge an die raumlufttechnische Anlage für Heizen, Kühlen und Befeuchten geliefert werden muss.

Für die Höhe der spezifischen Energiekennwerte sind Temperatur und Feuchtegehalt der Außenluft von zentraler Bedeutung:

- wärmere Außentemperaturen bedeuten niedrigere SEK-Werte für Heizen, aber höhere für Kühlen
- kühlere Außentemperaturen hingegen bedeuten niedrigere SEK-Werte für Kühlen, aber höhere für Heizen
- die absolute Luftfeuchtigkeit der Umgebungsluft bestimmt, wie stark die Zuluft in den Raum be- oder entfeuchtet werden muss, um die Behaglichkeitskriterien zu erfüllen

Bisher wurden die spezifischen Energiekennwerte derart ermittelt, dass für Heizen und für Kühlen jeweils ein „Worst-Case“-Standort in Österreich ausgewählt wurde. Für diese beiden Standorte wurden die SEK-Werte berechnet und als Monatsmittelwerte in der Norm abgebildet. Abschließend wurde über einen verhältnismäßig groben Zusammenhang aus Heizgradstunden und Kühlgradstunden vom Standortklima auf den tatsächlichen Standort des Gebäudes umgerechnet. Diese abschließende Umrechnung reduzierte die Exaktheit des gesamten Verfahrens erheblich.

Außerdem machte es diese Art der Berechnung erforderlich, in einer Reihe von Tabellen die Monatswerte der spezifischen Energiekennwerte für verschiedene Anlagentypen anzugeben. Diese Darstellungsform hatte den erheblichen Nachteil, dass die SEK-Werte einmal für die Erstellung der Norm berechnet wurden und anschließend nur mehr unter erheblichem Aufwand nachvollzogen werden konnten. Für Normennutzer, die im Regelfall keinen Zugang zu der einschlägigen Dokumentation der Berechnung hatten, war es nicht möglich, die Berechnung der Werte nachzuvollziehen. Dadurch wurde die Verständlichkeit der ÖNORM H 5057 wesentlich beeinträchtigt.

1.3 Aufgabenstellung

Ziel des Projekts „Standortunabhängige Berechnung des Energiebedarfs für Heizen/Befeuchten und Kühlen/Entfeuchten in Ergänzung zur ÖNORM H 5057“ war es daher, die Algorithmen für die Berechnung des Nutzenergiebedarfs zur Konditionierung des Zuluftvolumenstroms zu überprüfen und gegebenenfalls zu überarbeiten. Dabei sollten einige Mängel, die durch die Berechnung über das Modell der spezifischen Energiekennwerte vorgegeben waren, beseitigt werden.

Die wesentlichsten dieser Mängel sind die folgenden:

- Berechnung des Energiebedarfs der RLT-Anlage über Worst-Case-Klimata an Referenzstandorten;
- direkter Vergleich der so berechneten SEK-Werte mit standortspezifischen Berechnungen des Heizwärmebedarfs und Kühlbedarfs zur Aufteilung des zu deckenden Nutzenergiebedarfs auf unterschiedliche Abgabe- und Bereitstellungssysteme
- stark eingeschränkte Nachvollziehbarkeit der SEK-Werte für den Normen-Nutzer
- eingeschränkte spätere Adaptierbarkeit der SEK-Werte, da nur sehr wenige Personen mit deren Ermittlung vertraut sind
- physikalische Einbindung der SEK-Werte in die Berechnungsumgebung bei verschiedenen Aspekten nicht korrekt (bspw. Denormierung, Anpassung der Benchmark-Parameter, Zusammenhang der Berechnung „Lufterneuerung – prozessbedingte Lüftung“)
- SEK-Werte beinhalten Berechnungsungenauigkeiten (bspw. Entfeuchten)
- Anpassung an das tatsächliche Klima nur mangelhaft möglich
- keine Berücksichtigung von Umluftanlagen möglich

Im Vordergrund stand die Änderung des SEK-Modells dahingehend, dass eine nachvollziehbar stundenweise Berechnung der Energiekennwerte für Heizen, Kühlen und Befeuchten ermöglicht wird. 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.

1.4 Lösungsansatz

Um die beschriebene Aufgabenstellung bestmöglich erfüllen zu können, wurde folgender Lösungsansatz gewählt:

- **Analyse des vorhandenen Modells der spezifischen Energiekennwerte**

Um neue Berechnungsalgorithmen entwickeln zu können, war zuerst eine detaillierte Analyse des vorhandenen SEK-Modells erforderlich.

- **Halbsynthetisches Klimamodell**

Als nächster Schritt war eine wesentliche Voraussetzung zu erfüllen: Ein Klimamodell musste erstellt werden, mithilfe dessen die standortspezifische Berechnung von Stundenwerten der Außenlufttemperatur, der Außenluftfeuchte und eventuell des Luftdrucks möglich wird. Dazu sollte ein halbsynthetisches Klimamodell generiert werden, das auf den gemäß ÖNORM B 8110-5 [23] berechenbaren Monatsmittelwerten der Außenlufttemperatur am jeweiligen Standort aufbaut.

- **Alternative Berechnung der spezifischen Energiekennwerte**

Anschließend musste auf Grundlage der nun stundenweise vorhandenen standortspezifischen Zustandswerte der Außenluft ein nachvollziehbarer Berechnungsalgorithmus gefunden werden, der zukünftig das Modell der spezifischen Energiekennwerte in der ÖNORM H 5057 ersetzen kann.

Dies erforderte ebenfalls mehrere Schritte:

- **Erstellen eines dynamischen Modells**

Als erstes wurde versucht, das vorhandene SEK-Modell mit dem halbsynthetischen Klimamodell zu verknüpfen. Dazu wurde das ursprünglich statische Programmier-Modell dahingehend ergänzt, dass dynamische Veränderungen der Eingabeparameter (Zustandswerte der Außenluft, Anlagenparameter, etc.) vorgenommen werden konnten.

- **Verfeinerung des Modells**

Anschließend wurde das nun dynamische Modell um weitere Aspekte verfeinert. So wurden zum Beispiel Erdreichwärmetauscher, Umluftführung, oder Wärmerückgewinnung im Kühlfall implementiert. Das dadurch entstandene Berechnungsmodell war entsprechend komplexer als das ursprüngliche Modell, in dem diese Aspekte nicht berücksichtigt wurden.

- **Sensitivitätsanalysen zur Vereinfachung**

Daher musste in einem weiteren Schritt die Komplexität reduziert werden. Dazu wurden Sensitivitätsanalysen durchgeführt, welche Aspekte der Berechnung einen vernachlässigbaren Einfluss auf das Gesamtergebnis nach sich zogen.

- **Vereinfachte Berechnungsalgorithmen**

Die nun vereinfachten Berechnungsalgorithmen wurden in weiterer Folge normativ festgehalten.

- **Muster-Programmierung**

Abschließend erfolgte eine Muster-Programmierung der ausgearbeiteten vereinfachten Algorithmen, um bei Projektabschluss eine praktische Dokumentation des neuen Berechnungsvorschlags vorweisen zu können.

Der vorliegende Bericht ist entsprechend des gewählten Lösungsansatzes aufgebaut.

Kapitel 2

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 °C):

$$h_L = c_{p,L} \cdot \theta \quad (2.1)$$

$$h_D = r_0 + c_{p,D} \cdot \theta \quad (2.2)$$

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

$$h = h_L + x \cdot h_D \quad (2.3)$$

$$h = c_{p,L} \cdot \theta + x \cdot (r_0 + c_{p,D} \cdot \theta) \quad (2.4)$$

Zur vereinfachten Darstellung der Vorgänge bei der Konditionierung des Luftvolumenstroms wird das h-x-Diagramm für feuchte Luft nach Mollier herangezogen (siehe Abbildung 2.1).

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 elektrischer Luftvorheizregister in der Luftvorwärmung. In den anderen Anlagenbestandteilen erfolgt eine passive Konditionierung (Erdreichwärmetauscher, Wärme- und Feuchterückgewinnung, Mischkammer).

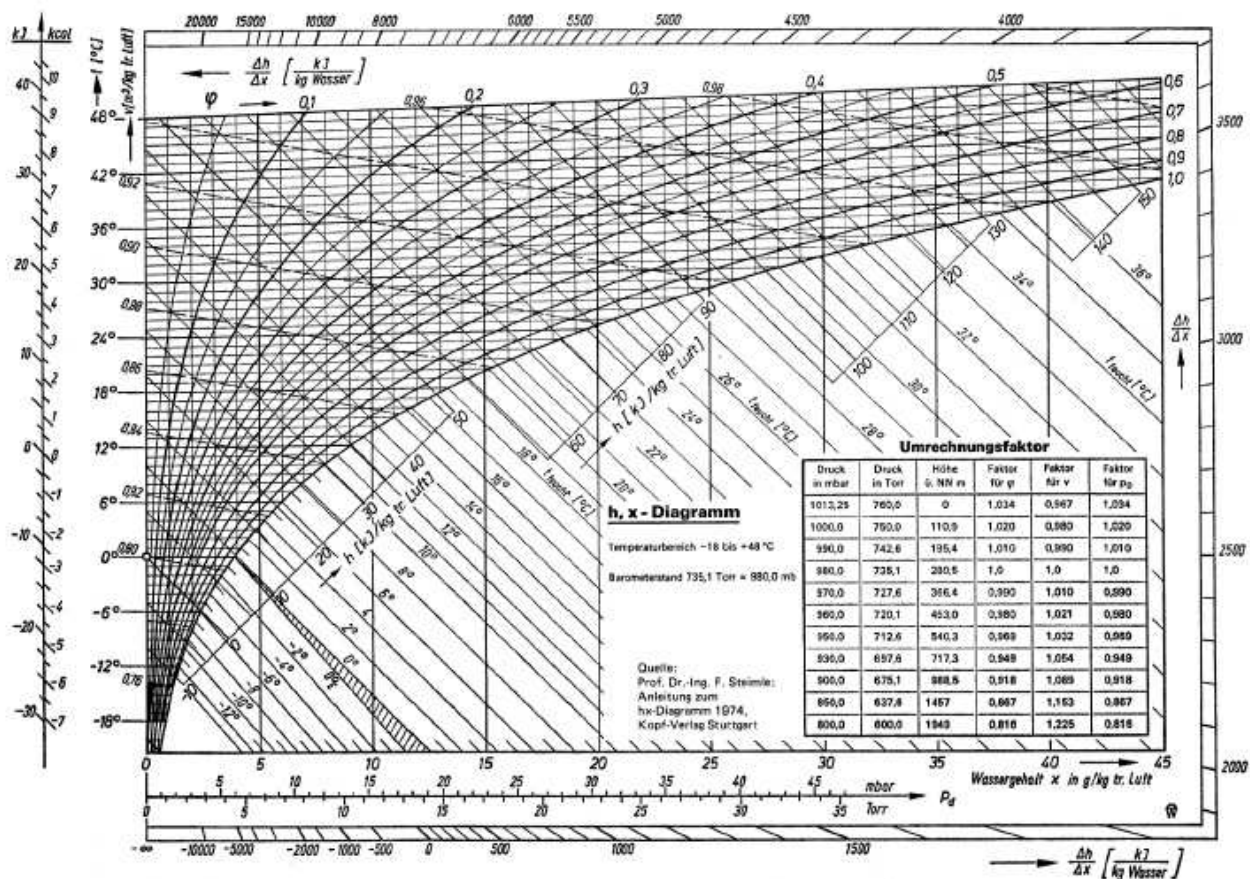


Abbildung 2.1: h-x-Diagramm für feuchte Luft nach Mollier (Luftdruck: 980 hPa = 980 mbar)

Zur besseren Veranschaulichung, welche Konditionierungsschritte für die verschiedenen Luftzustände erforderlich sind, können im h-x-Diagramm Zonen definiert werden (siehe Abbildungen 2.2 und 2.3). Diese Zonen umfassen jeweils Luftzustände, die die gleichen Konditionierungsschritte erfahren müssen, um schlussendlich die gewünschte Zulufttemperatur und -feuchte 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 Dampf-befeuchtung:

- 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 können¹ Die Zustandsänderung bei Verdunstungsbefeuchtung ist annähernd isenthalp (gleicher Enthalpie).

- Bei Dampfbefeuchtung wird die erforderliche Luftfeuchtigkeit in Form von Sattdampf 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).

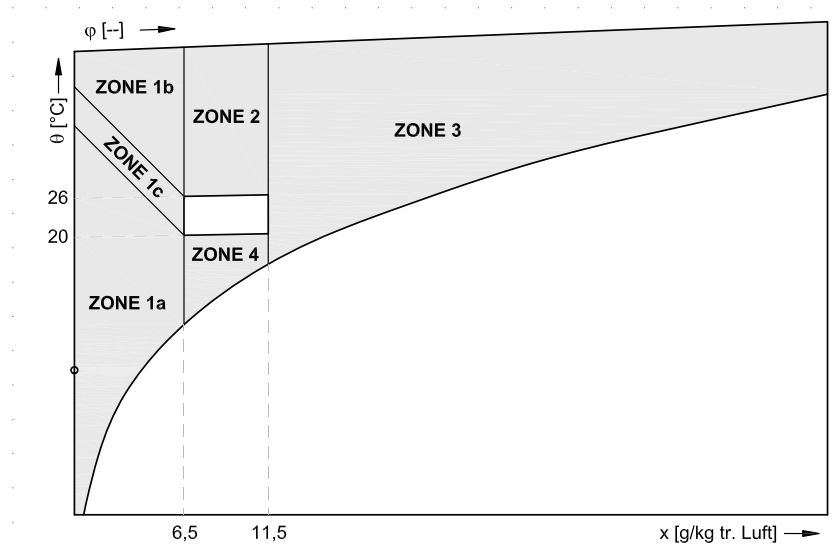


Abbildung 2.2: Zonenteilung des h-x-Diagramms bei adiabater Befeuchtung (Verdunstungsbefeuchtung)

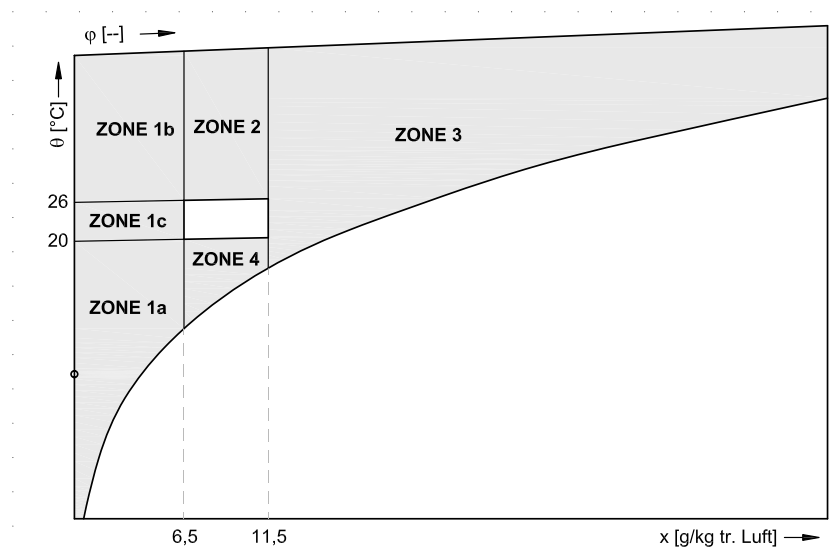


Abbildung 2.3: Zonenteilung des h-x-Diagramms bei Dampfbefeuchtung

¹Durch die Regelung der adiabaten Befeuchtung kann eine derartige Nacherhitzung vermieden werden.

2.1 Einbettung 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 durchgeführt und 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). Die Werte dienen als Eingangsgrößen für die Berechnung in der Norm.

Abbildung 2.4 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°C und einer absoluten Außenluftfeuchte von $2,1 \text{ g/kg}$) auf die geforderten Zuluftbedingungen (in diesem Fall 31°C und $6,5 \text{ g/kg}$) konditionieren zu können. Dazu wird in drei Schritten vorgegangen:

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 bzw. Rückfeuchtzahl.

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.

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 gewünschtem 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 Verdunstungs-befeuchtung 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 Dampfbefeuchtern hingegen wurde der Nutzenergiebedarf für die Befeuchtung explizit berechnet.

- spezifische Energiekennwerte für **Heizen** – q_H

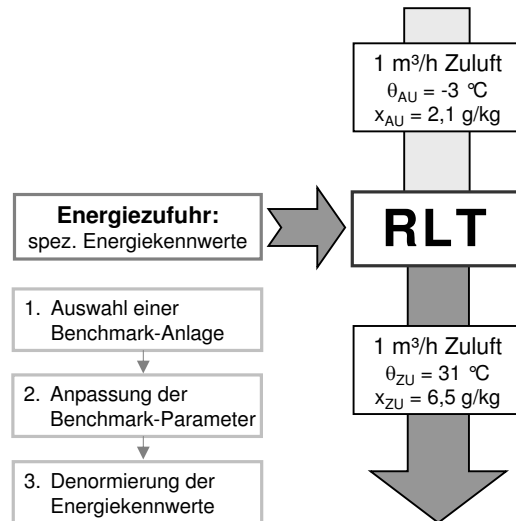


Abbildung 2.4: Übersichtsdarstellung der Systematik des Verfahrens der spezifischen Energiekennwerte

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

Ein Vergleich mit den Energiekennwerten aus der Nutzenergieberechnung – 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.

2.2 Berechnung der spezifischen Energiekennwerte

2.2.1 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 definiert, jede Anlage deckt eine 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 Zuluftfeuchte-geregelten Verdunstungsbefeuchter die adiabate Befeuchtung auf 60% relative Feuchte erfolgt. Das bedeutet, die Außenluft wird erwärmt (Vorerwärmung), adiabat auf 60% relative Luftfeuchtigkeit befeuchtet und danach auf die gewünschte Raumtemperatur nacherwärmt (Nacherwärmung). 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 mit 100 °C). 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 2.5 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 die 41 Benchmark-Anlagen berechnet. Die Berechnung erfolgte für verschiedene Zulufttemperaturen im Bereich von 10 °C bis 50 °C². Die Darstellung der berechneten Werte erfolgte derart, 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.

²Der Bereich der Zulufttemperaturen betrug in der Ausgabe 200z der ÖNORM H 5057 ursprünglich 14 bis 35 °C [44]. Im Zuge der Adaptierung im Jahr 2010 wurde die Möglichkeit geschaffen, auch Passivhäuser mit einer Zulufttemperatur von bis zu 50 °C berechnen zu können. Aus diesem Grund wurde der Wertebereich der Zulufttemperaturen ausgedehnt. [30]

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 2.5: Konfiguration der Benchmark-Anlagen zur Bestimmung der spezifischen Energiekennwerte (Bildquelle: [44])

2.2.2 Ermittlung der spezifischen Energiekennwerte

Bei der Ermittlung der spezifischen Energiekennwerte wurde gemäß folgender Vorgangsweise 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 miteingezogen.
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 Temperaturkorrektur-Gradienten angegeben.

Abluftzustand

Zur Berücksichtigung der Wärme- und Feuchterückgewinnungs-Systeme ist es erforderlich, auch den Zustand der Abluft zu kennen (θ_{AB} und x_{AB}). Dazu werden je nach h-x-Zone gemäß VDI 2078 [42] 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)
 - $\theta_{AB} = 20,0 - 26,0$ °C
- Feuchteanforderung mit Toleranz
 - $x_{AB} = x_{AU}$ mit: $6,5 \leq x_{AU} \leq 11,5$ g/kg
 - $\theta_{AB} = 20,0 - 26,0$ °C
- Feuchteanforderung ohne Toleranz
 - $x_{AB} = 9,0$ g/kg
 - $\theta_{AB} = 20,0 - 26,0$ °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 [8]:

- 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 bzw. 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 Unterscheidung zwischen Heiz- und Kühlfall erfolgt über die Außenlufttemperatur. Liegt die Außenlufttemperatur unter 20 °C muss beheizt werden, liegt sie über 20 °C muss gekühlt werden.
- Die spezifischen Energiekennwerte werden für eine Zulufttemperatur von 20 °C berechnet.
- 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 (s. Abbildung 2.5) 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) [8, 31]. 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.

2.3 Berechnung des Nutzenergiebedarfs zur Konditionierung des Luftvolumenstroms

2.3.1 Schritt 1: Auswahl einer Benchmark-Anlage

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

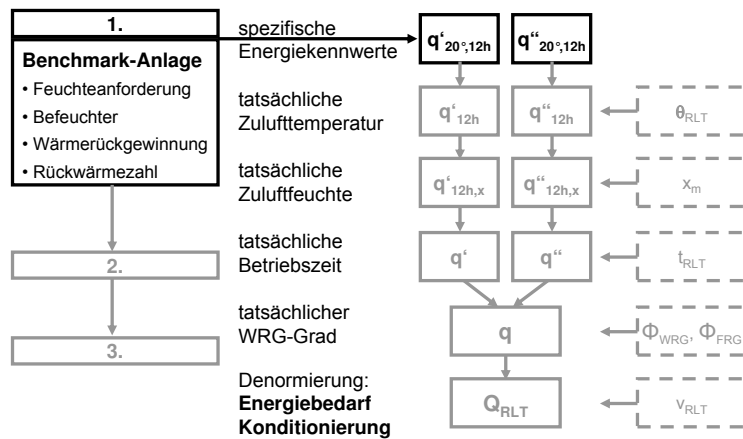


Abbildung 2.6: Berechnung des Nutzenergiebedarfs zur Konditionierung des Luftvolumenstroms. Schritt 1: Auswahl einer Benchmark-Anlage

- Feuchteanforderung in der Gebäudezone
- Typ des Luftbefeuchtungs-Systems
- Typ der 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. Zusätzlich sind auch die Temperaturkorrektur-Gradienten angegeben, mithilfe derer im zweiten Schritt die Korrektur auf die tatsächliche Zulufttemperatur vorgenommen werden kann.

2.3.2 Schritt 2: Anpassung der Benchmark-Parameter

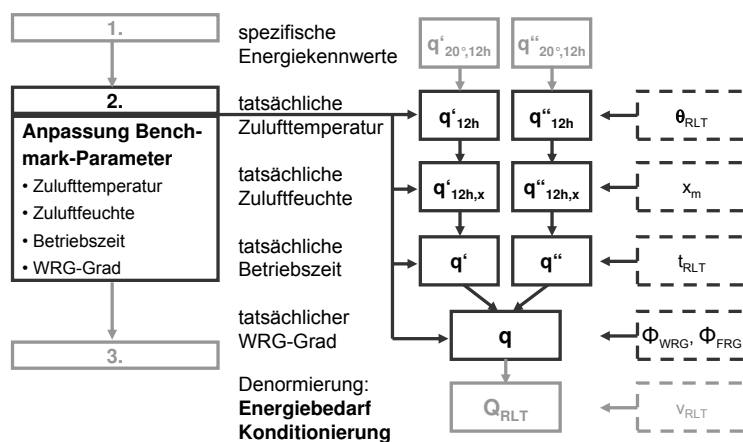


Abbildung 2.7: Berechnung des Nutzenergiebedarfs zur Konditionierung des Luftvolumenstroms. Schritt 2: Anpassung der Benchmark-Parameter

Schritt zwei der Berechnung 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 $20\text{ }^{\circ}\text{C}$. Die Korrektur auf die tatsächliche Zulufttemperatur erfolgt über Temperaturkorrekturgradienten, die wie die spezifischen Energiekennwerte anlagenspezifisch angegeben sind³. Die tatsächliche Zulufttemperatur wird monatsweise in Abhängigkeit vom Volumenstromsystem, vom monatlichen Nutzenergiebedarf und vom Energiebedarf für die 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 konnte⁴.
- 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 vorsieht, ist eine dahingehende 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 von Korrekturfaktoren $f_{h,H}$ für Heizen, $f_{h,C}$ für Kühlen und $f_{h,St}$ für Dampfbefeuchtung erreicht [6]. Abbildung 2.8 zeigt die Höhe der Korrekturfaktoren aufgetragen über der täglichen Anlagenbetriebszeit. Die Abbildung beschreibt den Umstand, dass bei RLT-Anlagen mit einer längeren als einer täglichen Betriebszeit als 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 Tag-Nacht-Schwankungen unterworfen ist.

- Korrektur auf die tatsächliche Rückwärmzahl / Rückfeuchtzahl: Nachdem für die Benchmark-Anlagen Stützstellen für Rückwärm- und Rückfeuchtzahl definiert wurden, ist eine Korrektur auf die tatsächlichen Werte der Anlage erforderlich. Sämtliche bisherigen Berechnungsschritte sind für die nächstkleinere und die nächstgrößere Stützstelle von Φ_{WRG} und Φ_{FRG} durchzuführen. Im Zuge der Korrektur wird linear zwischen diesen beiden Werten interpoliert und so die spezifischen Energiekennwerte für die tatsächliche Rückwärm- und Rückfeuchtzahl berechnet.

2.3.3 Schritt 3: Denormierung

Der dritte Schritt umfasst die Denormierung. 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.

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

⁴Im 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 Grundgedanken der Bedarfsermittlung entspricht, sondern durch spezielle Nutzeranforderungen bestimmt wird.

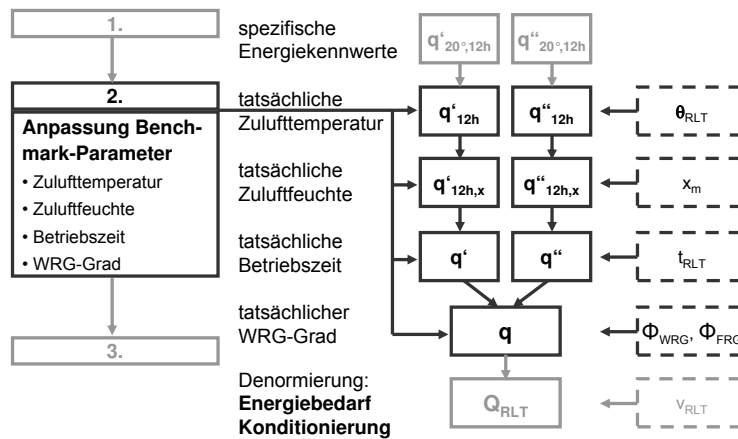


Abbildung 2.8: Korrektur der spezifischen Energiekennwerte an die tatsächliche Betriebszeit. Korrekturfaktoren $f_{h,H}$, $f_{h,C}$ und $f_{h,St}$ für die erforderliche Anpassung aufgrund der Tag-Nacht-Asymmetrie

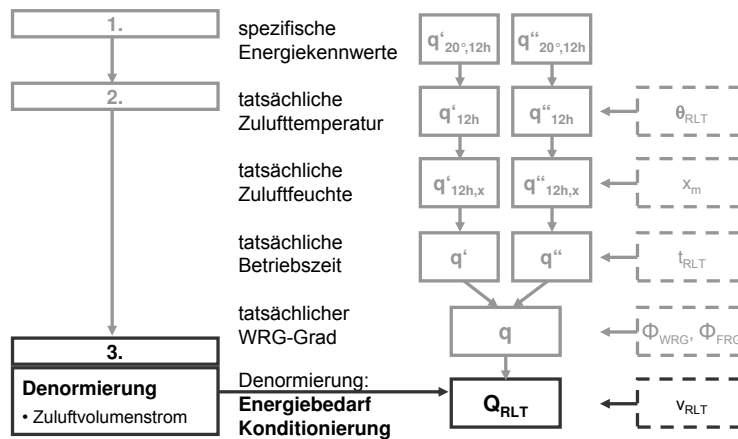


Abbildung 2.9: Berechnung des Nutzenergiebedarfs zur Konditionierung des Luftvolumenstroms. Schritt 3: Denormierung

2.3.4 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 eine Aufteilung vornehmen zu können, welcher Anteil des Nutzenergiebedarfs über die RLT-Anlage bzw. 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 2.10). Dieser Zusammenhang wurde aus einer

Analyse von Klimadatensätzen verschiedener Standorte in Österreich hergeleitet und stellt sich wie folgt dar:

$$G_H \leq 8.000 : G_C = -5,250 \cdot 10^{-9} \cdot G_H^3 + 1,214 \cdot 10^{-4} \cdot G_H^2 - 9,496 \cdot 10^{-1} \cdot G_H + 2529 \quad (2.5)$$

$$G_H > 8.000 : G_C = 0 \quad (2.6)$$

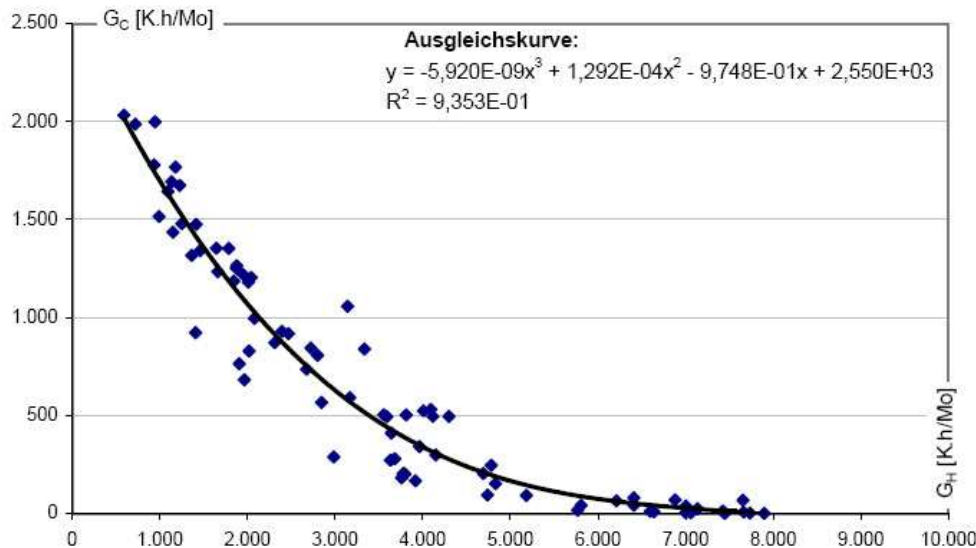


Abbildung 2.10: Zusammenhang zwischen monatlichen Heiz- und Kühlgradstunden (Datengrundlage: TRY-Datensätze der neun Landeshauptstädte und drei weiterer Standorte)

2.4 Einsatzgrenzen des SEK-Modells

Das Modell der spezifischen Energiekennwerte weist einige Schwachstellen auf, die einen bedenkenlosen Einsatz im Rahmen der Berechnungen der ÖNORM H 5057 einschränken. Die wesentlichsten Aspekte sind die folgenden:

- Die spezifischen Energiekennwerte sind normativ festgelegt, ihre Herleitung kann nicht nachvollzogen werden. Die Verständlichkeit der Berechnungsalgorithmen ist daher eingeschränkt.
- 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).
- Es existieren unzählige Varianten von RLT-Anlagen. Die Zusammenfassung zu 41 Benchmark-Anlagen deckt lediglich ein sehr schmales Spektrum ab.
- Die SEK-Berechnung enthält Ungenauigkeiten bei Kühlen und Entfeuchten. Anstatt der physikalisch korrekten Vorgangsweise des „Abkühlens auf die Taupunktlinie“ und anschließendem „Nachheizen auf erforderliche Zulufttemperatur“ wurde nur das Kühlen und Entfeuchten auf den gewünschten Zuluftzustand berücksichtigt. Daraus resultiert bei den SEKs ein erheblich geringerer Energiebedarf für Kühlen als tatsächlich vorhanden wäre.

- 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 über Monatsmittelwerte. Daraus ergeben sich teilweise große Ungenauigkeiten.
- Eine Berücksichtigung von Umluftanlagen ist nicht möglich.
- Zur Aufteilung des einzubringenden Energiebedarfs auf RLT-Anlage und statisches Heiz- beziehungsweise Kühlsystem ist der Vergleich von sensiblen (Heizwärmebedarf und Kühlbedarf) mit sensiblen und latenten Energiebedarfswerten notwendig.

Das in Kapitel 4 vorgestellte Modell weist die beschriebenen Schwachstellen nicht auf. Es ist jedoch in seiner Abbildung und anschließenden Anwendung im Rahmen der ÖNORM H 5057 erheblich komplexer. Deshalb ist zu prüfen, welche Einschränkungen zur Vereinfachung vorgenommen werden können.

Kapitel 3

Halbsynthetisches Klimamodell

Eine standortspezifische Berechnung der spezifischen Energiekennwerte ist unter anderem erforderlich, um die Berechnungsalgorithmen der Energieausweisnormen konsistent zu gestalten. Die bisherige Berechnung der spezifischen Energiekennwerte war der einzige Berechnungsteil in den Algorithmen des Energieausweises, der nicht für den tatsächlichen Standort sondern für Referenzstandorte berechnet und anschließend umgerechnet wurde. Daher ist im bisherigen SEK-Modell auch kein Bezug auf das Klimamodell des Energieausweises aus ÖNORM B 8110-5 [23] vorhanden.

Aus diesem Grund wurde von der MA 39 der Stadt Wien ein halbsynthetisches Klimamodell ausgearbeitet, auf Basis dessen die geforderte standortspezifische Berechnung erst möglich gemacht wurde. Im Zuge der dazu erforderlichen Anpassung wurden weitere Aspekte mit in die Berechnung aufgenommen, die zuvor aufgrund verschiedenster Ursachen keine Berücksichtigung fanden. Eine Beschreibung dieses halbsynthetischen Klimamodells ist im Berichtsteil der MA 39 enthalten.

Kapitel 4

Standortspezifische Berechnung der spezifischen Energiekennwerte

4.1 Allgemeines

4.1.1 Zielsetzung

Bei der Ausarbeitung alternativer Modelle für die Berechnung des Nutzenergiebedarfs zur Konditionierung des Luftvolumenstroms wurden Primär- und Sekundärziele unterschieden. Die Primärziele sollten in den neuen Berechnungsalgorithmen jedenfalls berücksichtigt werden, von den Sekundärziele sollten so viele wie möglich aufgenommen werden.

- Primärziele:
 - standortspezifische Berechnung des Nutzenergiebedarfs
 - physikalisch korrekte Berechnungsalgorithmen
 - möglichst vollständige Berücksichtigung aller Konditionierungsvorgänge
 - einfache Darstellbarkeit und Reproduzierbarkeit
- Sekundärziele:
 - Wärme- und Feuchterückgewinnung auch im Kühlfall
 - Berücksichtigung von Erdreichwärmetauschern
 - Ermittlung der stündlich erforderlichen Zulufttemperaturen in die Gebäudezone
 - Auswirkung von Vorwärmung auf die Effizienz des Wärmerückgewinnungssystems
 - Berücksichtigung der tatsächlichen Ventilatorpressung
 - korrekte Aufteilung der stündlich erforderlichen Anlagenleistung auf RLT-Anlage und statisches Heiz- bzw. Kühlsystem

4.1.2 Vorgangsweise

Um die genannten Ziele so weit wie möglich erfüllen zu können, wurde eine Vorgangsweise gewählt, mithilfe derer in mehreren Schritten die angestrebten Algorithmen ausgearbeitet werden konnten:

1. Erstellen eines standortspezifischen Modells zur Berechnung der spezifischen Energiekennwerte

2. Verfeinerung des Modells
3. Vereinfachte Berechnungsalgorithmen

Die genannten Schritte werden in den folgenden Abschnitten detailliert erläutert.

4.2 Schritt 1: Erstellen eines standortspezifischen Modells

Der wesentliche Schritt der Berechnungsumstellung bestand im Erstellen des standortspezifischen Modells. Dabei wurde die bisherige Berechnung, die auf eine monatsweise Bilanzierung ausgelegt war, vollständig auf eine stundenweise Bilanzierung umgestellt. Die so erhaltenen standortspezifischen stündlichen Energiebedarfswerte wurden zu Monatswerten zusammengefasst, um in die bestehenden Algorithmen der bestehenden Energiebedarfsberechnungen im Energieausweis eingebunden werden zu können.

Das standortspezifische Modell beruht auf den Klimadaten des halbsynthetischen Klimamodells (siehe Abschnitt 3), das stundenweise Werte für Außenlufttemperatur und Außenluftfeuchte am jeweiligen Standort zur Verfügung stellt. Im standortspezifischen Modell wird für jeden dieser Außenluftzustände berechnet, welche Konditionierung erforderlich ist, um über eine zentrale raumlufttechnische Anlage den gewünschten Raumlufzustand herstellen zu können. Dazu ist es erforderlich zu wissen, wie hoch der stundenweise Energiebedarf im zu konditionierenden Raum ist, um so die jene Energiemenge bestimmen zu können, die dem Luftvolumenstrom zugeführt werden muss.

Im Zuge dieser Berechnung traten zwei wesentliche Probleme auf:

- In modernen Anlagen ist die Raumkonditionierung über die Zuluft nicht mehr vorrangige Aufgabe einer raumlufttechnischen Anlage. Meist stehen mittlerweile Aspekte wie Gewährleistung einer geforderten Raumlufgüte, Feuchtezu- und -abfuhr oder Abdeckung kurzfristiger Lastspitzen (Heiz- und Kühllast) im Vordergrund. Der Luftvolumenstrom in den Anlagen wird so gering wie möglich gehalten, um den dadurch entstehenden Luftförderungsenergiebedarf so weit wie möglich zu minimieren.
- Es gibt unzählige 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 ausgeführt. Diese Aufzählung ließe sich (beinahe) unendlich fortführen. Eine Berücksichtigung all dieser Bauformen ist Aufgabe eines Auslegungstools. Im Zuge der Energiebedarfsberechnung im Energieausweis würde dies aber dazu führen, dass die erforderlichen Berechnungsalgorithmen viel zu umfangreich wären und damit den Rahmen einer Norm bei weitem überschreiten würden.

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

- ausschließliche Berücksichtigung von zentralen raumlufttechnischen Anlagen
- einheitlicher Aufbau der Anlagen gemäß Abbildung 4.1
- variable Ausführung als Lüftungs-, Teilklima- oder Vollklimaanlagen, jedoch immer auf Grundlage der Anlagenkonfiguration aus Abbildung 4.1, bei der einzelne Bestandteile weggelassen werden
- stundenweise erforderliche Heiz- und Kühlleistung in der zu konditionierenden Gebäudezone sind bestimmende Faktoren für Zulufttemperatur (KVS-Anlagen) beziehungsweise Zuluftvolumenstrom (VVS-Anlagen)

4.2.1 Anlagenkonfiguration

Im Zuge des Erstellens des exakten standortspezifischen Modells wurde eine Referenzanlage definiert (siehe Abbildung 4.1). Diese Referenzanlage entspricht in ihrem grundsätzlichen Aufbau einer marktüblichen Vollklimaanlage. Sie verfügt über folgende Bestandteile:

- (0) Drosselklappen (DK)
- (1) Luftvorwärmung durch Erdreichwärmetauscher (EWT) oder ein elektrisches Vorheizregister (VHR) (inklusive Bypasskanal bei ungewollter Konditionierung)
- (2) Wärmetauscher für Wärme- und Feuchterückgewinnung aus der Abluft (WRG, FRG) (inklusive Bypasskanal)¹
- (3) Mischkammer für Umluftführung (MK)
- (4) Luftfilter (LF)
- (5) Luftvorerhitzer (VEH)
- (6) Luftkühler (KHL)
- (7) Luftbefeuchter als Verdunstungs- oder Dampfbefeuchter (BEF)
- (8) Lufterhitzer (NEH)
- (9) Ventilatoren (VENT)

Um eine Anpassung an die tatsächlich vorhandene Anlagenkonfiguration einer zu berechnenden Anlage vornehmen zu können, werden einzelne Bestandteile in der Berechnung nicht berücksichtigt. So werden beispielsweise bei einer realen Vollklimaanlage alle Bestandteile in die Berechnung mitaufgenommen, bei einer reinen Lüftungsanlage wird nur der Erdreichwärmetauscher und die Wärmerückgewinnungsanlage berücksichtigt.

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 P_{SFP} -Werte [44, 25] loszulösen und plausiblere 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.

Als Regelungssysteme wurden im standortspezifischen SEK-Modell für die Verdunstungsbefeuchtung einerseits eine Taupunktregelung und andererseits eine Zuluftfeuchteregelung umgesetzt, bei Dampfbefeuchtung wurde ebenfalls eine Zuluftfeuchteregelung berücksichtigt.

Konditionierung h-x-Zonen

Im standortspezifischen Modell der spezifischen Energiekennwerte ist keine Aufteilung der Außenluftzustände auf verschiedene h-x-Zonen mehr erforderlich. Diese Aufteilung war im bisherigen SEK-Modell notwendig, um die jeweils geforderten Raumluftzustände und damit die Abluftzustände in Abhängigkeit von der Außenluft festlegen zu können. So konnte in weiterer Folge unterschieden werden, für welche h-x-Zonen Heizen, Kühlen oder Befeuchten erforderlich war und dadurch die Enthalpiedifferenzen zwischen Außenluftzustand und gefordertem Zuluftzustand ermittelt werden.

Im neuen Modell ist die Zonenaufteilung aus zwei Gründen obsolet:

¹in Abbildung 4.1 nicht dargestellt

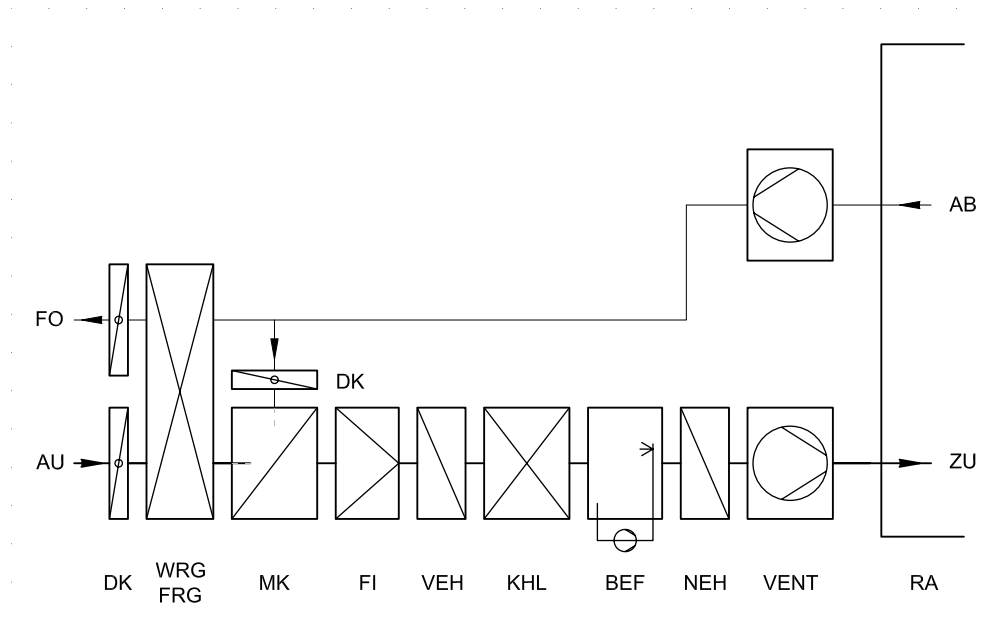


Abbildung 4.1: Anlagenkonfiguration der Referenzklimaanlage: Vollklimaanlage wahlweise mit Dampf- oder Verdunstungsbefeuchtung

- Das Konditionierungserfordernis wird für jeden Zeitschritt im jeweiligen Anlagenbestandteil individuell überprüft. Sollte beispielsweise die Temperatur nach der Mischkammer bereits über der geforderten Zulufttemperatur liegen, so wird keine Vorerhitzung vorgenommen. Gleiches gilt für die Befeuchtung: Sofern der absolute Feuchtegehalt des Luftvolumenstroms nach der Mischkammer innerhalb des Toleranzbereichs liegt, ist keine Befeuchtung erforderlich.
- Der Zuluftzustand wird für jeden Zeitschritt in Abhängigkeit von den vorhandenen Lasten bestimmt. So kann beispielsweise trotz geringer Außentemperaturen bei hohen internen Lasten und solaren Gewinnen kein Heizwärmebedarf auftreten, was durch das zum Einsatz kommende Modell entsprechend abgebildet wird. Es werden die stundenweise erforderlichen Heiz- und Kühlleistungen berechnet, die in weiterer Folge die Zulufttemperatur bestimmen.

4.3 Schritt 2: Verfeinerung des Modells

In diesem Abschnitt wird dargestellt, wie einzelne Teilaspekte für die Ermittlung des Nutzenergiebedarfs zur Konditionierung des Zuluftvolumenstroms in raumlufttechnischen Anlagen neu in das Berechnungsmodell aufgenommen wurden. Dazu wird in der Beschreibung für jeden der neu aufgenommenen oder überarbeiteten Aspekte der gleichen Systematik folgend vorgegangen und die folgenden Fragestellungen – sofern relevant – beantwortet:

1. **Bisheriges Berechnungsmodell:** Wurde der Teilaspekt bisher berücksichtigt? Wie wurde der Teilaspekt berücksichtigt? Wo lagen die Schwachpunkte des bisherigen Modells?
2. **Literaturangaben:** Auf welche Grundlagen kann zurückgegriffen werden, wenn ein neues Modell ausgearbeitet werden soll? Inwiefern sind die beschriebenen Modelle im neuen standortspezifischen SEK-Modell anwendbar?
3. **Neues Berechnungsmodell:** Wie sieht das neue Berechnungsmodell für die Berücksichtigung des Teilaspekts aus? Wie erfolgt die Einbindung in das gesamte standortspezifische SEK-Modell? Welche Vereinfachungen oder zusätzlichen Angaben sind erforderlich, um eine Einbindung vornehmen zu können?
4. **Eingangsdaten:** Sind die vorhandenen Daten aus dem monatlichen Berechnungsmodell ausreichend genau? Wo muss gegebenenfalls eine Anpassung vorgenommen werden?
5. **Plausibilitätsprüfung und Validierung:** (im Anhang) In welcher Form wurden die mit dem neuen Berechnungsmodell für den Teilaspekt erhaltenen Ergebniswerte validiert? Wie stark weichen diese Werte von Literaturangaben ab?

Die aus den verschiedenen Literaturquellen übernommenen Modelle für die Erweiterung um die einzelnen Teilaspekte weisen in der Originalquelle alle unterschiedliche Abkürzungen und Symbole auf, die nicht mit jenen des neuen Berechnungsmodells übereinstimmen. Bei der Beschreibung wurden die Abkürzungen und Symbole daher an jene des neuen SEK-Berechnungsmodells angepasst. Eine vollständige Aufstellung der Abkürzungen und Symbole ist in den Abschnitten „Abkürzungsverzeichnis“ und „Symbolliste“ zu finden.

4.3.1 Erdreichwärmetauscher

Bisheriges Berechnungsmodell

Um eine möglichst exakte Berechnung des Nutzenergiebedarfs zur Konditionierung des Zuluftvolumenstroms von RLT-Anlagen vornehmen zu können, ist es auch erforderlich, gegebenenfalls Erdreichwärmetauscher in die Berechnung mitaufzunehmen. Bisher werden diese im Normwerk zum Energieausweis pauschal über mittlere jährliche Reduktionsfaktoren für den Lüftungsleitwert in der ÖNORM B 8110-6 berücksichtigt [?]. In Tabelle 4.1 sind Defaultwerte für den Jahresdurchschnittswert des Wärmebereitstellungsgrads von Erdreichwärmetauschern für Nicht-Wohngebäude dargestellt². Bessere Werte können gemäß ÖNORM B 8110-6 verwendet werden, müssen jedoch durch anerkannte Berechnungsprogramme nachgewiesen werden.

Der Wärmebereitstellungsgrad des Wärmetauschers η_{EWT} bildet gemeinsam mit der Rückwärmzahl des Wärmerückgewinnungssystems Φ_{WRG} den Wärmebereitstellungsgrad des Gesamtsystems η_{ges} :

$$\eta_{ges} = 1 - (1 - \Phi_{WRG}) \cdot (1 - \eta_{EWT}) \quad (4.1)$$

²Erdreichwärmetauscher bei Wohngebäuden werden in der ÖNORM B 8110-6 analog behandelt. Es ist jedoch keine Angabe für den Wärmebereitstellungsgrad im Kühlfall erforderlich, da für Wohngebäude kein Kühlbedarf ermittelt wird.

Tabelle 4.1: Defaultwerte für den Wärmebereitstellungsgrad η_{EWT} bei einem Erdwärmetauscher für Nicht-Wohngebäude (Jahresdurchschnittswerte) (Quelle: [?])

Erdwärmetauscher	$\eta_{EWT,H}$	$\eta_{EWT,C}$
Erdwärmetauscher bekannt (mind. 25 m je Strang, 1,2 m unter dem Erdreich, max. 1,5 m/s)	+15 %	-15 %
Erdwärmetauscher unbekannt	+10 %	-10 %

Der so ermittelte Wärmebereitstellungsgrad des Gesamtsystems wird in weiterer Folge verwendet, um den Lüftungsleitwert zu berechnen. Der Lüftungsleitwert ist in erster Linie für die Ermittlung des Heizwärmebedarfs und des Kühlbedarf erforderlich.

Im Zuge der Berechnung des Nutzenergiebedarfs zur Konditionierung des Luftvolumenstroms – also in der ÖNORM H 5057 – wurden hingegen Erdreichwärmetauscher bisher nicht berücksichtigt [44]. 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 Heizungs- bzw. Kühlsystem eingebracht werden muss, ist daher nicht korrekt durchführbar.

Abgesehen von der Temperaturänderung kommt es in einem Erdreichwärmetauscher auch zu einer Be- und Entfeuchtung des Luftvolumenstroms. Dieser Effekt war im bisherigen Berechnungsmodell noch in keiner Weise berücksichtigt.

Literaturangaben

Van de Brake stellt in einem Bericht [5] eine Literaturübersicht über verschiedene Modelle zur Berechnung von Erdreichwärmetauschern vor. Eine ähnliche Literaturübersicht wurde auch von Thevenard erstellt [41]. Die von van de Brake vorgestellten Modelle unterscheiden sich drastisch im Detaillierungsgrad, der für die EWT-Berechnung herangezogen wird. Im genannten Bericht werden neun Modelle vorgestellt, die gängigsten davon sind die folgenden [5]:

- Boulard-Algorithmus [3, 4]
- Santamouris-Algorithmus [38, 17]
- Hollmuller-Algorithmus [11, 10]
- Zimmermann-Algorithmus [48]
- Hanby-Algorithmus [1]

Sämtliche vorgestellte 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 das Modell von Zimmermann und Huber [48] die Grundlage für das EWT-Auslegungsprogramm WKM [12] dar. Das Modell von Hollmuller [10] war die Grundlage für ein Modul zur Berücksichtigung von Erdreichwärmetauschern im Simulationsprogramm TRNSYS [13].

Für den Einsatz im vorliegenden Projekt, wo es in erster Linie um die Temperaturveränderung der Zu-
luft in einem Erdreichwärmetauscher und daraus abgeleitet um den entstehenden Energieertrag geht,
sind die vorgestellten Modelle zu komplex. Es wird daher der vereinfachte Ansatz der ÖNORM EN
15241 [26] herangezogen, das auf dem Modell von Zimmermann und Huber [48] basiert und an dem
noch weitere Vereinfachungen vorgenommen wurden. So wurde mit dem umgebenden Erdreichpolster
beispielsweise ein grundlegendes Element des von Zimmermann vorgestellten WKM-Modells (Wärme-
Kapazitäten-Modell) im EN-Modell vernachlässigt. Das reduzierte EN-Modell entspricht im Prinzip
einem in Erdeich eingebetteten luftdurchströmten Wärmetauscher, dessen Wärmeeintrag vom unge-
bundenen 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.

Neues Berechnungsmodell

Um Erdreichwärmetauscher auch in die Berechnungsalgorithmen der spezifischen Energiekennwerte
aufnehmen zu können, ist es erforderlich, stündliche Werte über den Wirkungsgrad des Erdreichwär-
metauschers zu kennen. Nur so besteht die Möglichkeit, anstatt der Außentemperatur die Temperatur
nach dem Erdreichwärmetauscher als Eingangsgrößen für die Berechnungen der RLT-Anlage heranzu-
ziehen.

In ÖNORM EN 15241 ist im Anhang ein vereinfachtes Modell für die Berechnung derartiger Stun-
denwerte abgebildet [26]. Die Berechnungsalgorithmen wurden von Zimmermann und Huber für das
WKM-Modell [12] entwickelt und wurden im „Handbuch der passiven Kühlung“ [47] und in einer Pu-
blikation aus dem IEA-ECBCS Annex 28 „Low Energy Cooling Systems“ [48] veröffentlicht. Mit diesem
Modell können folgende Werte berechnet werden [26]:

- Temperatur der Luft nach dem Erdreichwärmetauscher
- Wärmestrom zwischen der Erdeich und der Luft
- Druckverluste abhängig von der Luftgeschwindigkeit und den entsprechenden Luftleitungspara-
metern

Insbesondere die Möglichkeit, die Temperatur der Luft nach dem Erdreichwärmetauscher in Abhängig-
keit 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 eng an jene der ÖNORM EN 15241 angelehnt [26].

Das vereinfachte Verfahren zur Abbildung der Vorwärmung der Luft über einen Erdreich-Luft-
Wärmeübertragers berücksichtigt einerseits die thermische Trägheit des Bodens abhängig von der
Verlegetiefe der Rohre und andererseits die spezifischen Parameter der Luftleitungen. Als Basis für die
Berechnung der Erdreichtemperatur wird die mittlere jährliche Außenlufttemperatur herangezogen.
Dieser wird eine Sinusschwingung aufgeprägt, deren Amplitude von der Verlegetiefe der Luftleitungen
und der Temperaturdifferenz der Monatsmittelwerte der Außenlufttemperatur abhängt. Zusätzlich be-
wirkt die Verlegetiefe eine zeitliche Verzögerung der Erdreichtemperatur aufgrund der mit der Tiefe
größer werdenden thermischen Trägheit des Erdreichs. In Abbildung 4.2 ist die Abhängigkeit der Erd-
reichtemperatur von der Verlegetiefe der Luftleitungen dargestellt.

Die Berechnungen der Lufttemperatur nach dem Erdreichwärmetauscher wird im vereinfachten Modell
in drei Schritten vorgenommen:

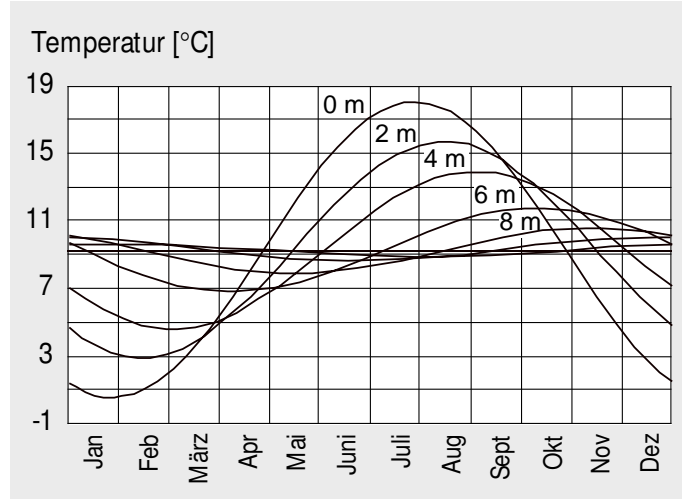


Abbildung 4.2: Erdreichtemperaturen für verschiedene Verlegetiefen der Luftleitungen (Bildquelle: [47])

1. Wärmedurchgangskoeffizient der Luftleitung

Zuerst erfolgt die Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizienten der Luftleitung. Dieser ist stark von der Strömungsgeschwindigkeit der Luft und dem Durchmesser der Leitung abhängig:

$$v_{LL}^* = \frac{V_V \cdot n_L}{A_{LL} \cdot a_{LL}} \quad (4.2)$$

Mithilfe der so ermittelten Strömungsgeschwindigkeit kann nach der Formel von Schack [37] der innere Wärmeübergangskoeffizient der Luftleitung berechnet werden. Dabei ist als Lufttemperatur das arithmetische Mittel der Lufttemperaturen vor und nach dem Erdreichwärmetauscher (θ_{AU} bzw. θ_{EWT}) anzusetzen. Um eine Iteration zu vermeiden, kann vereinfacht θ_{AU} gesetzt werden.

$$\alpha_i = \left[4,13 + 0,23 \cdot \frac{\theta_{AU}}{100} - 0,0077 \cdot \frac{\theta_{AU}^2}{100} \right] \cdot \frac{v_{LL}^{*0,75}}{d_i^{0,25}} \quad (4.3)$$

Der Wärmedurchgangskoeffizient (für einen Zylinder) ergibt sich damit zu³:

$$U_d = \left(\frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \frac{1}{\lambda_{LL}} \cdot \ln \frac{\frac{d_{LL,a}}{2}}{\frac{d_{LL,i}}{2}} + \frac{1}{\alpha_{LL,i}} \cdot \frac{1}{\frac{d_{LL,i}}{2}} \right)^{-1} \quad (4.4)$$

2. Erdreichtemperatur

Die Erdreichtemperatur wird in Abhängigkeit vom Jahresmittelwert der Außenlufttemperatur und der Verlegetiefe der Luftleitungen s_{EWT} berechnet. Die thermische Trägheit des Erdreichs wird mithilfe von Korrekturparametern für die Amplitude y_{BO} und die zeitliche Verschiebung ΔT_{BO} der Sinusschwingung sowie des Erdreichkorrekturfaktors f_{BO} berücksichtigt.

$$y_{BO} = -0,00035 \cdot s_{EWT}^3 + 0,01381 \cdot s_{EWT}^2 - 0,1993 \cdot s_{EWT} + 1 \quad (4.5)$$

³Die 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“ [35]) nicht vollständig abgebildet wurde. Die Ergebnisse mit der Originalformel aus ÖNORM EN 15241 führten zu absolut unplausiblen Ergebnissen.

$$\Delta t_{BO} = 24 \cdot (-0,0195 \cdot s_{EWT}^4 + 0,3385 \cdot s_{EWT}^3 - 1,0156 \cdot s_{EWT}^2 + 10,298 \cdot s_{EWT} + 0,1786) \quad (4.6)$$

$$\theta_{BO} = f_{BO} \cdot \left[\theta_{AU,m} - y_{BO} \cdot \Delta \theta_{AU} \cdot \sin \left(\frac{2 \cdot \pi}{8760} \cdot [t_{JH} - \Delta t_{BO} + 24, 25] \right) \right] \quad (4.7)$$

t_{JH} ist die laufende Stunde des Jahres. Werte für f_{BO} können in Abhängigkeit des Erdreichmaterials aus Tabelle 4.2 entnommen werden.

Tabelle 4.2: Erdreichkorrekturfaktoren f_{BO} für verschiedene Erdreichmaterialien (Quelle: [26])

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

3. Lufttemperatur nach dem Erdreichwärmetauscher

Die Lufttemperatur nach dem Erdreichwärmetauscher θ_{EWT} kann somit berechnet werden:

$$\theta_{EWT} = \theta_{BO} - (\theta_{BO} - \theta_{AU}) \cdot e^{\frac{-U_d \cdot d_{LL,i} \cdot \pi \cdot l_{LL}}{V \cdot n_L \cdot \rho_L \cdot c_{p,L}}} \quad (4.8)$$

Die Austrittstemperatur θ_{EWT} bestimmt die maximale absolute Luftfeuchtigkeit nach dem Erdreichwärmetauscher (bei $\varphi = 100\%$).

Plausibilitätsprüfung und Validierung

Es 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 für Vergleichsrechnungen herangezogen.

Die Ergebnisse der Validierungsprüfungen sind im Anhang in Abschnitt B dargestellt.

4.3.2 Wärme- und Feuchterückgewinnung Kühlfall

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. [32]

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 die erforderliche stundenweise Kühlleistung zu senken.

Die Berechnung der Wärme- und Feuchterückgewinnung für den Kühlfall erfolgt analog zu jener für den Heizfall. Mithilfe der Rückwärmzahl und der Rückfeuchtzahl wird die Lufttemperatur und die Luftfeuchte nach dem Wärme- und Feuchterückgewinnungssystem ermittelt.

$$\theta_{WRG} = \theta_{AU} + \Phi_{WRG} \cdot (\theta_{AB} - \theta_{EWT}) \quad (4.9)$$

$$x_{WRG} = x_{AU} + \Phi_{FRG} \cdot (x_{AB} - x_{EWT}) \quad (4.10)$$

Die so ermittelten Werte für Lufttemperatur und Luftfeuchte werden als Grundlage für die Berechnung des Energieinhalts nach dem Wärme- und Feuchterückgewinnungssystem verwendet.

4.3.3 Umluftführung

Bisheriges Berechnungsmodell

Prozessbedingte Umluftführung zum Zwecke des Heizens oder Kühlens findet insbesondere bei großen raumluftechnischen Anlagen häufige Anwendung. Umluftführung ist insbesondere 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 Raumlufzustand 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 raumluftechnischen 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.

Neues Berechnungsmodell

Die Systematik des Berechnungsmodell 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 mit Luftzustand nach dem Wärmerückgewinnungssystem und der Umluftanteil 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.

$$\theta_{MK} = \theta_{AB} \cdot u + \theta_{WRG} \cdot (1 - u) \quad (4.11)$$

$$x_{MK} = x_{AB} \cdot u + x_{WRG} \cdot (1 - u) \quad (4.12)$$

4.3.4 Nacherhitzen bei Entfeuchtung

Entfeuchtung im Luftkühler einer RLT-Anlage wird vorgenommen, indem die Zuluft soweit abgekühlt wird, dass an der Oberfläche des Kühlers Kondensat ausfällt. Das anfallende Kondensat wird abgeführt und die Luft somit entfeuchtet.

Im h-x-Diagramm ist Kühlung mit Entfeuchtung so dargestellt, dass die Luft entlang einer theoretischen Gerade vom Lufteintrittszustand in Richtung der effektiven Oberflächentemperatur des Kühlers $\theta_{o,eff}$ abgekühlt und entfeuchtet wird⁴. Die Austrittsfeuchte aus dem Kühler ist bei vorgegebener (niedriger) Austrittstemperatur aus operativen Gründen zumeisten geringer als der definierte Behaglichkeitsbereich vorgeben würde.

Sofern nicht durch eine niedrige Zulufttemperatur ein Unterschreiten der geforderten Zuluftfeuchte erforderlich ist, wird durch die zur Entfeuchtung erforderliche Temperaturreduktion häufig eine Nacherhitzung auf die gewünschte Zulufttemperatur erforderlich.

Ein wesentliches Kriterium ist die Taupunktprüfung des geforderten Zuluftzustands. Sollte die Temperatur des geforderten Zuluftzustands θ_{ZU} unterhalb der Taupunkttemperatur bei der maximal zulässigen Zuluftfeuchte x_{ZU} liegen, so ist eine weitere Entfeuchtung erforderlich, um die Zulufttemperatur einhalten zu können. Für die geforderte Zuluftfeuchte ist meist ein Toleranzbereich angegeben, innerhalb dessen x_{ZU} frei gewählt werden kann. Die Zulufttemperatur hingegen muss eingehalten werden, um die Konditionierung des Raumes auf die maximal zulässige Raumtemperatur vornehmen zu können.

Für den Fall, dass eine Befeuchtung ohne Toleranz gefordert ist und die Zuluftfeuchte somit stets einen festgelegten Wert erreichen muss, ist gegebenenfalls eine Nachbefeuchtung erforderlich.

Bisheriges Berechnungsmodell

In der bisherigen Berechnung der spezifischen Energiekennwerte wurde das Nacherhitzen dem spezifischen Energiekennwert für Kühlen q_C zugerechnet. Diese Methode ist zwar dahingehend korrekt, dass der entstehende Energiebedarf der Kühlung zuzurechnen ist. Nachdem jedoch die erforderliche Energie für die Nachheizung vom Heizungssystem aufgebracht werden muss, sollte der Energiebedarf auch der Heizung zugerechnet werden. Der anfallende Nutzenergiebedarf zur Heizung des Luftvolumenstroms im Kühlfall darf jedoch nicht dazu führen, dass bei einer allfälligen Aufteilung des Nutzenergiebedarfs für Heizen (HWB) auf ein statisches System und die RLT-Anlage der Anteil des statischen Systems dadurch reduziert wird.

Neben diesem Bilanzierungsproblem wurde in der bisherigen Berechnung das Nachheizen bei Taupunktunterschreitung nicht korrekt berücksichtigt. Es wurde zwar eine Überprüfung vorgenommen, ob die geforderte Zulufttemperatur die Taupunkttemperatur unterschreitet, für den Fall einer Unterschreitung wurde jedoch trotzdem mit der maximal möglichen Zuluftfeuchte weitergerechnet. Dadurch entstand eine geringere Enthalpiedifferenz und in weiterer Folge ein geringerer spezifischer Energiekennwert.

Neues Berechnungsmodell

Im Berechnungsmodell der Überarbeitung erfolgt für Außenluftzustände, die Kühlung und Entfeuchtung erfordern (Zone 3 im h-x-Diagramm), zuerst eine Taupunktprüfung für den geforderten Zuluftzustand. Dazu wurden die Gleichungen zur Berechnung des Feuchtegrads x_{AU} (Gleichung A.2), des

⁴Dies Darstellung entspricht einer Vereinfachung. Tatsächlich erfolgen Kühlung und Entfeuchtung auf einer gegenüber der beschriebenen Geraden nach unten gekrümmten Kurve, die durch die Anzahl der Rohrreihen im Kühler exakt definiert wird.

Sättigungsdampfdruck p_{satt} (Gleichung A.1) und der Zuluftenthalpie h (Gleichung A.4) dahingehend umgeformt, dass die Taupunkttemperatur als Funktion von Zuluftfeuchte und Sättigungsdampfdruck ermittelt werden konnte. Hierzu war eine Vereinfachung der Enthalpieberechnung erforderlich, im Zuge derer der Enthalpiegehalt der Zuluftfeuchte vernachlässigt wurde.

Damit ergibt sich folgende Gleichung für die Taupunkttemperatur bei vorgegebener Zuluftfeuchte:

$$\theta_{TAU} = 100 \cdot \left(\frac{x_{ZU} \cdot p_{AU}}{0,622 + x_{ZU}} \cdot \frac{100}{288,68} \right)^{\frac{1}{8,02}} - 109,8 \quad (4.13)$$

Die Taupunktfeuchte bei vorgegebener Zulufttemperatur hingegen kann gemäß Gleichung 4.14 berechnet werden:

$$x_{TAU} = \frac{\frac{100}{288,68} \cdot 0,622 \cdot \left(\frac{\theta_{ZU} + 109,8}{100} \right)^{8,02}}{p_{AU} - \frac{100}{288,68} \cdot \left(\frac{\theta_{ZU} + 109,8}{100} \right)^{8,02}} \quad (4.14)$$

4.3.5 Variable Zulufttemperaturen

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:

$$Q = v \cdot \rho_L \cdot c_{p,L} \cdot \Delta\theta \cdot t \quad (4.15)$$

Die eingebrachte (oder abgeführte) Wärmemenge kann somit entweder durch Variation des Zuluftvolumenstroms (VVS-System) oder durch Variation der Zulufttemperatur (KVS-System) verändert werden. Dazu ist es in einem stundenweisen Berechnungsmodell erforderlich, auch die stundenweisen Lasten zu kennen, die der Gebäudezone zugeführt oder aus der Gebäudezone abgeführt werden sollen.

Bisheriges Berechnungsmodell

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 gewesen.

Die Ermittlung der Zulufttemperatur ($\theta_{ZU,H}$ für den Heizfall und $\theta_{ZU,C}$ für den Kühlfall) erfolgte in Abhängigkeit vom monatlich zu deckenden Heizwärmebedarf Q_H bzw. Kühlbedarf Q_C ⁵. Jener Anteil des Nutzenergiebedarfs, der nicht auf die Lüftungswärmeverluste oder -gewinne ($Q_{H,LE}$ und $Q_{C,LE}$) zurückzuführen sind, ist durch eine Erhöhung (Heizfall) oder Verringerung (Kühlfall) der Zulufttemperatur in Bezug auf die geforderte Raumsolltemperatur abzudecken. Als Bezugszeit dienten dabei alle Stunden des jeweiligen Monats, als Grundlage für den Bezugsluftvolumenstrom der tatsächlich für die Konditionierung relevante Luftwechsel.

$$\theta_{ZU,H} = \theta_{RA,H} + \frac{Q_H - Q_{H,LE}}{t \cdot c_{p,L} \cdot \rho_L \cdot v_{RLT}} \leq 35^\circ C \quad (4.16)$$

$$\theta_{ZU,C} = \theta_{RA,C} - \frac{Q_C - Q_{C,LE}}{t \cdot c_{p,L} \cdot \rho_L \cdot v_{RLT}} \geq 14^\circ C \quad (4.17)$$

⁵In den übrigen Normen des Energieausweises wird der Heizwärmebedarf mit Q_H und der Kühlbedarf mit Q_c bezeichnet. Von dieser Bezeichnung wird hier geringfügig abgegangen, um eine durchgängige Systematik in den Formelzeichen und deren Indizes in dieser Arbeit beizubehalten.

Die so errechneten Zulufttemperaturen für den Heiz- und den Kühlfall wurden in weiterer Folge für die Korrektur der spezifischen Energiekennwerte verwendet. Die SEKs waren auf eine Zulufttemperatur von 20 °C bezogen, die Korrektur auf die tatsächlichen Temperaturwerte erfolgte über Temperaturkorrekturgradienten.

Problemstellung

Nachdem die Berechnung der spezifischen Energiekennwerte im standortspezifischen Berechnungsmodell stundenweise erfolgt, ist es erforderlich, auch die Ermittlung der Zulufttemperatur und des Zuluftvolumenstroms stundenweise durchzuführen. Dazu ist eine stundenweise Berechnung der notwendigen Heiz- und Kühlleistung erforderlich. Das ist dahingehend problematisch, dass dafür eigentlich exakte stundenweise Verläufe für die internen Lasten inklusive Geräte und Beleuchtung und die solaren Wärmegegewinne sowie für Wärmeverluste durch Transmission und Infiltration erforderlich wären. In den Berechnungsalgorithmen des Energieausweises sind jedoch insbesondere für die solaren und internen Wärmegegewinne (inklusive Beleuchtung) ausschließlich Monatsmittelwerte vorgegeben. Wärmeverluste aus Transmission und Infiltration sind diesbezüglich weniger problematisch, da sie in einem quasi-stationären Verfahren durch die Multiplikation von Leitwerten mit der vorhandenen Potential – also der Temperaturdifferenz zwischen innen und außen – berechnet werden. Ob die Angabe der Temperaturdifferenz ein Monatsmittelwert ist oder Stundenwerte, die in weiterer Folge zu einem Monatsmittelwert aufsummiert werden, ist hier nicht relevant. Abgesehen von den stundenweise auftretenden Wärmegegewinnen und Wärmeverlusten der Gebäudezone ist zu berücksichtigen, dass die Wärmespeicherefähigkeit der untersuchten Zone einen erheblichen Einfluss auf den stundenweisen Verlauf von Heiz- und Kühlleistung hat.

Ein weiteres Problem bei der Berechnung stundenweiser Zulufttemperaturen 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 Monatsmittelwerte für die SEK-Werte umgangen. Dabei 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. Nachdem monatsweise stets ein Wert für die Zulufttemperatur für Heizen und einer für Kühlen berechnet wurden, ist somit kein Toleranzbereich vorhanden, in dem keine Konditionierung erforderlich ist.

Zur Berechnung der stundenweisen Zulufttemperaturen und der dazu erforderlichen Heiz- und Kühlleistungen wurde das in ÖNORM EN ISO 13790:2008 beschriebene „vereinfachte Stundenverfahren“ herangezogen [29]. Dieses Modell dient in der Anwendung der ÖNORM EN ISO 13790 zur Berechnung des Heizwärmebedarfs und des Kühlbedarfs auf Stundenbasis. Dazu wird die der Gebäudezone zuzuführende oder aus der Zone abzuführende Energiemenge stündlich berechnet und zu einem Jahreswert aufsummiert. Diese stündlichen Energiemengen entsprechen den jeweilig erforderlichen Heiz- und Kühlleistungen des Heiz- und Kühlsystems.

Literaturangaben

Zur Berechnung stundenweiser Zulufttemperaturen ist es erforderlich, den stundenweisen Energiebedarf der Gebäudezone zu kennen. In der ÖNORM EN ISO 13790 sind dazu drei unterschiedliche Verfahrensarten beschrieben, wie der Energiebedarf einer Gebäudezone berechnet werden kann:

- quasi-stationäres Monats-Berechnungsverfahren (inklusive eines Heiz-/Kühlperiodenverfahrens als Sonderoption)

- vereinfachtes dynamisches Stunden-Berechnungsverfahren
- Berechnungsverfahren bei ausführlichen (zum Beispiel stundenbezogenen) dynamischen Simulationsverfahren

Das quasi-stationäre Monats-Berechnungsverfahren und das vereinfachte dynamische Stunden-Berechnungsverfahren sind dabei in ihren Grundzügen vollständig in der EN ISO 13790 beschrieben.

In Österreich sind ebenfalls alle drei genannten Berechnungsverfahren zugelassen, vollständig beschrieben wird jedoch nur das quasi-stationäre Monats-Berechnungsverfahren [?]. Für dieses Verfahren sind auch spezielle Klimadaten, Nutzungsprofile, etc. und sonstige nationale vorzugebende Eingabegrößen definiert, deren Anwendung für genauere Berechnungsverfahren aufgrund des unzureichenden Detaillierungsgrad nur bedingt möglich ist.

Zur Berechnung stundenweiser Zulufttemperaturen und – damit verbunden – stundenweiser Energiebedarfswerte war es naheliegend, auf das in der ÖNORM EN ISO 13790 vollständig beschriebene vereinfachte dynamische Stundenberechnungsverfahren zurückzugreifen. Ergänzend dazu wurden Veröffentlichungen aus internationalen Fachzeitschriften herangezogen, um ein besseres Verständnis über die tatsächliche Anwendung des beschriebenen Modells zu erlangen. Teilweise wurden in nationalen Anwendungsdokumenten zur EN-Norm auch Ergänzungen zum vereinfachten Stundenverfahren vorgenommen, die ebenfalls im Rahmen der Literaturrecherche analysiert wurden.

Die grundsätzlich Struktur des vereinfachten Stundenverfahrens⁶ wird von Millet in [19] beschrieben. Er geht in seinem Artikel auch auf ein für dieses Verfahren normativ festgelegtes Validierungsmodell ein, das in der ÖNORM EN 15265:2007 [27] dargestellt ist und in der Folge neben anderen auch für die Validierung des Modells in dieser Arbeit eingesetzt wurde. Neben der Veröffentlichung von Millet gibt es auch einen Endbericht der CEN-Arbeitsgruppe, in der das HRLYM-Modell erarbeitet wurde [7].

Kokogiannakis stellt im Rahmen seiner Dissertation sämtliche in der ÖNORM EN ISO 13790 beschriebenen Modelle dar [14]. In [15] beschreibt er die Ergebnisse eines Vergleichs, in dem für ein Gebäude mit verschiedenen Berechnungsverfahren der Nutzenergiebedarf für Heizen und Kühlen berechnet wird. Dabei werden das vereinfachte Stundenverfahren und das quasi-stationäre Monatsverfahren⁷ mit drei verschiedenen thermischen Simulationsprogrammen verglichen. Die Ergebnisse zeigen, dass die Resultate des HRLYM-Modells gut mit jenen der MTLYM-Modells übereinstimmen, bei einigen Fällen der durchgeführten Parameterstudie jedoch deutliche Abweichungen von den Ergebnissen der Simulationsprogramme auftreten. Die Untersuchungen von Kokogiannakis waren mit eine Grundlage für die Entwicklung der ÖNORM EN 15265.

Menard und Lenzinger erstellten eine Methodik zur Einbindung von thermoaktiven Bauteilen in die SIA 380/4 [20]. Darin wird zuerst das HRLYM-Modell der ÖNORM EN ISO 13790 beschrieben und anschließend erläutert, wie das Verfahren auf thermoaktive Bauteilsysteme (TABS), Befeuchtung und Entfeuchtung erweitert werden kann. Diese Arbeit resultierte schlussendlich in der derzeit im Entwurfsstadium befindlichen Überarbeitung der SIA 382/2 [36], in der ein stundenweises Verfahren zur Berechnung von Heizwärme- und Klimakältebedarf inklusive latenter Anteile (durch Be- und Entfeuchtung) definiert wird.

Mijakowski, Narowski und Sowa beschreiben in [18] die Einbindung des HRLYM-Modells in ein Berechnungstool, das sowohl die Abbildung des thermischen Verhaltens von Gebäuden als auch der Prozesse in RLT-Anlagen ermöglicht. Dazu wurde das normativ beschriebene R5C1-Verfahren (fünf Widerstände, eine Kapazität; detaillierte Darstellung des Modells im folgenden Abschnitt) um einen Widerstand zu einem R6C1-Modell erweitert. Das Modell wurde inklusive der Einbindung der RLT-Anlagen in einem Validierungsverfahren mit Simulationsergebnissen verglichen.

⁶Das vereinfachte Stundenverfahren wird in der Folge als „HRLYM“-Modell für „hourly method“ bezeichnet.

⁷Das quasi-stationäre Monats-Berechnungsverfahren wird in der Folge als „MTLYM“-Modell für „monthly method“ bezeichnet.

Neues Berechnungsmodell

Das vereinfachte Stundenverfahren stellt eine Vereinfachung im Vergleich zu einer thermischen Simulation dar. Mit diesem Modell sollten gemäß ÖNORM EN ISO 13790 folgende Aspekte erreicht werden [29]:

- 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
- leichtere Erweiterungsmöglichkeit durch direkte Abbildung des physikalischen Verhaltens
- höherer Genauigkeitsgrad für Gebäude mit hohem Einfluss der Wärmespeicherkapazität

Das HRLYM-Modell beruht auf einem „Widerstands-Kapazitäten-Modell“. Dazu werden fünf Temperaturknoten festgelegt, die miteinander über Widerstände in Verbindung gesetzt werden. Die fünf Temperaturknoten sind Außenlufttemperatur θ_{AU} , Zulufttemperatur θ_{ZU} , Raumtemperatur θ_{RA} , Temperatur der thermischen Speichermassen θ_{SM} und Innentemperatur θ_{IN} , die stundenweise berechnet werden [20]. Ergänzend dazu kann noch die operative Temperatur θ_{OP} als Mittelwert aus Lufttemperatur und Temperatur der thermischen Speichermassen (Strahlungstemperatur) ermittelt werden, die jedoch kein eigener Temperaturknoten ist und für die Berechnung im HRLYM-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 4.3 dargestellt.

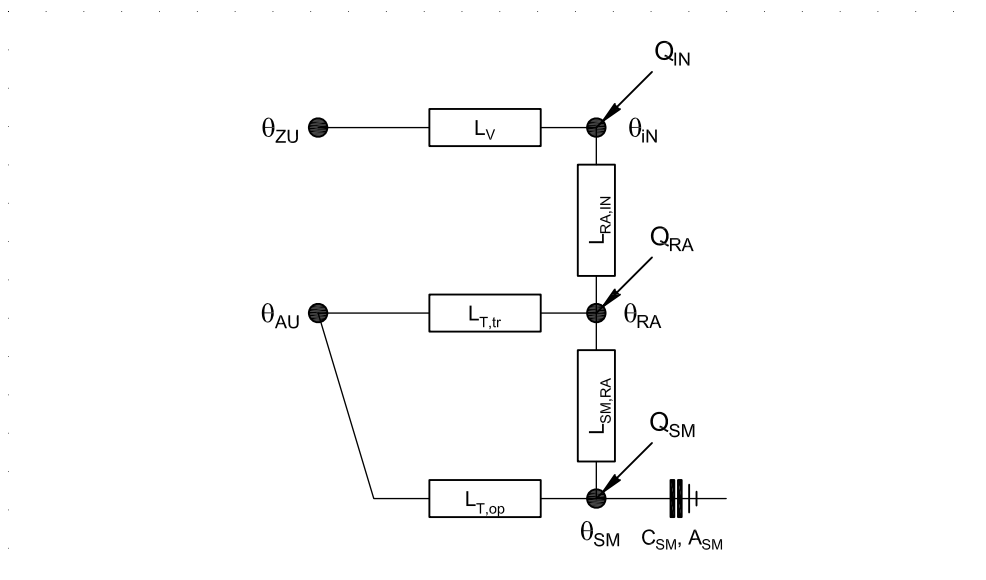


Abbildung 4.3: Variantenauswahl für die Validierung des standortspezifischen Berechnungsmodells (eigene Darstellung nach [20])

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

- **solare Wärmegewinne:** Die Solarstrahlung tritt über die transparenten Fläche der Gebäudehülle als kurzwellige Strahlung in die Gebäudezone ein. Sie trifft auf die raumumschließenden Flächen und wird dort zum überwiegenden Teil absorbiert⁸. Dadurch erwärmen sich die Flächen und geben Wärme über langwellige Wärmestrahlung, Konvektion und Wärmeleitung ab.
- **interne Wärmegewinne:** Die inneren 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 Innentemperatur und berücksichtigen, dass der Wärmeaustausch am Fenster radiativ und konvektiv passiert.
- **Wärmeeintrag über Heiz- oder Kühlsystem:** Für über ein aktives Heiz- oder Kühlsystem zu- beziehungsweise abgeführte Wärme wird unterschieden, ob die Abgabe über ein statisches System oder über eine raumluftechnische Anlage vorgenommen wird. Die Abgabe über die raumluftechnische Anlage wirkt direkt auf den Raumlufknoten, indem die Zulufttemperatur erhöht beziehungsweise reduziert wird. Dadurch verringert sich auch der Anteil an Wärme, die über das statische System zu- beziehungsweise abgeführt werden muss, die radiativ auf den Innentemperatur- und und konvektiv auf den Strahlungstemperaturknoten wirkt.

Das grundsätzliche Ziel der stundenweise Berechnung in der ÖNORM EN ISO 13790 ist die Ermittlung des Energiebedarfs zur Konditionierung der betrachteten Gebäudezone in Stundenschritten (in kWh/h). Dazu wird auf Basis eines Crank-Nicholson-Schemas mit einem Zeitschritt von einer Stunde die Raumtemperatur θ_{RA} und die operative Temperatur θ_{OP} berechnet [20].

Diese Berechnung wird folgenderweise vorgenommen:

- **Widerstände:**

- Lüftungsleitwert L_V :

Der Lüftungsleitwert (= lüftungsbedingter Wärmestrom) ist definiert als die Summe der Lüftungsleitwerte aus mechanischer Lüftung und aus Infiltration (Gleichung 4.18). Sofern keine mechanische Lüftungsanlage installiert ist, wird angenommen, dass der Lüftungsleitwert aufgrund natürlicher Lüftung jenen für Infiltration bereits enthält (Gleichung).

$$L_V = L_{V,RLT} + L_{V,INF} \quad (4.18)$$

$$L_V = L_{V,FL} \quad (4.19)$$

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

Der gesamte Transmissionsleitwert L_T wird in dieser Berechnung unterteilt in die Transmissionsleitwerte für opake Flächen $L_{T,op}$ einerseits und für Fenster, Türen und andere verglaste Flächen $L_{T,tr}$ andererseits. Die Leitwertzuschläge für zweidimensionale Wärmebrücken und

⁸Im vorliegenden Modell wird die eintretende Solarstrahlung vollständig von den umfassenden Flächen absorbiert.

dreidimensionale Wärmebrücken werden dabei pauschal dem Transmissionsleitwert für opake Flächen $L_{T,op}$ zugeschlagen.

$$L_{T,op} = L_T - L_{T,tr} \quad (4.20)$$

- 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 der raumumschließenden Flächen sondern über Strahlung und Konvektion auf die Innentemperatur. Dadurch ist eine andere Verrechnung als bei den Verlusten über opake Flächen erforderlich.

$$L_{T,tr} = \sum (A_{i,tr} \cdot U_{i,tr}) \quad (4.21)$$

- Wärmeübergangleitwert außen $L_{AU,SM}$:

Der Transmissionsleitwert über opake Flächen wird in zwei Bestandteile aufgeteilt: den Wärmeübergangleitwert zwischen der Speichermasse und der Außentemperatur einerseits und dem Wärmeübergangleitwert zwischen der Speichermasse und der Innentemperatur andererseits. In quasi-statischen Berechnungsverfahren wird die Summe dieser beiden Werte durch den U-Wert als Wärmeübergangleitwert zwischen Innentemperatur und Außentemperatur beschrieben. Der „Wärmeübergangleitwert außen“ beschreibt den Widerstand zwischen Speichermasse und Außenluft, was der Summe der Wärmedurchgangswiderstände durch die Bauteilschichten außerhalb der Speichermasse und dem „Wärmeübergangskoeffizienten außen“ α_a entspricht. Der „Wärmeübergangleitwert Strahlung“ hingegen stellt jenen Widerstand dar, der zwischen den Temperaturknoten für Speichermasse und Innentemperatur wirkt. Im quasi-statischen Verfahren entspricht dieser Wert dem „Wärmeübergangskoeffizienten innen“, der ebenfalls im U-Wert enthalten ist. Die explizite Darstellung ist abermals aufgrund der physikalisch korrekten Abbildung der Wärmegewinne und -verluste erforderlich.

Der Wärmeübergangleitwert Außen ist somit die Differenz aus Transmissionsleitwert und Wärmeübergangleitwert Strahlung:

$$L_{AU,SM} = \frac{1}{\frac{1}{L_{T,op}} - \frac{1}{L_{SM,IN}}} \quad (4.22)$$

- Wärmeübergangleitwert Strahlung $L_{SM,IN}$:

$$L_{SM,IN} = A_{SM} \cdot l_{SM,IN} \quad (4.23)$$

$$l_{SM,IN} = 9.1 \text{ in W/m}^2 \cdot \text{K} \quad (4.24)$$

Dabei ist A_m die wirksame Fläche der thermischen Speichermasse und $l_{SM,IN}$ der Wärmeübergangskoeffizient zwischen der thermischen Speichermasse und der Innentemperatur. A_{SM} wird gemäß Gleichung 4.32 berechnet.

- Wärmeübergangleitwert Konvektion $L_{RA,IN}$:

NOCH OFFEN – vgl. ON-V 31

$$L_{RA,IN} = A_{SM} \cdot l_{SM,IN} \quad (4.25)$$

$$l_{RA,IN} = 3.45 \text{ in W/m}^2 \cdot \text{K} \quad (4.26)$$

A_t ist die Summe aller Flächen, die in den Raum weisen. Wenn keine detaillierten Angaben über die Raumdimensionen (Länge, Breite, Höhe) vorhanden sind, kann A_t gemäß Gleichung 4.27 berechnet werden:

$$A_t = 4.5 \cdot A_{BF} \quad (4.27)$$

– sonstige Leitwerte:

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

$$L_1 = \frac{1}{\frac{1}{L_V} - \frac{1}{L_{RA,IN}}} \quad (4.28)$$

$$L_2 = L_1 + L_{T,tr} \quad (4.29)$$

$$L_3 = \frac{1}{\frac{1}{L_2} - \frac{1}{L_{AU,SM}}} \quad (4.30)$$

• **Kapazität:**

Die Kapazität C_{SM}^9 stellt in dieser Berechnung die Wärmespeicherfähigkeit der Bauteile in der Gebäudezone dar. Sie wird gemäß der vereinfachten Berechnung der ÖNORM EN ISO 13786 [28] berechnet und ist die Summe der spezifischen Wärmespeicherkapazitäten der einzelnen Bauteile in der Gebäudezone. Sie kann alternativ durch in nationalen Anwendungsdokumenten definierte Defaultwerte in Abhängigkeit von der Gebäudeschwere vorgegeben werden [?, 29].

$$C_{SM} = \sum A_j \cdot \chi_j \quad (4.31)$$

Die strahlungswirksame Fläche der speicherwirksamen Masse A_{SM} wird gemäß Gleichung 4.32 berechnet. Alternativ zur Berechnung kann A_{SM} in einem vereinfachten Verfahren aus Tabelle 4.3 entnommen werden.

$$\begin{aligned} A_{SM} &= \frac{C_{SM}^2}{\sum A_j \cdot \chi_j^2} \\ &= \frac{(\sum A_j \cdot \chi_j)^2}{\sum A_j \cdot \chi_j^2} \end{aligned} \quad (4.32)$$

Tabelle 4.3: Standardwerte für dynamische Berechnungsparameter im vereinfachten Stundenverfahren gemäß ÖNORM EN ISO 13790 (Quelle: [29])

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

• **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 Raumluftknoten Q_{RA} :

Auf den Raumtemperaturknoten wirken 50 % der internen Lasten infolge des konvektiven Wärmeübergangs:

$$Q_{RA} = 0.5 Q_{int} \quad (4.33)$$

⁹ üblicherweise als C_m bezeichnet

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

- Lasten auf Innenluftknoten Q_{IN} :

$$Q_{IN} = \frac{A_{SM}}{A_t} \cdot (0.5 Q_{int} + Q_{sol}) \quad (4.34)$$

- Lasten auf Speichermasseknoten Q_{SM} :

$$Q_{SM} = \left[1 - \frac{A_{SM}}{A_t} - \frac{L_{T,tr}}{9.1 \cdot A_t} \right] \cdot (0.5 Q_{int} + Q_{sol}) \quad (4.35)$$

Neben den internen Lasten und der Solarstrahlung wirkt auf den Speichermasseknoten auch noch die durch Raumkonditionierung zu- oder abgeführt Wärme Q_{HC} . Wird diese berücksichtigt, kann die totale auf den Speichermasseknoten wirkende Last gemäß Gleichung 4.36 berechnet werden:

$$Q_{SM,tot} = Q_{SM} + L_{AU,SM} \cdot \theta_{AU} + \frac{L_3}{L_2} \cdot \left[Q_{SM} + L_{T,tr} \cdot \theta_{AU} + L_1 \cdot \left(\frac{Q_{HC} + Q_{RA}}{L_V} + \theta_{ZU} \right) \right] \quad (4.36)$$

• Temperaturen:

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

- Zulufttemperatur θ_{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 bestimmt (Mittelwert für den jeweiligen Zeitschritt).

$$\theta_{ZU} = \frac{L_{V,INF} \cdot \theta_{AU} + L_{V,RLT} \cdot \theta_{RLT}}{L_V} \quad (4.37)$$

- Strahlungstemperatur der Speichermasse θ_{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 Speichermasseknoten wirken, definiert. Als mittlere Temperatur für den jeweiligen Zeitschritt kann gemäß Gleichung 4.39 θ_{SM} berechnet werden.

$$\theta_{SM,t} = \frac{\theta_{SM,t-1} \cdot [C_m + 0.5 \cdot (L_1 + L_{AU,SM})] + Q_{SM,tot}}{C_m + 0.5 \cdot (L_1 + L_{AU,SM})} \quad (4.38)$$

$$\theta_{SM} = \frac{\theta_{SM,t} + \theta_{SM,t-1}}{2} \quad (4.39)$$

- Innenlufttemperatur θ_{IN} :

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

$$\theta_{IN} = \frac{L_{SM,IN} \cdot \theta_{SM} + Q_{SM} + L_{T,tr} \cdot \theta_{AU} + L_1 \left(\theta_{ZU} + \frac{Q_{RA} + Q_{HC}}{L_V} \right)}{L_{SM,IN} + L_{T,tr} + L_1} \quad (4.40)$$

- Raumtemperatur θ_{RA} :

Die Temperatur der Raumluft in der Gebäudezone wird gemäß Gleichung 4.41 ermittelt:

$$\theta_{RA} = \frac{L_{RA,IN} \cdot \theta_{IN} + L_V \cdot \theta_{ZU} + Q_{RA} + Q_{HC}}{L_{RA,IN} + L_V} \quad (4.41)$$

- operative Temperatur θ_{OP} :

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

$$\theta_{OP} = 0.5 \theta_{RA} + 0.5 \theta_{SM} \quad (4.42)$$

Um auf Grundlage des beschriebenen Formelapparats den stündlich erforderlichen Energiebedarf in der Gebäudezone ermitteln zu können, ist die Berechnung dreimal durchzuführen. Als Eingangsparameter sind dazu einerseits die Raumsolltemperatur für Heizen $\theta_{RA,sollH}$ und für Kühlen $\theta_{RA,sollC}$ anzugeben – also jene Raumtemperatur, die im Konditionierungsfall als Grenztemperatur dient und nicht überbeziehungsweise unterschritten werden soll. Andererseits muss die Starttemperatur der Temperatur der Speichermassen definiert werden. Diese wird mit $\theta_{RA,sollH}$ festgelegt. Als zusätzliche Eingangsgrößen dienen die verfügbare Heiz- und Kühllast des Heiz- und Kühlsystems ($Q_{H,max}$ und $Q_{C,max}$).

Das Zusammenspiel dieser Eingangsgrößen mit der stundenweise erforderlichen Heiz- und Kühlleistung Q_{HC} der Anlage wird in Abbildung 4.4 dargestellt. Demzufolge können bei der Konditionierung fünf mögliche Situationen auftreten, wobei jede dieser Situationen unterschiedlichen Ergebnisse für die stundenweise Heiz- oder Kühlleistung der Anlage $Q_{HC,ac}$ und die Raumtemperatur $\theta_{RA,ac}$ nach sich zieht:

1. $Q_{HC,un} > Q_{maxH}$
Die Heizleistung der Anlage reicht nicht aus, um die stundenweise erforderliche Heizleistung abzudecken. Die geforderte Raumsolltemperatur im Heizfall $\theta_{RA,sollC}$ kann nicht eingehalten werden ($\theta_{RA,ac} < \theta_{RA,sollH}$).
2. $Q_{maxH} \geq Q_{HC,un}$ und $\theta_{RA,0} < \theta_{RA,sollH}$
Die vorhandene Heizleistung reicht aus, um die stundenweise erforderliche Heizleistung abzudecken. Es erfolgt eine Konditionierung auf die geforderte Raumsolltemperatur für Heizen ($\theta_{RA,ac} = \theta_{RA,sollH}$).
3. $\theta_{RA,sollH} \leq \theta_{RA,0} \leq \theta_{RA,sollC}$
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 $\theta_{RH,sollH}$ und $\theta_{RH,sollC}$.
4. $Q_{maxC} \leq Q_{HC,un}$ und $\theta_{RA,0} > \theta_{RA,sollC}$ ¹⁰
Die vorhandene Kühlleistung reicht aus, um die stundenweise erforderliche Kühlleistung abzudecken. Es erfolgt eine Konditionierung auf die geforderte Raumsolltemperatur für Kühlen $\theta_{RA,sollC}$ ($\theta_{RA,ac} = \theta_{RA,sollC}$).
5. $Q_{maxC} < Q_{HC,un}$
Die Kühlleistung der Anlage reicht nicht aus, um die stundenweise erforderliche Kühlleistung abzudecken. Die geforderte Raumsolltemperatur im Kühlfall $\theta_{RA,sollC}$ kann nicht eingehalten werden ($\theta_{RA,ac} > \theta_{RA,sollC}$).

Die stundenweise Berechnung der erforderlichen Anlagenleistung und der Raumtemperatur erfolgt in vier Schritten, in denen überprüft wird, welche der fünf beschriebenen Situationen zum jeweiligen Berechnungsschritt vorliegt:

¹⁰Negative Werte für Q_{HC} definieren eine erforderliche Kühlleistung. Die maximale Kühllast der Anlage weist daher ebenfalls ein negatives Vorzeichen auf.

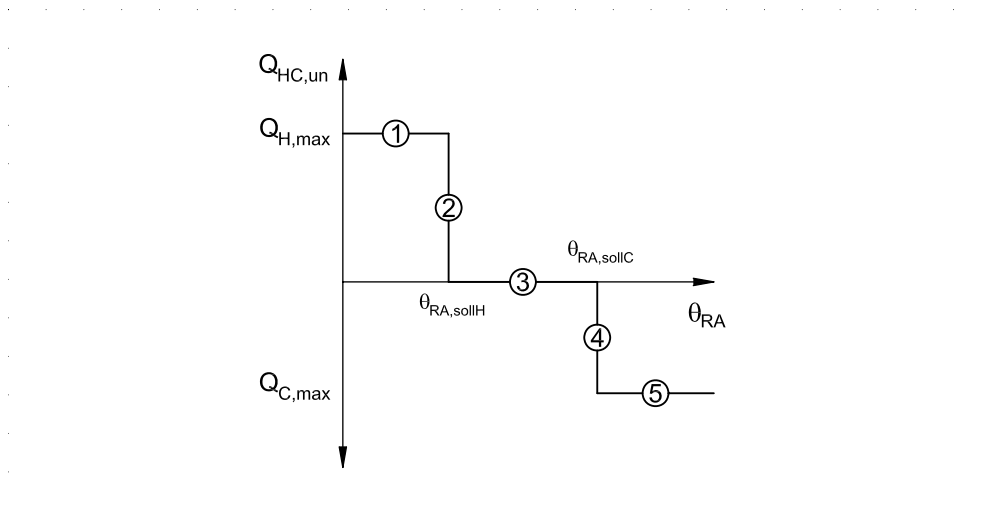


Abbildung 4.4: Darstellung des Zusammenhangs zwischen Raumverhalten (Raumtemperatur) und Anlagenverhalten (Heiz- und Kühlleistung) (eigene Darstellung nach [20])

• Schritt 1: Konditionierungserfordernis prüfen

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

$$Q_{HC} = Q_{HC,0} = 0 \quad (4.43)$$

Gleichung 4.43 besagt, dass keine Wärme durch Konditionierung zu- oder aus der Gebäudezone 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.

Für den Fall, dass Ungleichung 4.44 gilt, ist keine Konditionierung erforderlich. In diesem Fall wird $Q_{HC,ac}$ gemäß Gleichung 4.45 und $\theta_{RA,ac}$ gemäß Gleichung 4.46 berechnet.

$$\theta_{RA,sollH} \leq \theta_{RA,0} \leq \theta_{RA,sollC} \quad (4.44)$$

$$Q_{HC,ac} = 0 \quad (4.45)$$

$$\theta_{RA,ac} = \theta_{RA,0} \quad (4.46)$$

Ist Ungleichung 4.44 nicht erfüllt, ist Schritt 2 anzuwenden.

• Schritt 2: Konditionierung mit beschränkter Anlagenleistung

Im zweiten Schritt wird der Formelapparat unter Annahme der Festlegungen der Gleichung 4.47 durchlaufen (beschränkte Anlagenleistung).

$$Q_{HC} = Q_{HC,10} = 10 \cdot A_{BF} \text{ in W} \quad (4.47)$$

Dadurch wird unterstellt, dass für jeden Zeitschritt eine Beheizung mit einer Leistung von 10 W/m^2 vorgenommen wird, während die Temperatur der Speichermasse zu Beginn des Zeitschritts der Raumsolltemperatur beträgt.

Im vorliegenden Modell wird angenommen, dass ein linearer Zusammenhang zwischen Raumtemperatur und erforderlicher Heiz- oder Kühlleistung vorliegt. Daher kann die unbeschränkte Heiz- oder Kühlleistung je Zeitschritt folgendermaßen ermittelt werden:

$$Q_{HC,un} = Q_{HC,10} \cdot \frac{\theta_{RA,soll} - \theta_{RA,0}}{\theta_{RA,10} - \theta_{RA,0}} \quad (4.48)$$

mit

$$\theta_{RA,soll} = \theta_{RA,sollH} \text{ im Heizfall} \quad (4.49)$$

$$\theta_{RA,soll} = \theta_{RA,sollC} \text{ im Kühlfall} \quad (4.50)$$

Das Vorzeichen der uneingeschränkten stundenweisen Heiz- und Kühlleistung ist im Heizfall positiv (+) und im Kühlfall negativ (-), was aus Gleichung 4.48 abzuleiten ist.

- **Schritt 3: Konditionierung mit uneingeschränkter Anlagenleistung**

Es ist zu prüfen, ob die uneingeschränkte stundenweise erforderliche Heiz- oder Kühlleistung die vorhandene Anlagenleistung überschreitet (die maximale Kühlleistung muss mit negativem Vorzeichen angegeben werden):

$$Q_{C,max} \leq Q_{HC,un} \leq Q_{H,max} \quad (4.51)$$

Wenn Ungleichung 4.44 erfüllt ist, ist für den aktuellen Zeitschritt die installierte Anlagenleistung ausreichend und es gelten die Gleichungen 4.52 und 4.53 (uneingeschränkte Anlagenleistung).

$$Q_{HC,ac} = Q_{HC,un} \quad (4.52)$$

$$\theta_{RA,ac} = \theta_{RA,soll} \quad (4.53)$$

Ist Ungleichung 4.44 nicht erfüllt, ist Schritt 4 anzuwenden.

- **Schritt 4: Konditionierung mit eingeschränkter Anlagenleistung**

Die installierte Anlagenleistung ist für den aktuellen Zeitschritt nicht ausreichend. Daher ist die stundenweise erforderliche Heiz- oder Kühlleistung auf die vorhandene Anlagenleistung einzuschränken (eingeschränkte Anlagenleistung):

$$Q_{HC,ac} = Q_{H,max} \text{ für den Fall, dass die Heizleistung nicht ausreicht} \quad (4.54)$$

$$Q_{HC,ac} = Q_{C,max} \text{ für den Fall, dass die Kühlleistung nicht ausreicht} \quad (4.55)$$

In diesem Fall ist die Berechnung der Temperaturknoten gemäß Gleichung 4.37 bis 4.41 unter Berücksichtigung der tatsächlichen Heiz- oder Kühlleistung zu wiederholen, um die Raumtemperatur $\theta_{RA,ac}$ bestimmen zu können.

- **Schritt 5: Stundenweise erforderliche Zulufttemperaturen**

Auf Grundlage der in den Schritten 1 bis 4 ermittelte stundenweise erforderlichen Anlagenleistung zur Konditionierung der Gebäudezone ist es nun möglich, stundenweise Zulufttemperaturen zu berechnen:

$$\theta_{ZU,h} = \theta_{AU} + \frac{Q_{HC,ac}}{v_{RLT} \cdot c_{p,L} \cdot \rho_L} \quad (4.56)$$

$$\theta_{ZU,c} = \theta_{AU} - \frac{Q_{HC,ac}}{v_{RLT} \cdot c_{p,L} \cdot \rho_L} \quad (4.57)$$

- **Schritt 6: Tatsächliche Raumtemperaturen**

Im HRLYM-Modell wird die wirksame Speicherkapazität als wesentliche Kenngröße der Gebäudetragheit berücksichtigt. Wie bereits beschrieben wird dabei berücksichtigt, wie die Konditionierung der Gebäudezone erfolgt:

- Bei Konditionierung über statische Systeme wirkt der radiative Anteil der Anlagenleistung auf den Speichermasseknoten, der konvektive Anteil auf den Innenluftknoten.
- Bei Konditionierung über die Zuluft tritt eine andere Zulufttemperatur auf, wodurch die Wirkung ausschließlich im Innenluftknoten auftritt.

Durch diese Unterscheidung kann berücksichtigt werden, dass eine Konditionierung über ein statisches System wesentlich träger vonstatten geht als eine Konditionierung über die Zuluft.

Um diesen Aspekt in der vorliegenden Anwendung des HRLYM-Modells korrekt anzuwenden, muss in einem Iterationsschritt die Berechnung der Raumtemperatur erneut durchgeführt werden – diesmal mit den in Schritt 5 ermittelten Zulufttemperaturen des Luftvolumenstroms. Die Ergebnisse im Vergleich zu Schritt 4 verändern sich dadurch dahingehend, dass durch den direkteren Einfluss der Zuluftkonditionierung auf die Innenluft niedrigere Anfahrlastungen nach Wochenendabsenkungen erforderlich sind.

Dazu ist ein neuerlicher Durchlauf der Schritte 1 bis 4 für die Gleichungen 4.36 bis 4.42 erforderlich. Dadurch verändern sich die Temperaturen in den Knoten und die stündlich erforderliche Anlagenleistung geringfügig.

Eingangsgrößen

Für den im vorigen Abschnitt beschriebenen Berechnungsalgorithmus müssen die vorliegenden Eingangsparameter an die erforderlichen Größen 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 Ergebnisse im Vergleich zu einer Berechnung mit stundenweise definierten Eingangsparametern zu erwarten.

• Betriebszeiten

Die täglichen Nutzungsstunden des Gebäudes werden durch den in ÖNORM B 8110-5 vorgegebenen Wert $t_{Nutz,d}$ bestimmt. Die tatsächliche Nutzungszeit wird für die mögliche Anzahl an täglichen Nutzungsstunden gemäß Tabelle 4.4 festgelegt:

Tabelle 4.4: 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:

$$\theta_{RA,sollH} = \theta_{ih} \quad (4.58)$$

$$\theta_{RA,sollC} = \theta_{ic} \quad (4.59)$$

- **interne Wärmelasten**

Interne Wärmelasten werden aus ÖNORM B 8110-5 übernommen. Sie wirken während der tatsächlichen Nutzungszeit des Gebäudes und setzen sich aus Personen- und Gerätelasten ($q_{i,h}$ bzw. $q_{i,c}$) und Beleuchtungslasten ($q_{bel,H}$ bzw. $q_{bel,C}$) zusammen.

$$Q_{int,H} = (q_{i,H} + q_{bel,H}) \cdot A_{BF} \text{ in W} \quad (4.60)$$

$$Q_{int,C} = (q_{i,C} + q_{bel,C}) \cdot A_{BF} \text{ in W} \quad (4.61)$$

Die Berechnung der Beleuchtungslasten erfolgt auf Grundlage der ÖNORM H 5059 [46] und ÖNORM B 8110-6.

$$q_{bel,H} = 0.5 \cdot \frac{LENI \cdot 1000}{t_{Nutz,d} \cdot d_{Nutz,a}} \text{ in W/m}^2 \quad (4.62)$$

$$q_{bel,C} = 1.0 \cdot \frac{LENI \cdot 1000}{t_{Nutz,d} \cdot d_{Nutz,a}} \text{ in W/m}^2 \quad (4.63)$$

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 ÖNORM B 8110-6 mit Klimadaten aus ÖNORM B 8110-5 werden solare Gewinne für Heizwärme- und Kühlbedarfsberechnung als Summenwerte der monatlichen Solarstrahlung in kWh/Mo für die gesamte Gebäudezone ausgewiesen. Diese Monatswerte können aus zwei Gründen nicht auf Stundenwerte heruntergebrochen werden: Einerseits kann der Einfluss von lokalem Wetter 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 eine konstante Einstrahlung für alle Orientierungen in der Zeit von 6:00 bis 18:00 Uhr 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 komplizierteren Eingabe.

$$Q_{sol,H} = \frac{Q_{s,h} \cdot 1000}{d_n \cdot (18 - 6)} \text{ in W} \quad (4.64)$$

$$Q_{sol,C} = \frac{Q_{s,c} \cdot 1000}{d_n \cdot (18 - 6)} \text{ in W} \quad (4.65)$$

Problematisch ist an dieser Berechnung einzig der Umstand, dass die Eingangsgrößen für die Berechnung von $Q_{HC,ac}$ im Heiz- und im Kühlfall unterschiedlich sind (Worst-Case-Annahmen für interne Personen-, Geräte- und Beleuchtungslasten und für Verschattung zur Berechnung des jeweils ungünstigsten Heizwärme- und Kühlbedarfs). Um mit dem HRLYM-Modell für die Berechnung der Zulufttemperaturen eine größtmögliche Übereinstimmung mit den Ergebnissen der monatsweisen Ermittlung

von Heizwärmebedarf und Kühlbedarf zu erhalten, ist eine Abgrenzung zwischen den Perioden unterschiedlicher Eingangsgrößen erforderlich. Als Abgrenzung zwischen Heiz- und Kühlfall gilt die Länge der Heizperiode gemäß ÖNORM H 5056 [43] und die Länge der Kühlperiode gemäß ÖNORM H 5058 [45]:

- Während der Heizperiode erfolgt zum überwiegenden Anteil eine Beheizung des Luftvolumenstroms über die Heizregister in der RLT-Anlage. Dieser Zeitraum wird daher dem „Heizen“ zugeordnet, die Eingangsgrößen für die Zulufttemperaturermittlung entsprechend wie für die Heizwärmebedarfsberechnung angesetzt.
- Außerhalb der Heizperiode ist grundsätzlich keine Beheizung des Zuluftvolumenstroms möglich, da das Heizungssystem nicht aktiv ist. Als Konditionierung wird vorwiegend eine Kühlung des Luftvolumenstroms vorgenommen, daher werden die Eingangsgrößen für „Kühlen“ angesetzt und entsprechend der Kühlbedarfsberechnung angenommen.

Validierung

Es wurde eine Validierung des HRLYM-Modells vorgenommen, um zu prüfen, ob die Anwendung des R5C1-Modells aus ÖNORM EN ISO 13790 im vorliegenden Anwendungsfall plausible Ergebnisse liefert. Die Validierung der Berechnung der stündlich erforderlichen Heiz- und Kühlleistungen wurde anhand folgender Modelle vorgenommen:

- Validierungsbeispiel gemäß ÖNORM EN 15265
- Validierung gegen TRNSYS-Modell

Mit den Validierungsbeispielen gemäß ÖNORM EN 15265 [27] sollte geprüft werden, inwieweit die im vorliegenden Programm und Zusammenhang umgesetzten Algorithmen des normativ festgelegten stundenweisen Berechnungsmodells mit den Ergebnissen auf Jahres- und Monatsebene anderer Berechnungsmodelle übereinstimmen. Die Validierung gegen das TRNSYS-Modell diene in erster Linie zur Überprüfung, ob die berechneten Stundenwerte mit denen eines validierten thermischen Gebäudesimulationsprogramms übereinstimmen. So konnte das HRLYM-Modell auch für Ergebnisse resultierend aus einzelnen Eingangsgrößen geprüft werden.

Die Ergebnisse der beiden Validierungsprüfungen können folgendermaßen zusammengefasst werden¹¹:

- **Validierungsbeispiel gemäß ÖNORM EN 15265:**

Die Ergebnisse für die Validierungsprüfungen P1 bis P12 ergaben Abweichungen im Bereich von $\pm 8\%$ gemäß ÖNORM EN 15265. Damit kann das HRLYM-Modell im vorliegenden Anwendungsfall in der normativ festgelegten Genauigkeitsstufe B eingeordnet werden.

- **Validierung gegen TRNSYS-Modell:**

Für die Validierung des HRLYM-Modells gegen TRNSYS [13] waren einige Anpassungen der Eingangsgrößen erforderlich, um die Voraussetzungen für die Berechnung für beide Modelle einheitlich zu gestalten. Zur Beurteilung der Ergebnisse dieser Validierungsprüfung wurden die Modelle schrittweise erweitert: Auf Basis der Ergebnisse der Variante „nur Transmissionswärmeverluste“ wurde das Modell um die Elemente „Beleuchtung“, „interne Lasten“, „Lüftung“, „Speichermassen“ und schließlich „Solarstrahlung“ erweitert.

Signifikante 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 auf. Diese Abweichungen sind darauf zurückzuführen, dass die Eingangsgrößen der beiden Modelle nicht miteinander vergleichbar sind: Im HRLYM-Modell kann

¹¹Eine detaillierte Darstellung der Validierungsprüfungen erfolgt in Anhang B.

die Solarstrahlung nur aus den Monatswerten der solaren Einträge ermittelt werden und wird gleichmäßig auf alle Tage des Monats aufgeteilt. Diese Vereinfachung entspricht natürlich nicht den realen Bedingungen, wie sie in TRNSYS nachgebildet werden.

Die dadurch entstehenden Unterschiede liegen im Bereich -20 % bis +35 %, wobei die TRNSYS-Ergebnisse vom HRLYM-Modell bei geringen Fensterflächenanteilen unterschritten und bei hohen Fensterflächenanteilen überschritten werden.

Die Genauigkeitsstufe B der ÖNORM EN 15265 ist gleichbedeutend mit guten Ergebnissen einer thermischen Gebäudesimulation, was für ein stundenweises Verfahren mit Eingabegrößen aus einem quasi-statischen Monatsverfahren durchaus herzeigbar erscheint. Die Abweichungen gegenüber TRNSYS sind abermals auf eingeschränkte Eingabegrößen zurückzuführen und im Wesentlichen auf die mangelhafte Berücksichtigung der Solarstrahlung beschränkt. Die Ergebnisse der Validierungsprüfungen werden für den vorliegenden Anwendungsfall des R5C1-Modells daher als ausreichend erachtet.

4.4 Verfeinertes SEK-Modell

In diesem Abschnitt wird das verfeinerte, standortspezifische Modell der spezifischen Energiekennwerte als Gesamtmodell dargestellt. Dazu werden für die in Abbildung 4.1 dargestellte Anlagenkonfiguration die verschiedenen Konditionierungsschritte beschrieben. Die in Schritt 2 der Vorgangsweise definierten Aspekte zur Verfeinerung werden als Ergebniswerte in der Darstellung des Gesamtmodells eingebunden.

Das Gesamtmodell wird getrennt für die abgebildeten Befeuchtungstypen beschrieben:

- keine Befeuchtung
- Verdunstungsbefeuchtung mit Taupunktregelung
- Verdunstungsbefeuchtung mit Zuluftfeuchteregelung
- Dampfbefeuchtung mit Zuluftfeuchteregelung

Die Konditionierungsschritte werden exemplarisch für die sechs Zonen des h-x-Diagramms gemäß VDI 2078 [42] erläutert. Festzuhalten ist hier jedoch, dass diese Zuordnung zu Zonen keine Relevanz für die Berechnung im Modell aufweist. Die Prüfung nach dem Konditionierungserfordernis erfolgt für alle Anlagenbestandteile individuell für jeden Zeitschritt.

Die Vorgangsweise entsprechend diesem verfeinerten SEK-Modell erlaubt es auch, einzelne Anlagenbestandteile nicht in der Berechnung zu berücksichtigen. Bei RLT-Anlagen ohne Luftkühler wird beispielsweise keine Kühlfunktion berücksichtigt – es erfolgt keine Veränderung des thermodynamischen Zustands des Luftvolumenstroms zwischen dem Vorerhitzer und dem Befeuchter. Analog kann auch für alle anderen Anlagenbestandteile wie Erdreichwärmetauscher, Wärme- und Feuchterückgewinnung, Mischkammer, etc. vorgegangen werden.

Außerdem besteht im vorliegenden Modell die Möglichkeit, die geforderte Zuluftfeuchte individuell angeben zu lassen. Die hier angesetzten Werte für x im Bereich von 6,5 g/kg bis 11,5 g/kg wurden analog zu den ursprünglichen Grenzwerte des Anforderungsbereichs „ohne Toleranz“ gewählt, können aber grundsätzlich beliebig variiert werden. Hierzu muss jedoch in weiterer Folge geklärt werden, ob eine derartige Variabilität mit dem Hintergrund einer Bedarfswertberechnung in den Energieausweisnormen in Einklang gebracht werden kann.

Allgemeine Randbedingungen

- Die stundenweisen Außenluftzustände entstammen den Berechnungen des synthetischen Klimamodells.
- Die Berechnung der stündlichen Zuluft- und Innenlufttemperaturen erfolgt über das Lastmodell des HRLYM-Modells.
- Es werden keine internen Befeuchtungslasten in der Berechnung berücksichtigt. Die Abluftfeuchte des aktuellen Stundenschritts entspricht der Innenluftfeuchte des vorangegangenen Stundenschritts.
- Bei Kühlung ohne Entfeuchtung ($x_{MK} \geq x_{KHL}$) erfolgt eine ausschließliche Temperaturreduktion, die absolute Luftfeuchtigkeit bleibt unverändert.
- Entfeuchtung im Luftkühler kann uneingeschränkt vorgenommen werden.

- Kühlung mit Entfeuchtung erfolgt entlang einer (theoretischen) Gerade in Richtung der mittleren Kaltwassertemperatur $t_{o,eff}$ (Benutzerangabe). Der Luftzustand bei Austritt aus dem Luftkühler wird bestimmt durch die geforderte Zulufttemperatur und daraus resultierend die erforderliche Lufttemperatur (nach einem ev. notwendigen Nacherhitzen). Die absolute Luftfeuchte muss innerhalb des Behaglichkeitsbereichs liegen, bestimmende Größe ist jedoch die geforderte Lufttemperatur.
- Der Rippenwirkungsgrad η_R des Luftkühlers wird nicht berücksichtigt.
- Ober- und Untergrenzen des Behaglichkeitsbereichs für absolute Luftfeuchtigkeit und Innenlufttemperatur können für die Berechnung der spezifischen Energiekennwerte frei gewählt werden. Im Rahmen der Anwendung der übrigen Energieausweisnormen ist jedoch der Behaglichkeitsbereich für die Innenlufttemperatur zwischen 20 °C und 26 °C und für die absolute Luftfeuchte zwischen 6,5 und 11,5 g/kg vorgegeben¹² [23, 44].
- Bei Unterschreiten der Taupunkttemperatur im Erdreichwärmetauscher erfolgt eine Entfeuchtung der Luft auf eine relative Feuchte von $\varphi = 100\%$ bei Austritt aus dem Erdreichwärmetauscher.
- Bei reiner Wärmerückgewinnung erfolgt die Bypass-Regelung des Bypass-Systems Temperaturabhängig.
- Bei Wärme- und Feuchterückgewinnung erfolgt die Bypass-Regelung Enthalpieabhängig.
- Die Regelung der Drosselklappen der Mischkammer erfolgt Enthalpieabhängig.

4.4.1 RLT-Anlage ohne Befeuchtung

Eine RLT-Anlage ohne Befeuchtung kommt ohne die Anlagenbestandteile „Vorerhitzung“ und „Befeuchtung“ aus. 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.

Randbedingungen

- Es sind keine Anlagenbestandteile für Vorerhitzung und Befeuchtung vorgesehen.
- Entfeuchtung im Luftkühler kann uneingeschränkt vorgenommen werden.
- Feuchterückgewinnung über einen regenerativen Feuchtetauscher ist möglich.

Enthalpiedifferenzen

Die Enthalpiedifferenzen als Grundlage der spezifischen Energiekennwerte von RLT-Anlagen ohne Befeuchtung für die einzelnen Stundenschritte werden wie folgt berechnet:

$$\Delta h_H = (h_{VEH} - h_{MK}) + (h_{NEH} - h_{BEF}) \quad (4.66)$$

$$\Delta h_C = h_{VEH} - h_{KHL} \quad (4.67)$$

¹²In den Darstellungen zur Konditionierung wird der Behaglichkeitsbereich wie in den normativen Bestimmungen vorgegeben gewählt.

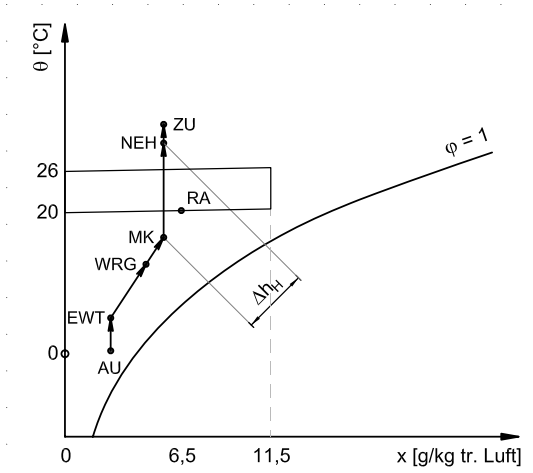


Abbildung 4.5: Konditionierung ohne Befeuchtung in Zone 1a

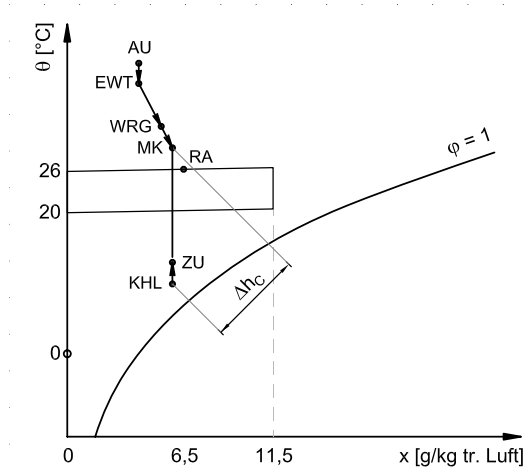


Abbildung 4.8: Konditionierung ohne Befeuchtung in Zone 1b

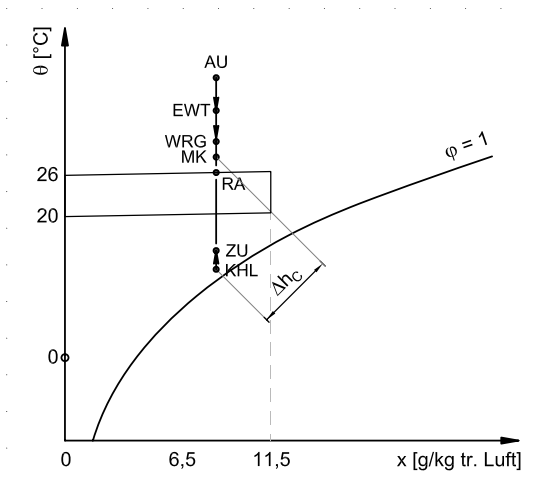


Abbildung 4.6: Konditionierung ohne Befeuchtung in Zone 2

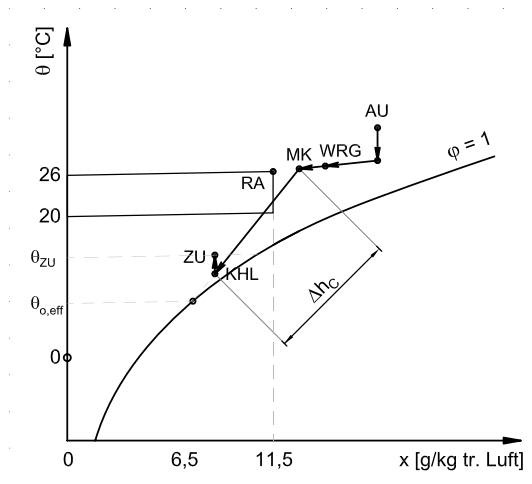


Abbildung 4.9: Konditionierung ohne Befeuchtung in Zone 3

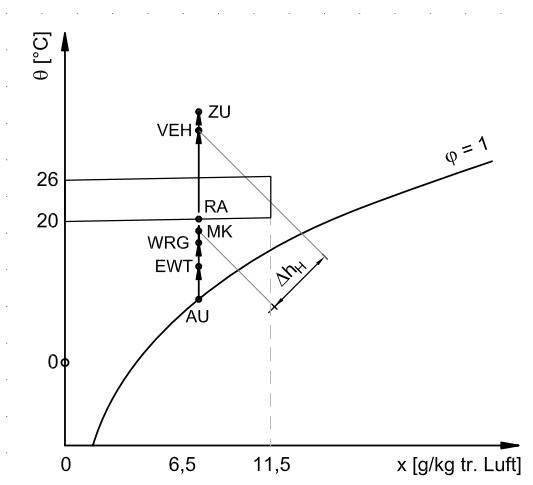


Abbildung 4.7: Konditionierung ohne Befeuchtung in Zone 4

Tabelle 4.5: Zustände des Zuluftvolumenstroms in der RLT-Anlage: ohne Befeuchtung

RLT-Bauteil		thermodynamischer Zustand der Zuluft	Schritt
EWT	Erdreichwärmetauscher	θ_{EWT} : gemäß EWT-Berechnung x_{EWT} : gemäß EWT-Berechnung $h_{EWT} = h(\theta_{EWT}, x_{EWT})$	θ -1 x -1
WRG	Wärme- und Feuchterückgewinnung	$\theta_{WRG} = \Phi_{WRG} \cdot (\theta_{AB} - \theta_{EWT}) + \theta_{EWT}$ $x_{WRG} = \Phi_{FRG} \cdot (x_{AB} - x_{EWT}) + x_{EWT}$ $h_{WRG} = h(\theta_{WRG}, x_{WRG})$	θ -7 x -3
MK	Mischkammer	$\theta_{MK} = \theta_{WRG} \cdot (1 - u_{UM}) + \theta_{AB} \cdot u_{UM}$ $x_{MK} = x_{WRG} \cdot (1 - u_{UM}) + x_{AB} \cdot u_{UM}$ $h_{MK} = h(\theta_{MK}, x_{MK})$	θ -8 x -4
KHL	Kühler	$x_{MK} \geq x_{NEH}$: $\theta_{KHL} = \theta_{o,eff} + (\theta_{VEH} - \theta_{o,eff}) \cdot \frac{x_{KHL} - x_{o,eff}}{x_{VEH} - x_{o,eff}}$ $x_{KHL} = x_{o,eff} + (x_{VEH} - x_{o,eff}) \cdot \frac{\theta_{NEH} - \theta_{o,eff}}{\theta_{VEH} - \theta_{o,eff}}$ $h_{KHL} = h(\theta_{KHL}, x_{KHL})$ $x_{MK} < x_{NEH}$: $\theta_{KHL} = \theta(h_{KHL}, x_{KHL})$ $x_{KHL} = x_{VEH}$ $h_{KHL} = h_{NEH}$	θ -9 = x -9
NEH	Nacherhitzer	$\theta_{NEH} = \theta_{VENT} - \Delta\theta_{VENT}$ $x_{NEH} = x_{VENT}$ $h_{NEH} = h(\theta_{NEH}, x_{NEH})$	θ -6 = x -8
VENT	Zuluft-Ventilator	$\theta_{VENT} = \theta_{ZU}$ $x_{VENT} = x_{ZU}$ $h_{VENT} = h(\theta_{VENT}, x_{VENT})$	θ -5 = x -7
ZU	Zuluft	θ_{ZU} : gemäß Lastberechnung $x_{ZU} = x_{MK}$ mit: $x_{RA,min} \leq x_{MK} \leq x_{RA,max}$ $h_{ZU} = h(\theta_{ZU}, x_{ZU})$	θ -2 x -5
RA	Raumluft	θ_{RA} : gemäß Lastberechnung (bei t-1) $x_{RA} = x_{ZU}$ (bei t-1) $h_{RA} = h(\theta_{RA}, x_{RA})$	θ -3 x -6
AB	Abluft	$\theta_{AB} = \theta_{RA}$ (bei t-1) $x_{AB} = x_{RA}$ (bei t-1) $h_{RA} = h(\theta_{RA}, x_{RA})$	θ -4 x -2

Tabelle 4.6: Betriebsbedingungen der RLT-Bauteile: ohne Befeuchtung

RLT-Bauteil		Bedingung	Anweisung
EWT	Erdreichwärmetauscher	TP: $\theta_{EWT} < \theta_{TP}(x_{AU})$	$x_{EWT} = x_{TP}(\theta_{EWT})$
		HF: $\theta_{AU} \geq \theta_{BO} \vee \theta_{AU} \leq \theta_{ZU}$	EWT inaktiv
		KF: $\theta_{AU} \leq \theta_{BO} \vee \theta_{AU} \geq \theta_{ZU}$	
WRG	Wärme- und Feuchte- rückgewinnung	HF-WRG: $\theta_{EWT} \geq \theta_{AB} \vee \theta_{AU} \leq \theta_{ZU}$	WRG inaktiv
		KF-WRG: $\theta_{EWT} \leq \theta_{AB} \vee \theta_{AU} \geq \theta_{ZU}$	WRG inaktiv
		HF-FRG: $h_{EWT} \geq h_{AB} \vee \theta_{AU} \leq \theta_{ZU}$	
		KF-FRG: $h_{EWT} \leq h_{AB} \vee \theta_{AU} \geq \theta_{ZU}$	
MK	Mischkammer	HF-MK: $h_{WRG} \geq h_{AB} \vee \theta_{AU} \leq \theta_{ZU}$	MK inaktiv
		KF-MK: $h_{WRG} \leq h_{AB} \vee \theta_{AU} \geq \theta_{ZU}$	
VEH	Vorerhitzer		VEH inaktiv
KHL	Kühler	$h_{MK} \leq h_{NEH}$	KHL inaktiv
BEF	adiabater Wäscher		BEF inaktiv
NEH	Nacherhitzer	–	
VENT	Zuluft-Ventilator	–	
ZU	Zuluft	TP: $\theta_{ZU} - \Delta\theta_{VENT} \leq \theta_{TP}(x_{ZU})$	$x_{ZU} = x_{TP}(\theta_{ZU} - \Delta\theta_{VENT})$
RA	Raumluft	–	
AB	Abluft	–	

4.4.2 RLT-Anlage 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 [39].

Randbedingungen

- adiabate Befeuchtung
- Regelung der Zuluftfeuchte über Zuluftfeuchteregelung

Enthalpiedifferenzen

Die Enthalpiedifferenzen als Grundlage der spezifischen Energiekennwerte von Verdunstungsbefeuchtung mit Zuluftfeuchteregelung für die einzelnen Stundenschritte werden wie folgt berechnet:

$$\Delta h_H = (h_{VEH} - h_{MK}) + (h_{NEH} - h_{BEF}) \quad (4.68)$$

$$\Delta h_C = h_{VEH} - h_{KHL} \quad (4.69)$$

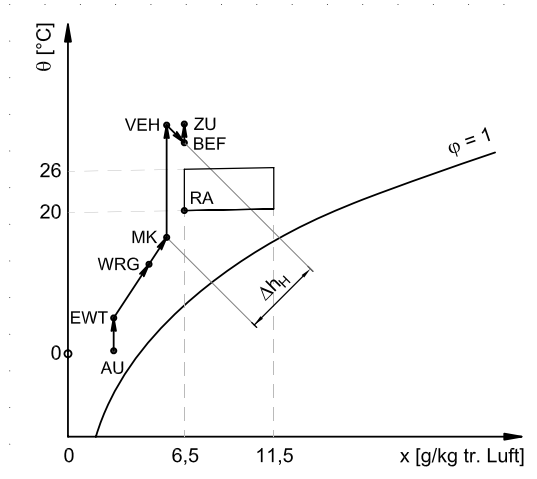


Abbildung 4.10: Konditionierung mit Verdunstungsbefeuchtung (ZF-Regelung) in Zone 1a

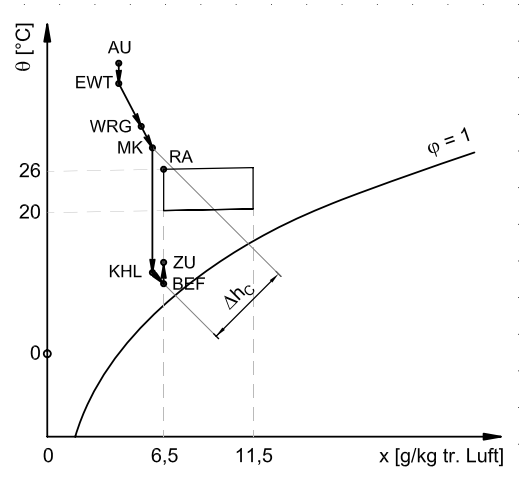


Abbildung 4.13: Konditionierung mit Verdunstungsbefeuchtung (ZF-Regelung) in Zone 1b

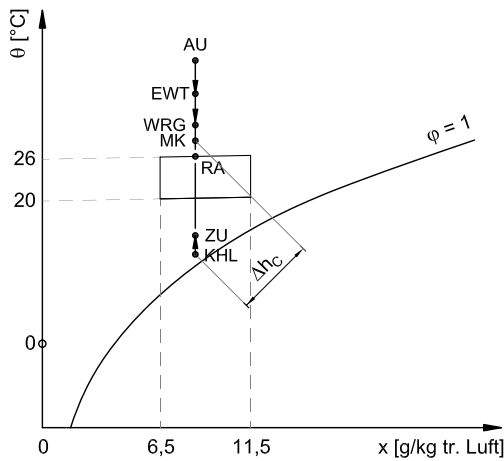


Abbildung 4.11: Konditionierung mit Verdunstungsbefeuchtung (ZF-Regelung) in Zone 2

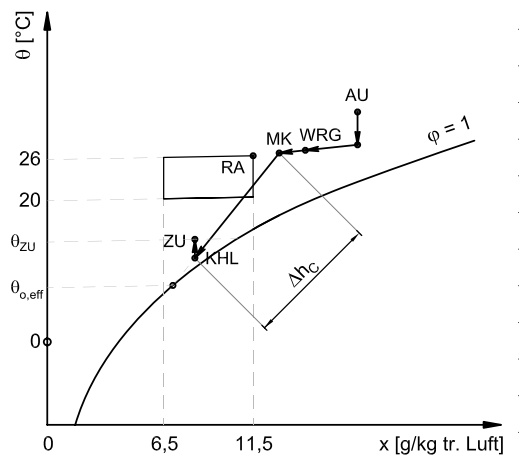


Abbildung 4.14: Konditionierung mit Verdunstungsbefeuchtung (ZF-Regelung) in Zone 3

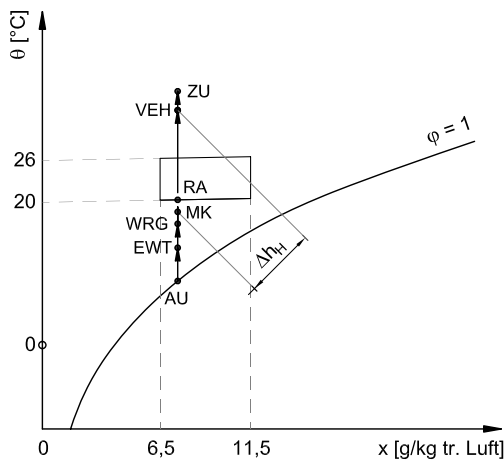


Abbildung 4.12: Konditionierung mit Verdunstungsbefeuchtung (ZF-Regelung) in Zone 4

Tabelle 4.7: Zustände des Zuluftvolumenstroms in der RLT-Anlage: Verdunstungsbefeuchtung mit Zuluftfeuchteregelung

RLT-Bauteil		thermodynamischer Zustand der Zuluft	Schritt
EWT	Erdreichwärmetauscher	θ_{EWT} : gemäß EWT-Berechnung x_{EWT} : gemäß EWT-Berechnung $h_{EWT} = h(\theta_{EWT}, x_{EWT})$	θ -1 x -1
WRG	Wärme- und Feuchterückgewinnung	$\theta_{WRG} = \Phi_{WRG} \cdot (\theta_{AB} - \theta_{EWT}) + \theta_{EWT}$ $x_{WRG} = \Phi_{FRG} \cdot (x_{AB} - x_{EWT}) + x_{EWT}$ $h_{WRG} = h(\theta_{WRG}, x_{WRG})$	θ -7 x -3
MK	Mischkammer	$\theta_{MK} = \theta_{WRG} \cdot (1 - u_{UM}) + \theta_{AB} \cdot u_{UM}$ $x_{MK} = x_{WRG} \cdot (1 - u_{UM}) + x_{AB} \cdot u_{UM}$ $h_{MK} = h(\theta_{MK}, x_{MK})$	θ -8 x -4
VEH	Vorerhitzer	$\theta_{VEH} = \theta(h_{VEH}, x_{MK})$ $x_{VEH} = x_{MK}$ $h_{VEH} = h_{NEH}$	θ -9 = x -9
KHL	Kühler	$x_{VEH} > x_{NEH}$: $\theta_{KHL} = \theta_{o,eff} + (\theta_{VEH} - \theta_{o,eff}) \cdot \frac{x_{KHL} - x_{o,eff}}{x_{VEH} - x_{o,eff}}$ $x_{KHL} = x_{o,eff} + (x_{VEH} - x_{o,eff}) \cdot \frac{\theta_{NEH} - \theta_{o,eff}}{\theta_{VEH} - \theta_{o,eff}}$ $h_{KHL} = h(\theta_{KHL}, x_{KHL})$ $x_{VEH} \leq x_{NEH}$: $\theta_{KHL} = \theta(h_{KHL}, x_{KHL})$ $x_{KHL} = x_{VEH}$ $h_{KHL} = h_{NEH}$	θ -10 = x -10
BEF	adiabater Wäscher	$\theta_{BEF} = \theta(h_{BEF}, x_{BEF})$ $x_{BEF} = x_{NEH}$ $h_{BEF} = h_{NEH}$	θ -11 = x -11
NEH	Nacherhitzer	$\theta_{NEH} = \theta_{VENT} - \Delta\theta_{Vent}$ $x_{NEH} = x_{ZU}$ $h_{NEH} = h(\theta_{NEH}, x_{NEH})$	θ -6 x -8
VENT	Zuluft-Ventilator	$\theta_{VENT} = \theta_{ZU}$ $x_{VENT} = x_{ZU}$ $h_{VENT} = h(\theta_{VENT}, x_{VENT})$	θ -5 x -7
ZU	Zuluft	θ_{ZU} : gemäß Lastberechnung $x_{ZU} = x_{MK}$ mit: $x_{RA,min} \leq x_{MK} \leq x_{RA,max}$ $h_{ZU} = h(\theta_{ZU}, x_{ZU})$	θ -2 x -5
RA	Raumluft	θ_{RA} : gemäß Lastberechnung (bei t-1) $x_{RA} = x_{ZU}$ (bei t-1) $h_{RA} = h(\theta_{RA}, x_{RA})$	θ -3 x -6
AB	Abluft	$\theta_{AB} = \theta_{RA}$ (bei t-1) $x_{AB} = x_{RA}$ (bei t-1) $h_{AB} = h(\theta_{AB}, x_{AB})$	θ -4 x -2

Tabelle 4.8: Betriebsbedingungen der RLT-Bauteile: Verdunstungsbefeuchtung mit Zuluftfeuchterege-
lung

RLT-Bauteil		Bedingung	Anweisung
EWT	Erdreichwärmetauscher	TP: $\theta_{EWT} \geq \theta_{TP}(x_{AU})$	$x_{EWT} = x_{TP}(\theta_{EWT})$
		HF: $\theta_{AU} \geq \theta_{BO} \vee \theta_{AU} \leq \theta_{ZU}$	EWT inaktiv
		KF: $\theta_{AU} \leq \theta_{BO} \vee \theta_{AU} \geq \theta_{ZU}$	
WRG	Wärme- und Feuchte- rückgewinnung	HF-WRG: $\theta_{EWT} \geq \theta_{AB} \vee \theta_{AU} \leq \theta_{ZU}$	WRG inaktiv
		KF-WRG: $\theta_{EWT} \leq \theta_{AB} \vee \theta_{AU} \geq \theta_{ZU}$	WRG inaktiv
		HF-FRG: $h_{EWT} \geq h_{AB} \vee \theta_{AU} \leq \theta_{ZU}$	
		KF-FRG: $h_{EWT} \leq h_{AB} \vee \theta_{AU} \geq \theta_{ZU}$	
MK	Mischkammer	HF-MK: $h_{WRG} \geq h_{AB} \vee \theta_{AU} \leq \theta_{ZU}$	MK inaktiv
		KF-MK: $h_{WRG} \leq h_{AB} \vee \theta_{AU} \geq \theta_{ZU}$	
VEH	Vorerhitzer	$h_{MK} \geq h_{NEH}$	VEH inaktiv
KHL	Kühler	$h_{VEH} \leq h_{NEH}$	KHL inaktiv
BEF	adiabater Wäscher	$x_{KHL} \geq x_{NEH}$	BEF inaktiv
NEH	Nacherhitzer	–	
VENT	Zuluft-Ventilator	–	
ZU	Zuluft	TP: $\theta_{ZU} - \Delta\theta_{VENT} \leq \theta_{TP}(x_{ZU})$	$x_{ZU} = x_{TP}(\theta_{ZU} - \Delta\theta_{VENT})$
RA	Raumluft	–	
AB	Abluft	–	

4.4.3 RLT-Anlage 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 φ von nahezu 100 % erreicht wird (der maximale Befeuchterwirkungsgrad η_{BEF} ist zu berücksichtigen). 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 Rückwärm- und Rückfeuchtzahlen beziehungsweise mit hohem Umluftanteil der Enthalpieinhalt der Luft nach der Mischkammer 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 ÖNORM B 8110-5 und ÖNORM H 5057 ist diese Möglichkeit nicht gegeben, die Zuluftfeuchte muss stets einen bestimmten Wert einhalten.

spezifische Randbedingungen

- adiabate Befeuchtung
- Regelung der Zuluftfeuchte über Taupunktregelung
- Vorgabe des Befeuchterwirkungsgrad η_{BEF} durch den Benutzer

Enthalpiedifferenzen

Die Enthalpiedifferenzen als Grundlage der spezifischen Energiekennwerte von Verdunstungsbefeuchtung mit Taupunktregelung für die einzelnen Stundenschritte werden wie folgt berechnet:

$$\Delta h_H = (h_{VEH} - h_{MK}) + (h_{NEH} - h_{BEF}) \quad (4.70)$$

$$\Delta h_C = h_{VEH} - h_{KHL} \quad (4.71)$$

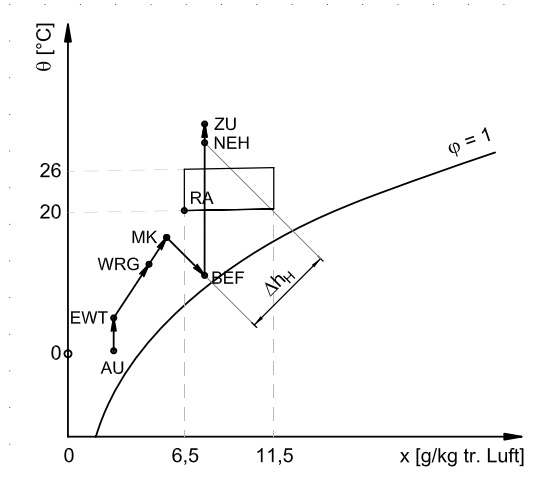


Abbildung 4.15: Konditionierung mit Verdunstungsbefeuchtung (TP-Regelung) in Zone 1a

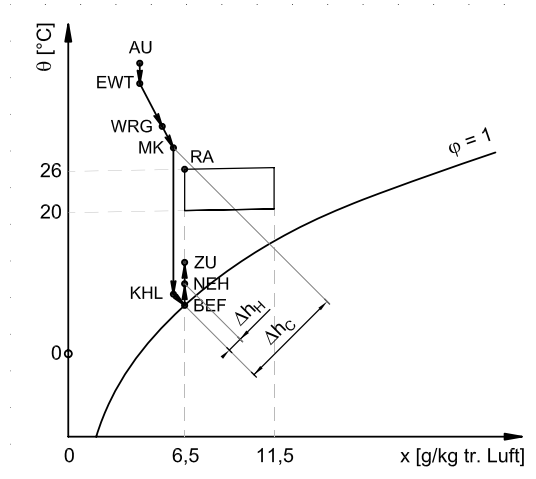


Abbildung 4.18: Konditionierung mit Verdunstungsbefeuchtung (TP-Regelung) in Zone 1b

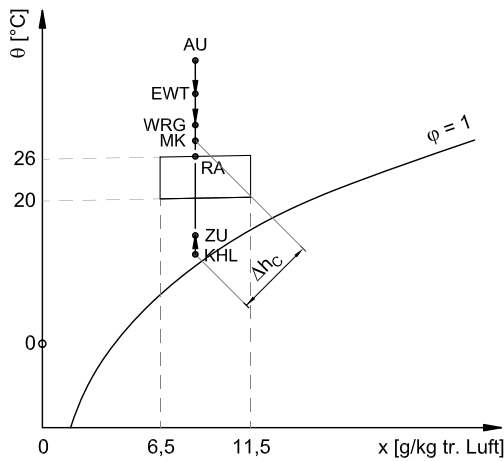


Abbildung 4.16: Konditionierung mit Verdunstungsbefeuchtung (TP-Regelung) in Zone 2

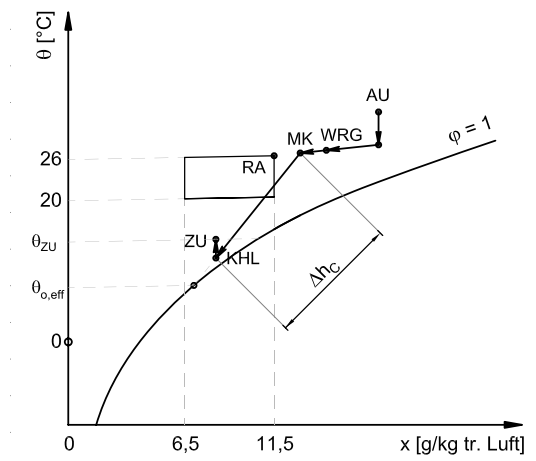


Abbildung 4.19: Konditionierung mit Verdunstungsbefeuchtung (TP-Regelung) in Zone 3

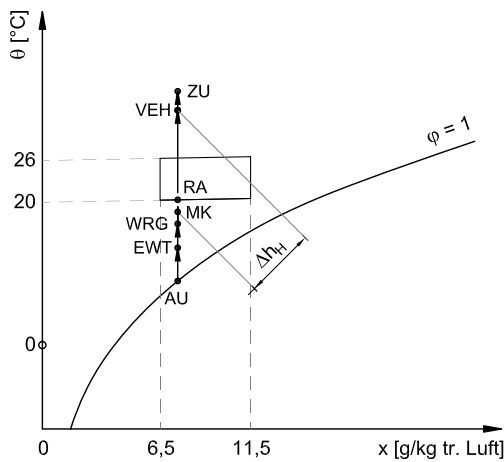


Abbildung 4.17: Konditionierung mit Verdunstungsbefeuchtung (TP-Regelung) in Zone 4

Tabelle 4.9: Zustände des Zuluftvolumenstroms in der RLT-Anlage: Verdunstungsbefeuchtung mit Taupunktregelung

RLT-Bauteil		thermodynamischer Zustand der Zuluft	Schritt
EWT	Erdreichwärmetauscher	θ_{EWT} : gemäß EWT-Berechnung x_{EWT} : gemäß EWT-Berechnung $h_{EWT} = h(\theta_{EWT}, x_{EWT})$	θ -1 x -1
WRG	Wärme- und Feuchterückgewinnung	$\theta_{WRG} = \Phi_{WRG} \cdot (\theta_{AB} - \theta_{EWT}) + \theta_{EWT}$ $x_{WRG} = \Phi_{FRG} \cdot (x_{AB} - x_{EWT}) + x_{EWT}$ $h_{WRG} = h(\theta_{WRG}, x_{WRG})$	θ -7 x -3
MK	Mischkammer	$\theta_{MK} = \theta_{WRG} \cdot (1 - u_{UM}) + \theta_{AB} \cdot u_{UM}$ $x_{MK} = x_{WRG} \cdot (1 - u_{UM}) + x_{AB} \cdot u_{UM}$	θ -8 x -4
VEH	Vorerhitzer	$\theta_{VEH} = \theta(h_{VEH}, x_{VEH})$ $x_{VEH} = x_{MK}$ $h_{VEH} = h_{TP}(x_{RA,min})$	θ -9 x -11
KHL	Kühler	$x_{VEH} \geq x_{NEH}$: $\theta_{KHL} = \theta_{o,eff} + (\theta_{VEH} - \theta_{o,eff}) \cdot \frac{x_{KHL} - x_{o,eff}}{x_{VEH} - x_{o,eff}}$ $x_{KHL} = x_{o,eff} + (x_{VEH} - x_{o,eff}) \cdot \frac{\theta_{NEH} - \theta_{o,eff}}{\theta_{VEH} - \theta_{o,eff}}$ $h_{KHL} = h(\theta_{KHL}, x_{KHL})$ $x_{VEH} \leq x_{NEH}$: $\theta_{KHL} = \theta(h_{KHL}, x_{KHL})$ $x_{KHL} = x_{VEH}$ $h_{KHL} = h_{NEH}$	θ -10 x -11
BEF	adiabater Wäscher	$\theta_{BEF} = \theta(h_{BEF}, x_{BEF})$ $x_{BEF} = x_{KHL} + x(h_{BEF}, \theta_{TP}(h_{BEF})) \cdot \eta_{BEF}$ $h_{BEF} = h_{KHL}$	θ -11 x -9
NEH	Nacherhitzer	$\theta_{NEH} = \theta_{VENT} - \Delta\theta_{Vent}$ $x_{NEH} = x_{ZU}$ $h_{NEH} = h(\theta_{NEH}, x_{NEH})$	θ -6 x -8
VENT	Zuluft-Ventilator	$\theta_{VENT} = \theta_{ZU}$ $x_{VENT} = x_{ZU}$ $h_{VENT} = h(\theta_{VENT}, x_{VENT})$	θ -5 x -7
ZU	Zuluft	θ_{ZU} : gemäß Lastberechnung $x_{ZU} = x_{MK}$ mit: $x_{RA,min} \leq x_{MK} \leq x_{RA,max}$ $h_{ZU} = h(\theta_{ZU}, x_{ZU})$	θ -2 x -6
RA	Raumluft	θ_{RA} : gemäß Lastberechnung (bei t-1) $x_{RA} = x_{ZU}$ (bei t-1) $h_{RA} = h(\theta_{RA}, x_{RA})$	θ -3 x -5
AB	Abluft	$\theta_{AB} = \theta_{RA}$ (bei t-1) $x_{AB} = x_{RA}$ (bei t-1) $h_{AB} = h(\theta_{AB}, x_{AB})$	θ -4 x -2

Tabelle 4.10: Betriebsbedingungen der RLT-Bauteile: Verdunstungsbefeuchtung mit Taupunktregelung

RLT-Bauteil		Bedingung	Anweisung
EWT	Erdreichwärmetauscher	TP: $\theta_{EWT} \geq \theta_{TP}(x_{AU})$	$x_{EWT} = x_{TP}(\theta_{EWT})$
		HF: $\theta_{AU} \geq \theta_{BO} \vee \theta_{AU} \leq \theta_{ZU}$	EWT inaktiv
		KF: $\theta_{AU} \leq \theta_{BO} \vee \theta_{AU} \geq \theta_{ZU}$	
WRG	Wärme- und Feuchterückgewinnung	HF-WRG: $\theta_{EWT} \geq \theta_{AB} \vee \theta_{AU} \leq \theta_{ZU}$	WRG inaktiv
		KF-WRG: $\theta_{EWT} \leq \theta_{AB} \vee \theta_{AU} \geq \theta_{ZU}$	WRG inaktiv
		HF-FRG: $h_{EWT} \geq h_{AB} \vee \theta_{AU} \leq \theta_{ZU}$	
		KF-FRG: $h_{EWT} \leq h_{AB} \vee \theta_{AU} \geq \theta_{ZU}$	
MK	Mischkammer	HF-MK: $h_{WRG} \geq h_{AB} \vee \theta_{AU} \leq \theta_{ZU}$	MK inaktiv
		KF-MK: $h_{WRG} \leq h_{AB} \vee \theta_{AU} \geq \theta_{ZU}$	
VEH	Vorerhitzer	$h_{MK} \geq h_{TP}(x_{RA,min})$	VEH inaktiv
KHL	Kühler	$h_{VEH} \leq h_{NEH}$	KHL inaktiv
BEF	adiabater Wäscher	$x_{KHL} \geq x_{NEH}$	BEF inaktiv
NEH	Nacherhitzer	–	
VENT	Zuluft-Ventilator	–	
ZU	Zuluft	TP: $\theta_{ZU} - \Delta\theta_{VENT} \leq \theta_{TP}(x_{ZU})$	$x_{ZU} = x_{TP}(\theta_{ZU} - \Delta\theta_{VENT})$
RA	Raumluft	–	
AB	Abluft	–	

4.4.4 RLT-Anlage mit Dampfbefeuchtung mit Zuluftfeuchteregelung

Bei Dampfbefeuchtung erfolgt die Richtung der Zustandsänderung entsprechend des Wärmeinhalts des eingebrachten Wasserdampfes. Bei Befeuchtung mit Satttdampf mit einer Temperatur von rund 100 °C erfolgt die Zustandsänderung in etwa isotherm (also parallel zu den Linien gleicher Temperatur = Isothermen). Die Regelung der erforderlichen Zuluftfeuchte erfolgt auch hier durch eine direkte, stetige Feuchteregelung, die eine exakte Zuluftfeuchte in Abhängigkeit von der Raumluftefeuchte bei jedem Zeitschritt gewährleistet [39].

Bei Anlagen mit Dampfbefeuchtung wird im Zuge der Befeuchtung dem Luftvolumenstrom nicht nur Wasser sondern auch Wärme zugeführt. Die so eingebrachte Enthalpiedifferenz wird als Δh_{St} bezeichnet und führt in weiterer Folge zum spezifischen Energiekennwert für (Dampf-) Befeuchtung q_{St} . Dieser SEK-Wert tritt bei Anlagen mit Verdunstungs-befeuchtung nicht auf.

spezifische Randbedingungen

- Befeuchtung mit Satttdampf (100 °C)
- direkte, stetige Zuluftfeuchteregelung

Enthalpiedifferenzen

Die Enthalpiedifferenzen als Grundlage der spezifischen Energiekennwerte von Dampfbefeuchtung mit Zuluftfeuchteregelung für die einzelnen Stundenschritte werden wie folgt berechnet:

$$\Delta h_H = (h_{VEH} - h_{MK}) + (h_{NEH} - h_{BEF}) \quad (4.72)$$

$$\Delta h_C = h_{VEH} - h_{KHL} \quad (4.73)$$

$$\Delta h_{St} = h_{BEF} - h_{VEH} \quad (4.74)$$

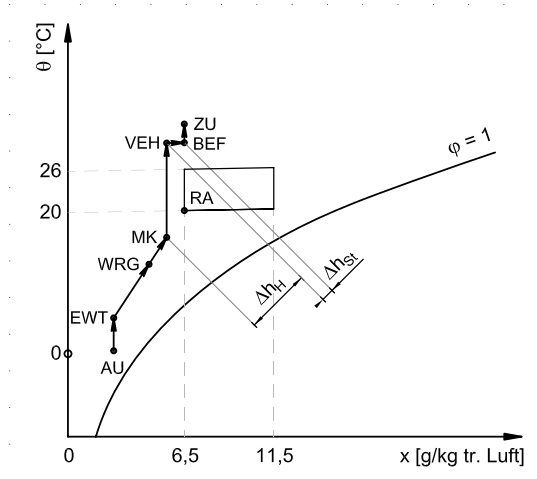


Abbildung 4.20: Konditionierung mit Dampfbe-
feuchtung (ZF-Regelung) in Zone 1a

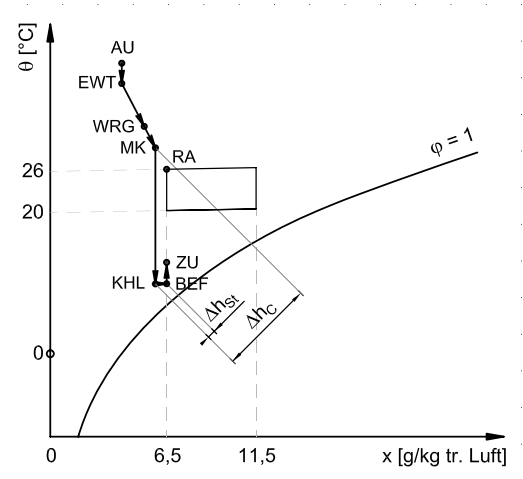


Abbildung 4.23: Konditionierung mit Dampfbe-
feuchtung (ZF-Regelung) in Zone 1b

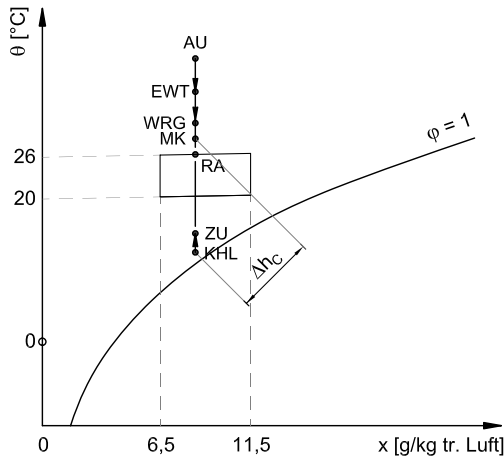


Abbildung 4.21: Konditionierung mit Dampfbe-
feuchtung (ZF-Regelung) in Zone 2

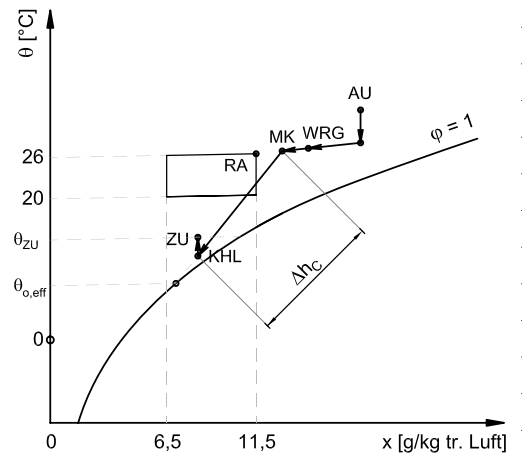


Abbildung 4.24: Konditionierung mit Dampfbe-
feuchtung (ZF-Regelung) in Zone 3

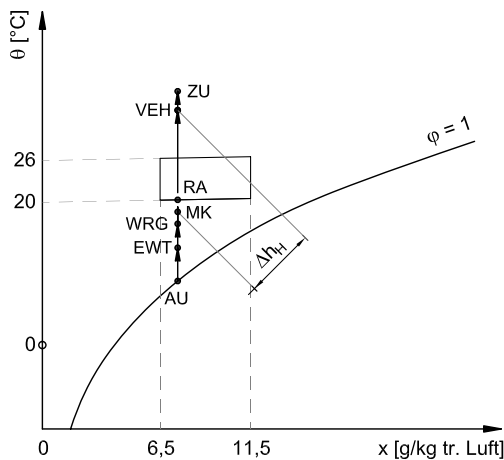


Abbildung 4.22: Konditionierung mit Dampfbe-
feuchtung (ZF-Regelung) in Zone 4

Tabelle 4.11: Zustände des Zuluftvolumenstroms in der RLT-Anlage: Dampfbefeuchtung mit Zuluftfeuchterege lung

RLT-Bauteil		thermodynamischer Zustand der Zuluft	Schritt
EWT	Erdreichwärmetauscher	θ_{EWT} : gemäß EWT-Berechnung x_{EWT} : gemäß EWT-Berechnung $h_{EWT} = h(\theta_{EWT}, x_{EWT})$	θ -1 x -1
WRG	Wärme- und Feuchterückgewinnung	$\theta_{WRG} = \Phi_{WRG} \cdot (\theta_{AB} - \theta_{EWT}) + \theta_{EWT}$ $x_{WRG} = \Phi_{FRG} \cdot (x_{AB} - x_{EWT}) + x_{EWT}$ $h_{WRG} = h(\theta_{WRG}, x_{WRG})$	θ -7 x -3
MK	Mischkammer	$\theta_{MK} = \theta_{WRG} \cdot (1 - u_{UM}) + \theta_{AB} \cdot u_{UM}$ $x_{MK} = x_{WRG} \cdot (1 - u_{UM}) + x_{AB} \cdot u_{UM}$ $h_{MK} = h(\theta_{MK}, x_{MK})$	θ -8 x -4
VEH	Vorerhitzer	$\theta_{VEH} = \theta_{NEH}$ $x_{VEH} = x_{MK}$ $h_{VEH} = h(\theta_{VEH}, x_{VEH})$	θ -9 = x -9
KHL	Kühler	$x_{VEH} > x_{NEH}$: $\theta_{KHL} = \theta_{o,eff} + (\theta_{VEH} - \theta_{o,eff}) \cdot \frac{x_{KHL} - x_{o,eff}}{x_{VEH} - x_{o,eff}}$ $x_{KHL} = x_{o,eff} + (x_{VEH} - x_{o,eff}) \cdot \frac{\theta_{NEH} - \theta_{o,eff}}{\theta_{VEH} - \theta_{o,eff}}$ $h_{KHL} = h(\theta_{KHL}, x_{KHL})$ $x_{VEH} \leq x_{NEH}$: $\theta_{KHL} = \theta(h_{KHL}, x_{KHL})$ $x_{KHL} = x_{VEH}$ $h_{KHL} = h_{NEH}$	θ -10 = x -10
BEF	Dampfbefeuchter	$\theta_{BEF} = \theta(h_{BEF}, x_{BEF})$ $x_{BEF} = x_{NEH}$ $h_{BEF} = h_{NEH}$	θ -11 = x -11
NEH	Nacherhitzer	$\theta_{NEH} = \theta_{VENT} - \Delta\theta_{Vent}$ $x_{NEH} = x_{ZU}$ $h_{NEH} = h(\theta_{NEH}, x_{NEH})$	θ -6 x -8
VENT	Zuluft-Ventilator	$\theta_{VENT} = \theta_{ZU}$ $x_{VENT} = x_{ZU}$ $h_{VENT} = h(\theta_{VENT}, x_{VENT})$	θ -5 x -7
ZU	Zuluft	θ_{ZU} : gemäß Lastberechnung $x_{ZU} = x_{MK}$ mit: $x_{RA,min} \leq x_{MK} \leq x_{RA,max}$ $h_{ZU} = h(\theta_{ZU}, x_{ZU})$	θ -2 x -5
RA	Raumluft	θ_{RA} : gemäß Lastberechnung (bei t-1) $x_{RA} = x_{ZU}$ (bei t-1) $h_{RA} = h(\theta_{RA}, x_{RA})$	θ -3 x -6
AB	Abluft	$\theta_{AB} = \theta_{RA}$ (bei t-1) $x_{AB} = x_{RA}$ (bei t-1) $h_{AB} = h(\theta_{AB}, x_{AB})$	θ -4 x -2

Tabelle 4.12: Betriebsbedingungen der RLT-Bauteile: Dampfbefeuchtung mit Zuluftfeuchteregelung

RLT-Bauteil		Bedingung	Anweisung
EWT	Erdreichwärmetauscher	TP: $\theta_{EWT} \geq \theta_{TP}(x_{AU})$	$x_{EWT} = x_{TP}(\theta_{EWT})$
		HF: $\theta_{AU} \geq \theta_{BO} \vee \theta_{AU} \leq \theta_{ZU}$	EWT inaktiv
		KF: $\theta_{AU} \leq \theta_{BO} \vee \theta_{AU} \geq \theta_{ZU}$	
WRG	Wärme- und Feuchterückgewinnung	HF-WRG: $\theta_{EWT} \geq \theta_{AB} \vee \theta_{AU} \leq \theta_{ZU}$	WRG inaktiv
		KF-WRG: $\theta_{EWT} \leq \theta_{AB} \vee \theta_{AU} \geq \theta_{ZU}$	WRG inaktiv
		HF-FRG: $h_{EWT} \geq h_{AB} \vee \theta_{AU} \leq \theta_{ZU}$	
		KF-FRG: $h_{EWT} \leq h_{AB} \vee \theta_{AU} \geq \theta_{ZU}$	
MK	Mischkammer	HF-MK: $h_{WRG} \geq h_{AB} \vee \theta_{AU} \leq \theta_{ZU}$	MK inaktiv
		KF-MK: $h_{WRG} \leq h_{AB} \vee \theta_{AU} \geq \theta_{ZU}$	
VEH	Vorerhitzer	$\theta_{MK} \geq \theta_{NEH}$	VEH inaktiv
KHL	Kühler	$\theta_{VEH} \leq \theta_{NEH}$	KHL inaktiv
BEF	adiabater Wäscher	$x_{KHL} \geq x_{NEH}$	BEF inaktiv
NEH	Nacherhitzer	–	
VENT	Zuluft-Ventilator	–	
ZU	Zuluft	TP: $\theta_{ZU} - \Delta\theta_{VENT} \leq \theta_{TP}(x_{ZU})$	$x_{ZU} = x_{TP}(\theta_{ZU} - \Delta\theta_{VENT})$
RA	Raumluft	–	
AB	Abluft	–	

4.5 Berechnung der SEK-Werte

Aus den anlagenspezifisch bestimmten stündlich erforderlichen Enthalpiedifferenzen zur Konditionierung des Zuluftvolumenstroms können unter Berücksichtigung der Dichte der Luft ρ_L die monatsweisen spezifischen Energiekennwerte für Heizen, Kühlen und Befeuchten¹³ 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 und weist daher ein geringeres Fehlerpotential auf, als wenn die Denormierung mit Monatsmittelwerten des Luftvolumenstroms vorgenommen wird.

$$Q_H = \sum \frac{\Delta h_H \cdot V_V \cdot n_L}{3,6 \cdot \rho_L} \quad (4.75)$$

$$Q_C = \sum \frac{\Delta h_C \cdot V_V \cdot n_L}{3,6 \cdot \rho_L} \quad (4.76)$$

$$Q_{St} = \sum \frac{\Delta h_{St} \cdot V_V \cdot n_L}{3,6 \cdot \rho_L} \quad (4.77)$$

¹³ bei Dampfbefeuchtung

Kapitel 5

Zusammenfassung

Das Projekt „Standortunabhängige Berechnung des Energiebedarfs für Heizen/Befeuchten und Kühlen/Entfeuchten in Ergänzung zur Vornorm ÖNORM H 5057“ entstand aus der Forderung nach einer standortspezifischen Berechnung der spezifischen Energiekennwerte. Die bisherige Berechnung des Nutzenergiebedarfs zur Konditionierung des Luftvolumenstroms, die auf „Worst-Case-Klimata“ für Heizen und Kühlen beruhte, sollte dahingehend angepasst werden, dass zukünftig das Klimamodell der ÖNORM B 8110-5 angewandt werden kann.

Für das Modell der spezifischen Energiekennwerte, das auf der Bildung von Differenzen zwischen Außenluft- und Zuluftenthalpie basiert, sind Stundenwerte für Temperatur und Luftfeuchtigkeit der Außenluft erforderlich. Dieses Erfordernis wurde durch das von der MA 39 des Magistrat Wien erfüllt, indem mit dem „Halbsynthetischen Klimamodell“ ein Modell zur Verfügung gestellt wird, das die Monatsmittelwerte der ÖNORM B 8110-5 verwendet und darauf aufbauend stundenweise Werte der Außenlufttemperatur generiert. Parallel dazu werden auch stundenweise Werte für die absolute Feuchte der Außenluft berechnet.

Auf Grundlage eines derart standortspezifisch gestalteten Klimadatensatz konnte nun die gesamte Berechnung der spezifischen Energiekennwerte (SEK) von der monatsweisen auf eine stundenweise Bilanzierung umgestellt werden. Dazu wurde eine Referenzanlage definiert, die aus den Anlagenbestandteilen Erdreichwärmetauscher, Wärme- und Feuchterückgewinnungssystem, Mischkammer, Luftvorerhitzer, Luftkühler, Luftbefeuchter, Luftnacherhitzer und Ventilatoren für Zu- und Abluftförderung zusammengesetzt ist. Eine derartige RLT-Anlage entspricht dem gängigen Standard und findet sich häufig in der Praxis wieder.

Abgesehen von den Anlagenbestandteilen ist der wesentlichste Unterscheidungspunkt die Art, wie die Befeuchtung vorgenommen wird. Im vorliegenden Projekt wurden vier Befeuchtungsarten unterschieden und dargestellt: (i) RLT-Anlage ohne Befeuchtung, (ii) Verdunstungs-befeuchtung mit Zuluftfeuchteregelung, (iii) Verdunstungs-befeuchtung mit Taupunktregelung und (iv) Dampf-befeuchtung mit Zuluftfeuchteregelung. Diese vier Befeuchtungsarten stellen die häufigsten in der Praxis üblichen Systeme dar und sollten so für den Großteil der Anlagen eine ausreichende Detailgenauigkeit enthalten. Im Vergleich zum bisherigen SEK-Modell wurde mit der Verdunstungs-befeuchtung mit Zuluftfeuchteregelung eine zusätzliche Befeuchterart in die Berechnung aufgenommen.

Im Zuge der Umstellung des SEK-Modells wurde zudem eine Verfeinerung des bisherigen Modells vorgenommen. Dadurch sind nun auch die Elemente Erdreichwärmetauscher, Wärme- und Feuchterückgewinnung auch im Kühlfall, stundenweise Zulufttemperaturen im neuen Modell abgebildet.

Ein zentrales Element der neuen Berechnung stellt die Ermittlung der stundenweise erforderlichen Anlagenleistung für Heizen und Kühlen dar. Auf Basis dieser Leistungswerte werden nun die stundenweise erforderlichen Zulufttemperaturen in die Gebäudezone und die stundenweisen Innenlufttemperaturen

ermittelt. Dazu wurde das „vereinfachte Stundenverfahren“ der ÖNORM EN ISO 13790 herangezogen, das ein Widerstands-Kapazitäten-Modell mit fünf Widerständen und einer Kapazität beschreibt. Dieses Verfahren wurde dahingehend angepasst, dass die aus den österreichischen Energieausweis-Normen verfügbaren Eingabegrößen eingesetzt werden können. Dazu wurden die als Monatsmittelwerte vorgegebenen Größen so weit wie möglich auf Stundenwerte heruntergebrochen.

Neben der Berechnung der stundenweisen Zulufttemperaturen wurde auch die Integration von Erdreichwärmetauschern zur Vorkonditionierung der Zuluft vorgenommen. Das ausgewählte Modell entstammt der ÖNORM EN 15241 und beruht auf ebenfalls auf einem vereinfachten Widerstands-Kapazitäten-Modell.

Um die Plausibilität der neu integrierten Modelle zu überprüfen, wurden ausführliche Validierungsrechnungen vorgenommen. Die Ergebnisse sind der Qualität der Eingabegrößen und dem Detaillierungsgrad der Modelle entsprechend gut und können dem Anhang entnommen werden.

Der wesentlichste Bestandteil des vorliegenden Berichts sind die in Abschnitt 4.4 enthaltenen Übersichtstabellen, welche Konditionierungsschritte in den einzelnen Anlagenbestandteilen (für verschiedene Befeuchterarten) vorgenommen werden und wie sie im neuen SEK-Modell berücksichtigt werden. Ergänzend dazu wurden die Betriebsbedingungen der Anlagen (ebenfalls für die verschiedenen Befeuchterarten) tabellarisch dargestellt, sodass Elemente wie Bypass-Kanäle oder Drosselklappen zukünftig einfach in der Berechnung berücksichtigt werden können.

Die genannten Tabellen des Abschnitts 4.4 werden den Kern des Beiblatts zur ÖNORM H 5057 bilden, in dem das standortspezifische Berechnungsmodell der SEK-Werte erläutert wird. Ergänzt durch die Berechnungsalgorithmen zur Berücksichtigung von Erdreichwärmetauscher und stundenweise Zuluft- und Innenlufttemperaturen steht einer Umsetzung dieses Normvorhabens nichts mehr im Wege.

Resümee

Die für dieses Projekt festgelegten Primärziele wurden zur Gänze erfüllt: Neben der Überführung auf das standortspezifische halb-synthetische Klimamodell wurde eine physikalisch korrekte Berechnung der spezifischen Energiekennwerte erreicht. Es wurden Berechnungsalgorithmen für alle Konditionierungsvorgänge in den unterschiedlichen Bestandteilen einer raumlufttechnischen Anlage definiert, die vergleichsweise einfach darzustellen und vollständig reproduziert werden können.

Die Sekundärziele des Projekts wurden weitgehend erfüllt: Abgesehen von der Einbindung der tatsächlichen Ventilatorpressung und der Aufteilung der stundenweise erforderlichen Heiz- und Kühlleistung auf RLT-Anlage und statisches System wurden alle geplanten zusätzlichen Aspekte in die Berechnung aufgenommen.

Die geplante Vorgangsweise musste dahingehend abgeändert werden, dass die Musterprogrammierung, eine Validierung des vollständigen Modells und die abschließende Umsetzung in Normtext noch nicht abgeschlossen wurde. Dazu ist es erforderlich, dass das überarbeitete SEK-Modell inklusive aller Erweiterungen definiert ist – also auch Ventilatorpressung und stundenweise Aufteilung von Heiz- und Kühlleistung berücksichtigt.

Ausblick

Einige Punkte sollten noch untersucht werden, um das Modell in ein Komplettpaket überzuführen, das alle maßgeblichen Aspekte von RLT-Anlagen abbildet. Dazu zählen beispielsweise die Berücksichtigung von VVS-Systemen, der tatsächlichen Ventilatorpressung oder des annähernd realen Druckverlaufs in der Anlage zur exakteren Ermittlung der Enthalpiedifferenzen.

Die vollständige Umsetzung des neuen SEK-Modells in Programm-Code steht kurz vor dem Abschluss. Einige Detailspekte müssen noch implementiert werden, um die uneingeschränkte Anwendbarkeit zu gewährleisten. Nach Abschluss dieser Programmierarbeit kann eine ausführliche Validierung des gesamten neuen SEK-Modells vorgenommen werden (bisher wurden nur Teilbereiche validiert). Im Zuge dessen kann auch geprüft werden, inwiefern die Ergebnisse des neuen Modells von jenen des alten – doch ungleich einfacheren – unterscheiden.

Mithilfe des sauber dokumentierten Programm-Codes kann das Normenbeiblatt in vergleichsweise kurzer Zeit von den Programmierern kommerzieller Energieausweis-Software nachvollzogen werden. Nachdem dies die hauptsächliche Zielgruppe des neuen Verfahrens ist – eine Handrechnung ist durch den Umstieg auf stundenweise Berechnungsschritte nahezu ausgeschlossen – kann so rasch Feedback über mögliche Probleme bei der Einbindung des neuen Modells in die monatliche Bilanzierung eingeholt werden.

Literaturverzeichnis

- [1] 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, 235 - 244. <http://dx.doi.org/DOI:10.1016/j.buildenv.2005.01.027>. – DOI DOI: 10.1016/j.buildenv.2005.01.027. – ISSN 0360–1323
- [2] 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
- [3] BOULARD, J. ; RAZAFINJOHANY, E. ; BAILLE, A.: Heat and water vapour transfer in a greenhouse with an underground heat storage system - Part I. Experimental results. In: *Agricultural and Forest Meteorology* 45 (1989), S. 175 – 184
- [4] BOULARD, J. ; RAZAFINJOHANY, E. ; BAILLE, A.: Heat and water vapour transfer in a greenhouse with an underground heat storage system - Part II. Model. In: *Agricultural and Forest Meteorology* 45 (1989), S. 185 – 194
- [5] BRAKE, J. van d.: Old technology for new buildings, a study on earth-to-air heat exchangers / University of Technology Eindhoven. Eindhoven, 2008. – Forschungsbericht
- [6] DAVID, R. ; BOER, J. de ; ERHORN, H. ; REISS, J. ; ROUVEL, L. ; SCHILLER, H. ; WEISS, N. ; WENNING, M.: *Heizen, Kühlen, Beüften & Beleuchten. Bilanzierungsgrundlagen zur DIN V 18599*. Stuttgart : Fraunhofer IRB Verlag, 2006
- [7] DIJK, D. van ; SPIEKMAN, M.: Energy Performance of Buildings. Outline for Harmonised EP Procedures / TNO Building and Construction Research. Delft, 2004. – Forschungsbericht
- [8] EIPER, T.: *Berechnungsmethode für die Bestimmung der spezifischen Energiekennwerte zur Bewertung raumluftechnischer Anlagen*. 2006
- [9] EUROPÄISCHES PARLAMENT ; RAT DER EUROPÄISCHEN UNION: Richtlinie 2002/91/EG des Europäischen Parlaments und des Rates über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden (idF v. 16.12.2002). In: *Amtsblatt Nr. L 001 vom 04.01.2003* (2003), S. 65 – 71
- [10] HOLLMULLER, P. ; LACHAL, B.: Buried pipe systems with sensible and latent heat exchange: Validation of numerical simulation against analytical solutaion and long-term monitoring. In: *IBPSA 2005*. Montreal, 2005
- [11] HOLLMULLER, Pierre ; LACHAL, Bernard: Cooling and preheating with buried pipe systems: monitoring, simulation and economic aspects. In: *Energy and Buildings* 33 (2001), Nr. 5, 509 - 518. [http://dx.doi.org/DOI:10.1016/S0378-7788\(00\)00105-5](http://dx.doi.org/DOI:10.1016/S0378-7788(00)00105-5). – DOI DOI: 10.1016/S0378–7788(00)00105–5. – ISSN 0378–7788
- [12] HUBER, A. ; WIDMER, P. ; THORUD, B.: *Programm WKM. Auslegung von Luft-Erdregistern. Version 3.8*. 2006

- [13] 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
- [14] KOKOGIANNAKIS, G.: *Support for the Integration of Simulation in the European Energy Performance of Buildings Directive*. Strathclyde, University of Strathclyde, Diss., 2008
- [15] KOKOGIANNAKIS, G. ; CLARKE, J. ; STRACHAN, P.: Impact of using different models in practice. A case study with the simplified methods of ISO 13790 standard and detailed modelling programs. In: *Proceedings: Building Simulation 2007*. Beijing, China, 2007, S. 39–46
- [16] METEOTEST (Hrsg.): *Meteonorm. Version 6.0*. Bern, CH: Meteotest, 2009
- [17] 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, 163 - 173. [http://dx.doi.org/DOI:10.1016/0038-092X\(95\)00045-S](http://dx.doi.org/DOI:10.1016/0038-092X(95)00045-S). – DOI DOI: 10.1016/0038-092X(95)00045-S. – ISSN 0038-092X
- [18] 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
- [19] MILLET, J.-R.: The simple hourly method of prEN 13790: a dynamic method for the future. In: *Clima 2007: WellBeing Indoors*, 2007
- [20] 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
- [21] ÖNORM B 8110 TEIL 1 : 2007: *Wärmeschutz im Hochbau - Teil 1: Anforderungen an den Wärmeschutz und Deklaration des Wärmeschutzes von Gebäuden/Gebäudeteilen - Heizwärmebedarf und Kühlbedarf*
- [22] ÖNORM B 8110 TEIL 3 : 1999: *Wärmeschutz im Hochbau - Teil 3: Wärmespeicherung und Sonneneinflüsse*
- [23] ÖNORM B 8110 TEIL 5 : 2007: *Wärmeschutz im Hochbau - Teil 5: Klimamodell und Nutzungsprofile*
- [24] ÖNORM B 8110 TEIL 6 BBL 1 : 2008: *Wärmeschutz im Hochbau - Teil 6: Grundlagen und Nachweisverfahren - Heizwärmebedarf und Kühlbedarf - Beiblatt 1: Einfamilienhaus - Validierungsbeispiele für die Berechnung des Heizwärmebedarfs*
- [25] ÖNORM EN 13779 : 2008: *Lüftung von Nichtwohngebäuden - Allgemeine Grundlagen und Anforderungen für Lüftungs- und Klimaanlageanlagen und Raumkühlsysteme*
- [26] ÖNORM EN 15241 : 2007: *Lüftung von Gebäuden - Berechnungsverfahren für den Energieverlust aufgrund der Lüftung und Infiltration in Nichtwohngebäuden*
- [27] ÖNORM EN 15265: *Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden - Berechnung des Heiz- und Kühlenergieverbrauchs - Allgemeine Kriterien und Validierungsverfahren*
- [28] ÖNORM EN ISO 13786 : 2008: *Wärmetechnisches Verhalten von Bauteilen - Dynamisch-thermische Kenngrößen - Berechnungsverfahren (ISO 13786:2007)*
- [29] ÖNORM EN ISO 13790 : 2008: *Energieeffizienz von Gebäuden - Berechnung des Heizenergiebedarfs*

- [30] ÖNORM H 5057 : 2010: *Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden - Raumluftechnik-Energiebedarf für Wohn- und Nichtwohngebäude*
- [31] ÖSTERREICHISCHES INSTITUT FÜR BAUTECHNIK, (Hrsg.): *Leitfaden Energietechnisches Verhalten von Gebäuden, Version 2.5*. 2006. – unveröffentlicht
- [32] ÖSTERREICHISCHES INSTITUT FÜR BAUTECHNIK, (Hrsg.): *Leitfaden Energietechnisches Verhalten von Gebäuden. Version 2.6*. April 2007 (2007)
- [33] ÖSTERREICHISCHES INSTITUT FÜR BAUTECHNIK, (Hrsg.): *OIB-Richtlinie 6. Energieeinsparung und Wärmeschutz*. April 2007 (2007)
- [34] PAEPE, M. D. ; JANSSENS, A.: Thermo-hydraulic design of earth-air heat exchangers. In: *Energy and Buildings* 35 (2003), Nr. 4, 389 - 397. [http://dx.doi.org/DOI:10.1016/S0378-7788\(02\)00113-5](http://dx.doi.org/DOI:10.1016/S0378-7788(02)00113-5). – DOI DOI: 10.1016/S0378-7788(02)00113-5. – ISSN 0378-7788
- [35] POLIFKE, W. ; KOPITZ, J.: *Wärmeübertragung. Grundlagen, analytische und numrische Methoden*. München : Pearson Studium, 2005
- [36] PRSIA 382/2: *Thermischer Energie- und Leistungsbedarf von klimatisierten Gebäuden*
- [37] RECKNAGEL, H. ; SPRENGER, E. ; SCHRAMEK, E.-R. ; SCHRAMEK, E.-R. (Hrsg.): *Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik*. 73. Auflage. München : Oldenbourg Industrieverlag, 2007
- [38] 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, 353 - 360. [http://dx.doi.org/DOI:10.1016/0360-5442\(95\)00121-2](http://dx.doi.org/DOI:10.1016/0360-5442(95)00121-2). – DOI DOI: 10.1016/0360-5442(95)00121-2. – ISSN 0360-5442
- [39] SIEMENS BUILDING TECHNOLOGIES GROUP, (Hrsg.): *Regeltechnik*. Online im Internet: URL: <http://www.buildingtechnologies.siemens.com> [Stand: 2009-12-11], 2009
- [40] 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
- [41] THEVENARD, D.: *Bibliographic search on the potential of earth tubes / Numerical Logics Inc.* Waterloo, Canada, 2007. – Forschungsbericht
- [42] VDI 2078 : 1996: *Berechnung der Kühllast klimatisierter Räume (VDI-Kühllastregeln)*
- [43] VORNORM ÖNORM H 5056 : 2007: *Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden - Heiztechnik-Energiebedarf*
- [44] VORNORM ÖNORM H 5057 : 2007: *Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden - Raumluftechnik-Energiebedarf für Wohn- und Nichtwohngebäude*
- [45] VORNORM ÖNORM H 5058 : 2007: *Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden - Kühltechnik-Energiebedarf*
- [46] VORNORM ÖNORM H 5059 : 2007: *Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden - Beleuchtungsenergiebedarf*
- [47] ZIMMERMANN, M.: *Handbuch der passiven Kühlung. Rationelle Energienutzung in Gebäuden*. Fraunhofer IRB Verlag, 2003
- [48] 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

Abbildungsverzeichnis

2.1	h-x-Diagramm für feuchte Luft nach Mollier (Luftdruck: 980 hPa = 980 mbar)	14
2.2	Zonenteilung des h-x-Diagramms bei adiabater Befeuchtung (Verdunstungsbefeuchtung)	15
2.3	Zonenteilung des h-x-Diagramms bei Dampfbefeuchtung	15
2.4	Übersichtsdarstellung der Systematik des Verfahrens der spezifischen Energiekennwerte	17
2.5	Konfiguration der Benchmark-Anlagen zur Bestimmung der spezifischen Energiekennwerte	19
2.6	Berechnung des Nutzenergiebedarfs zur Konditionierung des Luftvolumenstroms. Schritt 1: Auswahl einer Benchmark-Anlage	22
2.7	Berechnung des Nutzenergiebedarfs zur Konditionierung des Luftvolumenstroms. Schritt 2: Anpassung der Benchmark-Parameter	22
2.8	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	24
2.9	Berechnung des Nutzenergiebedarfs zur Konditionierung des Luftvolumenstroms. Schritt 3: Denormierung	24
2.10	Zusammenhang zwischen monatlichen Heiz- und Kühlgradstunden	25
4.1	Anlagenkonfiguration der Referenzklimaanlage: Vollklimaanlage wahlweise mit Dampf- oder Verdunstungsbefeuchtung	31
4.2	Erdreichtemperaturen für verschiedene Verlegetiefen der Luftleitungen	35
4.3	Variantenauswahl für die Validierung des standortspezifischen Berechnungsmodells (eigene Darstellung nach [20])	42
4.4	Darstellung des Zusammenhangs zwischen Raumverhalten (Raumtemperatur) und Anlagenverhalten (Heiz- und Kühlleistung)	48
4.5	Konditionierung ohne Befeuchtung in Zone 1a	56
4.6	Konditionierung ohne Befeuchtung in Zone 2	56
4.7	Konditionierung ohne Befeuchtung in Zone 4	56
4.8	Konditionierung ohne Befeuchtung in Zone 1b	56
4.9	Konditionierung ohne Befeuchtung in Zone 3	56
4.10	Konditionierung mit Verdunstungsbefeuchtung (ZF-Regelung) in Zone 1a	60
4.11	Konditionierung mit Verdunstungsbefeuchtung (ZF-Regelung) in Zone 2	60

4.12	Konditionierung mit Verdunstungsbefeuchtung (ZF-Regelung) in Zone 4	60
4.13	Konditionierung mit Verdunstungsbefeuchtung (ZF-Regelung) in Zone 1b	60
4.14	Konditionierung mit Verdunstungsbefeuchtung (ZF-Regelung) in Zone 3	60
4.15	Konditionierung mit Verdunstungsbefeuchtung (TP-Regelung) in Zone 1a	64
4.16	Konditionierung mit Verdunstungsbefeuchtung (TP-Regelung) in Zone 2	64
4.17	Konditionierung mit Verdunstungsbefeuchtung (TP-Regelung) in Zone 4	64
4.18	Konditionierung mit Verdunstungsbefeuchtung (TP-Regelung) in Zone 1b	64
4.19	Konditionierung mit Verdunstungsbefeuchtung (TP-Regelung) in Zone 3	64
4.20	Konditionierung mit Dampfbefeuchtung (ZF-Regelung) in Zone 1a	68
4.21	Konditionierung mit Dampfbefeuchtung (ZF-Regelung) in Zone 2	68
4.22	Konditionierung mit Dampfbefeuchtung (ZF-Regelung) in Zone 4	68
4.23	Konditionierung mit Dampfbefeuchtung (ZF-Regelung) in Zone 1b	68
4.24	Konditionierung mit Dampfbefeuchtung (ZF-Regelung) in Zone 3	68
A.1	Sättigungsdampfdruck über ebenen Wasseroberflächen gemäß Magnus [40]	82
B.1	Variantenauswahl für die Validierung des standortspezifischen Berechnungsmodells	86
B.2	Validierungsergebnisse des EN-Modells im Vergleich mit WKM v3.8 (WKM-Modell 2)	89
B.3	Validierung EN15265-VBA Variante: Zusammenstellung der Ergebnisse der Varianten P1 bis P12 für das HRLYM-Modell	91
B.4	Validierung TRNSYS-VBA Variante V01: „Basisvariante“ (nur Transmission)	92
B.5	Validierung TRNSYS-VBA Variante V02: „Beleuchtung EIN“	92
B.6	Validierung TRNSYS-VBA Variante V03: „interne Lasten EIN“	93
B.7	Validierung TRNSYS-VBA Variante V04: „Lüftung EIN“	93
B.8	Validierung TRNSYS-VBA Variante V05: „Speichermassen EIN“	93
B.9	Validierung TRNSYS-VBA Variante V06: „Solarstrahlung EIN“	94
B.10	Validierung TRNSYS-VBA Variante V06a: „g-Wert-Analyse“	94
B.11	Validierung TRNSYS-VBA Variante V06b: „doppelte Fensterflächen“	95
B.12	Validierung TRNSYS-VBA Variante V06c: „halbe Fensterflächen“	95

Tabellenverzeichnis

4.1	Defaultwerte für den Wärmebereitstellungsgrad η_{EWT} bei einem Erdwärmetauscher für Nicht-Wohngebäude (Jahresdurchschnittswerte)	33
4.2	Erdreichkorrekturfaktoren f_{BO} für verschiedene Erdreichmaterialien	36
4.3	Standardwerte für dynamische Berechnungsparameter im vereinfachten Stundenverfahren gemäß ÖNORM EN ISO 13790	45
4.4	Tatsächliche Nutzungszeit in Abhängigkeit der täglichen Nutzungstunden	50
4.5	Zustände des Zuluftvolumenstroms in der RLT-Anlage: ohne Befeuchtung	57
4.6	Betriebsbedingungen der RLT-Bauteile: ohne Befeuchtung	58
4.7	Zustände des Zuluftvolumenstroms in der RLT-Anlage: Verdunstungsbefeuchtung mit Zuluftfeuchteregelung	61
4.8	Betriebsbedingungen der RLT-Bauteile: Verdunstungsbefeuchtung mit Zuluftfeuchteregelung	62
4.9	Zustände des Zuluftvolumenstroms in der RLT-Anlage: Verdunstungsbefeuchtung mit Taupunktregelung	65
4.10	Betriebsbedingungen der RLT-Bauteile: Verdunstungsbefeuchtung mit Taupunktregelung	66
4.11	Zustände des Zuluftvolumenstroms in der RLT-Anlage: Dampfefeuchtung mit Zuluftfeuchteregelung	69
4.12	Betriebsbedingungen der RLT-Bauteile: Dampfefeuchtung mit Zuluftfeuchteregelung	70
A.1	Parameter für die Berechnung des Sättigungsdampfdrucks gemäß Magnus [40]	81
B.1	Validierungsergebnisse der standortspezifischen Berechnung für Jahreswerte der spezifischen Energiekennwerte (im Vergleich mit der ursprünglichen standortabhängigen Berechnung)	87
B.2	Ergebnisse der Validierungsrechnung für die Modelle EN, WKM-1, WKM-2, Blümel und WKM-3	88

Anhang A

Berechnungsparameter für die ursprüngliche SEK-Berechnung

Die hier dargestellten Berechnungsparameter für die ursprüngliche SEK-Berechnung wurden von Eiper in [8] beschrieben. Diese Beschreibung wurde nicht wie geplant veröffentlicht, wodurch 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 diesem Bericht wurde nicht vorgenommen. Die Symbole und Abkürzungen dieses Anhangs sind nicht im Symbol- und Abkürzungsverzeichnis enthalten.

A.1 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 ist der Sättigungsdampfdruck für Wasserdampf über Wasser und Eis dargestellt. Die angewandte Gleichung zur Berechnung des Sättigungsdampfdruckes lautet:

$$p_{Satt} = A \cdot e^{\frac{m \cdot \theta_{AU}}{T_n + \theta_{AU}}} \quad (\text{A.1})$$

p_{Satt} Sättigungsdampfdruck; in [Pa]
 θ_{AU} Außenlufttemperatur; in [°C]

Die Magnus-Parameter A , m und T_n lauten:

Tabelle A.1: Parameter für die Berechnung des Sättigungsdampfdruckes gemäß Magnus [40]

Bezeichnung	Temperaturbereich	T	m	T _A
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

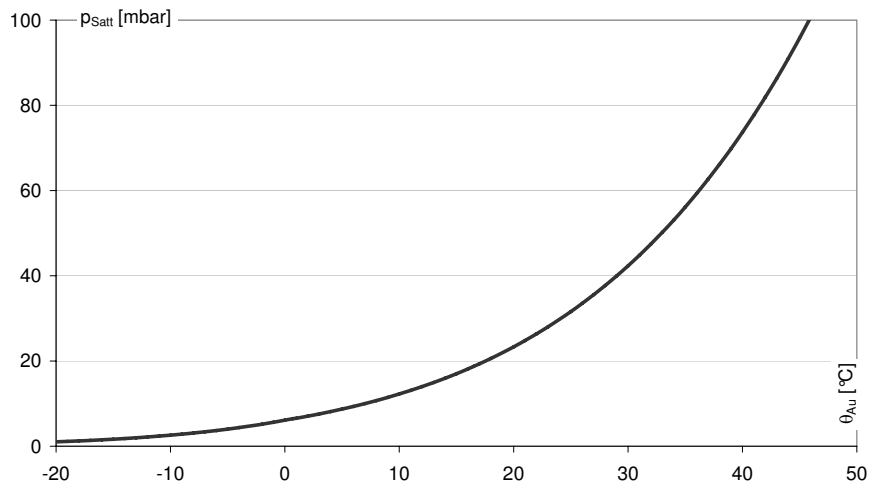


Abbildung A.1: Sättigungsdampfdruck über ebenen Wasseroberflächen gemäß Magnus [40]

A.2 Feuchtegrad der Luft

Die Klimadaten enthalten die relative Luftfeuchtigkeit in %. Die Berechnung der absoluten Luftfeuchtigkeit (Feuchtegrad) erfolgt nach folgender Formel:

$$x_{AU} = \frac{R_L}{R_D} \cdot \frac{p_{Dampf}}{p_{AU} - p_{Dampf}} \quad (\text{A.2})$$

x_{AU}	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_{AU}	Außenluftdruck; in [Pa]

Die Berechnung des Wasserdampfpartialdruckes erfolgt nach folgender Gleichung:

$$p_{Dampf} = p_{Satt} \cdot \varphi \quad (\text{A.3})$$

p_{Satt}	Sättigungsdampfdruck; in [Pa]
φ	relative Luftfeuchte; in [-]

A.3 Enthalpie der Luft

$$h = c_{p,L} \cdot \theta + x \cdot (r_0 + c_{p,D} \cdot \theta) \quad (\text{A.4})$$

h	Enthalpie; in [kJ/kg]
θ	Lufttemperatur; in [°C]
$c_{p,L}$	spezifische Wärmekapazität der trockenen Luft; in [kJ/(kg · kg)]
$c_{p,D}$	spezifische Wärmekapazität des Wasserdampfes; in [kJ/(kg · kg)]
x	absolute Luftfeuchte; in [g/kg]

A.4 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 und vernachlässigt. Die reine Wärmerückgewinnung bezieht sich auf die Temperaturdifferenz. Die Feuchterückgewinnung bezieht sich auf die Enthalpiedifferenz. Durch die Wärme- und Feuchterückgewinnung wird die Außenluftzustand von h_{AU} auf $h_{AU,WRG}$ vorkonditioniert. Das Ergebnis dient dann als Basis zur weiteren Berechnung der Enthalpiedifferenzen.

Die Temperatur bzw. die Feuchte die man über die Wärmerückgewinnung bzw. Feuchterückgewinnung erreicht, berechnet sich nach folgender Formel:

$$h = c_{p,L} \cdot \theta_{WRG} + x_{WRG} \cdot (r_0 + c_{p,D} \cdot \theta_{WRG}) \quad (\text{A.5})$$

θ_{WRG} Lufttemperatur nach der Wärmerückgewinnung; in [°C]
 x_{WRG} absolute Luftfeuchte nach der Wärmerückgewinnung; in [g/kg]

A.5 Enthalpiedifferenz

Für den Winterfall (Heizen) bei $\theta_{ZU} > \theta_{AU}$:

$$\Delta h = h_{ZU} - h_{AU} \quad (\text{A.6})$$

Für den Sommerfall (Kühlen) bei $\theta_{ZU} < \theta_{AU}$:

$$\Delta h = h_{AU} - h_{ZU} \quad (\text{A.7})$$

A.6 Berechnung der erforderlichen Enthalpie

Um von der errechneten Enthalpiedifferenz in kJ/kg auf den spezifischen Wert in Wh/(m³/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:

$$\rho_i = \frac{100 \cdot (p_{AU} + \Delta p_{Vent})}{287 \cdot (\theta_i + 273,15)} \cdot \frac{1 + x_i}{1 + 1,608 \cdot x_i} \quad (\text{A.8})$$

Die Druckerhöhung Δp_{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/(m³/h) umgerechnet. Die Berechnung erfolgt nach folgender Formel:

$$q_i = \frac{\Delta h_i}{3,6 \cdot \rho_i} \quad (\text{A.9})$$

ρ Dichte der Luft; in [kg/m³]

A.7 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: $14^\circ 19' 25''$
geografische Breite: $46^\circ 38' 59''$
 - 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: $16^\circ 22' 02''$
geografische Breite: $48^\circ 11' 58''$
 - 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

Anhang B

Validierungsprüfungen

B.1 Standortspezifisches Modell

Um eine Validierung des Modells der standortspezifischen Berechnung vornehmen zu können, wurden bei zehn der insgesamt 41 Varianten die spezifischen Energiekennwerte mit den Ergebnissen der bisherigen, statischen Berechnung verglichen. Um in der Validierung die verschiedenen Systemkombinationen an Referenzanlagen möglichst vollständig abbilden zu können, wurden die untersuchten Systemvarianten gemäß Abbildung B.1 ausgewählt.

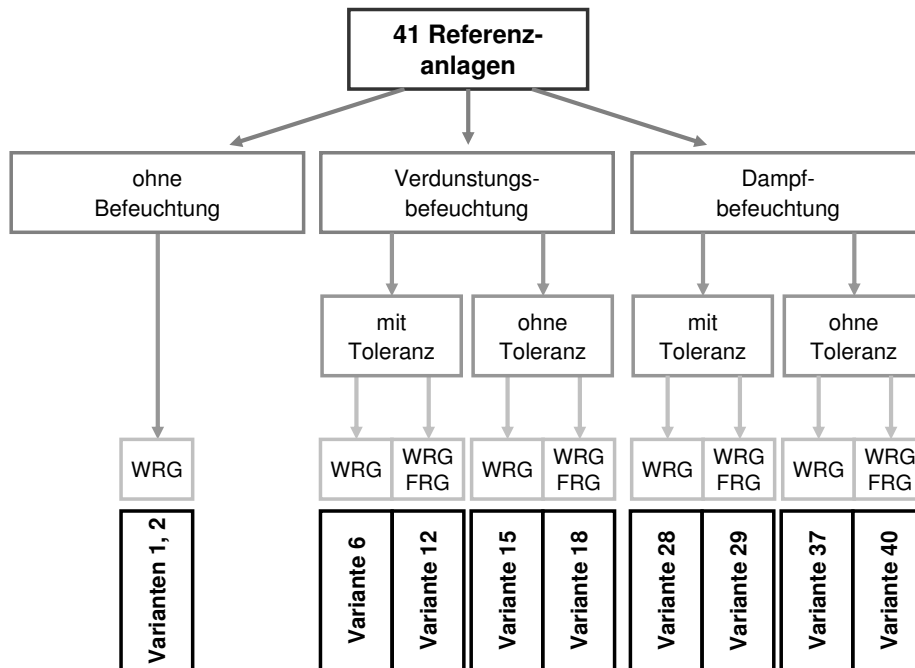


Abbildung B.1: Variantenauswahl für die Validierung des standortspezifischen Berechnungsmodells

Anpassung der Berechnungsparameter

Um eine möglichst hohe Übereinstimmung der Ergebnisse der beiden Modelle erreichen zu können, mussten für das standortspezifische Modell einige Anpassungen der Berechnungsparameter vorgenommen werden:

- Klimadatensatz „Testreferenzjahr Klagenfurt“ anstatt der Werte des halbsynthetischen Klimas
- Beschränkung der täglichen Betriebszeit der RLT-Anlage auf 12 h
- Zulufttemperatur für Heizen und Kühlen jeweils 20 °C (Vorgabe zur Ermittlung von $q_{H,20^{\circ}C,12h}$ und $q_{C,20^{\circ}C,12h}$ der standortabhängigen SEK-Berechnung)
- Nachheizen im Kühlfall wird dem spezifischen Energiekennwert für Kühlen zugerechnet
- Druckerhöhung des Ventilators defaultmäßig $\Delta p_{ZU} = 12 \text{ Pa}$ und $\Delta p_{AB} = 8 \text{ Pa}$

Validierungsergebnisse

Tabelle B.1 zeigt die Abweichung der Ergebnisse der standortspezifischen Berechnung im Vergleich mit jenen der standortabhängigen Berechnung des ursprünglichen SEK-Berechnungsmodells.

Die Abweichung der Ergebnisse liegt für den überwiegenden Anteil der Werte unter $\pm 2,5\%$. Durch die unterschiedliche Art der Berechnung erscheinen Abweichungen in diesem Toleranzbereich als gering und werden nicht weiter behandelt.

Größere Abweichungen traten bei der Kühlung für Varianten mit Befeuchtung ohne Toleranz auf. Diese Unterschiede waren auf die unterschiedliche Berücksichtigung von Taupunktunterschreitungen bei Kühlung und Entfeuchtung zurückzuführen (Zone 3). Für den Fall, dass der geforderte Zuluftzustand im Nebelgebiet liegt ($\varphi_{ZU} > 1,0$), wurde bei standortspezifischer Berechnung (neues Modell) das im Kühler anfallende Kondensat ausgeschieden. Somit liegt nach der Entfeuchtung die Luftfeuchte unter der geforderten Zuluftfeuchte. Daher wird anschließend noch nachbefeuchtet (Dampf- oder Verdunstungsbefeuchtung). Beim alten Modell der Berechnung am Referenzstandort wurde zwar eine Taupunktprüfung vorgenommen, für den Fall von $\varphi_{ZU} > 1,0$ wurde jedoch trotzdem auf den geforderten Zuluftzustand konditioniert. Die erforderliche Nachbefeuchtung wurde nicht berücksichtigt.

Die Unterschiede in den Validierungsergebnissen von Variante 40 waren mit $-5,5\%$ für Heizen und $-4,1\%$ für Befeuchten höher als bei sämtlichen anderen Varianten. Die Ursache für die unterschiedlichen Ergebnisse konnte trotz intensiver Analysen nicht ausfindig gemacht werden. Nachdem jedoch auch für diese Variante die Abweichungen in einem vergleichsweise niedrigen Bereich liegen und außerdem die bisherigen Berechnung der spezifischen Energiekennwerte einige entscheidende Mängel aufweist, werden die Unterschiede nicht weiter nachverfolgt.

Aufgrund der einerseits geringen und andererseits großteils nachvollziehbaren Abweichungen wurde das Grundsystem für ausreichend korrekt befunden und in einem weiteren Schritt Verfeinerungen des Modells vorgenommen. Diese Verfeinerungen sind im folgenden Abschnitt beschrieben.

Tabelle B.1: Validierungsergebnisse der standortspezifischen Berechnung für Jahreswerte der spezifischen Energiekennwerte (im Vergleich mit der ursprünglichen standortabhängigen Berechnung)

Variante	Abweichung Heizen	Abweichung Befeuchten	Abweichung Kühlen
Variante 1	0,5 %	–	1,2 %
Variante 2	0,5 %	–	1,2 %
Variante 6	3,3 %	–	-2,1 %
Variante 12	-1,7 %	–	-2,1 %
Variante 15	2,4 %	–	-14,1 %
Variante 18	-1,4 %	–	-14,1 %
Variante 28	-0,3 %	-2,3 %	-2,1 %
Variante 29	-1,4 %	-2,5 %	-2,1 %
Variante 37	-2,4 %	1,7 %	-14,1 %
Variante 40	-5,5 %	-4,1 %	-14,1 %

B.2 Erdreichwärmetauscher

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 Version 3.8 für die Auslegung von Erdreichwärmetauschern [12] und den Ergebnissen einer Sensitivitätsanalyse von Blümel [2] verglichen.

Als Validierungsbeispiel wurde ein Anlagenkonfiguration herangezogen, wie sie auch Blümel für eine Sensitivitätsanalyse von Einflussgrößen auf Erdreichwärmetauscher gewählt hat [2]:

- Klimadatensatz: TRY Klagenfurt (Blümel: Graz.dat aus WKM-Archiv [2])
- Luftvolumenstrom $V_V \cdot n_L$: 500 m³/h
- Rohraußendurchmesser d_a : 200 mm
- Verlegetiefe s_{EWT} : 2,0 m
- Rohrstränge: 1 Strang, Länge 50 m
- Erdreichmaterial: Erde feucht
- Rohrmaterial: PVC ($\lambda_d = 0.23 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$)

Die Ergebnisse der Validierungsrechnung sind in Tabelle B.2 für die Modelle EN, WKM-1¹, WKM-2², Blümel³ und WKM-3⁴ dargestellt.

Tabelle B.2: Ergebnisse der Validierungsrechnung für die Modelle EN, WKM-1, WKM-2, Blümel und WKM-3

Modell	$q_{h,EWT}$	$q_{c,EWT}$
EN-Modell	1733 kWh/a	1747 kWh/a
WKM-Modell 1: Ergebniswerte der Berechnung (Heizgrenze 20 °C, Kühlgrenze 20 °C)	1788 kWh/a	1176 kWh/a
WKM-Modell 2: Ergebniswerte über θ_{AU} und θ_{EWT} nach [34]	3185 kWh/a	2587 kWh/a
Simulation Blümel (berechnet mit WKM v2.0) [2]	2667 kWh/a	2076 kWh/a
WKM-Modell 3: Klimadatensatz Graz.dat (berechnet mit WKM v3.8)	2933 kWh/a	1414 kWh/a

Abbildung B.2 enthält eine grafische Darstellung der mittleren täglichen Temperaturen der Außenluft (θ_{AU}), des Erdreichs gemäß EN-Modell (θ_{BO}) und der Luft nach dem EWT für das EN-Modell ($\theta_{EWT}(EN)$) bzw. für das WKM-Modell 2 ($\theta_{EWT}(WKM)$).

Die Ergebnisse der Validierungsrechnung (dargestellt in Tabelle B.2) sind äußerst heterogen, was darauf zurückzuführen ist, dass die Eingabeparameter in das Programm WKM 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 WKM-Modell 2 vorgenommen. Folgende Aspekte waren dabei auffallend:

¹Die 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.

²Um die Heiz- und Kühlgrenze zu umgehen, wurde eine vereinfachte Berechnung des Energieertrags auf Grundlage von $Q = \dot{v} \cdot \rho_L \cdot c_{p,L} \cdot \Delta\theta \cdot t$ vorgenommen.

³Der eingesetzte Klimadatensatz für Graz (graz.dat) aus dem WKM-Archiv ist nicht verfügbar. Abweichungen vom Klimadatensatz TRY Klagenfurt sind zu erwarten.

⁴Um 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 wird.

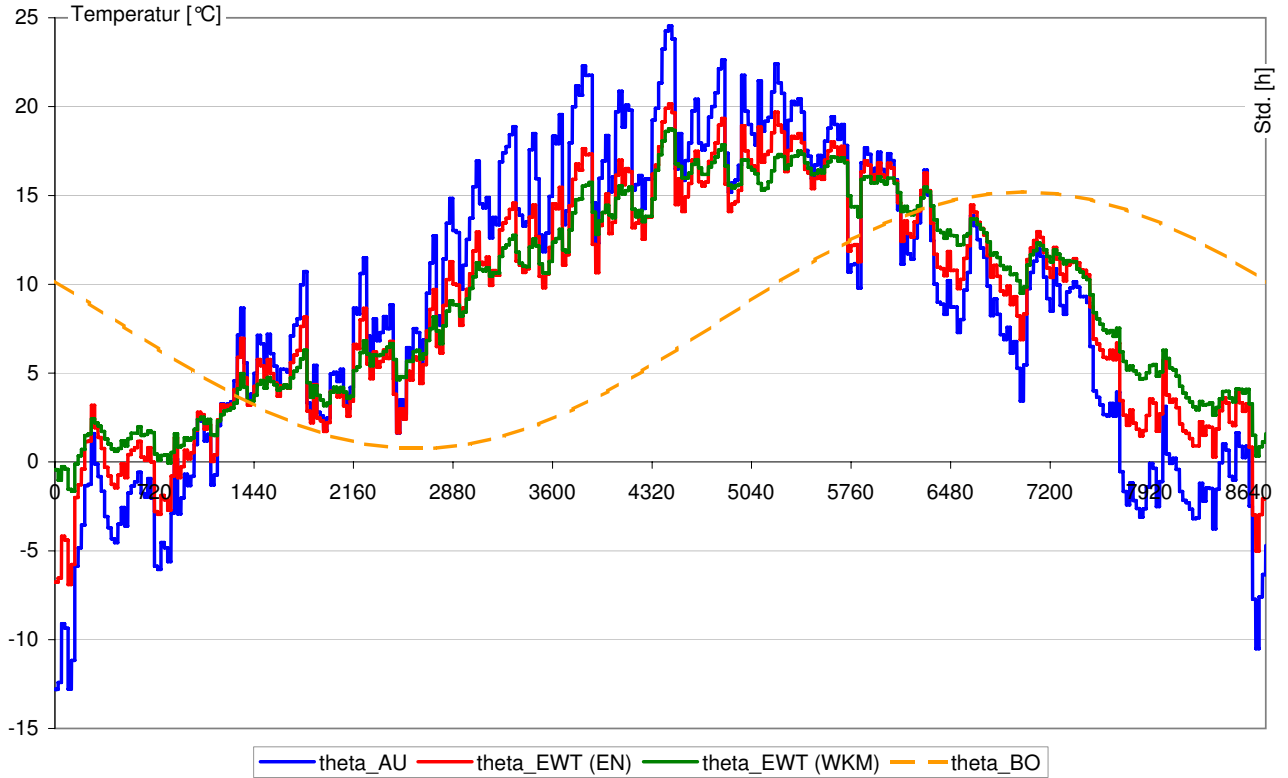


Abbildung B.2: Validierungsergebnisse des EN-Modells im Vergleich mit WKM v3.8 (WKM-Modell 2) [12]. Annahmen: Klimadatensatz TRY Klagenfurt, Luftvolumenstrom $500 \text{ m}^3/\text{h}$, Außendurchmesser 200 mm , Verlegetiefe 2.0 m , Länge 50 m , 1 Rohrstrang, Erde feucht, PVC-Rohr ($\lambda = 0.23 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$)

- Erdreichtemperatur θ_{BO} :
Die Temperatur des umgebenden Erdreichs scheint sich in den beiden Modellen EN und WKM 2 erheblich voneinander zu unterscheiden. Durch eine Korrektur im EN-Modell auf die Parameter $\theta_{AUm} = 10 \text{ °C}$, $\Delta\theta_{AU} = 10 \text{ K}$ und $\Delta T_{BO} = 0 \text{ h}$ kann die Deckung der Kurven der Lufttemperaturen nach dem EWT in B.2 wesentlich verbessert werden.
- 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 [35]:

$$U_d = (R_{alpha,i} + R_{\lambda,Rohr} + R_{\lambda,Erde})^{-1} \quad (\text{B.1})$$

Durch die Vernachlässigung des Terms $R_{\lambda,Erde}$ 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.

- Erdreichtemperatur θ_{BO} :
Abbildung B.2 zeigt, dass die Lufttemperaturen nach dem EWT bei der Berechnung mit dem WKM-Modell 2 wesentlich geringeren Schwankungen unterworfen sind als im EN-Modell. Dies ist darauf zurückzuführen, dass im EN-Modell die Erdreichtemperaturen θ_{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 Heizleistung durch den EWT zur Verfügung steht.

B.3 Zulufttemperatur

Validierung und Plausibilitätsprüfung der Berechnung der stündlich erforderlichen Heiz- und Kühlleistung wurden anhand von folgenden Modellen vorgenommen:

- Validierungsbeispiel gemäß ÖNORM EN 15265
- Validierung gegen TRNSYS-Modell

Mit den Validierungsbeispielen gemäß ÖNORM EN 15265 [27] sollte geprüft werden, inwieweit die im vorliegenden Programm und Zusammenhang umgesetzten Algorithmen des normativ festgelegten stundenweisen Berechnungsmodells mit den Ergebnissen auf Jahres- und Monatsebene anderer Berechnungsmodelle übereinstimmen. Die Validierung gegen das TRNSYS-Modell diene in erster Linie zur Überprüfung, ob die berechneten Stundenwerte mit denen eines validierten thermischen Gebäudesimulationsprogramms übereinstimmen. So konnte das HRLYM-Modell auf die Kompatibilität einzelner Eingangsgrößen geprüft werden.

- **Validierungsbeispiel gemäß ÖNORM EN 15265**

In ÖNORM EN 15265 wurden Annahmen, Anforderungen für ein Validierungsverfahren definiert, das für Berechnungsverfahren mit Zeitschritten kleiner als einer Stunde anzuwenden ist.

Als Validierungsbeispiel wurde ein Raum eines Gebäudes (Nutzung entspricht in etwa Bürogebäude) definiert, für den Bauteilangaben für Außenwand (westorientiert), Verglasungssystem, Innenwände, Decke und Bodenplatte vorhanden sind. Zusätzlich zu diesen Bauteilangaben werden Vorgaben für innere Wärmegewinne, Lüftung, Infiltration und Heizungs- bzw. Kühlanlage definiert.

Die Angaben werden derart kombiniert, dass zwölf voneinander unabhängige Validierungsprüfungen vorgenommen werden können. Die Validierungsprüfungen P1 bis P4 werden als „Erstprüfungen“ bezeichnet, die nicht verbindlich vorgeschrieben sind und zur Überprüfung der Grundoperationen eines Berechnungsverfahrens herangezogen werden können. Die Prüfungen P5 bis P12 sind die eigentlichen Validierungsfälle, für die Anforderungen an die Ergebnisse eingehalten werden sollen. Die Angaben für die Validierungsbeispiele sind ÖNORM EN 15265 zu entnehmen.

In Abbildung B.3 sind die Abweichungen des HRLYM-Modells gegenüber den Ergebnissen der ÖNORM EN 15265 dargestellt.

Die Abweichungen der Ergebnisse liegen für die Jahressummen von Heizwärmebedarf und Kühlbedarf jeweils im Bereich von ± 0.08 der Validierungsergebnisse. Dies entspricht der normativ festgelegten Genauigkeitsstufe B.

- **Validierung gegen TRNSYS-Modell**

Hauptziel der Validierung des stundenweisen Berechnungsverfahrens gegen TRNSYS [13] war es, zu prüfen, ob die Berechnungsvorgaben für die monatsweise Bilanzierung (MTLYM) angewandt auf die stundenweise Berechnungsmethode (HRLYM) zu nachvollziehbaren Ergebnissen führen. Dazu wurden

Als Grundlage für diese Validierung wurde das Validierungsbeispiel der ÖNORM B 8110-6, Beiblatt 1 (ÖNORM-Box) herangezogen [24]. Um eine möglichst hohe Vergleichbarkeit der Eingangsdaten zu erreichen, war es jedoch erforderlich, einige Vereinfachungen vorzunehmen:

- Klimadatensatz „Meteonorm Klagenfurt“ [16]: Die Validierung wurde mit dem Klimadatensatz „Meteonorm Klagenfurt“ [16] durchgeführt, da bei einer Berechnung des Klimas gemäß ÖNORM B 8110-5 [23] keine Stundenwerte verfügbar sind, auf Basis derer ein Vergleich durchgeführt werden kann.

Klimadatensatz: .tm2-Format, 46.65° nördliche Breite, 14.33° östliche Länge, 452 m ü.A.

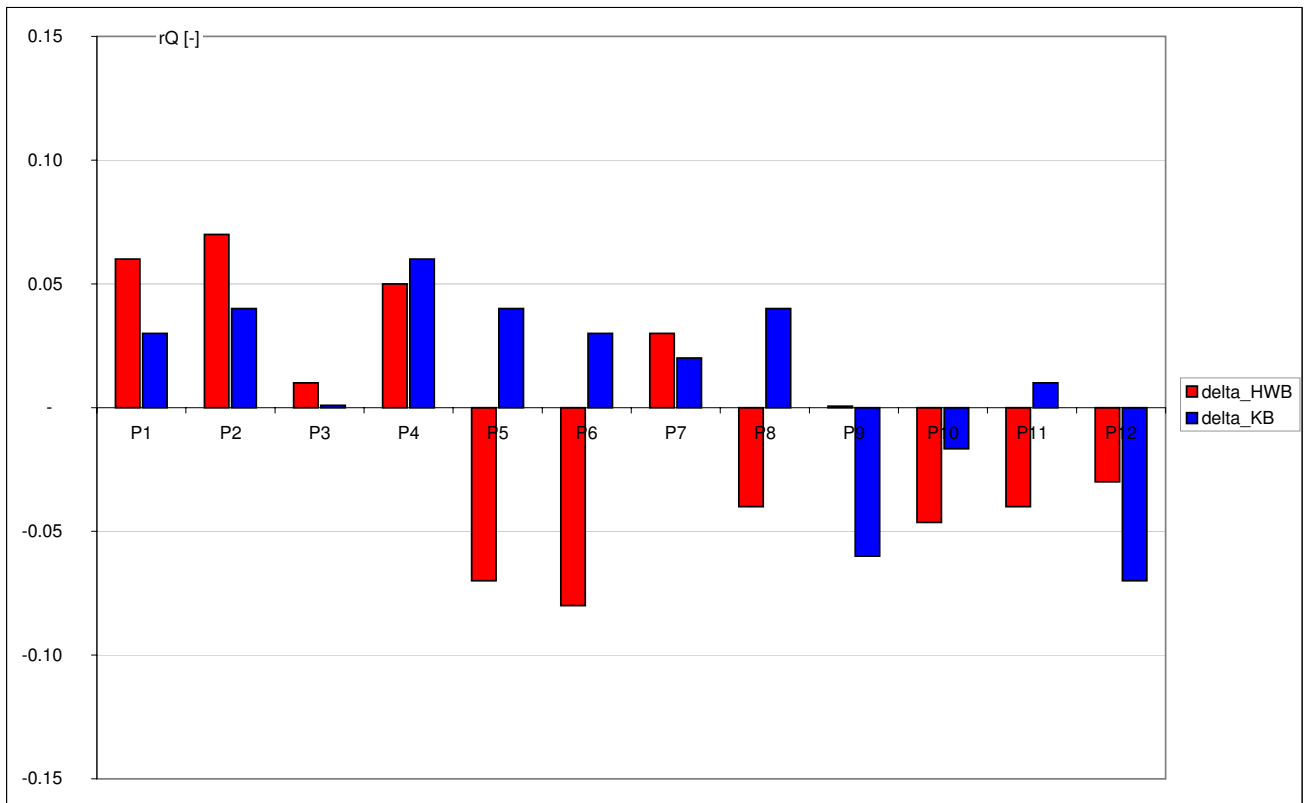


Abbildung B.3: Validierung EN15265-VBA Variante: Zusammenstellung der Ergebnisse der Varianten P1 bis P12 für das HRLYM-Modell

- Transmissionswärmeverluste gegen Erdreich: Die Modelle für die Berücksichtigung der Transmissionswärmeverluste gegen Erdreich aus der ÖNORM B 8110-6 [?] und TRNSYS können nicht in Einklang gebracht werden. Das ÖNORM-Modell mit Temperaturkorrekturfaktoren bodenberührter Bauteile entspricht zwar im Jahresmittel in etwa den möglichen TRNSYS-Modellen mit konstanter oder sinusförmig schwingender Erdreichtemperatur, kann aber naturgemäß für stundenweise Werte nicht verglichen werden. Da in der vorliegenden Validierung insbesondere die Abweichung der Stundenwerte des angewandten HRLYM-Modells gegenüber einer thermischen Gebäudesimulation geprüft werden sollte und kein einheitliches Modell für die Wärmeverluste gegen das Erdreich bei beide Berechnungsmethoden gefunden wurde, wurden diese in der Bilanzierung nicht berücksichtigt. Die untersuchte Gebäudezone entspricht daher den Obergeschoßen eines Gebäudes, dessen Erdgeschoß beheizt wird, aber außerhalb der betrachteten Zone liegt.
- Wärmespeicherkapazität der Gebäudezone: Die Wärmespeicherkapazität der Gebäudezone wird gemäß ÖNORM B 8110-6 entsprechend einem vereinfachten Ansatz berechnet, bei dem Defaultwerte für die spezifische Wärmespeicherkapazität in Abhängigkeit von der Bauweise vorgegeben werden. Für den Vergleich mit TRNSYS, wo die tatsächliche wirksame Wärmespeicherkapazität der vorhandenen Speichermassen berechnet wird, wurde für das HRLYM-Modell der exakte Wert gemäß ÖNORM EN ISO 13786 [28] bzw. ÖNORM B 8110-3 [22] berechnet.

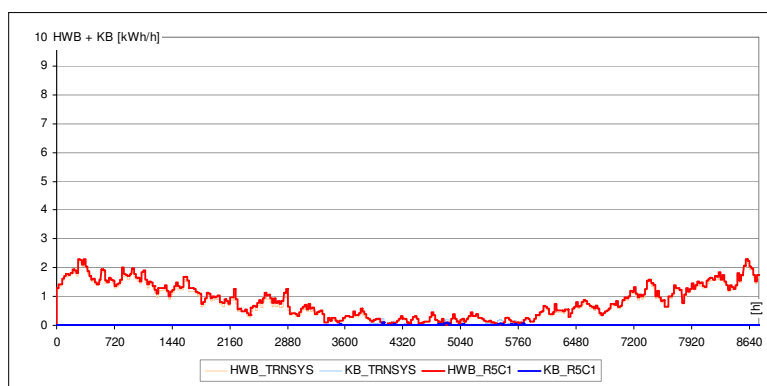
Bei der Validierung gegen TRNSYS wurde ausgehend von einem Basismodell, in dem ausschließlich Transmissionswärmeverluste berücksichtigt wurden, schrittweise die einzelnen Bestandteile der Wärmebilanz in die Betrachtung aufgenommen. So bestand die Möglichkeit zu analysieren, durch welche Einflussfaktoren Abweichungen gegebenenfalls zustande kommen und die Ursache dieser Abweichungen in weiterer Folge zu eliminieren.

Folgende Varianten wurden untersucht:

- Variante V01: Basisvariante (nur Transmission)
- Variante V02: Beleuchtung EIN
- Variante V03: interne Lasten EIN
- Variante V04: Lüftung EIN
- Variante V05: Speichermassen EIN
- Variante V06: Solarstrahlung EIN

Die Abbildungen B.4 bis B.9 zeigen die Ergebnisse der stundenweisen Berechnungen für Heizleistung und Kühlleistung (gleichzusetzen mit dem stündlichen Heizwärmebedarf HWB und Kühlbedarf KB) mit den Modellen TRNSYS und HRLYM (in den Diagrammen als „R5C1“ bezeichnet (entsprechend der Bezeichnung des zugrundeliegenden Modells aus der ÖNORM EN ISO 13790).

Variante V01: „Basisvariante“ (nur Transmission)



Beschreibung:

Q_{Trans}	Q_{Bel}	Q_{Int}	Q_{Vent}	C_m	Q_{Sol}

Ergebnis:

	Q_h	Δ zu TRNSYS		Q_c	Δ zu TRNSYS
aus R5C1	7'477	0.07	aus R5C1	20	- 0.83
aus TRNSYS	6'989		aus TRNSYS	114	
aus OIB	7'461	0.07	aus OIB	-	- 1.00

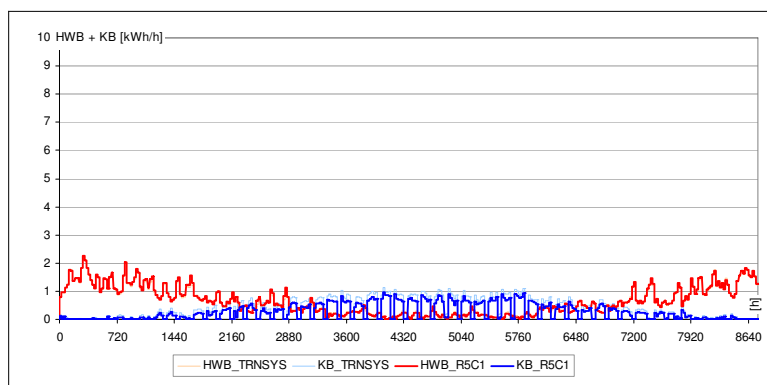
Resümee:

sehr gute Übereinstimmung zwischen HRLYM / MTLYM und TRNSYS für den HWB; KB ist durch die geringen Werte nicht repräsentativ

HRLYM und MTLYM stimmen sehr gut überein

Abbildung B.4: Validierung TRNSYS-VBA Variante V01: „Basisvariante“ (nur Transmission)

Variante V02: „Beleuchtung EIN“



Beschreibung:

Q_{Trans}	Q_{Bel}	Q_{Int}	Q_{Vent}	C_m	Q_{Sol}

Ergebnis:

	Q_h	Δ zu TRNSYS		Q_c	Δ zu TRNSYS
aus R5C1	5'725	0.01	aus R5C1	2'274	- 0.26
aus TRNSYS	5'679		aus TRNSYS	3'063	
aus OIB	5'633	- 0.01	aus OIB	3'339	0.09

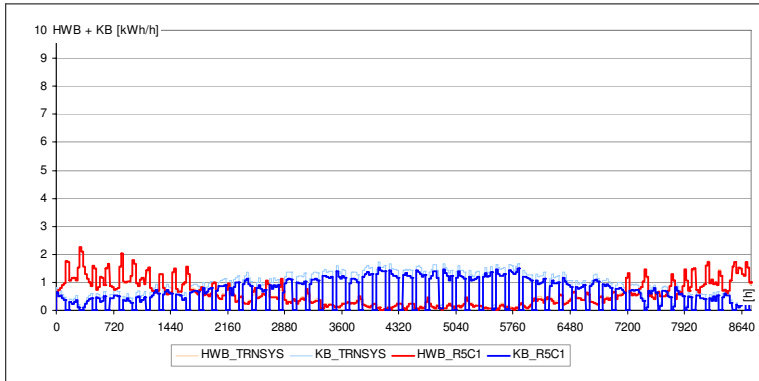
Resümee:

HRLYM / MTLYM zu TRNSYS bei HWB: sehr gut

HRLYM zu TRNSYS bei KB: Abweichung möglicherweise durch unzureichendes Verhalten von R5C1 bei Systemen ohne Speichermasse (C_m , A_m ; kein Verweis auf letzten Zeitschritt)

Abbildung B.5: Validierung TRNSYS-VBA Variante V02: „Beleuchtung EIN“

Variante V03: „interne Lasten EIN“



Beschreibung:

Q_{Trans}	Q_{Bel}	Q_{Int}	Q_{Vent}	C_m	Q_{Sol}

Ergebnis:

	Q_h	Δ zu TRNSYS		Q_c	Δ zu TRNSYS
aus R5C1	5'162	- 0.01	aus R5C1	5'315	- 0.18
aus TRNSYS	5'241		aus TRNSYS	6'480	
aus OIB	4'970	- 0.05	aus OIB	6'847	0.06

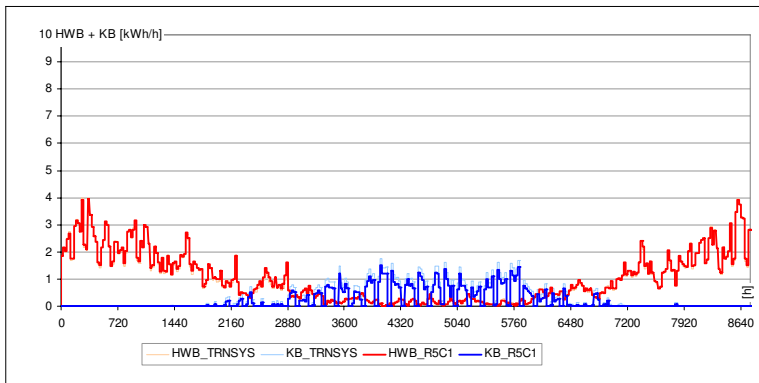
Resümee:

Speichermasse der Luft ist in HRLYM und MTLYM nicht angesetzt (Variation ergibt kaum Unterschiede; Einfluss auf C_m im vorliegenden Beispiel ca. 10 %)

siehe auch Temperatursprung bei HRLYM bei q_{int} EIN/AUS

Abbildung B.6: Validierung TRNSYS-VBA Variante V03: „interne Lasten EIN“

Variante V04: „Lüftung EIN“



Beschreibung:

Q_{Trans}	Q_{Bel}	Q_{Int}	Q_{Vent}	C_m	Q_{Sol}

Ergebnis:

	Q_h	Δ zu TRNSYS		Q_c	Δ zu TRNSYS
aus R5C1	9'148	0.02	aus R5C1	1'919	- 0.25
aus TRNSYS	8'978		aus TRNSYS	2'558	
aus OIB	9'609	0.07	aus OIB	5'265	1.06

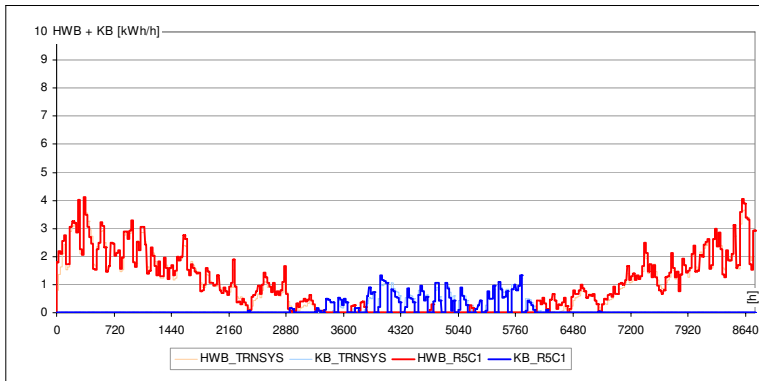
Resümee:

HRLYM zu TRNSYS: identisch wie oben

MTLYM zu TRNSYS: Abweichung beim KB könnte sich durch veränderte Q_{Vent} -Berechnung ergeben (nur Nutzungszeit + tats. Luftwechsel anstatt ganzer Tag + Monatsmittelwert; Temp.-Korr.)

Abbildung B.7: Validierung TRNSYS-VBA Variante V04: „Lüftung EIN“

Variante V05: „Speichermassen EIN“



Beschreibung:

Q_{Trans}	Q_{Bel}	Q_{Int}	Q_{Vent}	C_m	Q_{Sol}

Ergebnis:

	Q_h	Δ zu TRNSYS		Q_c	Δ zu TRNSYS
aus R5C1	8'735	0.06	aus R5C1	1'044	- 0.01
aus TRNSYS	8'221		aus TRNSYS	1'057	
aus OIB	8'825	0.07	aus OIB	1'989	0.88

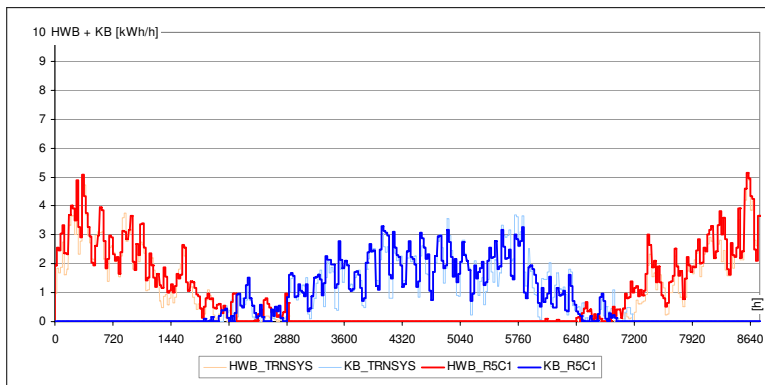
Resümee:

HRLYM zu TRNSYS: durch den Einsatz der Speichermasse verbessert sich das Ergebnis wesentlich! → siehe vorige Resüm.

MTLYM zu TRNSYS: ev. Verbesserung durch andere Q_{Vent} -Berechn.; Übereinstimmung bei HWB ist gut (auch MTLYM zu HRLYM bei HWB)

Abbildung B.8: Validierung TRNSYS-VBA Variante V05: „Speichermassen EIN“

Variante V06: „Solarstrahlung EIN“



Beschreibung:

Q_{Trans}	Q_{Bel}	Q_{Int}	Q_{Vent}	C_m	Q_{Sol}

Ergebnis:

	Q_h	Δ zu TRNSYS		Q_c	Δ zu TRNSYS
aus R5C1	8'692	0.20	aus R5C1	6'737	0.04
aus TRNSYS	7'240		aus TRNSYS	6'453	
aus OIB	8'728	0.21	aus OIB	13'598	1.11

Resümee:

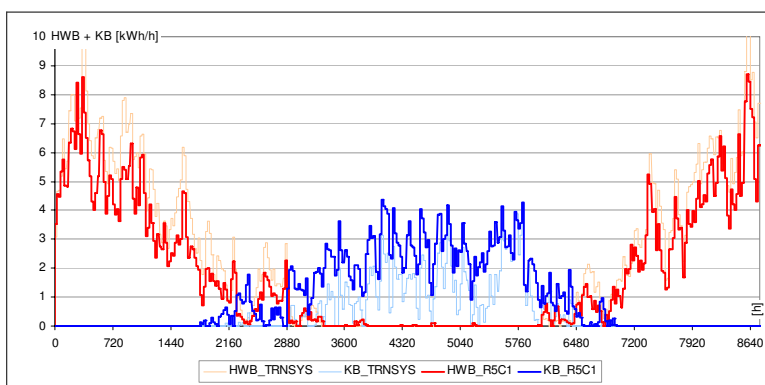
Berücksichtigung der Solarstrahlung führt zu großen Abweichungen; HRLYM zu MTLYM passt gut (für HWB beinahe identische Ergebnisse; Tendenz stimmt auch für KB)

Abbildung B.9: Validierung TRNSYS-VBA Variante V06: „Solarstrahlung EIN“

Nachdem durch die Berücksichtigung der Solarstrahlung in Variante V06 größere Unterschiede zwischen den beiden Modellen TRNSYS und HRLYM auftraten als bei den vorangegangenen Varianten, wurden für die Solarstrahlung drei zusätzliche Varianten untersucht:

- Variante V06a: g-Wert-Analyse
- Variante V06b: doppelte Fensterflächen
- Variante V06c: halbe Fensterflächen

Variante V06a: „g-Wert-Analyse“



Beschreibung:

Q_{Trans}	Q_{Bel}	Q_{Int}	Q_{Vent}	C_m	Q_{Sol}

Ergebnis:

	Q_h	Δ zu TRNSYS		Q_c	Δ zu TRNSYS
aus R5C1	17'034	- 0.20	aus R5C1	8'695	1.05
aus TRNSYS	21'362		aus TRNSYS	4'245	
aus OIB	18'692	- 0.12	aus OIB	19'172	3.52

Resümee:

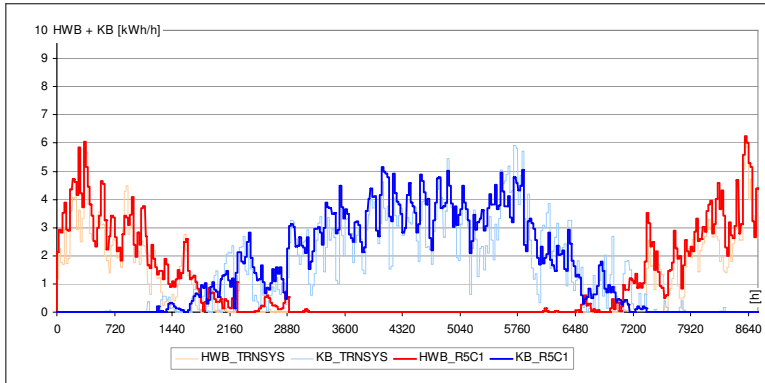
siehe „Analyse Solareintrag“

Abbildung B.10: Validierung TRNSYS-VBA Variante V06a: „g-Wert-Analyse“

Aus der Analyse dieser Varianten kann folgendes **Resümee** gezogen werden:

- **Solarstrahlung:** In HRLYM werden nur mittlere Strahlungswerte (aus Monatsmittelwerten auf die Tage des Monats gleichmäßig verteilt) angesetzt. Dadurch wird an strahlungsreichen Tagen der Solareintrag unterschätzt und an strahlungsarmen Tagen überschätzt. Der angesprochene Zusammenhang ist in der Ergebnisgrafik der Variante V06d gut zu erkennen. Anpassungen lassen sich keine vornehmen, da für das ÖNORM-Verfahren mit Sicherheit keine Stundenwerte der Solarstrahlung (Wetter) für alle Standorte in Österreich zur Verfügung gestellt werden können. Diese Unsicherheit muss daher in Kauf genommen werden.
- **Wärmespeicherkapazität:** Die Analyse der Wärmespeicherfähigkeit ist schwierig, da das in TRNSYS angewandte Modell nicht ohne weiteres nachvollzogen werden kann. Mittels der Berechnung der wirksamen Wärmespeicherkapazität ($C_m = 4497 \text{ W/K}$) können relativ gute Ergebnisse für die Wärmespeicherfähigkeit (und damit die Gebäudeträgheit) erzielt werden.

Variante V06b: „doppelte Fensterflächen“



Beschreibung:

Q_{Trans}	Q_{Bel}	Q_{Int}	Q_{Vent}	C_m	Q_{Sol}

Ergebnis:

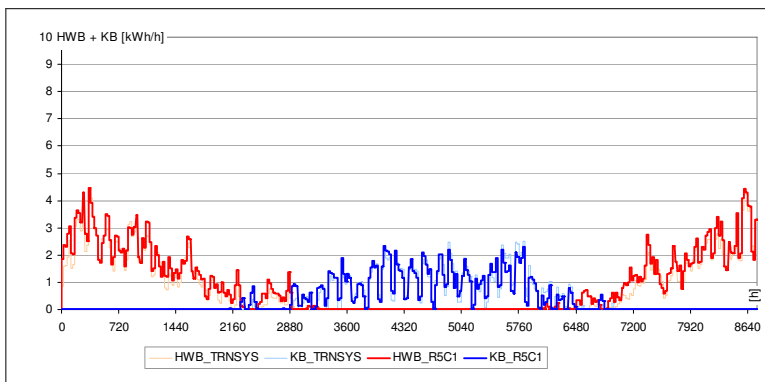
	Q_h	Δ zu TRNSYS		Q_c	Δ zu TRNSYS
aus R5C1	9'716	0.34	aus R5C1	13'766	0.12
aus TRNSYS	7'226		aus TRNSYS	12'241	
aus OIB	9'776	0.35	aus OIB	27'438	1.24

Resümee:

siehe "Analyse Solareintrag"

Abbildung B.11: Validierung TRNSYS-VBA Variante V06b: „doppelte Fensterflächen“

Variante V06c: „halbe Fensterflächen“



Beschreibung:

Q_{Trans}	Q_{Bel}	Q_{Int}	Q_{Vent}	C_m	Q_{Sol}

Ergebnis:

	Q_h	Δ zu TRNSYS		Q_c	Δ zu TRNSYS
aus R5C1	8'446	0.17	aus R5C1	3'555	0.02
aus TRNSYS	7'246		aus TRNSYS	3'486	
aus OIB	8'535	0.18	aus OIB	7'268	1.08

Resümee:

siehe "Analyse Solareintrag"

Abbildung B.12: Validierung TRNSYS-VBA Variante V06c: „halbe Fensterflächen“

Wie die Varianten V01c, V02a und V03a gezeigt haben (nicht dargestellt), wird jedoch in TRNSYS die Wärmespeicherfähigkeit geringfügig höher angesetzt, da – insbesondere für den Heizwärmebedarf – eine wesentliche Gebäudeträgheit zu erkennen ist (Energieinput erfolgt zeitversetzt später als in HRLYM).

- **interne Lasten und Beleuchtung:** In der MTLYM werden die jährlichen Nutzungstage vorgegeben, an denen interne Lasten und Beleuchtungslasten vorhanden sind. In TRNSYS und HRLYM werden hingegen die wöchentlichen Nutzungstage vorgegeben, wodurch es zu geringfügigen Abweichungen kommen kann (z.B. V02a, V03a). Die geringeren Lasten führen zu einem beinahe identischen KB wie bei TRNSYS.
- **Lüftungswärmeverluste:** Abgeändertes Modell für MTLYM (t_{RLT} = tatsächlich Nutzungszeit, θ_{ZU} = mittlere Außentemperatur während Nutzungszeit, n_L = tatsächlicher Luftwechsel während des Betriebs) führt nicht wie erwartet immer zu besseren Ergebnissen. Insbesondere im Kühlfall werden die Ergebnisse teilweise schlechter (Raumsolltemperatur $\theta_{RA,sollC}$ mit 26 °C vorgegeben und dadurch sehr hohe Verluste)
- **Numerische Fehler:** Möglicherweise treten in der HRLYM numerische Fehler auf, die bei fehlenden Bilanzposten falsche Ergebnisse liefern:
 - * wirksame Wärmespeicherkapazität C_m : DIV/0, wenn keine Speichermasse vorhanden; tritt bei Berechnung von $\theta_{SM,t}$ auf
 - * Lüftungsleitwert: DIV/0 bei L_1 , wenn $L_V = 0$; sollte eigentlich nicht möglich sein, da Infiltration immer auftritt; In ÖNORM B 8110-6 werden aber (bei natürlicher Lüftung) Mittelwerte für den gesamten Luftwechsel angegeben, der auch die Infiltration enthält. Wenn dieser "hygienische Luftwechsel" in HRLYM nur während der Nutzungszeit angesetzt wird, tritt außerhalb der Nutzungszeit keinerlei Luftwechsel auf. Daher wird zu diesen Zeiten $L_V = 0$!
In HRLYM-Modell wird daher $L_{V,inf} \geq 0.001$ W/K gesetzt, was zu numerischen Problemen führen könnte.
 - * Transmissionsleitwert L_T : wenn Gebäude nur aus Glasflächen besteht (V01b), wird $L_{T,op} = 0$, wodurch eine DIV/0 bei $L_{AU,SM}$ entsteht.
- **HRLYM - MTLYM:** Bei der HWB-Berechnung besteht bei allen untersuchten Varianten ein sehr guter Zusammenhang zwischen den beiden Methoden. Bei der KB-Berechnung differieren die Ergebnisse teilweise erheblich.
 - * Ein Grund kann dafür der Faktor f_{corr} gemäß ÖNORM B 8110-6 sein, der die errechnete abzuführende Wärme um 40 % erhöht.
 - * Eine Reduktion der Raumsolltemperatur für Kühlen ($\theta_{RA,sollC}$) von 26 °C auf 24 °C bringt nicht den gewünschten Effekt. Daher steigt der Kühlbedarf in allen Varianten (die Verluste sinken, dadurch steigt der Anteil der nicht nutzbaren Gewinne), wodurch die Differenz zu den TRNSYS- bzw. HRLYM-Ergebnissen größer wird.