

# Entwicklung des ersten rechts- sicheren Nachweisverfahrens für Plusenergiegebäude durch komplette Überarbeitung der ÖNORMEN

R. Rosenberger, T. Bednar, H. Schöberl,  
K. Ponweiser, C. Pöhn, A. Storch,  
W. Wagner, J. Schnieders

Berichte aus Energie- und Umweltforschung

## 6/2013

**Impressum:**

Eigentümer, Herausgeber und Medieninhaber:  
Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie  
Radetzkystraße 2, 1030 Wien

Verantwortung und Koordination:  
Abteilung für Energie- und Umwelttechnologien  
Leiter: DI Michael Paula

Liste sowie Downloadmöglichkeit aller Berichte dieser Reihe unter  
<http://www.nachhaltigwirtschaften.at>

# Entwicklung des ersten rechts- sicheren Nachweisverfahrens für Plusenergiegebäude durch komplette Überarbeitung der ÖNORMEN

Robert Rosenberger

Wirtschaftskammer Österreich, Geschäftsstelle Bau

Thomas Bednar, Simon Handler, Azra Korjenic, Markus Leeb  
TU Wien, Institut für Hochbau und Technologie

Helmut Schöberl, Radoslav Hanic, Richard Hofer  
Schöberl & Pöll GmbH

Karl Ponweiser, Heike Huber-Fauland  
TU Wien, Institut für Energietechnik und Thermodynamik

Christian Pöhn  
MA 39, Prüf-, Überwachungs- u. Zertifizierungsstelle der Stadt Wien

Alexander Storch, Siegmund Böhmer, Daniela Fischer,  
Michael Gössl, Werner Pölz, Hubert Reisinger  
Umweltbundesamt GmbH

Waldemar Wagner  
AEE – Institut für nachhaltige Technologien

Wien, Oktober 2012

Ein Projektbericht im Rahmen des Programms





## Vorwort

Der vorliegende Bericht dokumentiert die Ergebnisse eines Projekts aus dem Forschungs- und Technologieprogramm *Haus der Zukunft* des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie.

Die Intention des Programms ist, die technologischen Voraussetzungen für zukünftige Gebäude zu schaffen. Zukünftige Gebäude sollen höchste Energieeffizienz aufweisen und kostengünstig zu einem Mehr an Lebensqualität beitragen. Manche werden es schaffen, in Summe mehr Energie zu erzeugen als sie verbrauchen („Haus der Zukunft Plus“).

Innovationen im Bereich der zukunftsorientierten Bauweise werden eingeleitet und ihre Markteinführung und -verbreitung forciert. Die Ergebnisse werden in Form von Pilot- oder Demonstrationsprojekten umgesetzt, um die Sichtbarkeit von neuen Technologien und Konzepten zu gewährleisten.

Das Programm *Haus der Zukunft Plus* verfolgt nicht nur den Anspruch, besonders innovative und richtungsweisende Projekte zu initiieren und zu finanzieren, sondern auch die Ergebnisse offensiv zu verbreiten. Daher werden sie in der Schriftenreihe publiziert und elektronisch über das Internet unter der Webadresse <http://www.HAUSderZukunft.at> Interessierten öffentlich zugänglich gemacht.

DI Michael Paula  
Leiter der Abt. Energie- und Umwelttechnologien  
Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie



# Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung.....	8
Abstract.....	9
1 Grundlagen.....	10
1.1 Motivation .....	10
1.2 Zielsetzung .....	10
1.3 Durchgeführte Arbeiten .....	10
1.4 Definition Plus-Energie-Gebäude .....	12
1.5 Weitere Begriffsdefinitionen .....	14
2 Versorgungssicherheit, nationale und globale Ziele.....	19
3 Analyse der normativen Abbildung von Energiestandards .....	21
3.1 Entwicklung ÖNORM .....	21
3.2 Entwicklung ISO – CEN .....	23
3.3 Entwicklung Deutschland und Passivhaus Institut.....	27
4 Konversion Endenergie auf Primärenergie/Treibhausgasemissionen Mittelwerte 2004-2007 .....	31
4.1 Kohle.....	34
4.2 Heizöl.....	35
4.3 Erdgas .....	36
4.4 Biomasse.....	37
4.4.1 Scheitholz .....	37
4.4.2 Hackschnitzel .....	37
4.4.3 Pellets .....	38
4.5 Strom .....	39
4.6 Fernwärme .....	44
4.6.1 Primärenergie-Konversionsfaktoren für Fernwärme aus Heizwerken.....	44
4.6.2 Primärenergie-Konversionsfaktoren für Fernwärme aus KWK-Anlagen.....	46
5 Modifikation der Klimaannahmen.....	49
5.1 Analyse von Testreferenzjahre für 27 Standorte .....	49
5.2 Halbsynthetisches Temperaturmodell .....	50
5.3 Mittelwertstreuung lineare Ausgleichsrechnung für die Temperatur .....	51
5.4 Halbsynthetisches Luftfeuchtemodell .....	52
5.5 Halbsynthetische Klimadaten für Gebäudestandort in Österreich .....	54

5.6	Vorschlag für ein halbsynthetisches Klimamodell für Energiebedarfsberechnungen	55
6	Modifikation Nutzung .....	56
6.1	Nutzung Wohnen .....	56
6.1.1	Haushaltsstrombedarf plus Beleuchtungsenergiebedarf im Wohnbau .....	56
6.1.2	Innere lasten aus Personen im Wohnbau.....	58
6.2	Nutzung Büro .....	59
6.2.1	Betriebsstrombedarf im Bürobau .....	59
6.2.2	Innere Lasten aus Personen im Bürobau .....	60
6.3	Verbrauchsprofile elektrisch .....	61
7	Modifikation der Verschattungsfaktoren .....	64
7.1	Berechnung der baulichen Verschattung nach verschiedenen Verfahren .....	64
7.2	Festlegung der Verschattungsfaktoren.....	66
7.3	Diskussion.....	68
8	Modifikation der Auslegungsberechnungen für Niedrigstenergiegebäude .....	70
8.1	Einleitung.....	70
8.2	Grundlagen.....	71
8.2.1	Berechnung der Heizlast .....	71
8.2.2	Nachweis der Zuluftbeheizbarkeit .....	75
8.2.3	Berechnung der Kühllast .....	75
8.2.4	Nachweis der Vermeidung sommerlicher Überwärmung .....	77
8.2.5	Umstieg von stationären Berechnungsmodellen auf dynamische Simulationsmodelle .....	80
8.3	Dynamisches Simulationsmodell.....	82
8.3.1	Raumknotenmodell .....	82
8.3.1	Wirksame thermische und hygrische Kapazität von Bauteilen .....	82
8.3.2	Temperaturen.....	85
8.3.3	Opake Bauteile.....	87
8.3.4	Fenster .....	91
8.3.5	Luftwechsel.....	94
8.4	Definition der meteorologischen Randbedingungen - Winterfall .....	97
8.5	Berechnung der Heizlast.....	110
8.5.1	Operative Temperatur.....	110
8.5.2	Innere Lasten.....	110

8.5.3	Luftwechsel.....	110
8.5.4	Wärmeverluste zum Erdreich.....	111
8.5.5	Wärmeverlust zu Pufferräumen .....	112
8.5.6	Wärmeverlust zu Nachbarwohnungen .....	114
8.5.7	Wärmeverlust zu angrenzenden Räumen innerhalb einer Wohneinheit.....	115
8.5.8	Berücksichtigung von Wärmebrücken.....	115
8.5.9	Berechnung der Raumheizlast.....	115
8.5.10	Berechnung der Gebäudeheizlast .....	115
8.6	Nachweis der Zuluftbeheizbarkeit von Wohnräumen .....	117
8.6.1	Operative Raumtemperatur .....	117
8.6.2	Innere Lasten.....	117
8.6.3	Luftwechsel.....	117
8.6.4	Wärmeverluste zum Erdreich.....	120
8.6.5	Wärmeverlust zu Pufferräumen .....	120
8.6.6	Wärmeverlust zu Nachbarwohnungen .....	120
8.6.7	Wärmeverlust zu angrenzenden Räumen innerhalb einer Wohneinheit.....	121
8.6.8	Berücksichtigung von Wärmebrücken.....	121
8.6.9	Nachweis der Zuluftbeheizbarkeit .....	121
8.7	Definition der meteorologischen Randbedingungen - Sommerfall.....	124
8.8	Berechnung der Kühllast.....	135
8.8.1	Operative Temperatur.....	135
8.8.2	Innere Lasten.....	135
8.8.3	Luftwechsel.....	135
8.8.4	Wärmeaustausch mit dem Erdreich .....	136
8.8.5	Wärmeaustausch mit Pufferräumen.....	136
8.8.6	Wärmeaustausch mit Nachbarwohnungen.....	136
8.8.7	Wärmeaustausch mit Pufferräumen.....	136
8.8.8	Wärmeaustausch mit Nachbarwohnungen.....	136
8.8.9	Wärmeaustausch mit angrenzenden Räumen innerhalb einer Wohneinheit .	136
8.8.10	Berücksichtigung von Wärmebrücken.....	137
8.8.11	Berechnung der Raumkühllast.....	137
8.8.12	Berechnung der Gebäudekühllast.....	137
8.9	Nachweis über die Vermeidung sommerlicher Überwärmung .....	138

9	Modifikation der Energiebedarfsberechnung .....	139
9.1	Komponentenmodellierung.....	139
9.1.1	Biomassekessel .....	139
9.1.2	Wärmepumpe / Kältemaschine.....	142
9.1.3	Erdreichmodell .....	148
9.1.4	Windkraftanlage .....	152
9.1.5	Solarthermie .....	154
9.1.6	Photovoltaik .....	157
9.1.7	Warmwasserspeicher .....	159
9.2	Systemberechnung.....	164
9.2.1	Haushaltsstrombedarf (HHSB) und Betriebsstrombedarf (BSB) .....	164
9.2.2	Beleuchtung – Berechnung des Nutz- und Endenergiebedarfs für Beleuchtung 164	
9.2.3	Warmwasser.....	183
9.2.4	Raumheizung & Kühlung.....	184
9.2.5	RLT (Raumluftechnik).....	187
9.3	Schwanenstadt .....	195
9.3.1	Geografische Lage.....	195
9.3.2	Gebäudebeschreibung .....	195
9.3.3	Gebäudehülle .....	198
9.3.4	Haustechnik .....	200
9.3.5	Messungen .....	202
9.3.6	Vergleich mit Energieverbrauchsrechnung.....	206
9.4	Utendorfgasse.....	208
9.4.1	Geografische Lage.....	208
9.4.2	Gebäudebeschreibung .....	208
9.4.3	Gebäudehülle .....	210
9.4.4	Haustechnik .....	211
9.4.5	Messungen .....	214
9.4.6	Vergleich mit Energieverbrauchsrechnung.....	217
9.5	Bürogebäude in Niederösterreich.....	219
9.5.1	Introduction .....	219
9.5.2	Location and climate conditions .....	219
9.5.3	Building description and building systems .....	220

9.5.4	Experimental and computational investigations .....	221
9.5.5	Occupants and equipment operation .....	222
9.5.6	Measurements.....	223
9.5.7	Comparison between measurements and simulations.....	225
10	Kenngößen für Energieausweis .....	228
10.1	Gesamtenergieeffizienz-Faktor .....	228
10.1.1	Allgemeines .....	228
10.1.2	Berechnung des Referenzwerts für Wohngebäude (SK) .....	229
10.1.3	Berechnung des Referenzwerts für Wohngebäude (RK).....	229
10.1.4	Berechnung des Referenzwerts für Nicht-Wohngebäude (SK) .....	230
10.1.5	Berechnung des Referenzwerts für Nicht-Wohngebäude (RK).....	230
10.2	Kenngößen für Plus-Energie Energieausweis.....	233
11	Ergebnisse .....	236
11.1	AP1 (Rechenverfahren) .....	236
11.2	AP2 (Normvorschläge).....	237
11.3	AP3 (Umsetzung) .....	238
12	Ausblick und Empfehlungen .....	240
13	Verwendete Formelzeichen .....	241
14	Literaturverzeichnis .....	257
15	Abbildungsverzeichnis.....	264
16	Tabellenverzeichnis.....	269
17	Anhang .....	272

# Kurzfassung

## Inhalte und Zielsetzungen

Ziel war es, die österreichische Normung hinsichtlich Gebäudetechnik und Bauphysik weiterzuentwickeln um damit Rechenverfahren für die Bemessung von Plus-Energiehäusern zur Verfügung stellen.

## Methodische Vorgehensweise

Zuerst wurden die Rechenverfahren für die Plus-Energiehäuser erstellt. Bestehende Verfahren wurden adaptiert und neue wurden entwickelt. Die Entwicklung der Rechenalgorithmen wurde mittels hygrothermischer dynamischer Simulation an virtuellen Gebäuden realisiert. Dabei werden die neuesten Erkenntnisse aus den Gebieten der Gebäudetechnik und Bauphysik genutzt und die virtuellen Gebäudemodelle vervollständigt.

## Ergebnisse

Im neuen österreichischen Energieausweis OIB 2011 wurde Primärenergie PEB, CO<sub>2</sub> und die Gesamtenergieeffizienz mittels dem Faktor  $f_{GEE}$  abgebildet.

Die Rechenverfahren für Heizlast, Kühllast und Sommerliche Überwärmung liegen konsistent und normierbar vor. Die ÖNORM B 8110-3:2012 03 15 Vermeidung sommerlicher Überwärmung ist erschienen.

Die Rechenverfahren für dynamische Solarthermie, dynamische Biomassekesselberechnung und gekoppelte Berechnung Wärmepumpe/Erdebecken liegen vor. Diese Arbeiten an den Rechenverfahren sind dokumentiert, um Plus-Energiegebäude richtig im Energieausweis abbilden zu können. Auf diesen Grundlagen kann die nächste Ausgabe der Normen zu Berechnung der Kenngrößen am Energieausweis für Wohn- und Nicht-Wohnbau erstellt werden.

Alle angeführten Rechenverfahren sind in ein DEMO\_TOOL, siehe Anhang, eingeflossen.

# Abstract

## Starting point / motivation

The aim was to develop the Austrian standards regarding housing technologies and building physics in order to provide a method for the calculation of plus-energy buildings.

## Methods

Calculation methods for plus-energy buildings were developed first. Therefore existing methods were adapted and new ones developed. The development of calculation algorithms were realised using hygrothermal dynamic simulation of virtual buildings. Within that newest insights in the areas of housing technology and building physics were used and virtual building models completed.

## Results

In the new Austrian Energy Pass OIB 2011 primary energy PEB, CO<sub>2</sub> and overall energy efficiency were displayed using the factor  $f_{GEE}$ . Methods for the calculation of Heat load, Cooling load and Overheating in summer are consistently and standardized provided. The standard ÖNORM B 8110-3:2012 03 15 - Prevention of overheating in summer has been published. Calculation methods for dynamic solar thermals, dynamic biomass vessel calculation and linked heatpump/earth calculation are present. The works on those calculation methods have been documented to be able to display plus-energy buildings in the energy pass. On this basis the next publication of the standards to calculate parameters in the energy pass for housing and non-housing projects can be developed.

All mentioned calculation tools are summarized in an attached DEMO\_TOOL.

# 1 Grundlagen

## 1.1 Motivation

Derzeit sind die PlanerInnen in Österreich sowie in ganz Europa auf verschiedene Planungsinstrumente bzw. Rechenverfahren (z. B. Energieausweis-Berechnungs-Tools, PHPP bzw. andere Programme), wenn überhaupt vorhanden, angewiesen. Diese sind zwar meistens validiert, sind jedoch nicht genormt oder sonst irgendwie rechtlich unterlegt. Teilweise erreichen die Ergebnisse der Berechnungen große Abweichungen gegenüber der Realität. Die Bundesinnung Bau als größte Interessenvertretung der Bauschaffenden in Österreich hatte sich das Ziel gesetzt, ihren Mitgliedern die notwendige Sicherheit bei Planungen von Plus-Energiegebäuden zu schaffen.

## 1.2 Zielsetzung

Dem Projekt lagen verschiedene Zielsetzungen zugrunde.

Hauptziel war die Entwicklung rechtssicherer Nachweisverfahren für Planung von Plus-Energie-Häusern. Rechtsicherheit bedeutet Definitionen und Nachweisverfahren zu haben die unter Experten anerkannt sind. Wenn Nachweisverfahren unter Experten anerkannt sind, dann fließen diese in Normen, womit es zur Regel der Technik wird. Für Bereiche, wo keine Nachweisverfahren existierten, war das Ziel diese zu schaffen und zu validieren.

Weiteres Ziel war die Schaffung umfassender Wissensbasis auf dem Gebiet der bauphysikalischen und haustechnischen Planung und der Dimensionierung von technischen Anlagenkomponenten der Plus-Energiehäuser. Diese dient als Grundlage, dass PlanerInnen Plus-Energiegebäude planen und berechnen können.

Ein Ziel war es, dass Plus-Energiegebäude im neuen Energieausweis, Ausgabe OIB 2011, abgebildet werden sollen bzw. für die nächste Energieausweis Ausgabe vorbereitet werden.

Schlussendlich sollte die internationale Position von Österreich bezüglich Klima- und Umweltschutz sowie wissenschaftlichem Know-how auf dem Gebiet der Plus-Energie-technologie gestärkt werden.

## 1.3 Durchgeführte Arbeiten

Die Anpassung der entwickelten Rechenverfahren für die Schaffung von rechtssicheren Nachweisverfahren in ÖNORMEN erfolgte durch integrale Zusammenarbeit aller beteiligten ProjektpartnerInnen.

Die beiden Institute der TU Wien (Forschungsbereich für Bauphysik und Schallschutz; Institut für Energietechnik und Thermodynamik) und Schöberl & Pöll GmbH haben neue Rechen-

verfahren anhand von dynamischen Computersimulationen, theoretischen Untersuchungen und Erfahrungen in Zusammenarbeit entwickelt. Zur Anwendung wurden selbst entwickelte und beliebig anpassbare Simulationstools herangezogen. Im Gegensatz zu derzeitiger Situation (Monatsbilanzverfahren) wurden als zeitliche Auflösung bei den Untersuchungen synthetische standortabhängige Klimadatensätze auf Stundenbasis herangezogen.

Das Umweltbundesamt und die MA 39 Prüf-, Überwachungs- und Zertifizierungsstelle der Stadt Wien haben Konversionsfaktoren für CO<sub>2</sub>-Emissionen und Primärenergie erhoben, dokumentiert und präzisiert, welche nach verschiedensten Diskussionsprozessen schlussendlich in die OIB-Richtlinie 6 Ausgabe 2011 eingeflossen sind und hiermit, wenn alle Bundesländer im Laufe des Jahres 2012 und 2013 diese OIB-Richtlinie verbindlich machen, die Konversionsfaktoren Gesetzesstatus erlangen.

Durch internationale Zusammenarbeit einiger ProjektpartnerInnen an der Weiterentwicklung der internationalen Normung sind die entwickelten Rechenverfahren in die Diskussion der europäischen und internationalen Normung eingeflossen.

Durch Kooperation mit internationalen Forschungsgruppen im Zuge des IEA Annex 53 wurden die Definitionen für den Energieverbrauch in Gebäuden weiter konkretisiert. Die Projekte Mehrfamilienhaus Utendorfgasse und Bezirkshauptmannschaft Melk waren die österreichischen Fallbeispiele für den IEA Annex 53.

Durch Vertretung Österreichs in CEN TC 371 und ISO TC 163/205 JWG konnten die europäischen Entwicklungen zur Überarbeitung der Europanormen für den Energieausweis im ÖNORM Plus Projekt berücksichtigt werden.

Das Schulungstool wird derzeit für die Erstellung der Energiebilanz des HdZ-Demonstrationsgebäudes TU Wien – Getreidemarkt – Plus-Energie-Bürogebäude verwendet.

## 1.4 Definition Plus-Energie-Gebäude

Im Rahmen der „Haus der Zukunft Plus“ wird ein Plus-Energie-Gebäude wie folgt definiert [HDZ12]:

„Unter „Plus-Energie-Gebäude“ wird ein Gebäude verstanden, dessen jährlicher Primärenergieverbrauch vor dem Hintergrund höchster Energieeffizienz unter der vor Ort produzierten erneuerbaren Energie liegt. Unter „vor Ort“ wird innerhalb der Grenzen der Siedlung oder des Gebäudes bzw. in unmittelbarer Nachbarschaft hierzu verstanden.“

Im Rahmen des Projektes Önorm+ wird die Definition Plus-Energie-Gebäude auf Basis der obigen Abbildung wie folgt präzisiert:

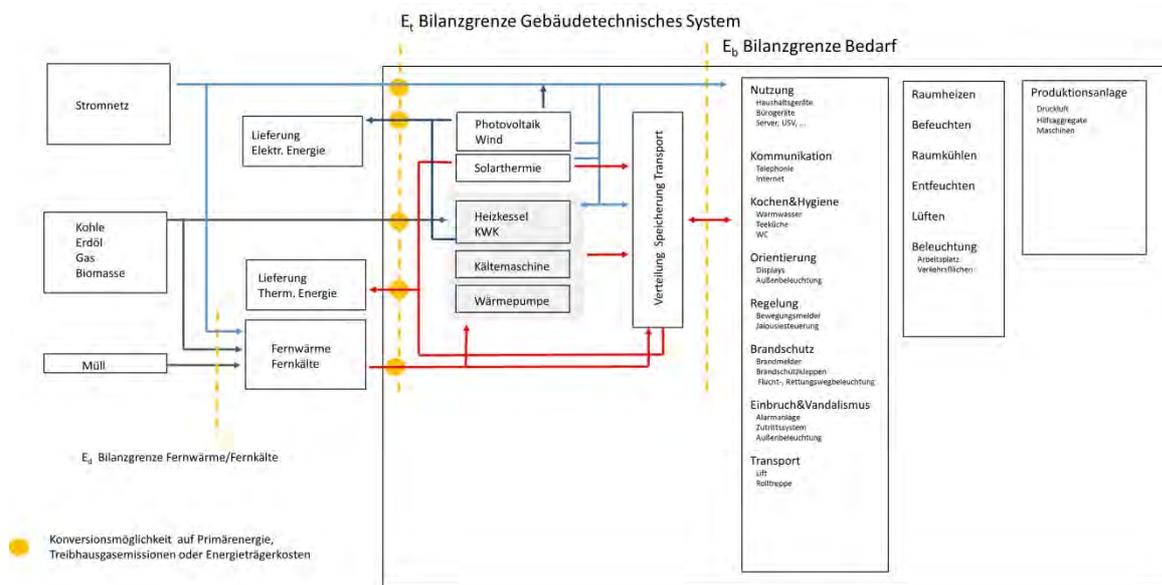


Abbildung 1: Darstellung Bilanzgrenzen für Plus-Energie-Gebäude [IEA10]

**Ein Gebäude ist ein Plus-Energie-Gebäude, wenn der totale Primärenergiebedarf (Gebäudebetrieb+Nutzung+Eigendeckung) sehr gering ist und der nicht-erneuerbare Primärenergiebedarf (Gebäudebetrieb+Nutzung+Eigendeckung) kleiner als der durch den Export von Energie ins Netz reduzierte nicht erneuerbare Primärenergiebedarf bei anderen Energienutzungen (andere Gebäude, Mobilität, etc.) ist.**

Im Kapitel 10.2 ist diese Definition in Abbildung 124 dargestellt.

Die oben stehende Definition beinhaltet alle Bürogeräte, Server, Küchengeräte, die technische Gebäudeausstattung und die Beleuchtung.

Die entscheidende Voraussetzung eines Plus-Energie-Gebäudes ist, dass der totale Primärenergiebedarf sehr gering ist. Im Ausblick (Kapitel 12) wird beschrieben, wie eine allgemein für Österreich gültige Anforderung festgelegt werden kann. Eine sinnvolle Größenordnung für Primärenergieanforderung ist im Kapitel 10.2 skizziert.

Der gesamte Energiebezug vom Netz (alle Energieträger) wird somit durch die am Standort produzierte Energie über das Jahr gesehen abgedeckt. Ein Plus-Energie-Gebäude kann mit derzeitigen Technologien nicht an allen Standorten erreicht werden, beispielsweise bei flächendeckend verschatteten Standorten. Wenn ein Plus-Energie-Gebäude auch an solchen Standorten möglich sein soll, könnte über reduzierte Konversionsfaktoren durch den Einkauf von Ökostrom beim Import als erweiterte Definition in absoluten Ausnahmefällen nachgedacht werden. Der Hintergrund dieser Überlegung ist, dass Ökostrom sinnvoll investiertes Geld in erneuerbare Energien außerhalb des Gebäudestandorts ist.

Zur Veranschaulichung der Plus-Energie-Definition dient folgende Tabelle und Grafik:

Tabelle 1: Plus-Energie-Gebäude am Beispiel des Plus-Energie-Dachgeschossausbaus Ybbsstraße Straßentrakt, Endenergie, Primärenergiebedarf (Et, Konversionsfaktor total und nicht erneuerbar)

	Endenergie [kWh/m <sup>2</sup> EBF.a]	PE total 2,62 [kWh/m <sup>2</sup> EBF.a]	PE nicht erneuerbar 2,15 [kWh/m <sup>2</sup> EBF.a]
Gebäude	8,2	21,5	17,6
Photovoltaik für Gebäude Eigendeckung	5,4	14,2	11,7
Gebäude abzüglich Eigendeckung	2,8	7,3	5,9
Nutzung	8,0	21,0	17,2
Photovoltaik Nutzung Eigendeckung	5,4	14,2	11,7
Nutzung abzüglich Eigendeckung	2,6	6,8	5,5
Photovoltaik Ertrag	27,1	71,0	58,3
Photovoltaik Export	16,3	42,6	35,0

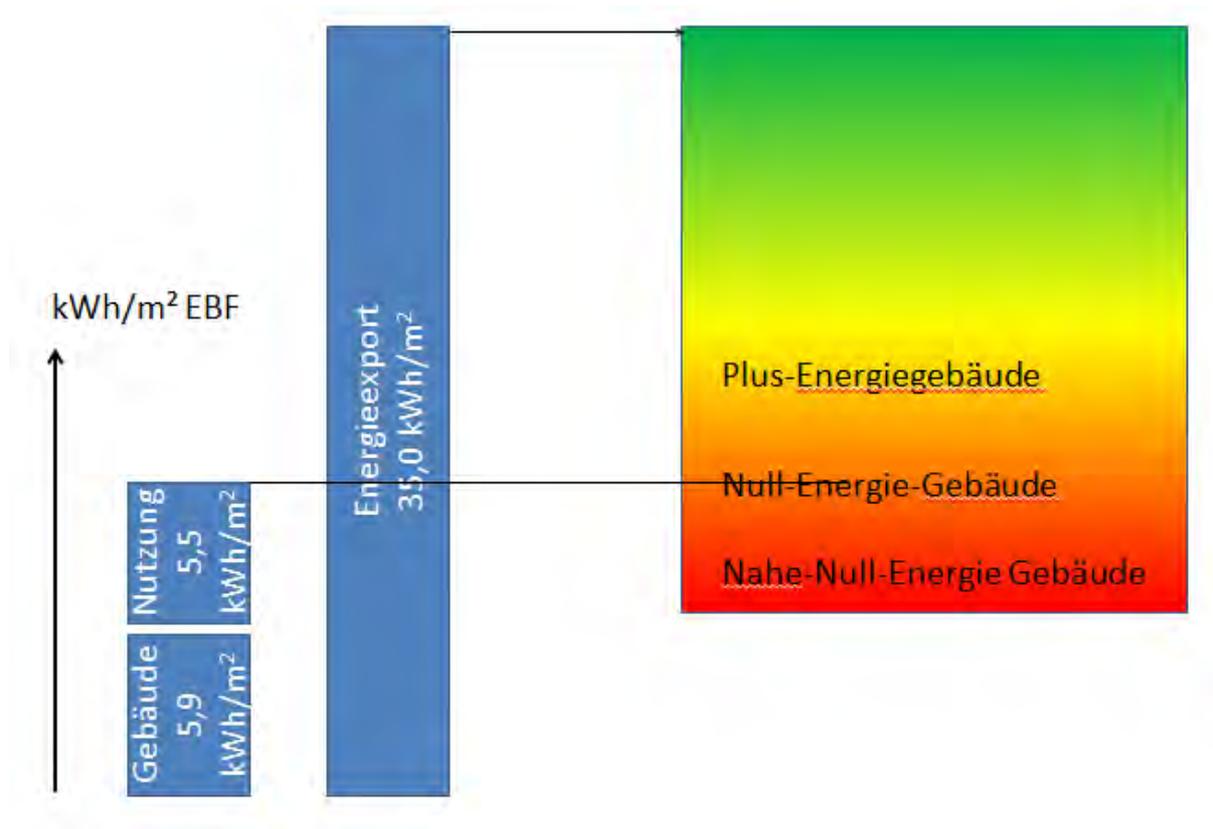


Abbildung 2: Plus-Energie-Gebäude am Beispiel des Plus-Energie-Dachgeschossausbaus Ybbsstraße Straßen-trakt, Primärenergiebedarf (Et, Konversionsfaktor nicht erneuerbar)

## 1.5 Weitere Begriffsdefinitionen

Nachfolgend sind jene Begriffe definiert, wie sie in dieser Arbeit verwendet wurden. Für nicht angeführte Begriffe gelten die Definitionen, wie diese in der EN 12792 angeführt sind.

### **Befeuchtungsbedarf**

Der Befeuchtungsbedarf ist jene Menge an Wasser, die einem Raum zugeführt werden muss, um einen bestimmten Sollwert des Feuchtegehalts in der Raumluft nicht zu unterschreiten.

### **Befeuchtungsenergiebedarf**

Die Energiemenge, die aufgewendet werden muss, um die Befeuchtung durchzuführen.

### **Beleuchtungsenergiebedarf**

Verbrauchte Energie der Summe aller Leuchten im Zeitabschnitt  $t$  im Raum oder in der Zone, wenn die Lampen in Betrieb sind, um die Beleuchtungsfunktion und den Beleuchtungszweck im Gebäude zu erfüllen, zuzüglich der Leerlaufverlust-Leistungen, wenn die Lampen nicht in Betrieb sind. [ONO08]

## **Betriebsstrombedarf**

Ist der gesamte Strombedarf im Gebäude, der für die Nutzung des Nicht-Wohn-Gebäudes benötigt wird. Für die Berechnung des Energieausweises werden standardisierte Werte verwendet.

## **CO2 Kohlendioxidemissionen**

Die bei einem gegebenen Energieträger die je Endenergie-Einheit an die Atmosphäre abgegebene Menge an CO<sub>2</sub>. [ONO08a]

## **Effizienz**

Verhältnis zwischen dem erreichten Ergebnis und den eingesetzten Ressourcen

Energieeffizienz: sparsame Anwendung von Energie, um die beabsichtigte Funktion und Leistung zu erreichen Technisch ist es die minimale Menge der geforderten Energie zur Lieferung einer Funktion am Ausgang einer Einrichtung. [ONO05]

## **Eigendeckung**

Eigendeckung bedeutet, dass die lokale Bereitstellung von Strom und Wärme vorrangig zur Abdeckung des eigenen Strom- und Wärmebedarfs dient. Die nicht lokal verbrauchte Strom/Wärme wird in das elektrische/thermische Netz exportiert. Damit die Eigendeckung in die Berechnung des Primärenergiebedarfs an der Bilanzgrenze Et berücksichtigt werden darf, müssen die dazu notwendigen technischen Einrichtungen vorhanden sein. Diese Berechnung muss zumindest stundenweise erfolgen, noch besser im 15-Minuten-Takt. Vorrangig wird der Energiebedarf für den Gebäudebetrieb gedeckt und nachrangig die Nutzung.

## **Einspeisenergiemenge**

Die ins thermische oder elektrische Netz abgegebene Energie.

## **Endenergie**

Energie, angegeben je Energieträger, die durch die Systemgrenze hindurch an die technische Gebäudeausrüstung geliefert wird, um den berücksichtigten Verwendungszwecken zu genügen (Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser, Beleuchtung, Geräte usw.) oder Strom zu erzeugen. [ONO08a]

## **Entfeuchtungbedarf**

Der Entfeuchtungbedarf ist jene Menge an Wasser, die der Luft eines Raums entzogen werden muss, um einen bestimmten Sollwert des Feuchtegehalts in der Raumluft nicht zu überschreiten.

## **Entfeuchtungsenergiebedarf**

Die Energiemenge, die aufgewendet werden muss, um die Entfeuchtung durchzuführen. Je nach Art des Verfahrens unterscheidet man zwischen sorptiven Verfahren und dem Entfeuchten der Luft durch Abkühlen unterhalb der Taupunkttemperatur des gewünschten Luftzustandes. In der vorliegenden Arbeit wurde davon ausgegangen, dass die Entfeuchtung der

Außenluft ausschließlich durch das Abkühlverfahren stattfindet. Da die gewünschte Lufttemperatur nur in den seltensten Fällen jener des Taupunktes der Zuluft entspricht, ist eine der Entfeuchteten nachfolgende Erwärmung der Zuluft notwendig.

### **Gesamtenergieeffizienz-Faktor fGEE**

Gesamtenergieeffizienz-Faktor als Relation des Endenergiebedarfes (zukünftig Lieferenergiebedarf) zur Anforderung an den Endenergiebedarf des Jahres 2007 bezogen auf das Referenz- oder Standortklima im Energieausweis. [OIB11]

### **Haushaltsstrombedarf**

Ist der gesamte Strombedarf, der für die Nutzung eines Wohn-Gebäudes benötigt wird.

Im österreichischen Energieausweis wird der Haushaltsstrombedarf als flächenbezogener Defaultwert festgelegt. Er entspricht ca. dem durchschnittlichen flächenbezogenen Stromverbrauch in einem durchschnittlichen österreichischen Haushalt. (Quelle: Energieausweis 2012, Deckblatt)

### **Heizenergiebedarf**

Energiebedarf für Raumheizung, Warmwasser und Befeuchten an der Bilanzgrenze Et

### **Heizwärmebedarf**

Energiebedarf für Raumheizung an der Bilanzgrenze Eb

### **Kühlbedarf**

Energiebedarf für Raumkühlung an der Bilanzgrenze Eb

### **Kühlenergiebedarf**

Energiebedarf für Raumkühlung, Entfeuchten an der Bilanzgrenze Et

### **Lieferenergiebedarf**

Zukünftige Bezeichnung für Endenergiebedarf in der OIB RL 6 [OIB11]

### **Lüftungsenergiebedarf**

Endenergiebedarf zum Transport der Luft

### **Nicht erneuerbare Primärenergie**

Energie aus einer Quelle, deren Vorrat sich durch die Entnahme verringert (wie z. B. fossile Brennstoffe). [ONO07c]

### **Niedrigstenergiegebäude**

Das Niedrigstenergiegebäude wird im nationalen Plan als gesetzliche Mindestanforderung für Neubauten in Österreich definiert. Der nationale Plan liegt als Entwurf vor (Stand Oktober 2012). Die Anforderung an den Primärenergiebedarf beträgt nach derzeitigem Stand des

nationalen Plans 160 kWh/m<sup>2</sup>.a mit den Konversionsfaktoren gemäß OIB Richtlinie 6 2011 [OIB11]. Weitere Anforderungen betreffen den Heizwärmebedarf HWB und den Gesamtenergieeffizienzfaktor  $f_{GEE}$ .

### **Nutzenergie**

Energie, die dem Nutzer nach der letzten technischen Umwandlung zur Verfügung steht. [ONO96]

### **Passivhaus**

Ein Passivhaus ist laut dem Passivhaus Institut über folgende Anforderungen definiert:

- Primärenergiekennwert PEK  $\leq 120$  kWh/m<sup>2</sup>EBF.a
- Heizwärmebedarf HWB  $\leq 15$  kWh/m<sup>2</sup>EBF.a
- Heizlast  $\leq 10$  W/m<sup>2</sup>EBF
- Luftdichtheit  $\leq 0,6$  1/h

Die Anforderungen können mittels PHPP und österreichischem Klima gemäß ÖNORM B 8110-5 und Heizlast gemäß Kapiteln 8.5 und 8.6 nachgewiesen werden. Der Heizwärmebedarf kann gemäß den Passivhaus-Anmerkungen der ÖNORM B 8110-6 abgeschätzt werden. Für den Primärenergiebedarf ist in PHPP und ÖNORM der totale Primärenergiebedarf (Gebäudebetrieb+Nutzung+Eigendeckung) gemäß OIB Richtlinie 6 2011 zu nehmen.

### **Primärenergie**

Die Primärenergie umfasst die nicht erneuerbare Energie und die erneuerbare Energie. Falls beide berücksichtigt werden, darf sie als Gesamtprimärenergie bezeichnet werden. Für ein Gebäude ist dies die Energie, die zur Erzeugung der an das Gebäude gelieferten Energie aufgewendet wird. Sie wird mit Hilfe von Umrechnungsfaktoren aus den gelieferten und den abgeführten Energieträgermengen berechnet. [ONO07c]

### **RLT**

Raumlufttechnik

#### **RLT-Anlage**

Der Teil der Gebäudetechnik, der für den Transport und Zustandsänderung der Luft im Gebäude zuständig ist. Die RLT-Anlage besteht aus den Ventilatoren und je nach Anwendung aus Wärmetauschern, Feuchtetauschern, Heizregistern, Kühlregistern, Befeuchter, Filter, Schalldämpfer, Luftkanälen, Brandschutzklappen, Volumenstromreglern, Auslässen und Einlässen.

### **Suffizienz**

Suffizienz steht in der Ökologie für das Bemühen um einen möglichst geringen Rohstoff- und Energieverbrauch. [LIN11]

## **Warmwasserwärmebedarf**

Wärmemenge, die ohne Berücksichtigung der Wärmeverluste der Anlagentechnik zur Erzeugung der gewünschten Menge Warmwasser benötigt wird. [ONO10]

## 2 Versorgungssicherheit, nationale und globale Ziele

Für die Europäische Union besteht eine große Abhängigkeit von teilweise unsicheren Drittstaaten im Bereich der Energieversorgung. Insbesondere ein hoher Anteil von Öl und Gas kommen entweder aus Russland – und hier auf einer Transportstrecke durch diverse andere Länder – oder aus dem Bereich arabischer Staaten bzw. Nachfolgestaaten der ehemaligen Sowjetunion. Insbesondere in „Energie 2020 - Eine Strategie für wettbewerbsfähige, nachhaltige und sichere Energie“ [KOM10] wird festgehalten, dass eben diese Abhängigkeit in den nächsten Jahren zu vermindern ist. Für Österreich bedeutet diese Strategie im Rahmen der 20-20-20-Ziele der EU eine Erhöhung des Anteils der erneuerbaren Energieträger auf 34 %.

Ebenso wird seitens der Europäischen Union nach wie vor das sog. „2 Grad-Ziel“ verfolgt. Im Rahmen dieser Zielsetzung hätten schon bei den zuletzt stattgefundenen UN-Klimagipfeln Post-Kyoto-Prozesse verbindlich beschlossen werden sollen. Hätte es derartige verbindliche Beschlüsse gegeben, an denen sich insbesondere die Vereinigten Staaten und China beteiligt hätten, wäre das 20% Einsparungsziel der Europäischen Union sogar auf 30 % erhöht worden. Insbesondere in dem „Fahrplan für den Übergang zu einer wettbewerbsfähigen CO<sub>2</sub>-armen Wirtschaft bis 2050“ [KOM11] wird festgehalten, in welchem Ausmaß die Kohlendioxidemissionen bis 2050 gesenkt werden sollen, ohne dabei Wettbewerbsfähigkeit zu verlieren. Für den Gebäudebereich sind das bis 2030 ca. -50 % und bis 2050 ca. -90 % Verringerung der Kohlendioxidemissionen.

Vor dem Hintergrund dieser beiden europäischen Ziele sind nun die nationalen Antriebe im Rahmen der Umsetzung der Gesamtenergieeffizienzrichtlinie für Gebäude innerhalb des Gebäudesektors zu sehen. Hier sind bereits in der Gegenwart, nationale Pläne zu verfassen, wie 2020 die Anforderungen an den Neubau und an größere Renovierungen formuliert sein werden. Dies soll einerseits insbesondere für den Neubau das Niedrigstenergieniveau sein und andererseits auch die Forderungen an die Kostenoptimalität erfüllen. Den Mitgliedsstaaten bleiben beide Definitionen überlassen, allerdings werden diese seitens der Europäischen Union vergleichend veröffentlicht.

Ein österreichisches Spezifikum stellt dabei eine gewisse Berücksichtigung der Nutzungskomponente via Haushalts- und Betriebsstrombedarf dar. Diese wurde vor allem aus Kommunikationsgründen – es ist dringend notwendig, dass möglichst jeder Energieverbrauch umfassend kommuniziert wird und keinesfalls beispielsweise über ein Null-Energiegebäude gesprochen wird, für das dann „lediglich“ ein Stromverbrauch via einer Stromrechnung kommuniziert werden muss - und aus der möglichen direkten Verbuchung von Stromerträgen innerhalb des Energieausweises eingeführt. Die Suche nach den österreichischen Grenzwerten für die Jahre 2020 und folgende wurde nach folgenden Grundsätzen durchgeführt:

- 1.) Die thermisch-energetische Beschreibung eines Gebäudes erfolgt hinkünftig durch das Quadrupel Heizwärmebedarf, Primärenergiebedarf, Kohlendioxidemissionen und Gesamtenergieeffizienz-Faktor.

- 2.) Das Niedrigstenergieniveau auf normativer Basis ist seit Mitte der 90er-Jahre durch die 10er-Linie beschrieben. Im Rahmen bisher durchgeführter Kostenoptimalitätsuntersuchungen umfasst der mögliche Ergebnisbereich bezüglich der Kostenoptimalität jedenfalls auch diese Linie.
- 3.) Infolge der sehr hohen Konversionsfaktoren für Nahwärme aus Biomasse war das limitierende Element für Primärenergiebedarfsanforderungen durch Biomasse-Nahwärme vorgegeben.
- 4.) Infolge des vorhandenen Gasnetzes und der daraus resultierenden wirtschaftlichen Sinnhaftigkeit einer Gasversorgung von Gebäuden wurden die Anforderungen an die Kohlendioxidemissionen für die höchste thermische Qualität so gelegt, dass eine Versorgung mit Gas noch möglich ist.
- 5.) Der Gesamtenergieeffizienz-Faktor, der primär auf den Lieferenergiebedarf abzielt, wurde so gewählt, dass ein höherer vor Ort erzielter erneuerbarer Energieertrag allenfalls zu geringeren Investitionen im Bereich der thermischen Hülle führen darf.

### 3 Analyse der normativen Abbildung von Energiestandards

#### 3.1 Entwicklung ÖNORM

Die ÖNORMen (Österreichische Normen) sind einem stetigen Wandel unterworfen und werden in den Komitees und Arbeitskreisen des Österreichischen Normungsinstituts weiter entwickelt.

Der Entwicklungsprozess der im Bericht inhaltlich behandelten Normen wird anhand der folgenden Auflistung der Erscheinungszeitpunkte dargestellt:

- Heizungssysteme in Gebäuden - Verfahren zur Berechnung der Norm-Heizlast
  - ÖNORM H 7500:2006 01 01 (aktuell)
  - ÖNORM H 7500:2005 10 01
  
- Berechnung der sensiblen und latenten Kühllast sowie der sommerlichen Temperaturgänge von Räumen und Gebäuden
  - ÖNORM H 6040:2012 11 01 (aktuell)
  - ÖNORM H 6040:2012 08 01
  - ÖNORM H 6040:1997 03 01
  - ÖNORM H 6040:1994 05 01
  - ÖNORM H 6040:1990 10 01
  
- Wärmeschutz im Hochbau - Teil 3: Vermeidung sommerlicher Überwärmung
  - ÖNORM B 8110-3:2012 03 15 (aktuell)
  - ÖNORM B 8110-3:2011 12 15
  - ÖNORM B 8110-3:1999 12 01
  - ÖNORM B 8110-3:1998 02 01
  - ÖNORM B 8110-3:1989 03 01
  - ÖNORM B 8110-3:1987 05 01
  
- Wärmeschutz im Hochbau - Teil 6: Grundlagen und Nachweisverfahren - Heizwärmebedarf und Kühlbedarf
  - ÖNORM B 8110-6:2010 01 01 (aktuell)
  - ÖNORM B 8110-6:2009 08 15
  - ÖNORM B 8110-6:2007 08 01
  - ÖNORM B 8110-6:2007 04 01
  - ÖNORM B 8110-6:2004 12 01
  - ÖNORM B 8110-6:2004 07 01
  - ÖNORM B 8110-1:2000 09 01
  - ÖNORM B 8110-1:1998 06 01
  - ÖNORM B 8110-1:1997 10 01

- ÖNORM B 8110-1:1983 02 01
- ÖNORM B 8110:1978 09 01
- ÖNORM B 8110:1978 07 01
- ÖNORM B 8110:1959 04 27
- ÖNORM B 8110:1952 08 22
- ÖNORM B 8110:1950 02 22
  
- Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden - Heiztechnik-Energiebedarf
  - ÖNORM H 5056:2010 01 01 (aktuell)
  - ÖNORM H 5056:2009 08 15
  - ÖNORM H 5056:2007 08 01
  - ÖNORM H 5056:2007 04 01
  
- Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden - Raumluftechnik-Energiebedarf für Wohn- und Nichtwohngebäude
  - ÖNORM H 5057:2011 03 01 (aktuell)
  - ÖNORM H 5057:2010 01 01
  - ÖNORM H 5057:2009 08 15
  - ÖNORM H 5057:2007 08 01
  - ÖNORM H 5057:2007 04 01
  
- Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden - Kühltechnik-Energiebedarf
  - ÖNORM H 5058:2011 03 01 (aktuell)
  - ÖNORM H 5058:2010 01 01
  - ÖNORM H 5058:2009 08 15
  - ÖNORM H 5058:2007 08 01
  - ÖNORM H 5058:2007 04 01
  
- Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden - Beleuchtungsenergiebedarf (Nationale Ergänzung zu ÖNORM EN 15193)
  - ÖNORM H 5059:2010 01 01 (aktuell)
  - ÖNORM H 5059:2009 08 15
  - ÖNORM H 5059:2007 08 01
  - ÖNORM H 5059:2007 04 01

## 3.2 Entwicklung ISO – CEN

Die Entwicklung der europäischen Normen auf denen die Berechnung der Kennzahlen für den Energieausweis basieren sollen gestaltet sich als schwierig, da ein Großteil der Normen unter der Leitung von ISO entsteht.

Zur Steuerung des Vorganges wurde bei CEN das Technical Committee CEN TC 371 eingerichtet. Aufgrund des Mandats 480 der Europäischen Kommission an CEN zur Überarbeitung der Rechenregeln für den Energieausweis wurden Teams zusammengestellt, die die Überarbeitung der Normen in Zusammenarbeit mit den verschiedenen CEN TC's bzw. ISO TC's organisieren bzw. durchführen. In den beiden folgenden Abbildungen ist die Organisation des Überarbeitungsvorganges und das komplexe Geflecht der betroffenen Komitees zusammengefasst.

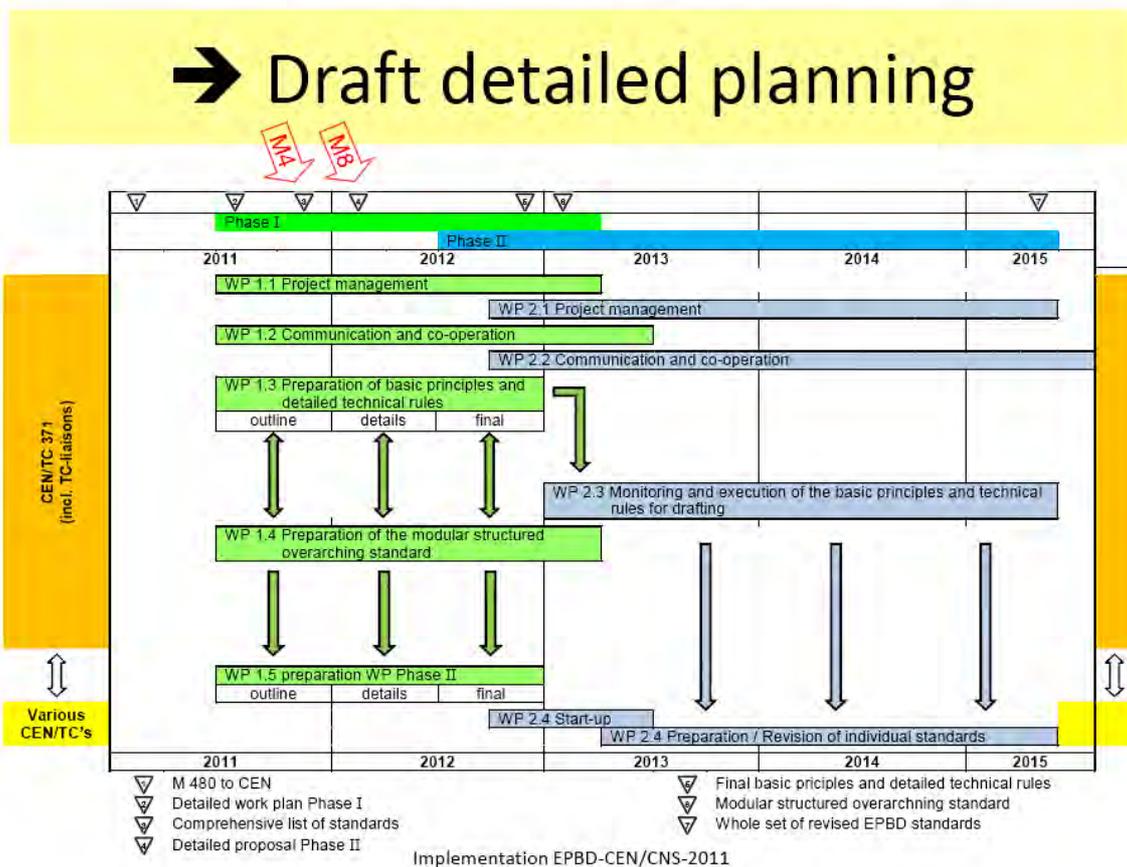


Abbildung 3: Organisation der Überarbeitung der europäischen und internationalen technischen Regeln für den Energieausweis (Quelle: <http://www.cen.eu/cen/Sectors/Sectors/Construction/Events/Documents/2.1%20National%20implementation%20of%20EPBD%20-%20Jaap%20Hogeling.pdf> )

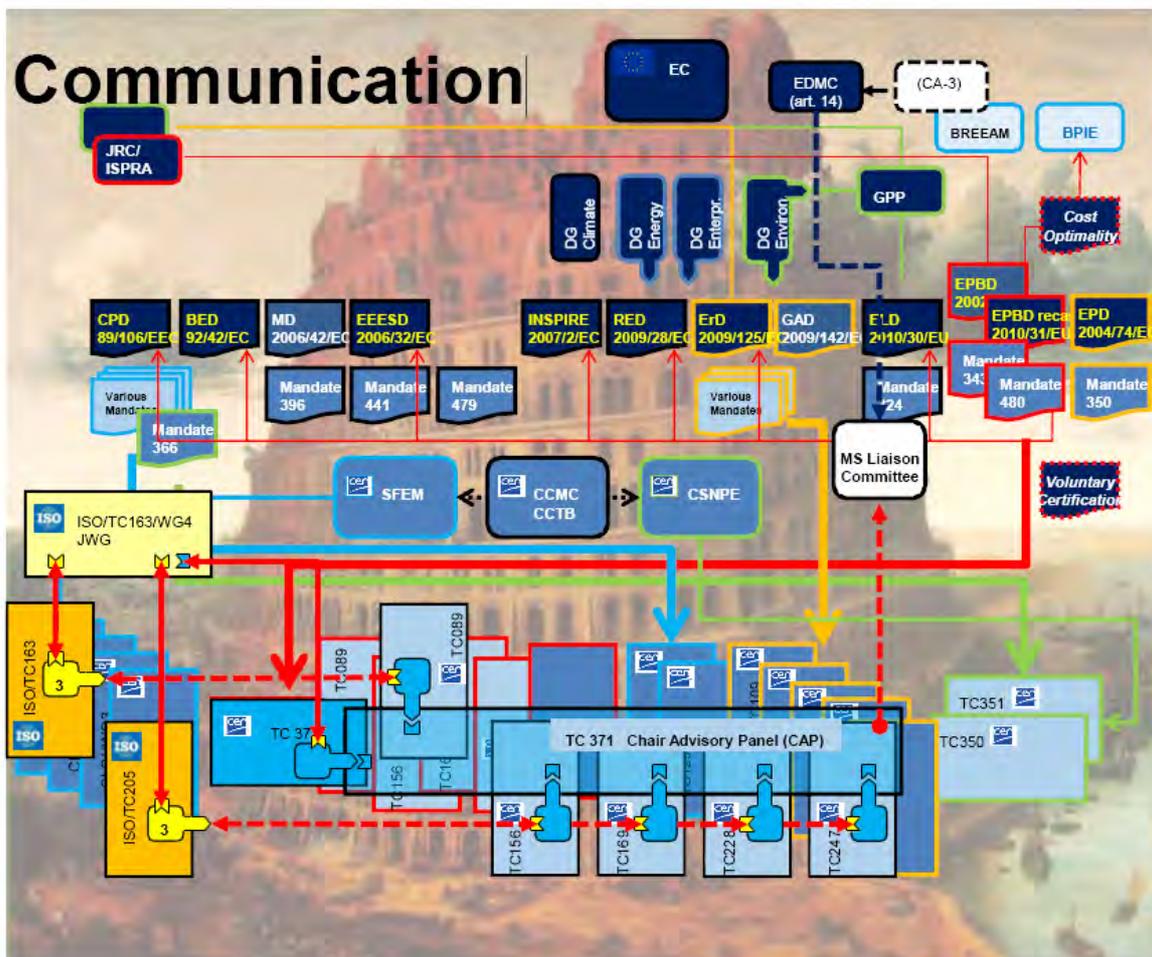


Abbildung 4: Betroffene Gremien zur Überarbeitung der europäischen und internationalen technischen Regeln für den Energieausweis (Quelle: <http://www.cen.eu/cen/Sectors/Sectors/Construction/Events/Documents/2.1%20National%20implementation%20of%20EPBD%20-%20Jaap%20Hogeling.pdf> )

Aus derzeitiger Sicht ist mit einer Überarbeitung der europäischen und internationalen Rechenregeln und Ermittlung der Kennzahlen bis 2015 zu rechnen.

## **EN and EN-ISO EPBD Standards arranged by hierarchy**

### **Section 1 – Standards concerned with calculation of overall energy use in buildings (based on results from standards in section 2)**

EN 15217 Energy performance of buildings – Methods for expressing energy performance and for energy certification of buildings

EN 15603 Energy performance of buildings – Overall energy use and definition of energy ratings

EN 15459 Energy performance of buildings – Economic evaluation procedure for energy systems in buildings

### **Section 2 – Standards concerned with calculation of delivered energy (based where relevant on results from standards in section 3)**

EN 15316-1 Heating systems in buildings – Method for calculation of system energy requirements and system efficiencies – Part 1: General

EN 15316-2-1 Heating systems in buildings – Method for calculation of system energy requirements and

system efficiencies – Part 2-1: Space heating emission systems

EN 15316-4 Heating systems in buildings – Method for calculation of system energy requirements and system efficiencies:

Part 4-1: Space heating generation systems, combustion systems, boilers

Part 4-2: Space heating generation systems, heat pump systems

Part 4-3: Heat generation systems, thermal solar systems

Part 4-4: Heat generation systems, building-integrated cogeneration systems

Part 4-5: Space heating generation systems, the performance and quality of district heating and large volume systems

Part 4-6: Heat generation systems, photovoltaic systems

Part 4-7: Space heating generation systems, biomass combustion systems

EN 15316-2-3 Heating systems in buildings – Method for calculation of system energy requirements and system efficiencies – Part 2-3: Space heating distribution systems

EN 15316-3 Heating systems in buildings – Method for calculation of system energy requirements and system efficiencies –

Part 3-1: Domestic hot water systems, characterisation of needs (tapping requirements)

Part 3-2: Domestic hot water systems, distribution

Part 3-3: Domestic hot water systems, generation

EN 15243 Ventilation for buildings - Calculation of room temperatures and of load and energy for buildings with room conditioning systems

EN 15377 Heating systems in buildings – Design of embedded water based surface heating and cooling systems

Part 1: Determination of the design heating and cooling capacity

Part 2: Design, dimensioning and installation

Part 3: Optimizing for use of renewable energy sources

EN 15241 Ventilation for buildings – Calculation methods for energy losses due to ventilation and infiltration in commercial buildings

EN 15232 Energy performance of buildings – Impact of building automation, controls and building management

EN 15193 Energy performance of buildings – Energy requirements for lighting

### **Section 3 – Standards concerned with calculation of energy need for heating and cooling**

EN ISO 13790 Thermal performance of buildings – Calculation of energy use for space heating (ISO 13790:2008)

EN 15255 Energy performance of buildings – Sensible room cooling load calculation – General criteria and validation procedures

EN 15265 Energy performance of buildings – Calculation of energy needs for space heating and cooling using dynamic methods – General criteria and validation procedures

### **Section 4A – Standards to support the above – Thermal performance of building components**

EN ISO 13789 Thermal performance of buildings – Transmission and ventilation heat transfer

coefficients – Calculation method (ISO/DIS 13789:2007)  
EN ISO 13786 Thermal performance of building components – Dynamic thermal characteristics – Calculation methods (ISO 13786:2007)  
EN ISO 6946 Building components and building elements – Thermal resistance and thermal transmittance – Calculation method (ISO 6946:2007)  
EN ISO 13370 Thermal performance of buildings – Heat transfer via the ground – Calculation methods (ISO 13370:2007)  
EN 13947 Thermal performance of curtain walling – Calculation of thermal transmittance  
EN ISO 10077-1 Thermal performance of windows, doors and shutters – Calculation of thermal transmittance – Part 1: General (ISO 10077-1:2006)  
EN ISO 10077-2 Thermal performance of windows, doors and shutters – Calculation of thermal transmittance – Part 2: Numerical method for frames (ISO 10077-2:2003)  
EN ISO 10211 Thermal bridges in building construction – Heat flows and surface temperatures – Detailed calculations (ISO/DIS 10211:2007)  
EN ISO 14683 Thermal bridges in building construction – Linear thermal transmittance – Simplified methods and default values (ISO 14683:2007)  
EN ISO 10456 Building materials and products – Hygrothermal properties – Tabulated design values and procedures for determining declared and design thermal values (ISO/DIS 2007)

#### **Section 4B – Standards to support the above – Ventilation and air infiltration**

EN 13465 Ventilation for buildings – Calculation methods for the determination of air flow rates in dwellings  
EN 15242 Ventilation for buildings – Calculation methods for the determination of air flow rates in buildings including infiltration  
EN 13779 Ventilation for non-residential buildings – Performance requirements for ventilation and room-conditioning systems

#### **Section 4C – Standards to support the above – Overheating and solar protection**

EN ISO 13791 Thermal performance of buildings – Calculation of internal temperatures of a room in summer without mechanical cooling – General criteria and validation procedures (ISO 13791:2004)  
EN ISO 13792 Thermal performance of buildings – Calculation of internal temperatures of a room in summer without mechanical cooling – Simplified methods (ISO 13792:2005)  
EN 13363-1+A1 Solar protection devices combined with glazing – Calculation of solar and light transmittance – Part 1: Simplified method  
EN 13363-2 Solar protection devices combined with glazing – Calculation of total solar energy transmittance and light transmittance – Part 2: Detailed calculation method

#### **Section 4D – Standards to support the above – Indoor conditions and external climate**

CR 1752 Ventilation for buildings - Design criteria for the indoor environment  
EN 15251 Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics  
EN ISO 15927-1 Hygrothermal performance of buildings – Calculation and presentation of climatic data –  
Part 1: Monthly means of single meteorological elements (ISO 15927-1:2003)  
EN ISO 15927-2 Hygrothermal performance of buildings – Calculation and presentation of climatic data –  
Part 2: Hourly data for design cooling load (ISO/DIS 15927-2:2007)  
EN ISO 15927-3 Hygrothermal performance of buildings – Calculation and presentation of climatic data –  
Part 3: Calculation of a driving rain index for vertical surfaces from hourly wind and rain data (ISO/DIS 15927-3:2006)  
EN ISO 15927-4 Hygrothermal performance of buildings – Calculation and presentation of climatic data –  
Part 4: Hourly data for assessing the annual energy use for heating and cooling (2005)  
EN ISO 15927-5 Hygrothermal performance of buildings – Calculation and presentation of climatic data –  
Part 5: Data for design heat load for space heating (ISO 15927-5:2004)  
EN ISO 15927-6 Hygrothermal performance of buildings – Calculation and presentation of climatic data –  
Part 6: Accumulated temperature differences (degree days) (ISO 15927-6:2007)

#### **Section 4E – Standards to support the above – Definitions and terminology**

EN ISO 7345 Thermal insulation Physical quantities and definitions (ISO 7345:1987)

EN ISO 9288 Thermal insulation Heat transfer by radiation , Physical quantities and definitions (1989)

EN ISO 9251 Thermal insulation Heat transfer conditions and properties of materials Vocabulary(1987)

EN 12792 Ventilation for buildings – Symbols, terminology and graphical symbols

#### **Section 5 – Standards concerned with monitoring and verification of energy performance**

EN 12599 Ventilation for buildings – Test procedures and measuring methods for handing over installed ventilation and air conditioning systems

EN 13829 Thermal performance of buildings – Determination of air permeability of buildings – Fan pressurization method (ISO 9972:1996, modified)

EN ISO 12569 Thermal insulation in buildings – Determination of air change in buildings – Tracer gas dilution method (ISO 12569:2000)

EN 13187 Thermal performance of buildings – Qualitative detection of thermal irregularities in building envelopes – Infrared method (ISO 6781:1983 modified)

EN 15378 Heating systems in buildings – Inspection of boilers and heating systems

EN 15239 Ventilation for buildings – Energy performance of buildings – Guidelines for inspection of ventilation systems

EN 15240 Ventilation for buildings – Energy performance of buildings – Guidelines for inspection of air-conditioning systems

### **3.3 Entwicklung Deutschland und Passivhaus Institut**

Eine nachhaltige Energieversorgung wird den vorhandenen Energiebedarf vollständig aus erneuerbaren Energien decken müssen, denn aus hinreichend bekannten Gründen sind weder fossile Energieträger noch Atomenergie geeignet, dauerhaft in bedeutendem Umfang zur Energieversorgung beizutragen, ohne erhebliche negative Auswirkungen zu verursachen.

Um das Ziel einer Versorgung aus erneuerbaren Energien zu erreichen, bieten sich – bei gleicher bzw. wachsender Inanspruchnahme von Energiedienstleistungen – zwei grundsätzliche Ansätze: der Ausbau der erneuerbaren Energien einerseits und die Verbesserung der Energieeffizienz andererseits. Beide Möglichkeiten gilt es in Zukunft so weit wie möglich auszuschöpfen.

In Bezug auf Gebäude wird in der öffentlichen Diskussion verstärkt der Bau von Null- oder Plusenergiehäusern gefordert. Das mag vor dem Hintergrund der technischen und wirtschaftlichen Machbarkeit solcher Gebäude nur folgerichtig erscheinen: Auf dem Dach eines Einfamilienhauses in Passivhausbauweise kann im Jahresverlauf mittels netzgekoppelter Fotovoltaik ohne weiteres so viel Primärenergie erzeugt werden, wie das Gebäude in dieser Zeit verbraucht; dank kostendeckender Preise für die Einspeisung oder den Eigenverbrauch von Solarstrom und der ökonomischen Tragfähigkeit des Passivhauskonzepts selbst ist das auch in wirtschaftlicher Hinsicht realisierbar.

In dieser Weise bilanziert auch die aktuelle Fassung der deutschen Energieeinsparverordnung (EnEV): Unter bestimmten Voraussetzungen darf in der Energiebilanzierung der EnEV 2009 der in unmittelbarem Zusammenhang mit dem Gebäude erzeugte Strom aus erneuerbaren Energien vom berechneten Energiebedarf abgezogen werden.

Das Problem liegt nun darin, dass die selbst erzeugte Energie den Verbrauch eben nur in der Jahresbilanz deckt: Ein hoher solarer Energieertrag im Sommer gleicht bilanziell einen hohen Wärmebedarf im Winter aus. Wie der Transfer dieser Energie vom Sommer in den Winter erfolgen soll, bleibt offen. Dies ist die eine der typischen Schwächen bei vielen der derzeit diskutierten Nullenergiekonzepte. Die zweite besteht in räumlich relativ eng gezogenen Bilanzgrenzen, etwa auf Grundstücks- oder Siedlungsebene.

Beides erweist sich nämlich bei näherer Betrachtung als nicht zielführend. Verlangt man eine ausgeglichene Energiebilanz bezüglich der Grundstücksgrenze, so sind eigentlich wünschenswerte flächen- und verkehrssparende Bebauungen mit hoher Geschosshöhe und baulicher Dichte aufgrund ihrer – bezogen auf die Wohnfläche – geringen Dachfläche nicht mehr realisierbar. Der Versuch möglichst in jedem Fall eine ausgeglichene Jahresbilanz zu erreichen, kann in manchen Fällen zu Fehloptimierungen führen, bei denen durch nicht kompakte Bauweise ein hoher Energiebedarf im Winter erzeugt wird, nur um eine große Dachfläche für solare Erträge zur Energieproduktion im Sommer zu erhalten. Gleichzeitig besteht für eine Bilanzierung auf Grundstücks- oder Siedlungsebene keine Notwendigkeit, denn der Transport elektrischer Energie über mittlere Entfernungen ist mit den bestehenden Netzen vergleichsweise einfach.

Problematisch ist dagegen die Speicherung erneuerbarer Energie, insbesondere dann, wenn sie saisonal erfolgen muss. Im letzteren Fall wird der Speicher nur einmal im Jahr be- bzw. entladen, entsprechend hoch wird die Kilowattstunde gespeicherter Energie durch die umzulegenden Investitionskosten belastet. Daher sollten Erzeugung und Verbrauch von Energie möglichst synchron erfolgen; geht es um Raumwärme oder Warmwasser, ist eine Speicherung über einige Tage problemlos möglich. Geht man realistischerweise davon aus, dass ein Großteil der in Zukunft nachhaltig erzeugten erneuerbaren Energie aus Fotovoltaik stammt, so ist vor allem eine Begrenzung des Heizwärmeverbrauchs von Gebäuden erforderlich, um das „Winterloch“ zu minimieren. Abbildung 5 illustriert diesen Zusammenhang.

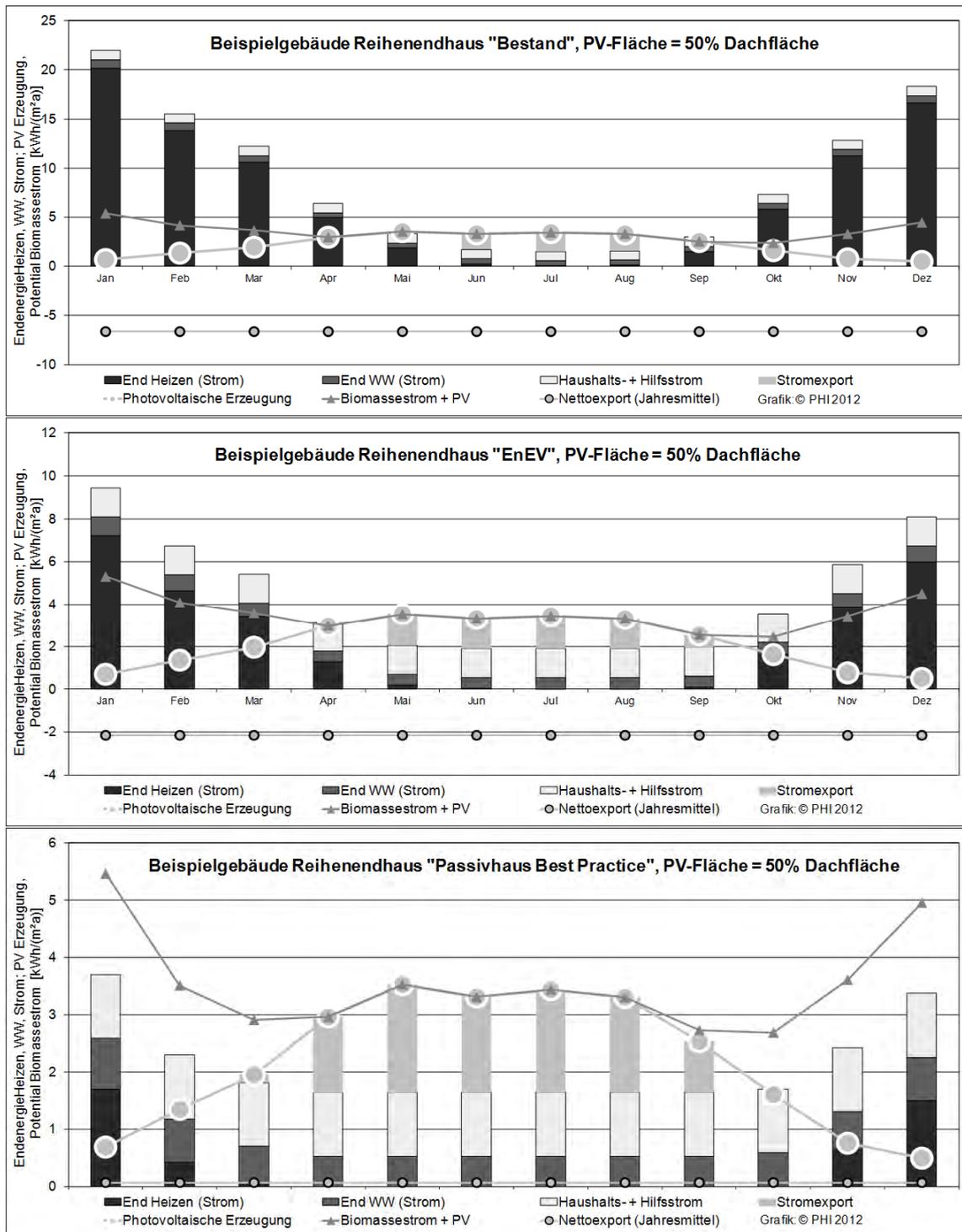


Abbildung 5: Monatlicher Endenergiebedarf, solarelektrische Energieproduktion, Biomassepotential und Stromexport eines Reihenendhauses in verschiedenen Energie-standards. Die Varianten unterscheiden sich nur bezüglich der Komponenten der Hülle inklusive der Lüftung, die Gebäudetechnik und der Haushaltsstrombedarf sind in allen Fällen identisch. Heizen und Warmwasserbereitung via Wärmepumpe. Aus [Feist 2012].

Zu berücksichtigen ist auch die begrenzte Verfügbarkeit erneuerbarer Energien, insbesondere auf regionaler Ebene. Dachflächen, auf denen Fotovoltaik installiert werden kann, sind naturgemäß nicht beliebig vorhanden. Sobald jedoch Solarenergie auf Agrarflächen erzeugt werden soll, tritt sie in Konkurrenz mit der Nahrungsmittelerzeugung. In noch stärkerem Maße ist dies beim gezielten Anbau von Pflanzen zur energetischen Nutzung der Fall. Auch für Windenergie nutzbare Flächen sind nicht in beliebigem Maße verfügbar. Anzustreben ist

dagegen die Nutzung von Rest- und Abfallstoffen, eine geringfügige Unterdeckung des Bedarfs durch die übrigen Energieträger ist daher in den Wintermonaten akzeptabel.

Eine schlichte Summierung der im Jahresverlauf auf einem Grundstück erzeugten und verbrauchten Energiemengen liefert somit keinen brauchbaren Indikator dafür, ob ein Gebäude sich in ein Nachhaltigkeitskonzept sinnvoll einfügt.

Die Zielsetzung für nachhaltige Gebäude muss vielmehr etwa folgendermaßen lauten: Das Passivhaus-Niveau als ökonomisch tragfähiger und technisch erprobter Standard ist in jedem Falle nachzuweisen. Dadurch wird gewährleistet, dass im Durchschnitt über eine größere Region Erzeugung und Verbrauch hinreichend gut übereinstimmen. Hinzu kommen muss eine möglichst umfassende Nutzung des Fotovoltaik-Potenzials auf dem Dach jedes Gebäudes, was allerdings eine hierfür geeignete Lage und Orientierung voraussetzt.

Auf europäischer Ebene sind diese Zusammenhänge zumindest teilweise bereits in die Gesetzgebung eingeflossen. Die europäische Richtlinie über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden verlangt, dass ab 2021 nur noch „Niedrigstenergiegebäude“ erstellt werden, also solche, die nur noch einen sehr geringen Restenergiebedarf besitzen. Wenn es auch bisher an einer klaren Definition dieser Anforderung mangelt, darf doch angenommen werden, dass damit im Kern Passivhäuser gemeint sind. Der geringe Restenergiebedarf soll dann möglichst weitgehend aus erneuerbaren Quellen gedeckt werden. Die Mitgliedsstaaten sind gehalten, entsprechende Maßnahmen zu ergreifen.

In Deutschland ist, dieser Zielsetzung zum Trotz, für die kommende EnEV 2013 nur eine moderate Verschärfung des Anforderungsniveaus geplant, 2015 und 2017 sollen weitere geringfügige Absenkungen des zulässigen Primärenergiebedarfs folgen. Ähnliches gilt vom Grundsatz her auch für den zulässigen Transmissionswärmeverlust  $H'T$ , der sich, wenn auch nur ungenügend, auf die Effizienz der thermischen Hülle bezieht. Wie in Deutschland die weiteren Schritte hin zum Niedrigstenergiegebäude aussehen werden, ist derzeit noch völlig unklar.

## **4 Konversion Endenergie auf Primärenergie/Treibhausgasemissionen**

### **Mittelwerte 2004-2007**

Die Konversionsfaktoren dienen dazu die Energieströme an der Bilanzgrenze Et auf den Primärenergiebedarf umzurechnen. Dazu muss die gesamte Energiekette zwischen Primärenergiegewinnung und Energienutzung erfasst werden. Dabei treten Allokationsprobleme auf, da z.B. bei KWK-Anlagen die verwendete Energiemenge in Form von Gas oder Biomasse in Form von Wärme oder Strom abgegeben wird und damit eine Entscheidung getroffen werden muss, wie viel Treibhausgasemissionen der Wärme oder dem Strom zugeschrieben werden. Im Anhang ist eine Analyse der in der Literatur vorhandenen Allokationsmethoden im Bericht des Umweltbundesamtes „Untersuchung von Allokationsmethoden für KWK-Anlagen“ enthalten.

Im Rahmen des Projektes wurden die Konversions- und Primärenergiefaktoren für die Jahre 2004 bis 2007 für Österreich ermittelt. Dabei wurde die finnische Methode für KWK-Anlagen verwendet.

Zur Festlegung der strategischen Konversionsfaktoren wurden folgende Grundsätze in der OIB-Richtlinie 6 [OIB11] zugrunde gelegt:

- 1) Primär wollte man, wenn möglich, Konversionsfaktoren aus Europäischen Normen verwenden.
  - a) Die Quelle dafür stellt die ÖNORM EN 15603:2008 [ONO08a] dar.
  - b) Die Daten in dieser Norm stammen aus dem Jahr 1996 (Quelle: Ökoinventare für Energiesysteme - ETH Zürich, 1996).
  - c) Infolge des Alters der Daten wurde versucht, diese aus grundsätzlich derselben, allerdings aktuelleren Quelle (ecoinvent, Version 2.1, 2009) zu entnehmen.
- 2) Für die Energieträger Kohle, Heizöl, Erdgas und Biomasse wurden alle zur Verfügung stehenden Daten aus der Datenbank entnommen und danach arithmetisch gemittelt.
- 3) Für Strom wird ein gewichteter Mix aus dem österreichischen Produktionsmix und einem gewichteten Importmix herangezogen. Für Stromgutschriften im Rahmen von KWK wird der gewichtete Import-Mix verwendet.
- 4) Die Berechnung der Konversionsfaktoren für Fernwärmesysteme erfolgt gemäß ÖNORM EN 15316-4-5 [ONO07e], wobei zwischen folgenden Wärmenetzen unterschieden wird:

Heizwerk erneuerbar, Heizwerk konventionell, Fernwärmenetz klein, Fernwärmenetz groß.

- a) Die Definition für Heizwerk erneuerbar lautet: Fernwärme mit einem Anteil erneuerbarer Energie von zumindest 90% (dabei werden für die Wärmegegewinnung die Konversionsfaktoren für Biomasse eingesetzt, ein Jahresnutzungsgrad von 85% in Rechnung gestellt und Netzverluste in der Höhe von 20% angenommen.).
- b) Die Definition für Heizwerk konventionell lautet: Fernwärme aus konventioneller Energie (dabei werden für die Wärmegegewinnung die Konversionsfaktoren aus einer gewichteten Mittelung der Daten der Statistik Austria „Energiebilanzen Fernwärme“ aus den Jahren 2004 bis 2008 abzüglich der unter a. in Rechnung gestellten Energiemengen eingesetzt, ein Jahresnutzungsgrad von 85% in Rechnung gestellt und Netzverluste in der Höhe von 10% angenommen.).
- c) Für Fernwärmenetz klein (thermische Leistung kleiner 300 MW und KWK) wurde für die Wärmegegewinnung eine hocheffiziente KWK gemäß EU-Richtlinie 2004/8/EG angenommen, wobei den Verbrennungsprozessen die Konversionsfaktoren aus einer gewichteten Mittelung der Daten der Statistik Austria „Energiebilanzen Fernwärme“ aus den Jahren 2004 bis 2008 abzüglich der unter der in Rechnung gestellten Energiemengen unterstellt wurden, ein Jahresgesamtnutzungsgrad von 80% in Rechnung gestellt wurde, eine Stromgutschrift von 20% angenommen wurde, eine zusätzliche Abwärmenutzung [aus sonstigen Prozessen] in der Höhe von 10% angenommen wurde und Netzverluste in der Höhe von 10% angenommen wurden.
- d) Für Fernwärmenetz groß (thermische Leistung größer oder gleich 300 MW und KWK) wurde für die Wärmegegewinnung eine hocheffiziente KWK gemäß EU-Richtlinie 2004/8/EG angenommen, wobei dem Verbrennungsprozess die Konversionsfaktoren für Gas und ein 10%iger Biomasseanteil unterstellt wurden, ein Jahresgesamtnutzungsgrad von 90% in Rechnung gestellt wurde, eine Stromgutschrift von 30% angenommen wurde, eine zusätzliche Abwärmenutzung [aus sonstigen Prozessen] in der Höhe von 10% angenommen wurde und Netzverluste in der Höhe von 10% angenommen wurden (siehe e.).
- e) Aufgrund der Tatsache, dass es für den Fall d. nur sehr wenige Netze in Österreich überhaupt gibt, wurde festgelegt, dass ein besserer Konversionsfaktor für die Primärenergie als nach d. berechnet, nicht zur Anwendung kommen darf. Grundsätzlich

sind aber für Fernwärmenetze mit Fernwärme aus KWK die Werte nach c. anzunehmen oder nach EN 15316-4-5 [ONO07e] als Einzelnachweis zu führen.

## 4.1 Kohle

Aus ecoinvent, Version 2.1, 2009 wurden folgende Werte entnommen:

Tabelle 2: Konversionsfaktoren Kohle aus ecoinvent, Version 2.1, 2009 [ECO09]

Energieträger	$f_{PE}$	$f_{PE,n.ern.}$	$f_{PE,ern.}$	$f_{CO_2}$	$f_{CO_2,äqu.}$
	[kWh/kWh]	[kWh/kWh]	[kWh/kWh]	[g/kWh]	[g/kWh]
Anthrazit in Einzelofen 5-15 kW	1,193	1,192	0,001	299	338
Steinkohle in Industrieheizung 1-10 MW	1,386	1,382	0,004	349	376
Steinkohle Brikett in Einzelofen 5-15 kW	1,371	1,369	0,002	320	371
Steinkohlekoks in Einzelofen 5-15 kW	1,896	1,893	0,004	379	416
<b>Mittelwert</b>	<b>1,462</b>	<b>1,459</b>	<b>0,003</b>	<b>337</b>	<b>375</b>

Damit wurde für die OIB-Richtlinie 6 folgender Wertesatz festgelegt:

Tabelle 3: Konversionsfaktoren Kohle OIB RL 6 [OIB11]

Energieträger	$f_{PE}$	$f_{PE,n.ern.}$	$f_{PE,ern.}$	$f_{CO_2}$	$f_{CO_2,äqu.}$
	[kWh/kWh]	[kWh/kWh]	[kWh/kWh]	[g/kWh]	[g/kWh]
Kohle	1,46	1,46	0,00	337	375

## 4.2 Heizöl

Aus ecoinvent, Version 2.1, 2009 wurden folgende Werte entnommen:

Tabelle 4: Konversionsfaktoren Heizöl aus ecoinvent, Version 2.1, 2009 [ECO09]

Energieträger	fPE	fPE,n.ern.	fPE,ern.	fCO2	fCO2,äqu.
	[kWh/kWh]	[kWh/kWh]	[kWh/kWh]	[g/kWh]	[g/kWh]
Heizöl EL in Heizkessel 100 kW BW n.mod.	1,218	1,214	0,005	310	318
Heizöl EL in Heizkessel 100 kW n.mod.	1,218	1,213	0,005	310	318
Heizöl EL in Heizkessel 10 kW BW n.mod.	1,244	1,236	0,008	312	320
Heizöl EL in Heizkessel 10 kW n.mod.	1,244	1,236	0,008	312	320
Mittelwert	1,231	1,225	0,006	311	319

Damit wurde für die OIB-Richtlinie 6 folgender Wertesatz festgelegt:

Tabelle 5: Konversionsfaktoren Heizöl OIB RL 6 [OIB11]

Energieträger	fPE	fPE,n.ern.	fPE,ern.	fCO2	fCO2,äqu.
	[kWh/kWh]	[kWh/kWh]	[kWh/kWh]	[g/kWh]	[g/kWh]
Heizöl	1,23	1,23	0,00	311	319

## 4.3 Erdgas

Aus ecoinvent, Version 2.1, 2009 wurden folgende Werte entnommen:

Tabelle 6: Konversionsfaktoren Erdgas aus ecoinvent, Version 2.1, 2009 [ECO09]

Energieträger	$f_{PE}$	$f_{PE,n.ern.}$	$f_{PE,ern.}$	$f_{CO2}$	$f_{CO2,äqu.}$
	[kWh/kWh]	[kWh/kWh]	[kWh/kWh]	[g/kWh]	[g/kWh]
Erdgas in Heizkessel atm.Brenner n.mod <100 kW	1,149	1,146	0,003	233	261
Erdgas in Heizkessel lowNOx kond. n.mod. <100 kW	1,198	1,194	0,005	241	269
Erdgas in Heizkessel lowNOx n.mod. <100 kW	1,198	1,194	0,005	241	269
Erdgas in Heizkessel Gebläsebrenner lowNOx n.mod. <100 kW	1,236	1,230	0,006	246	275
Erdgas in Heizkessel Gebläsebrenner n.mod. <100 kW	1,160	1,157	0,003	235	263
Erdgas in Heizkessel kond. mod. <100 kW	1,160	1,157	0,003	235	263
Erdgas in Heizkessel kond. mod. >100 kW	1,115	1,113	0,002	231	246
Erdgas in Heizkessel mod. <100 kW	1,160	1,157	0,003	235	263
Erdgas in Heizkessel mod. >100 kW	1,115	1,113	0,002	231	246
Mittelwert	1,166	1,162	0,003	236	262

Damit wurde für die OIB-Richtlinie 6 folgender Wertesatz festgelegt:

Tabelle 7: Konversionsfaktoren Erdgas OIB RL 6 [OIB11]

Energieträger	$f_{PE}$	$f_{PE,n.ern.}$	$f_{PE,ern.}$	$f_{CO2}$	$f_{CO2,äqu.}$
	[kWh/kWh]	[kWh/kWh]	[kWh/kWh]	[g/kWh]	[g/kWh]
Erdgas	1,17	1,17	0,00	236	262

## 4.4 Biomasse

### 4.4.1 Scheitholz

Aus ecoinvent, Version 2.1, 2009 wurden folgende Werte entnommen:

Tabelle 8: Konversionsfaktoren Biomasse Scheitholz aus ecoinvent, Version 2.1, 2009 [ECO09]

Energieträger	$f_{PE}$	$f_{PE,n.ern.}$	$f_{PE,ern.}$	$f_{CO_2}$	$f_{CO_2,äqu.}$
	[kWh/kWh]	[kWh/kWh]	[kWh/kWh]	[g/kWh]	[g/kWh]
Stückholz Holzmix in Einzelofen 6 kW	1,043	0,030	1,012	-8	2
Stückholz Holzmix in Feuerung 100 kW	1,071	0,054	1,016	4	10
Stückholz Holzmix in Feuerung 30 kW	1,071	0,055	1,016	4	10
Scheitholz	1,061	0,046	1,015	0,237	7,249

### 4.4.2 Hackschnitzel

Aus ecoinvent, Version 2.1, 2009 wurden folgende Werte entnommen:

Tabelle 9: Konversionsfaktoren Biomasse Hackschnitzel aus ecoinvent, Version 2.1, 2009 [ECO09]

	$f_{PE}$	$f_{PE,n.ern.}$	$f_{PE,ern.}$	$f_{CO_2}$	$f_{CO_2,äqu.}$
	[kWh/kWh]	[kWh/kWh]	[kWh/kWh]	[g/kWh]	[g/kWh]
Holzchnitzel aus Industrie Holzmix in Feuerung 1000 kW	1,089	0,062	1,027	6	9
Holzchnitzel aus Industrie Holzmix in Feuerung 300 kW	1,087	0,060	1,027	5	9
Holzchnitzel aus Industrie Holzmix in Feuerung 50 kW	1,087	0,060	1,027	5	9
Holzchnitzel aus Wald Holzmix in Feuerung 1000 kW	1,158	0,075	1,083	7	10
Holzchnitzel aus Wald Holzmix in Feuerung 300 kW	1,154	0,071	1,083	6	10
Holzchnitzel aus Wald Holzmix in Feuerung 50 kW	1,155	0,071	1,083	6	10
Hackschnitzel	1,122	0,066	1,055	6,125	9,471

#### 4.4.3 Pellets

Aus ecoinvent, Version 2.1, 2009 wurden folgende Werte entnommen:

Tabelle 10: Konversionsfaktoren Biomasse Pellets aus ecoinvent, Version 2.1, 2009 [ECO09]

Energieträger	$f_{PE}$	$f_{PE,n.ern.}$	$f_{PE,ern.}$	$f_{CO_2}$	$f_{CO_2,äqu.}$
	[kWh/kWh]	[kWh/kWh]	[kWh/kWh]	[g/kWh]	[g/kWh]
Pellets Holzmix in Feuerung 15 kW	1,256	0,234	1,022	35	40
Pellets Holzmix in Feuerung 50 kW	1,255	0,234	1,022	35	39
Pellets	1,255	0,234	1,022	34,711	39,661

Zur Ermittlung eines gemeinsamen Wertesatzes für Biomasse wurde für Scheitholz 5/6 angenommen, für Hackschnitzel 1/12 und für Pellets 1/12 angenommen.

Tabelle 11: Konversionsfaktoren Biomasse Mittelwert aus ecoinvent, Version 2.1, 2009 [ECO09]

Energieträger	$f_{PE}$	$f_{PE,n.ern.}$	$f_{PE,ern.}$	$f_{CO_2}$	$f_{CO_2,äqu.}$
	[kWh/kWh]	[kWh/kWh]	[kWh/kWh]	[g/kWh]	[g/kWh]
Scheitholz	1,061	0,046	1,015	0,237	7,249
Hackschnitzel	1,122	0,066	1,055	6,125	9,471
Pellets	1,255	0,234	1,022	34,711	39,661
Mittelwert	1,083	0,064	1,019	3,601	10,135

Damit wurde für die OIB-Richtlinie 6 folgender Wertesatz festgelegt:

Tabelle 12: Konversionsfaktoren Biomasse OIB RL 6 [OIB11]

Energieträger	$f_{PE}$	$f_{PE,n.ern.}$	$f_{PE,ern.}$	$f_{CO_2}$	$f_{CO_2,äqu.}$
	[kWh/kWh]	[kWh/kWh]	[kWh/kWh]	[g/kWh]	[g/kWh]
Biomasse	1,08	0,06	1,02	4	10

## 4.5 Strom

Aus ecoinvent, Version 2.1, 2009 wurden folgende Werte entnommen:

Tabelle 13: Konversionsfaktoren Strom aus ecoinvent, Version 2.1, 2009 [ECO09]

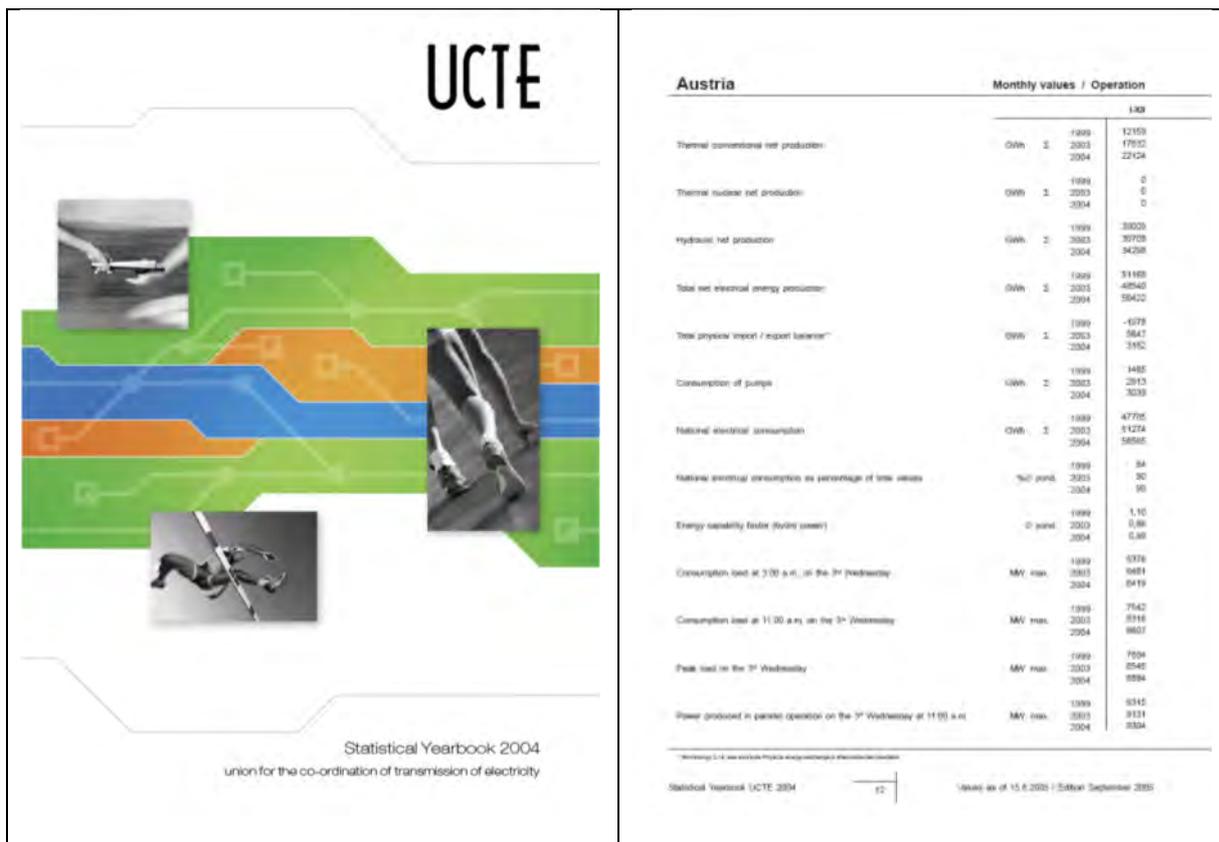
Energieträger	$f_{PE}$	$f_{PE,n.ern.}$	$f_{PE,ern.}$	$f_{CO_2}$	$f_{CO_2,äqu.}$
	[kWh/kWh]	[kWh/kWh]	[kWh/kWh]	[g/kWh]	[g/kWh]
AT: Strommix, Produktion AT (Erzeugungsmix)	2,013	1,367	0,646	277	309
CH: Strommix (Versorgungsmix)	2,630	2,251	0,379	105	112
CZ: Strommix (Versorgungsmix)	3,618	3,586	0,031	770	794
DE: Strommix (Versorgungsmix)	3,463	3,407	0,056	602	640
HU: Strommix (Versorgungsmix)	3,789	3,738	0,051	581	620
IT: Strommix (Versorgungsmix)	2,675	2,473	0,202	541	566
SI: Strommix (Versorgungsmix)	2,615	2,185	0,430	409	425
<b>Mittelwert</b>	<b>2,510</b>	<b>2,061</b>	<b>0,449</b>	<b>400</b>	<b>431</b>
	3,486	3,424	0,062	640	673

Damit ergeben sich unter Berücksichtigung von Netzverlusten für den Österreich-Mix bzw. für den Import-Mix folgende Wertesätze:

Tabelle 14: Konversionsfaktoren Strom Österreich-Mix [OIB11], Import-Mix

Energieträger	$f_{PE}$	$f_{PE,n.ern.}$	$f_{PE,ern.}$	$f_{CO_2}$	$f_{CO_2,äqu.}$
	[kWh/kWh]	[kWh/kWh]	[kWh/kWh]	[g/kWh]	[g/kWh]
Österreich-Mix	2,62	2,15	0,47	417	449
Import-Mix	<b>3,49</b>	<b>3,42</b>	<b>0,06</b>	640	673

Auf den folgenden drei Seiten sind Auszüge aus den statistischen Jahrbüchern der UCTE der Jahre 2004, 2006 und 2008 als Faksimile wiedergegeben, um die Nachvollziehbarkeit der Importmengen bzw. Produktionsmengen in den folgenden Tabellen zu gewährleisten.



Austria		Monthly values / Operation	
		kWh	
Thermal conventional net production	1999	12159	
	2003	17932	
	2004	22124	
Thermal nuclear net production	1999	0	
	2003	0	
	2004	0	
Hydroval net production	1999	30020	
	2003	35708	
	2004	34258	
Total net electrical energy production	1999	51180	
	2003	48540	
	2004	58420	
Net power import / export balance**	1999	-6728	
	2003	5647	
	2004	3152	
Consumption of pumps	1999	1485	
	2003	2813	
	2004	3239	
National electrical consumption	1999	47735	
	2003	51274	
	2004	58565	
National electrical consumption as percentage of total sales	1999	94	
	2003	90	
	2004	90	
Energy capacity factor (hydropower)	1999	1,10	
	2003	0,86	
	2004	0,83	
Consumption load at 3:00 a.m. on the 3 <sup>rd</sup> Wednesday	1999	5378	
	2003	6651	
	2004	6419	
Consumption load at 11:00 a.m. on the 3 <sup>rd</sup> Wednesday	1999	7542	
	2003	8316	
	2004	8657	
Peak load on the 3 <sup>rd</sup> Wednesday	1999	7594	
	2003	8540	
	2004	8884	
Power produced in parallel operation on the 3 <sup>rd</sup> Wednesday at 11:00 a.m.	1999	5345	
	2003	6321	
	2004	6384	

Statistical Yearbook UCTE 2004 12 Values as of 15.8.2005 / Edition September 2005

Physical exchanges in interconnected operation <sup>1</sup>														Austria   GWh				
Year	Export (E)												Import (I)		Balance			
	AT-DE	AT-IT	AT-GR	AT-ES	AT-PT	AT-UK	AT-PL	AT-CZ	AT-SK	AT-HU	AT-RO	AT-BG	AT-TR	AT-SE		AT-NO	AT-FI	AT-UK
1999	400	1	289	0	133	311	1134	0	1	339	631	224	0	0	1195	0	61	0
2000	278	3	299	0	117	279	976	0	6	296	551	211	0	0	1094	0	88	0
2001	324	7	343	9	132	297	1082	0	2	281	669	160	0	0	1121	0	39	0
2002	370	11	295	7	135	351	1139	0	8	340	662	168	0	0	1078	0	-61	0
2003	200	17	580	13	141	382	1333	0	28	216	300	52	0	0	596	0	-737	0
2004	185	18	672	20	163	303	1361	0	16	167	286	77	0	0	545	0	-815	0
1999	200	5	676	7	160	358	1406	0	17	274	211	150	0	1	653	0	-753	0
2000	145	4	549	5	78	215	996	0	66	165	178	223	0	0	632	0	-364	0
2001	203	2	518	2	167	313	1206	0	99	357	273	192	0	0	921	0	-285	0
2002	217	0	489	0	158	348	1212	0	69	436	299	218	0	0	1022	0	-190	0
2003	288	0	380	0	155	288	1111	0	38	409	586	202	0	0	1235	0	-124	0
2004	335	0	282	2	148	140	907	0	25	456	694	132	0	4	1481	0	574	0
1999	3145	68	5343	65	1687	3555	13863	0	375	3636	5516	2018	0	5	11544	0	-2319	0
2000	453	1	431	21	190	231	1287	0	6	452	832	79	0	20	1391	0	164	0
2001	330	0	297	27	132	197	983	0	11	391	706	21	0	32	1161	0	178	0
2002	376	1	265	35	141	240	1058	0	27	489	1047	25	0	34	1622	0	564	0
2003	431	0	191	11	145	272	1050	0	6	636	934	81	0	5	1602	0	612	0
2004	220	0	391	23	151	344	1129	0	46	622	496	97	0	0	1231	0	102	0
1999	226	0	383	17	137	392	1155	0	78	692	515	68	0	0	1353	0	198	0
2000	171	0	352	16	138	323	1000	0	90	742	560	67	0	9	1468	0	468	0
2001	287	0	223	21	74	219	824	0	37	694	833	64	0	26	1654	0	830	0
2002	421	0	147	55	157	160	960	0	22	723	980	11	0	28	1764	0	804	0
2003	469	0	237	192	157	299	1354	0	10	738	914	6	0	3	1671	0	317	0
2004	273	0	221	38	136	184	854	0	21	649	870	43	0	31	1614	0	780	0
1999	405	0	195	12	144	185	941	0	15	800	1249	76	0	11	2151	0	1210	0
2000	462	2	333	468	1664	3066	12595	0	371	7628	9906	638	0	199	18742	0	6147	0
2001	446	0	254	23	137	136	965	0	2	691	1296	59	0	13	2031	0	1036	0
2002	537	0	297	29	125	161	1150	0	0	564	1152	38	0	12	1766	0	616	0
2003	518	1	326	22	139	165	1171	0	1	443	1000	50	0	67	1561	0	390	0
2004	499	0	324	64	145	166	1170	0	3	533	757	37	0	13	1343	0	173	0
1999	276	0	401	21	132	158	988	0	37	183	407	188	0	24	839	0	-149	0
2000	315	8	542	102	141	206	1314	0	23	268	296	17	0	5	609	0	-705	0
2001	181	0	674	40	152	210	1257	0	101	482	256	27	0	2	968	0	-389	0
2002	177	0	427	34	112	145	895	0	59	655	328	65	0	18	1125	0	230	0
2003	311	0	333	49	125	224	1042	0	13	588	568	75	0	2	1246	0	284	0
2004	283	0	288	30	136	139	876	0	38	626	730	68	0	14	1476	0	600	0
1999	379	0	292	48	130	174	1029	0	31	541	692	36	0	16	1516	0	-687	0
2000	528	0	307	16	140	116	1107	0	1	704	1240	80	0	48	2073	0	966	0
2004	4419	9	4465	478	1621	2002	12994	0	309	6248	8922	740	0	234	16453	0	3459	0

<sup>1</sup> These physical energy flows were measured on the cross-border transmission lines (2/10 kV). These values may differ from the official statistics and the total physical balance in the table "Monthly values, Operation".

Abbildung 6: Auszug aus dem statistischen Jahrbuch der UCTE 2004





Tabelle 15: Importmengen

	2004	2005	2006	2007	2008
CZ	6248	6114	6139	6908	5335
CH	309	211	82	37	106
I	0	2	3	0	1
DE	8922	15371	14799	16132	14997
HU	740	857	1062	243	721
SI	234	533	1062	579	873
	16453	23088	23147	23899	22033

Damit ergeben sich folgende Importanteile aus den sechs Importländern Tschechien, Schweiz, Italien, Deutschland, Ungarn und Slowenien:

Tabelle 16: Importanteile

CH	CZ	DE	HU	I	SI
0,7%	28,3%	64,6%	3,3%	0,0%	3,0%

Damit ergeben sich folgende Importanteile bezogen auf den Verbrauch:

Tabelle 17: Importanteile bezogen auf Verbrauch

	2004	2005	2006	2007	2008
Import	16453	23088	23147	23899	22033
Verbrauch	56565	63174	66500	67439	68378
	29,1%	36,5%	34,8%	35,4%	32,2%

## 4.6 Fernwärme

### 4.6.1 Primärenergie-Konversionsfaktoren für Fernwärme aus Heizwerken

Zur Berechnung der Primärenergie-Konversionsfaktoren für Fernwärme aus Heizwerken ist gemäß ÖNORM EN 15316-4-5 [ONO07e] Formel (1) heranzuziehen:

$$f_{PE,FW_{HW}} = \frac{E_{PE,zu}}{Q_{ab}} \quad (1)$$

Unterstellt man dabei einen thermischen Gesamtnutzungsgrad des FW-Netzes von  $\bar{\eta}_{th}$  der sowohl den thermischen Nutzungsgrad  $\eta_{th}$  des Heizwerkes als auch den Energieaufwand für Netzverluste  $e_{FW-N}$  in der Form

$$\bar{\eta}_{th} = \frac{\eta_{th}}{e_{FW-N}} \quad (2)$$

berücksichtigt, so ergibt sich für  $f_{PE,FW_{HW}}$

$$f_{PE,FW_{HW}} = \frac{E_{PE,zu}}{Q_{ab}} = \frac{E_{PE,zu}}{\bar{\eta}_{th} \cdot E_{EE,zu}} = \frac{f_{PE,zu} \cdot E_{EE,zu}}{\frac{\eta_{th}}{e_{FW-N}} \cdot E_{EE,zu}} = e_{FW-N} \cdot \frac{f_{PE,zu}}{\eta_{th}} \quad (3)$$

### Primärenergie-Konversionsfaktoren für Fernwärme aus Heizwerken (erneuerbar)

Unterstellt man 85% Jahresnutzungsgrad und 20% Netzverlust, so ergeben sich mit den zugrunde zulegenden 1,136 (0% Kohle, 5% Heizöl, 5% Erdgas und 90% Biomasse):

$$f_{PE,FW_{HW}} = e_{FW-N} \cdot \frac{f_{PE,zu}}{\eta_{th}} = 1,20 \cdot \frac{1,136}{0,85} = 1,604 \quad (4)$$

In Analogie erhält man 51 g/kWh.

### Primärenergie-Konversionsfaktoren für Fernwärme aus Heizwerken (fossil)

Unterstellt man 85 % Jahresnutzungsgrad und 10 % Netzverlust, so ergeben sich mit den zugrunde zulegenden 1,172 (0 % Kohle, 15 % Heizöl, 75 % Erdgas und 10 % Biomasse):

$$f_{PE,FW_{HW}} = e_{FW-N} \cdot \frac{f_{PE,zu}}{\eta_{th}} = 1,10 \cdot \frac{1,172}{0,85} = 1,517 \quad (5)$$

In Analogie erhält man 291 g/kWh.

#### 4.6.2 Primärenergie-Konversionsfaktoren für Fernwärme aus KWK-Anlagen

Zur Berechnung der Primärenergie-Konversionsfaktoren für Fernwärme aus Heizwerken ist gemäß ÖNORM EN 15316-4-5 [ONO07e] Formel (3) heranzuziehen:

$$f_{PE,FW_{KWK}} = \frac{E_{PE,zu} - E_{Strom,KWK} \cdot f_{PE,Strom}}{Q_{ab}} \quad (6)$$

Geht man analog zur Berechnung der Primärenergie-Konversionsfaktoren für Fernwärme aus Heizwerken, so erhält man:

$$f_{PE,FW_{KWK}} = e_{FW-N} \cdot \frac{f_{PE,zu} \cdot E_{EE,zu} - f_{PE,Strom} \cdot \eta_{el} \cdot E_{EE,zu}}{\eta_{th} \cdot E_{EE,zu}} = e_{FW-N} \cdot \frac{f_{PE,zu} - f_{PE,Strom} \cdot \eta_{el}}{\eta_{th}} \quad (7)$$

Wird zusätzlich noch Abwärme aus sonstigen Quellen (Industrie, Müllverbrennung, ...) zugeführt, so erhält man:

$$f_{PE,FW_{KWK}} = e_{FW-N} \cdot \left[ (1 - x_{AW}) \cdot \frac{f_{PE,zu} - f_{PE,Strom} \cdot \eta_{el}}{\eta_{th}} + x_{AW} \cdot f_{PE,AW} \right] \quad (8)$$

### Primärenergie-Konversionsfaktoren für Fernwärme aus KWK-Anlagen (< 300 MW)

Unterstellt man 10 % Abwärmenutzung, 20 % Stromproduktion und 60 % Wärmeproduktion sowie 10 % Netzverluste, so ergeben sich mit den zugrunde zulegenden 1,190 (15 % Kohle, 29 % Heizöl, 11 % Erdgas und 43 % Biomasse):

$$f_{PE,FW_{KWK}} = e_{FW-N} \cdot \left[ (1 - x_{AW}) \cdot \frac{f_{PE,zu} - f_{PE,Strom} \cdot \eta_{el}}{\eta_{th}} + x_{AW} \cdot f_{PE,AW} \right] = 1,1 \cdot \left[ (1 - 0,1) \cdot \frac{1,190 - 3,48 \cdot 0,20}{0,60} + 0,1 \cdot 1,00 \right] = 0,923 \quad (9)$$

In Analogie erhält man 73 g/kWh.

## Primärenergie-Konversionsfaktoren für Fernwärme aus KWK-Anlagen ( $\geq 300$ MW)

Unterstellt man 10 % Abwärmennutzung, 30 % Stromproduktion und 60 % Wärmeproduktion sowie 10 % Netzverluste, so ergeben sich mit den zugrunde zulegenden 1,162 (0 % Kohle, 0 % Heizöl, 90 % Erdgas und 10 % Biomasse):

$$f_{PE,FW_{KWK}} = e_{FW-N} \cdot \left[ (1 - x_{AW}) \cdot \frac{f_{PE,zu} - f_{PE,Strom} \cdot \eta_{el}}{\eta_{th}} + x_{AW} \cdot f_{PE,AW} \right] = 1,1 \cdot \left[ (1 - 0,1) \cdot \frac{1,162 - 3,48 \cdot 0,30}{0,60} + 0,1 \cdot 1,00 \right] = 0,302 \quad (10)$$

In Analogie erhält man 38 g/kWh.

Tabelle 18: Konversionsfaktoren Fernwärme OIB RL 6 [OIB11]

Energieträger	$f_{PE}$	$f_{PE,n.ern.}$	$f_{PE,ern.}$	$f_{CO_2}$	$f_{CO_2,\ddot{a}qu.}$
	[kWh/kWh]	[kWh/kWh]	[kWh/kWh]	[g/kWh]	[g/kWh]
Energiemix FW-HW-ern	1,60	0,28	1,32	51	59
Energiemix FW-HW-fossil	1,52	1,38	0,14	291	318
Energiemix KWK klein	0,92	0,20	0,72	73	83
Energiemix KWK groß	0,30	0,16	0,01	38	39

## 5 Modifikation der Klimaannahmen

Zur Berechnung des Energiebedarfs sind die Standortklimadaten notwendig. Bis jetzt wurden für die Ermittlung der Kenngrößen des Energieausweises ein 7-Zonen-Klimamodell der ZAMG verwendet und in der ÖNORM B 8110-5 [ONO11] normiert.

Seit 2012 gibt es auf der Webseite des Bundesministeriums für Wirtschaft, Familie und Jugend eine abrufbare Klimadatenbank

(<http://www.bmwfj.gv.at/hp/klimadatenbank/Seiten/default.aspx>) für die Erfordernisse der Gebäudeplanung in der Monatsmittelwerte der Außenlufttemperatur, Temperaturen zu bestimmten Unter- bzw. Überschreitungshäufigkeiten und mittlere monatliche Strahlungssummen auf verschieden orientierte Empfangselementen abrufbar sind. Der Berechnung liegen die Klimadaten von dreißig Jahren (1978-2007) zugrunde.

Eine Berechnung des Energiebedarfs für die Luftkonditionierung in Lüftungsanlagen auf stundenweiser Basis mit stundenweisen Klimadaten ist wesentlich genauer. Vorarbeiten zur Ermittlung eines synthetischen Stundendatensatzes für die Lufttemperatur und Luftfeuchte wurden in den Forschungsprojekten „Standortunabhängige Berechnung des Energiebedarfs für Heizen / Befeuchten und Kühlen / Entfeuchten in Ergänzung zur Vornorm ÖNORM H 5057, Ein Forschungsprojekt zwischen TU Graz und MA 39, Stand: 31. Dezember 2009“ und „Ergänzung der Excel-Schulungs-tools um ein Wärmepumpenmodul und der Einbindung von Primärenergiebedarf und CO<sub>2</sub>-Emissionen, ein Forschungsprojekt der MA 39, Stand: 31. Dezember 2009“ erbracht. In den folgenden Kapiteln sind die wesentlichen Erkenntnisse der beiden Vorprojekte zusammengefasst und ein Vorschlag für die zukünftige Normierung wird dargestellt.

### 5.1 Analyse von Testreferenzjahre für 27 Standorte

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

Tabelle 19: 27 Orte der 7 Klimaregionen in Österreich

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 Tagesmitteltemperaturverlaufes eine Monatsamplitude ermittelt.

## 5.2 Halbsynthetisches Temperaturmodell

Auf Basis der Analyse der obigen 27 Testreferenzjahre aus den 7 Klimaregionen kann folgende Näherung gefunden werden:

$$T_{h,m} = T_m + A_m \cdot \sin\left(\frac{d_m}{MT} \cdot 2\pi\right) - A_d \cdot \cos\left(\frac{h_d}{24} \cdot 2\pi\right) \quad (11)$$

Dabei wird einer Tagesschwingung mit der Amplitude  $A_d$  – wie bisher – eine Monatsschwingung mit der Amplitude  $A_m$  überlagert. Selbstverständlich wird die Tagesmitteltemperatur  $T_m$  – wie bisher – durch lineare Interpolation zwischen dem jeweils 15. jedes Monats ermittelt. Die Amplituden sind den folgenden Tabellen zu entnehmen.

Dabei ist darauf zu achten, dass der lineare Ausgleich bezüglich der Monatsmitteltemperatur mittelwertstreu bleibt. Dies gilt als erfüllt, wenn lineare Ausgleichsgeraden durch die Temperatur des Monatsfünfzehnten derart gelegt werden, dass die Steigung je Monat konstant ist und die Temperatur des Monatsletzten mit der Temperatur des Monatsersten des darauffolgenden Monats ident ist. Sollte die Abweichung vom Mittelwert des Monatsersten bzw. -letzten vom Monatsmittelwert größer sein als die Monatsamplitude, so ist die Monatsamplitude gleich null

zu setzen. Für alle anderen Fälle ist die Monatsamplitude um das Maximum der Abweichung des Monatsersten bzw. -letzten zu vermindern.

Tabelle 20: Tagesamplitude  $A_d$

### Tagesamplitude

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

Tabelle 21: Monatsamplitude  $A_m$

### Monatsamplitude

$A_m$	Klimaregion						
	N	NSO	NF	SSO	SB	W	ZA
Jän	3,1 K	3,3 K	3,8 K	5,0 K	5,2 K	3,9 K	3,2 K
Feb	4,1 K	4,0 K	4,9 K	7,0 K	5,9 K	4,3 K	6,3 K
Mär	4,9 K	4,3 K	7,5 K	6,3 K	6,7 K	4,7 K	6,7 K
Apr	4,8 K	3,7 K	5,3 K	5,9 K	5,9 K	4,5 K	6,1 K
Mai	4,9 K	4,8 K	5,4 K	6,4 K	7,3 K	5,5 K	6,4 K
Jun	4,4 K	4,5 K	5,0 K	4,7 K	6,4 K	5,2 K	5,8 K
Jul	5,9 K	4,4 K	5,3 K	6,0 K	6,2 K	4,8 K	6,1 K
Aug	5,6 K	4,3 K	5,1 K	6,5 K	7,1 K	5,0 K	6,0 K
Sep	5,2 K	4,3 K	5,3 K	4,8 K	6,3 K	6,0 K	6,6 K
Okt	4,9 K	4,0 K	4,7 K	5,4 K	5,0 K	4,2 K	5,4 K
Nov	3,9 K	3,1 K	4,1 K	3,8 K	4,4 K	3,6 K	4,8 K
Dez	2,5 K	2,2 K	3,3 K	3,6 K	3,7 K	2,8 K	3,8 K

## 5.3 Mittelwertstreue lineare Ausgleichsrechnung für die Temperatur

Beim Berechnen von Tagesmitteltemperaturen als Basis halbsynthetischer Temperaturmodelle wurde bisher in der ÖNORM H 5056 (Kapitel Wärmepumpe) die Empfehlung gegeben, die aus der ÖNORM B 8110-5 [ONO11] ermittelte Monatsmitteltemperatur dem jeweils Monatsfünfzehnten zuzuordnen und dazwischen linear zu interpolieren. Wie auf der nächsten Seite leicht zu sehen ist, ist gerade für die Extremmonate (Jänner und Juli), in denen Temperaturverlaufsumkehr stattfindet, sicher keine Mittelwertstreue zu erwarten. Ebenso ist in allen anderen Monaten in der überwiegenden Anzahl von Fällen die Steigung der linearen Interpolation vor dem Monatsfünfzehnten unterschiedlich zu der Steigung nach dem Monatsfünfzehnten, was dann ebenso zu Mittelwertuntreue führt.

Leicht lösbar ist dieses Problem durch folgenden Ansatz:

$$T_i + (MT_i - 15) \times k_i = -15 \times k_{i+1} + T_{i+1} \quad (12)$$

Stellt man diese Gleichung für alle 12 Monate auf, so ergibt sich folgendes lineares Gleichungssystem, in dem die 12 Steigungen  $k_i$  unbekannt sind und die 12 Monatsmitteltemperaturen  $T_i$  bekannt sind.

$$\begin{pmatrix} 31-15 & 15 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 28-15 & 15 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 31-15 & 15 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 30-15 & 15 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 31-15 & 15 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 30-15 & 15 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 31-15 & 15 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 31-15 & 15 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 30-15 & 15 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 31-15 & 15 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 30-15 & 15 & 0 \\ 15 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 31-15 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} k_1 \\ k_2 \\ k_3 \\ k_4 \\ k_5 \\ k_6 \\ k_7 \\ k_8 \\ k_9 \\ k_{10} \\ k_{11} \\ k_{12} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} T_2 - T_1 \\ T_3 - T_2 \\ T_4 - T_3 \\ T_5 - T_4 \\ T_6 - T_5 \\ T_7 - T_6 \\ T_8 - T_7 \\ T_9 - T_8 \\ T_{10} - T_9 \\ T_{11} - T_{10} \\ T_{12} - T_{11} \\ T_1 - T_{12} \end{pmatrix} \quad (13)$$

Excel eröffnet durch seine Matrizenfunktionen (insbesondere die Funktion MDET (...)) die Möglichkeit, unter Anwendung der Regeln der linearen Algebra dieses Gleichungssystem einfach zu lösen. Dabei wurde auf allfällige Erleichterungen für eine nahezu symmetrische Matrix verzichtet. Der Grund, warum auf der übernächsten Seite die Überschrift „neue mittelwertstreue Näherung“ und nicht „neue mittelwertstreue Lösung“ lautet, ist die nach wie vor bestehende kleine Ungenauigkeit, dass in manchen Monaten vor und nach dem Monatsfünfzehnten nicht gleich viel Tage liegen.

## 5.4 Halbsynthetisches Luftfeuchtemodell

Auf Basis der Analyse der obigen 27 Testreferenzjahre aus den 7 Klimaregionen kann folgende Näherung gefunden werden:

$$x_{h,m} = x_m - A_a \cdot \cos\left(\frac{d_{m,a}}{365} \cdot 2\pi\right) + A_m \cdot \sin\left(\frac{d_m}{MT} \cdot 2\pi\right) - A_d \cdot \cos\left(\frac{h_d}{24} \cdot 2\pi\right) \quad (14)$$

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 mithilfe

des Monatsmittelwertes der Außentemperatur ist der Monatsmittelwert der relativen Luftfeuchte zu bestimmen.

Tabelle 22: Jahresmittelwert und Jahresamplitude

**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

Tabelle 23: Tagesamplitude  $A_d$

**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

Tabelle 24: Monatsamplitude  $A_m$

**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

## 5.5 Halbsynthetische Klimadaten für Gebäudestandort in Österreich

Zur Erhöhung der Genauigkeit von Energiebedarfsberechnungen sind repräsentative stundenweise Klimadaten für den Standort von großem Vorteil. Die Erstellung von Testreferenzjahren gemäß ÖNORM EN ISO 15927-4 [ONO05a] hat den Nachteil, dass die Klimadaten eines bestimmten Standortes in stündlicher Form langjährig vorhanden sein müssen. Da es in Österreich nur eine beschränkte Anzahl an Messstellen gibt, die diese Daten zur Verfügung stellen, wurde im Jahr 1990 von W.Heindl et.al [Hei90] eine Methodik entwickelt, wie ein halbsynthetisches Testreferenzjahr an einem beliebigen Standort mit definierten Mittelwerten erzeugt werden kann. In Rahmen des Haus der Zukunft - Forschungsprojektes „GEBIN – Gebäude maximaler Energieeffizienz mit integrierter erneuerbarer Energieerschließung „ wurde die Methodik der Erstellung wie folgt beschrieben [Kre10].

„Für die Erzeugung halbsynthetischer Klimadatensätze sind vorerst alle Monatsmittelwerte für jede in den Datensatz aufzunehmende meteorologische Größe vorzuschreiben. Im Fall der hier generierten Datensätze sind dies jeweils die an der Messstation aus Langzeitmessungen durch Mittelung errechneten Werte, die somit für die langjährigen Verhältnisse charakteristisch sind. Gemäß WMO sind langjährigen Werten Messreihen über 30 Jahre zugrunde zu legen. Diese Vorgabe wird hier nach Maßgabe der Verfügbarkeit der jeweiligen Datenart eingehalten. Um auch die Einflüsse des derzeit ablaufenden Klimawandels zu erfassen, wurden Messungen aus dem Zeitintervall zwischen 1. Januar 1978 und 31. Dezember 2007 der Mittelwertbildung zugrunde gelegt. Die bei der Erzeugung halbsynthetischer Klimadatensätze als Eingabedaten eingehenden Mittelwerte bilden somit eine zum derzeitigen Zeitpunkt aktuelle Datenbasis.

Neben den einzuhaltenden Monatsmittelwerten muss zudem auch ein möglichst großer Fundus an gemessenen Stundenwerten, aus denen in der Folge Testreferenzjahre zusammengesetzt werden, bereitgestellt werden. Im vorliegenden Fall steht als Basisdatensatz ein Paket von an der Station Wien, Hohe Warte, gemessenen Stundenwerten aus dem Zeitintervall zwischen 1. Januar 1951 und 31. Dezember 2009 zur Verfügung.

Zur Erzeugung der halbsynthetischen Klimadatensätze wird in einem ersten Schritt durch Aneinanderstückeln von aus dem Basisdatensatz ausgesuchten Monaten spezieller Jahre, die Monatsmittelwerte bzw. Monatssummen liefern, die den vorgegebenen Werten möglichst nahe kommen, ein Testreferenzjahr erzeugt. Natürlich wird bei jedem Monat für alle Datenarten das gleiche Jahr ausgewählt, sodass die Korrelation zwischen den Messwerten streng erhalten bleibt.

Neben den Monatsmittelwerten können zur Auswahl der Monate für den Zusammenbau zum Testreferenzjahr auch Vorgaben in Hinblick auf die statistischen Verteilungen berücksichtigt werden. Vorgegeben werden hierbei monatlich die Summenhäufigkeitskurven, die vom betrachteten meteorologischen Element für den langjährigen Schnitt vorliegen. Natürlich kann nicht erwartet werden, dass ein für das Testreferenzjahr ausgewählter Monat genau die vorgegebene Summenhäufigkeitsverteilung aufweist. Daher wird aus den in Frage kommenden

Monaten gemäß EN ISO 15927-4 jener Monat ausgewählt, der der vorgegebenen Verteilung am ehesten entspricht.

Im vorliegenden Datensatz wurde eine Summenhäufigkeitsverteilung nur für die Tagesmittelwerte der Außenlufttemperatur vorgegeben. Diese monatlichen Verteilungen und die langjährigen Monatsmittelwerte wurden unter Zugriff auf das Programmpaket OEKLIM [OEK10] ermittelt.

Die Wahrscheinlichkeit, Monate zu finden, die zum einen die vorgegebenen Mittelwerte für alle in Betracht zu ziehende meteorologischen Größen gleich gut erfüllen und zum anderen auch den vorgegebenen statistischen Verteilungen sehr nahe kommen, liegt nahe bei null – eine für Testreferenzjahre gut bekannte Problematik.

Daher wird in einem zweiten Schritt dieses Testreferenzjahr durch kleine Änderungen an den Stundenwerten aller in Betracht gezogenen meteorologischen Größen derart verändert, dass die vorgegebenen Monatsmittelwerte von jeder Datenart möglichst genau eingehalten werden und gleichzeitig die Korrelation zwischen den Werten verschiedener Datenarten erhalten bleibt. Die als Ergebnis dieser Modifikation erhaltenen Datensätze werden „halbsynthetische Klimadatenätze“ (HSKD) [Hei90] genannt.“

## 5.6 Vorschlag für ein halbsynthetisches Klimamodell für Energiebedarfsberechnungen

Eine Integration des Algorithmus aus [Hei90] in die Klimadatenbank des BMWJ ist sehr zu empfehlen. Damit wäre gewährleistet, dass es eindeutige Klimadaten für einen Standort in Österreich gibt bei denen die Mittelwerte dem langjährigen Durchschnitt entsprechen und die Korrelation der Stundenwerte der einzelnen Klimakomponenten erhalten ist.

## 6 Modifikation Nutzung

Um den Energiebedarf von Plusenergiegebäuden genauer zu ermitteln, bedarf es auch einer Adaptierung der Nutzung. Die inneren Lasten aus Personen und Geräten müssen stundenweise eruiert werden, um genaue Ergebnisse zu erlangen. In den folgenden Kapiteln ist an einzelnen Beispielen dargestellt, wie diese Ableitung erfolgen kann.

### 6.1 Nutzung Wohnen

In den jetzigen Energiebilanzen wird der Energiebedarf bzw. Betriebsstrombedarf  $BSB$  und der Beleuchtungsenergiebedarf  $BelEB$  der Nutzung mit einem spezifischen Wert der inneren Lasten des Heiz- und Kühlfall eruiert. Es wird nicht berücksichtigt, wieviele Personen in einem Haushalt leben bzw. ob diese Standard- oder effiziente Geräte bzw. Standardbeleuchtung oder optimierte Beleuchtung verwenden. Die Einsparung bei effizienten Geräten liegt bei bis zu 69 %. (Abbildung 10) Dies hat auch einen direkten Einfluss auf die Ermittlung der Heiz- bzw. Kühllast.

#### 6.1.1 Haushaltsstrombedarf plus Beleuchtungsenergiebedarf im Wohnbau

Aus einem aktuellen Evaluierungsprojekt eines Wiener Mehrfamilienhauses stellen sich folgende Werte für den jährlichen Strombedarf aus Haushaltsstrombedarf  $HHSB$  und der Beleuchtungsenergiebedarf  $BelEB$  dar:

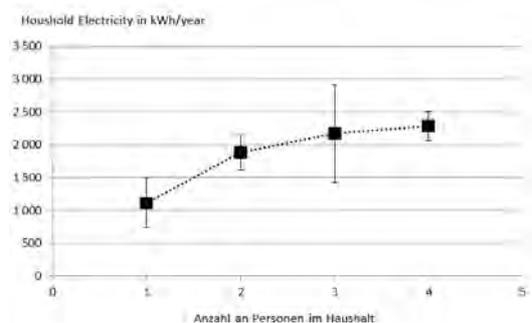


Abbildung 9: jährlicher Strombedarf bzw. Haushaltsstrombedarf  $HHSB$  und der Beleuchtungsenergiebedarf  $BelEB$  in Abhängigkeit der Anzahl der Personen je Haushalt (Quelle: Morishita, Bednar, 2011, Evaluierungsprojekt eines Wiener Mehrfamilienhauses, detaillierte Auswertung von 27 Wohneinheiten unter Ausschluss von 4 Extremfällen: Veröffentlichung geplant)

Aus diesen Werten kann der spezifische  $HHSB_{spez}$  berechnet werden. Der Mittelwert für das Gebäude beträgt 22 kWh/(m<sup>2</sup>.NF.a) bzw. 16 kWh/(m<sup>2</sup>.BGF.a).

$$(HHSB_{Sta,spez} + BelEB_{Sta,spez}) = 16 \text{ kWh}/(\text{m}^2.\text{BGF.a}) \quad (15)$$

$HHSB_{Sta,spez}$  spezifischer Haushaltsstrombedarf für Standardgeräte bezogen auf die BGF [kWh/(m<sup>2</sup>.BGF.a)]

$BelEB_{Sta,spez}$  spezifischer Beleuchtungsenergiebedarf für Standardbeleuchtung bezogen auf die BGF [kWh/(m<sup>2</sup>.BGF.a)]

BGF Bruttogrundfläche [m²]

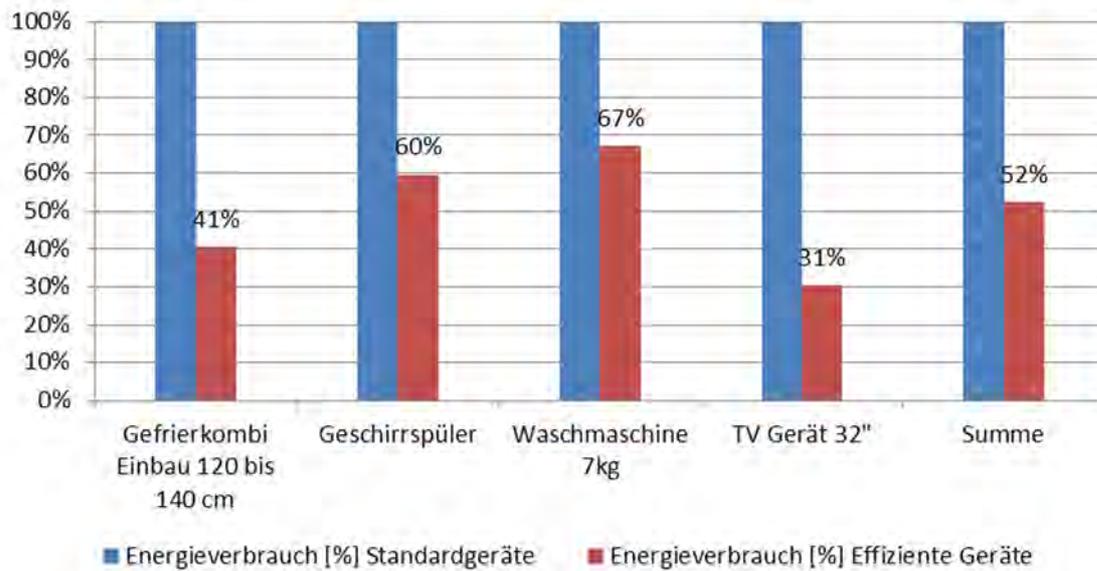


Abbildung 10: Analyse verschiedener Haushaltsgeräte hinsichtlich dem Einsparungseffekt (Quelle: [TOP12])

Energieeffizienz verschiedener Lampentypen			
Lampenart	Farbwiedergabe (Ra)	Lichtausbeute (lm/Watt)	Lebensdauer (h)
Glühlampe	100	8 – 15	~ 1.000
Halogenlampe	100	12 – 25	~ 2.500
IRC-Halogenlampe	100	25 – 30	~ 5.000
Energiesparlampe	85	50 – 69	~ 6.000 – 15.000
Standard-Leuchtstofflampen (T8)	70	47 – 83	~ 8.000
T5-Leuchtstofflampe	85	67 – 104	~ 24.000
Na-Dampf-Hochdrucklampen	25	90 – 150	~ 16.000
Metall-Halogen-dampflampe	65 – 95	84 – 90	~ 10.000
LED (weiß)	60 – 85	20 – 70	~ 50.000
OLED	> 80	25	~ 10.000

Abbildung 11: Vergleich verschiedener Lampen hinsichtlich Lichtausbeute und Lebensdauer (Quelle: [ENE10])

Aufgrund der Analyse in Abbildung 10 kann der Strombedarf, bei der Verwendung effizienter Geräte um 40 % gesenkt werden. Auch bei der Beleuchtung kann man von einer vierzigprozentigen Einsparung bei Verwendung effizienter Leuchtmittel ausgehen (siehe Abbildung 11 bzw. Tabelle 37)

$$(HHSB_{Sta, spez} + BelEB_{Sta, spez}) * 0,6 = (HHSB_{eff, spez} + BelEB_{eff, spez}) = 9,6 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{BGF} \cdot \text{a}) \quad (16)$$

$HHSB_{eff, spez}$  spezifischer Haushaltsstrombedarf für effiziente Geräte bezogen auf die BGF [kWh/(m².BGF.a)]

$BelEB_{Eff;spez}$  spezifischer Beleuchtungsenergiebedarf für effiziente Beleuchtung bezogen auf die BGF [kWh/(m<sup>2</sup>.BGF.a)]

Um den Strombedarf auf Stundenwerte umzurechnen, wird das VDEW-Lastprofil H0 verwendet. (siehe 6.3)

Für Lift und Beleuchtung der Stiegehäuser ergeben sich 1,6 kWh/m<sup>2</sup>BGF.a zusätzlich.

### 6.1.2 Innere lasten aus Personen im Wohnbau

Der Verlauf der Anwesenheit von Personen in Wohnbauten kann mit Hilfe von Befragungen oder Messungen erhoben werden. Beispielhaft ist in der folgenden Abbildung die mit Hilfe von Fragebögen erhobene Anwesenheit in einer Wohnhausanlage mit 45 retournierten Fragebögen dargestellt.

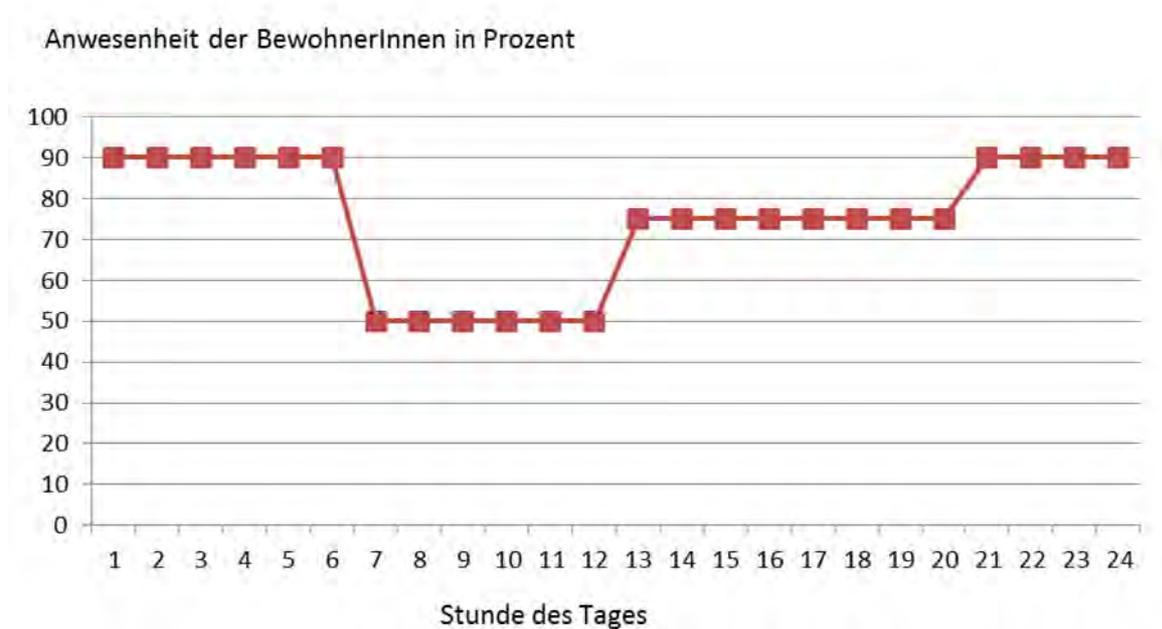


Abbildung 12: Anwesenheitsprofil der BewohnerInnen in einem Mehrfamilienhaus. (Quelle: Morishita, Bednar, 2011, Evaluierungsprojekt eines Wiener Mehrfamilienhauses; Veröffentlichung geplant)

Die Wohnnutzfläche pro Personen beträgt in dem untersuchten Objekt 31 m<sup>2</sup>/Person.

## 6.2 Nutzung Büro

Auch im Bürobau werden der Energiebedarf bzw. Betriebsstrombedarf  $BSB$  und der Beleuchtungsenergiebedarf  $BeLEB$  der Nutzung mit einem spezifischen Wert der inneren Lasten des Heiz- und Kühlfall eruiert. Es wird nicht berücksichtigt, wieviele Personen in einem im Gebäude arbeiten bzw. ob diese Standard- oder effiziente Geräte bzw. Standardbeleuchtung oder optimierte Beleuchtung verwenden. Die Einsparung bei effizienten Geräten liegt bei ca. zu 63 %. (Abbildung 13) Dies hat auch einen direkten Einfluss auf die Ermittlung der Heiz- bzw. Kühllast. Im Gegensatz zum Wohnbau wird in diesem Kapitel nur der  $BSB$  erläutert, da der  $BeLEB$  in Kapitel 9.2.2 dargestellt wird.

### 6.2.1 Betriebsstrombedarf im Bürobau

Bei einem Monitoring eines Amtsgebäudes wurde ein spezifischer Betriebsstrombedarf von ca. 40 kWh/(m<sup>2</sup>.BGF.a) festgestellt. [KOR11] [LEE11]

In [REI11] wurde ein primärenergetischer Betriebsstrombedarf, mit einem Primärenergiefaktor für Strom von 3,5 kWh/kWh, von 179 kWh/(m<sup>2</sup>.BGF.a) ermittelt. Daraus resultiert ein  $BSB_{spez}$  von circa 51 kWh/(m<sup>2</sup>.BGF.a). Da es sich bei dem ersten Objekt um ein Amtsgebäude handelt und in diesem die Betriebszeiten unter anderen Büronutzungen liegen [PRÖ09], wird der  $BSB_{spez}$  mit 50 kWh/(m<sup>2</sup>.BGF.a) für Bürobauten festgelegt.

$$BSB_{Sta;spez} = 50kWh / (m^2.BGF.a) \quad (17)$$

$BSB_{Sta;spez}$  spezifischer Betriebsstrombedarf für Standardgeräte bezogen auf die BGF [kWh/(m<sup>2</sup>.BGF.a)]

Eine Analyse aller wichtigen Komponenten im Bürobau hat ergeben, dass das Einsparpotential bei Bürogeräten plus Beleuchtung bis zu 63 % beträgt. (Abbildung 13) Werden nur die Geräte, ohne Beleuchtung, betrachtet, so ergibt sich hier ein Einsparungspotential von circa 60 %. Auch in [REI11] ergab sich eine ähnliche Einsparung gegenüber Standardgeräten.

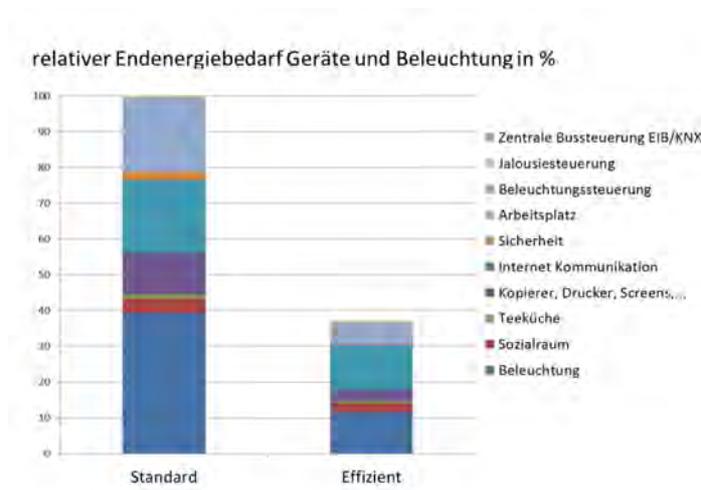


Abbildung 13: Analyse aller Komponenten im Bürobau plus Beleuchtung. Quelle:[SCH13]

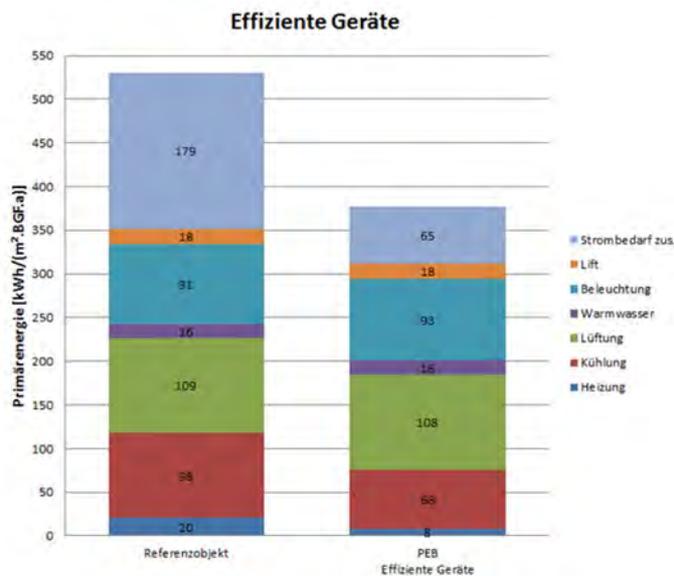


Abbildung 14: Vergleich Primärenergiebedarf Referenzobjekt – PEB Passivhausstandard Effiziente Geräte Quelle:[REI11]

$$BSB_{Sta;spez} * 0,4 = BSB_{Eff;spez} = 20kWh / (m^2.BGF.a) \quad (18)$$

$BSB_{Eff;spez}$  spezifischer Betriebsstrombedarf für effiziente Geräte bezogen auf die BGF [kWh/(m².BGF.a)]

Um den Strombedarf auf Stundenwerte umzurechnen, wird das VDEW-Lastprofil G1 verwendet. (siehe 6.3)

### 6.2.2 Innere Lasten aus Personen im Bürobau

Die inneren Lasten aus Personen errechnen sich über Anwesenheitswahrscheinlichkeiten. In der Arbeit [PRÖ09] wurden fünf verschiedene Bürobauten hinsichtlich Anwesenheitswahrscheinlichkeit untersucht. Diese Profile waren Grundlage für die Überlegungen in diesem Kapitel. Wichtig ist es, ungefähr die Anzahl der zukünftigen Nutzer plus die Standardbetriebszeiten zu kennen. Sind keine Daten über die zukünftige Nutzung bekannt, so kann vereinfacht die Beispielkurve (siehe. Abbildung 15) verwendet werden.

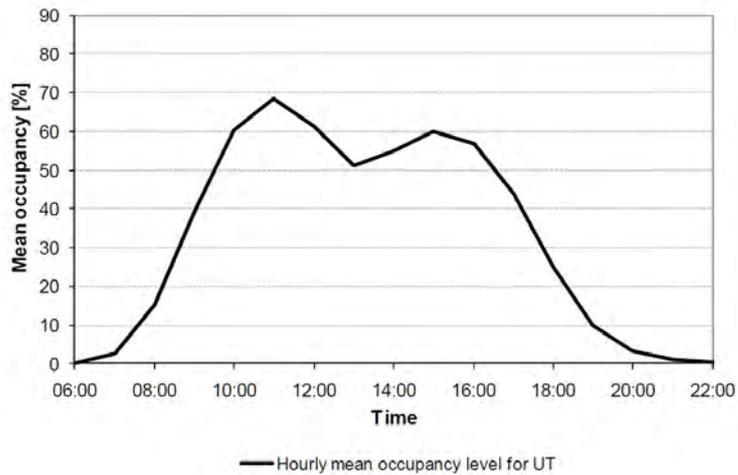


Abbildung 15: Anwesenheitswahrscheinlichkeit eines typischen Bürobaues Quelle: [PRÖ09]

Mit diesen Daten werden mit Hilfe von Zufallszahlen stündlich die anwesenden Personen, und daraus resultierend, die inneren Lasten eruiert.

Eine Person gibt im Sitzen durchschnittlich 80 W sensible Wärme ab. Es wird zwischen Konvektion und Strahlung unterschieden. Der konvektive sowie der radiative Anteil beträgt je 50 %.

$$\phi_{IL,Pers,i} = 80W \cdot \sum_{n=1}^{\text{Anzahl Arbeitsplätze}} \begin{cases} 1 & Z_{n,i} \leq P_{ANW,i} \\ 0 & Z_{n,i} > P_{ANW,i} \end{cases} \quad (19)$$

$\phi_{IL,Pers,i}$  Wärmestrom zufolge Personen innerer Lasten in der jeweiligen Stunde [W]

$Z_{n,i}$  Anzahl der Arbeitsplätze in der Zone [W]

$P_{ANW,i}$  Anwesenheitswahrscheinlichkeit in der jeweiligen Stunde [W]

$$\phi_{IL,Pers,r} = 0,5 \cdot \phi_{IL,Pers} \quad (20)$$

$$\phi_{IL,Pers,c} = 0,5 \cdot \phi_{IL,Pers} \quad (21)$$

$\phi_{IL,Pers,r}$  Wärmestrom zufolge Personen innerer Lasten infolge Strahlung [W]

$\phi_{IL,Pers,c}$  Wärmestrom zufolge Personen innerer Lasten infolge Konvektion [W]

Bei genauen Analysen steht außerdem die Möglichkeit offen den Betriebsstrombedarf nicht über die Verbrauchsprofile, sondern auch über die Anwesenheitswahrscheinlichkeit und Anzahl der Personen zu errechnen. Dafür ist ein umfangreiches Wissen über Nutzerdaten plus Ausstattung notwendig.

### 6.3 Verbrauchsprofile elektrisch

Um den Jahresenergieverbrauch stündlich zu ermitteln, wurde wie folgt vorgegangen. Für die Generierung der elektrischen Energie wurde stark auf die VDEW Lastprofile [SCH99]

eingegangen. Bei der Erstellung können verschiedene Nutzergruppen definiert werden. Für die Nutzung Wohnen wird ein Betriebsstrombedarf und ein Beleuchtungsenergiebedarf vorgegeben. Für die Nutzung Büro wird nur der Betriebsstrombedarf vorgegeben, da der Beleuchtungsenergiebedarf nach 9.2.2 berechnet wird. Aufbauend auf dem Jahresenergieverbrauch wurde mittels Lastprofilen ein auf Stundenbasis aufgelöster Leistungswert ermittelt, einige Beispiele sind in der folgenden Abbildung dargestellt. Der Kurvenzug entspricht dabei dem gängig verwendeten Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft (VDEW)-Verlauf. Es gibt eine Vielzahl von Profilen, eines für Haushalt H0, drei für Landwirtschaft L0- L2 und die Bezeichnung G in der Profilbenennung kennzeichnet Gewerbeprofile, wovon insgesamt sieben unterschieden werden, nämlich G0-G6. Des Weiteren erfolgt eine Aufteilung auf drei Jahreszeiten Sommer, Winter und Übergangszeit, wobei hier nur jeweils Sonntag und Werktag für die Übergangszeit dargestellt sind. G0 kennzeichnet Gewerbe allgemein und stellt den Mittelwert der Gesamtgruppe da. G1 ist speziell für Bereiche, die nur werktags von 8h-18h besetzt sind z. B. Büros, Arztpraxen, usw. ausgelegt. Gegenüber G0 sind bei G1 der geringe Grundlastverbrauch außerhalb der Arbeitszeiten und die höhere Lastspitze erkennbar. Des Weiteren ist für das G1 Profil der geringe Verbrauch am Wochenende ersichtlich. Die Werte in den VDEW-Lastprofilen sind so normiert, dass sich ein Jahresenergieverbrauch von 1000 kWh ergibt.

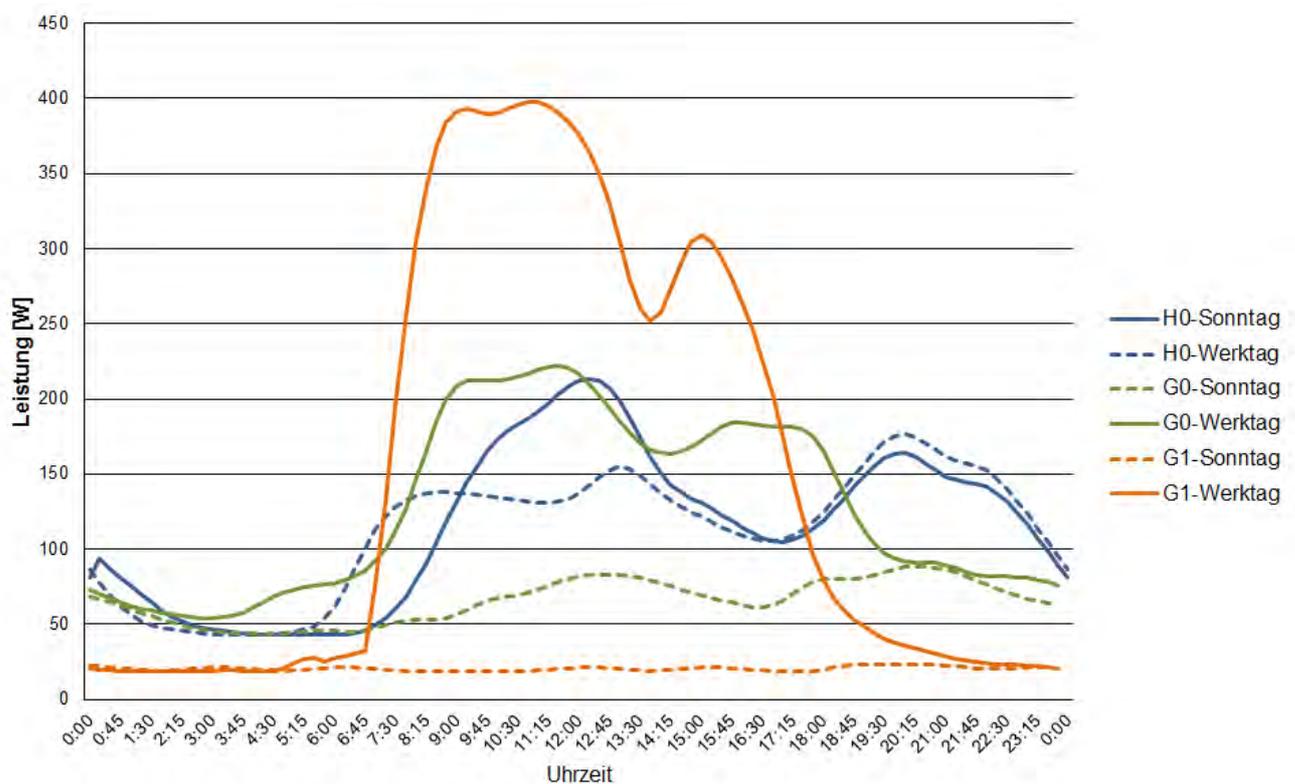


Abbildung 16: VDEW-Lastprofile (H0, G0, G1) [SCH99]

Auch bei den Geräten wird zwischen konvektivem und radiativem Wärmetransport unterschieden. Der konvektive Anteil beträgt hier 80 % und der radiative Anteil 20 %.

$$\phi_{IL, Ger, i} = BSB_{spez} \cdot VDEW_i \quad (22)$$

$\phi_{IL, Ger, i}$  Wärmestrom zufolge Geräte innerer Lasten in der jeweiligen Stunde[W]

$$\phi_{IL, Ger, r} = 0,2 \cdot \phi_{IL, Ger} \quad (23)$$

$$\phi_{IL, Ger, c} = 0,8 \cdot \phi_{IL, Ger} \quad (24)$$

$\phi_{IL, Ger, r}$  Wärmestrom zufolge Personen innerer Lasten infolge Strahlung [W]

$\phi_{IL, Ger, c}$  Wärmestrom zufolge Personen innerer Lasten infolge Konvektion [W]

Zusätzlich für den Wohnbau gilt:

$$\phi_{IL, Bel, i} = BelEB_{spez} \cdot VDEW_i \quad (25)$$

$\phi_{IL, Bel, i}$  Wärmestrom zufolge Beleuchtung innerer Lasten in der jeweiligen Stunde[W]

$$\phi_{IL, Bel, r} = 0,5 \cdot \phi_{IL, Ger} \quad (26)$$

$$\phi_{IL, Bel, c} = 0,5 \cdot \phi_{IL, Bel} \quad (27)$$

$\phi_{IL, Bel, r}$  Wärmestrom zufolge Beleuchtung innerer Lasten infolge Strahlung [W]

$\phi_{IL, Bel, c}$  Wärmestrom zufolge Beleuchtung innerer Lasten infolge Konvektion [W]

## 7 Modifikation der Verschattungsfaktoren

### 7.1 Berechnung der baulichen Verschattung nach verschiedenen Verfahren

Am Beispiel der Verschattung durch einen Horizont werden drei verschiedene Verfahren im Hinblick auf ihre Tauglichkeit für die Verwendung in ÖNORM B 8110-1 Bbl. 1 untersucht:

- PHPP 2007
- ISO/DIS 13790 (Draft 2005)
- DIN 18599-2:2007-02

Betrachtet werden zunächst nur senkrechte Fenster mit Orientierung in den Haupthimmelsrichtungen. Die Tabelle auf der folgenden Seite zeigt die Ergebnisse. Dabei wird in ISO 13790 und im PHPP die geografische Breite mit berücksichtigt, in der DIN 18599 ist sie fest vorgegeben. Dargestellt sind zwei Beispiele für 45° und 55° geogr. Breite.

In der Tabelle sind zum Teil gravierende Unterschiede in der Beurteilung der Verschattung zu erkennen. Über die Ursachen kann nur spekuliert werden, da dem Autor die Grundlagen für die beiden Normen nicht vorliegen.

Es scheint jedoch, als sei in den Faktoren der ISO 13790 eine starke Reflexion des verschattenden Elements enthalten und/oder als sei die Verschattung der Diffusstrahlung nicht berücksichtigt worden; im PHPP wird das jeweils anders gehandhabt. Dies würde die von der Süd- zur Nordorientierung stark anwachsenden Unterschiede erklären.

Die Unterschiede zwischen PHPP und DIN 18599 sind weniger ausgeprägt, aber immer noch deutlich erkennbar. Sie sind möglicherweise auf unterschiedliche Annahmen zur Bodenalbedo oder zur Reflexion durch die verschattenden Elemente zurückzuführen.

Anzumerken ist ferner, dass in beiden Normen ein Horizontwinkel oberhalb von 40°, wie man ihn z. B. in innerstädtischen Lagen durchaus antreffen kann, nicht mehr betrachtet wird. ISO 13790 lässt eine (vermutlich lineare) Interpolation zwischen den Werten zu (daher die Extrapolation in den Grafiken), in DIN 18599 hat der Autor keine Aussage hierzu gefunden.

Die Interpolation zwischen verschiedenen Himmelsrichtungen erfolgt in ISO 13790 linear zwischen den Haupthimmelsrichtungen; angemessener ist jedoch eine Fourier-Interpolation wie im PHPP. In DIN 18599 werden acht Himmelsrichtungen und 5 Neigungen betrachtet, und es wird wie im PHPP zwischen Sommer- und Winterhalbjahr unterschieden.

Vor diesem Hintergrund empfiehlt der Autor, die Algorithmen des PHPP zu verwenden, wie sie im PHPP selbst abgelesen werden können. Idealerweise sollten die Formeln gleich in einer Form angegeben werden, die auch in anderen geografischen Regionen Europas angemessene Ergebnisse liefert. Die teils sehr komplexen Formeln könnten möglicherweise auf Kosten der Genauigkeit noch etwas vereinfacht werden.

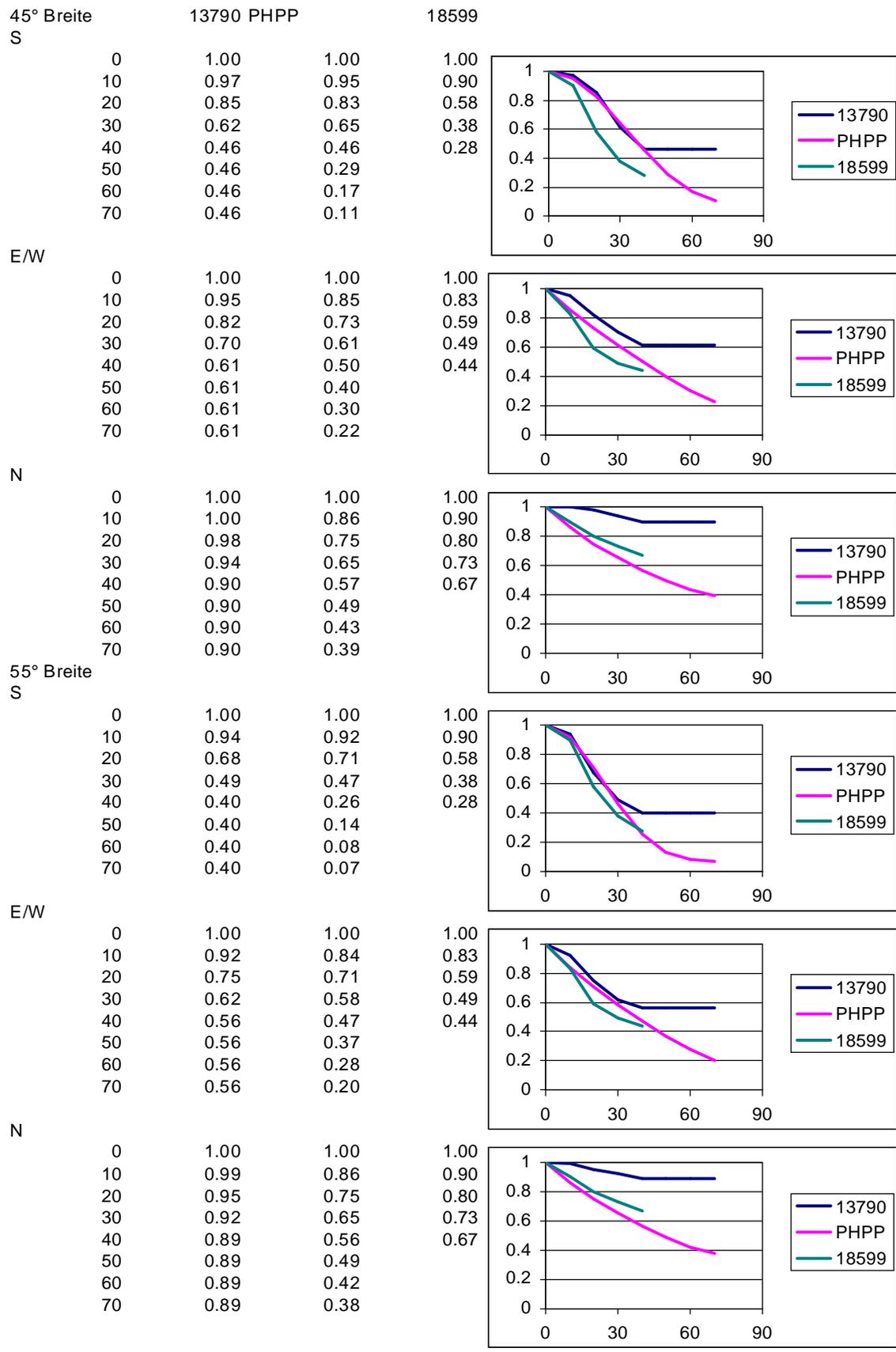


Abbildung 17: Vergleich verschiedener Methoden zur Berücksichtigung von Verschattung

## 7.2 Festlegung der Verschattungsfaktoren

Als Vorschlag für in der Norm zu verwendende Verschattungsfaktoren wurde am PHI auf Grundlage der PHPP-Algorithmen eine Tabelle ausgearbeitet, in der für Horizont, Laibung und Überstand jeweils Verschattungsfaktoren angegeben sind.

Diese Verschattungsfaktoren beziehen sich auf eine geografische Breite von 48°N, also eine für Österreich repräsentative Lage. Sie sind, anders als im PHPP, als Funktion des Horizont-, Laibungs- bzw. Überhangswinkels entsprechend ÖNORM B 8110-6 angegeben. Die Daten stehen für verschiedene Neigungen der Empfängerfläche zur Verfügung.

Tabelle 25: Verschattungsfaktoren zur Berücksichtigung einer Horizontüberhöhung für den Sommer- und den Winterfall in Abhängigkeit der Neigung der Empfängerfläche

Winter				Sommer			
PHPP, 48 ° N				PHPP, 48 ° N			
90°				90°			
Horizontwinkel	N	O/W	S	Horizontwinkel	N	O/W	S
0	1.00	1.00	1.00	0	1.00	1.00	1.00
20	0.75	0.72	0.80	20	0.76	0.78	0.88
40	0.57	0.50	0.40	40	0.60	0.58	0.76
60	0.43	0.29	0.14	60	0.49	0.37	0.57
80	0.38	0.18	0.08	80	0.45	0.21	0.25
60°				60°			
Horizontwinkel	N	O/W	S	Horizontwinkel	N	O/W	S
0	1.00	1.00	1.00	0	1.00	1.00	1.00
20	0.81	0.78	0.82	20	0.82	0.82	0.90
40	0.66	0.59	0.45	40	0.69	0.66	0.78
60	0.55	0.41	0.20	60	0.60	0.48	0.61
80	0.49	0.29	0.14	80	0.56	0.32	0.29
30°				30°			
Horizontwinkel	N	O/W	S	Horizontwinkel	N	O/W	S
0	1.00	1.00	1.00	0	1.00	1.00	1.00
20	0.93	0.91	0.86	20	0.93	0.91	0.92
40	0.86	0.79	0.56	40	0.88	0.82	0.83
60	0.79	0.64	0.33	60	0.83	0.70	0.69
80	0.73	0.51	0.26	80	0.78	0.53	0.37
0°				0°			
Horizontwinkel	N	O/W	S	Horizontwinkel	N	O/W	S
0	1.00	1.00	1.00	0	1.00	1.00	1.00
20	0.99	0.97	0.88	20	0.99	0.95	0.93
40	0.96	0.88	0.61	40	0.97	0.89	0.85
60	0.91	0.76	0.39	60	0.95	0.81	0.73
80	0.85	0.62	0.31	80	0.89	0.64	0.41

Tabelle 26: Verschattungsfaktoren zur Berücksichtigung der Fensterlaibung für den Sommer- und den Winterfall in Abhängigkeit der Neigung der Empfängerfläche

<b>Winter</b>				<b>Sommer</b>			
<b>PHPP, 48 ° N</b>				<b>PHPP, 48 ° N</b>			
90°				90°			
Laibungswinkel	N	O/W	S	Laibungswinkel	N	O/W	S
0	1.00	1.00	1.00	0	1.00	1.00	1.00
20	0.90	0.86	0.92	20	0.90	0.95	0.90
40	0.79	0.71	0.83	40	0.80	0.88	0.78
60	0.64	0.51	0.68	60	0.68	0.78	0.62
80	0.42	0.23	0.34	80	0.51	0.50	0.33
60°				60°			
Laibungswinkel	N	O/W	S	Laibungswinkel	N	O/W	S
0	1.00	1.00	1.00	0	1.00	1.00	1.00
20	0.89	0.84	0.91	20	0.91	0.94	0.90
40	0.78	0.68	0.81	40	0.81	0.88	0.79
60	0.63	0.48	0.66	60	0.68	0.77	0.64
80	0.38	0.22	0.32	80	0.47	0.47	0.34
30°				30°			
Laibungswinkel	N	O/W	S	Laibungswinkel	N	O/W	S
0	1.00	1.00	1.00	0	1.00	1.00	1.00
20	0.89	0.82	0.89	20	0.91	0.94	0.91
40	0.76	0.64	0.77	40	0.82	0.87	0.81
60	0.59	0.43	0.60	60	0.68	0.75	0.66
80	0.31	0.19	0.29	80	0.39	0.42	0.35
0°				0°			
Laibungswinkel	N	O/W	S	Laibungswinkel	N	O/W	S
0	1.00	1.00	1.00	0	1.00	1.00	1.00
20	0.88	0.80	0.88	20	0.92	0.94	0.92
40	0.75	0.61	0.75	40	0.82	0.86	0.82
60	0.58	0.40	0.58	60	0.68	0.74	0.68
80	0.28	0.18	0.28	80	0.35	0.39	0.35

Tabelle 27: Verschattungsfaktoren zur Berücksichtigung eines Überhangs für den Sommer- und den Winterfall in Abhängigkeit der Neigung der Empfängerfläche

Winter				Sommer			
PHPP, 48 ° N				PHPP, 48 ° N			
90°				90°			
Überhangswinkel	N	O/W	S	Überhangswinkel	N	O/W	S
0	1.00	1.00	1.00	0	1.00	1.00	1.00
20	0.90	0.90	0.95	20	0.96	0.95	0.87
40	0.79	0.79	0.88	40	0.83	0.80	0.58
60	0.64	0.63	0.77	60	0.64	0.57	0.30
80	0.36	0.28	0.43	80	0.42	0.27	0.17
60°				60°			
Überhangswinkel	N	O/W	S	Überhangswinkel	N	O/W	S
0	1.00	1.00	1.00	0	1.00	1.00	1.00
20	0.88	0.91	0.95	20	0.95	0.95	0.90
40	0.76	0.81	0.89	40	0.84	0.82	0.67
60	0.59	0.66	0.80	60	0.67	0.63	0.46
80	0.33	0.36	0.52	80	0.42	0.35	0.34
30°				30°			
Überhangswinkel	N	O/W	S	Überhangswinkel	N	O/W	S
0	1.00	1.00	1.00	0	1.00	1.00	1.00
20	0.84	0.93	0.96	20	0.94	0.95	0.95
40	0.69	0.85	0.92	40	0.85	0.87	0.86
60	0.50	0.73	0.86	60	0.71	0.75	0.77
80	0.28	0.51	0.72	80	0.41	0.53	0.68
0°				0°			
Überhangswinkel	N	O/W	S	Überhangswinkel	N	O/W	S
0	1.00	1.00	1.00	0	1.00	1.00	1.00
20	0.82	0.94	0.97	20	0.94	0.95	0.98
40	0.65	0.87	0.94	40	0.86	0.89	0.96
60	0.46	0.77	0.89	60	0.74	0.81	0.93
80	0.26	0.59	0.81	80	0.41	0.62	0.85

Für die Anwendung nach Norm sind Zwischenwerte der Einfachheit halber linear zu interpolieren. Anschließend sind die einzelnen Verschattungsfaktoren für Horizont, Laibung und Überstand miteinander zu multiplizieren. Es wird im hier vorgeschlagenen Rechenverfahren also nicht das Minimum der Verschattungsfaktoren verwendet.

### 7.3 Diskussion

Die Verschattungsfaktoren sind relativ grob aufgelöst, um die Tabellen übersichtlich zu halten. Die Verschattungswinkel wachsen in Schritten von 20° an, und die Verschattungsfaktoren stehen lediglich für die Haupthimmelsrichtungen zur Verfügung. Angesichts des einfachen Interpolationsverfahrens und der unten genannten Einschränkungen der Genauigkeit wird diese Auflösung für die Anwendung in einem Nachweis-Verfahren als ausreichend er-

achtet. Für Planungszwecke ist dagegen eine genauere Berechnung und Interpolation problemlos möglich und daher vorzuziehen.

Tatsächlich gibt es in gewissem Umfang Wechselwirkungen zwischen den verschattenden Elementen, so ist etwa die prozentuale Reduktion der Strahlung durch den Überhang umso größer, je stärker das Gebäude bereits durch den Horizont verschattet ist. Es hat sich jedoch in der Vergangenheit gezeigt, dass eine Multiplikation der einzelnen Verschattungsfaktoren eine praktikable, einfach handhabbare Lösung mit relativ guter Genauigkeit darstellt.

Bei sehr starken Verschattungen hängen die Verschattungsfaktoren zusätzlich stark von der Bestrahlung und Reflexivität der verschattenden Elemente (Verschattung durch einen Baum oder durch eine spiegelnde Gebäudefassade) und von ihrer genauen Form (Überhang fensterbreit oder unendlich breit etc.) sowie von der Wechselwirkung zwischen den verschattenden Elementen ab. Diese Einflüsse können sich in der realen Umgebung sehr unterschiedlich darstellen. Ein verspiegeltes Hochhaus auf der Nordseite eines Gebäudes kann beispielsweise die Strahlung auf die Nordfassade gegenüber dem unverschatteten Fall sogar erhöhen. Eine genauere Berücksichtigung solcher Einflüsse ist mit vertretbarem Aufwand nicht möglich, da der Anwender zur Berücksichtigung von Mehrfachreflexionen ein geometrisches Modell der Umgebung einschließlich der jeweiligen Reflexivitäten erstellen müsste. Es wird jedoch empfohlen, in der Norm genauere Ermittlungen der Verschattungsfaktoren auf Grundlage von stundenweisen Berechnungen und/oder detaillierten geometrischen Modellen bzw. genauere Interpolationen zuzulassen.

## 8 Modifikation der Auslegungsberechnungen für Niedrigstenergiegebäude

### 8.1 Einleitung

Die Methoden für die Auslegung von Gebäuden in Österreich stammen teilweise aus Zeiten, in denen der Energieverbrauch um ein Vielfaches höher war, als dies bei modernen Niedrigstenergiegebäuden der Fall ist. In den letzten Jahren haben sich die Anforderungen an die Energieeffizienz von Gebäuden drastisch verschärft. Mit dem reduzierten Energieverbrauch ist die Notwendigkeit der Genauigkeit der Auslegungsberechnungen stark gestiegen.

Grundsätzlich wird mit den Berechnungsverfahren für die Auslegung von Gebäuden versucht physikalische Vorgänge bis zu einem gewissen Genauigkeitsgrad abzubilden. Da jedes Berechnungsverfahren nur eine Annäherung an die Realität ist, sind geringfügige Ungenauigkeiten als akzeptabel einzustufen. Zur Entstehungszeit der Auslegungsmethoden wirkten sich Berechnungsungenauigkeiten, aufgrund des generell hohen Energieverbrauchs, relativ gesehen nicht stark aus. Die Anforderung an die Genauigkeit der Rechenmethoden spielte daher keine entscheidende Rolle. Bei Gebäuden mit einem sehr geringen Energieverbrauch wirkt sich derselbe absolute Fehler jedoch entscheidend auf die Berechnungsgenauigkeit aus. Es ergibt sich somit die Notwendigkeit einer Anpassung der Auslegungsberechnungen an die heutigen Gegebenheiten. Grundsätzlich führen die bestehenden Rechenmethoden meist zu einer Überdimensionierung der haustechnischen Anlage. Ziel ist daher die Entwicklung eines Verfahrens, das die physikalischen Gegebenheiten genauer abbildet, als die bestehenden Berechnungsmethoden. Die erhöhte Genauigkeit der Auslegungsberechnungen führen in weiterer Folge zu einer Verbesserung der Effizienz der gebäudetechnischen Anlagen.

Grundlage für die Verwendung eines realitätsnahen Rechenverfahrens ist eine ausreichend genaue Berücksichtigung der benötigten Randbedingungen. Für die in diesem Forschungsprojekt entwickelten Modelle stellen die Außentemperatur und die solare Einstrahlung, neben den inneren Lasten, die wichtigsten Randbedingungen dar. In der bisherigen Normung wurden hier teilweise erhebliche Vereinfachungen getroffen. Dieser Umstand stellte in der Vergangenheit, aufgrund der geringen thermischen Qualität der Gebäudehüllen, meist kein allzu großes Problem dar. Den Randbedingungen für die Auslegungsberechnungen kam jedoch durch den Bau von Niedrigstenergiegebäuden in den letzten Jahren immer größere Bedeutung zu.

## 8.2 Grundlagen

### 8.2.1 Berechnung der Heizlast

Mit der Heizlastberechnung wird die Leistung ermittelt, die benötigt wird, um einen Raum bzw. ein Gebäude unter Auslegungszuständen auf einem bestimmten Temperaturniveau halten zu können. Auf Basis der berechneten Heizlast werden die Wärmebereitstellungs- und Wärmeabgabesysteme ausgelegt.

Berechnung nach ÖNORM H 7500 [ONO06] bzw. ÖNORM EN 12831 [ONO03].

Normativ ist die Berechnung der Heizlast in der ÖNORM EN 12831 bzw. ÖNORM H 7500 festgehalten.

#### Randbedingungen:

Die Norm-Heizlast lt. ÖNORM H 7500 wird für eine definierte Norm-Außentemperatur und eine definierte Norm-Innentemperatur ermittelt. Die Norm-Außentemperatur ist dabei definiert als das tiefste Zweitagesmittel der Außentemperatur, das in 20 Jahren 10 Mal erreicht bzw. unterschritten wird. Für die Norm-Innentemperatur sind in [ONO06] unterschiedliche Werte für unterschiedliche Nutzungen angegeben. Für Wohn- und Schlafräume bzw. für Büroräume ist eine Norm-Innentemperatur von 20 °C angegeben.

In der ÖNORM H 7500 werden weder die solare Einstrahlung noch die inneren Lasten berücksichtigt.

#### Methodik der Berechnung:

Die Ermittlung der Heizlast erfolgt nach einem stationären Berechnungsverfahren. Die Norm-Wärmeverluste werden aus der Summe der Norm-Transmissionswärmeverluste und der Norm-Lüftungswärmeverluste gebildet. Für Räume mit unterbrochenem Heizbetrieb sieht die ÖNORM H 7500 für die Ermittlung der Heizlast außerdem eine sog. „Aufheizleistung“ vor. Diese zusätzliche Heizleistung kann in der Berechnung nach Absprache mit dem Bauherrn angesetzt werden.

$$\phi_i = \phi_{T,i} + \phi_{V,i} \quad (28)$$

$\phi_i$	W	Gesamt-Normwärmeverlust
$\phi_{T,i}$	W	Norm-Transmissionswärmeverlust
$\phi_{V,i}$	W	Norm-Lüftungswärmeverlust

Die Norm-Transmissionsverluste werden nach folgender Gleichung berechnet:

$$\phi_{T,i} = (H_{T,ie} + H_{T,iue} + H_{T,ig} + H_{T,ij}) \cdot (\vartheta_{\text{int},i} - \vartheta_e) \quad (29)$$

$\phi_{T,i}$	W	Norm-Transmissionswärmeverlust
$H_{T,ie}$	W/K	Norm-Transmissionswärmeverlust-Koeffizient zwischen beheiztem

		Raum und der Außenluft
$H_{T,ie}$	W/K	Norm-Transmissionswärmeverlust-Koeffizient zwischen beheiztem Raum und der Außenluft über einen unbeheizten Raum
$H_{T,ig}$	W/K	Norm-Transmissionswärmeverlust-Koeffizient zwischen beheiztem Raum und dem Erdreich
$H_{T,ij}$	W/K	Norm-Transmissionswärmeverlust-Koeffizient zwischen beheiztem Raum und einem Raum mit anderem Temperaturniveau
$\vartheta_{int,i}$	°C	Norm-Innentemperatur
$\vartheta_e$	°C	Norm-Außentemperatur

Die direkten Verluste des Raumes an die Außenluft werden mit folgender Gleichung berücksichtigt:

$$H_{T,ie} = \sum_k A_k \cdot U_k \cdot e_k + \sum_i \psi_i \cdot l_i \cdot e_i \quad (30)$$

$H_{T,ie}$	W/K	Norm-Transmissionswärmeverlust-Koeffizient zwischen beheiztem Raum und der Außenluft
$A_k$	m <sup>2</sup>	Fläche eines Bauteils k
$U_k$	W/m <sup>2</sup> K	Wärmedurchgangskoeffizient eines Bauteils k
$e_k$	-	witterungsbedingter Korrekturfaktor
$\psi$	W/mK	linearer Wärmebrückenkoeffizient der Wärmebrücke i
$l_i$	m	Länge der linearen Wärmebrücke i
$e_i$	-	witterungsbedingter Korrekturfaktor

Die witterungsbedingten Korrekturfaktoren können gemäß ÖNORM H 7500 mit 1,0 angenommen werden. Die Wärmebrücken können nach ÖNORM H 7500 auch über einen pauschalen Wärmebrückenzuschlag von 0,1 W/m<sup>2</sup>K (ohne bauseitige Berücksichtigung von Wärmebrücken) bzw. 0,05 W/m<sup>2</sup>K (bei bauseitiger Berücksichtigung von Wärmebrücken) abgeschätzt werden.

Für die Ermittlung des Wärmeverlustkoeffizienten durch unbeheizte Nachbarräume werden die witterungsbedingten Korrekturfaktoren durch einen Temperaturreduktionsfaktor ersetzt. Dieser kann nach ÖNORM EN 12831 entsprechend dem nachfolgenden Zusammenhang berechnet werden (in ÖNORM H 7500 sind Werte für die Temperaturen in unbeheizten Nachbarräumen gegeben):

$$b_u = \frac{\vartheta_{int,i} - \vartheta_u}{\vartheta_{int,i} - \vartheta_e} \quad (31)$$

$b_u$	-	Temperatur-Reduktionsfaktor für den Wärmeverlust zwischen einem beheizten Raum und einem unbeheizten Raum
$\vartheta_{int,i}$	°C	Norm-Innentemperatur

$\vartheta_u$	°C	Temperatur im unbeheizten Nachbarraum
$\vartheta_e$	°C	Norm-Außentemperatur

Der Wärmeverlust zu beheizten Räumen, die auf einem anderen Temperaturniveau liegen, wird ebenfalls über einen Temperaturkorrekturfaktor abgeschätzt:

$$f_{ij} = \frac{\vartheta_{\text{int},i} - \vartheta_{\text{beheizterNachbarraum}}}{\vartheta_{\text{int},i} - \vartheta_e} \quad (32)$$

$f_{ij}$	-	Temperatur-Reduktionsfaktor für den Wärmeverlust zwischen einem beheizten Raum und einem beheizten Raum auf anderem Temperaturniveau
$\vartheta_{\text{beheizterNachbarraum}}$	°C	Temperatur des beheizten Nachbarraums
$\vartheta_{\text{int},i}$	°C	Norm-Innentemperatur
$\vartheta_e$	°C	Norm-Außentemperatur

Die Verluste zum Erdreich werden gemäß ÖNORM EN ISO 13370 [ONO08d] oder über ein vereinfachtes Verfahren berechnet.

Die Norm-Lüftungsverluste berechnen sich nach folgender Formel:

$$\phi_{V,i} = H_{V,i} \cdot (\vartheta_{\text{int},i} - \vartheta_e) \quad (33)$$

$\phi_{V,i}$	W	Norm-Lüftungswärmeverluste
$H_{V,i}$	W/K	Norm-Lüftungswärmeverlust-Koeffizient
$\vartheta_{\text{int},i}$	°C	Norm-Innentemperatur
$\vartheta_e$	°C	Norm-Außentemperatur

Der Norm-Lüftungswärmeverlust-Koeffizient berechnet sich dabei wie folgt:

$$H_{V,i} = \dot{V}_i \cdot \rho \cdot c_p \quad (34)$$

$H_{V,i}$	W/K	Norm-Lüftungswärmeverlust-Koeffizient
$\dot{V}_i$	m³/s	Lüftungsvolumenstrom
$\rho$	kg/m³	Dichte der Luft
$c_p$	J/kgK	spezifische Wärmekapazität der Luft

Der Zuluftvolumenstrom ergibt sich bei Räumen mit natürlicher Belüftung aus dem Maximum aus Infiltrationsvolumenstrom und hygienisch notwendigem Luftwechsel. In der ÖNORM H 7500 sind Mindestluftwechselzahlen für verschiedene Nutzungen angegeben. Für den Wohnraum wird z. B. eine Luftwechselzahl von 0,5 1/h angegeben.

Der Infiltrationsvolumenstrom wird nach folgender Formel berechnet:

$$\dot{V}_{\text{inf},i} = 2 \cdot n_{50} \cdot e_i \cdot \varepsilon_i \quad (35)$$

$\dot{V}_{\text{inf},i}$	m <sup>3</sup> /h	Infiltrationsvolumenstrom
$n_{50}$	1/h	Luftwechselrate bei einer Druckdifferenz von 50 Pa
$e_i$	-	Abschirmungskoeffizient
$\varepsilon_i$	-	Höhenkorrekturfaktor

Wobei der Höhenkorrekturfaktor bei Gebäuden mit einem Raumhöhenmittel bis 10 m über dem Erdreich gemäß ÖNORM H 7500 mit 1,0 angenommen werden kann. Der Abschirmungskoeffizient nimmt je nach Abschirmungsklasse Werte zwischen 0 und 0,05 an.

Bei Räumen mit mechanischer Belüftung wird der Zuluftvolumenstrom wie folgt berechnet:

$$\dot{V}_i = \dot{V}_{\text{inf},i} + \dot{V}_{\text{su},i} \cdot f_{V,i} + \dot{V}_{\text{mech,inf},i} \quad (36)$$

$\dot{V}_i$	m <sup>3</sup> /h	Lüftungsvolumenstrom
$\dot{V}_{\text{inf},i}$	m <sup>3</sup> /h	Infiltrationsvolumenstrom
$\dot{V}_{\text{su},i}$	m <sup>3</sup> /h	Zuluftvolumenstrom des Raumes
$f_{V,i}$	-	Temperaturreduktionsfaktor bei einer Temperaturerhöhung der Zuluft durch z. B. eine Wärmerückgewinnung
		$f_{V,i} = \frac{\vartheta_{\text{int},i} - \vartheta_{\text{su},i}}{\vartheta_{\text{int},i} - \vartheta_e}$
$\dot{V}_{\text{mech,inf},i}$	m <sup>3</sup> /h	Überschuss des Abluftvolumenstroms des Raumes

Gemäß ÖNORM EN 12831 kann zusätzlich eine Aufheizleistung berücksichtigt werden. Diese wird mit einem Aufheizfaktor in Abhängigkeit der Innentemperaturabsenkung sowie der Gebäudemasse und der gewünschten Aufheizzeit berechnet.

Die Norm-Heizlast ergibt sich somit zu:

$$\phi_i = \sum \phi_{T,i} + \sum \phi_{V,i} + \sum \phi_{RH,i} \quad (37)$$

$\phi_i$	W	Gesamt-Normwärmeverlust
$\phi_{T,i}$	W	Norm-Transmissionswärmeverlust
$\phi_{V,i}$	W	Norm-Lüftungswärmeverlust
$\phi_{RH,i}$	W	Aufheizleistung

## Berechnung der Heizlast von Niedrigstenergiegebäuden

Für die Planung von Passivhäusern liefert die Methodik der Heizlastberechnung nach ÖNORM EN ISO 12831 bzw. ÖNORM H 7500 unzureichend genaue Berechnungsergebnisse. Aufgrund der Vernachlässigung der inneren Lasten und der solaren Einstrahlung sind die errechneten Heizlasten zu hoch. Dies führt zu einer Überdimensionierung der Wärmeabgabe- und Wärmebereitstellungssysteme. Die Zuluftbeheizbarkeit von Passivhäusern kann bei wirtschaftlicher Dimensionierung der Bauteile in der Regel nicht nachgewiesen werden.

Um eine realitätsnahe Heizleistung berechnen zu können, ist es notwendig, die inneren Lasten (Geräte und Personen) in die Bilanzierung aufzunehmen. Bei einer stationären Berechnung kann die Leistung der Geräte und Personen über eine Einzahlangabe berücksichtigt werden. Eine zeitlich veränderliche Leistung kann dabei nicht berücksichtigt werden.

### 8.2.2 Nachweis der Zuluftbeheizbarkeit

Die immer besser werdenden Gebäudehüllen ermöglichen eine Beheizung der Räume ausschließlich über die Zuluft. Aufgrund der geringen Speicherkapazität von Luft kann die Zuluftbeheizbarkeit nur bei Gebäuden mit geringen Heizlasten sichergestellt werden. In der österreichischen Normung ist derzeit kein Nachweis über die Zuluftbeheizbarkeit von Gebäuden definiert.

### 8.2.3 Berechnung der Kühllast

Mit der Kühllastberechnung wird jene zeitlich veränderliche Leistung ermittelt, die unter Auslegungsbedingungen benötigt wird, um die operative Temperatur in Gebäuden unter einem definierten Maximalwert halten zu können. Die berechnete Kühllast ist die Grundlage für die Auslegung der für die Kühlung der Räume benötigten haustechnischen Anlage.

#### Berechnung nach ÖNORM EN 15255 [ONO07a]

Die Berechnung der Kühllast erfolgt in Österreich nach ÖNORM H 6040 [ONO12c] und wird derzeit überarbeitet. Diese Norm wird im November 2012 erscheinen. Grundlage für die neue ÖNORM H 6040 stellt die ÖNORM EN 15255 [ONO07a] dar.

In der ÖNORM EN 15255 [ONO07a] werden die Ein- und Ausgangsdaten für die Berechnung der wahrnehmbaren Kühllast festgelegt. Die Norm kann als Grundlage für die Berechnung der maximalen Kühllast und für die Bewertung des Temperaturprofils bei verringerter Kühlkapazität der Kühlanlage herangezogen werden. Sie ermöglicht außerdem die Analyse von Teillastbetrieben für die Auslegung und Regelung der Anlage.

Die Berechnung der Kühllast nach ÖNORM EN 15255 [ONO07a] wird für einen einzelnen Raum durchgeführt. Dabei wird angenommen, dass die Lufttemperatur über den gesamten Raum gleichförmig ist. Die Berechnung der Kühllast basiert auf stundenbezogenen Eingangswerten. Sowohl die Außenlufttemperatur und die solare Einstrahlung, die inneren Lasten durch Personen, Geräte und Beleuchtung, als auch Abluft- und Zuluftwechselrate sind zeitlich variabel.

Die ÖNORM EN 15255 schreibt keine spezifischen Verfahren für die Berechnung vor, sie beinhaltet jedoch ein Validierungsverfahren, anhand dessen die normgemäße Funktionsweise eines Berechnungsverfahrens überprüft werden kann. Folgende Parameter werden in dem Validierungsverfahren überprüft [ONO07a]:

- Wärmebilanz für die Außenoberfläche
- Wärmeleitung durch die Gebäudehülle
- Einfluss der thermischen Speicherkapazität des Bauwerkes
- Wärmebilanz für die Innenoberfläche
- Wärmebilanz für die Luft
- Lösungsverfahren für die Wärmebilanz

Die ÖNORM EN 15255 [ONO07a] beinhaltet eine Einstufung der Berechnungsverfahren in verschiedene Klassen.

Tabelle 28: Einstufung der Berechnungsverfahren gemäß ÖNORM EN 15255 [ONO07a]

Kühlanlagen, die im Eignungsbereich des Verfahrens liegen		Klasse des Berechnungsverfahrens			
		1	2	3	4
Reine Konvektionsanlage	Unbegrenzte Kühlkapazität, laufender Betrieb	v	v	v	v
	Unbegrenzte Kühlkapazität, laufender Betrieb oder Betrieb mit Unterbrechungen		v	v	v
	Begrenzte Kühlkapazität + bewegliche Sonnenschutzeinrichtung			v	v
Flächen- und Konvektionsanlage					v

Tabelle 29: Untereinstufung der Berechnungsverfahren gemäß ÖNORM EN 15255 [ONO07a]

Art der Regelung, die im Eignungsbereich des Verfahrens liegt	Teilkategorie	
	a	b
Lufttemperatur	v	v
Operative Temperatur		v

### Berechnung der Kühllast von Niedrigstenergiegebäuden

In der ÖNORM EN 15255 wird bereits ein Simulationsmodell für die Ermittlung der Kühllast vorgesehen. Die Berechnung erfolgt auf Stundenbasis, womit Lastgänge und Temperaturverläufe in der Simulation abgebildet werden können. Auf Grundlage der ÖNORM EN 15255 kann die Kühllast auch für Niedrigstenergiegebäude berechnet werden. In diesem Bericht erfolgt die Definition der benötigten Randbedingungen für die Ermittlung der Kühllast, mit dem Ziel ein einheitliches Verfahren für die Berechnung der Heizlast bzw. den Nachweis der Zuluftbeheizbarkeit und der Kühllast bzw. den Nachweis der Vermeidung sommerlicher Überwärmung zu schaffen.

#### 8.2.4 Nachweis der Vermeidung sommerlicher Überwärmung

Während man im Winter Energie aufwenden muss, um die Temperatur innerhalb eines Gebäudes auf einem behaglichen Niveau halten zu können, muss im Sommer die Überwärmung der Räume begrenzt werden. Die sommerliche Überwärmung eines Gebäudes stellt gerade in Zeiten, in denen Niedrigstenergiegebäude immer öfter umgesetzt werden, ein wichtiges Themengebiet im Hochbau dar. Anders als in Bürogebäuden, wo die Installation einer Kühlanlage aufgrund des hohen Wärmeeintrags durch Personen und Geräte oft unumgänglich ist, sollte in Wohngebäuden normalerweise darauf verzichtet werden.

Wird die Gefahr von überhöhten Raumtemperaturen in einer frühen Planungsphase erkannt, gibt es verschiedene Möglichkeiten, der Überwärmung entgegenzuwirken. Die Raumtemperatur innerhalb eines Gebäudes wird neben der Außentemperatur und der solaren Einstrahlung maßgeblich von den Eigenschaften der Gebäudehülle und den inneren Lasten bestimmt. Bautechnische Mittel zur Begrenzung der Raumüberwärmung stellen die Orientierung, Größe und Qualität der strahlungsdurchlässigen Flächen, die speicherwirksame Masse der raumumschließenden Bauteile, die Raumlüftung und der Sonnenschutz dar.

Berechnung nach ÖNORM B 8110-3 bzw. ÖNORM EN ISO 13791

Die ÖNORM B 8110-3 [ONO12a] trägt den Titel „Wärmeschutz im Hochbau – Vermeidung sommerlicher Überwärmung“ und ist in Österreich das maßgebende Normenwerk im Zusammenhang mit der sommerlichen Überwärmung von Gebäuden.

Der Anwendungsbereich der ÖNORM B 8110-3 [ONO12a] beschränkt sich auf Gebäude oder Räume, die dem dauernden oder vorübergehenden Aufenthalt von Menschen dienen und über keine mechanische Kühlung verfügen.

##### Normative Grenztemperaturen

Die ÖNORM B 8110-3 [ONO12a] betrachtet die sommerliche Überwärmung eines Raumes als vermieden, wenn die operative Temperatur die Grenzwerte von +27 °C unter Tags und +25 °C in der Nacht nicht überschreitet. Um nachzuweisen, dass diese Grenztemperaturen nicht überschritten werden, stellt die Norm zwei verschiedene Verfahren zur Verfügung:

- Nachweis über den Tagesverlauf der operativen Temperatur
- Nachweis über die mindesterforderliche speicherwirksame Masse (vereinfachtes Verfahren)

Gemäß [ONO12a] ist die Vermeidung der sommerlichen Überwärmung grundsätzlich über den Tagesverlauf der operativen Temperatur nachzuweisen. Bei Wohngebäuden darf jedoch unter folgenden Voraussetzungen das vereinfachte Verfahren angewandt werden:

- der Tagesmittelwert der Außentemperatur beträgt maximal 23 °C
- sämtliche Fenster können nachts offen gehalten werden

### Nachweis über den Tagesverlauf der operativen Temperatur

Der Nachweis der Unterschreitung der geforderten maximalen Temperaturen kann laut ÖNORM B 8110-3 [ONO12a] über die Berechnung des Tagesganges der operativen Temperaturen mithilfe eines Rechenprogrammes erfolgen, solange das verwendete Programm den Anforderungen der ÖNORM EN ISO 13791 [ONO12b] entspricht.

Die ÖNORM EN ISO 13791 schreibt keine spezifischen Techniken für die Berechnung vor, sie beinhaltet jedoch ein Validierungsverfahren, anhand dessen die normgemäße Funktionsweise eines Berechnungsverfahrens überprüft werden kann.

Der für die Berechnung zu verwendende Tagesmittelwert der Außenlufttemperatur wird nach ÖNORM B 8110-5 [ONO11] ermittelt und entspricht jener Temperatur, die am jeweiligen Standort (im langjährigen Mittel) nicht öfter als 13 Tage pro Jahr überschritten wird. Um einen Tagestemperaturverlauf zu erhalten, wird der Tagesmittelwert der Außenlufttemperatur mit einer in ÖNORM B 8110-3 angegebenen Amplitude überlagert.

In der ÖNORM B 8110-3 [ONO12a] ist die Nutzungsdauer eines Raumes nach der jeweiligen Nutzungsart genau festgelegt. Für die Berechnung der operativen Temperatur spielen die Nutzungsart und die Nutzungsdauer eines Raumes eine gewichtige Rolle, da sie das Lüftungsverhalten bzw. den Wärmeeintrag durch Personen und Geräte bestimmen.

### Nachweis über die mindesterforderliche speicherwirksame Masse

Wie oben beschrieben wird der Nachweis der Vermeidung sommerlicher Überwärmung durch die Berechnung des Tagesganges der operativen Temperatur erbracht. Die Norm geht jedoch auch davon aus, dass die geforderte Grenztemperatur unterschritten wird, wenn die immisionsflächenbezogene speicherwirksame Masse  $m_{w,l}$  größer ist, als in Tabelle 30 angegeben. Die erforderliche immisionsflächenbezogene speicherwirksame Masse ist dabei von dem immisionsflächenbezogenen stündlichen Luftvolumenstrom abhängig und muss für den kritischsten Einzelraum eines Gebäudes berechnet werden.

Tabelle 30: Erforderliche immisionsflächenbezogene speicherwirksame Masse  $m_{w,l,min}$  in Abhängigkeit vom immisionsflächenbezogenen stündlichen Luftvolumenstrom  $V_{L,s}$

Immisionsflächenbezogener stündlicher Luftvolumenstrom $V_{L,s}$ in $m^3/(h \cdot m^2)$	Immisionsflächenbezogene speicherwirksame Masse $m_{w,l,min}$ in $kg/m^2$
$\geq 100$	$\geq 2000$
75	$\geq 4000$
50	$\geq 8000$
immisionsflächenbezogene Luftvolumenströme von weniger als $50 m^3/(h \cdot m^2)$ sind grundsätzlich zu vermeiden	

#### Immisionsflächenbezogener stündlicher Luftvolumenstrom $V_{L,s}$

Der immisionsflächenbezogene stündliche Luftvolumenstrom  $V_{L,s}$  wird nach folgender Formel errechnet:

$$V_{L,s} = \frac{n_L \cdot V}{\sum A_i} \quad (38)$$

$V_{L,s}$	$m^3/m^2h$	immisionsflächenbezogener stündlicher Luftvolumenstrom
$n_L$	1/h	Luftwechselzahl
$V$	$m^3$	Volumen des Raumes
$A_i$	$m^2$	Immisionsfläche der Fläche i des Raumes

Die Immisionsfläche  $A_i$  wird gemäß nachstehender Formel berechnet:

$$A_i = F_{Sc} \cdot Z_{on} \cdot A_{AL} \cdot f_G \cdot F_c \cdot g \quad (39)$$

$A_i$	$m^2$	Immisionsfläche
$F_{Sc}$	-	Verschattungsfaktor für Umgebung, auskragende Bauteile
$Z_{on}$	-	Orientierungs- und Neigungsfaktor
$A_{AL}$	$m^2$	Architekturlichte der verbauten Fenster
$f_G$	-	Glasflächenanteil

$F_c$	-	Abminderungsfaktor für beweglichen Sonnenschutz
$g$	-	Gesamtenergie-Durchlassgrad

Je nach Orientierung und Neigung eines Gebäudes bzw. je nachdem, ob Abschattungseinrichtungen vorhanden sind oder nicht, gibt die ÖNORM B 8110-3 [ONO12a] Werte für die erforderlichen Faktoren an.

#### Immisionsflächenbezogene speicherwirksame Masse

Die speicherwirksame Masse eines Raumes setzt sich aus der Summe der speicherwirksamen Massen aller raumabschließenden Bauteile und der speicherwirksamen Masse der Einrichtungsgegenstände zusammen. Die speicherwirksame Masse der Bauteile wird dabei gemäß ÖNORM EN ISO 13786 ermittelt.

Für den vereinfachten Nachweis laut Norm muss die speicherwirksame Masse auf die Immisionsfläche  $A_I$  bezogen werden.

$$m_{w,I} = \frac{\sum m_{w,B} + m_{w,E}}{\sum A_I} \quad (40)$$

$m_{w,I}$	kg	gesamte speicherwirksame Masse
$m_{w,B}$	kg	speicherwirksame Masse eines Bauteils
$m_{w,E}$	kg	gesamte speicherwirksame Masse der Einrichtung
$A_I$	m <sup>2</sup>	Immisionsfläche

Mit der so ermittelten immisionsflächenbezogenen speicherwirksamen Masse  $m_{w,I}$  kann nun anhand von Tabelle 1 der Nachweis der Vermeidung sommerlicher Überwärmung erbracht werden.

#### Nachweis der Vermeidung sommerlicher Überwärmung für Niedrigstenergiegebäude

Die ÖNORM B 8110-3 [ONO12a] bietet mit dem Nachweis über den Tagesverlauf der operativen Temperatur bereits ein genaues Berechnungsverfahren für die Auslegung von Gebäuden ohne mechanische Kühlung. Der Nachweis über die Vermeidung sommerlicher Überwärmung kann auch für Niedrigstenergiegebäude erbracht werden.

#### 8.2.5 Umstieg von stationären Berechnungsmodellen auf dynamische Simulationsmodelle

Die Anforderungen an die Energieeffizienz von Gebäuden sind in den vergangenen Jahren stark gestiegen. Aufgrund des immer geringer werdenden Heizwärmebedarfs von Gebäuden bekommen die Wärmebereitstellungs-, Wärmespeicher-, Wärmevertei- und Wärmeabgabe-

verluste immer größere Bedeutung. Der prozentuelle Anteil des Heiztechnikenergiebedarfs und des Kühltechnikenergiebedarfs an dem Endenergiebedarf von Gebäuden ist bei modernen Niedrigstenergiegebäuden meist höher als der Heizwärme- bzw. Kühlbedarf. Um den Energiebedarf von Niedrigstenergiegebäuden weiter reduzieren zu können, bedarf es einer exakten Anpassung der gebäudetechnischen Anlage an die jeweiligen bauphysikalischen Gegebenheiten. Die in diesem Kapitel behandelte Modifikation der Auslegungsberechnungen soll eine genaue Dimensionierung der haustechnischen Anlage ermöglichen.

Ziel der Modifikation der Auslegungsberechnungen ist die möglichst exakte Abbildung des realen Gebäudeverhaltens unter gezielt ausgewählten Randbedingungen. Dies kann z. B. mit einer dynamischen Raumsimulation erreicht werden. In Simulationsprogrammen können Tagesverläufe der Außenlufttemperatur, der solaren Einstrahlung, der inneren Lasten durch Personen und Geräte usw. hinterlegt werden. Die Berücksichtigung der Speicherkapazität von Bauteilen ermöglicht die Nachbildung der thermischen Trägheit des Systems. Die Simulation führt somit zu einer realitätsnahen Abbildung des Raumverhaltens und ist daher für die Beantwortung von Fragestellungen mit erhöhter Anforderung an die Genauigkeit der Ergebnisse anwendbar.

Die Auslegung von Gebäuden mithilfe der dynamischen Raumsimulation ist zeitlich aufwendiger als die Auslegung mit stationären Berechnungsmodellen. Grund dafür ist einerseits der erhöhte Aufwand für die Definition der Randbedingungen, andererseits nimmt der eigentliche Rechenvorgang (Simulation) wesentlich mehr Zeit in Anspruch, als dies bei stationären Modellen der Fall ist. Wie bei jeder Berechnungsmethode muss der Benutzer von Auslegungsprogrammen die grundlegende Berechnungsmethodik bis ins Detail verstehen, um Berechnungsfehler vermeiden zu können. Die dynamische Raumsimulation ist hier wesentlich komplexer und erfordert ausgezeichnete Fachkenntnisse.



Die flächenbezogene wirksame Wärmekapazität ist der Koeffizient, der die Amplitude der Temperaturschwingung mit der Amplitude des Wärmestroms verknüpft. Je größer die Periodendauer ist (statt Tagesschwingungen, Wochenschwingungen oder Monatsschwingungen), desto größere Bereiche wirken an der Wärmespeicherung mit und die wirksame Wärmekapazität wird größer. Die flächenbezogene wirksame Feuchtekapazität ist der Koeffizient, der die Amplitude der Feuchteschwingung mit der Amplitude des Feuchtestroms verknüpft. Die Definition der Kapazität ergibt sich aus den folgenden Gleichungen.

$$Q = \chi \cdot 2 \cdot \hat{T} = \int_0^{t_p} \max(q(t), 0) \cdot dt \quad M = \chi_m \cdot 2 \cdot \hat{c} = \int_0^{t_p} \max(m(t), 0) \cdot dt \quad (41)$$

Ausgangspunkt der Berechnung der Kapazität einer Schichtenfolge ist der Zusammenhang zwischen einer sinusförmigen Temperaturamplitude und der Wärmestromamplitude auf den beiden Seiten einer Schichte.

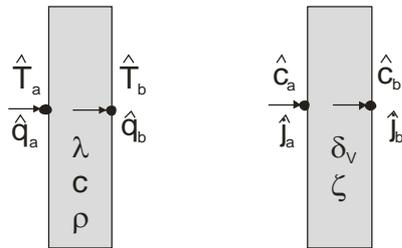


Abbildung 19: Modell einer Schicht mit den Amplituden der thermischen/hygrischen Größen

$$\begin{pmatrix} \hat{T}_b \\ \hat{q}_b \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} Z_{11} & Z_{12} \\ Z_{21} & Z_{22} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \hat{T}_a \\ \hat{q}_a \end{pmatrix} \quad \begin{pmatrix} \hat{c}_b \\ \hat{j}_b \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} W_{11} & W_{12} \\ W_{21} & W_{22} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \hat{c}_a \\ \hat{j}_a \end{pmatrix} \quad (42)$$

Zur Bestimmung der Elemente der Matrix wird die periodische Eindringtiefe benötigt.

$$\delta = \sqrt{\frac{\lambda \cdot t_p}{\pi \cdot \rho \cdot c}} \quad \xi = \frac{d}{\delta} \quad \delta_m = \sqrt{\frac{\delta_v \cdot t_p}{\pi \cdot \zeta}} \quad \xi_m = \frac{d}{\delta_m} \quad (43)$$

Die Elemente der Matrix ergeben sich durch folgende Gleichungen:

$$Z_{11} = Z_{22} = \cosh(\xi) \cdot \cos(\xi) + j \cdot \sinh(\xi) \cdot \sin(\xi) \quad (44)$$

$$Z_{12} = -\frac{\delta}{2\lambda} (\sinh(\xi) \cdot \cos(\xi) + \cosh(\xi) \cdot \sin(\xi) + j \cdot [\cosh(\xi) \cdot \sin(\xi) - \sinh(\xi) \cdot \cos(\xi)]) \quad (45)$$

$$Z_{21} = -\frac{\lambda}{\delta} (\sinh(\xi) \cdot \cos(\xi) - \cosh(\xi) \cdot \sin(\xi) + j \cdot [\sinh(\xi) \cdot \cos(\xi) + \cosh(\xi) \cdot \sin(\xi)]) \quad (46)$$

$$W_{11} = W_{22} = \cosh(\xi_m) \cdot \cos(\xi_m) + j \cdot \sinh(\xi_m) \cdot \sin(\xi_m) \quad (47)$$

$$W_{12} = -\frac{\delta_m}{2\delta_v} (\sinh(\xi_m) \cdot \cos(\xi_m) + \cosh(\xi_m) \cdot \sin(\xi_m) + j \cdot [\cosh(\xi_m) \cdot \sin(\xi_m) - \sinh(\xi_m) \cdot \cos(\xi_m)]) \quad (48)$$

$$W_{21} = -\frac{\delta_v}{\delta_m} (\sinh(\xi_m) \cdot \cos(\xi_m) - \cosh(\xi_m) \cdot \sin(\xi_m) + j \cdot [\sinh(\xi_m) \cdot \cos(\xi_m) + \cosh(\xi_m) \cdot \sin(\xi_m)]) \quad (49)$$

Für einen Schichtenaufbau ergibt sich die Gesamtmatrize durch Multiplikation der Schichtmatrizen. Da der Wärmeübergang von der Raumluft an den Bauteil eine Schichte darstellt, die keine Wärmekapazität besitzt, wird für die Übergangsmatrizen folgender Grenzwert benötigt.

$$\begin{pmatrix} \hat{T}_b \\ \hat{q}_b \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & -R_t \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \hat{T}_a \\ \hat{q}_a \end{pmatrix} \quad \begin{pmatrix} \hat{C}_b \\ \hat{j}_b \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & -R_m \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \hat{C}_a \\ \hat{j}_a \end{pmatrix} \quad R_m = \frac{s_d}{\delta_0} \quad (50)$$

Damit ergibt sich für einen Schichtenaufbau zusammen mit den beiden Übergängen folgende Darstellung:

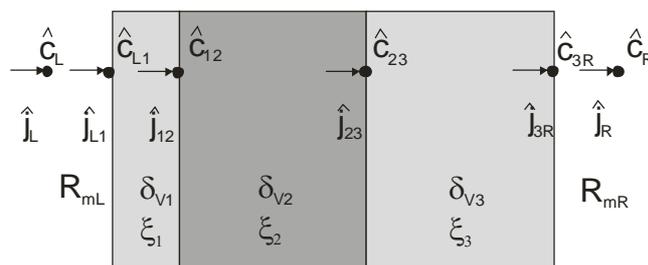


Abbildung 20: Thermisches Modell mit n Schichten

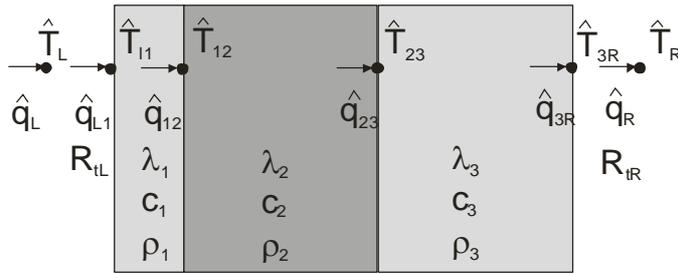


Abbildung 21: Hygrisches Modell mit n Schichten

$$\begin{pmatrix} \hat{T}_R \\ \hat{q}_R \end{pmatrix} = Z_R \cdot Z_3 \cdot Z_2 \cdot Z_1 \cdot Z_L \cdot \begin{pmatrix} \hat{T}_L \\ \hat{q}_L \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} Z_{11} & Z_{12} \\ Z_{21} & Z_{22} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \hat{T}_L \\ \hat{q}_L \end{pmatrix} \quad (51)$$

$$\begin{pmatrix} \hat{C}_R \\ \hat{j}_R \end{pmatrix} = W_R \cdot W_3 \cdot W_2 \cdot W_1 \cdot W_L \cdot \begin{pmatrix} \hat{C}_L \\ \hat{j}_L \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} W_{11} & W_{12} \\ W_{21} & W_{22} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \hat{C}_L \\ \hat{j}_L \end{pmatrix} \quad (52)$$

### Ermittlung der wirksamen Wärmekapazität für die Ermittlung des Ausnutzungsgrades von Gewinnen (ÖNORM EN ISO 13790) bzw. der wirksamen hygrischen Kapazität

Um mit den obigen Formeln die flächenbezogene wirksame Wärmekapazität eines Bauteils ermitteln zu können, muss die Randbedingung auf der raumabgewandten Oberfläche festgelegt werden. Für den Fall der Berechnung der wirksamen Wärmekapazität zur Bestimmung des Heizwärme- und Kühlbedarfs wird festgelegt, dass an beiden Oberflächen dieselbe Temperaturamplitude existiert. Dies bedeutet,  $T_L = T_R$  und die Wärmekapazität kann mit folgender Formel ermittelt werden. Die Übergangswiderstände werden in diesem Fall mitgerechnet.

$$\chi = \frac{t_p}{2\pi} \left| \frac{Z_{11} - 1}{Z_{12}} \right| \quad Z = Z_R \cdot Z_i \cdot \dots \cdot Z_2 \cdot Z_1 \cdot Z_L \quad (53)$$

$$\chi_m = \frac{t_p}{2\pi} \left| \frac{W_{11} - 1}{W_{12}} \right| \quad W = W_R \cdot W_i \cdot \dots \cdot W_2 \cdot W_1 \cdot W_L \quad (54)$$

#### 8.3.2 Temperaturen

Der Außenlufttemperaturverlauf wird für den Winter- und Sommerfall in Kapitel 8.4 bzw. 8.7 hergeleitet. In der Beschreibung des Raummodells wird die Außenlufttemperatur durchgän-

gig mit  $\vartheta_{e,air}$  benannt. Die Strahlungstemperatur des Himmels wird in Abhängigkeit der Lufttemperatur vereinfacht nach folgendem Zusammenhang berechnet:

$$\vartheta_{e,rad} = f_{sky} \cdot (\vartheta_{e,air} - \Delta\vartheta_{e,rad}) + (1 - f_{sky}) \cdot \vartheta_{e,air} \quad (55)$$

$\vartheta_{e,rad}$	°C	Strahlungstemperatur des Himmels
$f_{sky}$	-	Sichtfaktor zum Himmel
$\Delta\vartheta_{e,rad}$	K	10 K
$\vartheta_{e,air}$	°C	Außenlufttemperatur

Die mittlere Strahlungstemperatur in einem Raum wird nach folgender Gleichung berechnet:

$$\vartheta_{i,rad} = \frac{\sum_{k=1}^n \vartheta_{i,surf,k} \cdot A_k + \sum_{f=1}^n \vartheta_{i,f} \cdot A_f + \sum \phi_{IL,r} / h_{i,r}}{\sum_{k=1}^n A_k + \sum_{k=1}^n A_f} \quad (56)$$

$\vartheta_{i,rad}$	°C	Strahlungstemperatur im Raum
$\vartheta_{i,surf,k}$	°C	innere Oberflächentemperatur des Bauteils k
$A_k$	m <sup>2</sup>	Fläche des Bauteils k
$A_f$	m <sup>2</sup>	Fläche des Fensters
$\vartheta_{i,f}$	°C	Oberflächentemperatur an der inneren Oberfläche der Verglasung
$\phi_{IL,r}$	W	Wärmestrom zufolge Strahlung innerer Lasten
$h_{i,r}$	Wm <sup>2</sup> /K	Wärmeübergangskoeffizient für Strahlung an der Innenseite

Die mittlere Lufttemperatur in einem Raum wird durch folgende Differenzialgleichung ermittelt:

$$\frac{\partial \vartheta_{i,air}(t)}{\partial t} = \frac{\sum \phi(t)}{C_E} \quad \text{mit} \quad C_E = 38 \cdot 1046,7 \cdot A_{Boden} \quad [\text{ONO12b}]$$

bzw. für die Lösung mit dem Zeitschrittverfahren:

$$\Delta\vartheta_{i,air} = \vartheta_{i,air,i} - \vartheta_{i,air,i-1} = \frac{\sum \phi_{L,c} + \sum \phi_{k,c} + \sum \phi_{f,c} + \sum \phi_{LW} + \sum \phi_{heat,c} + \sum \phi_{cool,c}}{C_E} \cdot \Delta t \quad (57)$$

$\Delta\vartheta_{i,air}$	K	Lufttemperatur im Raum
$\vartheta_{i,air,i}$	°C	mittlere Lufttemperatur im Raum zum Zeitpunkt i
$\vartheta_{i,air,i-1}$	°C	mittlere Lufttemperatur im Raum zum Zeitpunkt i-1

$\phi_{IL,c}$	W	Wärmestrom zufolge konvektiver Wärmeabgabe innerer Lasten
$\phi_{k,c}$	W	Wärmestrom zufolge konvektiver Wärmeabgabe innerer Lasten
$\phi_{f,c}$	W	Wärmestrom zufolge konvektiver Wärmeabgabe an Fensterflächen
$\phi_{LW}$	W	Wärmestrom durch Luftwechsel
$\phi_{heat,c}$	W	Wärmestrom zur konvektiven Kühlung (z.B. über die Lüftungsanlage)
$\phi_{cool,c}$	W	Wärmestrom zur konvektiven Heizung (z.B. über die Lüftungsanlage)
$C_E$	J/K	wirksame Wärmespeicherkapazität der Einrichtung
$A_{Boden}$	m <sup>2</sup>	Bodenfläche des Raumes
$\Delta t$	s	Zeitschrittweite

Es wird dabei angenommen, dass der Wärmeeintrag zufolge solarer Einstrahlung zu 10 % konvektiv und zu 90 % durch Strahlung erfolgt. Für die inneren Lasten aus Personen und Geräten werden der konvektive und der strahlende Anteil mit jeweils 50 % angenommen.

Aus der Strahlungs- und Lufttemperatur kann die operative Temperatur in einem Raum wie folgt angenähert werden:

$$\vartheta_{op} = \frac{\vartheta_{i,air} + \vartheta_{i,rad}}{2} \quad (58)$$

$\vartheta_{op}$	°C	operative Temperatur
$\vartheta_{i,air}$	°C	mittlere Lufttemperatur im Raum
$\vartheta_{i,rad}$	°C	mittlere Strahlungstemperatur im Raum

### 8.3.3 Opake Bauteile

Für die Berechnung des Wärmestroms durch ein Bauteil wird an der Außenseite eine effektive Temperatur verwendet.

$$\vartheta_{e,eff,k} = \vartheta_{e,air} + \frac{1}{h_c + h_r} \cdot (I_{g,k} \cdot \alpha_{sol} + h_r \cdot (\vartheta_{e,rad} - \vartheta_{e,air})) \quad (59)$$

$\vartheta_{e,eff,k}$	°C	effektive Temperatur an der Außenseite von Bauteilen
$\vartheta_{e,air}$	°C	Außenlufttemperatur
$h_{e,c}$	W/m <sup>2</sup> K	konvektiver Wärmeübergangskoeffizient an der Außenseite
$h_{e,r}$	W/m <sup>2</sup> K	Wärmeübergangskoeffizient für Strahlung an der Außenseite

$I_{g,k}$	W/m <sup>2</sup>	Globalstrahlung auf die Bauteiloberfläche k
$\alpha_{sol}$	-	Absorptionskoeffizient für Solarstrahlung
$\vartheta_{e,rad}$	°C	Strahlungstemperatur des Himmels

Für die kurzweilige Einstrahlung ist für die Außenseite der opaken Außenbauteile ein der äußeren Oberfläche entsprechender Absorptionsgrad für kurzweilige Strahlung anzusetzen. Ist der Absorptionsgrad nicht bekannt, kann der Wert 0,5 verwendet werden [ONO12a]. Für den konvektiven Wärmeübergang an der Außenseite kann der Übergangskoeffizient mit 20 W/m<sup>2</sup>K angesetzt werden. Der Übergangskoeffizient für Strahlung kann mit 5 W/m<sup>2</sup>K angenommen werden.

Das thermische Verhalten von opaken Bauteilen kann über ein Zwei-Kapazitäten-Modell angenähert werden. Dieses liefert für die gegebene Problemstellung ausreichend genaue Ergebnisse. Soll eine wärmeabgebende Schicht in einem Bauteil berücksichtigt werden, so ist der Umstieg auf ein Modell mit einer höheren Anzahl von Kapazitäten empfehlenswert. Damit steigen jedoch die benötigte Rechenleistung und die Berechnungsdauer. Im Folgenden wird daher das Zwei-Kapazitäten-Modell beschrieben.

Die Speicherkapazität der Bauteile wird nach ÖNORM EN ISO 13786 [ONO07b] ermittelt. Da es sich um ein Zwei-Kapazitäten-Modell handelt, werden eine Wärmekapazität für die Innenoberfläche und eine Kapazität für die Außenoberfläche benötigt.

In Abbildung 22 ist das verwendete Bauteilmodell schematisch dargestellt.

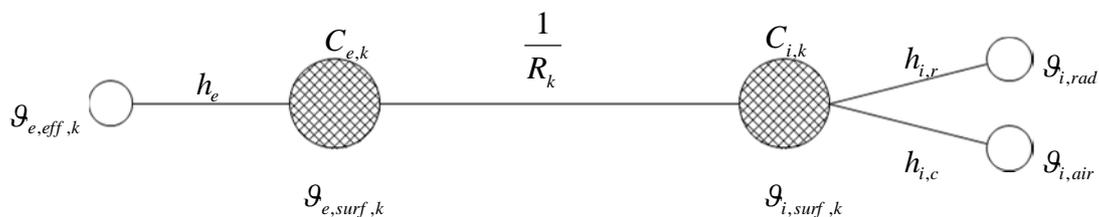


Abbildung 22: Schema des Zwei-Kapazitäten-Modells für opake Bauteile

### Wärmetransport durch opake Bauteile

Der Wärmetransport durch opake Bauteile zufolge Transmission wird nach folgender Gleichung berechnet:

$$\phi_{T,k} = \left( \frac{1}{R_k} + \Delta U_{WB} \right) \cdot (\vartheta_{e,surf,k} - \vartheta_{i,surf,k}) \cdot A_k \quad (60)$$

$\phi_{T,k}$	W	Wärmestrom zufolge Transmission durch den Bauteil k
$R_k$	m <sup>2</sup> K/W	Wärmedurchgangswiderstand des Bauteils k
$\Delta U_{WB}$	W/m <sup>2</sup> K	Wärmebrückenzuschlag

$\vartheta_{e,surf,k}$	°C	äußere Oberflächentemperatur des Bauteils k
$\vartheta_{i,surf,k}$	°C	innere Oberflächentemperatur des Bauteils k
$A_k$	m <sup>2</sup>	Fläche des Bauteils k

Der Wärmeübergang an der Außenoberfläche eines opaken Bauteils wird nach folgender Gleichung berechnet:

$$\phi_{e,k} = h_e \cdot (\vartheta_{e,eff,k} - \vartheta_{e,surf,k}) \cdot A_k \quad \text{mit} \quad h_e = h_{e,c} + h_{e,r} \quad (61)$$

$\phi_{e,k}$	W	Wärmestrom zufolge Konvektion und Strahlung
$h_e$	W/m <sup>2</sup> K	gemeinsamer Wärmeübergangskoeffizient für Konvektion und Strahlung
$h_{e,c}$	W/m <sup>2</sup> K	konvektiver Wärmeübergangskoeffizient
$h_{e,r}$	W/m <sup>2</sup> K	Wärmeübergangskoeffizient für Strahlung
$\vartheta_{e,surf,k}$	°C	äußere Oberflächentemperatur des Bauteils k
$\vartheta_{e,eff,k}$	°C	effektive Temperatur an der Außenseite von Bauteilen
$A_k$	m <sup>2</sup>	Fläche des Bauteils k

Der Wärmeübergang an der Innenoberfläche eines opaken Bauteils zufolge Konvektion wird nach folgender Gleichung berechnet.

$$\phi_{i,c,k} = h_{i,c} \cdot (\vartheta_{i,surf,k} - \vartheta_{i,air}) \cdot A_k \quad (62)$$

$\phi_{i,c,k}$	W	Wärmestrom zufolge Konvektion an der Innenseite
$h_{i,c}$	W/K	Wärmeübergangskoeffizient für Konvektion an der Innenseite
$\vartheta_{i,surf,k}$	°C	innere Oberflächentemperatur des Bauteils
$\vartheta_{i,air}$	°C	Lufttemperatur im Raum
$A_k$	m <sup>2</sup>	Fläche des Bauteils k

Der konvektive Wärmeübergangskoeffizient ist von der Richtung des Wärmestroms abhängig. Verläuft der Wärmestrom horizontal, wird ein konvektiver Übergangskoeffizient von 2,5 W/m<sup>2</sup>K angenommen. Für einen Wärmestrom von oben nach unten (abwärts) wird ein Übergangskoeffizient von 0,7 W/m<sup>2</sup>K angesetzt. Verläuft der Wärmestrom aufwärts, beträgt der Wärmeübergangskoeffizient 5 W/m<sup>2</sup>K.

Der Wärmeübergang an der Innenoberfläche eines opaken Bauteils zufolge Strahlung wird nach folgender Gleichung berechnet:

$$\phi_{i,r,k} = h_{i,r} \cdot (\vartheta_{i,surf,k} - \vartheta_{i,rad}) \cdot A_k \quad (63)$$

$\phi_{i,r,k}$	W	Wärmestrom zufolge Konvektion an der Innenseite
$h_{i,r}$	W/m <sup>2</sup> K	Wärmeübergangskoeffizient für Konvektion an der Innenseite
$\vartheta_{i,surf,k}$	°C	innere Oberflächentemperatur des Bauteils
$\vartheta_{i,rad}$	°C	Innenlufttemperatur
$A_k$	m <sup>2</sup>	Fläche des Bauteils k

Der Wärmeübergangskoeffizient für Strahlung ist unabhängig von der Richtung des Wärmestroms und wird mit 5 W/m<sup>2</sup>K angesetzt.

Für den Wärmeübergang an innenliegenden Bauteilen sind an beiden Oberflächen die Übergangskoeffizienten für Innenoberflächen  $h_{i,c}$  und  $h_{i,r}$  anzusetzen.

#### Berechnung der Oberflächentemperaturen

Die Oberflächentemperaturen der einzelnen Bauteile werden durch Lösung der folgenden Differentialgleichung berechnet:

$$\frac{\partial \vartheta_{surf,k}(t)}{\partial t} = \frac{\sum \phi_k(t)}{C_k} \quad \text{mit} \quad C_k = \chi_k \cdot A_k \quad (64)$$

Die Änderung der Oberflächentemperaturen kann nach folgenden Gleichungen mit dem Zeitschrittverfahren berechnet werden:

$$\Delta \vartheta_{i,surf,k} = \vartheta_{i,surf,k,i} - \vartheta_{i,surf,k,i-1} = \frac{\phi_{i,c} + \phi_{i,r} - \phi_{T,k}}{C_{i,k}} \cdot \Delta t \quad \dots \text{für die Innenwandoberfläche} \quad (65)$$

bzw.

$$\Delta \vartheta_{e,surf,k} = \vartheta_{e,surf,k,i} - \vartheta_{e,surf,k,i-1} = \frac{\phi_e - \phi_{T,k}}{C_{e,k}} \cdot \Delta t \quad \dots \text{für die Außenwandoberfläche} \quad (66)$$

$\Delta \vartheta_{i,surf,k}$	K	Änderung der inneren Oberflächentemperatur
$\Delta \vartheta_{e,surf,k}$	K	Änderung der äußeren Oberflächentemperatur
$\vartheta_{i,surf,k,i}$	°C	Innenoberflächentemperatur zum Zeitpunkt i
$\vartheta_{i,surf,k,i-1}$	°C	Innenoberflächentemperatur zum Zeitpunkt i-1
$\vartheta_{e,surf,k,i}$	°C	Außenoberflächentemperatur zum Zeitpunkt i
$\vartheta_{e,surf,k,i-1}$	°C	Außenoberflächentemperatur zum Zeitpunkt i-1
$\phi_{i,c,k}$	W	Wärmestrom zufolge Konvektion an der Innenoberfläche
$\phi_{i,r,k}$	W	Wärmestrom zufolge Strahlung an der Innenoberfläche
$\phi_{T,k}$	W	Wärmestrom zufolge Transmission
$\phi_{e,k}$	W	Wärmestrom zufolge Konvektion und Strahlung an der Außenoberfläche

$C_i$	J/K	wirksame Wärmespeicherkapazität an Innenseite
$C_e$	J/K	wirksame Wärmespeicherkapazität an Innenseite
$\Delta t$	s	Zeitschrittweite

### 8.3.4 Fenster

Das Modell für den Wärmetransport durch die Fenster ist dem Modell für die opaken Bauteile ähnlich. Aufgrund der geringen Masse der Verglasung kann jedoch vereinfachend auf die Berücksichtigung der Wärmespeicherkapazität der Fenster verzichtet werden. Im Gegensatz zu den opaken Bauteilen muss bei transparenten Flächen der Wärmeeintrag durch solare Einstrahlung berücksichtigt werden.

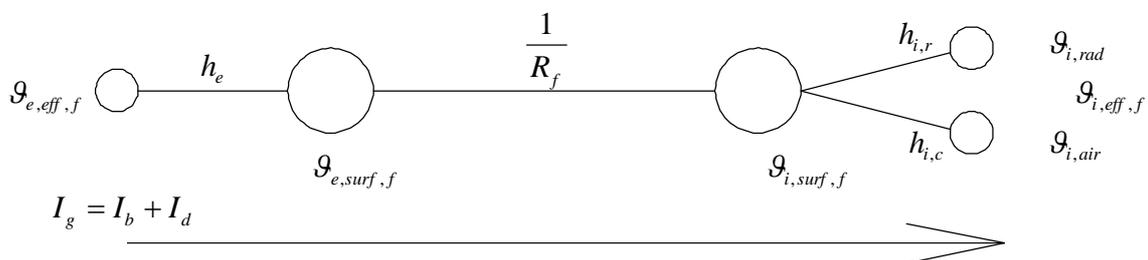


Abbildung 23: Schema des Fenstermodells

#### Wärmetransport durch transparente Bauteile

Der Wärmestrom zufolge Transmission durch eine Verglasung wird wie folgt ermittelt:

$$\phi_{f,c} = h_{i,c} \cdot (g_{i,air} - g_{i,surf,f}) \cdot A_f \quad (67)$$

$\phi_{f,c}$	W	Wärmestrom durch Konvektion an der Innenoberfläche der Verglasung
$g_{i,surf,f}$	°C	Oberflächentemperatur an der inneren Oberfläche der Verglasung
$g_{i,air}$	°C	Lufttemperatur im Raum
$h_{i,c}$	W/m²K	Wärmeübergangskoeffizient für Konvektion
$A_f$	m²	Fläche des Fensters

Die Oberflächentemperatur an der Innenseite einer Verglasung kann dabei nach folgender Formel berechnet werden:

$$g_{i,surf,f} = g_{i,eff,f} - (g_{i,eff,f} - g_{e,eff,f}) \cdot \frac{1}{R_f} \cdot \frac{1}{h_{i,r} + h_{i,c}} \quad (68)$$

$g_{i,surf,f}$	°C	Oberflächentemperatur an der inneren Oberfläche der Verglasung
----------------	----	--

$\vartheta_{i,eff,f}$	°C	effektive Oberflächentemperatur an der Innenoberfläche der Verglasung
$\vartheta_{e,eff,f}$	°C	effektive Oberflächentemperatur an der Außenoberfläche der Verglasung
$R_f$	m <sup>2</sup> K/W	Wärmedurchgangswiderstand durch das Fenster
$h_{i,r}$	W/m <sup>2</sup> K	Wärmeübergangskoeffizient für Strahlung
$h_{i,c}$	W/m <sup>2</sup> K	Wärmeübergangskoeffizient für Konvektion

Die effektive Temperatur an der Innenseite einer Verglasung kann durch folgende Gleichung angenähert werden:

$$\vartheta_{i,eff,f} = \vartheta_{i,air} + \frac{h_{i,r}}{h_{i,r} + h_{i,c}} \cdot (\vartheta_{i,rad} - \vartheta_{i,air}) \quad (69)$$

$\vartheta_{i,eff,f}$	°C	effektive Oberflächentemperatur an der Innenoberfläche der Verglasung
$\vartheta_{i,air}$	°C	Lufttemperatur im Raum
$h_{i,r}$	W/m <sup>2</sup> K	Wärmeübergangskoeffizient für Strahlung
$h_{i,c}$	W/m <sup>2</sup> K	Wärmeübergangskoeffizient für Konvektion
$\vartheta_{i,rad}$	°C	Strahlungstemperatur im Raum

Die effektive Temperatur an der Außenoberfläche von Verglasungen kann wie folgt berechnet werden:

$$\vartheta_{e,eff,f} = \vartheta_{e,air} + \frac{0,84 \cdot 5,6}{h_e} \cdot (\vartheta_{e,rad} - \vartheta_{e,air}) \quad (70)$$

$\vartheta_{e,eff,f}$	°C	effektive Oberflächentemperatur an der Außenoberfläche der Verglasung
$\vartheta_{e,air}$	°C	Außenlufttemperatur
$h_e$	W/m <sup>2</sup> K	gemeinsamer Wärmeübergangskoeffizient für Konvektion und Strahlung an der Außenseite des Fensters
$\vartheta_{e,rad}$	°C	Strahlungstemperatur des Himmels

Der Wärmeeintrag durch solare Einstrahlung wird über folgenden Zusammenhang beschrieben:

$$\phi_{i,sol} = (I_b \cdot r_b(\omega) + I_d \cdot r_d(\omega)) \cdot A_g \cdot g \cdot F_c \cdot F_{Sc} \quad \dots \text{mit Sonnenschutz bzw. Blendschutz} \quad (71)$$

bzw.

$$\phi_{i,sol} = (I_b + I_d) \cdot A_g \cdot g \cdot F_c \cdot F_{Sc} \quad \dots \text{ ohne Sonnenschutz bzw. Blendschutz} \quad (72)$$

$\phi_{i,sol}$	W	Wärmeeintrag durch solare Einstrahlung
$I_b$	W/m <sup>2</sup>	Direktstrahlung an der Außenseite der Verglasung
$I_d$	W/m <sup>2</sup>	Diffusstrahlung an der Außenseite der Verglasung
$A_g$	m <sup>2</sup>	Glasfläche
$g$	-	Gesamtenergiedurchlassgrad
$F_c$	-	Abminderungsfaktor des beweglichen Sonnenschutzes in Kombination mit der Verglasung
$F_{Sc}$	-	Verschattungsfaktor für Umgebung, auskragende Bauteile, Laibungsrücksprung
$r_b(\omega)$	-	winkelabhängiger Reduktionsfaktor für die Direktstrahlung
$r_d(\omega)$	-	Reduktionsfaktor für die Direktstrahlung

Für die Berechnung des Wärmeeintrags zufolge Strahlung wird das Modell aus der ÖNORM B 8110-3 [ONO12a] herangezogen. Dieses berücksichtigt die Abminderung des Strahlungstransmissionsgrades bei schräg einfallender Sonnenstrahlung. Der Strahlungstransmissionsgrad für direkte Sonnenstrahlung von Verglasungen ist für einen Einfallswinkel der Strahlung normal zur Scheibe definiert. Das Modell berücksichtigt einen Reduktionsfaktor in Abhängigkeit vom Einfallswinkel der solaren Einstrahlung. Die Abhängigkeit des Reduktionsfaktors für den Strahlungstransmissionsgrad  $r_B(\omega)$  lässt sich für die einfallende Direktstrahlung gemäß folgender Formel darstellen:

$$r_b(\omega) = \frac{\tau_e(\omega)}{\tau_e(0)} = 1 - (1 - \cos \omega)^\varepsilon \quad (73)$$

$r_b(\omega)$	-	Reduktionsfaktor für den Strahlungstransmissionsgrad bei Direktstrahlung
$\tau_e(\omega)$	-	Transmissionsgrad in Abhängigkeit des Einfallswinkels
$\tau_e(0)$	-	Transmissionsgrad bei senkrechter Einstrahlung auf die Verglasung
$\omega$	°/rad	Einfallswinkel der Solarstrahlung auf die Verglasung
$\varepsilon$	-	Exponent der Verglasung in Abhängigkeit der Glasart

Durch den Exponenten  $\varepsilon$  wird die Reduktion des Strahlungstransmissionsgrades in Abhängigkeit von der Verglasungsart bestimmt und kann aus dem winkelabhängigen g-Wert Angaben von Herstellern abgeleitet werden. [ONO12a]

Für die diffuse Einstrahlung kann der Abminderungsfaktor für den Strahlungstransmissionsgrad  $r_D(\omega)$  wie folgt ermittelt werden:

$$r_d(\omega) = \frac{\varepsilon \cdot (\varepsilon + 3)}{(\varepsilon + 1) \cdot (\varepsilon + 2)} \quad (74)$$

$r_b(\omega)$	-	Reduktionsfaktor für den Strahlungstransmissionsgrad bei Diffusstrahlung
$\varepsilon$	-	Exponent der Verglasung in Abhängigkeit der Glasart

Es ist zu beachten, dass die Abminderung des Energieeintrags bei verwendetem Sonnen- oder Blendschutz über die Reduktionsfaktoren nicht zu berücksichtigen ist.

### 8.3.5 Luftwechsel

Hinsichtlich des Luftwechsels muss in zwei Fälle unterschieden werden:

- hygienisch notwendiger Luftwechsel wird über eine mechanische Lüftungsanlage sichergestellt
- hygienisch notwendiger Luftwechsel wird über Fensterlüftung sichergestellt

Der Wärmeaustausch aufgrund des Luftwechsels zwischen Innen und Außen setzt sich aus folgenden Anteilen zusammen:

$$\phi_{LW} = \max(\phi_{LW,inf}; \phi_{LW,hyg}) + \phi_{LW,fen} \quad \dots \text{ohne mechanischer Lüftungsanlage} \quad (75)$$

bzw.

$$\phi_{LW} = \phi_{LW,inf} + \phi_{LW,mech} + \phi_{LW,fen} \quad \dots \text{mit mechanischer Lüftungsanlage} \quad (76)$$

$\phi_{LW}$	W	Wärmestrom zufolge Luftwechsel
$\phi_{LW,inf}$	W	Wärmestrom zufolge Infiltrationsluftwechsel
$\phi_{LW,hyg}$	W	Wärmestrom zufolge hygienischem Luftwechsel
$\phi_{LW,fen}$	W	Wärmestrom zufolge Luftwechsel über die Fenster
$\phi_{LW,mech}$	W	Wärmestrom zufolge Luftwechsel über die mechanische Lüftungsanlage

### Wärmeaustausch zufolge Infiltration

Die Höhe des anzusetzenden Infiltrationsvolumenstroms wird im Zuge der Definition der Randbedingungen für die Auslegungsberechnungen festgelegt. In dem Simulationsmodell wird der Wärmeaustausch durch den Infiltrationsluftwechsel wie folgt berechnet:

$$\phi_{LW,inf} = 0,34 \cdot V_{inf}^{\square} \cdot (g_{e,air} - g_{i,air}) \quad (77)$$

$\phi_{LW,inf}$	W	Wärmestrom zufolge Infiltrationsluftwechsel
$V_{inf}^{\square}$	m <sup>3</sup> /h	Infiltrationsvolumenstrom

$\vartheta_{e,air}$	°C	Außenlufttemperatur
$\vartheta_{i,air}$	°C	Innenlufttemperatur

#### Wärmeaustausch zufolge hygienischem Luftwechsel

Die Höhe des anzusetzenden hygienischen Luftwechsels wird im Zuge der Definition der Randbedingungen für die Auslegungsberechnungen festgelegt. In dem Simulationsmodell wird der Wärmeaustausch durch den hygienischen Luftwechsel wie folgt berechnet:

$$\phi_{LW,hyg} = 0,34 \cdot V_{hyg} \cdot (\vartheta_{e,air} - \vartheta_{i,air}) \quad (78)$$

$\phi_{LW,hyg}$	W	Wärmestrom zufolge Infiltrationsluftwechsel
$V_{hyg}$	m <sup>3</sup> /h	Volumenstrom zufolge hygienischem Luftwechsel
$\vartheta_{e,air}$	°C	Außenlufttemperatur
$\vartheta_{i,air}$	°C	Innenlufttemperatur

#### Wärmeaustausch zufolge Fensterluftwechsel

Der Luftwechsel über geöffnete oder gekippte Fenster wird nach folgender Gleichung berechnet:

$$\phi_{LW, fen} = 0,34 \cdot 0,7 \cdot C_{ref} \cdot A \cdot \sqrt{H} \cdot \sqrt{|\vartheta_{e,air} - \vartheta_{i,air}|} \cdot (\vartheta_{e,air} - \vartheta_{i,air}) \quad (79)$$

$\phi_{LW, fen}$	W	Wärmestrom zufolge Fensterluftwechsel
$C_{ref}$	-	Austauschkoeffizient
$A$	m <sup>2</sup>	Fläche der Lüftungsöffnung
$H$	m	Höhe der Lüftungsöffnung
$\vartheta_{e,air}$	°C	Außenlufttemperatur
$\vartheta_{i,air}$	°C	Innenlufttemperatur

#### Wärmeaustausch zufolge Luftwechsel über die mechanische Lüftungsanlage

Die Wärmeverluste bzw. die Wärmegevinne des Raumes durch den Luftwechsel über die mechanische Lüftungsanlage können nach folgender Gleichung berechnet werden:

$$\phi_{LW, mech} = 0,34 \cdot V_{mech} \cdot (\vartheta_{zul} - \vartheta_{i,air}) \quad (80)$$

$\phi_{LW, mech}$	W	Wärmestrom zufolge Fensterluftwechsel
$V_{mech}$	m <sup>3</sup> /h	Luftvolumenstrom über die mechanische Lüftungsanlage

$\vartheta_{zul}$	°C	Zulufttemperatur
$\vartheta_{i,air}$	°C	Lufttemperatur im Raum

Es ist darauf zu achten, dass die angesetzte Zulufttemperatur jener Lufttemperatur entspricht, die effektiv eingeblasen wird.

Wird ein Wärmerückgewinnungssystem eingesetzt, kann die Lufttemperatur nach dem Wärmetauscher (in Abhängigkeit der Lage der Ventilatoren) durch folgende Gleichungen berechnet werden:

Zuluftventilator raumseitig, Abluftventilator raumseitig:

$$\vartheta_{zul} = \vartheta_{aul} + \frac{\phi_{SFP,zu}}{0,34} - (\vartheta_{aul} - \vartheta_{i,air} - \frac{\phi_{SFP,ab}}{0,34}) \cdot \eta_{WRG} \quad (81)$$

Zuluftventilator raumseitig, Abluftventilator außenseitig:

$$\vartheta_{zul} = \vartheta_{aul} + \frac{\phi_{SFP,zu}}{0,34} - (\vartheta_{aul} - \vartheta_{i,air}) \cdot \eta_{WRG} \quad (82)$$

Zuluftventilator außenseitig, Abluftventilator raumseitig:

$$\vartheta_{zul} = \vartheta_{aul} + \frac{\phi_{SFP,zu}}{0,34} - (\vartheta_{aul} + \frac{\phi_{SFP,zu}}{0,34} - \vartheta_{i,air} - \frac{\phi_{SFP,ab}}{0,34}) \cdot \eta_{WRG} \quad (83)$$

Zuluftventilator außenseitig, Abluftventilator außenseitig:

$$\vartheta_{zul} = \vartheta_{aul} + \frac{\phi_{SFP,zu}}{0,34} - (\vartheta_{aul} + \frac{\phi_{SFP,zu}}{0,34} - \vartheta_{i,air}) \cdot \eta_{WRG} \quad (84)$$

$\vartheta_{zul}$	°C	Temperatur der Zuluft
$\vartheta_{aul}$	°C	Temperatur am Wärmetauschereintritt (z.B. Außenluft)
$\vartheta_{i,air}$	°C	Temperatur der Raumluft
$\phi_{SFP,zu}$	W/m <sup>3</sup>	spezifische Leistung des Zuluftventilators
$\phi_{SFP,ab}$	W/m <sup>3</sup>	spezifische Leistung des Abluftventilators
$\eta_{WRG}$	-	Wärmerückgewinnungsgrad

Wird eine Frostsicherung eingesetzt, um das Vereisen des Wärmetauschers zu verhindern, ist als Temperatur am Wärmetauschereintritt die Temperatur nach der Frostsicherung einzusetzen.

## 8.4 Definition der meteorologischen Randbedingungen - Winterfall

Für die Planung der Wärmeabgabesysteme in einem Gebäude sind klimatische Auslegungszustände festzulegen. Diese müssen so gewählt werden, dass eine ungewollte Absenkung der Temperatur innerhalb eines Raumes während einer Kälteperiode mit hoher Wahrscheinlichkeit ausgeschlossen werden kann. In der bisherigen Normung wurde dies durch die Festlegung einer Norm-Außentemperatur sichergestellt. Auf die Berücksichtigung der solaren Einstrahlung wurde in der bisherigen Normung zur Heizlastberechnung vollständig verzichtet. Es wurde somit indirekt davon ausgegangen, dass an Tagen, an denen die Normaußentemperatur vorliegt, keine solare Einstrahlung gemessen werden kann. Klimaaufzeichnungen zeigen jedoch einen Zusammenhang zwischen Temperatur und solarer Einstrahlung. Im Sommer sind Temperaturspitzen immer gebunden an eine hohe solare Einstrahlung. Dasselbe gilt für negative Temperaturspitzen im Winter. Die Untersuchung von Messdaten zeigt, dass extrem niedrige Temperaturen unter Tags immer zeitgleich mit einer erhöhten solaren Einstrahlung vorkommen.

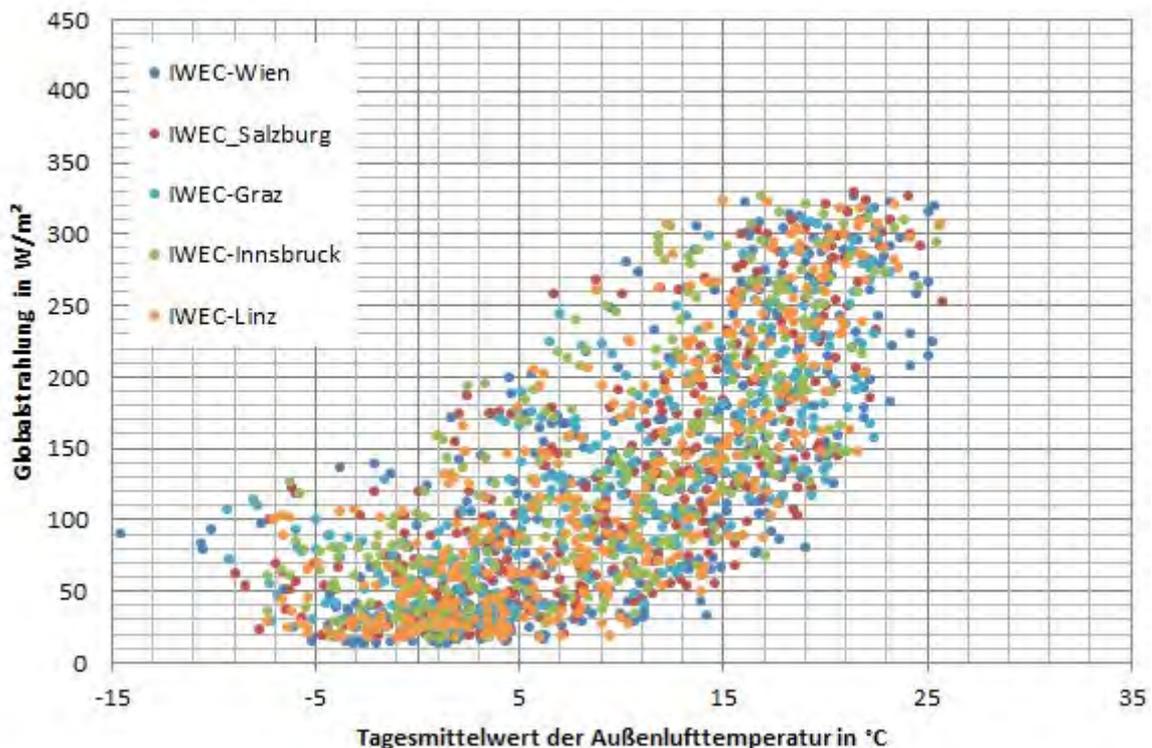


Abbildung 24: Zusammenhang zwischen dem Tagesmittel der Globalstrahlung und der Außenlufttemperatur für verschiedene Standorte in Österreich, Datenquelle: IWEW Wetterdatensätze [ASH01]

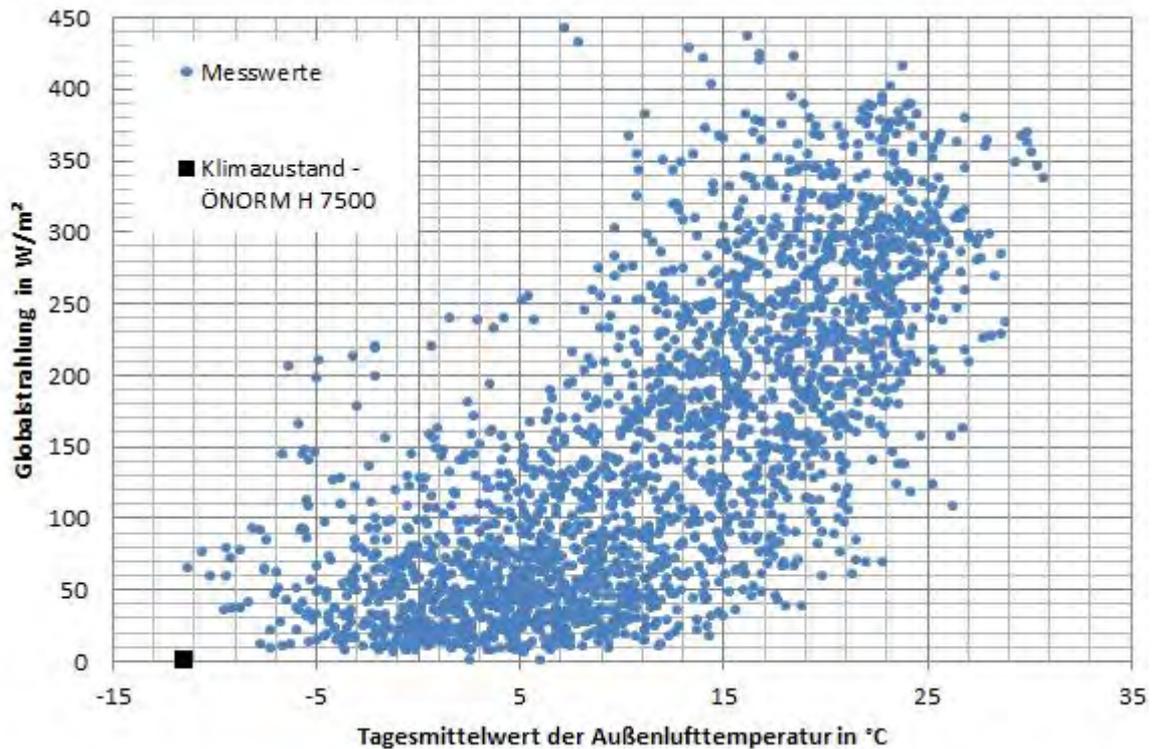


Abbildung 25: Zusammenhang zwischen dem Tagesmittel der Globalstrahlung und der Außenlufttemperatur mit Kennzeichnung des Auslegungszustands laut bestehender Normung für den Standort Wien (Winterfall)  
 Datenquelle: Messdaten der Wetterstation der TU Wien in der Adolf-Blamauer-Gasse aus den Jahren 2005, 2007, 2008, 2009, 2010, 2011, 2012 (Jan-Apr).

Es ergeben sich somit zwei Klimaszenarien, die für die Auslegung der Wärmeabgabesysteme von Gebäuden maßgeblich sein können:

- Klimazustand 1: mäßig niedrige Temperaturen, bewölkter Himmel und dadurch keine oder zumindest sehr geringe solare Einstrahlung
- Klimazustand 2: extrem niedrige Außentemperaturen, klarer Himmel und dadurch eine erhöhte solare Einstrahlung.

Die Berechnung der Heizlast wird grundsätzlich für den Sonnenstand am 15. Jänner durchgeführt.

#### Außentemperatur für die Berechnung der Heizlast

Die Berechnung der Heizlast ist in der ÖNORM EN 12831 [ONO03] und in der ÖNORM H 7500 [ONO06] normativ geregelt. Derzeit wird die Berechnung der Heizlast für einen stationären Zustand durchgeführt. D. h. die Randbedingungen für die Berechnung bleiben zeitlich konstant. Als Auslegungs-Außentemperatur wird die sogenannte Norm-Außentemperatur herangezogen. Die Norm-Außentemperatur ist das tiefste Zweitagesmittel der Außentemperatur, das in 20 Jahren 10-mal erreicht oder unterschritten wird. Für die Berechnung der Wärmeverluste an das Erdreich fließt das Jahresmittel der Außentemperatur in die Berechnung ein. Vereinfachend darf hier auch ein konstanter Wert von 8 °C angenommen werden.

Um der Forderung nach einem genaueren Berechnungsmodell nachzukommen, wird in diesem Bericht die Einführung eines zeitlich veränderlichen Außentemperaturverlaufs für die Berechnung der Heizlast vorgeschlagen. Der Außentemperaturverlauf muss die beiden maßgeblichen Klimaszenarien berücksichtigen.

Mit dem Klimazustand 1 werden bedeckte und mäßig kalte Wintertage berücksichtigt. Als Außentemperatur wird für diesen Zustand der Tagesmittelwert der Außenlufttemperatur herangezogen, der im langjährigen Mittel zumindest 130 Mal in 10 Jahren unterschritten wird. Diese Temperatur kann für jeden Standort Österreichs in Abhängigkeit der Seehöhe aus [BMW12] ermittelt werden. Um einen zeitlichen Verlauf der Außentemperatur generieren zu können, wird die Temperatur mit einer definierten Tagesschwingung überlagert. Diese kann dem halbsynthetischen Klimadatenmodell der ÖNORM 8110-5 [ONO11] entnommen werden.

Mit dem Klimazustand 2 werden sehr kalte und klare Wintertage berücksichtigt. Als Außentemperatur wird für diesen Zustand jener Tagesmittelwert der Außentemperatur herangezogen, der im langjährigen Mittel zumindest 10 Mal in 10 Jahren unterschritten wird. Dieser Tagesmittelwert wird analog zum Klimazustand 1 mit einer sinusförmigen Tagesschwingung, deren Amplitude aus [ONO11] ermittelt wird, überlagert.

Anmerkung:

In der ÖNORM B 8110-3 [ONO12a] sind stündliche Werte für die Amplitude der Tagesschwingung angegeben. Das Maximum der Außenlufttemperatur wird dabei um 16:00 Uhr erreicht. Geht man davon aus, dass dies auch im Winter der Fall ist und berücksichtigt man die Umstellung von Sommerzeit auf Normalzeit, so ergibt sich für den Winterfall eine Verschiebung des Temperaturmaximums um drei Stunden auf 15:00 Uhr.

Berücksichtigt man dies bei der Überlagerung des Tagesmittelwertes mit der Tagesschwingung, wird der stündliche Verlauf der Außentemperatur wie folgt festgelegt:

$$\vartheta_{h,m} = \vartheta_m - A_d \cdot \cos\left(\frac{2\pi \cdot (h_d - 3)}{24}\right) \quad (85)$$

$\vartheta_{h,m}$	°C	Stundenmitteltemperatur
$\vartheta_m$	°C	Tagesmitteltemperatur
$A_d$	K	Tagesamplitude
$h_d$	h	Stunde am Tag

Anwendungsbeispiel:

Für den Standort Wien Landstraße ergibt sich für den Klimazustand 1 ein Tagesmittelwert der Außenlufttemperatur von -3 °C und für den Klimazustand 2 ein Tagesmittelwert der Außentemperatur von -10 °C. Überlagert werden die Tagesmittelwerte mit einer Tagesamplitude von 8,8 K. Die sich ergebenden Temperaturverläufe sind Abbildung 26 dargestellt.

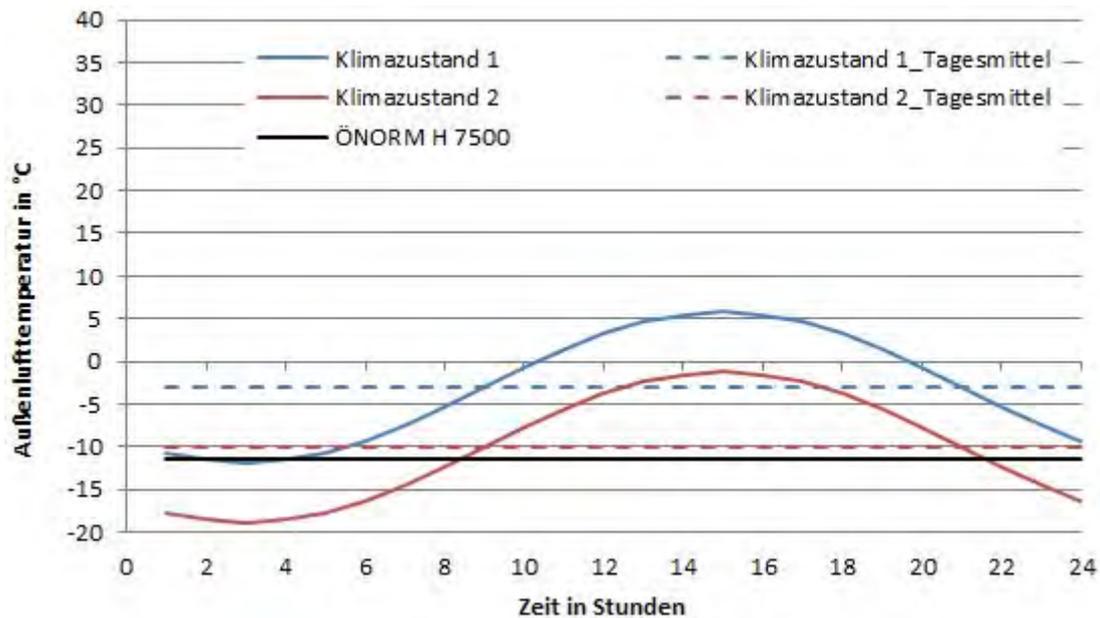


Abbildung 26: Außenlufttemperaturverlauf für den Winterfall - Klimazustand 1 und Klimazustand 2 (Standort: Wien Landstraße)

Die Aufrechterhaltung der gewünschten Raumtemperaturen muss für den Klimazustand 1 dauerhaft möglich sein. Der Klimazustand 2 stellt hingegen nur ein zeitlich begrenztes Ereignis dar. Die Wahrscheinlichkeit, dass der Tagesmittelwert der Außenlufttemperatur an mehreren Tagen hintereinander im Bereich des Klimazustands 2 liegt, ist äußerst gering. Dies wird durch die geringe Dichte der Punktwolke bei Temperaturen unter  $-5\text{ °C}$  in Abbildung 24 und Abbildung 25 verdeutlicht. Die Aufrechterhaltung der Raumtemperaturen muss bei dem Klimazustand 2 nicht für einen unbegrenzten Zeitraum sichergestellt werden.

Vor dem Start der eigentlichen Berechnung wiederholt das Simulationsprogramm die Berechnung des ersten Tages mit dem Auslegungszustand 1 so lange bis ein periodisch eingeschwungener Zustand erreicht wird. Danach startet die eigentliche Berechnung des Klimazustands 1. Nach dem ersten Tag wird die Temperatur mittels einer Exponentialfunktion innerhalb von 5 Tagen auf das Niveau des Klimazustands 2 abgesenkt und die solare Einstrahlung simultan erhöht.

Die Außentemperatur wird in Abhängigkeit der Zeit nach folgender Exponentialfunktion berechnet:

$$\vartheta_{h_b} = \vartheta_{h_d, K2} + e^{-\frac{h_b - 24}{24}} \cdot (\vartheta_{h_d, K1} - \vartheta_{h_d, K2}) \quad (86)$$

- |                       |    |   |
|-----------------------|----|---|
| $\vartheta_{h_b}$     | °C | Außentemperatur zur Stunde $h_b$ im Berechnungszeitraum |
| $\vartheta_{h_d, K2}$ | °C | Außentemperatur zur Tagesstunde $h_d$ im Klimazustand 2 |
| $h_b$                 | h  | Stunde im Berechnungszeitraum                           |
| $\vartheta_{h_d, K1}$ | °C | Außentemperatur zur Tagesstunde $h_d$ im Klimazustand 1 |

Die Simulation wird dann für einen weiteren Tag unter den Bedingungen des Klimazustands 2 durchgeführt. Abbildung 27 zeigt die Entwicklung der Außentemperatur über den Simulationszeitraum.

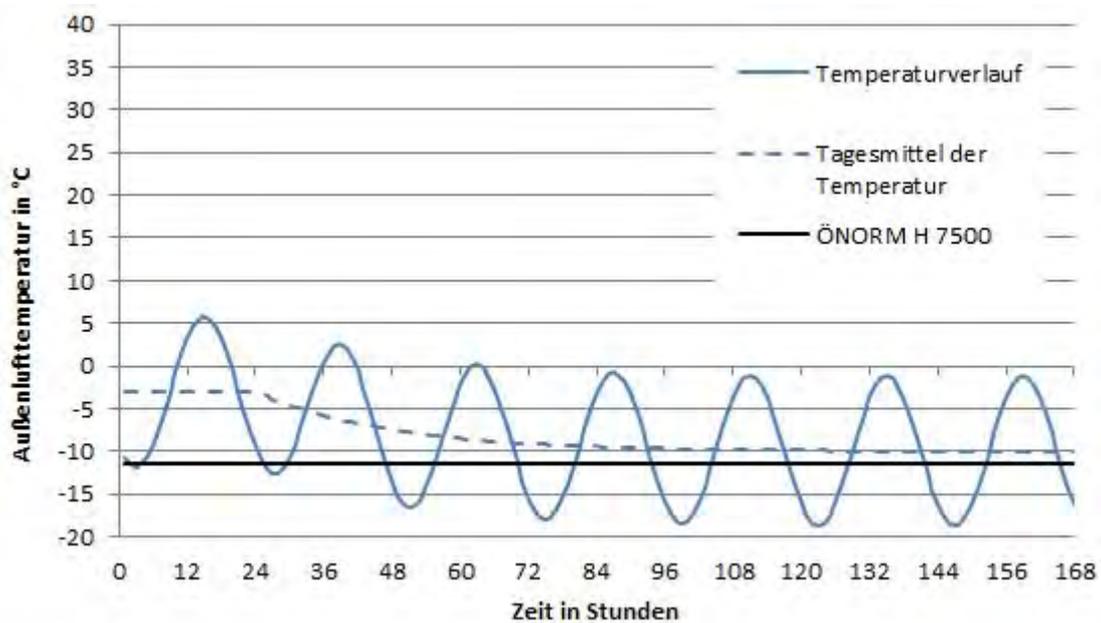


Abbildung 27: Außentemperaturverlauf während des Auslegungszeitraumes für den Winterfall (Standort: Wien Landstraße)

### Solare Einstrahlung

Neben der Anpassung der Außentemperaturverhältnisse stellt die Integration der solaren Einstrahlung in die Auslegungsberechnungen einen wesentlichen Ansatzpunkt zur Erhöhung der Berechnungsgenauigkeit dar.

Im Zuge der Untersuchungen im Rahmen dieses Forschungsberichts wurden verschiedene Modelle zur Berechnung der solaren Bestrahlungsstärke untersucht. Die Berechnung der solaren Einträge lässt sich in folgende Teile aufgliedern:

- Berechnung des Sonnenstands
- Berechnung der Strahlung auf eine horizontale Fläche
- Berechnung der Strahlung auf eine beliebig orientierte und geneigte Fläche
- Berechnung der Strahlung durch eine beliebig orientierte und geneigte transparente Fläche

Die Berücksichtigung einer eventuellen Verschattung durch Umgebungsbebauung oder auskragende Bauteile muss in der Berechnung der solaren Einstrahlung auf die Verglasungen enthalten sein.

### Berechnung des Sonnenstands

Modelle für die Ermittlung des Sonnenstands sind in unterschiedlichen Quellen niedergeschrieben. Die Berechnung des Sonnenstands kann z. B. nach den Ausführungen in der

Richtlinie VDI 6007 [VDI10] erfolgen. Der Sonnenstand kann mithilfe der VDI-Richtlinie für jede Stunde im Jahresverlauf über die Sonnenhöhe und den Sonnenazimut festgelegt werden. Als Eingangswerte werden lediglich der geografische Längen- und Breitengrad des Ortes, für den die Berechnung durchgeführt wird, benötigt. Auf die einzelnen Berechnungsschritte wird hier nicht näher eingegangen.

#### Berechnung der Strahlung auf eine horizontale Fläche

Es existiert grundsätzlich eine Vielzahl verschiedener Methoden, um die Strahlung auf eine horizontale Fläche zu ermitteln. Um die Strahlung auf eine Fläche auf der Erdoberfläche generieren zu können, wird die Strahlung außerhalb der Erdatmosphäre ermittelt. Diese wird bei dem Durchgang durch die Atmosphäre abgemindert. Es gibt unterschiedliche Ansätze für die Modellierung dieser Strahlungsabminderung. Speziell für den Einfluss der Bewölkung sind in der Literatur verschiedenste Modelle zu finden.

Wie weiter oben bereits erwähnt wurde, werden für die entwickelte Auslegungsmethodik zwei Klimazustände definiert. Für die Abbildung des Klimazustands 1 muss die solare Einstrahlung auf einen Minimalwert abgemindert werden. In der VDI-Richtlinie 6007 erfolgt über die Reduktion der Sonnenwahrscheinlichkeit auf einen Wert von 0. Es wird dann lediglich die diffuse Strahlung berücksichtigt. Für den Klimazustand 2 wird die Sonnenwahrscheinlichkeit gemäß VDI-6007 mit 100 % angenommen.

#### Berechnung der Strahlung auf eine beliebig orientierte und geneigte Fläche

Die VDI 6007 [VDI10] beinhaltet auch einen Formelapparat für die Umrechnung der Strahlung von einer horizontalen Fläche auf eine beliebig orientierte und geneigte Fläche.

#### Anwendungsbeispiel:

Für den Standort Wien ergeben sich für den Klimazustand 1 je nach Ausrichtung der Fläche die in Abbildung 28 und Abbildung 29 dargestellten Verläufe der Strahlungsintensität. Bei einer Sonnenwahrscheinlichkeit von 0 % wird keine Direktstrahlung angesetzt. Die nach [VDI10] ermittelte Globalstrahlung ist dann für alle Himmelsrichtungen gleich groß.

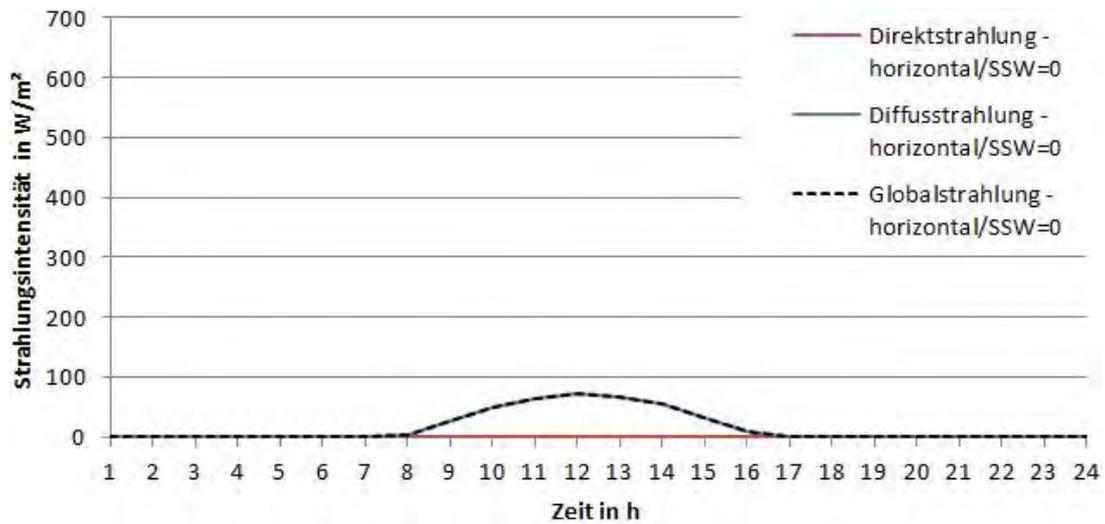


Abbildung 28: Verlauf der Diffusstrahlung, Direktstrahlung und Globalstrahlung auf eine horizontale Fläche für den Klimazustand 1 (Winterfall, Standort: Wien Landstraße)

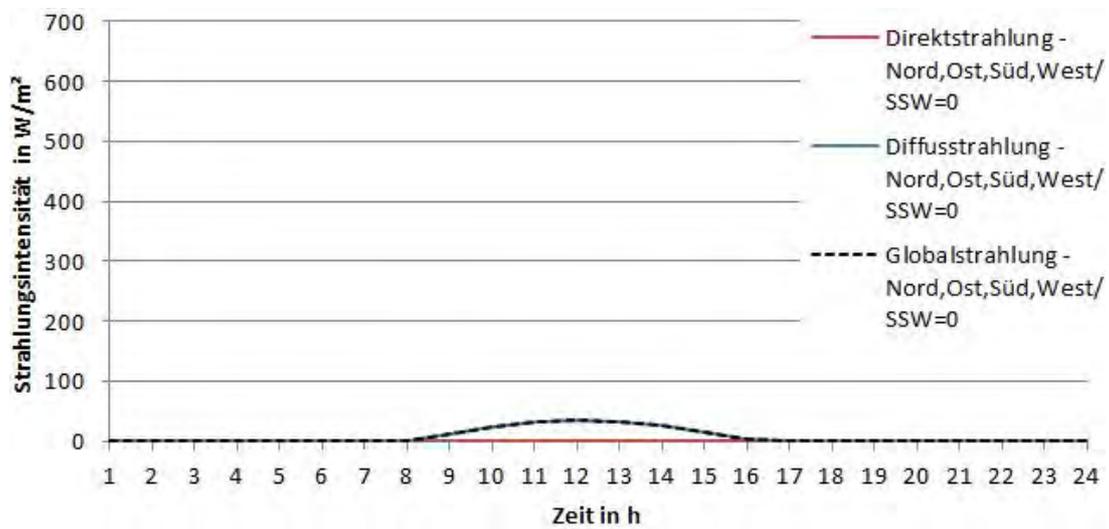


Abbildung 29: Verlauf der Diffusstrahlung, Direktstrahlung und Globalstrahlung auf nach Norden, Osten, Süden und Westen ausgerichtete Flächen für den Klimazustand 1 (Winterfall, Standort: Wien Landstraße)

In Abbildung 30, Abbildung 31, Abbildung 32, Abbildung 33 und Abbildung 34 sind die Verläufe der Strahlungsintensität des Klimazustands 2 für verschiedenen Ausrichtungen dargestellt.

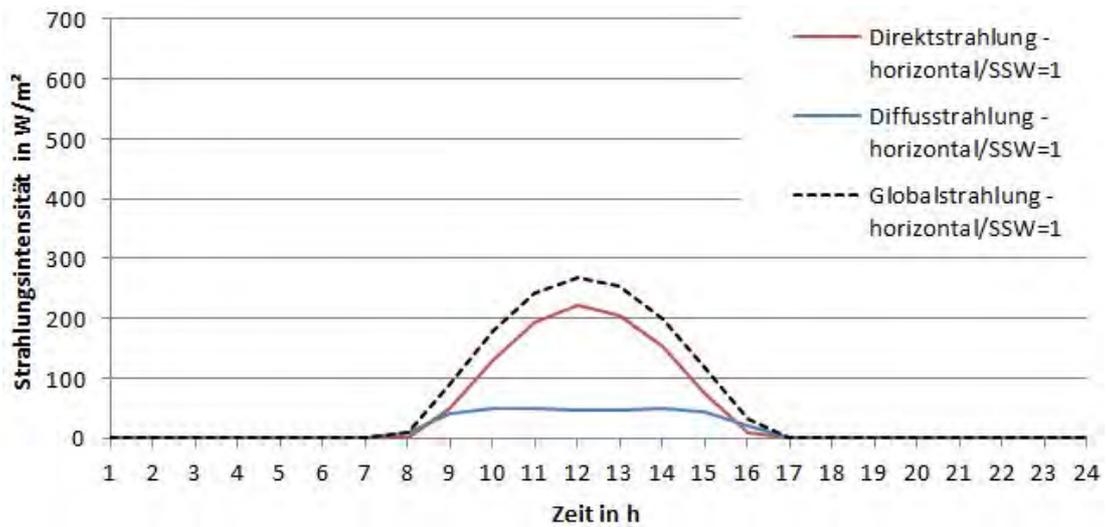


Abbildung 30: Verlauf der Diffusstrahlung, Direktstrahlung und Globalstrahlung auf eine horizontale Fläche für den Klimazustand 2 (Winterfall, Standort: Wien Landstraße)

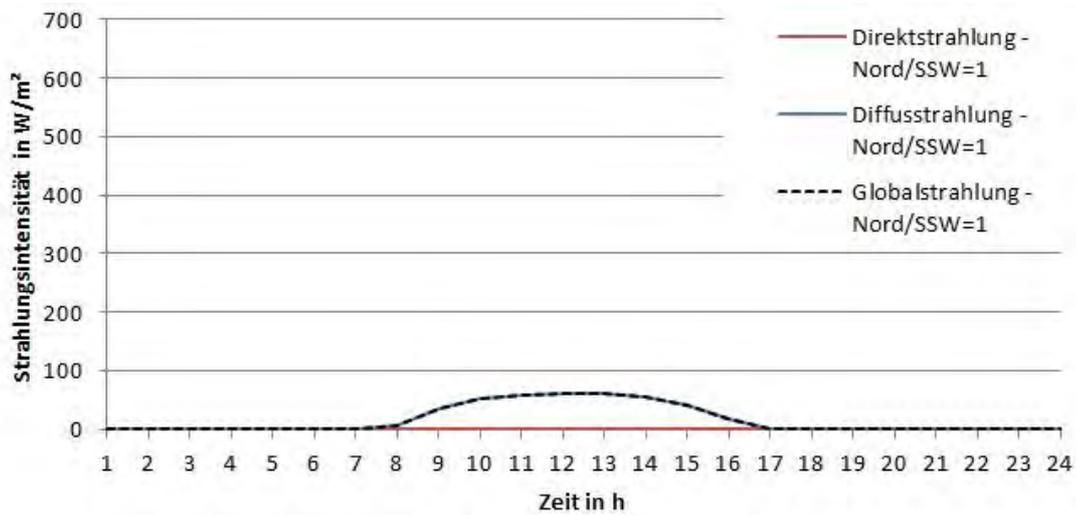


Abbildung 31: Verlauf der Diffusstrahlung, Direktstrahlung und Globalstrahlung auf eine nach Norden ausgerichtete Fläche für den Klimazustand 2 (Winterfall, Standort: Wien Landstraße)

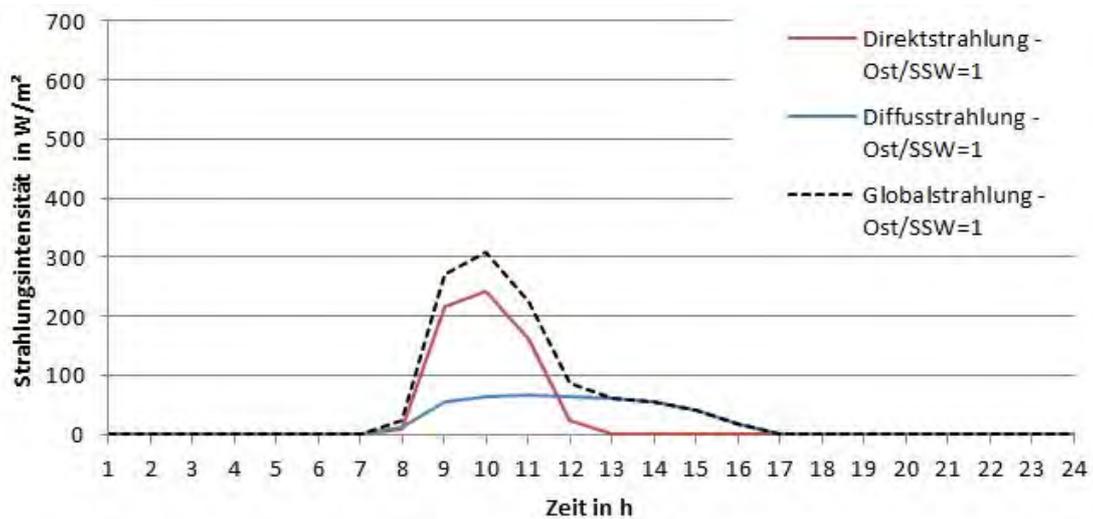


Abbildung 32: Verlauf der Diffusstrahlung, Direktstrahlung und Globalstrahlung auf eine nach Osten ausgerichtete Fläche für den Klimazustand 2 (Winterfall, Standort: Wien Landstraße)

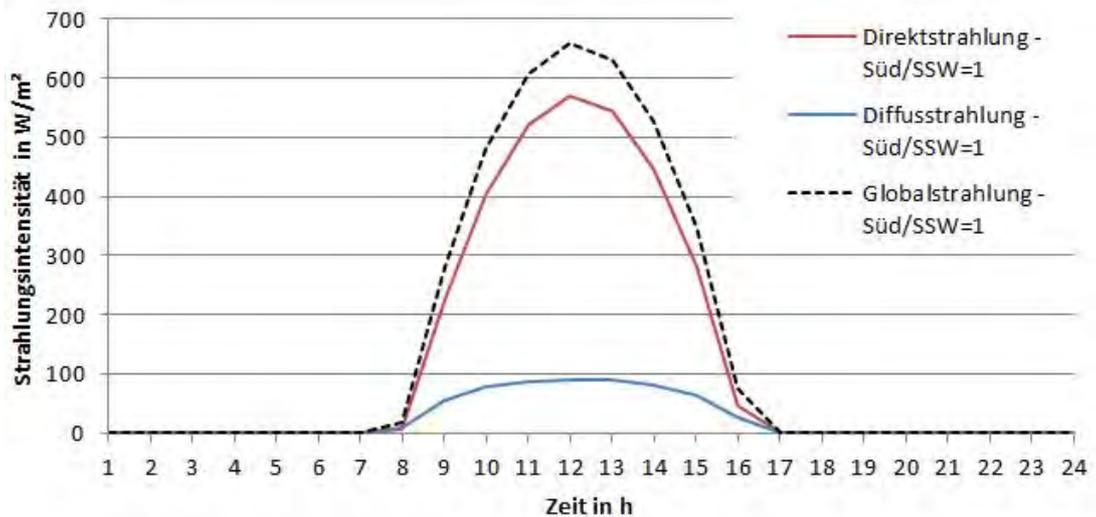


Abbildung 33: Verlauf der Diffusstrahlung, Direktstrahlung und Globalstrahlung auf eine nach Süden ausgerichtete Fläche für den Klimazustand 2 (Winterfall, Standort: Wien Landstraße)

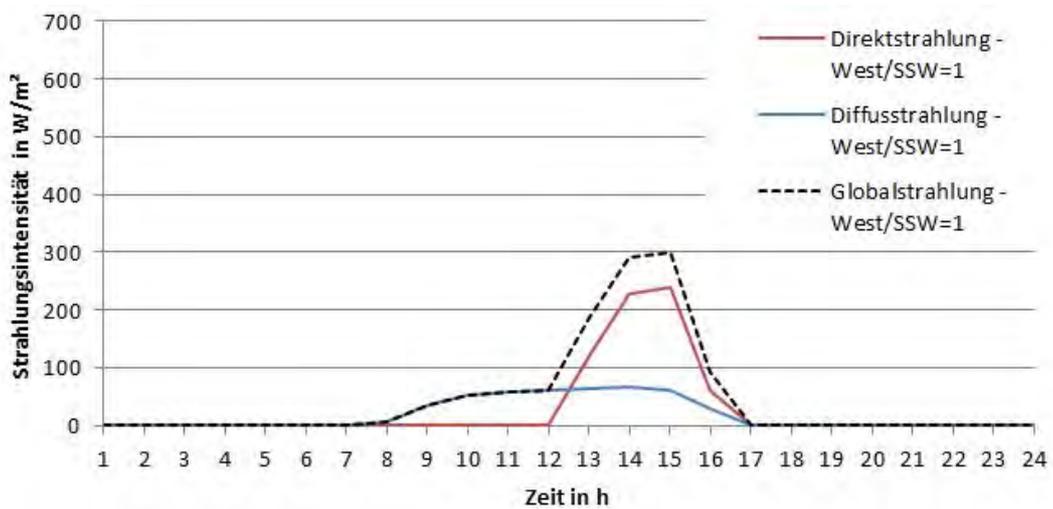


Abbildung 34: Verlauf der Diffusstrahlung, Direktstrahlung und Globalstrahlung auf eine nach Westen ausgerichtete Fläche für den Klimazustand 2 (Winterfall, Standort: Wien Landstraße)

Die Zusammensetzung der beiden Klimazustände zu einem Strahlungsverlauf für den Auslegungszeitraum erfolgt analog zur Vorgangsweise bei der Bildung des Temperaturverlaufs für den Auslegungszeitraum.

Die Strahlungsintensität wird in Abhängigkeit der Zeit nach folgender Exponentialfunktion berechnet:

$$I_{h_b} = I_{h_d, K2} + e^{-\frac{h_b - 24}{24}} \cdot (I_{h_d, K1} - I_{h_d, K2}) \quad (87)$$

$I_{h_b}$             W/m<sup>2</sup>    Strahlungsintensität zur Stunde  $h_b$  im Berechnungszeitraum

$I_{h_d, K2}$            °C        Strahlungsintensität zur Tagesstunde  $h_d$  im Klimazustand 2

$h_b$                 h         Stunde im Berechnungszeitraum

$I_{h_d, K1}$            °C        Strahlungsintensität zur Tagesstunde  $h_d$  im Klimazustand 1

In Abbildung 35, Abbildung 36, Abbildung 37, Abbildung 38 und Abbildung 39 sind die Verläufe der Intensität der Direkt-, Diffus- und Globalstrahlung für verschiedene Ausrichtungen dargestellt.

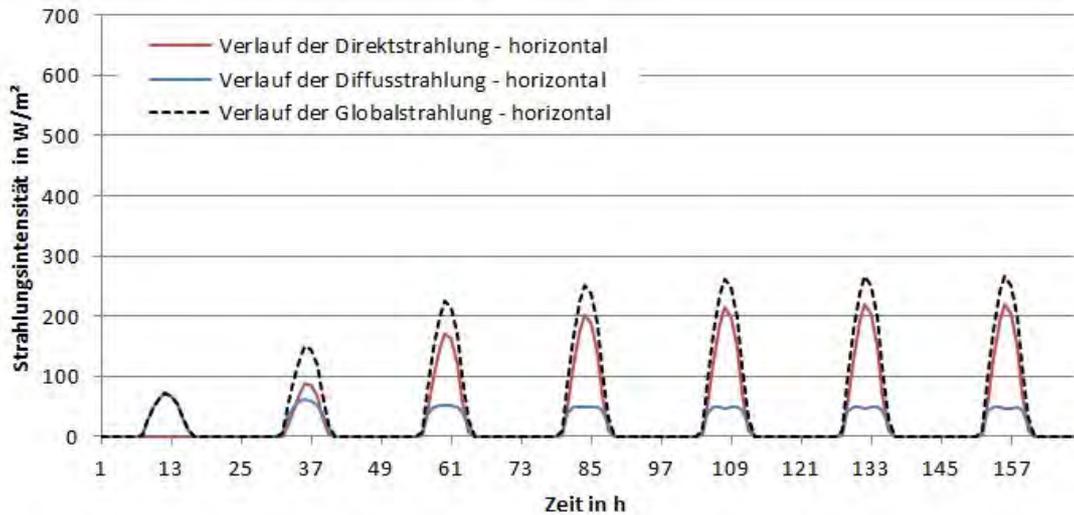


Abbildung 35: Verlauf der Diffusstrahlung, Direktstrahlung und Globalstrahlung auf eine horizontale Fläche während des Auslegungszeitraums (Winterfall, Standort: Wien Landstraße)

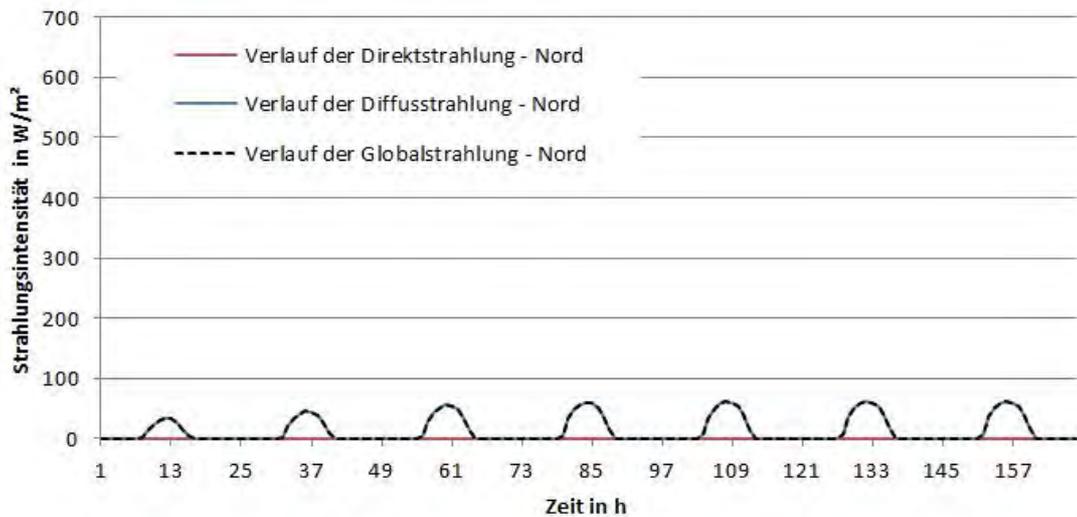


Abbildung 36: Verlauf der Diffusstrahlung, Direktstrahlung und Globalstrahlung auf eine nach Norden ausgerichtete Fläche während des Auslegungszeitraums (Winterfall, Standort: Wien Landstraße)

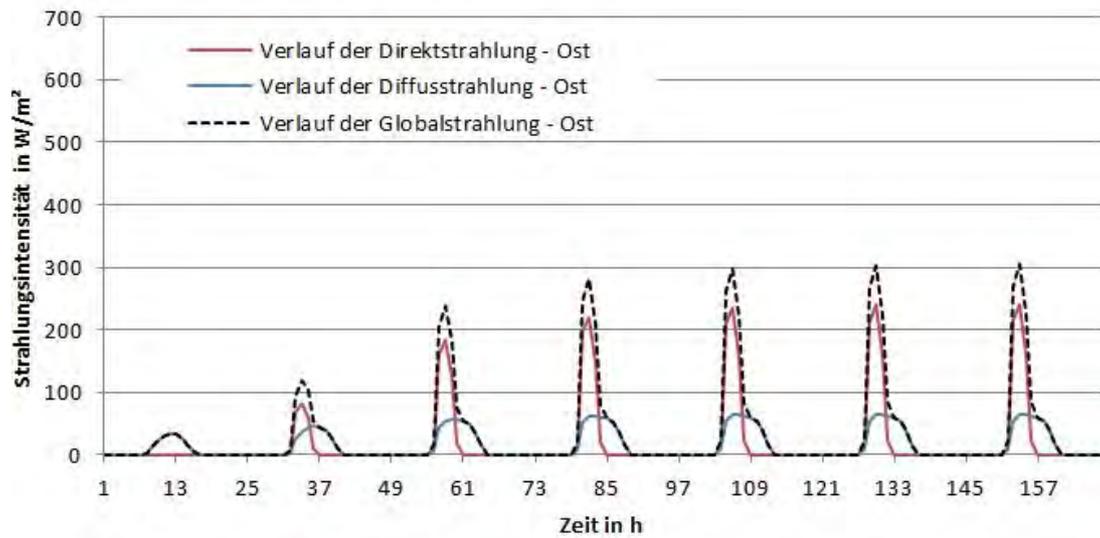


Abbildung 37: Verlauf der Diffusstrahlung, Direktstrahlung und Globalstrahlung auf eine nach Osten ausgerichtete Fläche während des Auslegungszeitraums (Winterfall, Standort: Wien Landstraße)

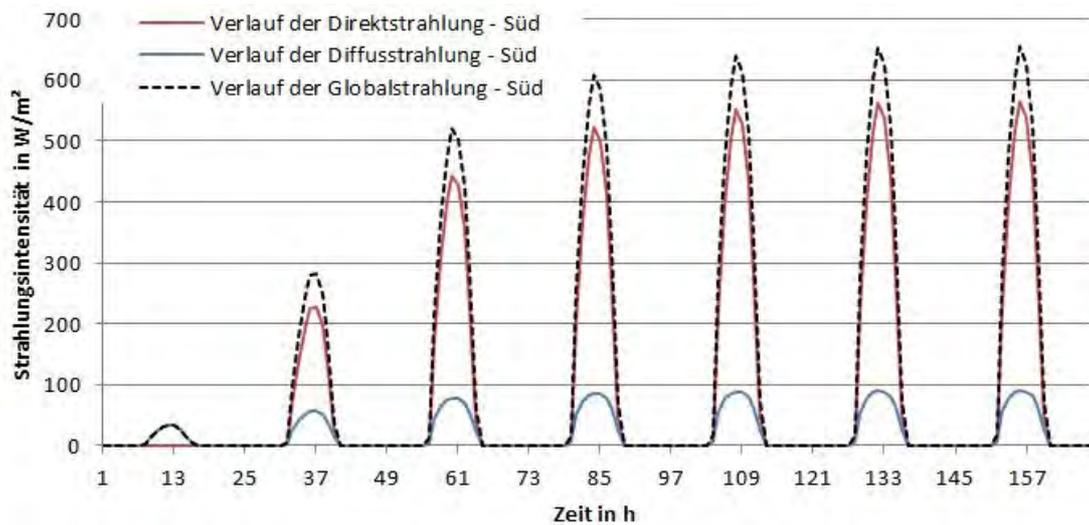


Abbildung 38: Verlauf der Diffusstrahlung, Direktstrahlung und Globalstrahlung auf eine nach Süden ausgerichtete Fläche während des Auslegungszeitraums (Winterfall, Standort: Wien Landstraße)

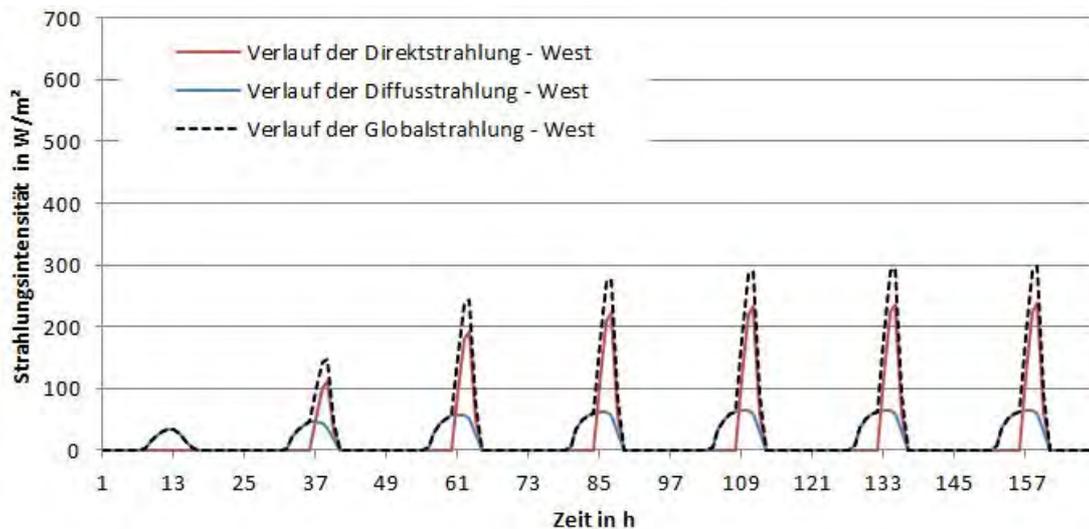


Abbildung 39: Verlauf der Diffusstrahlung, Direktstrahlung und Globalstrahlung auf eine nach Westen ausgerichtete Fläche während des Auslegungszeitraums (Winterfall, Standort: Wien Landstraße)

Durch die Festlegung des Verlaufs der Außenlufttemperatur und des Verlaufs der Strahlungsintensität wurde das Klimamodell für die Berechnung der Heizlast definiert. In Abbildung 40 ist der Zusammenhang zwischen dem Tagesmittel der Außenlufttemperatur und dem Tagesmittel der Globalstrahlung auf eine horizontale Fläche für mehrere Messjahre am Standort Wien dargestellt. Zusätzlich sind die Tagesmittel der Außentemperatur und der Globalstrahlung der hergeleiteten Auslegungszustände in der Abbildung enthalten.

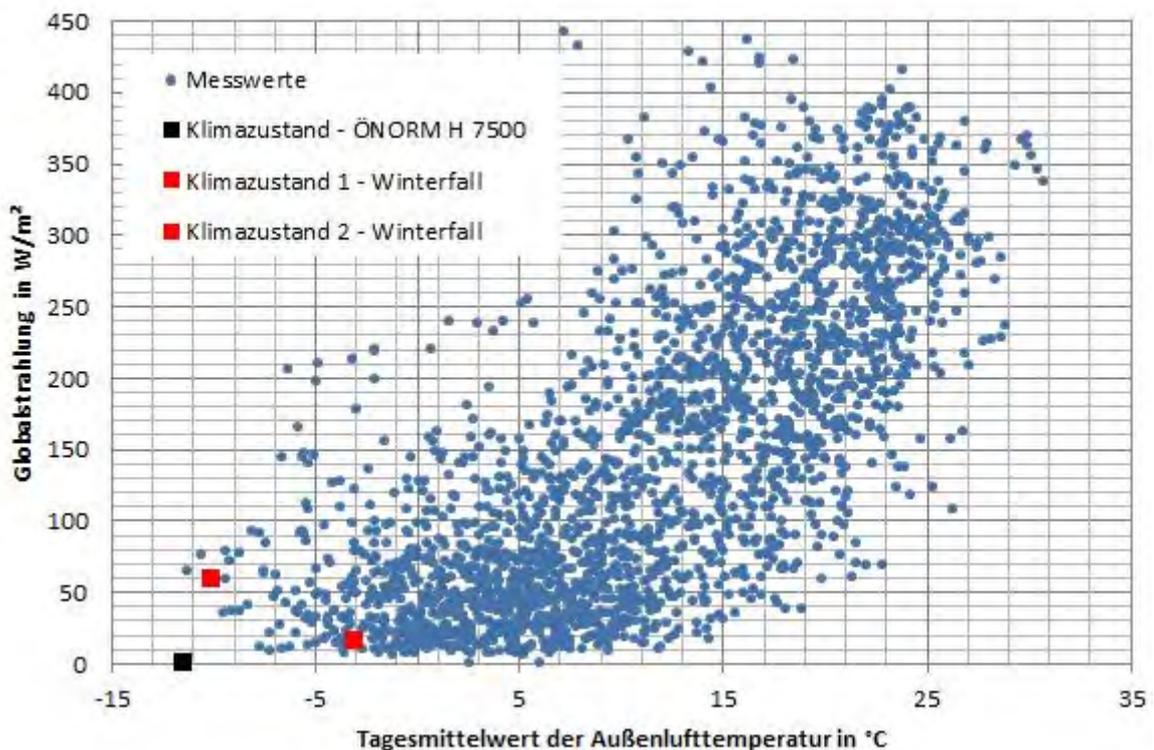


Abbildung 40: Zusammenhang zwischen dem Tagesmittel der Globalstrahlung und der Außenlufttemperatur mit Kennzeichnung der Auslegungsklimazustände für den Winterfall  
 Datenquelle: Messdaten der Wetterstation der TU Wien in der Adolf-Blamauer-Gasse aus den Jahren 2005, 2007, 2008, 2009, 2010, 2011, 2012 (Jan-Apr).

### Berechnung der Strahlung durch eine beliebig orientierte und geneigte transparente Fläche

Die Berechnung des Strahlungsdurchgangs durch transparente Bauteile ist in der Beschreibung des Simulationsmodells enthalten (siehe Kapitel 8.3.4).

## 8.5 Berechnung der Heizlast

### 8.5.1 Operative Temperatur

Bei der Berechnung der Heizlast wird, für Räume, die für den Aufenthalt von Personen bestimmt sind, eine operative Raumtemperatur von 22 °C angesetzt. In Absprache mit dem Auftraggeber können jedoch auch andere Raumtemperaturen für die Berechnung der Heizlast herangezogen werden.

### 8.5.2 Innere Lasten

Die für die Berechnung der Heizlast heranzuziehenden inneren Lasten werden in Kapitel 6 ausführlich beschrieben. Für die Heizlastberechnung ist der effiziente Betriebsstrombedarf zu verwenden.

### 8.5.3 Luftwechsel

Der bei der Berechnung der Heizlast anzusetzende Luftwechsel setzt sich bei natürlicher Belüftung der Räume aus dem Maximum aus hygienischem Luftwechsel und Infiltrationsluftwechsel zusammen. Bei Verwendung einer mechanischen Lüftungsanlage wird der anzusetzende Luftvolumenstrom aus der Summe aus dem Luftwechsel über die Lüftungsanlage und dem Infiltrationsluftwechsel gebildet. Der Wärmeeintrag durch die Ventilatoren der Lüftungsanlage darf, in Abhängigkeit ihrer Lage und ihrer Leistung, bei der Berechnung der Heizlast berücksichtigt werden.

#### Hygienischer Luftwechsel

Für Wohnräume wird eine Luftwechselzahl von 0,4 1/h bezogen auf das Nettoraumvolumen angesetzt. Wie in der ÖNORM B 8110-3 [ONO12a] ist für die Berechnung der Heizlast von Büroräumen zwischen 5:00 Uhr und 22:00 Uhr pro Person ein Volumenstrom von 35 m<sup>3</sup>/h zu berücksichtigen.

Die oben erwähnten Luftwechselraten stellen Empfehlungen für den hygienisch notwendigen Mindestluftwechsel dar. Wird in der Planung ein anderer Luftvolumenstrom vorgesehen, ist der höhere von beiden Werten anzusetzen.

#### Anmerkung:

Der Luftwechsel sollte im Winter aufgrund des geringen Feuchtigkeitsanteils der Außenluft längerfristig nicht über 0,4 1/h liegen. Bei geringer bis mittlerer Belegungsdichte kann die Luftwechselrate auch tiefer liegen. Kurzzeitig kann der Luftvolumenstrom auf bis zu 0,6 1/h angehoben werden, ohne ein zu starkes Abfallen der Raumluftfeuchte, mit der damit in Zusammenhang stehenden Verringerung der Behaglichkeit, erwarten zu müssen.

#### Infiltrationsluftwechsel

Der Infiltrationsluftwechsel wird gemäß ÖNORM EN ISO 12831 [ONO03] bzw. ÖNORM H 7500 [ONO06] über folgende Formel ermittelt:

$$\dot{V}_{\text{inf},i} = 2 \cdot n_{50} \cdot e_i \cdot \varepsilon_i \quad (88)$$

$\dot{V}_{\text{inf},i}$	m <sup>3</sup> /h	Infiltrationsvolumenstrom
$n_{50}$	m <sup>2</sup>	Luftwechselrate bei einer Druckdifferenz von 50 Pa
$e_i$	-	Abschirmungskoeffizient
$\varepsilon_i$	-	Höhenkorrekturfaktor

Wobei der Höhenkorrekturfaktor bei Gebäuden mit einem Raumhöhenmittel bis 10 m über dem Erdreich gemäß ÖNORM H 7500 [ONO06] mit 1,0 angenommen werden kann. Bei einem Raumhöhenmittel von mehr als 10 m über dem Erdreich wird der Höhenkorrekturfaktor nach folgender Gleichung berechnet:

$$\varepsilon_i = \left( \frac{h}{10} \right)^{\frac{4}{9}} \quad (89)$$

$\varepsilon_i$	-	Höhenkorrekturfaktor
$h$	m	Raumhöhenmittel über Erdreich

Der Abschirmungskoeffizient kann der folgenden Tabelle entnommen werden:

Tabelle 31: Abschirmungskoeffizient für verschiedene Gebäudestandorte [DRA07]

Abschirmungsklasse	$e_i$		
	Anzahl der Außenbauteile mit Öffnungen ins Freie bei beheizten Räumen		
	keine	eine	zwei
keine Abschirmung (Gebäude in windreichen Gegenden, Hochhäuser)	0	0,03	0,05
moderate Abschirmung (Gebäude im Freien, umgeben von Bäumen oder anderen Gebäuden, Vorstädte)	0	0,02	0,03
gute Abschirmung (Gebäude mittlerer Höhe in Stadtzentren, Gebäude in bewaldeten Regionen)	0	0,01	0,02

#### 8.5.4 Wärmeverluste zum Erdreich

Die Wärmeverluste zum Erdreich sind nach ÖNORM EN ISO 13370 [ONO08d] zu berechnen. Diese enthält ein Verfahren zur Ermittlung stündlicher Temperaturwerte für das angrenzende Erdreich. Die ermittelten Temperaturwerte des Erdreichs werden als Randbedingung für den Wärmetransport durch den erdberührten Bauteil herangezogen.

### 8.5.5 Wärmeverlust zu Pufferräumen

Für die Berechnung der Heizlast eines Raumes müssen angrenzende, unkonditionierte Zonen berücksichtigt werden. Dabei wird so vorgegangen, dass der Temperaturgang in diesen Pufferräumen analog zu dem tatsächlich zu berechnenden Raum berechnet wird und die erhaltene Temperatur anschließend als Randbedingung für den betrachteten Raum herangezogen wird.

#### Vereinfachtes Verfahren:

Alternativ dazu können auch die in der ÖNORM H 7500 [ONO06] angegebenen Temperaturen als Randbedingung für den Wärmeverlust zu Pufferräumen angenommen werden. Die Norm-Außentemperatur entspricht dabei dem Tagesmittel der Außentemperatur im Klimazustand 2.

Tabelle 32: Rechenwerte für die Temperatur in unbeheizten Nachbarräumen [DRA07]

Unbeheizte Nachbarräume <sup>a)</sup>	Norm-Außentemperatur °C						
	-10	-12	-14	-16	-18	-20	-22
ohne Gebäude-Eingangstüren, auch Kellerräume	+7	+6	+5	+4	+3	+2	+1
mit Gebäude-Eingangstüren (z. B. Vorflure, Windfänge, eingebaute Garagen)	+4	+3	+2	+1	0	-1	-2
vorgebaute Stiegenräume <sup>b)</sup>	-5	-7	-9	-10	-11	-12	-13
Heizraum	+15	+15	+15	+15	+15	+15	+15

<sup>a)</sup> Die Tabellenwerte gelten für den Fall, dass die Nachbarräume vorwiegend an die Außenluft grenzen.  
<sup>b)</sup> Eingebaute Stiegenhäuser gemäß Tabelle 29.

Tabelle 33: Rechenwerte für die Temperatur in unbeheizten Dachräumen [DRA07]

Geschlossene Dachräume <sup>a)</sup>			Norm-Außentemperatur						
			°C						
Dachaußenfläche	Wärmedurchgangswiderstand		-10	-12	-14	-16	-18	-20	-22
	$R_e$	$R_i$							
-		$m^2 \cdot K \cdot W^{-1}$	°C						
undicht <sup>b)</sup>	0,2	0,8	-6	-8	-10	-12	-13	-15	-17
		1,6	-8	-10	-12	-14	-15	-17	-19
	0,4	0,8	-4	-6	-7	-9	-11	-13	-15
		1,6	-7	-9	-10	-12	-14	-16	-18
dicht <sup>c)</sup>	0,2	0,8	-6	-8	-9	-11	-13	-15	-17
		1,6	-8	-10	-11	-13	-15	-17	-19
	0,4	0,8	-3	-4	-6	-7	-9	-11	-13
		1,6	-6	-8	-9	-11	-13	-15	-17
	0,8	0,8	+1	0	-1	-3	-4	-6	-7
		1,6	-3	-5	-6	-8	-9	-10	-12
	1,6	0,8	+5	+4	+3	+2	+1	0	-1
		1,6	0	-1	-2	-4	-5	-6	-8
offene Dachräume und Luftschicht belüfteter Flachdächer <sup>d)</sup>		-	-7	-9	-11	-13	-15	-17	-19
geschlossene Dachräume mit entsprechender Wärmedämmung		$\geq 5$	-7	-9	-11	-13	-15	-17	-19

<sup>a)</sup> Die Tabelle wurde für mittlere Dachraumhöhen von 1 m bis 2 m und Flächenverhältnisse  $A_e$  (nach außen) zu  $A_i$  (zum beheizten Raum)  $\frac{A_e}{A_i} = 1,5$  berechnet.

<sup>b)</sup> Rechnerischer stündlicher Luftwechsel  $n_L = 2,5 \text{ h}^{-1}$ .

<sup>c)</sup> Rechnerischer stündlicher Luftwechsel  $n_L = 0,5 \text{ h}^{-1}$ .

<sup>d)</sup> Der Wärmeleitwiderstand ist vom Innenraum bis zur Luftschicht zu rechnen. Der äußere Wärmeübergangswiderstand ist mit  $R_e = 0,09 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$  anzusetzen.

Tabelle 34: Rechenwerte für die Temperatur in unbeheizten eingebauten Stiegenhäusern mit einer Außenwand [DRA07]

Thermische Kopplung an das Gebäude	Gebäudehöhe	Geschoß	Norm-Außentemperatur °C						
			-10	-12	-14	-16	-18	-20	-22
normal <sup>a)</sup>	bis 20 m	EG und KG	+6	+5	+4	+3	+2	+1	0
		1. OG	+11	+10	+9	+9	+8	+8	+7
		2. OG	+12	+11	+11	+10	+10	+9	+9
		3. OG bis 4. OG	+12	+12	+11	+11	+10	+10	+9
		5. OG bis 7. OG	+13	+12	+12	+11	+11	+10	+10
	über 20 m	EG und KG	+1	-1	-2	-3	-4	-5	-6
		1. OG	+6	+5	+4	+3	+2	+1	0
		2. OG	+9	+8	+7	+6	+5	+4	+3
		3. OG bis 4. OG	+10	+10	+9	+8	+7	+6	+5
		5. OG bis 7. OG	+11	+11	+10	+10	+9	+9	+8
schlecht <sup>b)</sup>	bis 20 m	EG und KG	+4	+3	+1	0	-1	-2	-3
		1. OG	+7	+6	+5	+4	+3	+2	+1
		2. OG	+8	+7	+6	+5	+4	+3	+2
		3. OG bis 4. OG	+8	+7	+6	+6	+5	+5	+4
		5. OG bis 7. OG	+8	+7	+6	+6	+5	+5	+4
	über 20 m	EG und KG	-1	-2	-4	-5	-6	-8	-9
		1. OG	+3	+2	+1	0	-1	-2	-2
		2. OG	+6	+5	+4	+3	+2	+1	+1
		3. OG bis 4. OG	+7	+6	+5	+4	+3	+2	+1
		5. OG bis 7. OG	+7	+7	+6	+5	+4	+4	+3
über 20 m	über 7. OG	+8	+7	+6	+6	+5	+5	+4	

<sup>a)</sup> Annahme:  $\frac{\sum \left(\frac{A}{R}\right)_i}{\sum \left(\frac{A}{R}\right)_e} = 3,0$  (z. B. Schmalseite, (einfach verglaste Fenster) 2 m<sup>2</sup> je Geschoß)

<sup>b)</sup> Annahme:  $\frac{\sum \left(\frac{A}{R}\right)_i}{\sum \left(\frac{A}{R}\right)_e} = 1,5$  (z. B. Schmalseite, einfach verglaste Fenster über die ganze Fläche)

Es bedeutet:

- R äquivalenter Wärmedurchgangswiderstand (einschließlich Lüftungswärmeverlust)
- A Fläche
- EG Erdgeschoß
- KG Kellergeschoß
- OG Obergeschoß
- e nach außen
- i zu beheizten Räumen

### 8.5.6 Wärmeverlust zu Nachbarwohnungen

Analog zur Vorgangsweise bei der Ermittlung der Randbedingung für Pufferräume werden auch für angrenzende Nachbarwohneinheiten die sich einstellenden operativen Temperaturen vorab ermittelt. Bei der Ermittlung der Temperaturen in der angrenzenden Wohneinheit werden keine inneren Lasten und keine Heizleistung berücksichtigt. Es wird somit davon ausgegangen, dass die Wohneinheit nicht belegt ist. Die ermittelte Temperatur wird an-

schließlich als Randbedingung für die Berechnung der Heizlast des betrachteten Raumes herangezogen.

#### Vereinfachtes Verfahren:

Grenzt ein Raum an eine benachbarte Wohneinheit, kann als Randbedingung eine konstante Temperatur im Nachbarraum von 18 °C angesetzt werden. Untersuchungen haben gezeigt, dass diese Temperatur in Niedrigstenergiegebäuden, auch bei länger andauernder Abwesenheit der Personen in einer Wohneinheit nicht unterschritten wird.

#### 8.5.7 Wärmeverlust zu angrenzenden Räumen innerhalb einer Wohneinheit

Es kann grundsätzlich angenommen werden, dass sich angrenzende Räume innerhalb einer Wohneinheit auf dem gleichen Temperaturniveau befinden, wie der Raum für den die Berechnung der Heizlast durchgeführt wird. Es findet daher kein Wärmeaustausch zwischen Räumen innerhalb einer Wohneinheit statt.

#### 8.5.8 Berücksichtigung von Wärmebrücken

Wärmebrücken werden in dem Raumsimulationsmodell mit einem Wärmebrückenzuschlag berücksichtigt. Dieser berechnet sich nach folgender Gleichung:

$$\Delta U_{WB,k} = \frac{\sum_i \cdot \psi_i \cdot l_i + \sum_j \cdot \chi_j}{A_k} \quad (90)$$

$\Delta U_{WB,k}$	W/m <sup>2</sup> K	Wärmebrückenzuschlag für ein Bauteil k
$\psi_i$	W/mK	längenbezogener Wärmebrückenkoeffizient der Wärmebrücke i
$A_k$	m <sup>2</sup>	Fläche des Bauteils k
$l_i$	m	Länge der linearen Wärmebrücke i
$\chi_j$	W/K	punktbezogener Wärmebrückenkoeffizient der Wärmebrücke j

#### 8.5.9 Berechnung der Raumheizlast

Die in einem Raum benötigte Heizleistung wird über eine dynamische Raumsimulation unter Berücksichtigung der oben angeführten Randbedingungen berechnet. Das Simulationsmodell kann dabei dem oben beschriebenen Raumknotenmodell entsprechen.

In der Simulation wird für jede Stunde des Auslegungszeitraums der Mittelwert der ideal benötigten Heizleistung über die letzten 24 Stunden gebildet. Der während des Auslegungszeitraums maximal erreichte 24-Stunden-Mittelwert der benötigten Heizleistung wird als Heizlast des Raumes bezeichnet und für die weitere Auslegung des Gebäudes verwendet.

#### 8.5.10 Berechnung der Gebäudeheizlast

Die Gebäudeheizlast kann aus der Summe der einzelnen Raumheizlasten berechnet werden. Dazu müssen die einzelnen Räume ohne die Verluste bzw. Gewinne zu den angrenzenden Wohneinheiten berechnet werden.

Alternativ dazu können Räume mit gleicher Nutzung bei der Berechnung der Heizlast zu einer Zone zusammengefasst werden. Die Umschließungsbauteile dieser Zone werden aus den Außenbauteilen der tatsächlichen Räume gebildet. An den Umschließungsflächen werden die entsprechenden Randbedingungen angesetzt. Für die Berechnung der Lüftungsverluste wird die Summe des Nettoraumvolumens aller Räume innerhalb der Zone herangezogen.

Es besteht außerdem die Möglichkeit, eine Mehrzonen-Simulation des gesamten Gebäudes durchzuführen. Dabei ist jeder Raum des Gebäudes als eine Zone im Simulationsmodell zu modellieren.

## 8.6 Nachweis der Zuluftbeheizbarkeit von Wohnräumen

Der Nachweis der Zuluftbeheizbarkeit verläuft ähnlich wie die Berechnung der Heizlast. Es wird jedoch nicht wie bei der Berechnung der Heizlast eine Leistung ermittelt, sondern der Verlauf der operativen Raumtemperatur während des Auslegungszeitraums. Während bei der Heizlastberechnung grundsätzlich davon ausgegangen wird, dass angrenzende Wohneinheiten unbeheizt sind, darf für den Nachweis der Zuluftbeheizbarkeit außerdem in zwei Fälle unterschieden werden:

- an den nachzuweisenden Raum angrenzende Wohneinheiten sind beheizt
- an den nachzuweisenden Raum angrenzende Wohneinheiten sind unbeheizt

Bei dem Nachweis der Zuluftbeheizbarkeit werden dieselben meteorologischen Randbedingungen angesetzt, wie bei der Berechnung der Heizlast. Sowohl die anzusetzende Außenlufttemperatur als auch die solare Einstrahlung werden gleich angenommen wie bei der Heizlastberechnung.

### 8.6.1 Operative Raumtemperatur

Bei der Berechnung der Heizlast wird, für Räume, die für den Aufenthalt von Personen bestimmt sind, ein Zielwert für die operative Raumtemperatur von 22 °C herangezogen. In Absprache mit dem Auftraggeber können jedoch auch andere Raumtemperaturen für den Nachweis der Zuluftbeheizbarkeit herangezogen werden.

### 8.6.2 Innere Lasten

Die für die Berechnung der Heizlast heranzuziehenden inneren Lasten werden in Kapitel 6 ausführlich beschrieben. Für die Heizlastberechnung ist der effiziente Betriebsstrombedarf zu verwenden.

### 8.6.3 Luftwechsel

Für den Nachweis der Zuluftbeheizbarkeit werden keine Wärmeverluste über die Lüftungsanlage angesetzt. Dies ist zulässig, da die Zuluft vor dem Eintritt in den Raum jedenfalls über das Temperaturniveau der Raumluft angehoben werden muss, um eine Zuluftbeheizung des Raumes realisieren zu können. Die Wärmeverluste über den Infiltrationsluftwechsel müssen jedoch berücksichtigt werden.

#### Auslegungszulufttemperatur der mechanischen Lüftungsanlage

Die Auslegungszulufttemperatur ist für den Nachweis der Zuluftbeheizbarkeit in Absprache mit dem Haustechnikplaner anzusetzen. Temperaturen von über 50 °C sind jedenfalls wegen Staubverschmelzung am Wärmetauscher zu vermeiden.

#### Anmerkung:

Bei der weiteren Planung und Ausführung der Lüftungsanlage ist darauf zu achten, dass die tatsächliche Zulufttemperatur nicht unter der Temperatur liegt, die bei der Berechnung der

Heizlast angesetzt wurde. Schon wenige Meter ungedämmter Rohrleitung können hier zu einem starken Temperaturverlust führen.

Luftwechselzahl einer Wohneinheit über die mechanische Lüftungsanlage

Für den Nachweis der Zuluftbeheizbarkeit wird der Zuluftvolumenstrom für die gesamte Wohneinheit ermittelt. Dieser wird dann in Abhängigkeit der benötigten Heizleistung auf die einzelnen Räume innerhalb der Wohneinheit aufgeteilt. Dabei werden zwei Fälle unterschieden (siehe Abbildung 41):

Fall 1 - an den nachzuweisenden Raum angrenzende Wohneinheiten sind beheizt:

Für den Fall, dass die Nachbarwohnungen beheizt sind, wird ein maximaler Luftwechsel von 0,4 1/h für die gesamte Wohneinheit angenommen. Bei durchschnittlicher Belegung der Wohnungen (35 m<sup>2</sup>/Person bei Wohnungsnutzung) kann davon ausgegangen werden, dass die relative Luftfeuchte im Winter nicht unter 35 % sinkt. Die Verwendung von Wäschetrocknern oder eine geringere Belegung kann jedoch zu niedrigeren Luftfeuchten führen.

Fall 2 - an den nachzuweisenden Raum angrenzende Wohneinheiten sind unbeheizt:

Für den Fall, dass die Nachbarwohnungen nicht belegt sind, wird ein maximaler Luftwechsel von 0,6 1/h für die zu nachzuweisende Wohneinheit angenommen. Der Luftvolumenstrom einer unbeheizten Wohnung wird somit auf die angrenzenden Wohneinheiten aufgeteilt. Da die unbeheizten Wohneinheiten keine Zuluft beziehen, muss eine zentrale Lüftungsanlage trotzdem nicht auf einen 0,6-fachen Luftwechsel dimensioniert werden (siehe Abbildung 41). Dezentrale Lüftungsanlagen müssen einen 0,6-fachen Luftwechsel realisieren können, um die Wärmeverluste zu unbeheizten Nachbarräumen kompensieren zu können.

Anmerkung:

Der Luftwechsel sollte im Winter aufgrund des geringen Feuchtigkeitsanteils der Außenluft längerfristig nicht über 0,4 1/h liegen. Kurzzeitig kann der Luftvolumenstrom auf bis zu 0,6 1/h angehoben werden, ohne ein zu starkes Abfallen der Raumluftfeuchte, mit der damit in Zusammenhang stehenden Verringerung der Behaglichkeit, erwarten zu müssen.

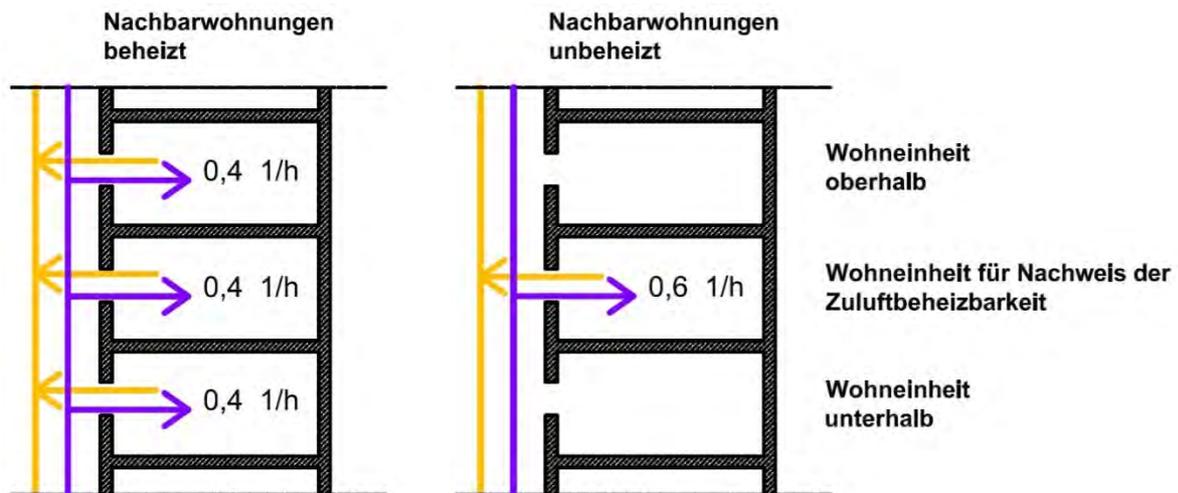


Abbildung 41: Luftwechselzahl für den Fall beheizter Nachbarwohnungen und unbeheizter Nachbarwohnungen

Verteilung des Luftvolumenstroms innerhalb einer Wohneinheit über die mechanische Lüftungsanlage

Nach einer ersten Berechnung der Heizlast aller Räume einer Wohneinheit wird der gesamte Zuluftvolumenstrom der Wohneinheit, in Abhängigkeit der benötigten Heizleistung, anteilmäßig auf die Räume mit Zuluftöffnungen aufgeteilt. Der gesamte Abluftvolumenstrom der Wohneinheit wird auf die Räume mit Abluftauslässen anteilmäßig über die Nettraumflächen aufgeteilt. Da das aus einem Raum abgeführte Luftvolumen aus anderen (temperierten) Räumen zuströmt, wird der Abluftvolumenstrom einer Zone behandelt als wäre er ein Zuluftvolumenstrom. Die Temperatur dieses Volumenstroms entspricht dabei dem festgelegten Zielwert der operativen Raumtemperatur. Ein Raum, in dem weder Zuluftöffnungen, noch Abluftauslässe vorhanden sind, bezieht jene Luftmenge, die von den angrenzenden Räumen abgeführt wird und dabei diesen Raum durchströmt.

Infiltrationsluftwechsel

Der Infiltrationsluftwechsel wird gemäß ÖNORM EN ISO 12831 [ONO03] bzw. ÖNORM H 7500 [ONO06] über folgende Formel ermittelt:

$$\dot{V}_{\text{inf},i} = 2 \cdot n_{50} \cdot e_i \cdot \varepsilon_i \quad (91)$$

$\dot{V}_{\text{inf},i}$	m <sup>3</sup> /h	Infiltrationsvolumenstrom
$n_{50}$	m <sup>2</sup>	Luftwechselrate bei einer Druckdifferenz von 50 Pa
$e_i$	-	Abschirmungskoeffizient
$\varepsilon_i$	-	Höhenkorrekturfaktor

Wobei der Höhenkorrekturfaktor bei Gebäuden mit einem Raumhöhenmittel bis 10 m über dem Erdreich gemäß ÖNORM H 7500 [ONO06] mit 1,0 angenommen werden kann. Bei ei-

nem Raumhöhenmittel von mehr als 10 m über dem Erdreich wird der Höhenkorrekturfaktor nach folgender Gleichung berechnet:

$$\varepsilon_i = \left( \frac{h}{10} \right)^4 \quad (92)$$

$\varepsilon_i$  - Höhenkorrekturfaktor  
 $h$  M Raumhöhenmittel über Erdreich

Der Abschirmungskoeffizient kann der folgenden Tabelle entnommen werden:

Tabelle 35: Abschirmungskoeffizient für verschiedene Gebäudestandorte [DRA07]

Abschirmungsklasse	$e_f$		
	Anzahl der Außenbauteile mit Öffnungen ins Freie bei beheizten Räumen		
	keine	eine	zwei
keine Abschirmung (Gebäude in windreichen Gegenden, Hochhäuser)	0	0,03	0,05
moderate Abschirmung (Gebäude im Freien, umgeben von Bäumen oder anderen Gebäuden, Vorstädte)	0	0,02	0,03
gute Abschirmung (Gebäude mittlerer Höhe in Stadtzentren, Gebäude in bewaldeten Regionen)	0	0,01	0,02

#### 8.6.4 Wärmeverluste zum Erdreich

Die Wärmeverluste zum Erdreich sind nach ÖNORM EN ISO 13370 [ONO08d] zu berechnen. Diese enthält ein Verfahren zur Ermittlung stündlicher Temperaturwerte für das angrenzende Erdreich. Die ermittelten Temperaturwerte des Erdreichs werden dann als Randbedingung für den Wärmetransport durch den erdberührten Bauteil herangezogen.

#### 8.6.5 Wärmeverlust zu Pufferräumen

Für die Berechnung der Heizlast eines Raumes müssen angrenzende, unkonditionierte Zonen berücksichtigt werden. Dabei wird so vorgegangen, dass der Temperaturgang in diesen Pufferräumen analog zu dem tatsächlich zu berechnenden Raum simuliert wird. Als Randbedingung für die Temperatur in konditionierten Räumen wird dabei der Zielwert der operativen Temperatur in der konditionierten Zone herangezogen. Die berechnete Temperatur im Pufferraum wird anschließend als Randbedingung für den betrachteten Raum herangezogen.

#### 8.6.6 Wärmeverlust zu Nachbarwohnungen

Analog zur Vorgangsweise bei der Ermittlung der Randbedingung für Pufferräume werden auch für angrenzende Nachbarwohneinheiten die sich einstellenden operativen Raumtemperaturen vorab ermittelt. Als Randbedingung für die Temperatur in konditionierten Räumen

wird dabei der Zielwert der operativen Temperatur in der konditionierten Zone herangezogen. Bei der Ermittlung der Temperaturen in der angrenzenden Wohneinheit werden keine inneren Lasten und keine Heizleistung berücksichtigt. Es wird somit davon ausgegangen, dass die Wohneinheit nicht belegt ist. Die ermittelte Temperatur wird anschließend als Randbedingung für die Berechnung der Heizlast des betrachteten Raumes herangezogen.

#### Vereinfachtes Verfahren:

Grenzt ein Raum an eine benachbarte Wohneinheit, kann als Randbedingung eine konstante Raumtemperatur im Nachbarraum von 18 °C angesetzt werden. Untersuchungen haben gezeigt, dass diese Temperatur in Niedrigstenergiegebäuden, auch bei länger andauernder Abwesenheit der Personen in einer Wohneinheit nicht unterschritten wird.

#### 8.6.7 Wärmeverlust zu angrenzenden Räumen innerhalb einer Wohneinheit

Es kann grundsätzlich angenommen werden, dass sich angrenzende Räume innerhalb einer Wohneinheit auf dem gleichen Temperaturniveau befinden, wie der Raum für den der Nachweis der Zuluftbeheizbarkeit durchgeführt wird. Es findet daher kein Wärmeaustausch zwischen diesen Räumen statt. Grenzt jedoch ein Raum ohne Zuluftöffnung an einen Raum mit Zuluftöffnung, wird als Randbedingung eine konstante Temperatur von 22 °C angenommen. Die Temperatur in dem Raum würde sonst unverhältnismäßig schnell abfallen, da in der Berechnung dieser Zone kein Wärmeeintrag berücksichtigt wird.

#### 8.6.8 Berücksichtigung von Wärmebrücken

Wärmebrücken werden in dem Raumsimulationsmodell mit einem Wärmebrückenzuschlag berücksichtigt. Dieser berechnet sich nach folgender Gleichung:

$$\Delta U_{WB,k} = \frac{\sum_i \cdot \psi_i \cdot l_i + \sum_j \cdot \chi_j}{A_k} \quad (93)$$

$\Delta U_{WB,k}$	W/m <sup>2</sup> K	Wärmebrückenzuschlag für ein Bauteil k
$\psi_i$	W/mK	längenbezogener Wärmebrückenkoeffizient der Wärmebrücke i
$A_k$	m <sup>2</sup>	Fläche des Bauteils k
$l_i$	m	Länge der linearen Wärmebrücke i
$\chi_j$	W/K	punktbezogener Wärmebrückenkoeffizient der Wärmebrücke j

#### 8.6.9 Nachweis der Zuluftbeheizbarkeit

Der Nachweis der Zuluftbeheizbarkeit wird über eine dynamische Raumsimulation unter Berücksichtigung der oben angeführten Randbedingungen geführt. Das Simulationsmodell kann dabei dem oben beschriebenen Raumknotenmodell entsprechen.

In der Simulation wird für jede Stunde des Auslegungszeitraums der Mittelwert der operativen Raumtemperatur über die letzten 24 Stunden gebildet. Der während des Auslegungszeitraums minimal erreichte 24-Stundenmittelwert der operativen Raumtemperatur, sowie die

während des Auslegungszeitraums minimal erreichte operative Raumtemperatur werden für den Nachweis der Zuluftbeheizbarkeit herangezogen.

Für den Nachweis der Zuluftbeheizbarkeit müssen folgende Berechnungen durchgeführt werden:

**Berechnung 1:** Berechnung der Raumheizlast ohne Luftwechsel

- Luftwechselzahl = 0 1/h (kein Luftwechsel)
- Nachbarwohnungen beheizt
- Ermittlung der idealen Heizlast

Mit der Berechnung 1 wird die benötigte Heizleistung des Raumes zu ermittelt. Diese ist dann Grundlage für die Verteilung der Volumenströme innerhalb der Wohneinheit.

**Berechnung 2:** Berechnung der operativen Raumtemperatur während des Auslegungszeitraums

- Luftwechselzahl = 0,4 1/h
- Zulufttemperatur = Auslegungszulufttemperatur
- Nachbarwohnungen beheizt
- Ermittlung operative Raumtemperatur

**Nachweiskriterium:**

- 24-Stundenmittelwert der operativen Raumtemperatur  $\geq$  Zieltemperatur
- Minimum der operativen Raumtemperatur während des Auslegungszeitraums  $\geq$  Zieltemperatur – 1 K

**Berechnung 3:** Berechnung der zusätzlich erforderlichen Heizleistung bei Zuluftbeheizung und unbeheizten Nachbarräumen

- Luftwechselzahl = 0,6 1/h
- Zulufttemperatur = Auslegungszulufttemperatur
- Nachbarwohnungen unbeheizt

- Ermittlung operativen Raumtemperatur

Nachweiskriterium:

- 24-Stundenmittelwert der operativen Raumtemperatur  $\geq$  Zieltemperatur
- Minimum der operativen Raumtemperatur während des Auslegungszeitraums  $\geq$  Zieltemperatur – 1 K

Können die Nachweiskriterien nicht zu jeder Stunde des Auslegungszeitraums erfüllt werden, sind zusätzliche Wärmeabgabesysteme vorzusehen. Für die Auslegung dieser Wärmeabgabesysteme ist die erforderliche Heizleistung zu ermitteln. Dabei ist der Luftwechsel mit 0,4 1/h anzusetzen und die Nachbarwohnungen sind als unbeheizt anzunehmen.

**Berechnung 4:** Ermittlung der benötigten Heizleistung für die Auslegung von Wärmeabgabesystemen

- Luftwechselzahl = 0,4 1/h
- Nachbarwohnungen unbeheizt
- Ermittlung der zusätzlich erforderlichen Heizleistung

## 8.7 Definition der meteorologischen Randbedingungen - Sommerfall

Für die Planung der Kühlsysteme in einem Gebäude sind klimatische Auslegungszustände festzulegen. Diese müssen so gewählt werden, dass ein Anstieg der Temperatur über einen festgelegten Grenzwert während einer Hitzeperiode mit hoher Wahrscheinlichkeit ausgeschlossen werden kann.

In diesem Bericht soll ein einheitliches Berechnungsverfahren für die Auslegung von Gebäuden entwickelt werden. Dieses soll sowohl für den Winterfall als auch für den Sommerfall anwendbar sein. Es wird daher ein Modell für die meteorologischen Eingangsdaten hergeleitet, welches sich auf dieselben Grundlagen stützt wie das Modell für den Winterfall.

Auch im Sommerfall kann in zwei Klimazustände unterschieden werden. Im Gegensatz zum Winterfall liegt jedoch in beiden Fällen eine hohe solare Einstrahlung vor. Die beiden Klimazustände für den Sommerfall unterscheiden sich lediglich in der Höhe der Außenlufttemperatur.

Es ergeben sich somit zwei Klimaszenarien, die für die Auslegung der Kühlsysteme von Gebäuden maßgeblich sein können:

- Klimazustand 1: mäßig hohe Temperaturen klarer Himmel und mäßig hohe solare Einstrahlung
- Klimazustand 2: extrem hohe Außentemperaturen, klarer Himmel und dadurch extrem hohe solare Einstrahlung

Die Berechnung der Kühllast wird grundsätzlich für den Sonnenstand am 15. Juli durchgeführt.

### Außentemperatur für die Auslegungsberechnungen - Sommerfall

Mit dem Klimazustand 1 wird eine länger anhaltende Hitzeperiode berücksichtigt. Als Außentemperatur wird für diesen Zustand der Tagesmittelwert der Außenlufttemperatur herangezogen, der im langjährigen Mittel zumindest 130 Mal in 10 Jahren überschritten wird. Diese Temperatur kann für jeden Standort Österreichs in Abhängigkeit der Seehöhe aus [BMW12] ermittelt werden. Um einen zeitlichen Verlauf der Außentemperatur generieren zu können, wird die Monatsmitteltemperatur mit einer definierten Tagesschwingung überlagert. Diese kann dem halbsynthetischen Klimadatenmodell der ÖNORM 8110-5 [ONO11] entnommen werden.

Mit dem Klimazustand 2 wird eine kurz anhaltende, extreme Hitzeperiode berücksichtigt. Als Außentemperatur wird für diesen Zustand jener Tagesmittelwert der Außentemperatur herangezogen, der im langjährigen Mittel zumindest 10 Mal in 10 Jahren überschritten wird. Dieser Tagesmittelwert wird analog zum Klimazustand 1 mit einer sinusförmigen Tagesschwingung, deren Amplitude aus [ONO11] ermittelt wird, überlagert.

Anmerkung:

In der ÖNORM B 8110-3 [ONO12a] sind stündliche Werte für die Amplitude der Tages-schwingung angegeben. Das Maximum der Außenlufttemperatur wird dabei um 16:00 Uhr erreicht. Berücksichtigt man dies bei der Überlagerung des Tagesmittelwertes mit der Ta-geschwingung, wird der stündliche Verlauf der Außentemperatur wie folgt festgelegt:

$$\vartheta_{h,m} = \vartheta_m - A_d \cdot \cos\left(\frac{2\pi \cdot (h_d - 3)}{24}\right) \quad (94)$$

$\vartheta_{h,m}$             °C    Stundenmitteltemperatur

$\vartheta_m$                 °C    Tagesmitteltemperatur

$A_d$                 K     Tagesamplitude

$h_d$                 h     Stunde am Tag

Anwendungsbeispiel:

Für den Standort Wien Landstraße ergibt sich für den Klimazustand 1 ein Tagesmittelwert der Außenlufttemperatur von 26 °C und für den Klimazustand 2 ein Tagesmittelwert der Au-ßentemperatur von 30 °C. Überlagert werden die Tagesmittelwerte mit einer Tagesamplitude von 5,3 K gemäß ÖNORM 8110-5 [ONO11]. Die sich ergebenden Temperaturverläufe sind Abbildung 42 dargestellt.

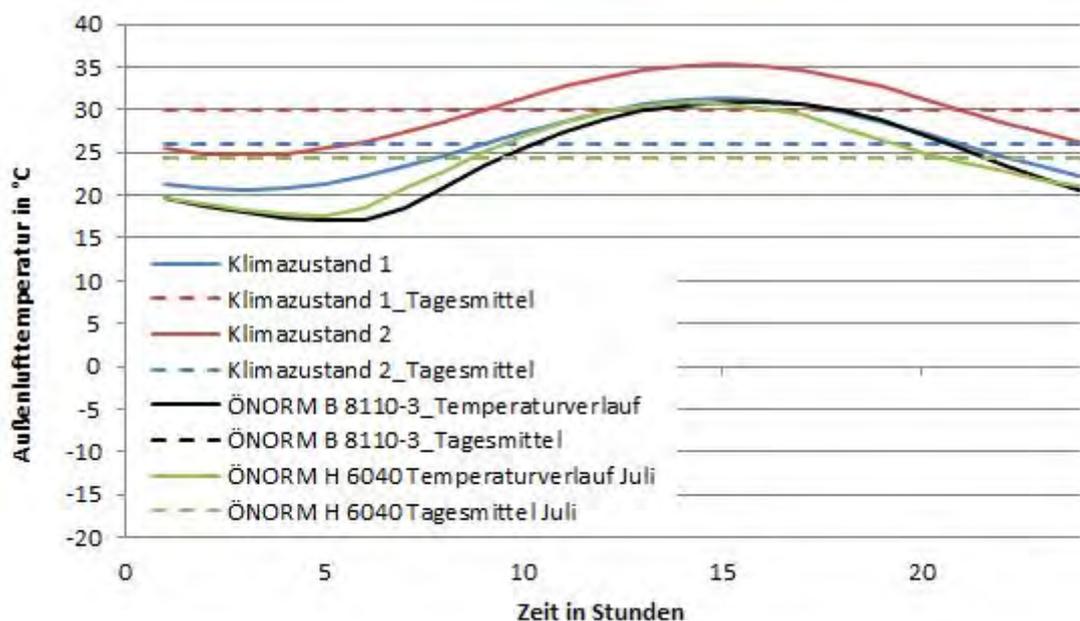


Abbildung 42: Außenlufttemperaturverlauf für den Sommerfall - Klimazustand 1 und Klimazustand 2

Die Einhaltung der gewünschten Raumtemperaturen muss für den Klimazustand 1 dauerhaft möglich sein. Der Klimazustand 2 stellt hingegen nur ein zeitlich begrenztes Ereignis dar. Die Einhaltung der Temperaturen in einem Raum muss nicht für einen unbegrenzten Zeitraum sichergestellt werden.

Vor dem Start der eigentlichen Berechnung wiederholt das Simulationsprogramm die Berechnung des ersten Tages mit dem Auslegungszustand 1 so lange bis ein periodisch eingeschwungener Zustand erreicht wird. Danach startet die eigentliche Berechnung des Klimazustands 1. Nach dem ersten Tag wird die Temperatur mittels einer Exponentialfunktion innerhalb von 5 Tagen auf das Niveau des Klimazustands 2 angehoben.

Die Außentemperatur wird in Abhängigkeit der Zeit nach folgender Exponentialfunktion berechnet:

$$\vartheta_{h_b} = \vartheta_{h_d, K2} + e^{-\frac{h_b-24}{24}} \cdot (\vartheta_{h_d, K1} - \vartheta_{h_d, K2}) \quad (95)$$

$\vartheta_{h_b}$	°C	Außentemperatur zur Stunde $h_b$ im Berechnungszeitraum
$\vartheta_{h_d, K2}$	°C	Außentemperatur im Klimazustand 2 zur Tagesstunde $h_d$
$h_b$	h	Stunde im Berechnungszeitraum
$\vartheta_{h_d, K1}$	°C	Außentemperatur im Klimazustand 1 zur Tagesstunde $h_d$

Die Simulation wird dann für einen weiteren Tag unter den Bedingungen des Klimazustands 2 durchgeführt. Abbildung 43 zeigt die Entwicklung der Außentemperatur über den Simulationszeitraum.

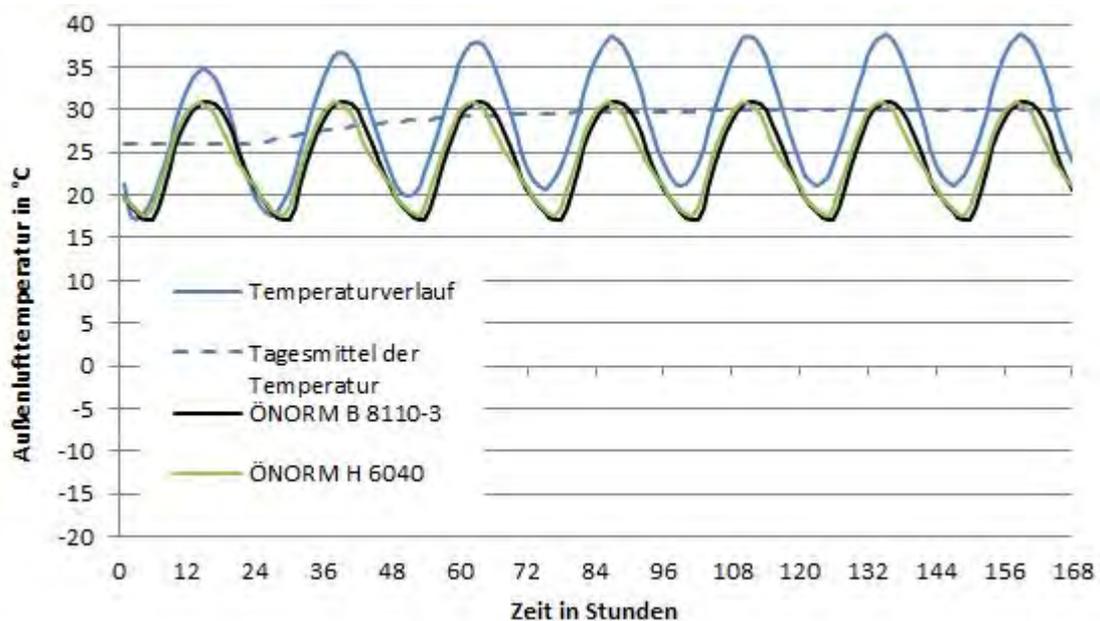


Abbildung 43: Außentemperaturverlauf während des Auslegungszeitraumes für den Sommerfall

### Solare Einstrahlung

Im Zuge der Untersuchungen im Rahmen dieses Forschungsberichts wurden verschiedene Modelle zur Berechnung der solaren Bestrahlungsstärke untersucht. Die Berechnung der solaren Einträge lässt sich in folgende Teile aufgliedern:

- Berechnung des Sonnenstands
- Berechnung der Strahlung auf eine horizontale Fläche
- Berechnung der Strahlung auf eine beliebig orientierte und geneigte Fläche
- Berechnung der Strahlung durch eine beliebig orientierte und geneigte transparente Fläche

Die Berücksichtigung einer eventuellen Verschattung durch Umgebungsbebauung oder auskragende Bauteile muss in der Berechnung der solaren Einstrahlung auf die Verglasungen enthalten sein.

### Berechnung des Sonnenstands

Modelle für die Ermittlung des Sonnenstands sind in unterschiedlichen Quellen niedergeschrieben. Die Berechnung des Sonnenstands kann z. B. nach den Ausführungen in der Richtlinie VDI 6007 [VDI10] erfolgen. Der Sonnenstand kann mithilfe der VDI-Richtlinie für jede Stunde im Jahresverlauf über die Sonnenhöhe und den Sonnenazimut festgelegt werden. Als Eingangswerte werden lediglich der geografische Längen- und Breitengrad des Ortes, für den die Berechnung durchgeführt wird, benötigt. Auf die einzelnen Berechnungsschritte wird hier nicht näher eingegangen.

### Berechnung der Strahlung auf eine horizontale Fläche

Die solare Einstrahlung wird nach VDI 6007 [VDI10] berechnet. Dabei wird für den Klimazustand 1 eine Sonnenwahrscheinlichkeit von 100 % angesetzt. Für den Klimazustand 2 errechnet sich die Strahlungsintensität nach folgender Formel:

$$I_{sol,h,K2} = I_{sol,h,K1} \cdot 1,33 \quad (96)$$

$I_{sol,K2}$       W/m<sup>2</sup>      Stundenmittelwert der Strahlungsintensität– Klimazustand 2

$I_{sol,K1}$       W/m<sup>2</sup>      Stundenmittelwert der Strahlungsintensität – Klimazustand 1

Die Erhöhung der Strahlungsintensität um 33 % wurde gewählt, da die Strahlungsberechnung nach [VDI10] für die Auslegung von Gebäuden im Sommerfall zu geringe Werte ergibt.

### Berechnung der Strahlung auf eine beliebig orientierte und geneigte Fläche

Die VDI 6007 [VDI10] beinhaltet auch einen Formelapparat für die Umrechnung der Strahlung von einer horizontalen Fläche auf eine beliebig orientierte und geneigte Fläche.

### Anwendungsbeispiel:

Für den Standort Wien ergeben sich für den Klimazustand 1 je nach Ausrichtung der Fläche die in Abbildung 44, Abbildung 45, Abbildung 46, Abbildung 47 und Abbildung 48 dargestellten Verläufe der Strahlungsintensität. Die Intensität der Global-, Diffus- und Direktstrahlung liegt bei dem Klimazustand 2 jeweils um ein Drittel höher.

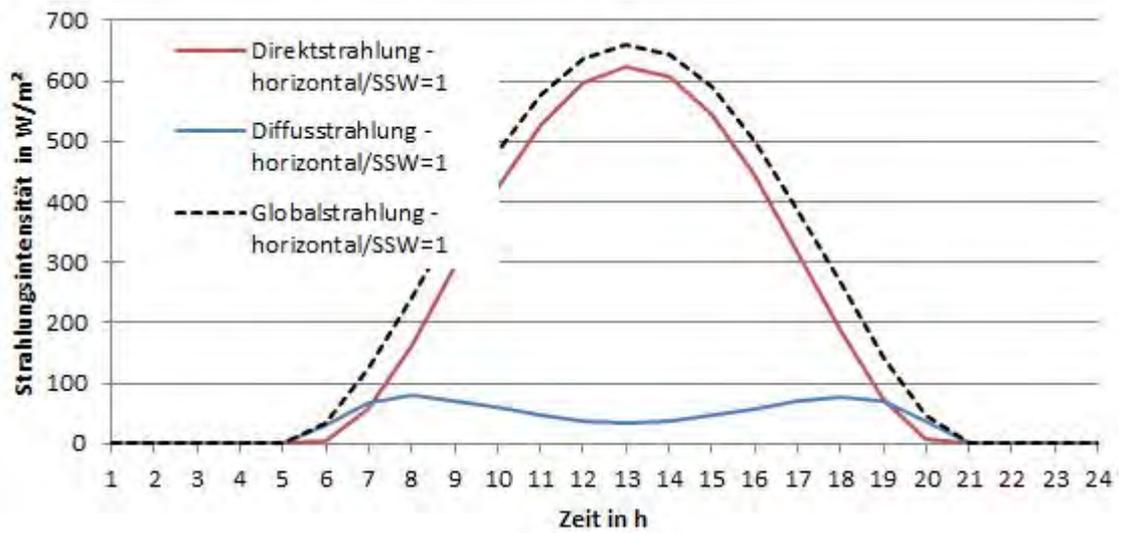


Abbildung 44: Verlauf der Diffusstrahlung, Direktstrahlung und Globalstrahlung auf eine horizontale Fläche für den Klimazustand 1 (Sommerfall)

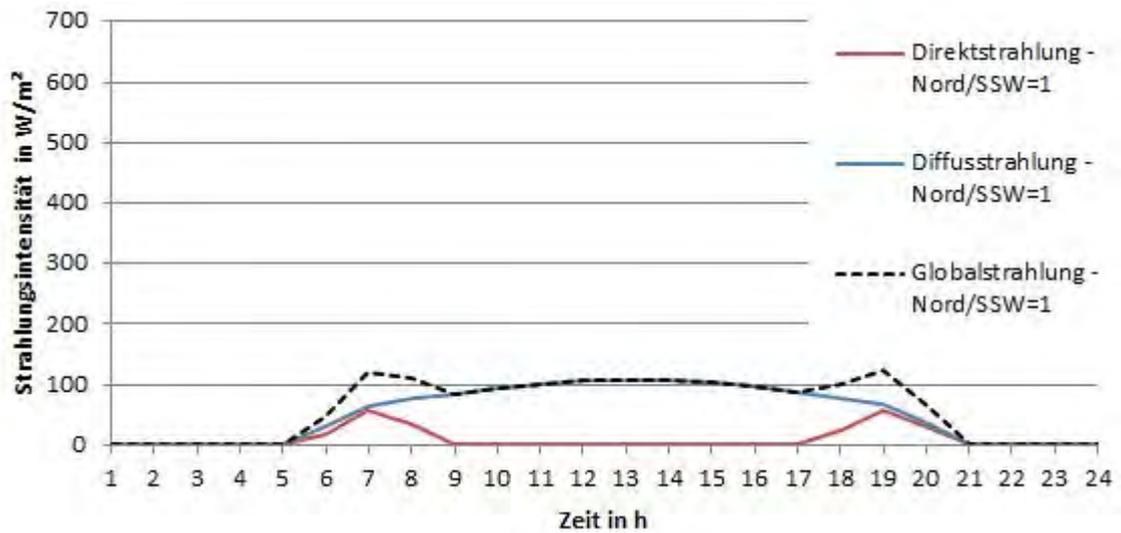


Abbildung 45: Verlauf der Diffusstrahlung, Direktstrahlung und Globalstrahlung auf eine nach Norden ausgerichtete Fläche für den Klimazustand 1 (Sommerfall)

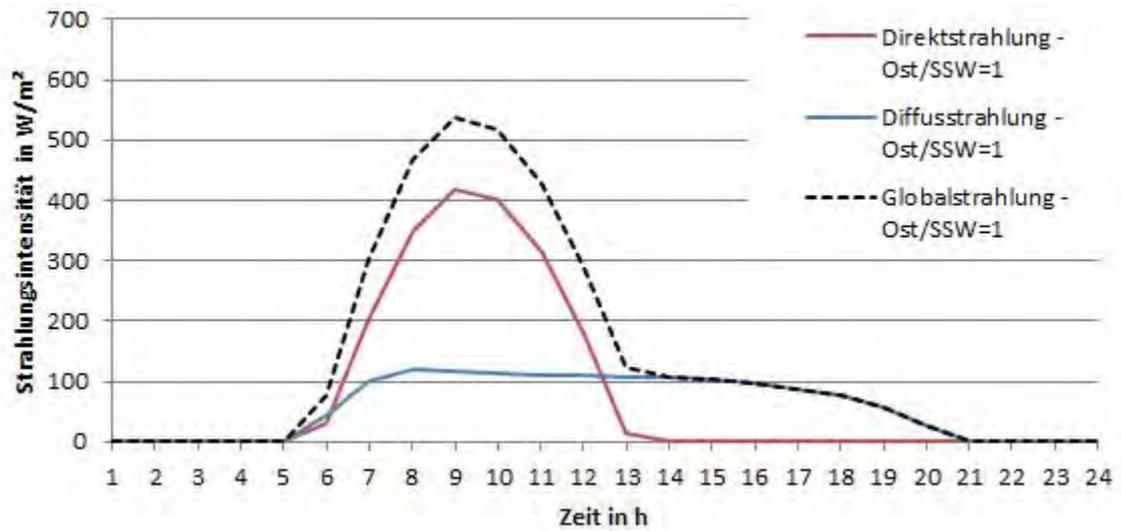


Abbildung 46: Verlauf der Diffusstrahlung, Direktstrahlung und Globalstrahlung auf eine nach Osten ausgerichtete Fläche für den Klimazustand 1 (Sommerfall)

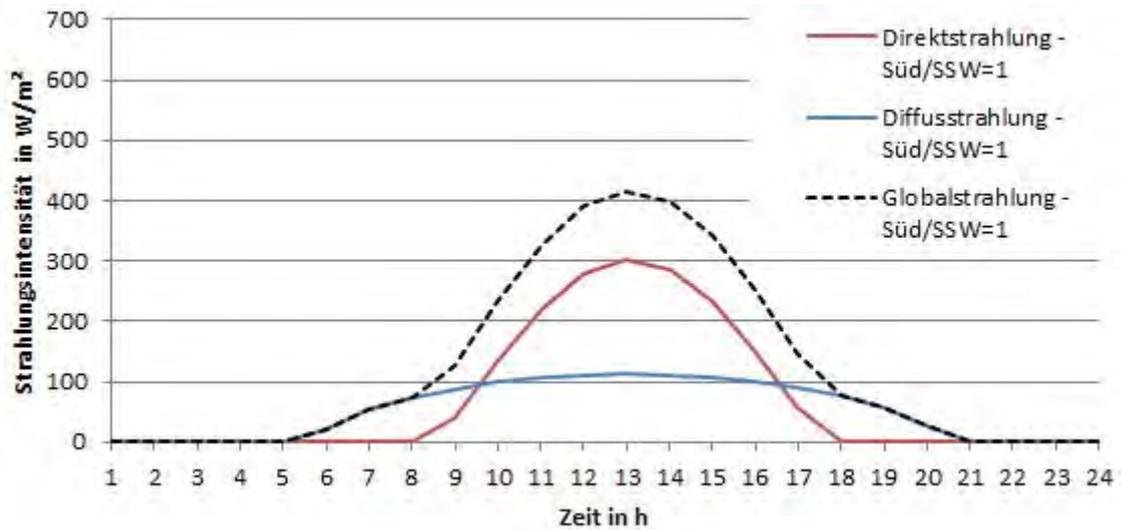


Abbildung 47: Verlauf der Diffusstrahlung, Direktstrahlung und Globalstrahlung auf eine nach Süden ausgerichtete Fläche für den Klimazustand 1 (Sommerfall)

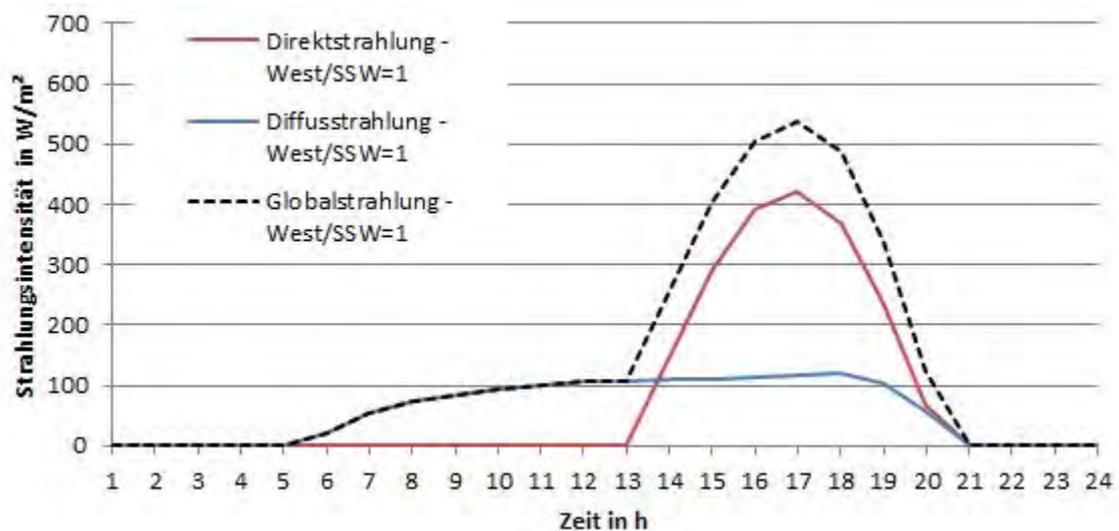


Abbildung 48: Verlauf der Diffusstrahlung, Direktstrahlung und Globalstrahlung auf eine nach Westen ausgerichtete Fläche für den Klimazustand 1 (Sommerfall)

Die Strahlungsintensität im Klimazustand 2 liegt (wie oben beschrieben) um jeweils 33 % höher als im Klimazustand 1.

Die Zusammensetzung der beiden Klimazustände zu einem Strahlungsverlauf für den Auslegungszeitraum erfolgt analog zur Vorgangsweise bei der Bildung des Temperaturverlaufs für den Auslegungszeitraum.

Die Strahlungsintensität wird in Abhängigkeit der Zeit nach folgender Exponentialfunktion berechnet:

$$I_{h_b} = I_{h_d, K2} + e^{-\frac{h_b - 24}{24}} \cdot (I_{h_d, K1} - I_{h_d, K2}) \quad (97)$$

$I_{h_b}$	W/m²	Strahlungsintensität zur Stunde $h_b$ im Berechnungszeitraum
$I_{h_d, K2}$	°C	Strahlungsintensität zur Tagesstunde $h_d$ im Klimazustand 2
$h_b$	h	Stunde im Berechnungszeitraum
$I_{h_d, K1}$	°C	Strahlungsintensität zur Tagesstunde $h_d$ im Klimazustand 1

In Abbildung 49, Abbildung 50, Abbildung 51, Abbildung 52 und Abbildung 53 sind die Verläufe der Intensität der Direkt-, Diffus- und Globalstrahlung für verschiedene Ausrichtungen dargestellt.

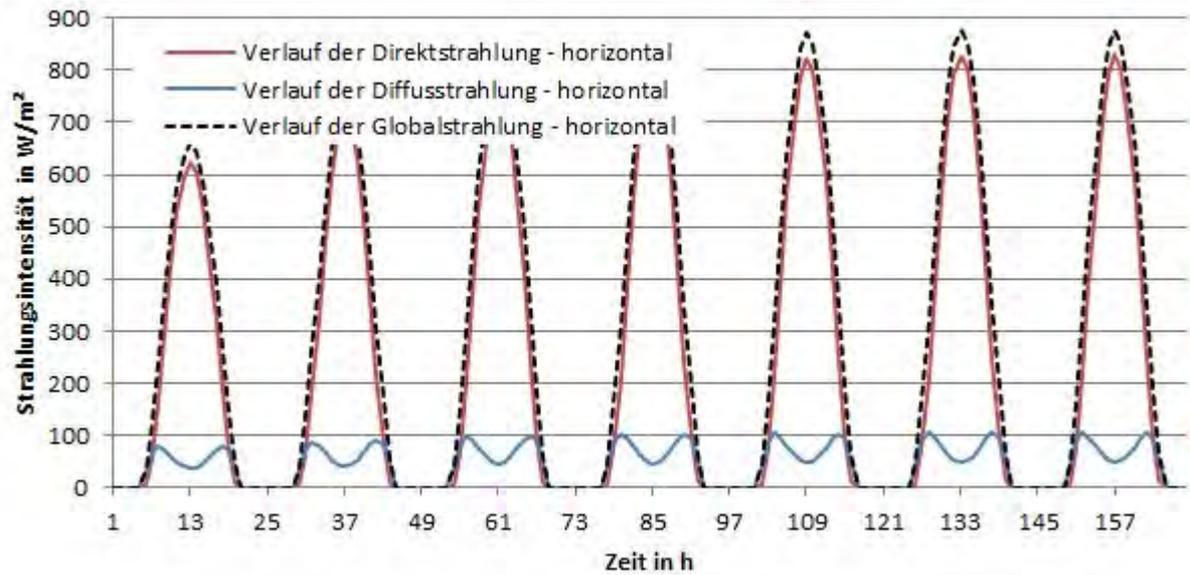


Abbildung 49: Verlauf der Diffusstrahlung, Direktstrahlung und Globalstrahlung auf eine horizontale Fläche während des Auslegungszeitraums (Sommerfall)

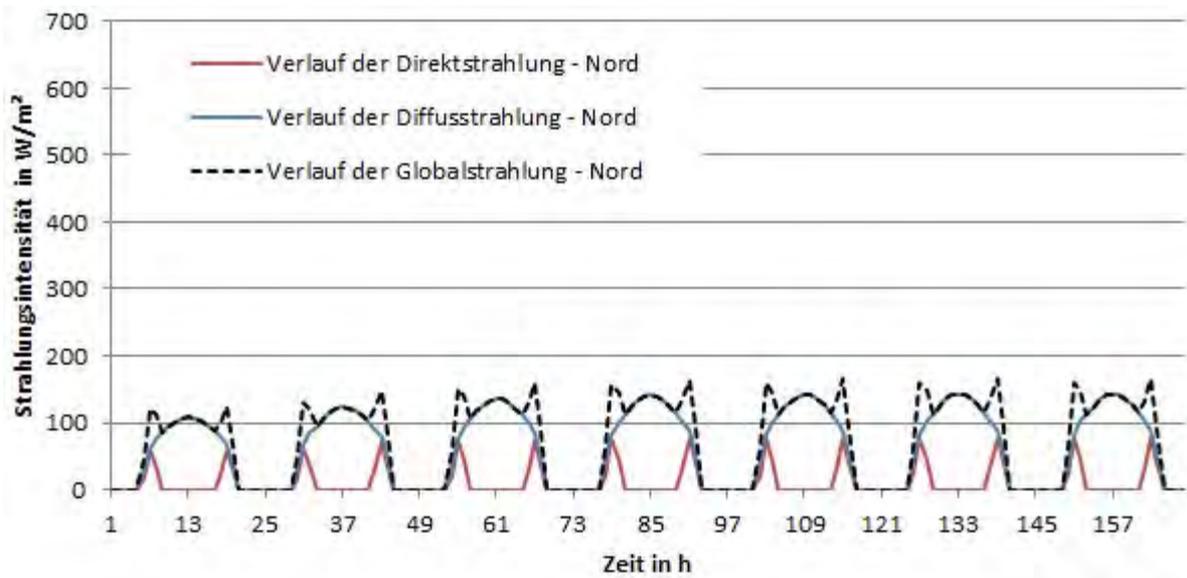


Abbildung 50: Verlauf der Diffusstrahlung, Direktstrahlung und Globalstrahlung auf eine nach Norden ausgerichtete Fläche während des Auslegungszeitraums (Sommerfall)

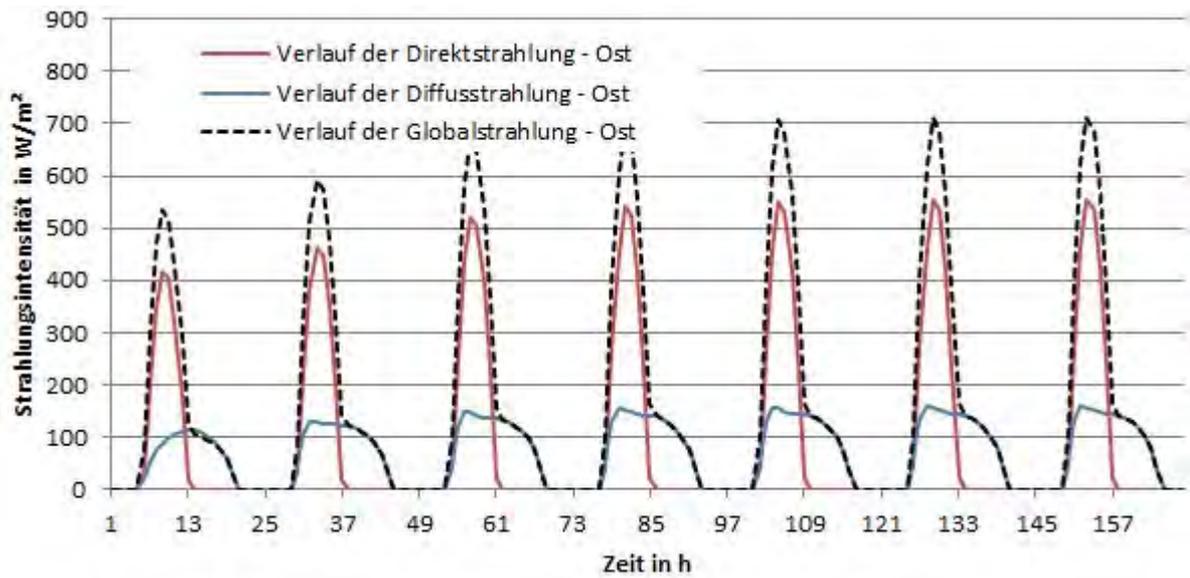


Abbildung 51: Verlauf der Diffusstrahlung, Direktstrahlung und Globalstrahlung auf eine nach Osten ausgerichtete Fläche während des Auslegungszeitraums (Sommerfall)

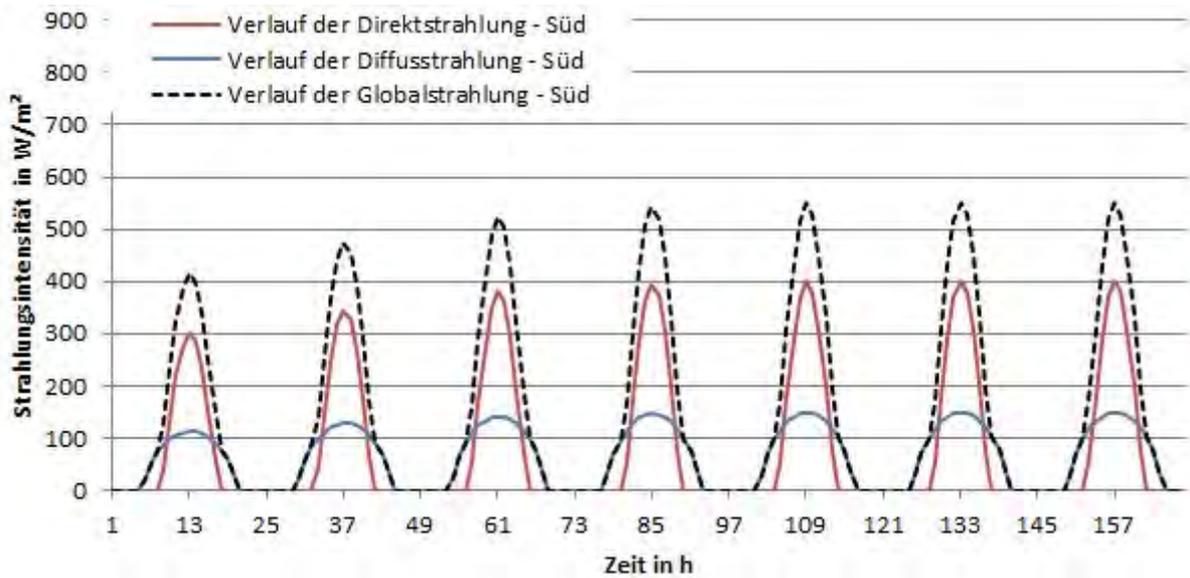


Abbildung 52: Verlauf der Diffusstrahlung, Direktstrahlung und Globalstrahlung auf eine nach Süden ausgerichtete Fläche während des Auslegungszeitraums (Sommerfall)

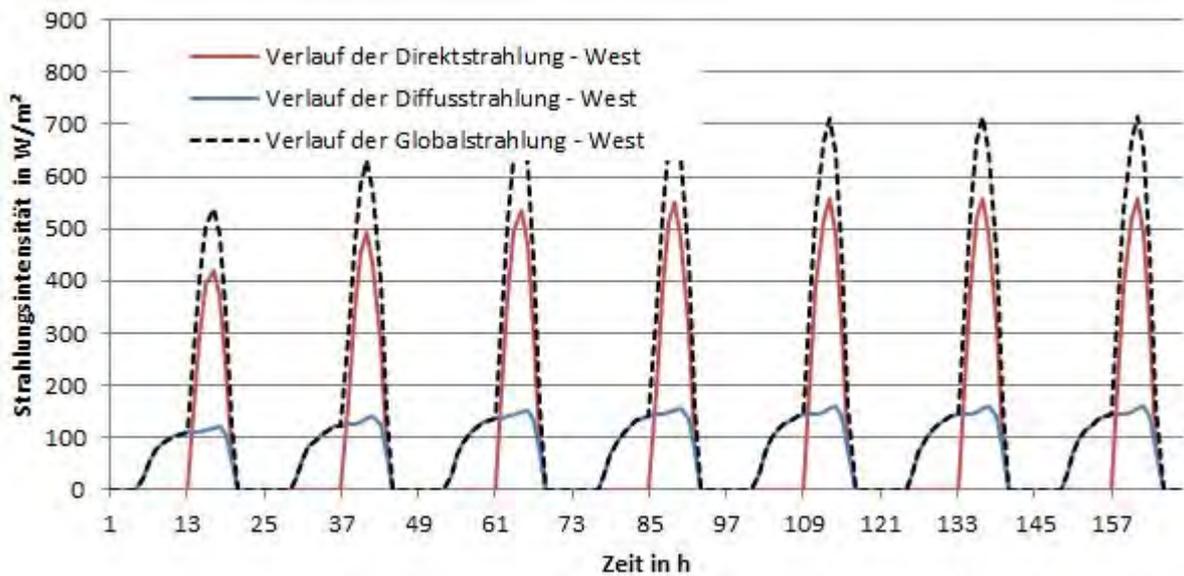


Abbildung 53: Verlauf der Diffusstrahlung, Direktstrahlung und Globalstrahlung auf eine nach Westen ausgerichtete Fläche während des Auslegungszeitraums (Sommerfall)

Durch die Festlegung des Verlaufs der Außenlufttemperatur und des Verlaufs der Strahlungsintensität wurde das Klimamodell für den Sommerfall definiert. In Abbildung 54 ist der Zusammenhang zwischen dem Tagesmittel der Außenlufttemperatur und dem Tagesmittel der Globalstrahlung auf eine horizontale Fläche für mehrere Messjahre am Standort Wien dargestellt. Zusätzlich sind die Tagesmittel der Außentemperatur und der Globalstrahlung der hergeleiteten Auslegungszustände in der Abbildung enthalten.

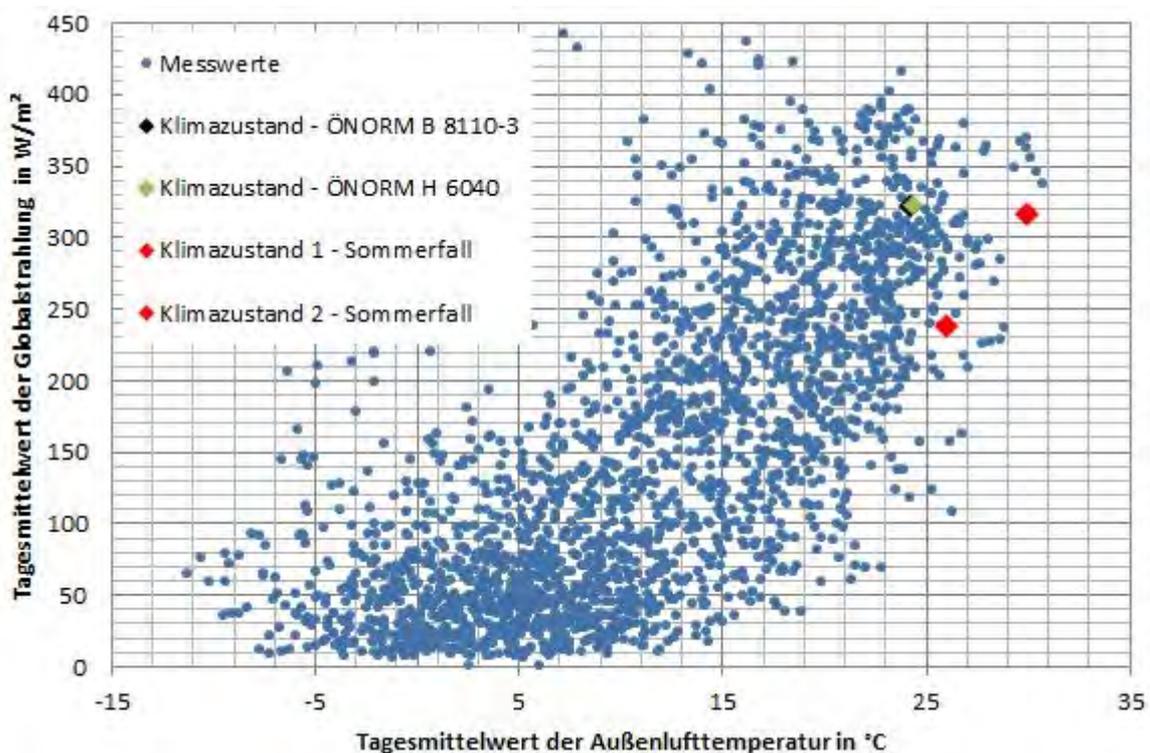


Abbildung 54: Zusammenhang zwischen dem Tagesmittel der Globalstrahlung und der Außenlufttemperatur mit Kennzeichnung der Auslegungsklimazustände für den Sommerfall, Datenquelle: Messdaten der Wetterstation der TU Wien in der Adolf-Blamauer-Gasse aus den Jahren 2005, 2007, 2008, 2009, 2010, 2011, 2012 (Jan-Apr).

Berechnung der Strahlung durch eine beliebig orientierte und geneigte transparente Fläche  
Die Berechnung des Strahlungsdurchgangs durch transparente Bauteile ist in der Beschreibung des Simulationsmodells enthalten (siehe Kapitel 8.3.4).

## 8.8 Berechnung der Kühllast

Die nachfolgend hergeleiteten Randbedingungen sind für die Berechnung der sensiblen Kühllast von Räumen vorgesehen. Auf die Berechnung der latenten Kühlleistung (Entfeuchtungsleistung) wird hier nicht eingegangen.

### 8.8.1 Operative Temperatur

Der Zielwert der operativen Raumtemperatur wird in Absprache mit dem Auftraggeber festgelegt. Für Büronutzung wird ein Sollwert der operativen Temperatur von 25 °C empfohlen. Tieferere Temperaturen führen zu einem erheblich höheren Energiebedarf, ohne dabei die Behaglichkeit zu verbessern.

### 8.8.2 Innere Lasten

Die für die Berechnung der Kühllast heranzuziehenden inneren Lasten werden in Kapitel 6 ausführlich beschrieben. Für die Kühllastberechnung ist der Standardbetriebsstrombedarf zu verwenden, ausgenommen die zukünftigen Nutzer sind bekannt, so kann auch mit dem effizienten oder einem genau ermittelten Betriebsstrombedarf gerechnet werden. Dies führt zu einer optimalen Auslegung der Haustechnikanlage.

### 8.8.3 Luftwechsel

Der bei der Berechnung der Kühllast anzusetzende Luftwechsel setzt sich bei natürlicher Belüftung der Räume aus dem Maximum aus hygienischem Luftwechsel und Infiltrationsluftwechsel zusammen. Bei Verwendung einer mechanischen Lüftungsanlage wird der anzusetzende Luftvolumenstrom aus der Summe aus dem Luftwechsel über die Lüftungsanlage und dem Infiltrationsluftwechsel gebildet. Der Wärmeeintrag durch die Ventilatoren der Lüftungsanlage muss, in Abhängigkeit ihrer Lage und ihrer Leistung, bei der Berechnung der Kühllast berücksichtigt werden.

#### Hygienischer Luftwechsel

Für Wohnräume wird eine Luftwechselzahl von 0,4 1/h bezogen auf das Nettoraumvolumen angesetzt. Wie in der ÖNORM B 8110-3 [ONO12a] ist für die Berechnung der Kühllast von Büroräumen zwischen 5:00 Uhr und 22:00 Uhr pro Person ein Volumenstrom von 35 m<sup>3</sup>/h zu berücksichtigen.

Die oben erwähnten Luftwechselraten stellen Empfehlungen für den hygienisch notwendigen Mindestluftwechsel dar. Wird in der Planung ein anderer Luftvolumenstrom vorgesehen, ist der höhere von beiden Werten anzusetzen.

#### Infiltrationsluftwechsel

Es kann davon ausgegangen werden, dass der Infiltrationsluftwechsel keinen wesentlichen Beitrag zur Erhöhung der erforderlichen Kühlleistung hervorruft. Der Wärmeaustausch zufolge des Infiltrationsluftwechsels kann daher bei der Berechnung der Kühllast vernachlässigt werden.

#### 8.8.4 Wärmeaustausch mit dem Erdreich

Die Wärmeverluste zum Erdreich sind nach ÖNORM EN ISO 13370 [ONO08d] zu berechnen. Diese enthält ein Verfahren zur Ermittlung stündlicher Temperaturwerte für das angrenzende Erdreich. Die ermittelten Temperaturwerte des Erdreichs werden als Randbedingung für den Wärmetransport durch den erdberührten Bauteil herangezogen.

#### 8.8.5 Wärmeaustausch mit Pufferräumen

Für die Berechnung der Kühllast eines Raumes müssen angrenzende, unconditionierte Zonen berücksichtigt werden. Dabei wird so vorgegangen, dass der Temperaturgang in diesen Pufferräumen analog zu dem tatsächlich zu berechnenden Raum simuliert wird. Als Randbedingung für die Temperatur in konditionierten Räumen wird dabei der Zielwert der operativen Temperatur in der konditionierten Zone herangezogen. Die berechnete Temperatur im Pufferraum wird anschließend als Randbedingung für den betrachteten Raum herangezogen.

#### 8.8.6 Wärmeaustausch mit Nachbarwohnungen

Analog zur Vorgangsweise bei der Ermittlung der Randbedingung für Pufferräume werden auch für angrenzende Nachbarwohneinheiten die sich einstellenden operativen Raumtemperaturen vorab ermittelt. Als Randbedingung für die Temperatur in konditionierten Räumen wird dabei der Zielwert der operativen Temperatur in der konditionierten Zone herangezogen. Die ermittelte Temperatur wird anschließend als Randbedingung für die Berechnung der Kühllast des betrachteten Raumes herangezogen.

#### 8.8.7 Wärmeaustausch mit Pufferräumen

Für die Berechnung der Kühllast eines Raumes müssen angrenzende, unconditionierte Zonen berücksichtigt werden. Dabei wird so vorgegangen, dass der Temperaturgang in diesen Pufferräumen analog zu dem tatsächlich zu berechnenden Raum simuliert wird und die erhaltene Temperatur anschließend als Randbedingung für den betrachteten Raum herangezogen wird.

#### 8.8.8 Wärmeaustausch mit Nachbarwohnungen

Analog zur Vorgangsweise bei der Ermittlung der Randbedingung für Pufferräume werden auch für angrenzende Nachbarwohneinheiten die sich einstellenden operativen Raumtemperaturen vorab ermittelt. Die ermittelte Temperatur wird anschließend als Randbedingung für die Berechnung der Kühllast des betrachteten Raumes herangezogen.

#### 8.8.9 Wärmeaustausch mit angrenzenden Räumen innerhalb einer Wohneinheit

Es kann grundsätzlich angenommen werden, dass sich angrenzende Räume innerhalb einer Wohneinheit auf dem gleichen Temperaturniveau befinden, wie der Raum für den die Berechnung der Kühllast durchgeführt wird. Es findet daher kein Wärmeaustausch zwischen Räumen innerhalb einer Wohneinheit statt.

### 8.8.10 Berücksichtigung von Wärmebrücken

Wärmebrücken werden in dem Raumsimulationsmodell mit einem Wärmebrückenzuschlag berücksichtigt. Dieser berechnet sich nach folgender Gleichung:

$$\Delta H_{WB,k} = \frac{\sum_i \cdot \psi_i \cdot l_i + \sum_j \cdot \chi_j}{A_k} \quad (98)$$

$\Delta H_{WB,k}$	W/K	Wärmebrückenzuschlag für den Bauteil k
$A_k$	m <sup>2</sup>	Fläche des Bauteils k
$\psi_i$	W/mK	längenbezogener Wärmebrückenkoeffizient der Wärmebrücke i
$l_i$	m	Länge der linearen Wärmebrücke i
$\chi_j$	W/K	punktbezogener Wärmebrückenkoeffizient der Wärmebrücke j

### 8.8.11 Berechnung der Raumkühllast

Die in einem Raum benötigte Kühlleistung wird über eine dynamische Raumsimulation unter Berücksichtigung der oben angeführten Randbedingungen berechnet. Das Simulationsmodell kann dabei dem oben beschriebenen Raumknotenmodell entsprechen.

In der Simulation wird für jede Stunde des Auslegungszeitraums der Mittelwert der ideal benötigten Kühlleistung gebildet. Der während des Auslegungszeitraums maximal erreichte Stundenmittelwert der benötigten Kühlleistung wird als Kühllast des Raumes bezeichnet und für die Auslegung der Kühlanlage verwendet.

### 8.8.12 Berechnung der Gebäudekühllast

Die Gebäudekühllast kann aus der Summe der einzelnen Raumkühllasten für jede Stunde des Auslegungszeitraums berechnet werden. Dazu müssen jedoch die einzelnen Räume ohne die Verluste bzw. Gewinne zu den angrenzenden Wohneinheiten berechnet werden.

Alternativ dazu kann eine Mehrzonen-Simulation für das gesamte Gebäude durchgeführt werden. Dabei ist jeder Raum des Gebäudes als eine Zone im Simulationsmodell zu modellieren.

## 8.9 Nachweis über die Vermeidung sommerlicher Überwärmung

Die Randbedingungen für den Nachweis der Vermeidung sommerlicher Überwärmung sind in der aktuell gültigen ÖNORM B 8110-3 [ONO12a] bereits ausführlich beschrieben. Der Nachweis lässt sich auf Grundlage der gültigen Normung auch für Niedrigstenergiegebäude führen. In diesem Forschungsbericht wird versucht eine einheitliche Berechnungsumgebung für die Auslegung von Niedrigstenergiegebäuden zu schaffen. Der Nachweis der Vermeidung sommerlicher Überwärmung gemäß ÖNORM B 8110-3 beruht auf der Berechnung des Tagesganges der operativen Temperatur und gliedert sich daher sehr gut in die hier vorgestellte Berechnungsumgebung ein. Laut Norm wird der Nachweis jedoch nur für einen sich periodisch wiederholenden Tag geführt. Der anzusetzende Tagesmittelwert der Außentemperatur entspricht dabei jenem Tagesmittelwert der Außentemperatur der in 10 Jahren 130 Mal überschritten wird (gem. ÖNORM B 8110-5 [ONO11]). Die Berechnungen werden somit für einen länger andauernden Zeitraum mit relativ hohen Außentemperaturen durchgeführt. Der Nachweis sollte jedoch auch extrem hohe und dafür kürzer auftretende Außentemperaturen berücksichtigen. Erst dadurch wird die unterschiedliche thermische Speicherkapazität von Baumaterialien für den Nachweis der Vermeidung sommerlicher Überwärmung ausreichend berücksichtigt. Es wird daher empfohlen, die oben hergeleiteten meteorologischen Randbedingungen für den Sommerfall in das Nachweisverfahren zur Vermeidung sommerlicher Überwärmung aufzunehmen. Da sich alle in diesem Bericht behandelten Auslegungsverfahren für Gebäude auf dieselbe Berechnungsmethodik und einheitlich gewählte Randbedingungen stützen, kann auf das vereinfachte Verfahren für den Nachweis der Vermeidung sommerlicher Überwärmung verzichtet werden.

## 9 Modifikation der Energiebedarfsberechnung

Die Bestimmung des Primärenergiebedarfs und der Treibhausgasemissionen eines Gebäudes basiert auf der Ermittlung des Energiebedarfs für die verschiedenen Energieträger an der Systemgrenze Et. Wie in der folgenden Abbildung ersichtlich ist dazu eine Beschreibung des Energiebedarfs des Aufwandes für die Verteilung und Speicherung von Energie und der Verluste der Bereitstellung notwendig. Grundsätzlich ist die Beschreibung der Komponenten in den ÖNORMEN H 50xx enthalten. Eine verbesserte Beschreibung von wesentlichen Komponenten zur Energiebereitstellung in Niedrigstenergiegebäuden erfolgt in Kapitel 9.1 und notwendige Modifikationen der Berechnung des gesamten Energiesystems in Kapitel 9.2.

### 9.1 Komponentenmodellierung

#### 9.1.1 Biomassekessel

Ein Biomassekessel besteht aus einer Brennkammer, in der die Biomasse verbrannt wird. In der Brennkammer wird die Wärme mittels Strahlung an die Wände und in weiterer Folge an das Wasser abgegeben. Nach der Brennkammer kommen Rauchgaszüge. Dort wird mittels Wärmetauscher innere Energie vom Rauchgas durch Wärmeübergang an die Wärmetauscherwand, durch Wärmeleitung durch die Wärmetauscherwand und schließlich durch Wärmeübergang von der Wärmetauscherwand an das Wasser übertragen, in welchem die Energie in Form von innerer Energie weitertransportiert wird. Das erwärmte Wasser wird in einen Speicher eingespeist und von dort aus verteilt. Dies ist notwendig, um das häufige An- und Ausschalten, auch Takten genannt, des Biomassekessels zu minimieren.

Das vermehrte Zünden und kurze Betriebszeiten verringern den Jahresnutzungsgrad und steigern die Emissionsbelastung des Kessels. Um dies zu verhindern, ist es sinnvoll, Biomassekessel nur in Kombination mit einem Speicher zu betreiben [DRÜ99]. Forschungsergebnisse zeigen, dass sich bei Biomassekesseln, welche mit einem Speicher betrieben werden, die Taktzyklen verringern [STR07]. Dabei spielt die Art des Speichers (durchmischter Speicher oder Schichtspeicher) für das Gesamtsystem auch eine wichtige Rolle, siehe Abbildung 55.

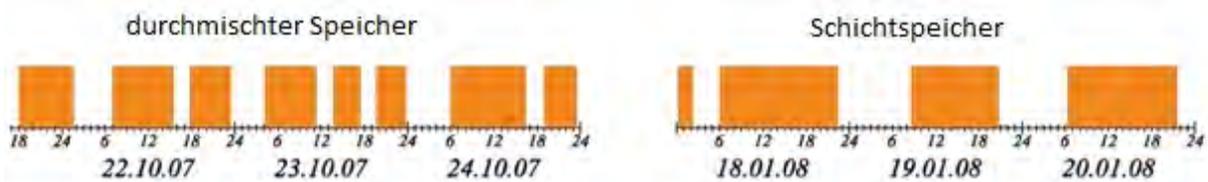


Abbildung 55: Taktverhalten eines Wärmeerzeugers mit unterschiedlichen Speichertypen, selbe Volumina [FLO10]

In der Norm EN 303-5:1999 [ONO99] wird nur der stationäre Betriebszustand (Voll- und Teillast) abgebildet. Das dynamische Verhalten (Anfahren, Abkühlen und Speichereffekte) des Kessels wird nicht berücksichtigt. Dadurch wird das Realverhalten nicht gut widerspiegelt.

Diese Norm befindet sich in Überarbeitung. Dabei werden diese instationären Zustände Berücksichtigung finden [HEC10].

Die Emissionsmessung während des Anfahrens sollte dabei auch beachtet werden. Um den Kessel genau abbilden zu können, müssen die einzelnen Verluste (siehe Abbildung 56), genauso wie die Aufteilung der elektrischen Energie gemessen werden.

Biomassekesselmodelle gibt es in unterschiedlichen Detaillierungsgraden. Modelle in Excel, Dymola und Trnsys berücksichtigen die dynamischen Effekte des Kessels [HUB11]. Dafür werden momentan Parameter aus Messungen übernommen, um das Realverhalten abbilden zu können (Abkühlverhalten, Gluterhaltung), da die Daten aus dem Prüfprotokoll nicht ausreichen. Für die vereinfachte Berechnung auf Stundenbasis kann der folgende Formelapparat herangezogen werden. Die Grundlage dieser Vereinfachung ist die Modellbildung aus den Projekten Gebin und Adres [BOI12] [EIN11].

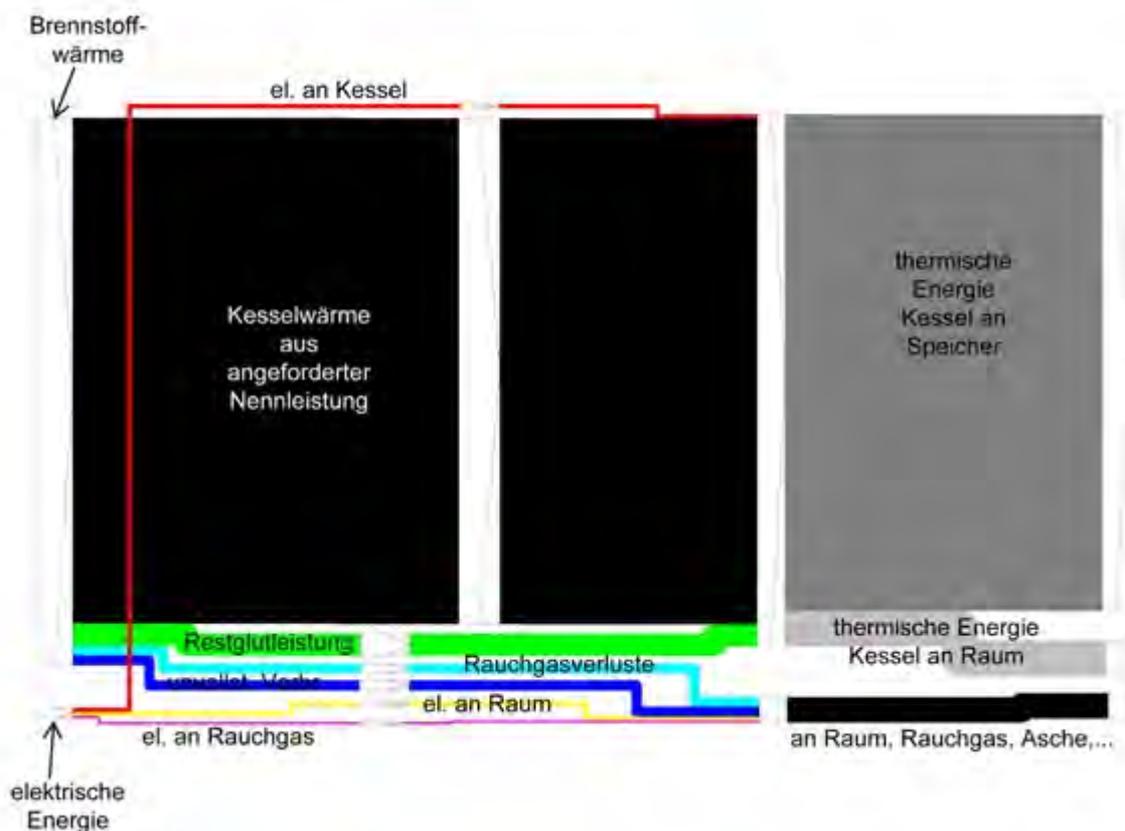


Abbildung 56: Energieflussdiagramm Biomassekessel [BOI12]

Um den Verbrauch der Biomasse zu ermitteln, muss zwischen den Betriebszuständen „Anfahren“ und „stationärer Betrieb“ unterschieden werden. Während des Anfahrvorganges wird Biomasse in die Brennkammer gefördert, jedoch noch keine thermische Leistung abgegeben. Im stationären Zustand kann mit einem kontinuierlichen Brennstoffmassenstrom gerechnet werden. Es wird nicht unterschieden zwischen Teil- und Vollastbetrieb.

$$m \begin{cases} = \dot{m} t_z \tilde{n} & \text{im Anfahrvorgang} \\ = \frac{\dot{Q}}{\eta H_u} t_{\text{stat}} \tilde{n} & \text{im stationären Betrieb} \\ = 0 & \text{keine Anforderung } \tilde{n} = 0 \end{cases} \quad (99)$$

Die elektrische Energie berechnet sich aus:

$$W_{\text{el}} = P_z t_z + P_{\text{Ver}} t_{\text{stat}} + W_{\text{standby}} \quad (100)$$

$m$	kg	Brennstoffmasseverbrauch	
$\dot{m}$	kg/h	Brennstoffmassenstrom	Prüfbericht
$\eta$		Wirkungsgrad	Prüfbericht
$q$	-	Anforderungssignal	
$H_u$	kWh/kg	unterer Heizwert	Datenblatt
$W_{\text{el}}$	Wh	el. Arbeit	
$P_z$	W	el. Leistung Zündstab	Prüfbericht
$t_z$	h	Zünddauer	Prüfbericht
$P_{\text{Ver}}$	W	Mittlere el. Leistung	Prüfbericht
$t_{\text{stat}}$	h	Zeit des stationären Betriebs	
$W_{\text{standby}}$	Wh	el. Grundlast	Prüfbericht
$\dot{Q}$	W	abgegebene thermische Leistung	

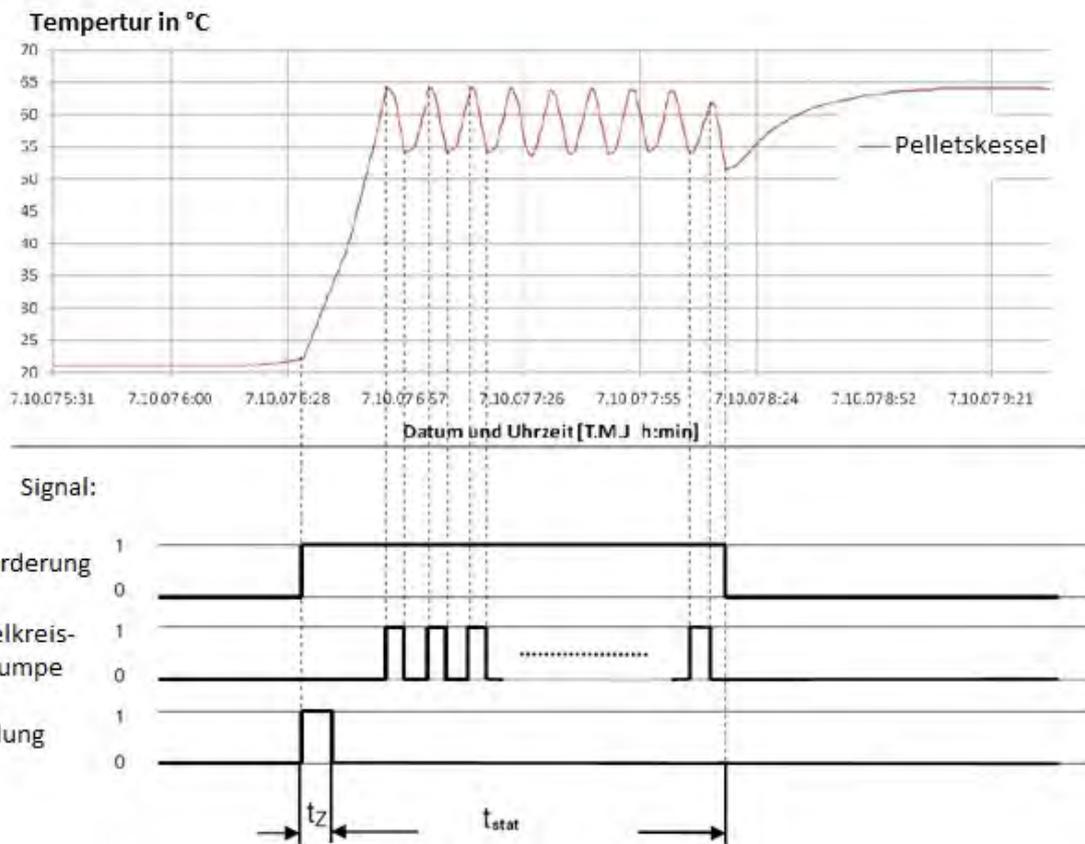


Abbildung 57: Wassertemperaturverlauf und Signale eines Pelletskessels [SAL11]

Um einen Biomassekessel realitätsnahe abzubilden, reicht die Simulation auf Stundenbasis nicht aus, da die Zündvorgänge nur einige Minuten andauern (siehe Abbildung 57). Um diese Effekte mit zu berücksichtigen, ist eine Zeitschrittweite zu wählen, die der Größenordnung der Zündvorgänge entspricht. Die oben beschriebenen Formeln bilden auf Stundenbasis, den Biomassekessel genauer ab als das Monatsbilanzverfahren, da das Startverhalten mit berücksichtigt wird.

### 9.1.2 Wärmepumpe / Kältemaschine

Formelzeichen nach EN 14511

Die Kompressionswärmepumpe ist heute die am häufigsten eingesetzte Wärmepumpe. Kompressionswärmepumpen sind geschlossene Systeme. Die Abbildung 58 zeigt ein Prozessschaltbild einer solchen Anlage.

Zum Antrieb des Verdichters können Elektromotoren, Gasmotoren, Diesel- oder Ottomotoren und Dampf- oder Gasturbinen eingesetzt werden. Man spricht dann von elektrischer Wärmepumpe, Gaswärmepumpe etc. Beim Antrieb mittels Wärmekraftmaschinen kann die thermische Energie des Kühlwassers dem Heizkreislauf der Wärmepumpe zugeführt werden. Begrenzt ist die Verwendung des einstufigen, einfachen Aufbaues durch den, mit höherem Temperaturniveau des abgegebenen Wärmestroms immer größer werdenden, Druck im Kondensator (praktische Grenze bei herkömmlichen Systemen bei 25 bar). Dieser Typ der Wärmepumpe ist in der Heizungstechnik am weitesten verbreitet. Man kann diese Anlagen

heute als kompaktes Gerät aus dem Katalog kaufen und ebenso problemlos wie einen Heizkessel installieren und betreiben. Vom exergetischen Standpunkt bietet diese Lösung den Vorteil, dass nur theoretisch die zum Heizen benötigte Exergie zum Verbraucher transportiert werden muss.

Im Heizungsbereich werden verschiedene Primärenergiequellen eingesetzt. Die Umgebungsluft hat den Nachteil, dass im Winter die Temperaturen unter den Gefrierpunkt absinken können. Schon bei 5 °C kommt es zu Vereisungsproblemen am Wärmetauscher. Darüber hinaus ist ein großer Nachteil, dass gerade im Winter, zur Zeit des größten Bedarfs, wegen der niedrigen Umgebungstemperatur die Leistungsziffer stark sinkt. Um die thermische Energie der Erde (landläufig auch Erdwärme genannt) zu nützen, werden Rohre unter der Frostgrenze im Erdreich verlegt. Wegen der schlechten Wärmeleitfähigkeit des Erdreichs sind große Heizflächen erforderlich.

Wasser eignet sich sehr gut als Primärenergiequelle. So hat zum Beispiel Grundwasser auch im Winter eine Temperatur von 8 bis 10 °C. In manchen Gegenden ist auch Thermalwasser mit höherer Temperatur verfügbar. Am wertvollsten ist natürlich warmes Abwasser. Abwasser sollte man allerdings besonders genau auf aggressive oder die Wärmetauscher verschmutzende Stoffe untersuchen. Ein wesentliches Problem beim Einsatz einer Wärmepumpe zur Gebäudeheizung ist die erforderliche Temperatur, mit der das Heizsystem gespeist wird. Liegt diese tief, wie zum Beispiel bei einer Fußbodenheizung, ist die Leistungsziffer wesentlich besser als bei einem Kreislauf mit Radiatorheizung.

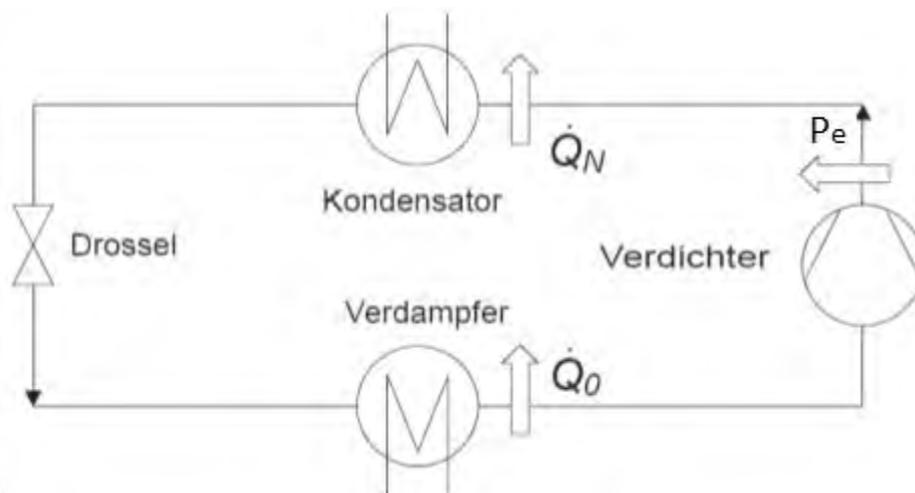


Abbildung 58: Kompressionskältemaschine /Wärmepumpe

Kompressionskältemaschine:  $\dot{Q}_0 = P_c$

Wärmepumpe:  $\dot{Q}_N = P_H$

Wärmepumpen und Kompressionskältemaschinen arbeiten nach dem gleichen Prinzip. Der Unterschied besteht in der Nutzung der zu- und abgeführten Energie. Bei der Kompressionskältemaschine wird der Wärmestrom ( $P_c$ ) dem zu kühlenden Raum entzogen und - vergrößert um die mechanische Leistung - als Abwärmestrom an die Umgebung abgegeben. Die

Wärmepumpe entzieht der Umgebung den Wärmestrom ( $\dot{Q}_E$ ) und bringt mithilfe des Verdichters auf ein höheres Temperaturniveau. Dort wird der Wärmestrom ( $P_H$ ) an den zu heizenden Raum abgegeben. Dieser Unterschied wird in Abbildung 59 ersichtlich. Es gibt Geräte, die sowohl als Wärmepumpe als auch als Kältemaschine eingesetzt werden können.

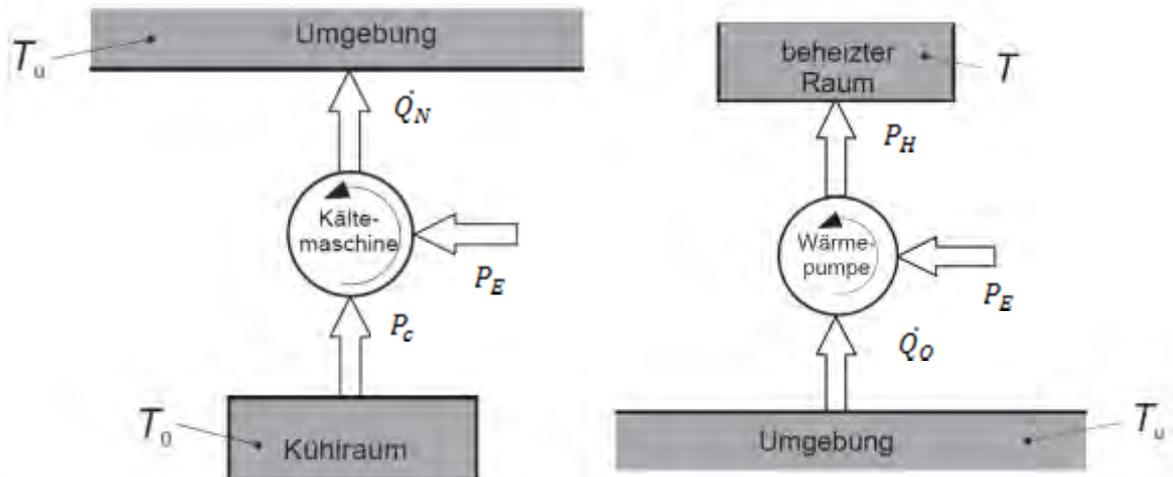


Abbildung 59: Energiebilanz einer reversiblen a.) Kompressionskältemaschine und b.) Wärmepumpe

Um den Wirkungsgrad zu beschreiben wird in der Norm EN 14511 [ONO11c] die „energy efficiency ratio“ (EER) für Kompressionskältemaschinen und die „coefficient of performance“ (COP) für Wärmepumpen als Kenngrößen beschrieben.

Bei der Prüfung nach EN 14511 [ONO11c], EN 255 [ONO98] und EN 15879-1 [ONO11d] werden für bestimmte Temperaturpaarungen der Verdampfer- und Kondensatorvorlauftemperatur die Heiz- bzw. Kühlleistung, die elektrische Leistung und die COP/EER gemessen. Die Messung erfolgt in einem stationären Zustand und spiegelt das Realverhalten nur zum Teil wider. Mit diesen Prüfergebnissen werden die verschiedenen Wärmepumpen und Kompressionskältemaschinen jeweils untereinander vergleichbar, siehe Abbildung 60.

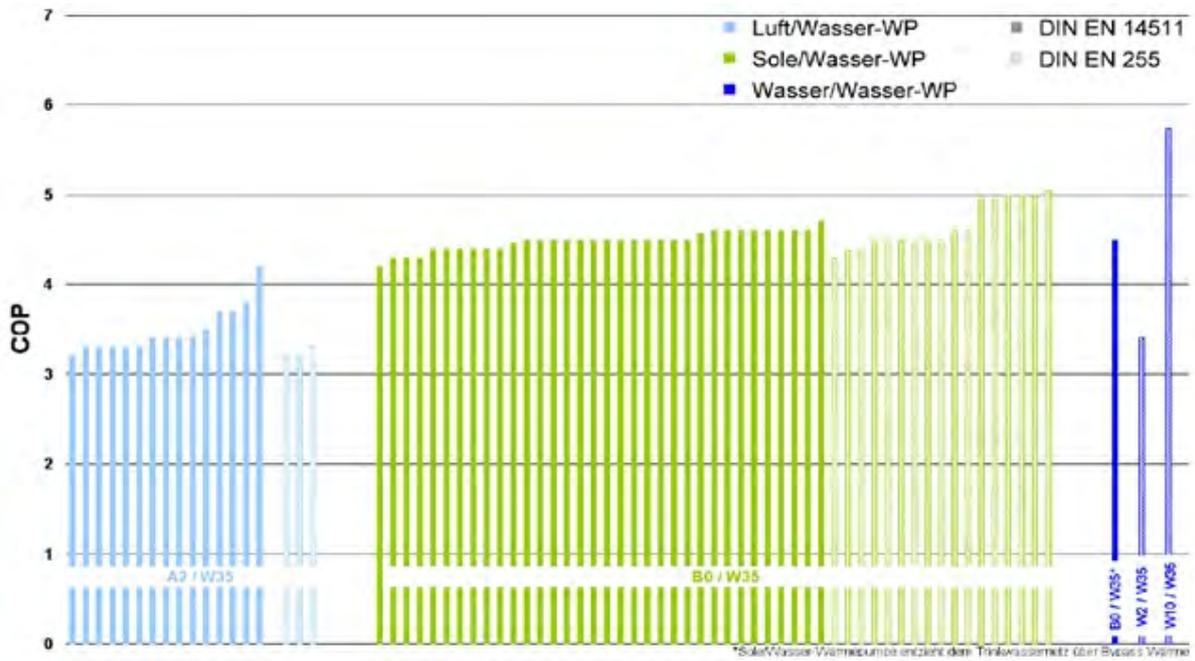


Abbildung 60: COP für unterschiedliche Wärmepumpen [MAR11]

Es entsteht durch diese Prüfung ein Datensatz (Abbildung 61). Dieser kann auch als Kennlinienfeld in einem Diagramm dargestellt werden (Abbildung 62), das meist vom Hersteller geliefert wird.

Auftraggeber	WP-Typ					Prüfbedingungen Sole/Wasser										
	Ausführung	Prüfnummer	Produktart	Kältemittel	Kältemittelmenge (kg)	B5 / W35	B0 / W35-30	B0/W35-25 EN 255	B5 / W45	B0 / W45	B-5 / W45	B5 / W55	B0 / W55	Volumenstrom-Nutzer (m³/h)	ΔT Nutzer bei B0/W35 (K)	Schallleistungspegel Innen (dB(A))
Anbieter	SWC 80 H	214-08-12	S	R407C	2.2	10.3	9.0	9.2	9.7	8.6	7.5	9.1	8.0	1.6	4.9	50
						Heizleistung: (kW)	2.1	2.1	2.0	2.5	2.5	3.1	3.0			
						El. Leistung: (kW)	4.9	4.4	4.7	3.8	3.4	3.0	2.9			
						COP: (-)										

Abbildung 61: Prüfergebnisse Sole/Wasser Wärmepumpen nach EN14511 [WPZ12]

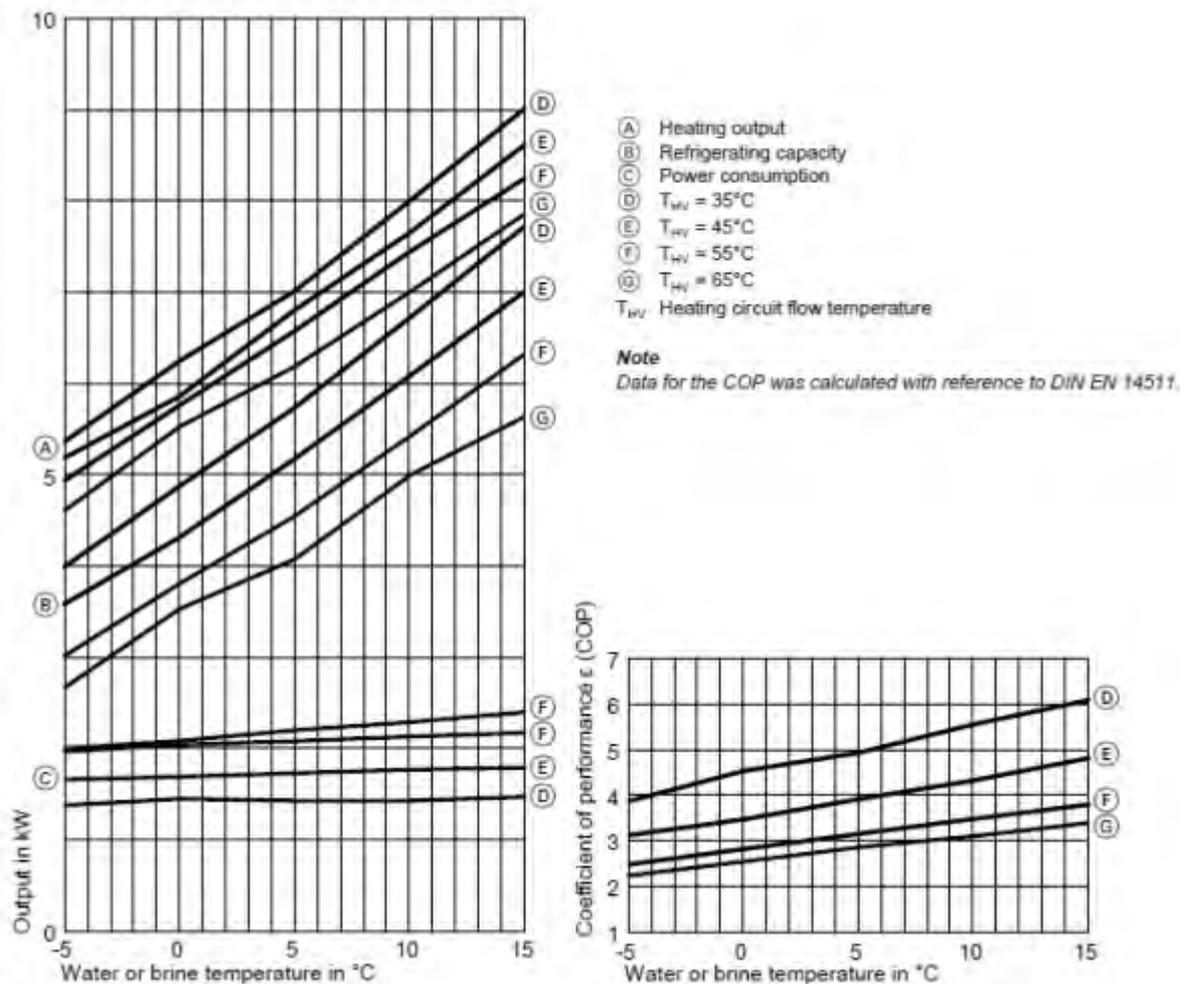


Abbildung 62: Exemplarisches Kennlinienfeld einer Wärmepumpe.

Wärmepumpen und Kompressionskältemaschinen können in der Simulation auf zwei Arten abgebildet werden:

- thermodynamische Kreisprozesse
- Kennlinienfeld

Das physikalische Modell der thermodynamischen Gleichungen ist das genauere. Jedoch erfordert es die Kenntnis aller notwendigen Parameter, die für die Wärmepumpe oder Kompressionskältemaschine charakteristisch sind. Diese werden üblicherweise nicht bekannt gegeben.

### Kennlinienfeld

Vorteil des Modells mittels Kennlinienfelder ist, dass dieses durch die Prüfprotokolle vorliegt. Mit dem Kennlinienfeld wird das Verhalten der Wärmepumpe oder Kompressionskältemaschine hinreichend genau abgebildet. Nachteil dabei ist, dass nur in diesem Kennlinienfeld für die Temperaturpaarungen interpoliert wird. Stellen sich Temperaturen außerhalb des Kennlinienfeldes ein, liefert dieses Modell keine brauchbaren Ergebnisse.

Bei der Modellbildung muss man zwei Betriebszustände unterscheiden, den Heiz- und den Kühlbetrieb. Je nach Betriebsart wird das jeweilige Kennlinienfeld für die Interpolation herangezogen.

Heizbetrieb:

$$\text{COP} = \frac{P_H}{P_E} \quad (101)$$

$$\dot{Q}_O = P_H - P_E \quad (102)$$

$$T_{Q,\text{aus}} = T_{Q,\text{ein}} - \frac{\dot{Q}_O}{\dot{m}_Q c_{pQ}} \quad (103)$$

$$T_{L,\text{out}} = T_{L,\text{in}} - \frac{\dot{Q}_{\text{abs}}}{\dot{m}_L c_{pL}} \quad (104)$$

<b>COP</b>	-	coefficient of performance	
<b>P<sub>H</sub></b>	W	Heizleistung im Zeitpunkt	Interpol. aus dem Kennlinienfeld
<b>P<sub>E</sub></b>	W	el. Leistung der Wärmepumpe im Zeitpunkt	Interpol. aus dem Kennlinienfeld
<b>Q<sub>0</sub></b>	W	der Wärmequelle entzogener Wärmestrom	
<b>Q<sub>abs</sub></b>	W	die abgegebene Wärmemenge der Wärmepumpe	
<b>T<sub>Q</sub></b>	°C	Temperatur der Wärmequelle, aus – Austritt aus der WP, ein - Eintritt in die WP	
<b>m<sub>Q</sub></b>	kg/h	Massenstrom der Quellenseite	
<b>c<sub>pQ</sub></b>	kJ/kgK	spez. Wärmekapazität des Quellenmedium	
<b>T<sub>L</sub></b>	°C	Temperatur der Lastseite, aus – Austritt aus der WP, ein - Eintritt in die WP	
<b>m<sub>L</sub></b>	kg/h	Massenstrom der Lastseite	
<b>c<sub>pL</sub></b>	kJ/kgK	spez. Wärmekapazität des lastseitigen Mediums	

Kühlbetrieb:

$$\text{EER} = \frac{P_C}{P_E} \quad (105)$$

$$\dot{Q}_N = P_C + P_E \quad (106)$$

$$T_{Q,\text{aus}} = T_{Q,\text{ein}} + \frac{\dot{Q}_N}{\dot{m}_Q c_{pQ}} \quad (107)$$

$$T_{L,\text{out}} = T_{L,\text{in}} + \frac{\dot{Q}_{\text{abs}}}{\dot{m}_L c_{pL}} \quad (108)$$

<b>EER</b>	-	energy efficiency ratio	
<b>P<sub>C</sub></b>	W	Kühlleistung im Zeitpunkt	Interpol. aus dem Kennlinienfeld
<b>P<sub>E</sub></b>	W	el. Leistung der Wärmepumpe im Zeitpunkt	Interpol. aus dem Kennlinienfeld
$\dot{Q}_N$	W	der Wärmequelle zugeführter Wärmestrom	
$\dot{Q}_{\text{abs}}$	W	dem Gebäude entzogene Wärmeleistung	
<b>T<sub>Q</sub></b>	°C	Temperatur der Wärmequelle, aus – Austritt aus der WP, ein - Eintritt in die WP	
<b><math>\dot{m}_Q</math></b>	kg/h	Massenstrom der Quellenseite	
<b>c<sub>pQ</sub></b>	kJ/kgK	spez. Wärmekapazität des Quellenmedium	
<b>T<sub>L</sub></b>	°C	Temperatur der Lastseite, aus – Austritt aus der WP, ein - Eintritt in die WP	
<b><math>\dot{m}_L</math></b>	kg/h	Massenstrom der Lastseite	
<b>c<sub>pL</sub></b>	kJ/kgK	spez. Wärmekapazität des lastseitigen Mediums	

Für den Realbetrieb ist die Jahresarbeitszahl (JAZ) aussagekräftig, da sich die Betriebspunkte je nach Primärenergiequelle über das Jahr verändern.

$$JAZ = \frac{\int P_H dt}{\int P_E dt} \quad (109)$$

Um das Realverhalten von Wärmepumpen noch besser abbilden zu können, sind mehr Messpunkte mit unterschiedlichen Temperaturpaarungen sinnvoll. Wünschenswert sind Temperaturen auf der Lastseite von 30 °C und tiefer, da diese Temperaturanforderungen bei Niedrigenergiehäusern mit Flächenheizung vermehrt vorkommen.

### 9.1.3 Erdreichmodell

Bei der oberflächennahen "Erdwärme"-Nutzung wird mittels Kollektoren (Abbildung 63) die thermische Energie der oberflächennahen Erdschichten genutzt. Dabei wird dem Erdreich mittels Kollektoren thermische Energie entzogen oder zugeführt. Die oberflächennahe Erdwärme ist eine Folge der gespeicherten Solareinstrahlung. Vereinfachte Modelle rechnen mit einer fixen Bodentemperatur. Diese Temperatur stammt aus Erfahrungswerten. Es wird je-

doch nicht der Entzug oder das Einbringen von Wärme in und aus dem Boden berücksichtigt. Somit ist die Berechnung mittels einer konstanten Bodentemperatur über das Jahr nicht ausreichend genau.

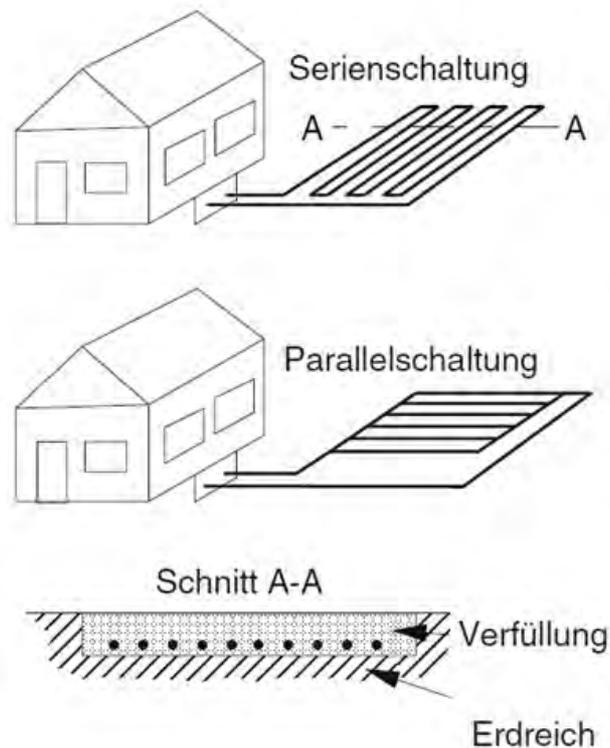


Abbildung 63: Verlege Art horizontaler Wärmeüberträger [KAL06]

Es gibt sehr ausführliche, dreidimensionale Berechnungsmodelle, die den Entzug bzw. das Einbringen von thermischer Energie berücksichtigen [GLÜ09]. Dieses Modell wird vereinfacht und als eindimensionales Mehrschichtmodell (Abbildung 64) mit den folgenden Formeln beschrieben, wobei folgende Annahmen gelten:

- Homogenes Erdreich mit konstanten Stoffwerten.
- In Längsrichtung eines Kollektorrohres herrschen immer konstante Temperaturen innerhalb eines Simulationsschrittes.
- Berücksichtigt wird nur der Niederschlag, das Grundwasser wird nicht berücksichtigt.
- Die letzte Schicht ( $i=N$ ) hat eine konstante Temperatur

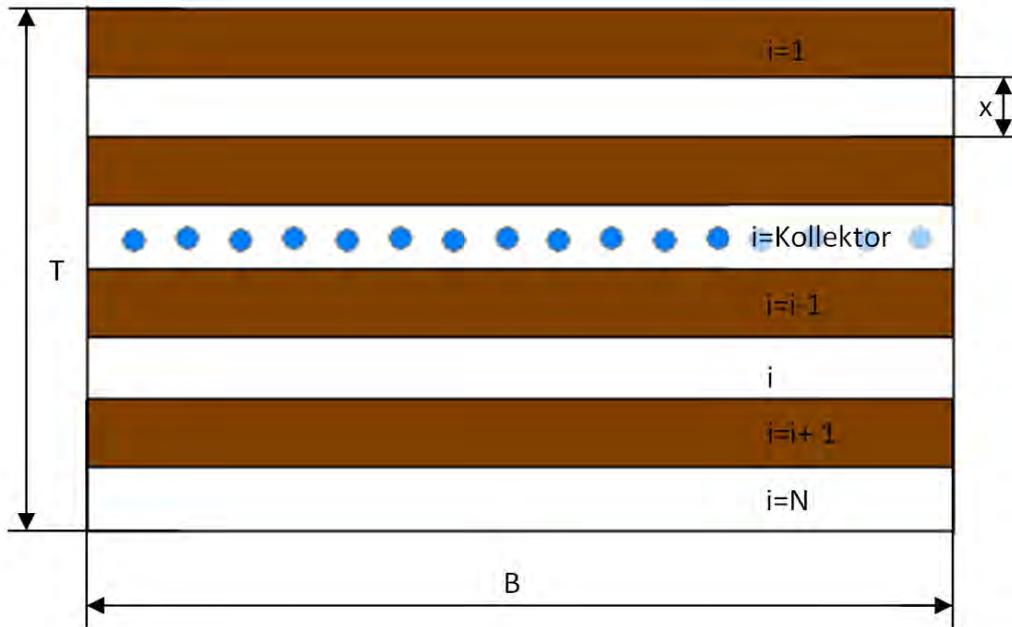


Abbildung 64: Aufbau des Erdreichmodells

Für die Berechnung wird folgende Beziehung eingeführt:

$$M = \frac{a \Delta t}{x^2} \quad (110)$$

Für die oberste Schicht ( $i=1$ ) ergibt sich folgende Temperatur

$$\mathcal{G}_{i=1} \begin{cases} = M(\mathcal{G}_{u, n-1} + \mathcal{G}_{i, n-1}) + (1 - 2M)\mathcal{G}_{i, n-1} & \text{wenn } \mathcal{G}_{u, n-1} < 0 \\ = M(\mathcal{G}_{u, n-1} + \mathcal{G}_{i, n-1}) + (1 - 2M)\mathcal{G}_{i, n-1} + \frac{F(\mathcal{G}_{u, n-1} + \mathcal{G}_{i, n-1}) V_{NS} cp_w}{cp_B \times L B} & \text{wenn } \mathcal{G}_{u, n-1} > 0 \end{cases} \quad (111)$$

Für jede weitere Schicht gilt:

$$\mathcal{G}_{i \neq 1} = M(\mathcal{G}_{i-1, n-1} + \mathcal{G}_{i+1, n-1}) + (1 - 2M)\mathcal{G}_{i, n-1} \quad (112)$$

Für die Schicht, in der sich der Kollektor befindet, ergibt sich folgende Temperatur:

$$\mathcal{G}_{i=\text{Kollektor}} = M(\mathcal{G}_{i-1, n-1} + \mathcal{G}_{i+1, n-1}) + (1 - 2M)\mathcal{G}_{i, n-1} + \frac{\dot{Q} \Delta t}{L B \times \rho cp_B} \quad (113)$$

M	-	Modul
a	m <sup>2</sup> /s	Temperaturleitfähigkeit des Bodens
$\Delta t$	S	Zeitschrittweite
x	m	Schichtdicke

$\vartheta_i$	°C	Temperatur in der i-ten Schicht
$\vartheta_u$	°C	Umgebungstemperatur
F	-	Durchlässigkeit des Bodens
$V_{NS}$	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>	flächenbezogene Niederschlagsmenge
$c_{p_w}$	J/kgK	Spezifische Wärmekapazität des Wassers
$c_{p_B}$	J/kgK	Spezifische Wärmekapazität des Bodens
$\rho$	kg/m <sup>3</sup>	Dichte des Bodens
L	m	Länge des simulierten Feldes
B	m	Breite des simulierten Feldes
$\dot{Q}$	kJ	Eingebracht bzw. Entzogener Energie

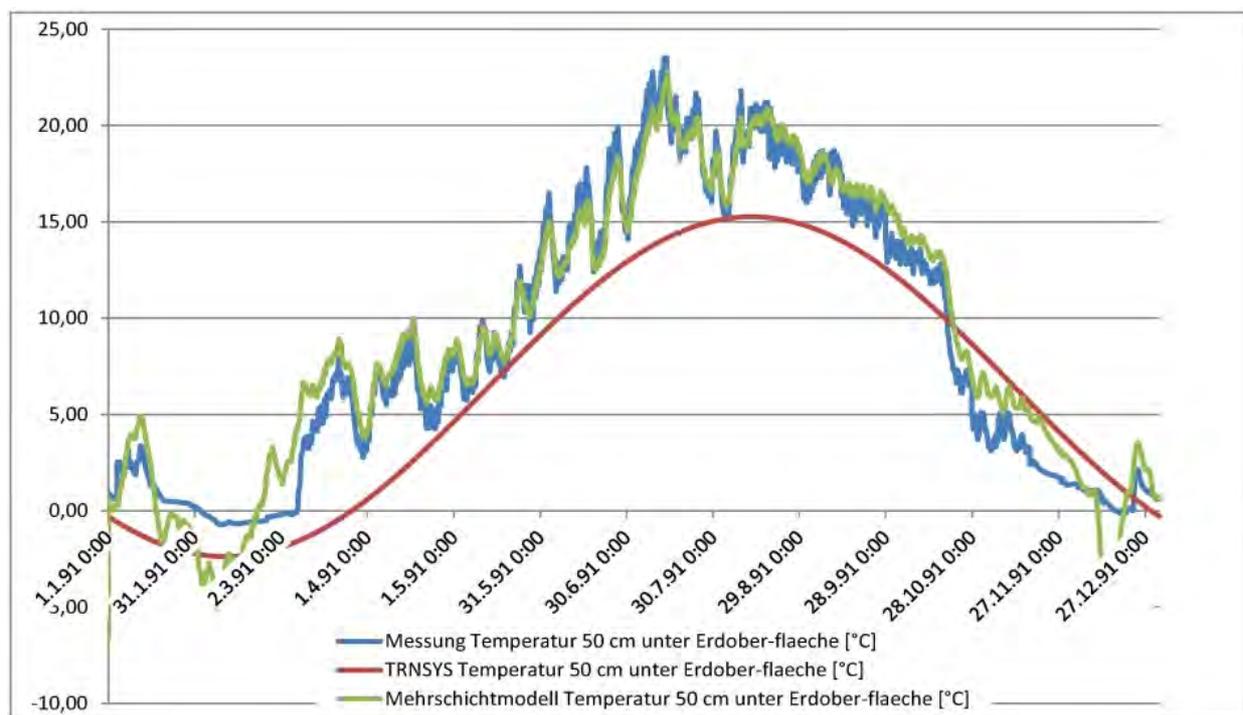


Abbildung 65: Vergleich der unterschiedlichen Erdreichmodelle

In Abbildung 65 werden die unterschiedlichen Modelle zur Berechnung der Erdreichtemperatur in 50 cm Tiefe mit Messungen verglichen. Es ist ersichtlich, dass das einfache TRNSYS Modell 501 dem Temperaturtrend folgt, jedoch die Schwankungen nicht wiedergeben kann. Die gemessenen Schwankungen können nur von dem Mehrschichtmodell reproduziert werden. Untersuchungen in Gebin haben ergeben, dass die Abweichung von vereinfachten Modellen zum Mehrschichtmodell mit der Tiefe steigt [GEB12]. Für eine realitätsnahe Abbildung der

Erdreichtemperatur ist es notwendig, diese zu berechnen und nicht mit einem konstanten Wert anzunehmen, wie es momentan im Energieausweis der Fall ist.

#### 9.1.4 Windkraftanlage

Windkraftanlagen werden nach der DIN EN 61400 [DIN11a] geprüft.

Bei der Modellierung von Windkraftanlagen wird nicht auf die unterschiedlichen Regelungsarten (Stall- und Pitch) eingegangen. Eine weitere Vereinfachung ist, dass die Windgeschwindigkeit in der Nabenhöhe bekannt ist. Dies ist jedoch ein Unsicherheitsfaktor, wie auch die gemittelte Windgeschwindigkeit während einer Stunde. Die elektrische Leistung ergibt sich nach den folgenden Formeln. Die unterschiedlichen Phasen werden in Abbildung 66 ersichtlich.

$$P_{el} \begin{cases} = 0 & \text{wenn } v_{Wind} < v_{anlauf} & \text{Phase 1} \\ = \frac{v_{Wind} - v_{saettigung}}{v_{saettigung} - v_{anlauf}} \cdot P_n & \text{wenn } v_{anlauf} \leq v_{Wind} < v_{saettigung} & \text{Phase 2} \\ = P_n & \text{wenn } v_{saettigung} \leq v_{Wind} < v_{abschalt} & \text{Phase 3} \\ = 0 & \text{wenn } v_{abschalt} \geq v_{Wind} & \text{Phase 4} \end{cases} \quad (114)$$

$P_{el}$	W	el- Leitung	
$P_n$	W	Nennleistung der Windkraftanlage	Datenblatt
$v_{wind}$	m/s	Windgeschwindigkeit	
$v_{saettigung}$	m/s	Anlagen - Maximalgeschwindigkeit	Datenblatt
$v_{anlauf}$	m/s	Anlagen - Mindestgeschwindigkeit	Datenblatt

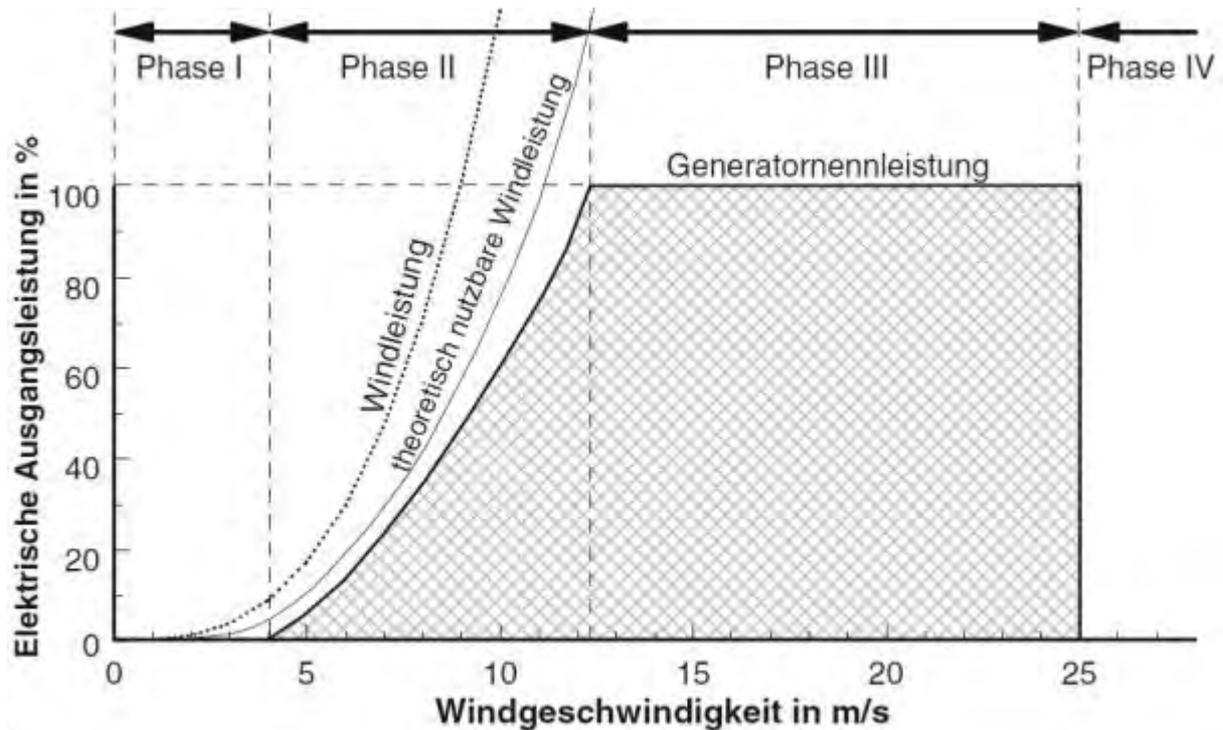


Abbildung 66: Zusammenhang zwischen Windgeschwindigkeit und am Generator abnehmbarer Leistung [KAL06]

Liegt die Geschwindigkeit nicht in Nabenhöhe vor, kann sie mittels der folgenden Formel abgeschätzt werden.

$$v_{\text{Nabenhöhe}} = v_{\text{Messung}} \left( \frac{h_{\text{Nabe}}}{h_{\text{Messung}}} \right)^{\alpha} \quad (115)$$

$h_{\text{Nabe}}$	m	Nabenhöhe
$h_{\text{Messung}}$	m	Höhe des Messpunktes
$v_{\text{Nabenhöhe}}$	m/s	Windgeschwindigkeit - Nabenhöhe
$v_{\text{Messung}}$	m/s	Windgeschwindigkeit
$\alpha$	-	Höhenfaktor

Wie in Abbildung 67 ersichtlich, wird der Höhenexponent nur sehr grob unterteilt. Im Projekt Adres wurden genauere Untersuchungen angestellt, wie sich der Wind im Siedlungsgebiet verhält. Dabei spielt die Windrichtung im Zusammenhang mit der umliegenden Gebäudehöhe eine große Rolle. [EIN11]

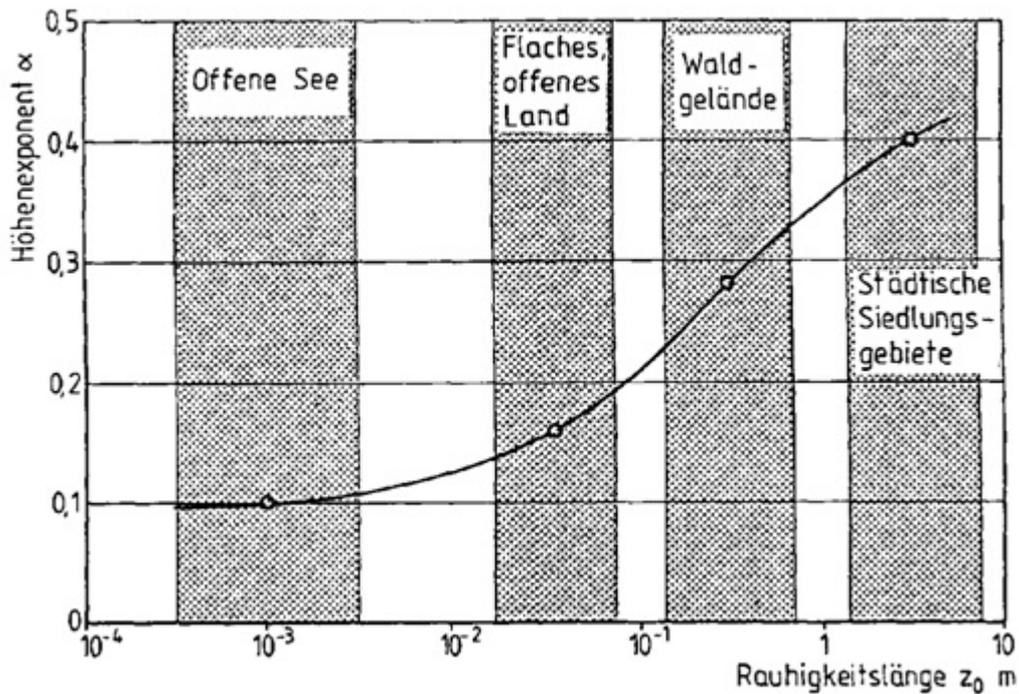


Abbildung 67: Abhängigkeit des Höhenexponenten [HAU03]

Es ist kein Vergleich möglich, da Windkraftanlagen noch nicht im Energieausweis berechnet werden. Das oben beschriebene Modell ist ein Ansatz für die Berechnung.

### 9.1.5 Solarthermie

Formelzeichen nach EN 12975-2:2006 [ONO06a]

Solarkollektoren wandeln die Solarstrahlung in thermische Energie um. Die thermische Energie wird über ein Energieträgermedium üblicherweise in einen Speicher abtransportiert.

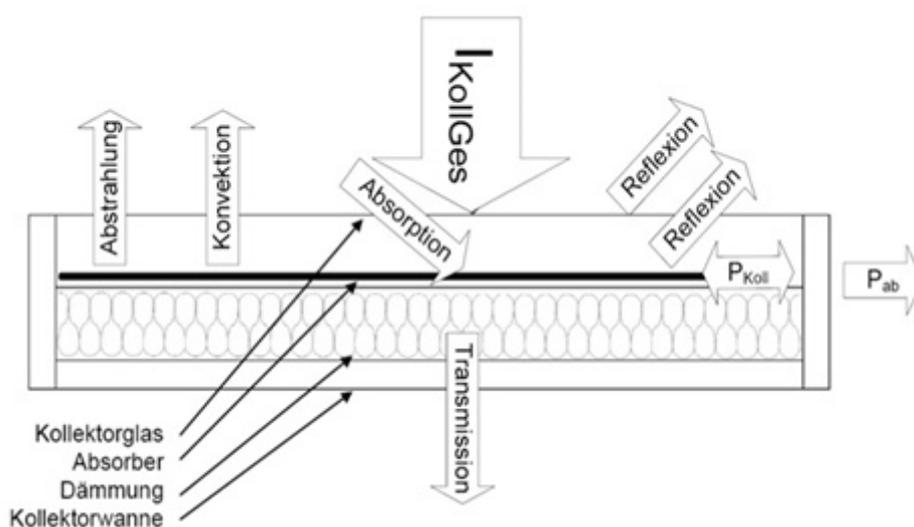


Abbildung 68: Energiebilanz Solarkollektor

Ein Kollektor besteht aus folgenden Bauteilen:

Absorber: Der Absorber wandelt die kurzwellige Strahlung in thermische Energie um. Das Material muss Temperaturen bis 200 °C widerstehen können. Das Absorptionsvermögen des Materials im sichtbaren Bereich soll möglichst hoch sein, hingegen möglichst gering im Wellenlängenbereich der Wärmestrahlung.

Abdeckung: Die Abdeckung reduziert die konvektiven Verluste an die Umgebung. Das eingesetzte Material ist transparent, um möglichst durchlässig für Solarstrahlung zu sein.

Gehäuse: Das Gehäuse verschafft dem Kollektor die notwendige Stabilität. Weiters ist im Gehäuse eine Dämmung angebracht, um die Wärmeleitungsverluste an die Umgebung zu minimieren.

Die Ermittlung der Leistung erfolgt durch den solaren Eintrag abzüglich der Summe der Verluste. Ein Teil der zugeführten Energie erwärmt den Kollektor, die restliche Energie wird über das Betriebsmittel abgeführt.

$$P_{zu} = P_{Koll} + P_{ab} \quad (116)$$

$$K_{\theta} \eta_{Koll} I_{KollGes} A_{Koll} = \frac{C_{Koll}}{2} \left( \frac{d}{dt} T_{VL} - \frac{d}{dt} T_{RL} \right) + \dot{m} c_p (T_{VL} - T_{RL}) \quad (117)$$

<b><math>K_{\theta}</math></b>		Winkelfaktor	
<b><math>\eta_{Koll}</math></b>		Wirkungsgrad	
$A_{Koll}$	m <sup>2</sup>	Kollektorfläche	Datenblatt
$I_{KollGes}$	W/m <sup>2</sup>	Globale Strahlungsintensität	
<b><math>C_{Koll}</math></b>	kJ/K	Wärmekapazität des Kollektors	
$T_{VL}$	°C	Vorlauftemperatur	
$T_{RL}$	°C	Rücklauftemperatur	
<b><math>\dot{m}</math></b>	kg/s	Massenstrom	
$c_p$	kJ/kgK	Spezifische Wärmekapazität	

In die Gleichung gehen folgende Größen ein:

- Winkelfaktor
- Wirkungsgrad
- Gesamtstrahlung auf den Kollektor
- Kollektorfläche

Der Winkelfaktor beschreibt die Abhängigkeit der Strahlungsenergie vom Einfallswinkel und die damit verbundene Absorption und Reflektion der Abdeckscheiben. Der Winkelfaktor wird mittels der Kollektorkennwerte  $b_0$  und  $b_1$  in Abhängigkeit von  $\theta_1$  bestimmt.

$$K_{\Theta} = \left[ 1 - b_0 * \left( \frac{1}{\cos(\Theta_1)} - 1 \right) - b_1 * \left( \frac{1}{\cos(\Theta_1)} - 1 \right)^2 \right] \quad (118)$$

Üblicherweise wird nur der Winkelfaktor für 50° Einfallswinkel angegeben. In diesem Fall wird der quadratische Term vernachlässigt ( $b_1 = 0$ ) und  $b_0$  mithilfe der nachstehenden Formel errechnet.

$$b_0 = \frac{1 - K_1(50^\circ)}{\frac{1}{\cos(50^\circ)} - 1} \quad (119)$$

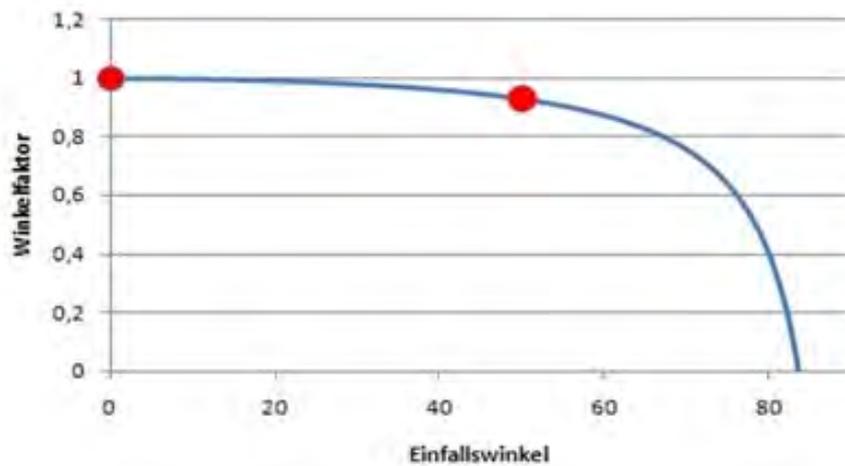


Abbildung 69: Winkelfaktor  $K_{\Theta}$  eines Solarkollektors in Abhängigkeit vom Einfallswinkel

Der Kollektorwirkungsgrad definiert ein Verhältnis von Nutzen zu Aufwand.

$$\eta_{\text{koll}} = \frac{\text{nutzbarer Wärmestrom pro Flächeneinheit}}{\text{Einstrahlungsintensität}} = \frac{\dot{Q}_{\text{Nutz}}}{I_{\text{KollGes}} A_{\text{Koll}}} \quad (120)$$

Als Näherung an reale Kollektorwirkungsgrade wird das Wirkungsgradverhalten eines Solarkollektors wie folgt beschrieben:

$$\eta_{\text{koll}} = \eta_0 - a_1 \frac{t_m - t_a}{G} - a_2 \frac{(t_m - t_a)^2}{G^2} \quad (121)$$

$Q_{\text{Nutz}}$	W	Nutzleistung	
$A_{\text{Koll}}$	m <sup>2</sup>	Kollektorfläche	Datenblatt
$I_{\text{KollGes}}$	W/m <sup>2</sup>	Globale Strahlungsintensität	
$T_0$	-	Konversionsfaktor des Solarkollektors	Prüfzeugnis
$a_1$	W/(m <sup>2</sup> K)	linearer Wärmeverlustkoeffizient	Prüfzeugnis

$a_2$	$W/(m^2K^2)$	quadratischer Wärmeverlustkoeffizient	Prüfzeugnis
$G$	$W/m^2$	hemisphärische solare Bestrahlungsstärke	Prüfzeugnis
$t_m$	K	mittlerer Temperatur des Wärmeträgers	
$t_a$	K	Außenlufttemperatur	

Dabei ist zu beachten, ob  $A_{Koll}$  die Bruttofläche  $A_G$ , die Aperturfläche  $A_a$  oder die Absorberfläche  $A_A$  bezeichnet. Es ist jener Wert zu verwenden, auf den der Wirkungsgradwert im Prüfprotokoll bezogen ist.

In der Praxis hat sich diese Vereinfachung als sinnvoll erwiesen, da man für bestimmte Strahlungsleistungen auf den Kollektor mithilfe dieser einfachen Formel das Verhalten eines Solarkollektors mit einer Genauigkeit berechnen kann, die für die meisten Simulationen oder Auslegungsrechnungen ausreichend genau ist. Um den Wirkungsgrad von Solarkollektoren in dieser Weise berechnen zu können, werden Kollektoren an bestimmten Betriebspunkten in speziellen Prüfständen vermessen. Die Ermittlung entsprechender Leistungskennlinien nach EN 12975-2 [ONO06a] wird in Österreich bei "arsenal research" in Wien durchgeführt. Durch die Prüfung nach Norm sind die Solarkollektoren ausreichend abgebildet. Um eine Verbesserung der Charakterisierung zu erwirken, wären noch mehr Prüfpunkte bei unterschiedlichen Einstrahlungswerten interessant.

Um die Vorgänge in einem Kollektor genau abzubilden, gibt es auch Simulationsmodelle mit physikalischen Gleichungen. Für diese Modelle ist es schwierig, alle Parameter des Kollektors zu bestimmen. Es muss dabei der Aufbau genau eingegeben werden. Dies benötigt eine genaue Kenntnis der Geometrie und verbauten Materialien. Diese Art der Modellierung wird meist nur für Spezialfälle und Forschungsfragen gewählt. Die stundenweise Ermittlung des Ertrags liefert realistischere Ergebnisse als das Monatsbilanzverfahren.

#### 9.1.6 Photovoltaik

Die strahlungsphysikalischen Grundlagen sind für Photovoltaiksysteme gleich wie für die Solarthermiekollektoren in Abschnitt 9.1.5.

Bei der Photovoltaik wandeln Solarzellen Solarstrahlung direkt in elektrische Energie um. Solarzellen sind aus zwei Halbleitern aufgebaut, wovon einer einen positiven (p-dotiert) und der andere einen negativen (n-dotiert) Ladungsüberschuss aufweist. Werden diese Halbleiter zusammengebracht, entsteht eine Grenzschicht. Die Solarstrahlung bewirkt eine Wanderung der Ladungsträger über die Grenzschicht hinaus. Dadurch entsteht eine Spannung. Wird der Stromkreis über die außenliegende Metallschicht geschlossen, fließt elektrischer Strom.

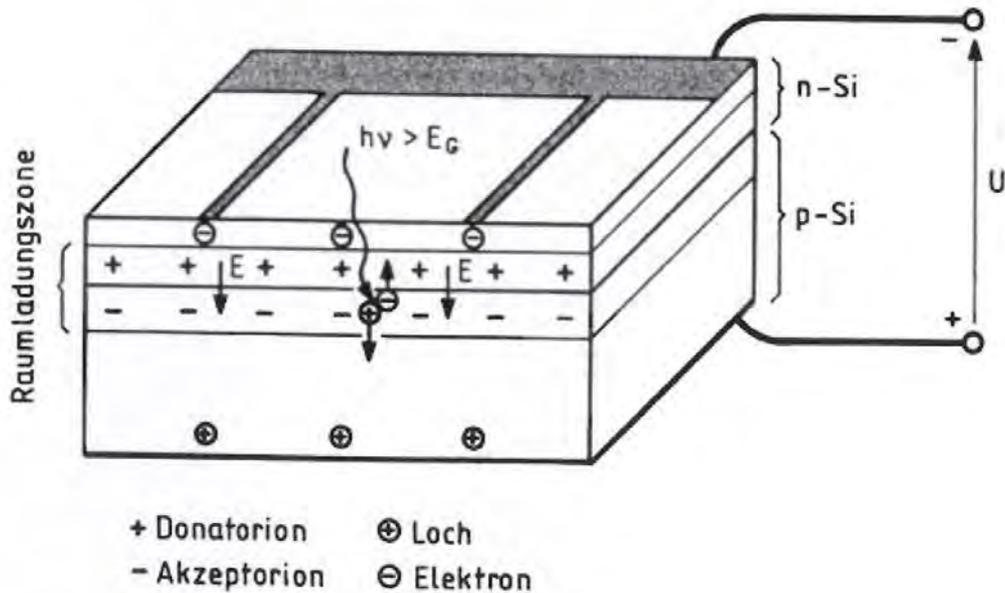


Abbildung 70: Aufbau einer Solarzelle und deren Ersatzschaltbild. [HÄB07]

Als Einflussfaktoren für die momentane Leistung eines Photovoltaikmoduls wurden folgende Faktoren berücksichtigt:

- Modultemperatur
- Wechselrichterverluste
- AC- und Zählerverluste (Verluste hinter dem Wechselrichter)
- Reflexionsverluste
- Teilbeschattung einzelner Module
- Modulverschmutzung
- Schneebedeckung
- MPP-Tracking-Fehler

$$P_{PV\_elektr} = I_{KollGes} \eta_{PVModul} K_{\Theta} k_V k_T \quad (122)$$

$$k_T = 1 + c_T * (T_{ZG} - T_0) \quad (123)$$

$k_T$	-	Temperatur Korrekturfaktor	
$c_T$	1/K	Temperaturkoeffizient der MPP-Leistung	Datenblatt
$T_{ZG}$	°C	Strahlungsgewichtete Modul Temperatur	Messung/Berechnung
$T_0$	°C	Umgebungstemperatur Messaufbau	Prüfzeugnis
		25°C	
$P_{PV\_elektr}$	W		
$I_{KollGes}$	W/m <sup>2</sup>	Globale Strahlungsintensität	

$\eta_{PV\text{Modul}}$	-	Wirkungsgrad	Prüfzeugnis
$K_{\theta}$	-	Winkelfaktor	
$k_v$	-	Verschmutzungskorrekturfaktor	Annahme

Der Faktor  $k_v$  berücksichtigt die Verschmutzung des Moduls. Dabei können aus der Literatur [HÄB07] folgende Werte entnommen werden:

- für leichte Verschmutzung: 0,97
- für mäßige Verschmutzung: 0,93
- für starke Verschmutzung: 0,9

Mit den Werten aus Norm CEI IEC 60904 [ONO07d] können Photovoltaik Module ausreichend genau abgebildet werden. Wichtig ist noch die Erweiterung der Norm hinsichtlich der Messung bei unterschiedlichen Einstrahlungswerten. Die Messung sollte um die Messpunkte bei 200-800W/m<sup>2</sup> (Abbildung 71) erweitert werden. Dies ist wichtig für die genauere Abbildung der Wirkungsgradkennlinie.

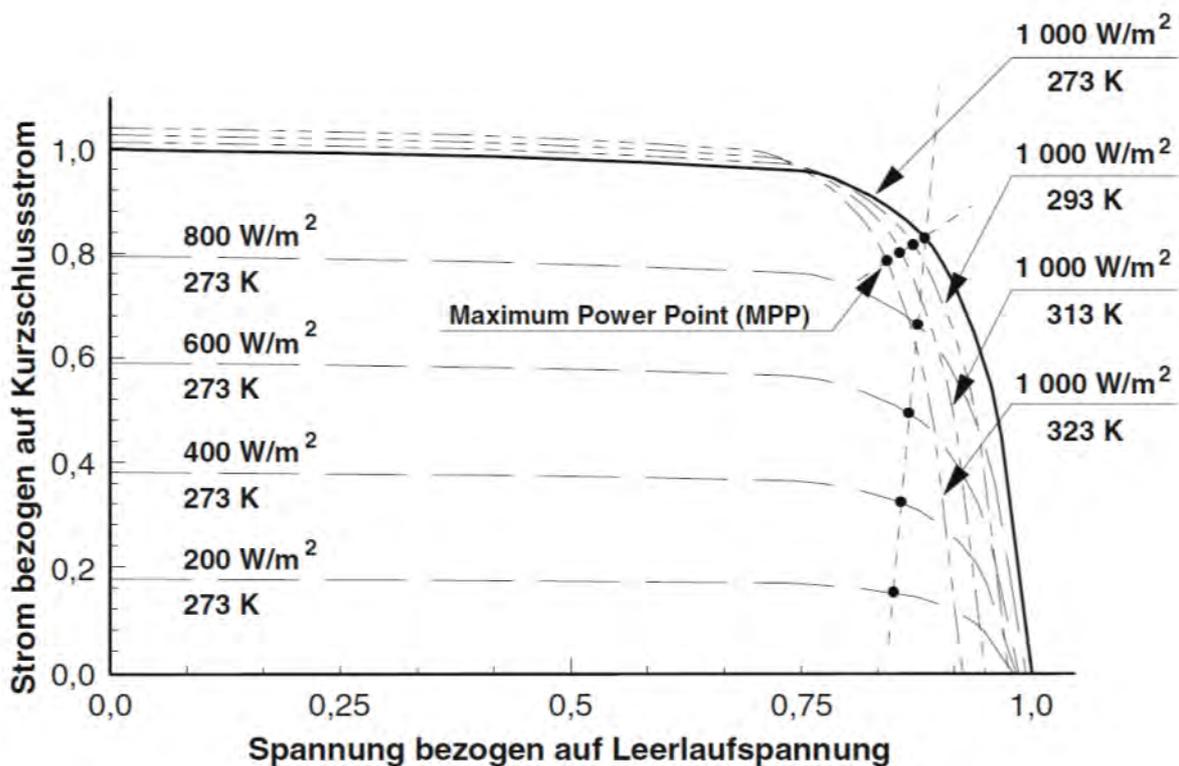


Abbildung 71: Einfluss von Strahlung und Temperatur auf die Strom- Spannung - Kennlinie unter Standardtestbedingungen.

Die Berechnung für Photovoltaiksysteme ist in der Energieausweisberechnung noch nicht enthalten. Dies sollte mit dem oben beschriebenen Grundlagen Berücksichtigung finden.

### 9.1.7 Warmwasserspeicher

Formelzeichen nach DIN EN 12977 [DIN12]

In einem Heizsystem ist der Speicher die zentrale Komponente für die Sammlung, Speicherung und Verteilung von thermischer Energie. Es müssen folgende Aufgaben erfüllt werden:

- Aufnahme der von der Solaranlage gelieferten thermischen Energie.
- Aufnahme der vom Heizkessel gelieferten thermischen Energie.
- Erwärmung des Trinkwassers
- Wärmeversorgung der Raumheizung.

Ein Speicher im System ist sinnvoll, um das Takten von Biomassekessel und Wärmepumpe zu reduzieren. Dabei müssen Speicher und Erzeuger von thermischer Energie aufeinander abgestimmt sein, da bei falscher Auslegung das Takten nicht reduziert wird. Durch das Takten ergibt sich eine schlechtere Auslastung der Erzeuger von thermischer Energie (siehe 9.1.1) [HEC10]. Weiters ist ein Speicher auch bei Solarthermieanlagen notwendig, da sich das Energieangebot nicht immer mit der Nachfrage deckt.

#### Be- und Entladung:

Dabei wird erwärmtes Wasser in den Speicher eingespeist. Woher das erwärmte Wasser stammt, ist für den Speicher nicht relevant. Der Behälter ist zur Umgebung gedämmt, um die Wärmeverluste zu minimieren. Bei Bedarf wird das warme Wasser oder Energie in Form von Wärme, über Wärmetauscher, entnommen.

Die wichtigste Kenngröße eines Speichers ist die Wärmeverlustrate an die Umgebung. In Abbildung 72 wird ersichtlich, dass die meisten der geprüften Speicher innerhalb der Norm liegen. Die Verlustraten einzelner Speicher mit gleichem Volumen weisen eine große Bandbreite innerhalb der Norm auf. Dies hat einen Einfluss auf das ganze Systemverhalten.

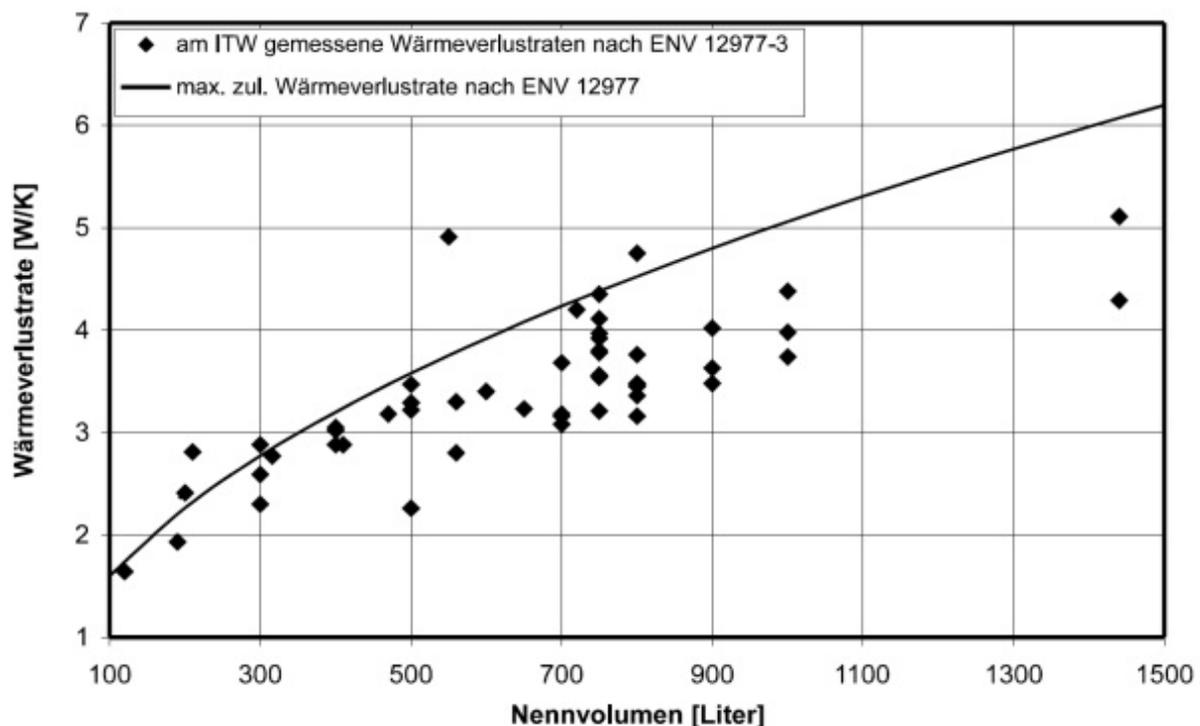


Abbildung 72: Wärmeverlustrate nach DIN EN 12977 [DRÜ06]

Speicher lassen sich in unterschiedliche Arten einteilen, hier wird die Einteilung über die Temperaturverteilung gewählt. Bei einem einfachen Speicher herrscht im ganzen Behälter eine einheitliche Temperatur. Sie werden in Folge als durchmischter Speicher bezeichnet. Die Speichertemperatur ergibt sich aufgrund der Durchmischung des eingebrachten mit dem vorhandenen Wasser im Speicher.

Um die Effektivität zu steigern, ist es sinnvoll, die Schichtungseigenschaft des Wassers auszunutzen. Wenn bei der Beladung z. B. mittels Schichtladelanzen darauf geachtet wird, dass es zu keiner Durchmischung kommt, bilden sich stabile thermische Schichten. Die eingebrachte Energie im Speicher wird optimal genutzt. Diese Art bezeichnet man als Schichtenspeicher. In der nachstehenden Formel wird allgemein die Energiebilanz für einen Speicher beschreiben. Es ergibt sich

$$m_s cp \frac{d\vartheta_s}{dt} = \dot{Q}_C + \dot{Q}_H - \dot{Q}_D - \dot{Q}_V \quad (124)$$

Bei einem vollständig durchmischten Speicher stellt sich die Temperatur nach folgender Gleichung für den jeweiligen n+1-ten Zeitschritt ein.

$$\vartheta_{s,n+1} = \vartheta_{s,n} + \frac{\Delta t}{cp m_s} [\delta_c \dot{m}_c cp (\vartheta_{c,i,n} - \vartheta_{s,n}) + \dot{Q}_{H,n} - \delta_D \dot{m}_D cp (\vartheta_{s,n} - \vartheta_{D,o,n}) - UA (\vartheta_{s,n} - \vartheta_a)]$$

$\dot{Q}_C$	W	Wärmestrom Beladekreislauf	
$\dot{Q}_H$	W	Wärmestrom el. Zusatzheizung	
$\dot{Q}_D$	W	Wärmestrom Entladekreislauf	
$\dot{Q}_V$	W	Wärmestrom Verluste	
$\Delta t$	s	Zeitschrittweite	
$\vartheta_s$	°C	Speichertemperatur	
$\vartheta_{c,i,n}$	°C	Temperatur des Beladekreislauf	
$\vartheta_{D,o,n}$	°C	Temperatur Entladekreislauf	
$\vartheta_a$	°C	Umgebungstemperatur	
UA	W/K	Wärmeverlustrate des Speichers	Prüfzeugnis
cp	kJ/(kgK)	spez. Wärmekapazität	
$m_s$	kg	Massen des Fluid im Speichers	Prüfzeugnis
$\dot{m}_C$	kg/s	Massenstrom Beladekreislauf	
$\dot{m}_D$	kg/s	Massenstrom Entladekreislauf	

$\delta_x$  - Betrieb der Pumpe 0/1  $x=D$  Enladekreislauf,  $x=C$

(125)

Beladekreislauf:

Für einen Schichtspeicher kann die oben beschreibende Formel für jede Schicht angewandt werden. Dabei wird sie um die Terme für die erzwungene und freie Konvektion an den Schichtengrenzen erweitert.

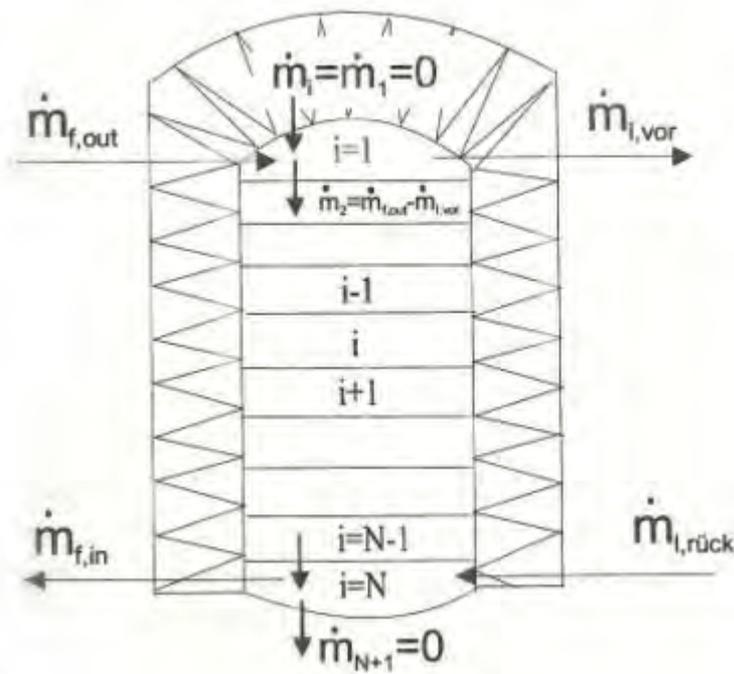


Abbildung 73: Schichtenspeicher [EIC12]

Es stellt sich für die  $i$ -te Schicht zum  $n+1$ -ten Zeitpunkt folgende Temperatur ein.

$$\vartheta_{s,n+1} = \vartheta_{s,n} + \frac{\Delta t}{cp m_s} [\delta_{C,i} \dot{m}_C cp (\vartheta_{c,i,n} - \vartheta_{s,i,n}) + \dot{Q}_{h,i,n} - \delta_{D,i} \dot{m}_D cp (\vartheta_{s,i,n} - \vartheta_{D,o,n}) - UA_i (\vartheta_{s,n} - \vartheta_a) + \delta_i^+ \dot{m}_i cp (\vartheta_{s,i-1,n} - \vartheta_{s,i,n}) + \delta_i^- \dot{m}_{i+1} cp (\vartheta_{s,i,n} - \vartheta_{s,i+1,n}) - A_{q,i} \frac{\lambda_{eff,i}}{z_i} (\vartheta_{s,i+1,n} - 2\vartheta_{s,i,n} + \vartheta_{s,i-1,n})] \quad (126)$$

- $\Delta t$  s            Zeitschrittweite
- $\vartheta_{s,i}$  °C            Speichertemperatur für die  $i$ -te Schicht
- $\vartheta_{c,i,n}$  °C            Temperatur des Beladekreislauf
- $\vartheta_{D,o,n}$  °C            Temperatur Entladekreislauf
- $\vartheta_a$  °C            Umgebungstemperatur

$UA_i$	W/K	Wärmeverlustrate der Speicherschicht	
$c_p$	kJ/kgK	spez. Wärmekapazität	
$m_s$	kg	Massen des Fluid im Speichers	Prüfzeugnis
$\dot{m}_C$	kg/s	Massenstrom Beladekreislauf	
$\dot{m}_D$	kg/s	Massenstrom Entladekreislauf	
$\delta_x$	-	Betrieb der Pumpe 0/1 $x=D$ Entladekreislauf, $x=C$ Beladekreislauf	
$\delta_i^{+/-}$	-	Berücksichtigung des Energieeintrags (+) und Austrags (-) von der angrenzenden Schicht	
$A_q$	m <sup>2</sup>	Querschnittsfläche	
$z$	m	Schichthöhe	
$\lambda_{eff,i}$	W/mK	Effektive Wärmeleitfähigkeit	

Die effektive Wärmeleitfähigkeit ist eine einfache Näherung, bei der Wärmeleitfähigkeit und Konvektion in eine vertikale Wärmeleitfähigkeit zusammengefasst werden. Die effektive Wärmeleitfähigkeit beträgt bei innenliegenden Wärmetauschern 1-1.5 W/(mK), liegen keine Einbauten vor, wird er mit 0.644 W/(mK) angenommen [EIC12].

Speicher werden nach der Norm DIN EN 12977 [DIN12] geprüft. Dabei werden die Verluste an die Umgebung (=Verlustrate) untersucht. Dies ist der wichtigste Wert bei der thermodynamischen Betrachtung eines Speichers. Für die Praxis ist die Modellierung mithilfe der Verlustrate ausreichend genau.

## 9.2 Systemberechnung

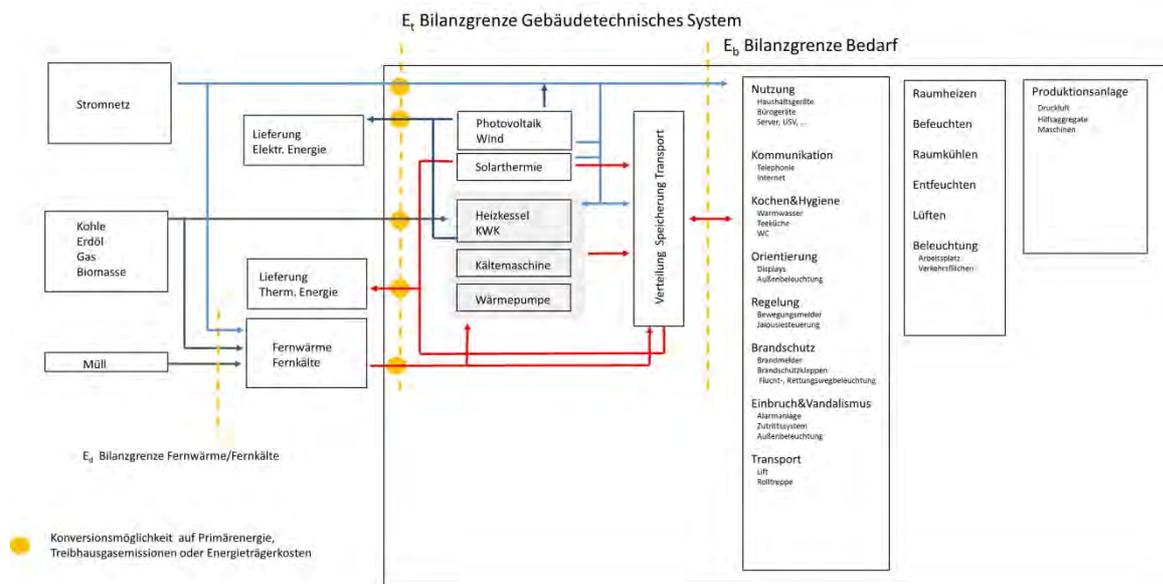


Abbildung 74: Darstellung Bilanzgrenzen [IEA10]

### 9.2.1 Haushaltsstrombedarf (HHSB) und Betriebsstrombedarf (BSB)

Der Betriebsstrombedarf in Kapitel 6 erläutert.

### 9.2.2 Beleuchtung – Berechnung des Nutz- und Endenergiebedarfs für Beleuchtung

#### Einleitung

Die Ermittlung des Energiebedarfs für Beleuchtung erfolgte mittels [DIN11] Teil 4 bzw. [ONO08] und aus den Überlegungen aus [LEE10]. Der große Unterschied zwischen diesen Arbeiten liegt im stundenbezogenen Abwickeln des Nutzerverhaltens und des Klimas. Die [DIN11] und die [ONO08] sehen nur Berechnungen für den Jahres- und Monatsenergiebedarf vor, während in [LEE10] durch die stundenweisen Berechnungen Jalousienstellungen, Anwesenheitswahrscheinlichkeiten usw. genauer berechnet werden.

Grundsätzlich wird zwischen tageslichtversorgten und nicht tageslichtversorgten Bereichen unterschieden. Aus der Fenstergeometrie und anderen Faktoren, wie z. B. der Sturzhöhe, ergeben sich bessere bzw. schlechtere Tageslichtquotienten. Einen großen Einfluss auf den tageslichtversorgten Bereich haben auch die Jalousien.

Die gesamten Abhängigkeiten sind in Abbildung 75 zu sehen:

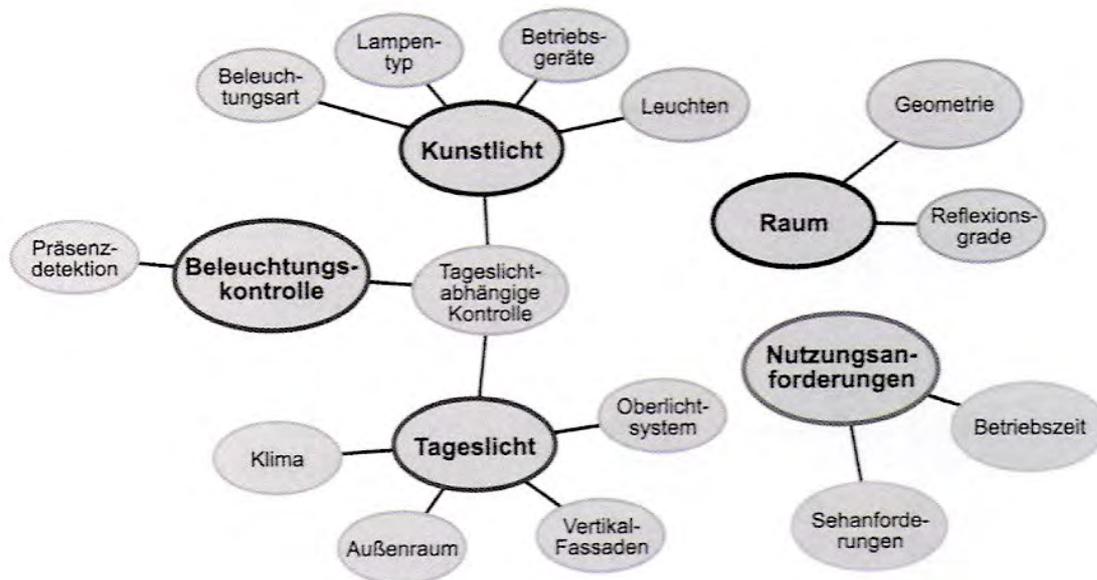


Abbildung 75: Parameter des Beleuchtungsenergiebedarfs; Quelle: [FOU07]

### Bilanzierungsansatz

In [DIN11] werden aufgrund der monatlichen Berechnungen Teilbetriebsfaktoren zur Berücksichtigung der Tageslichtversorgung und der Präsenz eingeführt. Der Vorteil der Arbeit [LEE10] liegt darin, dass durch die stundenbezogene Abbildung des Nutzerverhaltens, keine effektiven Betriebszeiten mit Faktoren eruiert werden müssen, sondern die Nutzenergie für Beleuchtung durch reine Aufsummierung über die Stunden entsteht. Gleichzeitig wird jede Stunde entschieden, ob es notwendig ist, das Licht einzuschalten, auch in Abhängigkeit der Verwendung eines Sonnenschutzes und der Präsenz. Die Anwesenheit wird mit Hilfe von Zufallszahlen ermittelt.

### Unterteilung der Gebäudezonen

Die Gebäudezonen sollten bei unterschiedlicher Nutzung und unterschiedlichen Anforderungen an die Beleuchtungsstärke in lichttechnische Berechnungsbereiche unterteilt werden.

Komponenten der verschiedenen Nutzung sind:

- der Wartungswert der Beleuchtungsstärke
- die Höhe der Nutzebene
- die Betriebszeit
- die Anwesenheit

Beleuchtungsanforderungen und Vorschriften für verschiedene Nutzungen findet man in der [ONO11a] bzw. in der Arbeitsstättenverordnung [BUN12].

## Kunstlicht

Die elektrische Anschlussleistung kann nach [DIN11] mittels drei verschiedenen Verfahren berechnet werden:

- Tabellenverfahren
- vereinfachtes Wirkungsgradverfahren
- detaillierte Fachplanung

In dieser Arbeit wird das Tabellenverfahren verwendet. Dieses Verfahren ist ideal für die schnelle und überschlägige Ermittlung der elektrischen Anschlussleistung. Im Gegensatz zum Wirkungsgradverfahren sind beim Tabellenverfahren keine weiteren externen Informationen wie z. B. Leuchtenkataloge erforderlich. Das hat aber die Folge, dass die Ergebnisse aus dem Tabellenverfahren nicht so genau sind, wie die aus dem Wirkungsgradverfahren [FOU07]. Die Qualität der Ergebnisse reicht aber für die Berechnung des elektrischen Beleuchtungsenergiebedarfs völlig aus.

### Tabellenverfahren

Die installierte elektrische Anschlussleistung hängt von den folgenden Parametern ab:

- Wartungswert der Beleuchtungsstärke
- Beleuchtungsart
- Lampentyp inklusive Betriebsgerät
- Minderungsfaktor für den Bereich der Sehaufgabe
- Raumgeometrie

Für die Reflexionsgrade wurden Standardwerte verwendet. Der Lichtreflexionsgrad für den Boden und den Außenbereich liegt bei 0,2, für die Wand bei 0,5 und für die Decke wird der Wert 0,7 angenommen.

Die elektrische Anschlussleistung errechnet sich aus folgender Formel:

$$p = p_{lx} \cdot \bar{E}_m \cdot k_{WF} \cdot k_A \cdot k_L \cdot k_R \quad (127)$$

$p$  die spezifische elektrische Bewertungsleistung [W/m<sup>2</sup>]

$p_{lx}$  die spezifische elektrische Bewertungsleistung bezogen auf die Grundfläche je lx Wartungswert der Beleuchtungsstärke auf der Nutzebene für Leuchten mit stabförmigen Leuchtstofflampen und elektronischen Vorschaltgeräten (EVG) [W/(m<sup>2</sup>·lx)]

- $\bar{E}_m$  der Wartungswert der Beleuchtungsstärke [lx]
- $k_{WF}$  der Anpassungsfaktor zur Berücksichtigung des Wartungsfaktors
- $k_A$  der Minderungsfaktor zur Berücksichtigung des Bereiches der Sehaufgabe
- $k_L$  der Anpassungsfaktor Lampe für nicht stabförmige Leuchtstofflampen
- $k_R$  der Anpassungsfaktor Raum
- $$k_{WF} = \frac{0,67}{WF} \quad (128)$$
- $WF$  der Wartungsfaktor, der nach Önorm EN 12464-1 Alterungsprozesse bis zur nächsten Anlagenwartung berücksichtigt.

### Spezifische elektrische Bewertungsleistung

Die spezifische elektrische Bewertungsleistung  $p_{lx}$  resultiert aus der Beleuchtungsart. Die [DIN11] unterscheidet hier direkte, direkte/indirekte und indirekte Beleuchtung.

Tabelle 36: Rechenwerte der spezifischen elektrischen Bewertungsleistung  $p_{lx}$  bezogen auf die Grundfläche je lx Wartungswert der Beleuchtungsstärke auf der Nutzebene für Leuchten mit stabförmigen Leuchtstofflampen und elektronischen Vorschaltgeräten (EVG)

Beleuchtungsart	Spezifische elektrische Bewertungsleistung $p_{j,lx}$ W/(m <sup>2</sup> · lx)
direkt	0,05
direkt/indirekt	0,06
indirekt	0,10

### Wartungswert der Beleuchtungsstärke und Wartungsfaktor

Der Wartungswert der Beleuchtungsstärke ergibt sich aus der Nutzung. Dieser Wert beträgt z. B. bei Verkehrsflächen 100 lx und in Büros 500 lx. In Abbildung 76 erkennt man den Verlauf der Beleuchtungsstärke mit und ohne Wartung. Als Standardwert sind für den Wartungsfaktor  $WF = 0,67$  anzunehmen. In sehr sauberen Räumen mit Lampen geringer Lichtstromabnahme und geringer Ausfallquote und sauberen bzw. oft gereinigten Leuchten kann von einem Wartungsfaktor von  $WF = 0,8$  gerechnet werden. In grob verschmutzten Räumen und schlecht gewarteten Räumen kann  $WF$  bis zu 0,2 erreichen. (siehe Abbildung 76).

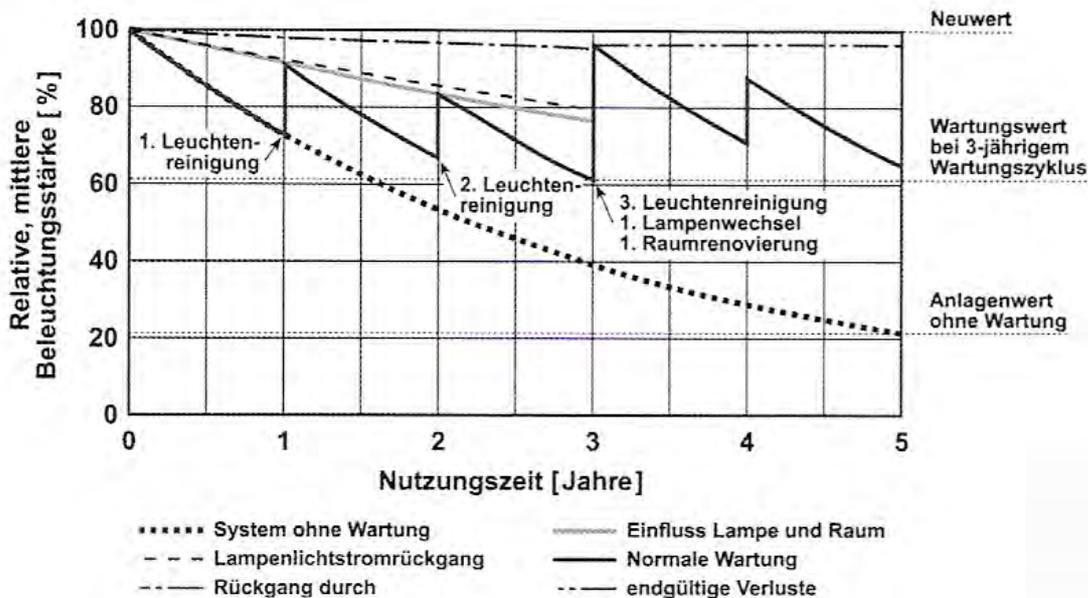


Abbildung 76: Exemplarischer Wartungszyklus einer Beleuchtungsanlage; Quelle: [FOU07]

### Minderungsfaktor zur Berücksichtigung der Sehaufgabe

Dieser Wert beschreibt die Abminderung des Wartungswertes der Beleuchtungsstärke, da man z. B. im Büro davon ausgehen kann, dass nicht die gesamte Fläche mit 500 lx beleuchtet wird, sondern nur der Bereich der Sehaufgabe. Außerdem stellt der Wartungswert der Beleuchtungsstärke für den Umgebungsbereich  $\bar{E}_u$  sicher, dass eine gewisse Gleichmäßigkeit des Lichtes im Raum gewährleistet wird. Ansonsten kann es zu visueller Überlastung und Unbehagen führen. Laut [DIN11] darf der Minderungsfaktor  $k_A$  vereinfacht aus Tabellen entnommen werden, er kann aber auch wie folgt berechnet werden.

Nach [ONO11a] gelten für  $\bar{E}_m$  und  $\bar{E}_u$  die Werte in folgender Tabelle:

Tabelle 37: Zusammenhang zwischen  $\bar{E}_m$  und  $\bar{E}_u$ ; Quelle: [ONO11a]

Beleuchtungsstärke im Bereich der Sehaufgabe $E_{\text{Aufgabe}}$ lx	Beleuchtungsstärke im unmittelbaren Umgebungsbereich lx
$\geq 750$	500
500	300
300	200
200	150
150	$E_{\text{Aufgabe}}$
100	$E_{\text{Aufgabe}}$
$\leq 50$	$E_{\text{Aufgabe}}$

Um  $\bar{E}_u$  berechnen zu können, wurde die Tabelle in eine Formel verwandelt und vereinfacht angenommen, dass der 1,5-fache Wert von  $\bar{E}_u$   $\bar{E}_m$  ergibt.

$$\bar{E}_u = \frac{\bar{E}_m}{1,5} \quad (129)$$

Der Minderungsfaktor  $k_A$  wird mit folgender Formel berechnet:

$$k_A = b_f + (1 - b_f) \cdot \frac{\bar{E}_u}{\bar{E}_m} \quad (130)$$

wobei 
$$b_f = \frac{A_S}{A} \quad (131)$$

$\bar{E}_u$  der Wartungswert der Beleuchtungsstärke für den unmittelbaren Umgebungsbereich um den Bereich der Sehaufgabe [lx]

$A_S$  die Fläche der Sehaufgabe [m<sup>2</sup>]

$b_f$  der Anteil der Fläche der Sehaufgabe an der Gesamtfläche

#### Anpassungsfaktor $k_L$ Lampe für nicht stabförmige Leuchtstofflampen

In Tabelle 38 wird die stabförmige Leuchtstofflampe mit einem Faktor von 1,0 als Standard angegeben. Es wird auch noch zwischen den verschiedenen Vorschaltgeräten unterschieden. Tageslichtabhängige Beleuchtungskontrolle funktioniert nur mit dimmbaren, elektronischen Vorschaltgeräten.

Tabelle 38: Anpassungsfaktor  $k_L$  für unterschiedliche Lampentypen; Quelle: [DIN11]

Lampenart	Faktor $k_L$			
	Vorschaltgerät			
	–	EVG	VVG	KVG
Glühlampen	6	–	–	–
Halogenglühlampen	5	–	–	–
Leuchtstofflampen stabförmig	–	1,0	1,14	1,24
Leuchtstofflampen kompakt, externes Vorschaltgerät	–	1,2	1,4	1,5
Leuchtstofflampen kompakt, integriertes Vorschaltgerät	–	1,6	–	–
Metallhalogenlamp-Hochdruck	–	0,86	–	1
Natriumdampf-Hochdruck	–	–	–	0,8
Quecksilberdampf-Hochdruck	–	–	–	1,7
LED-Ersatzlampen (Ersatz für Glühlampen, Halogenglühlampen und Leuchtstofflampen, auch Retrofit-Produkte genannt)	–	1,5	–	–
LEDs in LED-Leuchten <sup>a</sup>	–	1,1	–	–

<sup>a</sup> Leuchten speziell für das Leuchtmittel LED konstruiert

### Anpassungsfaktor Raum $k_R$

Der Raumindex  $k_R$  kann nach [DIN11] entweder aus Tabellen entnommen oder berechnet werden. Er hängt von der Raumform, der Höhe der Nutzebene und der Positionierung der Leuchten im Raum ab.

Zur Berechnung wird folgende Formel angewendet:

$$k = \frac{a_R \cdot b_R}{h_R \cdot (b_R + a_R)} \geq 0,6 \quad (132)$$

$k$  der Raumindex

$a_R$  die Raumtiefe [m]

$b_R$  die Raumbreite [m]

$h_R$  die Differenz aus den Höhen der Leuchtenebene und der Nutzebene [m]

Wird der Raumindex kleiner als 0,6, so wird mit einem Raumindex von 0,6 weitergerechnet.

Der Anpassungsfaktor  $k_R$  ist außerdem noch von der Beleuchtungsart und den Reflexionsgraden abhängig. Für die Reflexionsgrade werden, wie vor schon beschrieben, die Stan-

Standardwerte verwendet. Die Werte für den Anpassungsfaktor  $k_R$  werden aus Tabelle 39 interpoliert.

Tabelle 39: Anpassungsfaktor  $k_R$  zur Berücksichtigung des Einflusses der Raumauslegung; Quelle: [DIN11]

Beleuchtungsart	Anpassungsfaktor $k_R$											
	Raumindex $k$											
	0,6	0,7	0,8	0,9	1	1,25	1,5	2	2,5	3	4	5
direkt	1,08	0,97	0,88	0,83	0,78	0,69	0,64	0,60	0,57	0,54	0,52	0,51
direkt/indirekt	1,33	1,18	1,05	0,97	0,90	0,78	0,71	0,63	0,58	0,55	0,51	0,49
indirekt	1,46	1,25	1,08	0,95	0,85	0,69	0,60	0,52	0,47	0,44	0,42	0,39

ANMERKUNG Zwischenwerte für den Raumindex können interpoliert werden.

### Präsenzdetection

Es wird in allen Zonen von Bewegungsmeldern ausgegangen. Folglich wird kein Beleuchtungsenergiebedarf berechnet, wenn keine Personen anwesend sind. Diese Annahme ist zwar nicht sehr realistisch für konventionelle Bürobauten, da das Licht nicht immer beim Verlassen des Raumes ausgeschaltet wird. Hinsichtlich der Optimierung eines Gebäudes ist eine Präsenzkontrolle aber notwendig.

### Tageslicht

Der Einfluss des Tageslichts auf den Nutzenergiebedarf der Beleuchtung ist sehr wesentlich, denn umso mehr Tageslicht verwendet wird, umso mehr an Beleuchtungsenergie kann eingespart werden. Die gesamtenergetische Bewertung hinsichtlich der steigenden Kühlenergie bei der Vergrößerung der Fenster muss aber dabei berücksichtigt werden. Vorerst werden die gesamten Bereiche in tageslichtversorgte und nicht tageslichtversorgte Bereiche unterteilt. Danach wird der Tageslichtquotient für die Rohbauöffnung  $D_{RB}$  ermittelt. In diesen Wert fließen alle Parameter ein, welche mit der Planung zu tun haben. Raumtiefe, Fensteranordnung, Verbauung usw. bestimmen diesen Quotienten.

### Tageslichtbereich

Jene Berechnungsbereiche, welche an Fassaden liegen und daher mit Tageslicht versorgt werden, unterteilt man in tageslichtversorgte und nicht tageslichtversorgte Flächen. Tiefe und Breite bei tageslichtversorgten Bereichen werden grundlegend von der Fassadengestaltung beeinflusst.

Die maximale Tiefe definiert sich über:

$$a_{TL} = 2,5 \cdot (h_{St} - h_{Ne}) \quad (133)$$

$a_{TL}$  die maximale Tiefe des tageslichtversorgten Bereiches [m]

$h_{St}$  die Sturzhöhe über dem Fußboden [m]

$h_{Ne}$  die Höhe der Nutzebene über dem Fußboden [m]

In der [DIN11] wird die Parapetthöhe nicht berücksichtigt. Der Lichteinfall ist nicht direkt von der Parapetthöhe abhängig. Dies kann man sehr gut in Abbildung 77 „Höhere Brüstung“ erkennen.

Außerdem beschreibt die [DIN11] noch eine Zuschlagsregel. Diese besagt, dass wenn die gesamte Raumtiefe das 1,25fache von  $a_{TL}$  nicht überschreitet, dann darf die gesamte Raumtiefe für die Berechnung der tageslichtversorgten Fläche herangezogen werden.

Die Breite des Tageslichtbereichs errechnet sich aus:

$$b_{TL} = 2 \cdot b_{Fenster} \cdot \frac{a_{TL}}{4} \quad (134)$$

$b_{TL}$  die Breite des tageslichtversorgten Bereichs [m]

$b_{Fenster}$  die Breite des Fensters (Rohbaumaß) [m]

Die tageslichtversorgte Fläche ergibt sich aus folgender Gleichung:

$$A_{TL} = a_{TL} \cdot b_{TL} \quad (135)$$

$A_{TL}$  die Fläche des tageslichtversorgten Bereichs [m<sup>2</sup>]

Die nicht mit Tageslicht versorgte Fläche ergibt sich somit aus folgender Gleichung:

$$A_{KTL} = A - A_{TL} \quad (136)$$

$A_{KTL}$  die Fläche des nicht tageslichtversorgten Bereichs [m<sup>2</sup>]

$A$  die Fläche des Raumes [m<sup>2</sup>]

Abbildung 77 stellt den Einfluss verschiedener Fenstergeometrien auf den Tageslichtbereich dar:

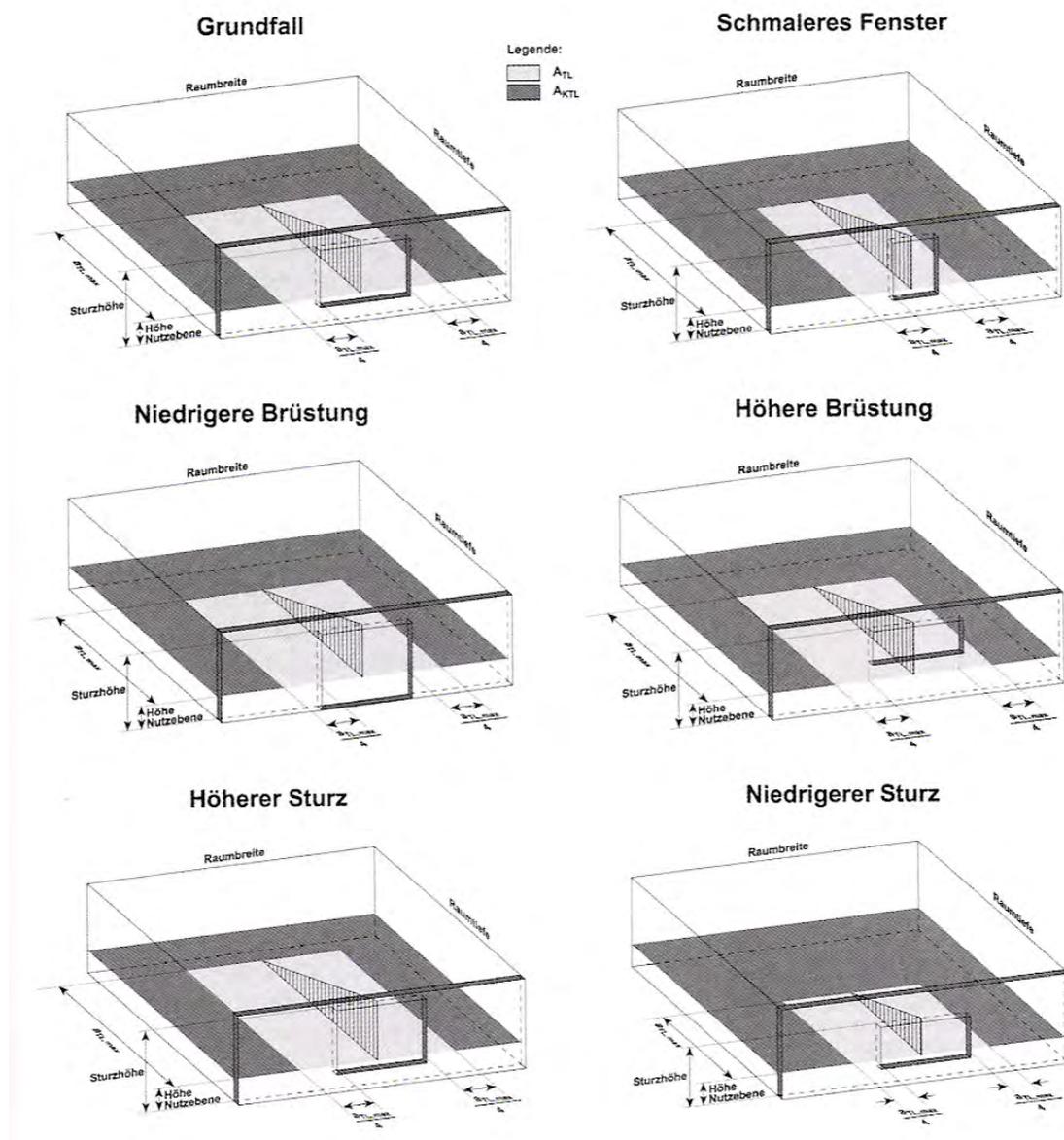


Abbildung 77: Einfluss der Fenstergeometrie auf den Tageslichtbereich; Quelle: [FOU07]

### Tageslichtquotient der Rohbauöffnung

Dieser Quotient gibt die mittlere innere Beleuchtungsstärke im errechneten Tageslichtbereich, zur unverschatteten Beleuchtungsstärke im Freien, in Prozent an. Laut [DIN11] wird die Tageslichtversorgung in Abhängigkeit von  $D_{RB}$  wie folgt klassifiziert:

- Gut bei  $D_{RB} \geq 6 \%$
- Mittel bei  $6 \% > D_{RB} \geq 4 \%$
- Gering bei  $4 \% > D_{RB} \geq 2 \%$
- Keine bei  $D_{RB} < 2 \%$

Der Tageslichtquotient wird aus drei Indizes errechnet. Nämlich dem Transparenzindex, dem Raumtiefenindex und dem Verbauungsindex.

Der Transparenzindex entspricht dem Verhältnis der Rohbauöffnung zur tageslichtversorgten Fläche.

$$I_{Tr} = \frac{A_{RB}}{A_{TL}} \quad (137)$$

$I_{Tr}$  der Transparenzindex

$A_{RB}$  die Fläche der Rohbauöffnung [m<sup>2</sup>]

$A_{TL}$  die Fläche des tageslichtversorgten Bereichs [m<sup>2</sup>]

Der Raumtiefenindex beschreibt das Verhältnis der tageslichtabhängigen Raumtiefe zur Differenz der Sturzhöhe zur Höhe der Nutzebene.

$$I_{Rt} = \frac{a_{TL}}{h_{St} - h_{Ne}} \quad (138)$$

$I_{Rt}$  der Raumtiefenindex

Alle Effekte, die den Tageslichteinfall auf die Fassade einschränken, werden mit dem Verbauungsindex berücksichtigt. Beeinträchtigungen durch das eigene Gebäude, wie vertikale oder horizontale Auskragungen, Atrien oder Innenhöfe, genauso wie die Abminderung des Lichteinfalls durch Nachbargebäude oder Glasdoppelfassaden gehen hier in die Berechnungen ein. Weiters wurde noch ein Faktor  $I_{V,LA}$  zur Berücksichtigung der Fensterlaibung eingeführt.

$$I_V = I_{V,IV} \cdot I_{V,ha} \cdot I_{V,vA} \cdot I_{V,In,At} \cdot I_{V,GDF} \cdot I_{V,LA} \quad (139)$$

$I_V$  der Verbauungsindex

$I_{V,IV}$  der Anpassungsfaktor für lineare Verbauung

$I_{V,ha}$  der Anpassungsfaktor für horizontale Auskragung

$I_{V,vA}$  der Anpassungsfaktor für vertikale Auskragung

$I_{V,In,At}$  der Anpassungsfaktor für Innenhöfe und Atrien

$I_{V,GDF}$  der Anpassungsfaktor für Glasdoppelfassaden

$I_{V,LA}$  der Anpassungsfaktor für die Fensterlaibung

Der Anpassungsfaktor für lineare Verbauung errechnet sich nach:

$$I_{V,IV} = \cos(1,5 \cdot \gamma_{V,IV}) \quad \text{für} \quad \gamma_{V,IV} < 60^\circ \quad (140)$$

$$I_{V,IV} = 0 \quad \text{für} \quad \gamma_{V,IV} \geq 60^\circ \quad (141)$$

Der Anpassungsfaktor für horizontale Auskragungen ergibt sich aus:

$$I_{V,hA} = \cos(1,33 \cdot \gamma_{V,hA}) \quad \text{für} \quad \gamma_{V,hA} < 67,5^\circ \quad (142)$$

$$I_{V,hA} = 0 \quad \text{für} \quad \gamma_{V,hA} \geq 67,5^\circ \quad (143)$$

Den Anpassungsfaktor für vertikale Auskragungen berechnet man mit:

$$I_{V,vA} = 1 - \frac{\gamma_{V,vA}}{300^\circ} \quad (144)$$

Für Innenhöfe und Atrien gibt es viele verschiedene Formen und Geometrien. In diesem Punkt sind vierseitige Höfe (Atrien) betrachtet worden. Für zwei- bzw. dreiseitige Höfe können extra Berechnungen herangezogen werden.

Die folgende Formel dient der geometrischen Beschreibung des Hofes:

$$w_i = \frac{h_{In,At} \cdot (a_{In,At} + b_{In,At})}{2 \cdot a_{In,At} \cdot b_{In,At}} \quad (145)$$

$w_i$  der Lichtschachtindex zur Bewertung der Innenhof- bzw. Atriengeometrie

In sind Erläuterungen für die verschiedenen Anpassungsfaktoren dargestellt.

Die nächste Formel gibt den Anpassungsfaktor für Innenhöfe (Atrien) an:

$$I_{V,In,At} = 1 - 0,85 \cdot w_i \quad \text{bei Innenhöfen} \quad (146)$$

$$I_{V,In,At} = \tau_{V,In,At,D65} \cdot k_{V,In,At,1} \cdot k_{V,In,At,2} \cdot k_{V,In,At,3} \cdot (1 - 0,85 \cdot w_i) \quad \text{bei Atrien} \quad (147)$$

$$I_{V,In,At} = 0 \quad \text{für} \quad w_i > 1,18 \quad (148)$$

$\tau_{V,In,At,D65}$  der Lichttransmissionsgrad der Atriumverglasung für senkrechten Lichteinfall

$k_{V,In,At,1}$  der Minderungsfaktor für die Versprossung der Atriumfassade

$k_{V,In,At,2}$  der Minderungsfaktor für Verschmutzung der Atriumverglasung

$k_{V,In,At,3}$  der Minderungsfaktor für diffusen Lichteinfall

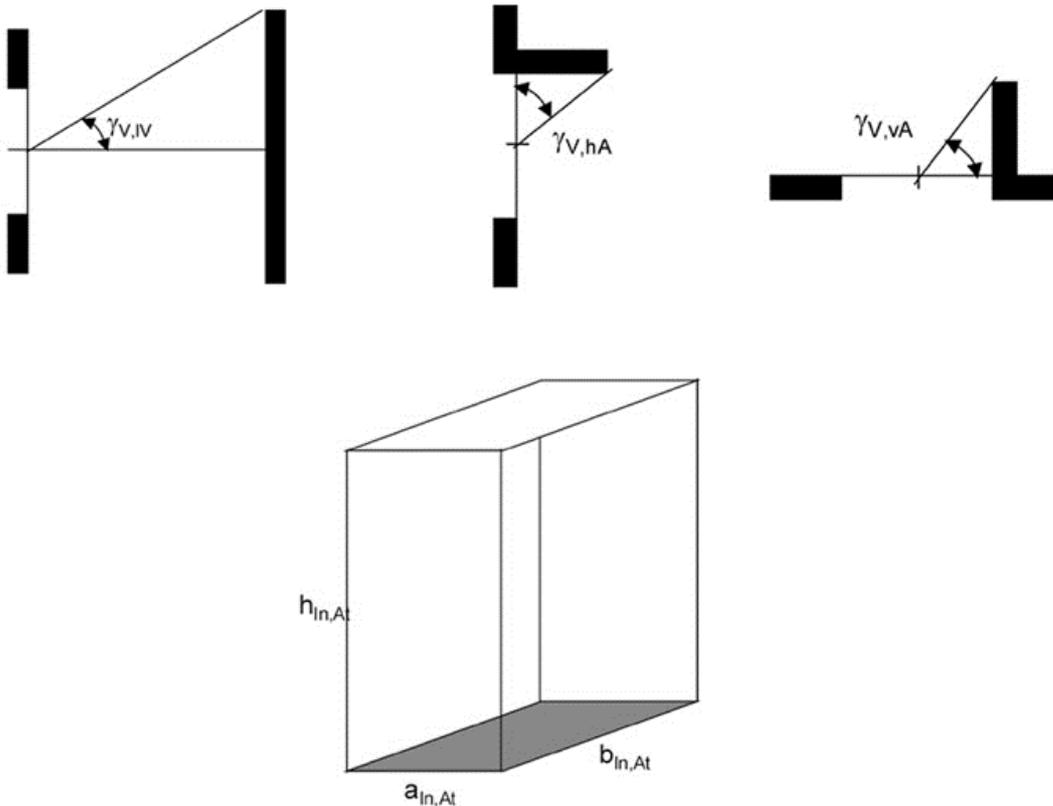


Abbildung 78: Schemaschnitte zur Erläuterung der verschiedenen Einflüsse und die geometrischen Größen für den Innenhof; Quelle: [DIN11]

Wenn man sich für eine Glasdoppelfassade entscheidet, so geht das auch in den Verbauungsfaktor ein. Es wird annähernd analog zum Atrium errechnet.

Die nächste Formel ergibt den Anpassungsfaktor für Glasdoppelfassaden:

$$I_{V,GDF} = \tau_{V,GDF,D65} \cdot k_{V,GDF,1} \cdot k_{V,GDF,2} \cdot k_{V,GDF,3} \quad (149)$$

$\tau_{V,GDF,D65}$  der Lichttransmissionsgrad der Verglasung für senkrechten Lichteinfall

$k_{V,GDF,1}$  der Minderungsfaktor für die Versprossung der Glasdoppelfassade

$k_{V,GDF,2}$  der Minderungsfaktor für Verschmutzung der Glasdoppelfassade

$k_{V,GDF,3}$  der Minderungsfaktor für nicht senkrechten Lichteinfall

Die nächste Formel beschreibt den Anpassungsfaktor  $I_{V,LA}$  für die Fensterlaibung bzw. Tiefe der Wände nach [SIA04]:

$$I_{V,LA} = 1 - 0,6 \cdot d_{LA}$$

$d_{LA}$  Dicke der Laibung bzw. der Wand [m]

Nach der Berechnung der Indizes (Transparenz, Raumtiefe, Verbauung) kann man näherungsweise den Tageslichtquotienten ermitteln:

$$D_{Rb} = (4,13 + 20 \cdot I_{Tr} - 1,36 \cdot I_{Rt}) \cdot I_V \quad (150)$$

Wenn der Raumtiefenindex verhältnismäßig größer als der Transparenzindex wird, kann es passieren, dass die Formel ein negatives Ergebnis auswirft. In diesen Fällen wird mit einem Tageslichtquotienten von  $D_{Rb} = 0$  weitergerechnet.

Somit haben wir den Wert errechnet, der aussagekräftig für die Tageslichtversorgung im tagelichtversorgten Bereich ist. Dieser Quotient ist aber nur für die Rohbauöffnung maßgebend. Das heißt die Verglasung, der Rahmenanteil, der Sonnenschutz usw. sind noch nicht enthalten.

#### Tageslichtquotient für nicht aktivierten Sonnenschutz

Der Tageslichtquotient bei nicht aktiviertem Sonnenschutz errechnet sich über den effektiven Lichttransmissionsgrad. Dieser errechnet sich wieder annähernd gleich wie der Verbauungsindex bei Glasdoppelfassaden:

$$\tau_{eff, SNA} = \tau_{D65, SNA} \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \quad (151)$$

$\tau_{eff, SNA}$  der effektive Lichttransmissionsgrad bei nicht aktiviertem Sonnenschutz

$\tau_{D65, SNA}$  der Lichttransmissionsgrad der Verglasung für senkrechten Lichteinfall

$k_1$  der Minderungsfaktor für Rahmen und Versprossung

$k_2$  der Minderungsfaktor für Verschmutzung

$k_3$  der Minderungsfaktor für nicht senkrechten Lichteinfall

Tabelle 40: Richtwerte für Lichttransmissionsgrade  $\tau_{D65,SNA}$  aus [DIN11]

Glastyp	Kennwerte, ohne Sonnenschutzvorrichtung			
	$U_g^a$	$g_{\perp}$	$\tau_e$	$\tau_{D65}$
einfach	5,8	0,87	0,85	0,90
zweifach	2,9	0,78	0,73	0,82
dreifach	2,0	0,70	0,63	0,75
WDG <sup>b</sup> 2fach	1,7	0,72	0,60	0,74
WDG <sup>b</sup> 2fach	1,4	0,67	0,58	0,78
WDG <sup>b</sup> 2fach	1,1	0,60	0,54	0,80
WDG <sup>b</sup> 2fach	1,0	0,48	0,54	0,71
WDG <sup>b</sup> 3fach	0,8	0,50	0,39	0,69
WDG <sup>b</sup> 3fach	0,8	0,60	0,50	0,74
WDG <sup>b</sup> 3fach	0,7	0,50	0,39	0,70
WDG <sup>b</sup> 3fach	0,6	0,50	0,39	0,69
SSG <sup>c</sup> 2fach	1,3	0,48	0,44	0,59
SSG <sup>c</sup> 2fach	1,2	0,37	0,34	0,67
SSG <sup>c</sup> 2fach	1,2	0,25	0,21	0,40
SSG <sup>c</sup> 3fach	0,7	0,34	0,29	0,63
SSG <sup>c</sup> 3fach	0,7	0,24	0,21	0,45
SSG <sup>c</sup> 3fach	0,7	0,16	0,13	0,27

<sup>a</sup> Bemessungswert in W/(m<sup>2</sup> · K) nach DIN V 4108-4 (einschließlich Korrekturwert von 0,1 W/(m<sup>2</sup> · K)).  
<sup>b</sup> WDG: Wärmedämmglas  
<sup>c</sup> SSG: Sonnenschutzglas

Aufbauend auf den effektiven Lichttransmissionsgrad kann der Tageslichtquotient in Bezug auf das Fenster ermittelt werden:

$$D_{SNA} = \tau_{eff,SNA} \cdot D_{Rb} \quad (152)$$

$D_{SNA}$  der Tageslichtquotient für nicht aktivierten Sonnenschutz

## Tageslichtquotient für aktivierten Sonnenschutz

Hier wird der effektive Lichttransmissionsgrad aus einer Tabelle der [DIN11] entnommen. Dieser Wert muss noch mit dem Minderungsfaktor für Versprossung  $k_1$  multipliziert werden.

$$\tau_{eff,SA} = \tau_{D65,SA} \cdot k_1 \quad (153)$$

$\tau_{eff,SA}$  der effektive Lichttransmissionsgrad bei aktiviertem Sonnenschutz

$k_1$  der Minderungsfaktor für Rahmen und Versprossung

Tabelle 41: Anhaltswerte für Lichttransmissionsgrade  $\tau_{eff,SA}$  aus [DIN11]

Verglasungstyp	Kennwerte, ohne Sonnen- und/oder Blendschutzvorrichtung				Außenliegende Sonnen- und/oder Blendschutzvorrichtung						Innenliegende Sonnen- und/oder Blendschutzvorrichtung						
					Außenjalousie <sup>a,c</sup> (geschlossen)		Außenjalousie <sup>a,c</sup> (45°-Stellung)		vertikale Markise <sup>d</sup>		Innenjalousie <sup>a,e</sup> (geschlossen)		Innenjalousie <sup>a,e</sup> (45°-Stellung)		Textile Rollos <sup>d</sup>		Folie <sup>f</sup>
					weiß	dunkelgrau	weiß	dunkelgrau	weiß <sup>b</sup>	grau	weiß	hellgrau	weiß	hellgrau	weiß	grau <sup>b</sup>	transparent <sup>a</sup>
U	g <sub>L</sub>	τ <sub>e</sub>	τ <sub>D65</sub>	τ <sub>eff,SA</sub>	τ <sub>eff,SA</sub>	τ <sub>eff,SA</sub>	τ <sub>eff,SA</sub>	τ <sub>eff,SA</sub>	τ <sub>eff,SA</sub>	τ <sub>eff,SA</sub>	τ <sub>eff,SA</sub>	τ <sub>eff,SA</sub>	τ <sub>eff,SA</sub>	τ <sub>eff,SA</sub>	τ <sub>eff,SA</sub>		
Einfachverglasung	5,8	0,87	0,85	0,90	0,04	0,01	0,20	0,04	0,15	0,07	0,04	0,02	0,20	0,09	0,09	0,26	0,03
Zweifachverglasung	2,9	0,78	0,73	0,82	0,04	0,0	0,19	0,04	0,14	0,07	0,04	0,02	0,19	0,09	0,08	0,24	0,03
Dreifachverglasung	2,0	0,70	0,63	0,75	0,04	0,0	0,18	0,03	0,14	0,06	0,04	0,01	0,18	0,08	0,08	0,23	0,02
WDG <sup>g</sup> zweifach	1,7	0,72	0,60	0,74	0,04	0,0	0,18	0,03	0,13	0,06	0,04	0,01	0,18	0,08	0,08	0,22	0,02
WDG <sup>g</sup> zweifach	1,4	0,67	0,58	0,78	0,04	0,0	0,19	0,04	0,14	0,06	0,04	0,02	0,19	0,08	0,08	0,23	0,02
WDG <sup>g</sup> zweifach	1,2	0,65	0,54	0,78	0,04	0,0	0,19	0,04	0,14	0,06	0,04	0,02	0,19	0,08	0,08	0,23	0,01
WDG <sup>g</sup> dreifach	0,8	0,50	0,39	0,69	0,04	0,0	0,17	0,03	0,13	0,06	0,04	0,01	0,17	0,07	0,08	0,21	0,01
WDG <sup>g</sup> dreifach	0,6	0,50	0,39	0,69	0,04	0,0	0,17	0,03	0,13	0,06	0,04	0,01	0,17	0,07	0,08	0,21	0,01
SSG <sup>h</sup> zweifach	1,3	0,48	0,44	0,59	0,04	0,0	0,16	0,03	0,12	0,05	0,04	0,01	0,16	0,07	0,08	0,19	0,01
SSG <sup>h</sup> zweifach	1,2	0,37	0,34	0,67	0,04	0,0	0,17	0,03	0,13	0,06	0,04	0,01	0,17	0,07	0,08	0,21	0,01
SSG <sup>h</sup> zweifach	1,2	0,25	0,21	0,40	0,03	0,0	0,11	0,02	0,08	0,03	0,03	0,01	0,11	0,05	0,05	0,13	0,01

Verglasungstyp	Kennwerte, ohne Sonnen- und/oder Blendschutzvorrichtung				Außenliegende Sonnen- und/oder Blendschutzvorrichtung						Innenliegende Sonnen- und/oder Blendschutzvorrichtung						
					Außenjalousie <sup>a,c</sup> (geschlossen)		Außenjalousie <sup>a,c</sup> (45°-Stellung)		vertikale Markise <sup>d</sup>		Innenjalousie <sup>a,e</sup> (geschlossen)		Innenjalousie <sup>a,e</sup> (45°-Stellung)		Textile Rollos <sup>d</sup>		Folie <sup>f</sup>
					weiß	dunkelgrau	weiß	dunkelgrau	weiß <sup>b</sup>	grau	weiß	hellgrau	weiß	hellgrau	weiß	grau <sup>b</sup>	transparent <sup>a</sup>
U	g <sub>L</sub>	τ <sub>e</sub>	τ <sub>D65</sub>	τ <sub>eff,SA</sub>	τ <sub>eff,SA</sub>	τ <sub>eff,SA</sub>	τ <sub>eff,SA</sub>	τ <sub>eff,SA</sub>	τ <sub>eff,SA</sub>	τ <sub>eff,SA</sub>	τ <sub>eff,SA</sub>	τ <sub>eff,SA</sub>	τ <sub>eff,SA</sub>	τ <sub>eff,SA</sub>	τ <sub>eff,SA</sub>		
Transmissionsgrad Sonnenschutz $\tau$					0	0	0	0	0,16	0,08	0	0	0	0	0,09	0,28	0,03
Reflexionsgrad Sonnenschutz $\rho$					0,84	0,065	0,84	0,065	0,56	0,15	0,84	0,47	0,84	0,47	0,86	0,39	0,75

<sup>a</sup> Jalousie entspricht Lamellenbehäng.  
<sup>b</sup> Es ist im Einzelfall zu prüfen, ob diese Sonnenschutzsysteme die einschlägigen Bestimmungen zur Bereitstellung eines ausreichenden Blendschutzes einhalten.  
<sup>c</sup> Berechnung nach DIN EN 13363-2, mit Lamellenabstand 72 mm, Lamellenbreite 80 mm, Höhenwinkel Solarstrahlung 30°, Stellung „geschlossen“ 10°, Gewichtung:  $\tau = 0,85 \cdot \tau_{gr} + 0,15 \cdot \tau_{gr}$ .  
<sup>d</sup> Berechnung nach DIN EN 13363-1.  
<sup>e</sup> Berechnung nach DIN EN 13363-2, mit Lamellenabstand 22 mm, Lamellenbreite 25 mm, Höhenwinkel Solarstrahlung 30°, Stellung „geschlossen“ 10°, Gewichtung:  $\tau = 0,85 \cdot \tau_{gr} + 0,15 \cdot \tau_{gr}$ .  
<sup>f</sup> Berechnet nach DIN EN 410.  
<sup>g</sup> WDG: Wärmedämmglas  
<sup>h</sup> SSG: Sonnenschutzglas

$$D_{SA} = \tau_{eff,SA} \cdot D_{Rb} \quad (154)$$

$D_{SA}$  der Tageslichtquotient für nicht aktivierten Sonnenschutz

## Aktivierung des Sonnenschutzes

Im Kapitel 0 Solare Einstrahlung wird die Umrechnung der horizontalen Strahlung auf beliebig geneigte Flächen erläutert. Durch die stundenweise Betrachtung ist es möglich in jeder Stunde zu entscheiden, ob der Sonnenschutz aktiviert ist oder nicht.

Die Aktivierung des Sonnenschutzes erfolgt über zwei Schwellen. Die erste Schwelle beträgt  $50 \text{ W/m}^2$  für direkte Sonneneinstrahlung. Die zweite Schwelle liegt bei  $200 \text{ W/m}^2$  für die Gesamtstrahlung.

Die Schwellenwerte für die Aktivierung sind aus [FOU07] entnommen.

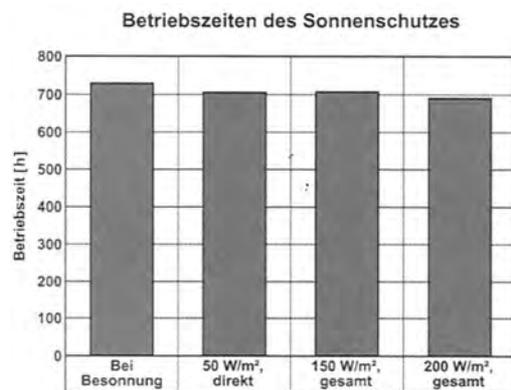


Abbildung 79: Betriebszeiten des Sonnenschutzes mit verschiedenen Schwellenwerten [FOU07]

Der manuelle Sonnenschutz wird so gerechnet, dass er bei Anwesenheit und Erreichen der Schwellenwerte aktiviert wird. Es ist keine Wahrscheinlichkeit berücksichtigt, dass auf die De- bzw. Aktivierung des Sonnenschutzes vergessen wird. Der Unterschied zwischen dem automatischen Sonnenschutz und dem manuellen Sonnenschutz liegt darin, dass der Manuelle nur betätigt wird, wenn Personen anwesend sind. Das heißt grundsätzlich, dass der automatische Sonnenschutz auch am Wochenende einen erhöhten Wärmeeintrag verhindert. Der automatische Sonnenschutz wird mit Luxmetern geregelt.

$$I_{sol,h,K2} = I_{sol,h,K1} \cdot 1,33 \quad (155)$$

$I_{sol,K2}$        $\text{W/m}^2$       Stundenmittelwert der – Klimazustand 2

$I_{sol,K1}$        $\text{W/m}^2$       Stundenmittelwert der Strahlungsintensität – Klimazustand 1

## Umrechnung der Gesamtstrahlung

In den stundenbezogenen Klimadaten setzt sich die Strahlung aus drei verschiedenen Komponenten zusammen:

- Direkte Strahlung (abhängig vom Sonnenstand)
- Diffuse Strahlung (in der Atmosphäre gestreute Strahlung)
- Reflektierte Strahlung (durch Reflexion von Gebäuden, Erdoberfläche u.a.)

Durch die Summe dieser drei Parameter wird die Gesamtstrahlung bestimmt. Die Einheit der Gesamtstrahlung ist Watt pro Quadratmeter [W/m<sup>2</sup>]. Um diese Freilandstrahlung auf die Einheit Lux [lx] umzurechnen, multipliziert man diese mit einer Konstante:

$$\overline{E_{F,Ges}} = 109 \cdot S_{Ges} \quad (156)$$

$\overline{E_{F,Ges}}$  die gesamte Beleuchtungsstärke aus der Freilandstrahlung [lx]

$S_{Ges}$  die gesamte Gesamtstrahlung im Freien [W/m<sup>2</sup>]

### Beleuchtungsstärke im tageslichtversorgten Bereich

Die Beleuchtungsstärke (auf der Höhe der Nutzebene) im tageslichtversorgten Bereich ergibt sich, in Abhängigkeit des Sonnenschutzes, zu:

$$\overline{E_{TL}} = \overline{E_{F,Ges}} \cdot D_{SNA} \quad \text{bzw.} \quad (157)$$

$$\overline{E_{TL}} = \overline{E_{F,Ges}} \cdot D_{SA} \quad (158)$$

$\overline{E_{TL}}$  die Beleuchtungsstärke auf der Nutzebene durch Tageslicht

### Nutzenergie für Beleuchtung

Die Nutzenergie für Beleuchtung kann nun mit den vorher bestimmten Faktoren berechnet werden.

### Nutzenergie im tageslichtversorgten Bereich

Wenn die Beleuchtungsstärke  $\overline{E_{TL}}$  kleiner ist als der geforderte Wert der Beleuchtungsstärke  $\overline{E_m}$ , so wird für den tageslichtversorgten Bereich die Leistung für eine Stunde wie folgt errechnet:

$$P_{TL,i} = p \cdot A_{TL} \cdot \begin{cases} 1 & Z_{ANW,i} \geq 1 \\ 0 & Z_{ANW,i} < 1 \end{cases} \quad (159)$$

$P_{TL,i}$  die Leistung der Beleuchtung im tageslichtversorgten Bereich zur jeweiligen Stunde ohne automatische Beleuchtungskontrolle [W]

$p$  die spezifische installierte elektrische Leistung [W/m<sup>2</sup>]

$A_{TL}$  die Fläche, die mit Tageslicht versorgt ist [m<sup>2</sup>]

$Z_{Anw,i}$  Anzahl der anwesenden Personen in der Zone in der jeweiligen Stunde [W]

Bei einer Verwendung eines automatischen Dimmers werden keine Verluste mit eingerechnet. Es wird das Verhältnis des Tageslichts zur erwarteten Beleuchtungsstärke abgezogen und mit der spezifischen elektrischen Bewertungsleistung und der Fläche des Tageslichtbereichs multipliziert:

$$P_{TL,kon,i} = \left(1 - \frac{\bar{E}_{TL}}{\bar{E}_m}\right) \cdot p \cdot A_{TL,kon} \cdot \begin{cases} 1 & Z_{ANW,i} \geq 1 \\ 0 & Z_{ANW,i} < 1 \end{cases} \quad (160)$$

$P_{TL,kon,i}$  die Leistung der Beleuchtung im tageslichtversorgten Bereich zur jeweiligen Stunde mit automatischer Beleuchtungskontrolle [W]

$\bar{E}_{TL}$  die Beleuchtungsstärke auf der Nutzebene durch Tageslicht

$\bar{E}_m$  der Wartungswert der Beleuchtungsstärke

#### Nutzenergie im nicht tageslichtversorgten Bereich

Im nicht tageslichtversorgten Bereich wird die Leistung für eine Stunde wie folgt errechnet:

$$P_{KTL,i} = p \cdot A_{KTL} \cdot \begin{cases} 1 & Z_{ANW,i} \geq 1 \\ 0 & Z_{ANW,i} < 1 \end{cases} \quad (161)$$

$P_{KTL,i}$  die Leistung der Beleuchtung im nicht tageslichtversorgten Bereich zur jeweiligen Stunde [W]

$A_{KTL}$  die Fläche die nicht mit Tageslicht versorgt ist [m<sup>2</sup>]

#### Gesamte Nutzenergie für Beleuchtung

Durch die Aufsummierung über die 8760 Stunden im Jahr ergibt sich die Endenergie für Beleuchtung zu:

$$Q_{l,b,n} = \sum (P_{TL,i} + P_{TL,kon,i} + P_{KTL,i}) / 1000 \quad (162)$$

$Q_{l,b,n}$  Jahresendenergiebedarf der Beleuchtung [kWh/a]

#### Innere Lasten aus Beleuchtung im Bürobau:

$$\phi_{IL,Bel,i} = P_{TL,i} + P_{TL,kon,i} + P_{KTL,i} \quad (163)$$

$\phi_{IL,Bel,i}$  Wärmestrom zufolge Beleuchtung innerer Lasten in der jeweiligen Stunde [W]

$$\phi_{IL,Bel,r} = 0,5 \cdot \phi_{IL,Bel} \quad (164)$$

$$\phi_{IL,Bel,c} = 0,5 \cdot \phi_{IL,Bel} \quad (165)$$

$\phi_{IL,Bel,r}$  Wärmestrom zufolge Beleuchtung innerer Lasten infolge Strahlung [W]

$\phi_{IL,Bel,c}$  Wärmestrom zufolge Beleuchtung innerer Lasten infolge Konvektion [W]

### Ausblick

Zukünftig soll in den Berechnungen des Beleuchtungsenergiebedarfs auch noch der Power-Factor berücksichtigt werden. Dieser Leistungsfaktor kommt aus der Elektrotechnik und beschreibt das Verhältnis vom Betrag der Wirkleistung zur Scheinleistung. Bei einer Messung einer dimmbaren Leuchte ergab sich folgender Verlauf:

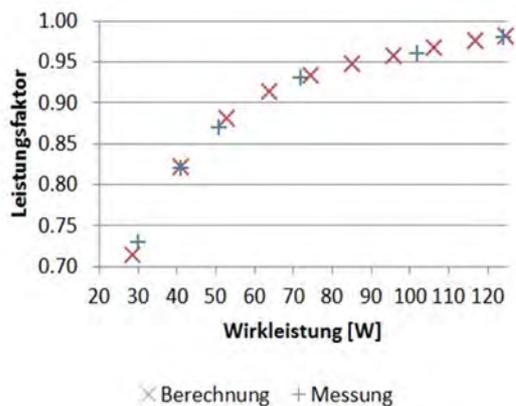


Abbildung 80: Abhängigkeit von Wirkleistung und Leistungsfaktor

Daraus resultiert, dass umso weniger Licht die Leuchte liefern muss, umso mehr Wirkleistung wird verhältnismäßig benötigt. Dieser Umstand kann in zukünftige Berechnungen berücksichtigt werden.

### 9.2.3 Warmwasser

Zur Berechnung des Warmwasserwärmebedarfs sind entsprechend der Nutzung Zapfprofile zu verwenden. Die Berechnung der Verteilverluste erfolgt gemäß ÖNORM H 5056 [ONO10]. Eine mögliche Erweiterung wäre die detaillierte Berechnung von Verteilleitungen in Schächten. Insbesondere bei gleichzeitiger Verteilung von Warm- und Kaltwasser könnte die Genauigkeit der Berechnung ohne wesentliche Erhöhung des Aufwandes verbessert werden.

## 9.2.4 Raumheizung & Kühlung

Die Berechnung der zeitabhängigen Wärmeleistung zur Einhaltung der operativen Temperaturen erfolgt analog zu Kapitel 8 durch eine vereinfachte Simulation. Die minimale Zonierung ist wie in Abbildung 81 dargestellt die Aufteilung des Gebäudes in fassadennahe thermische Zonen und den Kernbereich des Gebäudes. Die fassadennahen Zonen sind eventuell in zwei lichttechnische Zonen zu teilen.

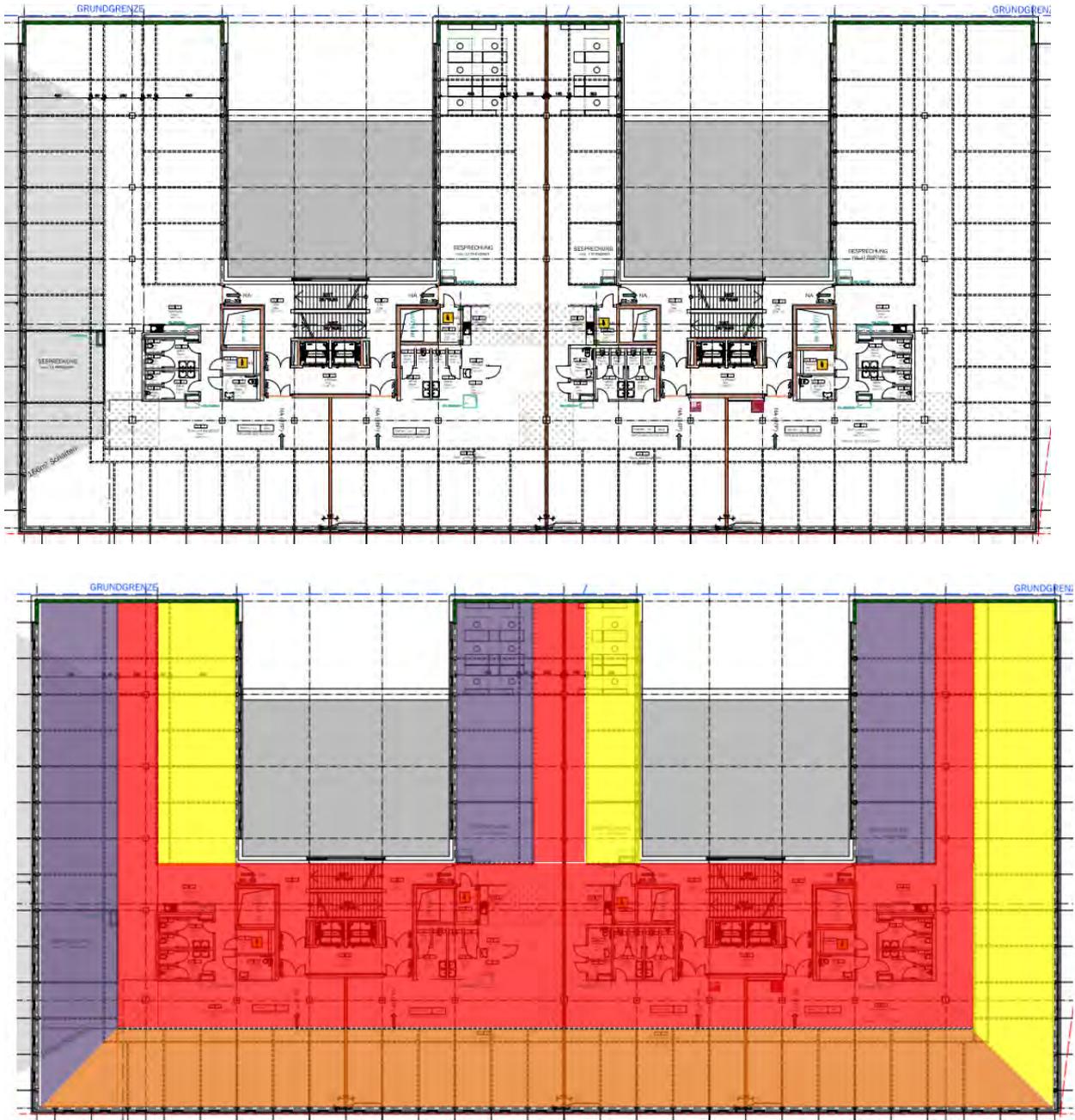


Abbildung 81: Minimale Zonierung (7 Fassadennahe Zonen + 1 Kernzone)

Unkonditionierter Räume (Stiegenhäuser, Wintergärten) sind ebenso als Zone in der Berechnung zu berücksichtigen.

Bei der Ermittlung der Wärmeströme sind die Verluste aus dem Bereich der Wärmeverteilung zu berücksichtigen. Bis dato wird im Rahmen der ÖNORM H 5056 nur der Verlust im Bereich der konditionierten Zonen als rückgewinnbarer Verlust betrachtet und der Verlust im Bereich unkonditionierter Bereiche ermittelt, bei der Berechnung der Wärmeverluste über den unkonditionierten Raum aber nicht mehr berücksichtigt. Eine bessere Näherung wäre diesen Verlust zu berücksichtigen.

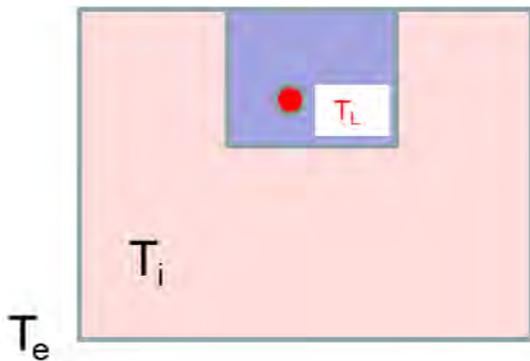


Abbildung 82: Schematische Darstellung für eine konditionierte Zone und eine unkonditionierten Zone mit einer wärmeabgebenden Leitung

Die Berechnung des Wärmeverlustes vom konditionierten Raum über den unkonditionierten Raum kann mit Hilfe des Leitwerts  $L_{iu}$  erfolgen.

$$\dot{Q}_{ie} = L_{iu} \cdot (T_i - T_u)$$

Die unbekannte Temperatur  $T_u$  ergibt sich aus der Annahme eines stationären Zustandes für den unkonditionierten Raum unter Berücksichtigung der Verluste der Leitung.

$$L_{iu} \cdot (T_i - T_u) + L_{Lu} \cdot (T_L - T_u) = L_{ue} \cdot (T_u - T_e)$$

$$T_u \cdot (L_{iu} + L_{ue} + L_{Lu}) = L_{iu} \cdot T_i + L_{Lu} \cdot T_L + L_{ue} \cdot T_e$$

Damit kann der Wärmeverlust des konditionierten Bereichs über den unkonditionierten Bereich ermittelt werden.

$$\dot{Q}_{ie} = \frac{L_{iu} \cdot L_{ue}}{L_{iu} + L_{Lu} + L_{ue}} \cdot (T_i - T_e) + \frac{L_{iu} \cdot L_{Lu}}{L_{iu} + L_{Lu} + L_{ue}} \cdot (T_i - T_L)$$

Grundsätzlich sollte für die Planung der Komponenten und die Berechnung des Energiebedarfs eine zumindest stundenweise dynamische Berechnung wie oben beschrieben durchgeführt werden. Wie später bei den Beispielen Wohnbau, Schulbau und Bürobau gezeigt, ist für den Fall, dass keine Solarthermie verwendet wird, mit ausreichender Näherung die Monatsbilanz mit detaillierter Berechnung der Wärmeströme und Verluste geeignet in ausreichender Näherung den Energiebedarf für Heizung und Warmwasser zu beschreiben. Wesentlich dabei ist, die Wärmeabgabe durch Geräte, Beleuchtung und Personen ausreichend genau zu beschreiben.

Bei der Berechnung der vom Heizsystem im konditionierten Bereich abzugebenen Wärme ist dabei, bei Vorhandensein von Lüftungsanlagen, der Lüftungswärmeverlust mit der Zulufttemperatur zu bestimmen. Die Verluste über unkonditionierte Räume sind mit Berücksichtigung der Anlagenverluste zu ermitteln. Die Verluste über erdberührte Bauteile sind mit Hilfe des Leitwerts für das Jahresmittel und die Jahresschwingung zu berechnen. Analog gilt dies auch für die Bestimmung des Kühlbedarf zur Raumkühlung und den Be- und Entfeuchtungsbedarf.

### 9.2.5 RLT (Raumluftechnik)

Zur Berechnung des Energiebedarf Raumluftechnischer Anlagen ist bis dato eine Methode in der ÖNORM H 5057 abgebildet die auf Basis der Klimate von Wien und Klagenfurt die Energiemengen zur Konditionierung der Luft als Monatssummen für bestimmte Arten der Regelung ermittelt. Um daraus standortabhängige Werte zu ermitteln muss mit Hilfe von Heiz- bzw. Kühlgradstuden eine Anpassung vorgenommen werden.

Eine wesentliche einfachere Logik bekommt die Berechnung wenn auf Basis der Stundenwerte des Außenklimas, des Innenklimas und des zeit- bzw. bedarfsgerechten Volumenstroms eine Berechnung der notwendigen Wärme-, Kälte- bzw. Dampfmengen der Energiebedarf ermittelt wird.

Beschreibung des Modells einer Vollklimaanlage

Typischer Weise enthalten Vollklimaanlage, eine Wärmerückgewinnung bzw. eine Wärme- und Feuchterückgewinnung, einem Kühlregister, einem Heizregister, einen Dampfbefeuchter, einen Zuluftventilator und einen Abluftventilator. Das Anlagenschema ist in der folgenden Abbildung ersichtlich.

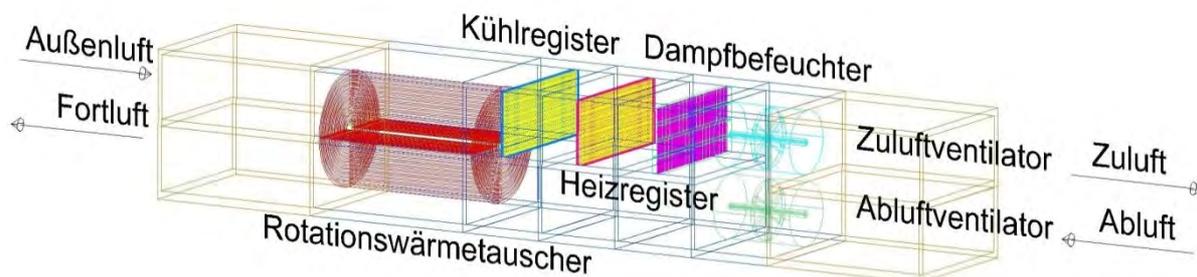


Abbildung 83: Schema einer Vollklimaanlage [BED12]

Bei der Berechnung ist es sinnvoll davon auszugehen, dass die gesamte elektrische Anschlussleistung  $P_{el}$  der Ventilatoren in Form von Wärme auf den Zuluft- bzw. den Abluftvolumenstrom übergeht.

Aus dem Regelungskonzept werden die zeitabhängigen Sollwerte  $x_{soll}$ ,  $T_{soll}$  für den Zuluftzustand vorgegeben. Grundsätzlich gilt

- $x_{Abluft} < x_{Soll}$  Befeuchten notwendig
- $T_{Abluft} < T_{Soll}$  Heizen notwendig
- $x_{Abluft} > x_{Soll}$  Entfeuchten notwendig
- $T_{Abluft} > T_{Soll}$  Kühlen notwendig

Ausgehend von den Berechnungsgrößen des Klimadatensatzes, der relativen Luftfeuchte, der Außenlufttemperatur sowie dem Gesamtluftdruck des jeweiligen Standortes, wurden nachfolgende Konstanten und Gleichungen in der Berechnung verwendet:

Konstanten [REC07] wenn nicht [CIM10]

Molare Masse der Luft	$M_L = 28,96$	g/mol
Molare Masse des Wasserdampfes	$M_D = 18,02$	g/mol
Spezifische Gaskonstante der Luft	$R_L = 287,1$	J/kgK
Spezifische Gaskonstante des Wasserdampfes	$R_D = 461,40$	J/kgK
Spezifische Wärmekapazität der Luft	$c_{pL} = 1,01$	kJ/kgK
Spezifische Wärmekapazität des Wasserdampfes	$c_{pD} = 1,86$	kJ/kgK
Verdampfungsenthalpie des Wasser bei $t = 0^\circ\text{C}$	$r_o = 2501$	kJ/kg
Luftdichte im Normzustand	$\rho_{L,0} = 1,292$	kg/m <sup>3</sup>
Luftdruck (Normzustand)	$p_o = 1,013$	bar
Temperatur (Normzustand)	$T_o = 273,15$	K
Erdbeschleunigung	$g = 9,81$	m/s <sup>2</sup>

Luftdruck am Berechnungsstandort  $p = p_L + p_D$

Dichte  $\rho_L = \frac{p_L}{R_L \cdot T} \quad \rho_D = \frac{p_D}{R_D \cdot T}$

Feuchtegehalt (Mixing ratio):  $x = 0,62198 \frac{p_D}{p_L}$

Zusammenhang  $x$  und  $p_{D,sat,w}$ :  $p_{D,sat,w} = \frac{x}{0,62198 + x} \cdot p$

Enthalpie:  $h = c_{pL} \cdot \vartheta + x \cdot (r_o + c_{pD} \cdot \vartheta)$

Die folgenden Gleichungen für den Sättigungsdampfdruck sind in den Empfehlungen der WMO [CIM10] enthalten.

Sättigungsdampfdruck feuchter Luft über Wasser (-45°C bis 60°C)

$$p_{D,sat,w} = f(p) \cdot 6,112 \cdot \exp\left[\frac{17,62 \cdot \vartheta}{243,12 + \vartheta}\right] \text{ in hPa}$$

Sättigungsdampfdruck feuchter Luft über Eis (-65°C bis 0°C)

$$p_{D,sat,i} = f(p) \cdot 6,112 \cdot \exp\left[\frac{22,46 \cdot \vartheta}{272,62 + \vartheta}\right] \text{ in hPa}$$

$$f(p) = 1.0016 + 3.15 \cdot 10^{-6} \cdot p - 0.074 \cdot p^{-1}$$

$\vartheta$  in °C     $p$  in hPa

Taupunkt und Frostpunkt:

$$\vartheta_{\text{dew}} = \frac{243,12 \cdot \ln\left[\frac{p_{D,sat,w}}{6,112 \cdot f(p)}\right]}{17,62 - \ln\left[\frac{p_{D,sat,w}}{6,112 \cdot f(p)}\right]} \text{ Wasser } (-45^\circ\text{C bis } 60^\circ\text{C})$$

$$\vartheta_{\text{frost}} = \frac{272,62 \cdot \ln\left[\frac{p_{D,sat,i}}{6,112 \cdot f(p)}\right]}{22,46 - \ln\left[\frac{p_{D,sat,i}}{6,112 \cdot f(p)}\right]} \text{ Eis } (-65^\circ\text{C bis } 0^\circ\text{C})$$

CIMO Guide 7th Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation [CIM10]

$$\text{Relative Luftfeuchte } \varphi = \frac{p_D}{p_{D,sat,w}}$$

Nomenklatur analog EN 13141-7 [ONO10b], EN 308 [ONO97]

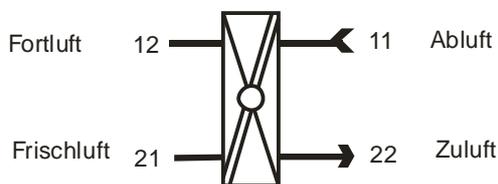


Abbildung 84: Benennung der einzelnen Anschlüsse eines Tauschers gemäß EN 308 [ONO97]

Rückwärmezahl (ex=Verhältnis auf Abluftseite, su=Verhältnis auf Zuluftseite)

$$\eta_{t,\text{ex}} = \frac{T_{12} - T_{11}}{T_{11} - T_{21}} \cdot \frac{j_{a11}}{j_{a22}} \qquad \eta_{t,\text{su}} = \frac{T_{22} - T_{21}}{T_{11} - T_{21}} \cdot \frac{j_{a22}}{j_{a11}}$$

$T_{11}$       Ablufteinströmtemperatur (vor der Rückgewinnung) in K

$T_{21}$       Zulufteströmtemperatur (vor der Rückgewinnung) in K

$T_{22}$       Zuluftausströmtemperatur (nach der Rückgewinnung) in K

$j_{a11}$       Luftmassenstrom Abluft in kg/s

$j_{a22}$       Luftmassenstrom Zuluft in kg/s

Rückfeuchtezahl (ex=Verhältnis auf Abluftseite, su=Verhältnis auf Zuluftseite)

$$\eta_{x,ex} = \frac{x_{12} - x_{11}}{x_{11} - x_{21}} \cdot \frac{j_{a11}}{j_{a22}} \qquad \eta_{x,su} = \frac{x_{22} - x_{21}}{x_{11} - x_{21}} \cdot \frac{j_{a22}}{j_{a11}}$$

$x_{11}$	Ablufteinströmfeuchtegehalt (vor der Rückgewinnung) [g/kg]
$x_{21}$	Zuluft einströmfeuchtegehalt (vor der Rückgewinnung) [g/kg]
$x_{22}$	Zuluft ausströmfeuchtegehalt (nach der Rückgewinnung) [g/kg]

Temperaturerhöhung der Luft durch einen Ventilator:

$$\Delta T = \frac{\Delta p_{Vent}}{\eta_{ges} \cdot c_{pL} \cdot j_a}$$

$\Delta T$	Temperaturerhöhung in Kelvin
$\Delta p_{Vent}$	Drucksteigerung des Ventilators für den betrachteten Abluftkanalstrang in Pa
$\eta_{ges}$	Gesamtwirkungsgrad des Ventilators [-]
$j_a$	Luftmassenstrom in kg/s

Berechnung Kühlfall:

Ist die Soll-Zulufttemperatur, eventuell verringert um den Betrag der Temperaturerhöhung durch den Zuluftventilator, niedriger als die Außenlufttemperatur, so entspricht dies einem Kühlfall. Die nachfolgende Darstellung zeigt den Prozessverlauf einer Anlage mit einer Wärme- und einer Feuchterückgewinnung mit  $\eta_{t,su} = \eta_{x,su} = 45 \%$ . Ist die Luftfeuchte der Außenluft nach passieren der FRG höher als die gewünschte Zuluftfeuchte, so muss diese durch Abkühlen bis auf den Taupunkt der gewünschten Zuluftfeuchte entfeuchtet werden. Da bei Anwendungen im Klimabereich die Taupunkttemperatur praktisch immer niedriger ist als die zulässige Zulufttemperatur, muss die Zuluft im Anschluss an die Entfeuchtung von der Taupunkttemperatur auf die Zulufttemperatur erwärmt werden. Eine Grädigkeit zwischen Primär- und Sekundärseite im Wärmetauscher oder eine Unterkühlung der Zuluft unterhalb der Temperatur des Taupunktniveaus, wie diese bei ausgeführten Kühlern existiert, kann in erster Näherung unberücksichtigt bleiben.

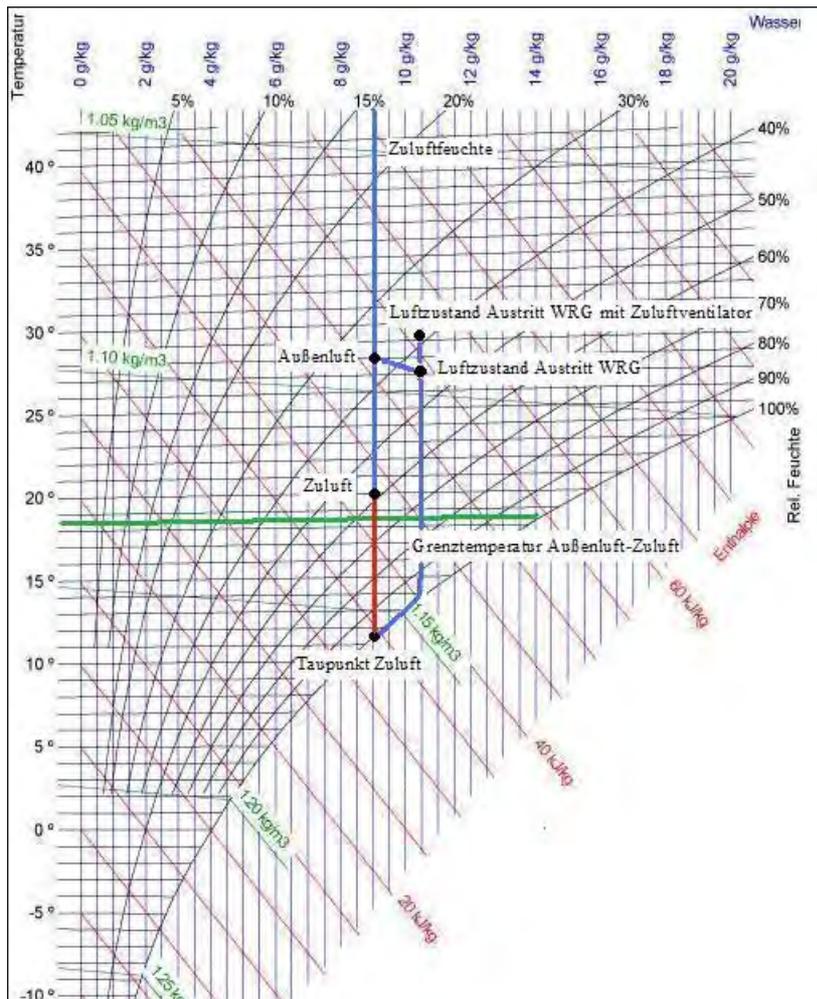


Abbildung 85: Beispielhafter Verlauf der Zustandsänderung im Kühlfall

- Anlagenvariante:  $\eta_{t,su} = \eta_{x,su} = 45\%$ ,  $x_{Zu} = 9\text{g/kg}$
- Außenluftzustand:  $\vartheta_{\text{Außen}} = 28,1^\circ\text{C}$ ,  $x_{\text{Außen}} = 8,95\text{g/kg}$
- Luftzustand W+FRG:  $\vartheta_{\text{WTA}} = 27,6^\circ\text{C}$ ,  $x_{\text{FRG}} = 10,32\text{g/kg}$
- Zuluftzustand:  $\vartheta_{\text{Zu}} = 20^\circ\text{C}$ ,  $x_{\text{Zu}} = 9\text{g/kg}$

Die Berechnung des momentanen Kühlenergiebedarfs ergibt sich als Produkt der Außenluftdichte, des Volumenstroms und der Enthalpiedifferenz zwischen dem Luftzustand am Austritt der WRG und dem Taupunkt bzw. im Falle einer ausschließlich sensiblen Kühlung, des Zuluftzustandes.

#### Berechnung Heizfall:

Ist die Soll-Zulufttemperatur, verringert um den Betrag der Temperaturerhöhung durch den Zuluftventilator, höher als die Außenlufttemperatur, so entspricht dies einem Heizfall. Ist die Außenluftfeuchte bzw. bei Anlagen mit FRG, die Feuchte der Zuluft nach dem Verlassen der FRG geringer als die gewünschte Raumluftfeuchte, so ist eine Befeuchtung der Außenluft notwendig. Die Befeuchtung der Luft wird mithilfe eines Dampfbefeuchters in einem isothermen Prozess durchgeführt. Entspricht die Außenluftfeuchte bzw. die Luftfeuchte nach dem

Verlassen der FRG bereits der geforderten Zuluftfeuchte, so wird die Außenluft lediglich auf Zulufttemperatur erwärmt. Eine Luftkonditionierung für eine geforderte Zuluftfeuchte von 6 g Wasserdampf pro kg trockener Luft für eine Anlage mit Wärme- und Feuchterückgewinnung  $\eta_{t,su} = \eta_{x,su} = 45\%$  kann Abbildung 6 entnommen werden.

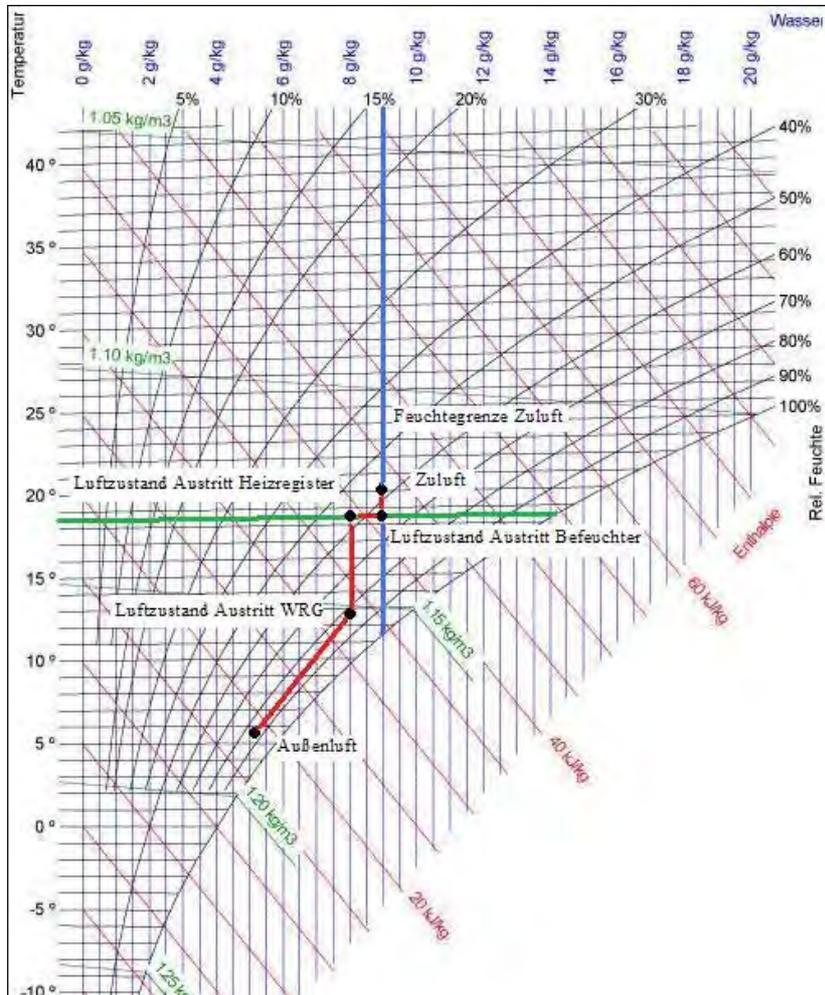


Abbildung 86: Beispielhafter Verlauf der Zustandsänderung im Heizfall

- Anlagenvariante:  $\eta_{t,su} = \eta_{x,su} = 45\%$ ,  $x_{Zu} = 9\text{g/kg}$
- Außenluftzustand:  $\vartheta_{\text{Außen}} = 5,1^\circ\text{C}$ ,  $x_{\text{Au}} = 5,19\text{g/kg}$
- Luftzustand Austritt W+FRG:  $\vartheta_{\text{WRG}} = 12,71^\circ\text{C}$ ,  $x_{\text{FRG}} = 8,03\text{g/kg}$
- Zuluftzustand:  $\vartheta_{\text{Zu}} = 20^\circ\text{C}$ ,  $x_{\text{Zu}} = 9\text{g/kg}$

Die Berechnung des Heizenergiebedarfs erfolgt in analoger Weise, wie die Berechnung des Kühlerenergiebedarfs. Der Kühlerenergiebedarf ergibt sich als Produkt der Außenluftdichte, des Volumenstroms und der Enthalpiedifferenz zwischen dem Luftzustand am Austritt der WRG bzw. im Falle einer Entfeuchtung, jener des Taupunktes und des Zuluftzustandes.

## Reale Rückwärmezahlen

Im Rahmen der Auswertungen der realen Rückwärmezahlen ist auffällig, dass die Rückwärmezahl stark vom Temperaturunterschied zwischen Abluft und Außenluft abhängig ist. In der untenstehenden Abbildung ist dies am Beispiel eines außenaufgestellten Modulgeräts mit einem Plattenwärmetauscher dargestellt.

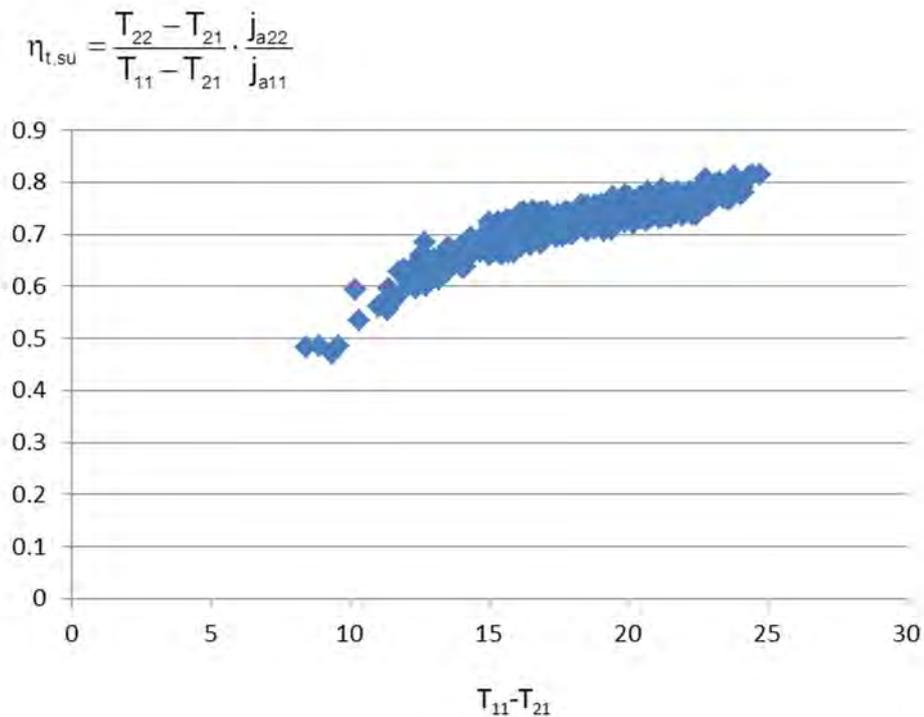


Abbildung 87: Beispielhafter Verlauf der zuluftseitigen Rückwärmezahl für ein außenaufgestelltes Modulgerät mit einem Plattenwärmetauscher [Quelle: Messdaten AEE]

Bei der Überarbeitung der Prüfverfahren zur Parametrisierung von Wärme- und Feuchtetauschern sollte dieses Verhalten überprüft werden.

Ein weiterer Aspekt der in den Berechnungen aufgenommen werden soll, ist das Feuchtetauschverhalten von Rotationswärmetauschern bei Unterschreitung des Taupunkts der Abluft.

## Druckverlustberechnung

Ein zentraler Punkt für effiziente Lüftungssysteme ist die Berechnung der externen und internen Druckverluste in Abhängigkeit des Volumenstroms. Die Bestimmung des Nennluftvolumenstroms zur Dimensionierung der Komponenten erfolgt dabei in Anlehnung an ÖNORM EN 15251 [ONO07g] auf Basis der Belegung und Emissionen von Bauteilen und Einrichtungsgegenständen. Die Berechnung der Druckverluste ist derzeit in der Baupraxis nicht üblich. Ein Grund dafür ist die mangelnde Verfügbarkeit von Komponentendaten in Abhän-

gigkeit des Volumenstroms und die einfache Handhabung in Berechnungswerkzeugen. Wesentliche Komponenten sind:

- Filter
- Volumenstromregler
- Brandschutzklappe
- Schalldämpfer
- Ausblasventil
- Abzweigungen

Die Luftleitungen selber haben den geringsten Beitrag zu den externen Druckverlusten. Die internen Druckverluste (Lüftungsgerät) sind von Herstellern leichter verfügbar. Aufgrund der nicht vorhandenen Standardisierung der Komponentendaten und der aufwendigen Handhabung der in CAD-Programmen integrierten Berechnungen haben einige Hersteller zu den Produktkatalogen eigene Software im Programm.

Da der Platzbedarf der Komponenten für effiziente Lüftungsanlagen oft unterschätzt wird, muss die Planung der Lüftungsanlage gleichzeitig mit dem Raumprogramm und den Grundrissen erfolgen.

## 9.3 Schwanenstadt

### 9.3.1 Geografische Lage

Die Schulgebäude des Projekts „Schwanenstadt“ sind in der Stadtgemeinde Schwanenstadt, Oberösterreich, situiert.



Abbildung 88: Geografische Lage Schwanenstadt [MAP12]

Die genaue Position stellt sich wie folgt dar (Schwanenstadt):

- Längengrad: 13 ° 77' Ost
- Breitengrad: 48 °06' Nord
- Seehöhe: 389 m

Angaben zum Projekt wurden, wenn nicht anders angegeben, aus [PLÖ08] entnommen.

### 9.3.2 Gebäudebeschreibung

Die Schule Schwanenstadt wurde in den 1960er Jahren in Skelettbauweise erbaut. Das Objekt wurde in den Jahren 2007 und 2008 in Passivhausqualität saniert. Im Zuge der Sanierung wurde die Nutzfläche der Schule vergrößert. In Summe verfügt die Schule heute über eine Nutzfläche von ca. 6.214 m<sup>2</sup> (Energiebezugsfläche laut PHPP 5.899 m<sup>2</sup> [WAG09b]). Davon entfallen ca. 838 m<sup>2</sup> auf den Gebäudeteil „Turnsaal“. Derzeit besuchen 260 Schülerinnen die Hauptschule (35 Lehrer) und 92 SchülerInnen (12 Lehrer) die Polytechnische Schule (Stand 2012). Die Schule wird als Ganztagschule betrieben (07:45 Uhr bis 16:00). Es gibt folgende Ausnahmen:

- Montag – Donnerstag: Polytechnische Schule: generell Unterricht bis 15 Uhr, Hauptschule: min. 50 % der SchülerInnen bis 16 Uhr
- Freitags: Hauptschule und Polytechnische Schule: Unterricht bis 13:20 Uhr



Abbildung 89: Passivhaus-Schule Schwanenstadt (Quelle: PAUAT Architekten ZTGmbH)

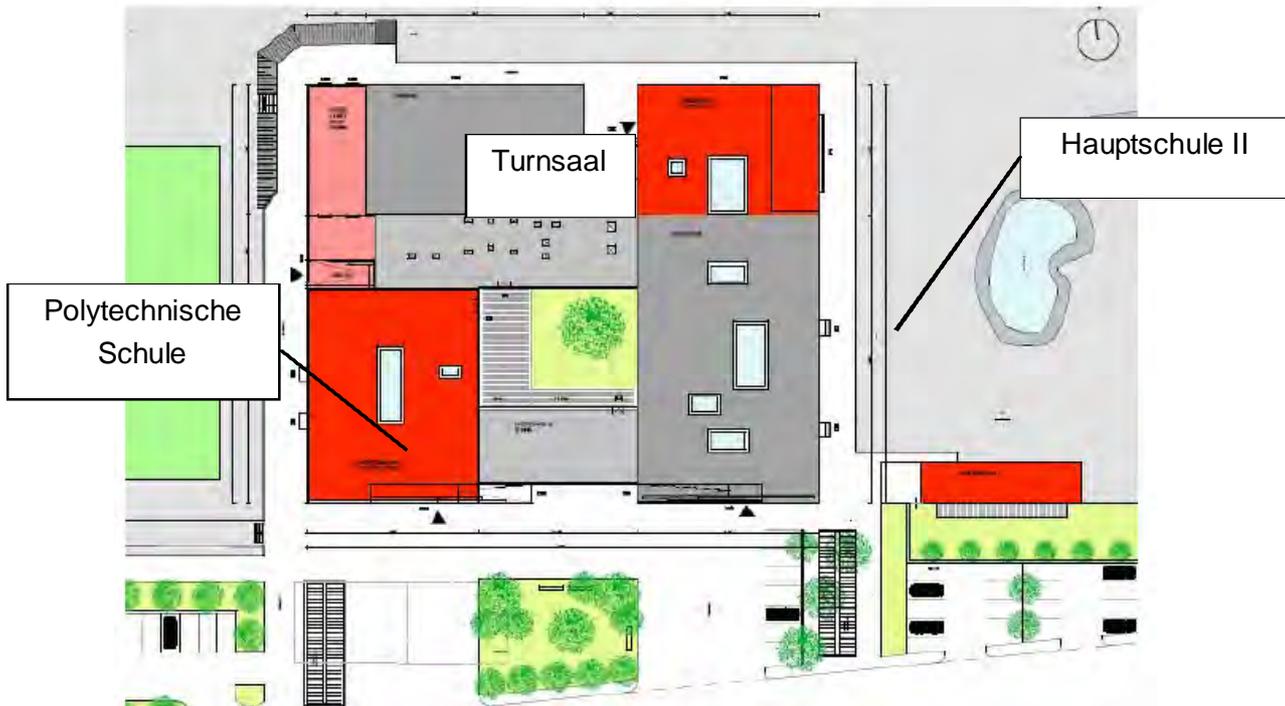


Abbildung 90: Passivhaus-Schule Schwanenstadt: Lageplan (Quelle: [PLÖ08], erweitert durch Schöberl & Pöll GmbH)



Abbildung 91: Passivhaus-Schule Schwanenstadt: Visualisierung Nordwest Vogelperspektive [PLÖ08]



Tabelle 42: Gebäudehülle laut PHPP Schwanenstadt

	U-Wert (W/m <sup>2</sup> K)	Fläche (m <sup>2</sup> )	g
Außenwand Altbau, opak <sup>1</sup>	0,120	1.374	-
Außenwand Neubau, opak <sup>1</sup>	0,11	962	-
Fenster Süd	0,80	222	0,50
Fenster Nord	0,80	304	0,50
Fenster West	0,80	303	0,50
Fenster Ost	0,80	350	0,50
Fenster horizontal	0,80	56	0,50
Bodenplatte Altbau	0,21	1.901	
Bodenplatte Neubau	0,17	841	-
Dach Altbau	0,10	1.731	-
Dach Neubau	0,12	1.053	-
Decke gegen Außenluft Altbau	0,14	42	-
Decke gegen Außenluft Neubau	0,13	85	-
Terrasse	0,10	170	-
<sup>1</sup> Die Fenster wurden bereits abgezogen.			

Tabelle 43: Umgebungsverschattung laut PHPP Schwanenstadt

Verschattung Ost	0,75 <sup>1</sup>
Verschattung Süd	0,75 <sup>1</sup>
Verschattung West	0,75 <sup>1</sup>
Verschattung Nord	0,75 <sup>1</sup>
<sup>1</sup> Werte laut PHPP nicht zu erheben, Annahme für Verschattung = 0,75 (Maximalwert laut PHPP)	

Für die Luftdichtheit der Gebäudehülle wurde laut PHPP ein n50-Wert 0,60 1/h angesetzt (Zielwert laut Passivhaus Institut: 0,6 1/h).

### 9.3.4 Haustechnik

#### Heizung / Warmwasser

Das Gebäude verfügt über eine Pelletsheizung (110 kW) mit Kombispeicher (1.860 l Pufferspeicher, 80 l Warmwasserboiler) und elektrischer Nachheizung, mit welcher die Heizkörper in den Räumen und die dezentralen Warmwasserzapfstellen versorgt werden (4-Leitersystem). Parallel zu den Zapfstellen wird eine Zirkulationsleitung geführt, die über eine Zeitschaltuhr geregelt wird. Weiter von der Heizzentrale entfernte Räume verfügen über insgesamt drei elektrisch beheizte Druckspeicher mit Zeitschaltuhr. Prinzipiell wird in der Heizperiode das Warmwasser mit dem Pelletskessel hergestellt und außerhalb der Heizperiode mittels Strom. Sämtliche Waschtische in den Klassenzimmern und Sanitärräumen haben keinen Warmwasseranschluss. Eine thermische Solaranlage ist geplant, und alle Vorbereitungen, wie Verrohrungen, wurden für eine Fertigstellung getroffen. Die Anlage soll im Zuge eines Schulprojekts fertiggestellt werden. [WAG09b] Der Turnsaal wird geheizt und hat im Mittel 20 °C.

Tabelle 44: Leistungsdaten Pelletkessel Schwanenstadt

Leistung	110 kW
Kesselwirkungsgrad (lt. Hersteller)	92 %
Kesselwirkungsgrad (gemessen AEE INTEC)	76 %

Tabelle 45: Leistungsdaten Warmwasserbereitstellung – Boiler

Fassungsvermögen	80 l
Leistung	max. 2 kW
Energieverbrauch	0,95 kWh/24 Stunden
Anzahl	1 Stück

Tabelle 46: Leistungsdaten Warmwasserbereitstellung – dezentrale Druckspeicher

Fassungsvermögen	150 l
Leistung	max. 3,4 kW
Energieverbrauch <sup>1</sup>	1,79 kWh/24 Stunden
Anzahl	3 Stück (Polytechnische Schule)

<sup>1</sup> Energieverbrauch bei Erhaltung konstanter Wassertemperatur im Kessel 65 °C (bei 20 °C Umgebungstemperatur)

Tabelle 47: Leitungslängen und Dämmung Schwanenstadt

Bezeichnung laut Einreichplan	Leitungslänge	Wärmedämmung <sup>2</sup>
Warmwasserverteilung	136 m	3/3
Warmwasserverteilung Turnsaal Bestand <sup>2</sup>	30 m	2/3
Heizung Rücklauf + Vorlauf	950 m	3/3
Zirkulationsleitung	105 m	3/3

<sup>1</sup> Alle Leitungslängen wurden aus den Einreichplänen übernommen und verlaufen im konditionierten Bereich. Steigleitungslängen wurden auf Basis der Pläne abgeschätzt.

<sup>2</sup> Annahme, da Länge / Dämmstärke im Plan nicht erfasst

### Lüftungsanlage

Die Luftversorgung erfolgt mittels dezentralen Lüftungsanlagen pro Klassenraum. Die Anlagen bestehen aus Wärmerückgewinnung, Filter, Zu- und Abluftventilator, Regelung und Frostschutz. Zur Schallreduzierung wurde das Leitungsnetz optimiert und die Geräte mit einer Verkleidung versehen. Die Regelung der Lüftungsanlage erfolgt über Bewegungssensoren. In der Nacht wird der Betrieb der Lüftung umgestellt: Die Lüftungsanlagen in den Klassen saugen nur ab, kühlere Luft von außen strömt über geöffnete Fenster und geöffnete Türen in die Klassen nach.

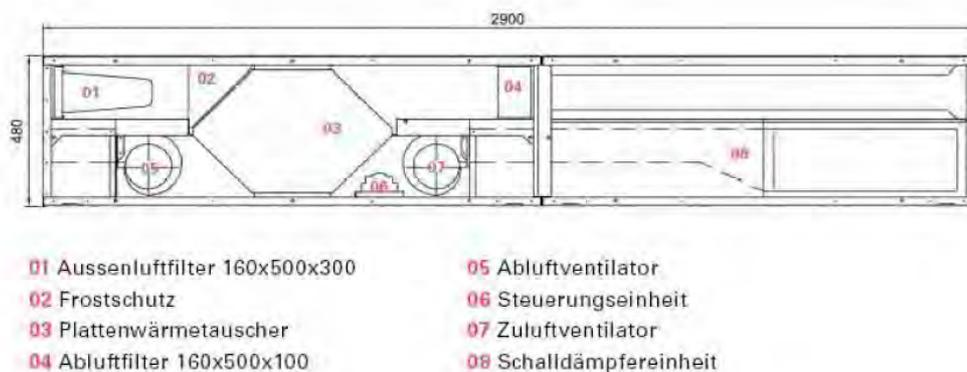
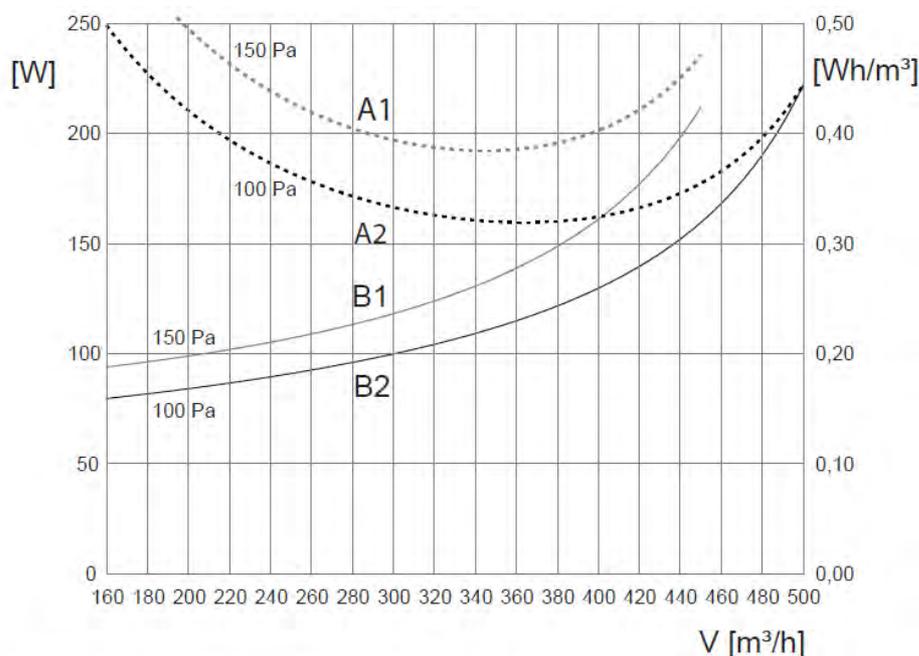


Abbildung 93: Schematische Darstellung des dezentralen Lüftungsgeräts „aeroschool“ (Quelle: Drexel und weiss energieeffiziente haustechniksysteme gmbh.)

Tabelle 48: Technische Daten des dezentralen Lüftungsgeräts „aeroschool“ (Quelle: Drexel und weiss energieeffiziente haustechniksysteme gmbh.)

Nennluftmenge	400 m <sup>3</sup> /h
max. Luftmenge bei 170 Pa extern	500 m <sup>3</sup> /h
Zuluftseitiger Wärmebereitstellungsgrad trocken	85 %
Fortluftseitiger Wärmebereitstellungsgrad, effektiv nach PHI	78 %
maximale Leistungsaufnahme der Ventilatoren (total)	250 W



- A1 .....Stromeffizienz [Wh/m<sup>3</sup>] bei 150 Pa
- A2 .....Stromeffizienz [Wh/m<sup>3</sup>] bei 100 Pa
- B1 .....Leistungsaufnahme [W] bei 150 Pa
- B2 .....Leistungsaufnahme [W] bei 100 Pa
- V ..... Volumenstrom

Abbildung 94: Darstellung der Leistungsaufnahme des dezentralen Lüftungsgeräts „aeroschool“ in Abhängigkeit vom Volumenstrom bei unterschiedlichen Druckverlusten (Quelle: Drexel und weiss energieeffiziente haustechniksysteme gmbh.)

Der Turnsaal verfügt über keine eigene Lüftungsanlage, sondern wird über Fensterlüftung reguliert (automatische Fensteröffner).

### 9.3.5 Messungen

Im Jahr 2007, 2008 und 2009 wurden Messungen betreffend Energie und Komfort durchgeführt. [WAG09b].

Die folgende Abbildung stellt die Globalstrahlung und die mittleren Außentemperaturen für Schwanenstadt laut PHPP (blaue Balken) und laut Messwerten (orange Balken):

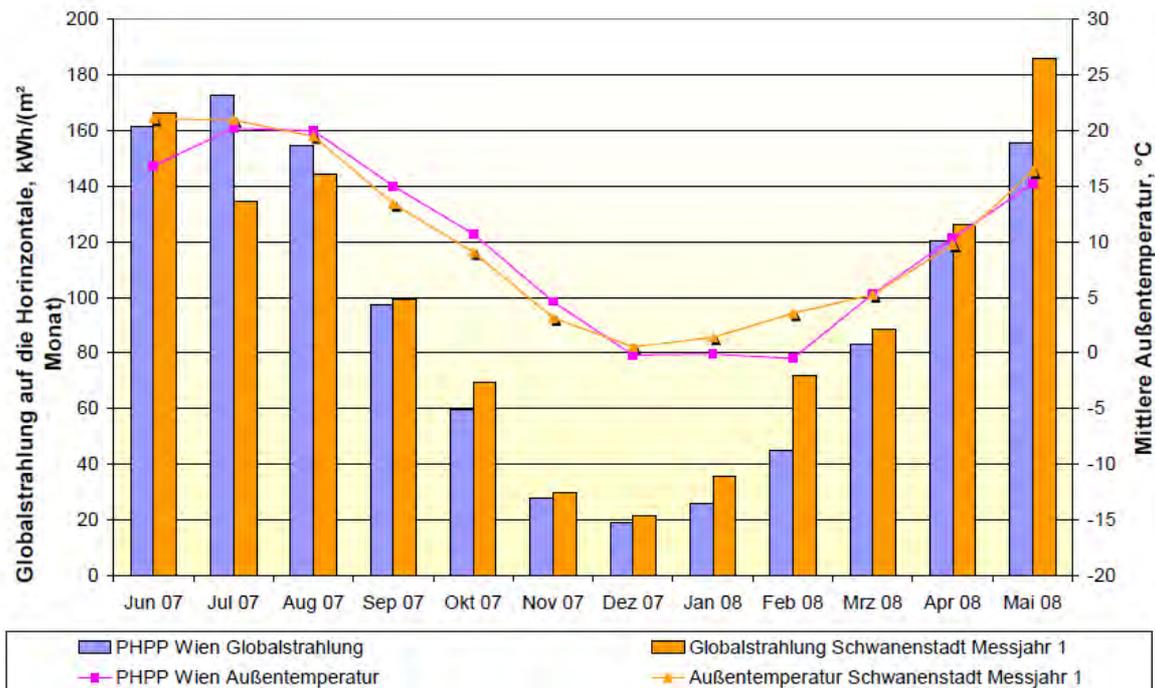


Abbildung 95: Globalstrahlung und mittlere Außentemperatur laut PHPP und Messwerten, Schwanenstadt, 1. Messjahr [WAG09b]

In der Passivhausschule wurden in vier Räumen die Lufttemperatur und die relative Luftfeuchte erfasst.

Im ersten Messjahr lagen die Raumtemperaturen in den vier Räumen im Mittel in den Wintermonaten im Durchschnitt bei rund 22 °C. Die relative Raumfeuchte lag in den Wintermonaten im Mittel bei etwa 38 % und in den Sommermonaten bei ungefähr 44 %. [WAG09b]

### Schwanenstadt Tagesmittelwerte Messjahr 1

1. Juni 2007 bis 31. Mai 2008

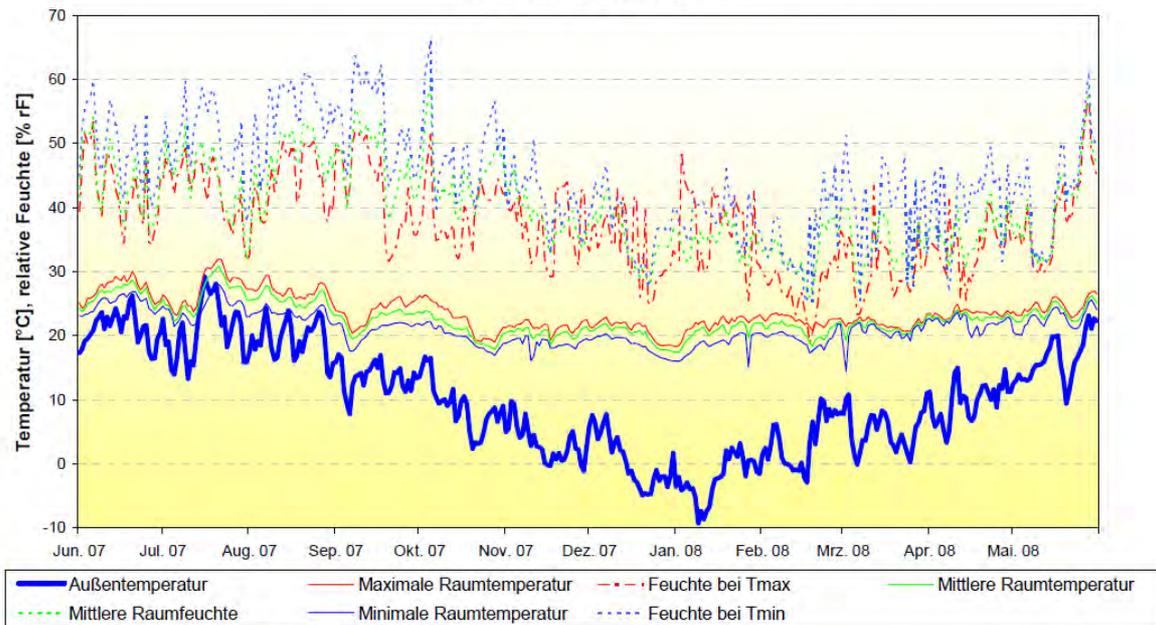


Abbildung 96: Raumklima in Tagesmittelwerten, Schwanenstadt, 1. Messjahr [WAG09b]

Die folgende Abbildung zeigt den Heizenergie-, End- und Primärenergieeinsatz für das erste Messjahr 2007/2008. Der gemessene durchschnittliche Heizwärmebedarf für die vier Räume beträgt 18,6 kWh/m<sup>2</sup>.a.

### End- und Primärenergieeinsatz Schule Schwanenstadt 1. Juni 2007 bis 31. Mai 2008

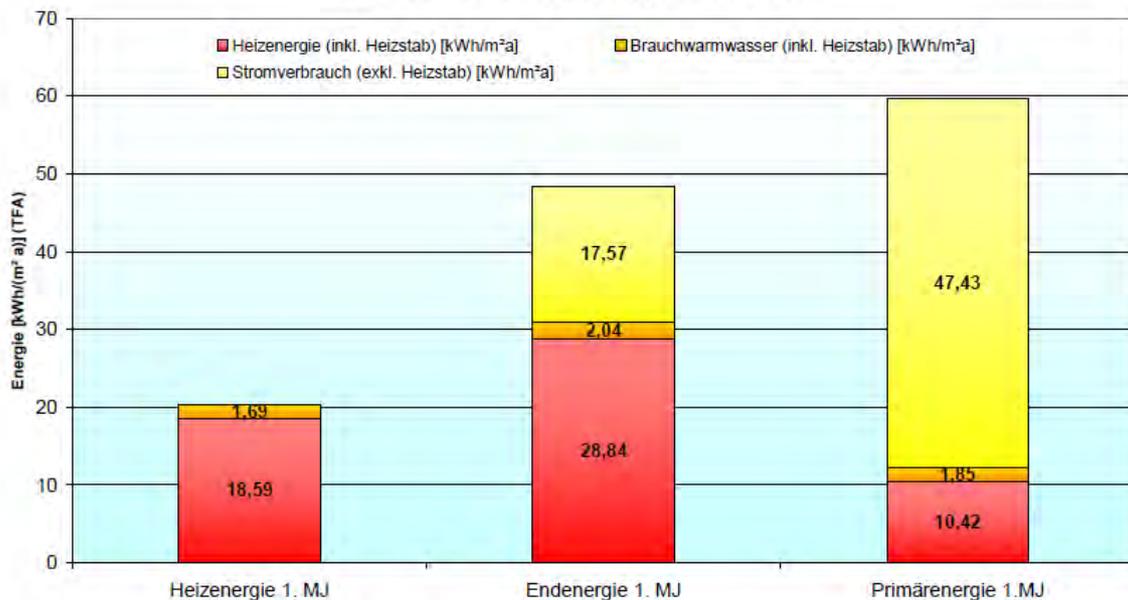


Abbildung 97: Übersicht Heizenergie, End- und Primärenergieeinsatz, Schwanenstadt 1. Messjahr [WAG09b]

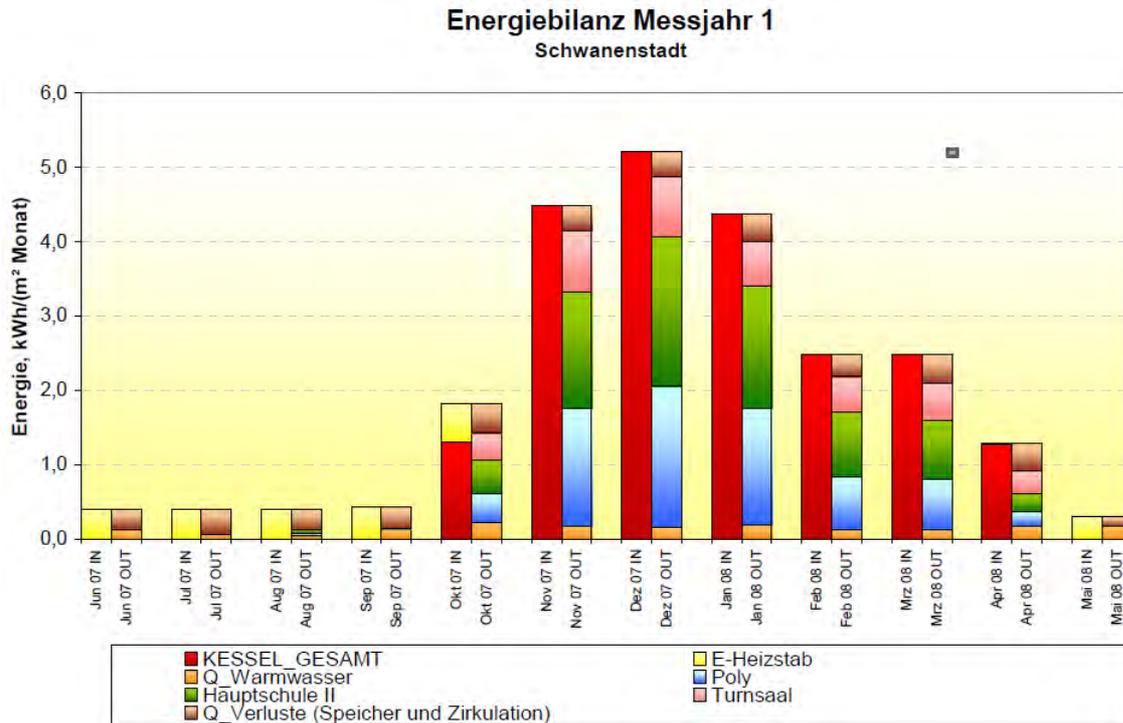


Abbildung 98: Energiebilanz für Heizung und Warmwasser, Schwanenstadt, 1. Messjahr [WAG09b]

Der Stromverbrauch wurde im zweiten Messjahr nach Bereichen getrennt gemessen. Der allgemeine Strom hat mit 84 % den größten Anteil am Gesamtverbrauch. Der Lüftungsstrom hat einen Anteil von 10 %, der Anteil des Pufferspeichers beträgt 6 %. [WAG09b]

### Verteilung des Stromverbrauchs Schwanenstadt 2. MJ

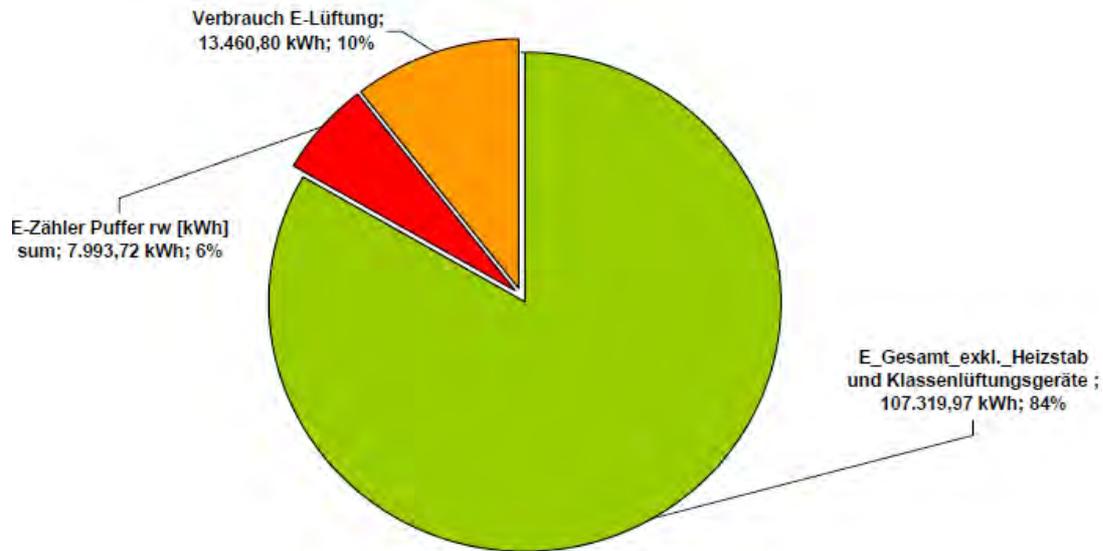


Abbildung 99: Verteilung des Stromverbrauchs, Schwanenstadt, 2. Messjahr [WAG09b]

#### 9.3.6 Vergleich mit Energieverbrauchsrechnung

Durch das Monitoring wurden das Außenklima und der Wärmeverbrauch für das Polytechnikum und die Hauptschule erfasst. Ebenso sind für diese Bereiche die Beschreibung der Gebäudehülle, der Lüftungsanlagen und der Nutzung vorhanden.

Auf Basis dieser Dokumente konnte der Wärmeverbrauch für Warmwasser wie folgt angenäher werden. Mit  $wwwb = 1.65 \text{ Wh/m}^2\text{d}$  und der Annahme, dass die Zirkulation nur 8h pro Tag erfolgt ergibt sich folgender  $Q^*TW$

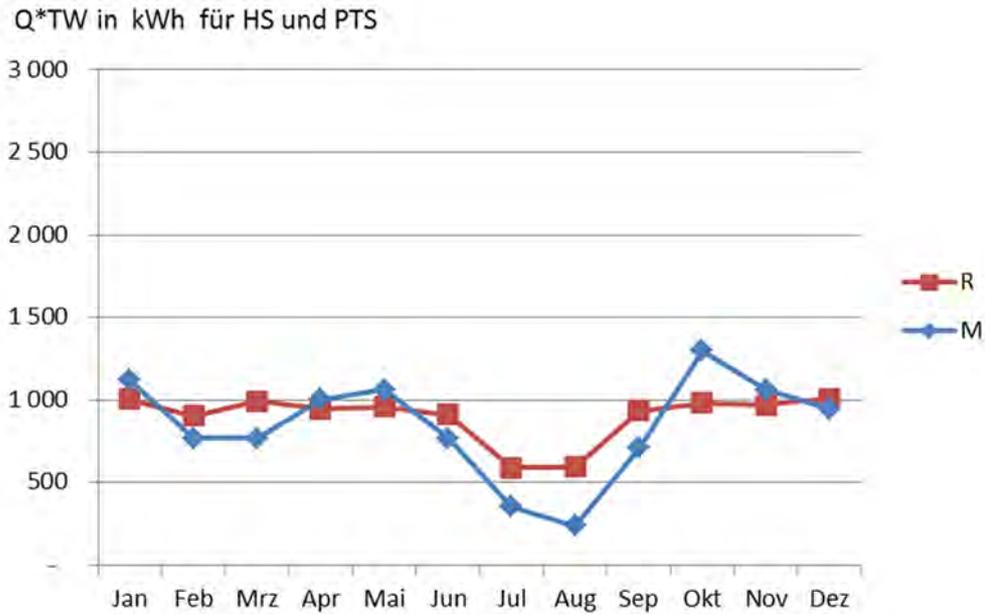


Abbildung 100: Vergleich zwischen gemessenem Wärmeverbrauch für Warmwasser (M) und berechnetem Wärmeverbrauch (R) ohne Berücksichtigung der Kesselverluste

Die Abschätzung der Wärmabgabe für Personen und Geräte ergibt für HS und PTS einen mittleren Wärmeeintrag von 2.84 W/m<sup>2</sup>BF. Der Vergleich des Wärmebedarfs für Raumheizung für die Bereiche HS und PTS ergeben sind in der folgenden Abbildung dargestellt. Dabei wurde eine mittlere operative Raumtemperatur von 22°C und das während der Messung vorhandenen Außentemperaturen verwendet.

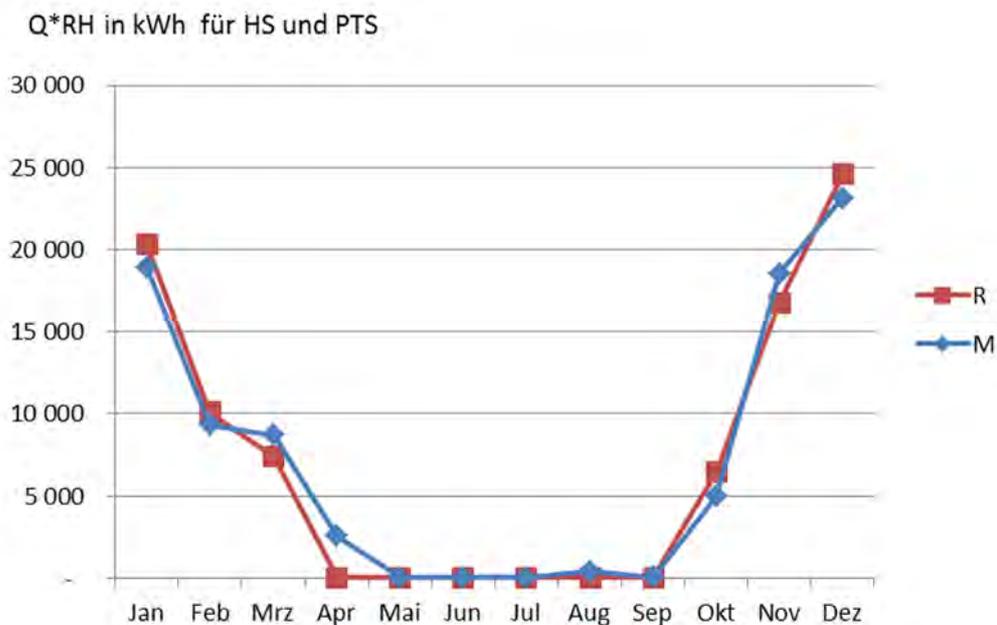


Abbildung 101: Vergleich zwischen gemessenem Wärmeverbrauch für Raumheizung (M) und berechnetem Wärmeverbrauch (R) ohne Berücksichtigung der Kesselverluste

## 9.4 Utendorfgasse

### 9.4.1 Geografische Lage

Das Projekt „Utendorfgasse“ ist im 14. Wiener Gemeindebezirk Penzing am westlichen Stadtrand von Wien situiert.

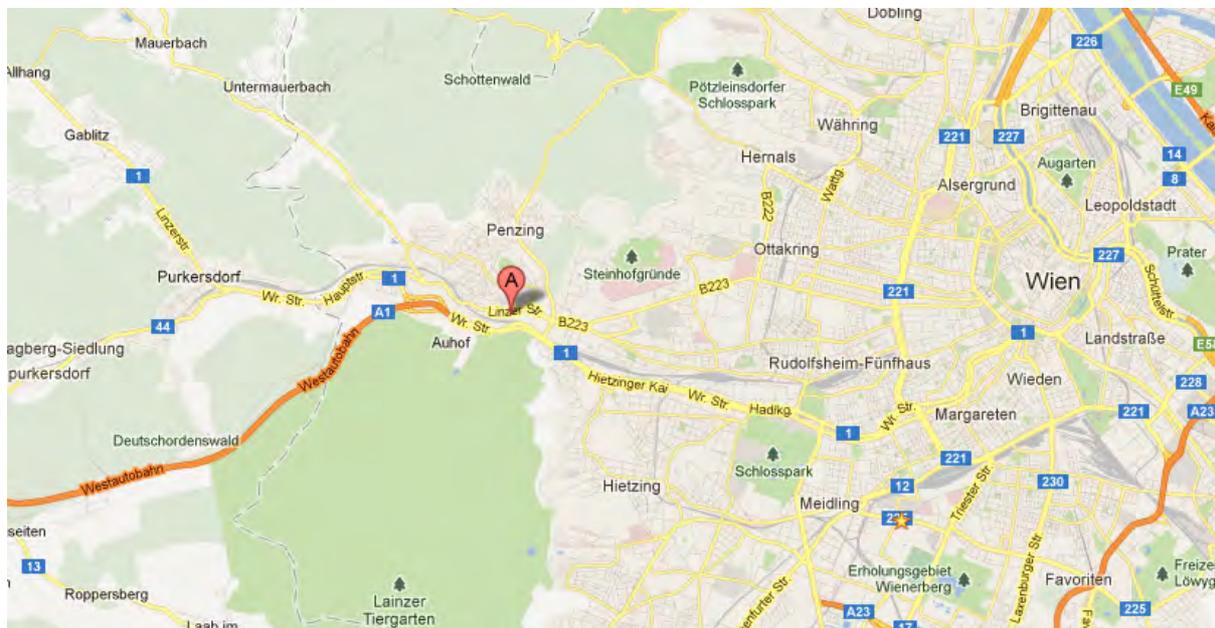


Abbildung 102: Geografische Lage Utendorfgasse [MAP12]

Die genaue Position stellt sich wie folgt dar (Wien):

- Längengrad: 16° 24' Ost
- Breitengrad: 48° 20' Nord
- Seehöhe: 220 m

### 9.4.2 Gebäudebeschreibung

Die Passivhauswohnanlage Utendorfgasse ist der erste soziale Wiener Passivwohnbau, der gemäß den Passivhauskriterien zertifiziert ist. Es ist auch das erste 1.000 Punkte klima:aktiv Passivhaus in Massivbauweise. Die Anlage besteht aus drei Baukörpern mit insgesamt 39 Wohneinheiten. Die Wohnnutzfläche beträgt 3.010 m<sup>2</sup> (Energiebezugsfläche Haus 2 laut PHPP 975 m<sup>2</sup>). Die Baufertigstellung erfolgte im Oktober 2006.



Abbildung 103: Passivhaus Utendorfstraße (Foto Bruno Klomfar)

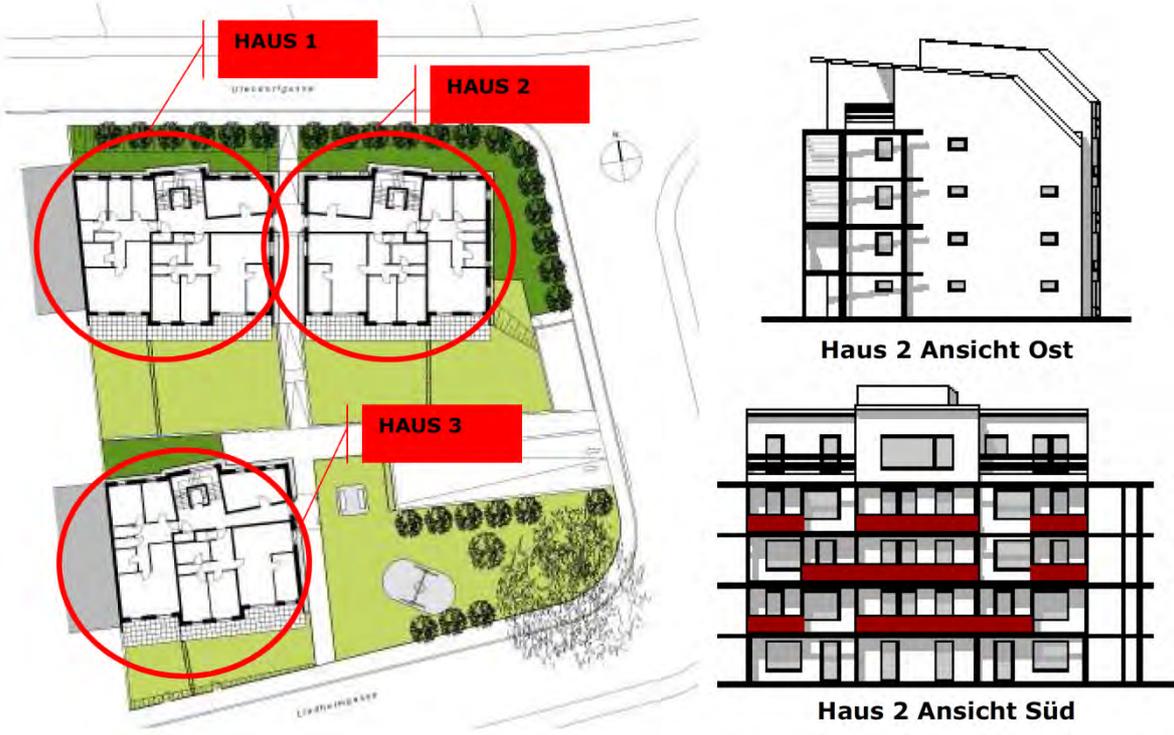


Abbildung 104: Passivhaus Utendorfstraße: Lage und Ansichten (Quelle: Arch. DI Franz Kuzmich)

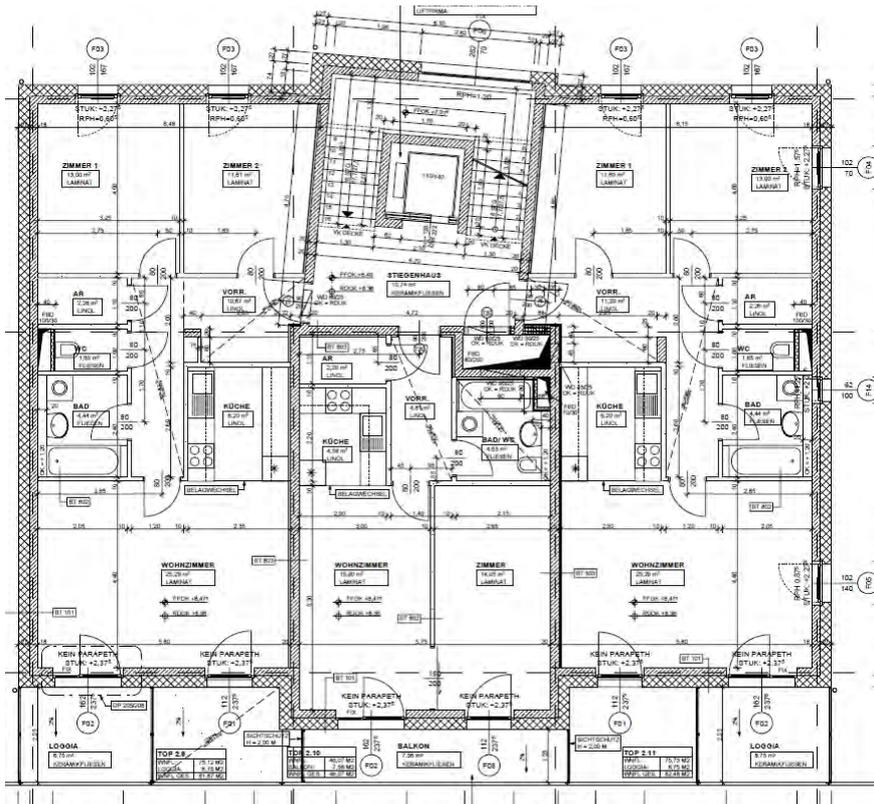


Abbildung 105: Passivhaus Utendorfsgasse: Grundriss 3. OG, Haus 2 (Quelle: Arch. DI Franz Kuzmich)

### 9.4.3 Gebäudehülle

Die Gebäudehülle des Projekts Utendorfsgasse wurde in Passivhausqualität ausgeführt. Es wurde eine Wandkonstruktion mit 27 cm Dämmstoffstärke gewählt. Die Decke zur Tiefgarage weist eine 35 cm starke und das Dach eine 44 cm starke Dämmschicht auf. Die Gebäudehülle ist in folgender Tabelle definiert.

Tabelle 49: Gebäudehülle laut PHPP Utendorfasse (Haus 2)

	U-Wert (W/m <sup>2</sup> K)	Fläche (m <sup>2</sup> )	g
Außenwand, opak <sup>1</sup>	0,12	874	-
Fenster Süd	0,87	96	0,46
Fenster Nord	0,97	42	0,51
Fenster West	0,97	1	0,46
Fenster Ost	0,99	9	0,46
Decke gegen Tiefgarage	0,09	109	-
Decke gegen Erdreich	0,11	39	-
Decke gegen Keller	0,09	130	-
Außenwand gegen Tiefgarage	0,23	11	-
Außenwand gegen Erdreich	0,14	22	-
Außenwand gegen Keller	0,24	35	-
Dach/Decken Außenluft	0,097	309	-
<sup>1</sup> Die Fenster wurden bereits abgezogen.			

Tabelle 50: Umgebungsverschattung laut PHPP Utendorfasse (Haus 2)

Verschattung Ost	0,61
Verschattung Süd	0,62
Verschattung West	0,17
Verschattung Nord	0,57

Für die Luftdichtheit der Gebäudehülle von Haus 2 wurde laut PHPP ein n50-Wert 0,18 1/h gemessen (Zielwert laut Passivhaus Institut: 0,6 1/h).

#### 9.4.4 Haustechnik

##### Heizung / Warmwasser

Die Wärmeerzeugung für die Heizung und Warmwasserbereitung erfolgt in einem Gasbrennwertkessel und 500 l Warmwasserspeicher (insgesamt 1.500 l für 3 Häuser) mit Zirkulation im Tiefgaragengeschoß pro Haus (4-Leitersystem). Die Wärme wird über die Zuluft mittels dezentraler Heizregister eingebracht. Die Wärmeversorgung der Nachheizregister

erfolgt mittels Heizungswarmwasser. Warmwasserführende Leitungen sind mit 7 cm gedämmt. Alle Armaturen sind ungedämmt.

Tabelle 51: Leistungsdaten Gasbrennwertkessel Utendorfgasse (Haus 2)

Nennleistung	8-45 kW modulierend
Auslegungsleistung	25 kW für Haus 2
Kesselwirkungsgrad bei 100 % Leistung (lt. Hersteller)	96 % <sup>1</sup>
Kesselwirkungsgrad (gemessen AEE INTEC)	85 %
<sup>1</sup> laut PHPP	

Tabelle 52: Heizwärmeverteilung - Leitungslängen und Dämmung Utendorfgasse (Haus 2)

	Leitungslänge	Wärmedämmung (7 cm)
Verteilleitung warmer Bereich	93 m	3/3
Verteilleitung unbeheizter Keller	57 m	3/3
Verteilleitung Tiefgarage	5 m	3/3

In der folgenden Tabelle wird zwischen Zirkulationsleitung und Einzelleitungen unterschieden. Einzelleitungen werden laut PHPP wie folgt definiert: „Summe der Längen aller Einzelleitungen, gemessen jeweils vom Abzweig Speicher / Zirkulationsleitung bis zur Zapfstelle. Leitungsstücke, die mehrere Zapfstellen versorgen, müssen dabei mehrfach gezählt werden.“ (Quelle: PHPP Berechnungstool)

Tabelle 53: Brauchwarmwasserverteilung - Leitungslängen und Dämmung Utendorfgasse (Haus 2)

	Leitungslänge	Wärmedämmung (7 cm)
Zirkulationsleitung (Vor- + Rücklauf) warmer Bereich	72 m	3/3
Zirkulationsleitung (Vor- + Rücklauf) unbeheizter Keller	84 m	3/3
Zirkulationsleitung (Vor- + Rücklauf) Tiefgarage	7 m	3/3
Einzelleitungen warmer Bereich	245 m	3/3
Einzelleitungen unbeheizter Keller	10 m	3/3

## Lüftungsanlage

Die Luftversorgung erfolgt mittels einer zentralen Lüftungsanlage je Haus (insgesamt 3 Anlagen), welche auf dem Dach situiert ist. Die Anlage besteht aus Wärmerückgewinnung, Filter, Zu- und Abluftventilator, Regelung und Frostschutz. Volumenstromregler und Nachheizregister sind dezentral wohnungsweise angeordnet. NutzerInnen können den Volumenstrom in vier Stufen regeln.

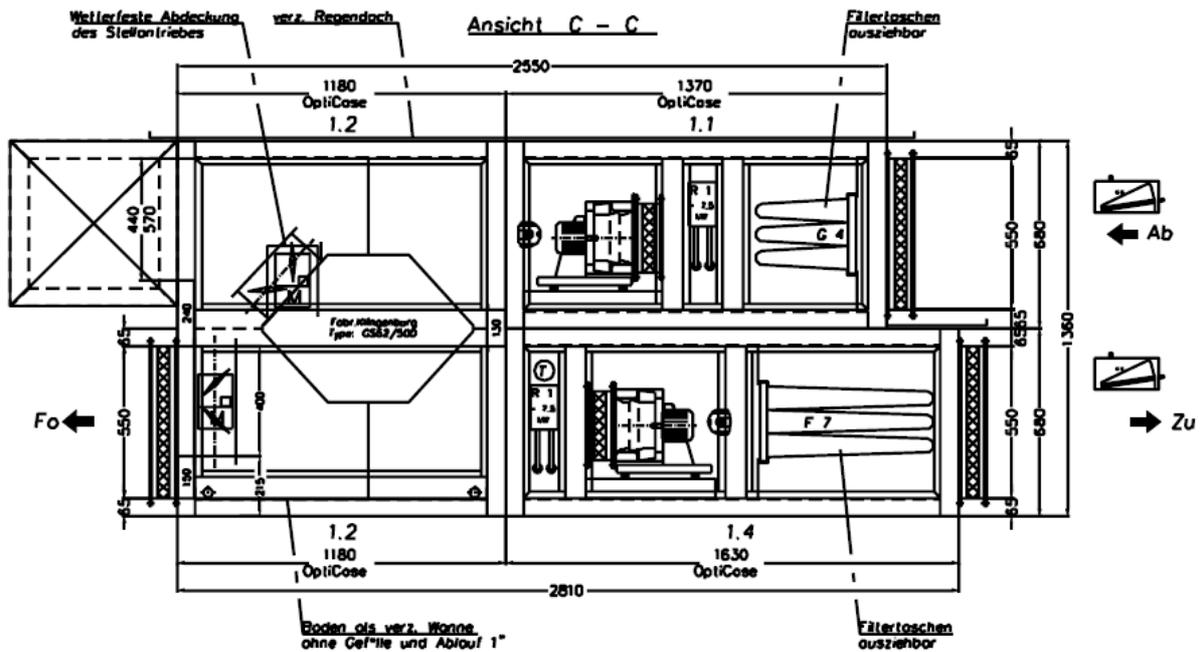


Abbildung 106: Schematische Darstellung des zentralen Lüftungsgeräts Utendorf-gasse (Quelle: GTN)

Tabelle 54: Technische Daten des zentralen Lüftungsgeräts für Utendorf-gasse (Haus 2)

Nennluftmenge	1.085 m <sup>3</sup> /h <sup>1</sup>
max. Luftmenge	1.560 m <sup>3</sup> /h <sup>1</sup>
Zuluftseitiger Wärmebereitstellungsgrad trocken	nicht zu erheben
Fortluftseitiger Wärmebereitstellungsgrad, effektiv nach PHI	80 % <sup>1</sup>
maximale Leistungsaufnahme der Ventilatoren (total)	1.480 W
Leistungsaufnahme der Ventilatoren bei Nennluftmenge (total)	460 W
<sup>1</sup> laut PHPP	

## 9.4.5 Messungen

Im Jahr 2007 und 2008 wurden Messungen betreffend Energie und Komfort im Haus 2 durchgeführt. [WAG09a].

Die folgende Abbildung stellt die Globalstrahlung und die mittleren Außentemperaturen für Wien laut PHPP (blaue Balken / Linien) und laut Messwerten (orange und grüne Balken / Linien):

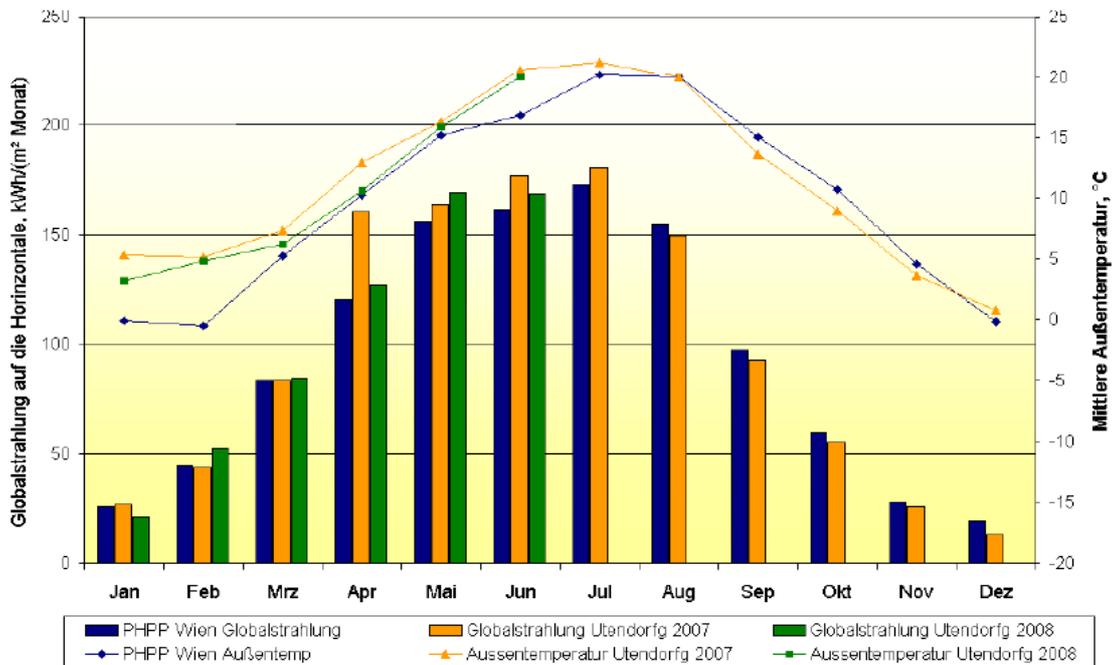


Abbildung 107: Globalstrahlung und mittlere Außentemperatur laut PHPP und Messwerten, Utendorfgasse, 1. Messjahr [WAG09a]

In den vier Messwohnungen wurden die Lufttemperatur und die relative Luftfeuchte erfasst.

Im ersten Messjahr lagen die Raumtemperaturen im Mittel über alle Messwohnungen in den Wintermonaten (Dezember bis April) im Durchschnitt bei rund 22 °C. Die relative Raumfeuchte lag in den Wintermonaten im Mittel bei etwa 40 % und in den Sommermonaten bei ungefähr 50 %. [WAG09a]

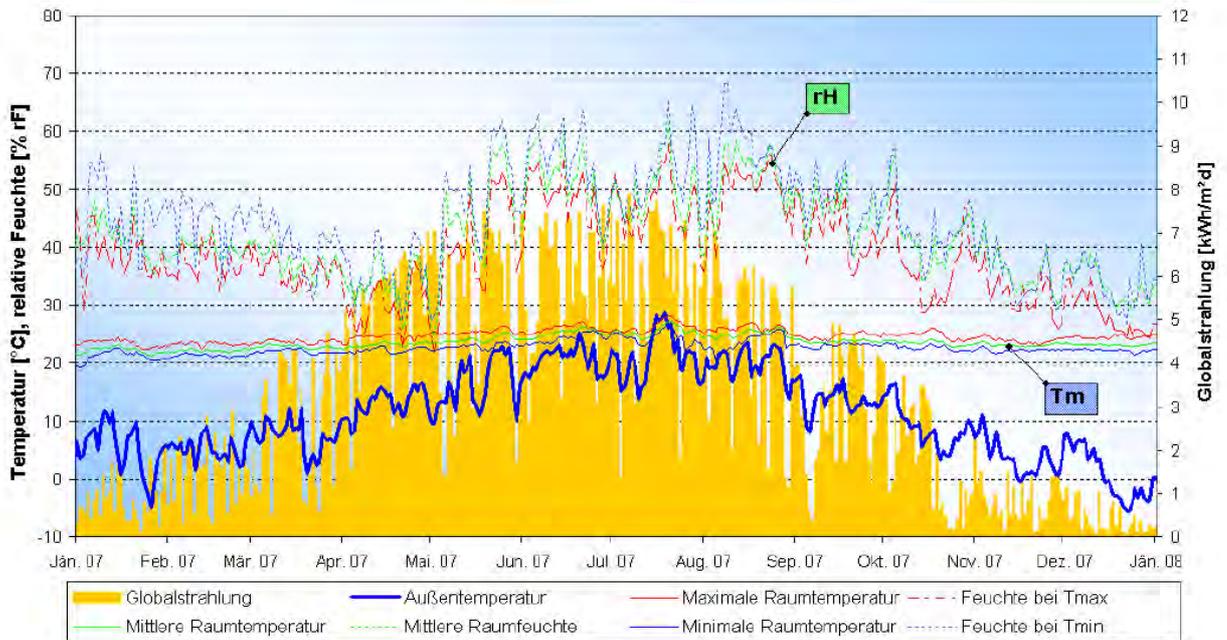


Abbildung 108: Raumklima in Tagesmittelwerten, Utendorfgasse, 1. Messjahr [WAG09a]

Die folgende Abbildung zeigt den Heizenergie-, End-, Primärenergieeinsatz und die Heizlast für das erste Messjahr 2007. Der gemessene durchschnittliche Heizwärmebedarf für die vier Messwohnungen beträgt 15,5 kWh/m<sup>2</sup>.a, der klima- und temperaturbereinigte Heizwärmebedarf beträgt 12,9 kWh/m<sup>2</sup>.a.

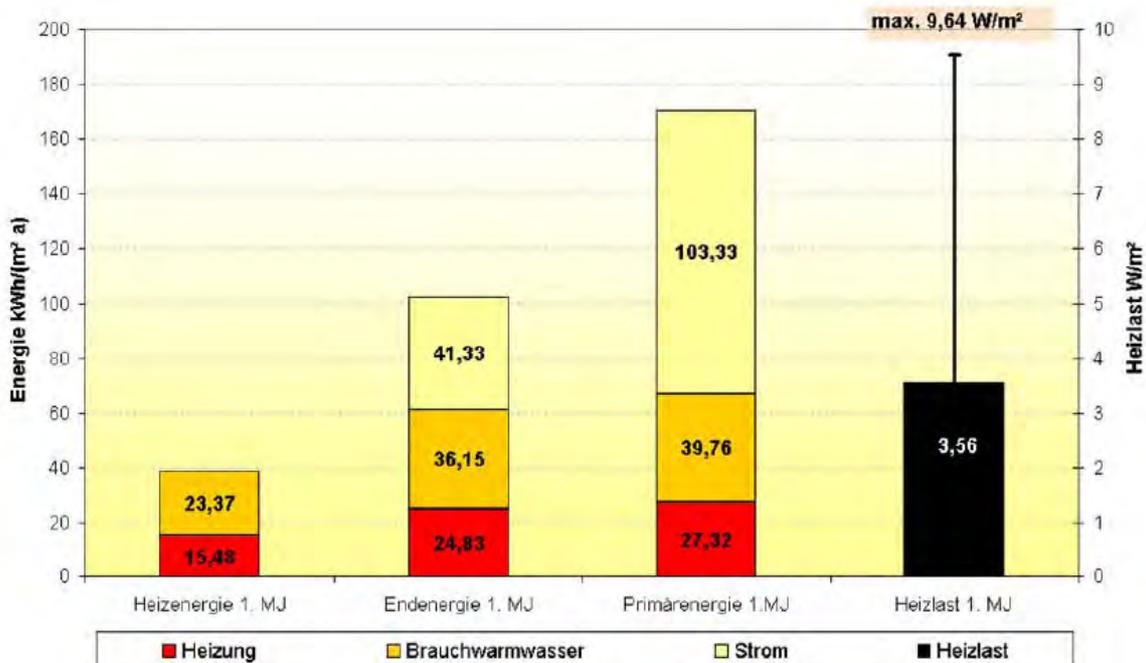


Abbildung 109: Übersicht Heizenergie, Heizlast, End- und Primärenergieeinsatz, Utendorfgasse 1. Messjahr [WAG09a]

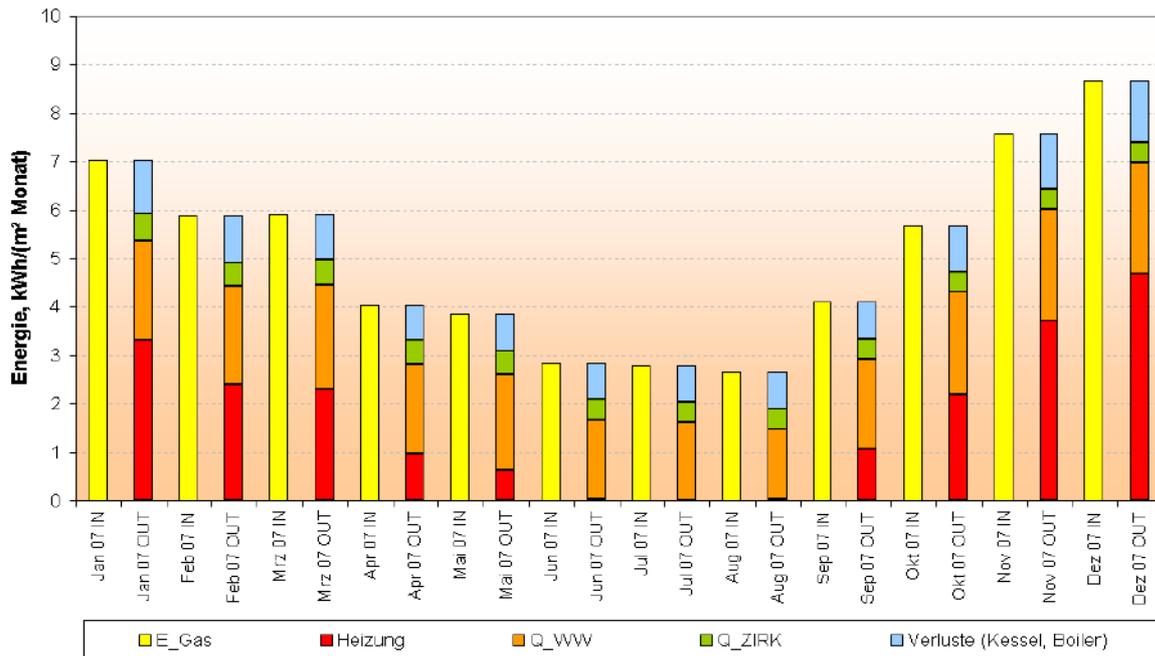


Abbildung 110: Energiebilanz für Heizung und Warmwasser, Utendorfsgasse, 1. Messjahr [WAG09a]

Der Stromverbrauch wurde nach Bereichen getrennt gemessen. Der Haushaltsstrom hat mit 54,9 % den größten Anteil am Gesamtverbrauch. Der allgemeine Strom (Waschküche, Beleuchtung, Tiefgarage, usw.) hat einen Anteil von 27,4 %, der Technikstrom (Lüftung) hat einen Anteil von 17,8 %.[WAG09a]

Der monatliche Stromverbrauch der Utendorfsgasse stellt sich wie folgt dar.

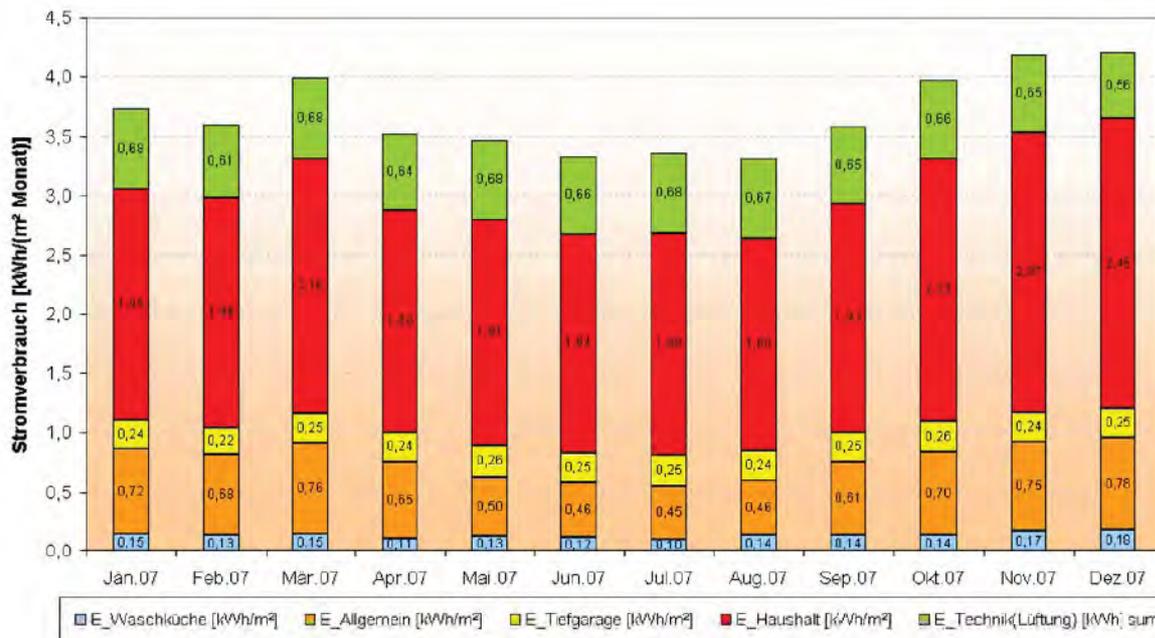


Abbildung 111: Monatlicher Stromverbrauch, Utendorfsgasse, 1. Messjahr [WAG09a]

#### 9.4.6 Vergleich mit Energieverbrauchsberechnung

Auf Basis der dokumentierten Gebäudehülle und Anlagenbeschreibung kann mit Hilfe des Rechenverfahrens der Energiebedarf für Heizung und Warmwasser berechnet werden.

Aus dem gemessenen mittleren Warmwasserverbrauch von 381 m<sup>3</sup> für das erste Messjahr ergibt sich ein Warmwasserwärmebedarf von 45 Wh/m<sup>2</sup>d. Die Abwärme von Personen und Haushaltsgeräten ergibt eine mittlere Wärmeleistung von 4.0 W/m<sup>2</sup>BF. Für eine operative Temperatur von 22°C und dem Außenklima im ersten Messjahr ergibt sich der in der folgenden Abbildung dargestellte berechnete kumulierte Wärmebedarf für Raumheizung.

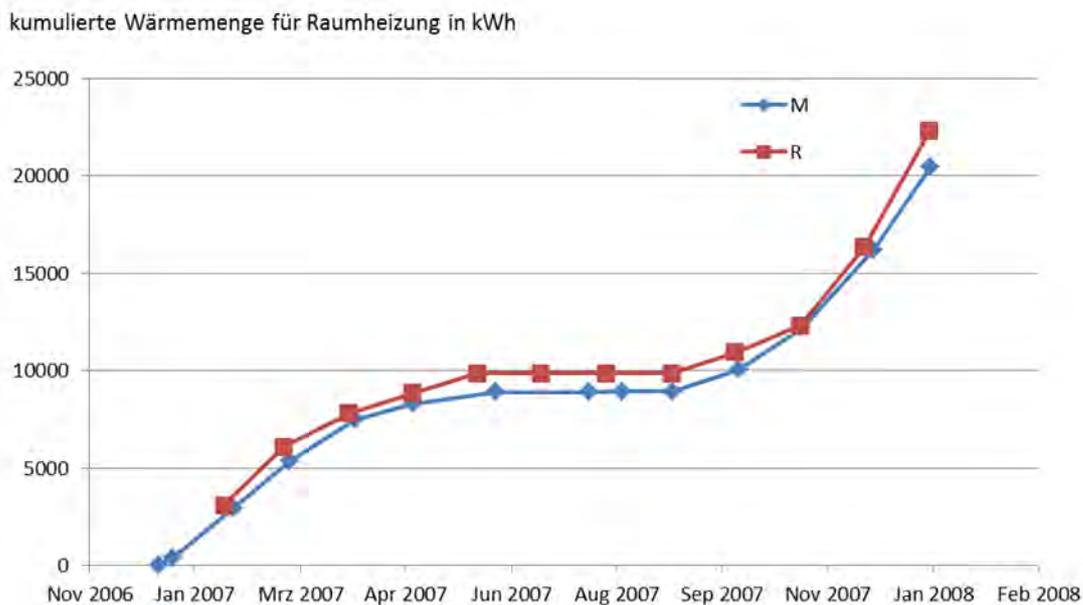


Abbildung 112: Vergleich zwischen gemessenem Wärmeverbrauch für Raumheizung (M) und berechnetem Wärmeverbrauch (R) ohne Berücksichtigung der Kesselverluste

Der Vergleich für den gemessenen und berechneten Gasverbrauch ist in der folgenden Abbildung zusammengestellt. Der Gaskessel wurde dabei als Niedertemperaturkessel berechnet, da aufgrund der Kesselsteuerung und der Rücklauftemperaturen kein Brennwertbetrieb gefahren wurde.

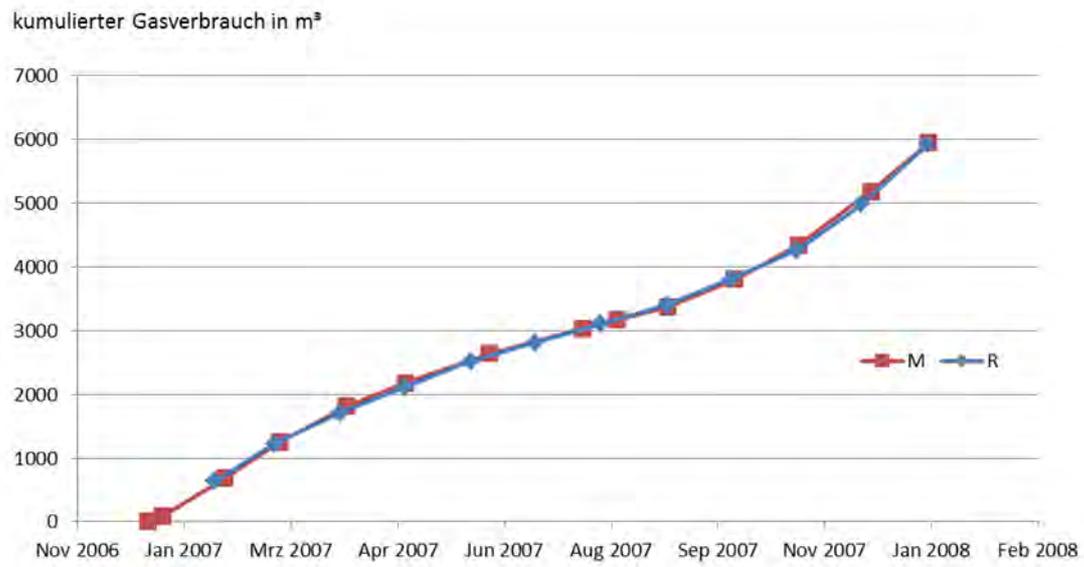


Abbildung 113: Vergleich zwischen gemessenem Gasverbrauch für Raumheizung und Warmwasser (M) und berechnetem Wärmeverbrauch (R)

## 9.5 Bürogebäude in Niederösterreich

Der folgende Text wurde im Rahmen des IEA Annex 53 als Case Study formuliert. Aus diesem Grund ist das gesamte Kapitel in Englisch.

### 9.5.1 Introduction

Whole building energy consumption, HVAC, and electrical appliances were noted in detail and reproduced in dynamic simulations.

### 9.5.2 Location and climate conditions

**Location:** Niederösterreich (Lower Austria)



Abbildung 114: Building location

The building is located in a small city in Austria.

### **Climatic conditions for Simulations**

The simulation was carried out using representative TRY (Test Reference Year) data sets based upon the 1991 to 2005 climate data from the St. Pölten weather station (next Air Station). Test Reference Years (TRY) are specially mixed records that include meteorological data for each hour of a year. They are a mean, but represent typical weather conditions for a specified region over a year.

### 9.5.3 Building description and building systems



Abbildung 115: Building façade

The building was constructed in 2007, and is comprised of a basement with three aboveground stories.

The gross heated area of the building is 4 939 m<sup>2</sup>. The gross heated volume is 18,099 m<sup>3</sup> including offices, meeting rooms, and secondary rooms. The office building is occupied by 129 employees.

Offices are situated at the facades. The restrooms, kitchen, small archives, IT room and the staircase are in the core. Offices and primary work areas are heated to 22 °C. The corridors and interior secondary rooms are heated indirectly by the conditioned office spaces and internal loads. Room heating is provided by district heating from biomass (wood chips and tree bark). Mechanical ventilation supplies fresh air through outlets in all rooms. The fresh air supply is preheated during the winter and precooled during the summer using a 500 m ground-coupled heat exchanger (earth tube). The use of a heating coil is not necessary as the ground tube heat exchanger is sufficient.

The building is protected from overheating by a fan installation on the flat roof. Decentralized air conditioning is only provided in the computer server rooms. The cooling fan operates in summer from 12 pm until 7 am and has an airflow volume of 40 m<sup>3</sup>/h. Domestic hot water is provided by small point-of-use water heaters. The estimated consumption is 5 liters per working day and person.

## Building envelope:

The main characteristics of the building envelope are presented in Table 1. The U-values of the external walls and the flat roof have better insulation values than national legislation requirements.

- external walls            0.2 – 0.3 W/ m<sup>2</sup> K
- flat roof                    0.12 W/ m<sup>2</sup> K

Main window specifications are summarized in the table below.

Tabelle 55: window specifications

	Frame	Glass	SHGC
	U <sub>f</sub>	U <sub>g</sub>	g
	W/m <sup>2</sup> K	W/m <sup>2</sup> K	-
Offices	1.4	1.1	0.5
Public Help Desks	2.2	1.1	0.37

### 9.5.4 Experimental and computational investigations

Hourly measurements were carried out for 1 year (2009) and are still ongoing. Energy consumption for space heating, ventilation, hot water, electricity, lighting, and equipment is metered separately. Additionally, occupancy was carefully monitored by interviewing employees, and all details noted for reproduction in the simulation. The technical equipment in each room was also documented with partial metering of equipment electricity consumption.

Measured values were simulated by modeling the entire building in the “BuildOpt\_VIE” software developed at the Research Centre of Building Physics and Sound Protection, Vienna University of Technology. This program was validated using data from Annex 41.

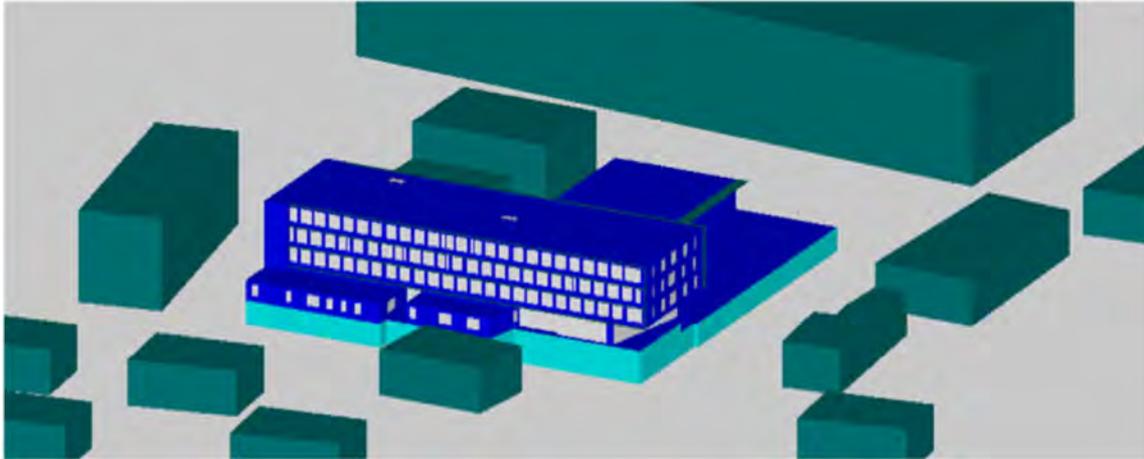


Abbildung 116: "BuildOpt\_VIE" building model.

9.5.5 Occupants and equipment operation

The occupancy density was determined by interviewing all office workers. Daily work patterns on a room by room basis were documented along with the electrical equipment in use. All the equipment on-site was logged with their energy consumptions and reproduced in the simulation. The table below shows an example of the office equipment energy load.

Tabelle 56: office equipment energy load

Equipment and their energy loads in the office.

Office	1 × per	Power in W	
		Work time	Standby
Colour laser printer	office	103.0	15.4
Battery chargers	office	0.8	0.2
Radio	office	9.0	0.0
Luxmat lighting controller	office	1.5	1.5
Fire alarm	work station	0.5	0.5
Exterior shading controller	work station	1.5	1.5
Night ventilation	work station	1.5	1.5
Phone	work station	3	3
Computer	work station	present	2.3
Monitor	work station	present	0.35
	<u>Full</u>	<u>Load by presence</u>	<u>Always</u>
Per work station	in W	full-standby	standby
Computer	56.0	53.7	2.3
Monitor	18.5	18.1	0.4

The required workplace illumination during occupancy was simulated using 500 lux, following the specifications in DIN 18599 or EN 12464-1.

The mean presence probability of the office building is about 30 %, see following picture. This is a result of the high number of part-time employees.

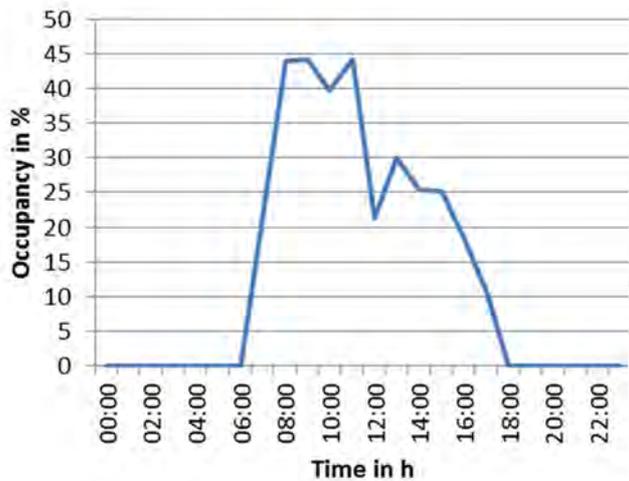


Abbildung 117: Average presence in offices of the case study building

A standard presence probability for office buildings is about 70%.

Use of emergency exit, fire alarm box etc. is constant.

### 9.5.6 Measurements

Heat for the building is supplied from the city district heating system using renewable wood biomass from wood chips and tree bark, and supplies heating directly to the offices, conference room, garage ramp, radiant floor and radiators throughout the building. The graphic below summarizes the heat and electricity use in the building. Electricity is used for both building technical services ( $E_t$ ) and direct end uses by office workers. Electricity is used to heat DHW in on-demand water heaters. The other electricity categories are office lighting, catering, office equipment including computers, and IT, where the server room is monitored separately, as well as a miscellaneous category. The miscellaneous category includes elevators; garage, exterior and basement lighting.

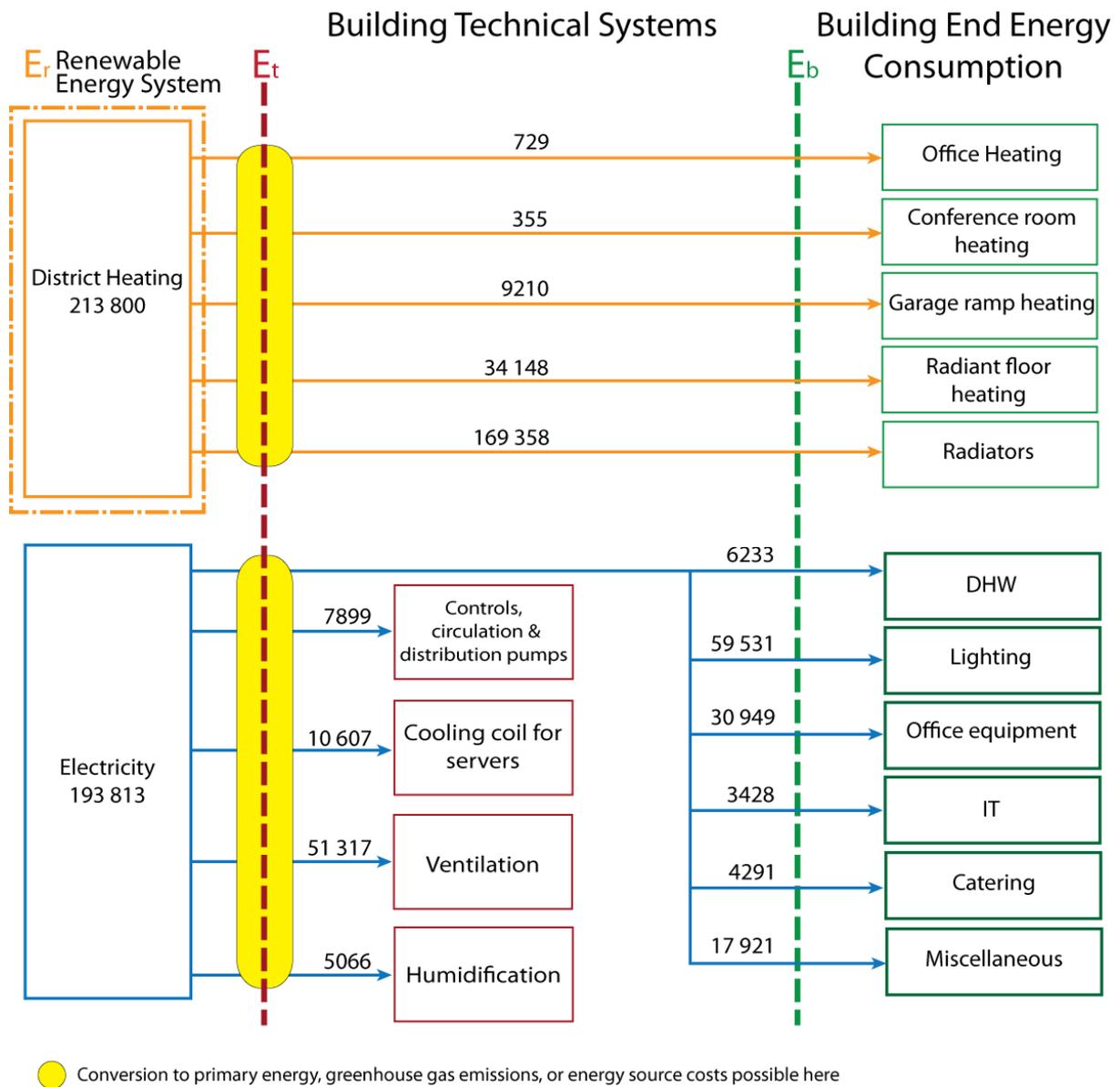


Abbildung 118: Energy flow diagram in kWh/m<sup>2</sup>·a for 2009 showing  $E_d$ ,  $E_r$ ,  $E_t$ , and  $E_b$ .

The table below shows electricity use per floor and subcategory. The overall building energy use per category is summed at the bottom of each column. The category sums concur with the values in Abbildung 118.

Tabelle 57: Electricity use breakdown by floor and category in kWh

Floor	Total Energy (kWh)	Lighting	Office Equipment	DHW	Catering	IT	Building Services	Other
Basement	74 888					3 428	74 888	
Ground	40 926	19 183	7 345	2 398				12 000
1 <sup>st</sup> Floor	19 404	13 331	6 758	1 067				-1 752
2 <sup>nd</sup> Floor	27 237	15 788	9 036	1 168				1 245
3 <sup>rd</sup> Floor	27 930	11 229	4 382	1 600				6428
		<b>59 531</b>	<b>30 949</b>	<b>6 233</b>	<b>4 291</b>	<b>3 428</b>	<b>74 889</b>	<b>17 921</b>

### 9.5.7 Comparison between measurements and simulations

The following figure shows the comparison between the calculated and measured heat for room heating.

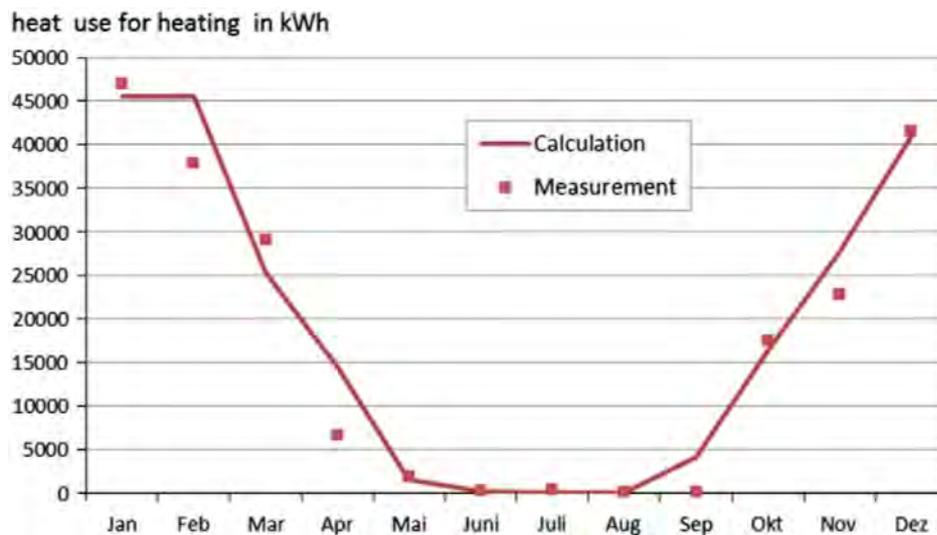


Abbildung 119: Heating energy demand—comparative measurements and calculations.

Small differences can also result from the used exterior climate data. The climate data from St. Pölten (next to the weather station) was used instead of the location of the building.

The next figures show the comparison between the calculated and measured electricity usage for each floor.

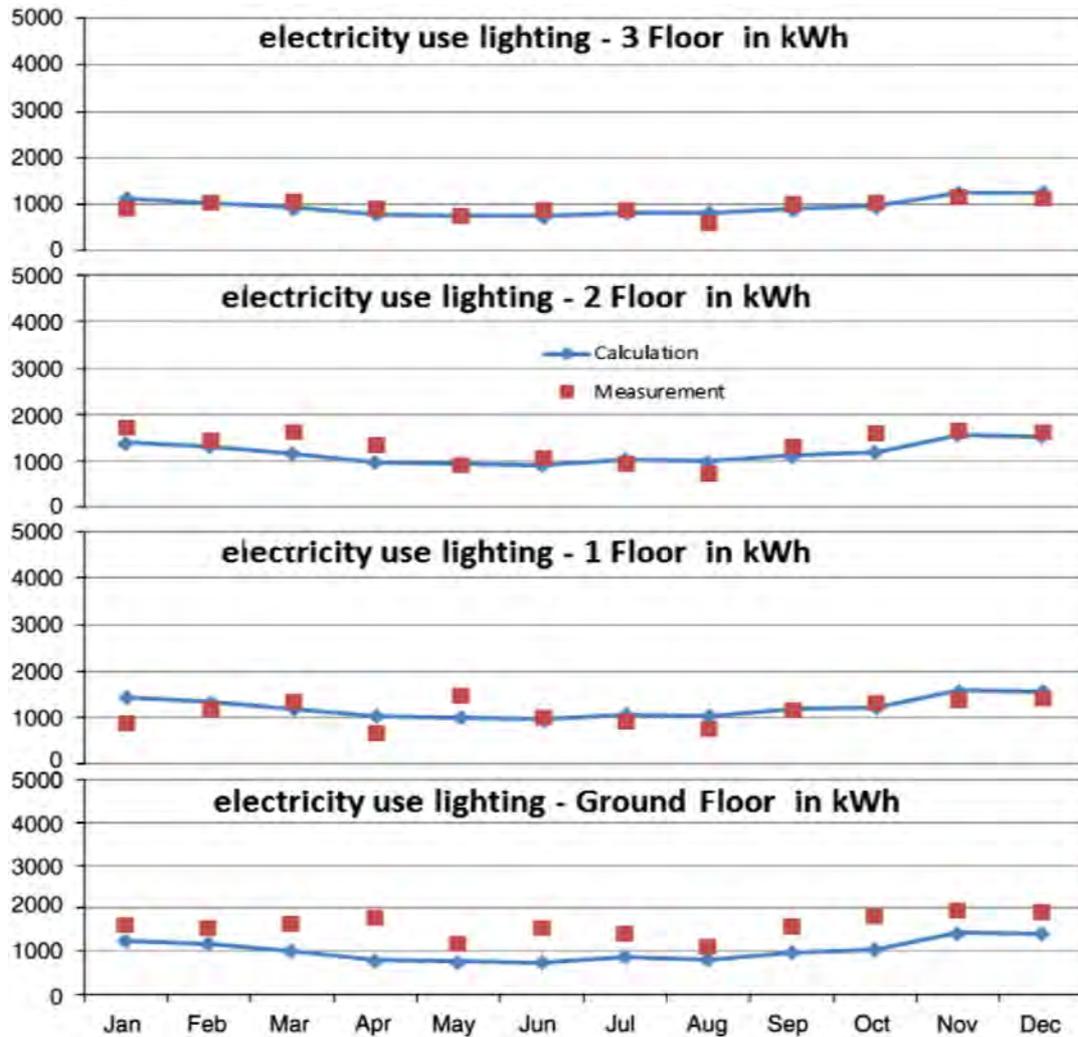


Abbildung 120: Lighting electricity consumption—comparative measurements and calculations.

The next figure shows the comparison between the measured and calculated primary energy demand for heating, hot water, lighting and office equipment. The primary energy factor used for district heating is 1.1 kWh/kWh and for electricity is 3.5 kWh/kWh.

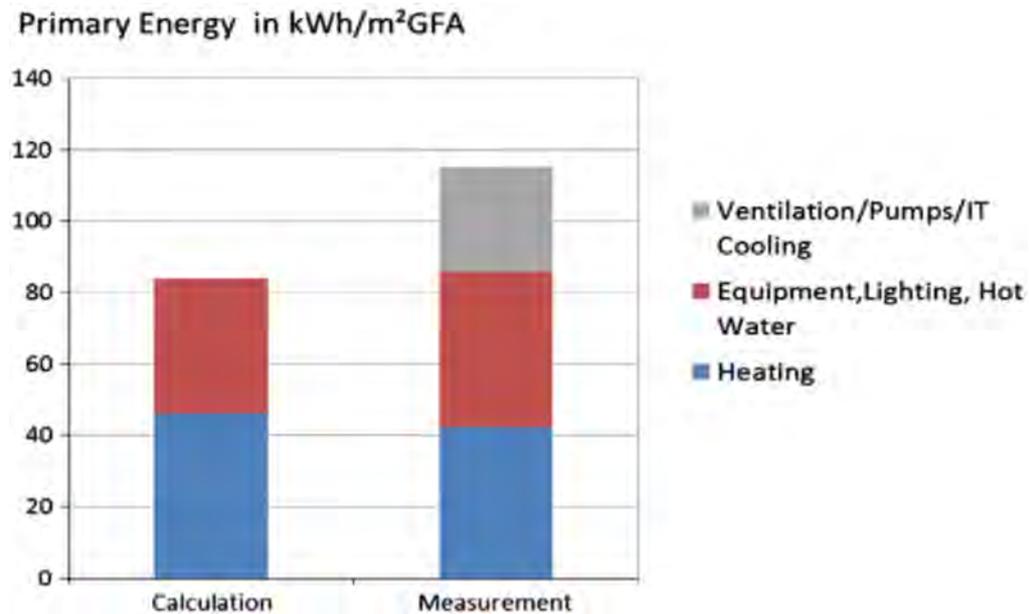


Abbildung 121: Primary energy in kWh/m<sup>2</sup> GFA—comparative measurements and calculations.

The energy consumptions of the individual parts of the HVAC system (pumps, humidification, reheating after dehumidification, ventilation etc.) has not been calculated because of lack of detailed data on the components.

# 10 Kenngrößen für Energieausweis

Kenngrößen für den Energieausweis sind aus Tradition der Heizwärmebedarf an der Bilanzgrenze Eb, zusätzlich der Primärenergiebedarf und die Treibhausgasemissionen an der Bilanzgrenze Et. Zur Darstellung der Gesamtenergieeffizienz wurde der Gesamtenergieeffizienz-Faktor entwickelt und ist im folgenden Kapitel beschrieben.

## 10.1 Gesamtenergieeffizienz-Faktor

Aufgrund der Tatsache, dass sich weder Heizwärmebedarf noch Primärenergiebedarf noch Kohlendioxidemission als Kommunikationsgröße „wie gut die Gebäudehülle und die Gebäudetechnik sind“ eignen, wurde der dimensionslose Gesamtenergieeffizienz-Faktor als Quotient aus Lieferenergiebedarf und Referenz-Endenergiebedarf entwickelt.

- Ein sehr guter Heizwärmebedarf kann unter Umständen mit einer schlechten Gebäudetechnik gedeckt werden.
- Ein guter Primärenergiebedarf kann unter Umständen primär aus guten Konversionsfaktoren resultieren.
- Ein guter Wert für die Kohlendioxidemissionen kann unter Umständen aus nahezu verschiedenen Konversionsfaktoren für erneuerbare Energieträger resultieren.

### 10.1.1 Allgemeines

Der Gesamtenergieeffizienz-Faktor wird als Relation des Endenergiebedarfs  $EEB_{Ist}$  und des Referenzwertes  $EEB_{Ref}$  ermittelt. Dabei ist wie folgt vorzugehen:

- Der Endenergiebedarf  $EEB_{Ist}$  entspricht dem spezifischen Endenergiebedarf  $EEB_{BGF}$  bezogen auf die konditionierte Brutto-Grundfläche und wird wie folgt berechnet.
  - $EEB_{Ist} = EEB_{BGF}$
- Dabei kann seine Berechnung alternativ wie folgt geschrieben werden:
  - Für WG:  $EEB_{Ist} = HWB_{Ist} + WWWB_{Def} + HTEB_{Ist} + HHSB_{Def}$
  - Für NWG:  $EEB_{Ist} = HWB_{Ist} + WWWB_{Def} + HTEB_{Ist} + KEB_{Ist} + BeIEB_{Def} + BSB_{Def}$
- Grundsätzlich können der  $HHSB_{Def}$ , der  $BeIEB_{Def}$  und  $BSB_{Def}$  ersetzt werden durch  $HHSB_{Ist}$ ,  $BeIEB_{Ist}$  und  $BSB_{Ist}$ , wobei beispielsweise (NPVE ... Netto-Photovoltaikertrag) gilt:
  - $HHSB_{Ist} = HHSB_{Def} - NPVE$
  - $BeIEB_{Ist} = BeIEB_{Def} - NPVE$
  - $BSB_{Ist} = BSB_{Def} - NPVE$
- An dieser Stelle sei festgehalten, dass selbstverständlich ein  $BeIEB_{Ist}$  auch exakt nach Berechnung gemäß EN 15193 ermittelt werden kann und daher von  $BeIEB_{Def}$  verschieden sein kann.
- Ebenso sei festgehalten, dass ein Netto-Photovoltaikertrag NPVE gemäß EN 15316-4-6 [ONO07f] berechnet werden kann, wobei als Bedingung einzuhalten ist, dass der

gesamte Strombedarf je Monat des Gebäudes nicht durch den in Rechnung gestellten und der Bilanzierung zugeführten NPVE übertroffen werden darf (das heißt: Netzeinspeisungen dürfen nicht zur Verminderung des Endenergiebedarfs verwendet werden).

### 10.1.2 Berechnung des Referenzwerts für Wohngebäude (SK)

Zur Berechnung des Referenzwertes  $EEB_{Ref}$  ist für Wohngebäude wie folgt vorzugehen:

- Aus der bereits durchgeführten Berechnung für  $EEB_{Ist}$  sind folgende Ergebnisse bekannt:
  - Charakteristische Länge  $l_c$
  - Heizwärmebedarf für das Referenzklima  $HWB_{RK}$
  - Heizwärmebedarf für das Standortklima  $HWB_{SK}$
  - Endenergiebedarf für das Standortklima  $EEB_{Ist}$
- Es wird ein Temperaturfaktor TF berechnet.
  - $TF = HWB_{SK} / HWB_{RK}$
- Um nun die Bezugsgröße  $EEB_{26}$  berechnen zu können, ist wie folgt vorzugehen:
  - $HWB_{26} = 26 \times (1 + 2,0 / l_c) \times TF$
  - Für Wärmepumpen:  $UW_{26} = (HWB_{26} + WWWB) \times (1 - 1 / JAZ_{26,WPT})$
  - $HEB_{26} = (HWB_{26} + WWWB) \times e_{AWZ}$
  - $EEB_{26} = HEB_{26} + HHSB$
- Um nun  $f_{GEE}$  auszurechnen, hat man nur mehr die folgende Berechnung durchzuführen:
  - $f_{GEE} = EEB_{Ist} / EEB_{26}$
- Für Wärmepumpen gilt gesondert:
  - $UW_{26} = (HWB_{26} + WWWB) \times (1 - 1 / JAZ_{26,WPT})$
  - $UW_{Ist} = (HWB_{Ist} + WWWB) \times (1 - 1 / JAZ_{Ist,WPT})$
  - $f_{GEE,Umw} = UW_{Ist} / UW_{26}$
  - $f_{GEE,WP} = EEB_{Ist} / EEB_{26}$
  - $f_{GEE} = (2 \times f_{GEE,WP} + f_{GEE,Umw}) / 3$
  - $JAZ_{Ist,WPT} = JAZ_{komb}$
  - $JAZ_{TW} = (Q_{el,TW} + Q_{Umw,TW}) / (Q_{el,TW} + Q_{TW,WP,HE})$
  - $JAZ_{RH} = (Q_{el,RH} + Q_{Umw,RH}) / (Q_{el,RH} + Q_{RH,WP,HE})$
  - $JAZ_{komb} = (Q_{el,RH} + Q_{Umw,RH} + Q_{el,TW} + Q_{Umw,TW}) / (Q_{el,RH} + Q_{RH,WP,HE} + Q_{el,TW} + Q_{TW,WP,HE})$

(UW... Umweltwärmeertrag der Wärmepumpe, JAZ... Jahresarbeitszahl, WPT... Wärmepumpentechnologie)

### 10.1.3 Berechnung des Referenzwerts für Wohngebäude (RK)

Zur Berechnung des Referenzwertes  $EEB_{Ref,RK}$  ist die Berechnung unter Zugrundelegung des Referenzklimas gemäß ÖNORM B 8110-5 [ONO11] bzw. gemäß Punkt 2.2 dieses Leitfadens durchzuführen.

#### 10.1.4 Berechnung des Referenzwerts für Nicht-Wohngebäude (SK)

Zur Berechnung des Referenzwertes  $EEB_{Ref}$  ist für Nicht-Wohngebäude wie folgt vorzugehen:

- Aus der bereits durchgeführten Berechnung für  $EEB_{Ist}$  sind folgende Ergebnisse bekannt:
  - Charakteristische Länge  $l_c$
  - Heizwärmebedarf für das Referenzklima  $HWB_{RK}$
  - Heizwärmebedarf für das Standortklima  $HWB_{SK}$
  - Endenergiebedarf für das Standortklima  $EEB_{Ist}$
- Es wird ein Temperaturfaktor  $TF$  berechnet.
  - $TF = HWB_{SK} / HWB_{RK}$
- Es wird ein Strahlungsfaktor  $SF$  berechnet.
  - $SF = I_{SK} / I_{RK}$
  - $I_{SK}$  = Jahresstrahlungssumme des Standortklimas auf die horizontale Fläche
  - $I_{RK}$  = Jahresstrahlungssumme des Referenzklimas auf die horizontale Fläche
- Um nun die Bezugsgröße  $EEB_{26}$  berechnen zu können, ist wie folgt vorzugehen:
  - $HWB_{26} = 26 \times (1 + 2,0 / l_c) \times TF \times VB / BGF / 3$
  - $KB_{26} = KB_{NP} \times SF$
  - $KEB_{26} = f_{KT} \times 1,33 \times KB_{26}$ 
    - Bei nicht vorhandener Kühlung:  $f_{KT} = 0$
    - Kühlung mittels Absorptionskältemaschine:  $f_{KT} = 1,5$
    - Kühlung mittels Kompressionskältemaschine:  $f_{KT} = 0,3$
  - $HEB_{26} = (HWB_{26} + WWWB) \times e_{AWZ}$
  - $EEB_{26} = HEB_{26} + KEB_{26} + BeIEB + BSB$
- Um nun  $f_{GEE}$  auszurechnen, hat man nur mehr die folgende Berechnung durchzuführen:
  - $f_{GEE} = EEB_{Ist} / EEB_{26}$
- Für Wärmepumpen gilt gesondert:
  - analog zu WG

Tabelle 58: Übersicht  $KB_{NP}$  für Nicht-Wohn-Gebäude

$KB_{NP}$	Büro	Schule	Hochschule	Spital	Pflege	Pension	Hotel	Gasthaus	Veranstaltung	Sport	Verkauf	Hallenbad
[kWh/m <sup>2</sup> a]	30	30	50	50	30	20	40	60	60	40	30	60

#### 10.1.5 Berechnung des Referenzwerts für Nicht-Wohngebäude (RK)

Zur Berechnung des Referenzwertes  $EEB_{Ref,RK}$  ist die Berechnung unter Zugrundelegung des Referenzklimas gemäß ÖNORM B 8110-5 [ONO11] bzw. gemäß Punkt 2.2 dieses Leitfadens durchzuführen.

## Energieaufwandszahlen (und Jahresarbeitszahlen)

Für Gebäude  $BGF \leq 400 \text{ m}^2$  ist die Energieaufwandszahl  $e_{AWZ}$  zur Berechnung des Referenzheizenergiebedarfes in Abhängigkeit von  $l_c$  zwischen folgenden Werten zu interpolieren:

Tabelle 59: Energieaufwandszahl  $e_{AWZ}$  für Gebäude  $BGF \leq 400 \text{ m}^2$

$l_c$	$e_{AWZ,f.f.}$	$e_{AWZ,f.fl.}$	$e_{AWZ,f.gf.}$	$e_{AWZ,Bio}$	$e_{AWZ,FW}$
[m]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]
0,92	1,96	1,45	1,37	1,69	1,26
1,33	1,82	1,40	1,33	1,60	1,22
1,60	1,70	1,30	1,25	1,52	1,19
2,18	1,63	1,27	1,23	1,48	1,19

▪ Wobei bedeutet:

f.f.	fossil fest → Kohle
f.fl.	fossil flüssig → Heizöl
f.gf.	fossil gasförmig → Erdgas
Bio	Biomasse, Pellets
FW	Fernwärme

$l_c$	$e_{AWZ,LW-WP}$	$e_{AWZ,SW-WP(f)}$	$e_{AWZ,SW-WP(t)}$	$e_{AWZ,GW-WP}$	$e_{AWZ,DX-WP}$
[m]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]
0,92	0,37	0,27	0,29	0,22	0,27
1,33	0,35	0,26	0,27	0,21	0,26
1,60	0,34	0,26	0,27	0,20	0,25
2,18	0,34	0,26	0,27	0,21	0,25

$l_c$	$JAZ_{26,LW-WP}$	$JAZ_{26,SW-WP(f)}$	$JAZ_{26,SW-WP(t)}$	$JAZ_{26,GW-WP}$	$JAZ_{26,DX-WP}$
[m]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]
0,92	3,03	3,62	3,47	4,47	4,24
1,33	3,13	3,66	3,51	4,53	4,30
1,60	3,14	3,68	3,53	4,55	4,32
2,18	3,11	3,65	3,49	4,48	4,28

▪ Wobei bedeutet:

LW-WP	Luft/Wasser-Wärmepumpe
SW-WP(f)	Sole/Wasser-Wärmepumpe (Flachkollektor)
SW-WP(t)	Sole/Wasser-Wärmepumpe (Tiefensonde)
GW-WP	Wasser/Wasser-Wärmepumpe (Grundwasser)
DX-WP	Direktverdampfer-Wärmepumpe

Für Gebäude  $BGF > 400 \text{ m}^2$  ist die Energieaufwandszahl  $e_{AWZ}$  zur Berechnung des Referenzheizenergiebedarfes in Abhängigkeit von  $l_c$  zwischen folgenden Werten zu interpolieren:

Tabelle 60: Energieaufwandszahl  $e_{AWZ}$  für Gebäude BGF > 400 m<sup>2</sup>

$l_c$	$e_{AWZ,f.f.}$	$e_{AWZ,f.fl.}$	$e_{AWZ,f.gf.}$	$e_{AWZ,Bio}$	$e_{AWZ,FW}$
[m]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]
0,92	2,32	1,78	1,69	1,96	1,54
1,33	2,09	1,65	1,57	1,79	1,43
1,60	1,89	1,47	1,41	1,65	1,35
2,18	1,78	1,40	1,35	1,58	1,32
2,53	1,70	1,37	1,32	1,52	1,29
3,20	1,64	1,36	1,31	1,49	1,29
3,56	1,58	1,35	1,30	1,46	1,29
4,17	1,55	1,35	1,30	1,44	1,29
4,47	1,53	1,35	1,30	1,43	1,29

$l_c$	$e_{AWZ,LW-WP}$	$e_{AWZ,SW-WP(f)}$	$e_{AWZ,SW-WP(t)}$	$e_{AWZ,GW-WP}$	$e_{AWZ,DX-WP}$
[m]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]
0,92	0,61	0,45	0,48	0,39	0,44
1,33	0,57	0,40	0,42	0,34	0,39
1,60	0,48	0,36	0,38	0,31	0,35
2,18	0,47	0,35	0,37	0,30	0,35
2,53	0,45	0,34	0,36	0,29	0,34
3,20	0,46	0,34	0,36	0,29	0,34
3,56	0,45	0,34	0,36	0,29	0,34
4,17	0,45	0,34	0,36	0,30	0,34
4,47	0,45	0,34	0,36	0,30	0,34

$l_c$	$JAZ_{26,LW-WP}$	$JAZ_{26,SW-WP(f)}$	$JAZ_{26,SW-WP(t)}$	$JAZ_{26,GW-WP}$	$JAZ_{26,DX-WP}$
[m]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]
0,92	2,41	2,95	2,79	3,41	3,37
1,33	2,36	3,06	2,90	3,55	3,51
1,60	2,63	3,10	2,94	3,62	3,57
2,18	2,61	3,08	2,92	3,58	3,53
2,53	2,61	3,08	2,92	3,58	3,54
3,20	2,58	3,05	2,89	3,53	3,49
3,56	2,58	3,05	2,88	3,52	3,49
4,17	2,57	3,03	2,86	3,49	3,47
4,47	2,57	3,03	2,86	3,48	3,46

## 10.2 Kenngrößen für Plus-Energie Energieausweis

In diesem Kapitel werden die zwei wesentlichen Kenngrößen des Plus-Energie Energieausweises beschrieben und grafisch dargestellt.

Die erste wesentliche Kenngröße ist der totale Primärenergiebedarf. Der totale Primärenergiebedarf muss kleiner oder gleich dem Referenzbedarf sein. Der totale bzw. gesamte Primärenergiebedarf, welcher den Gebäudebetrieb, die Nutzung und die Eigendeckung beinhaltet, wird an der Grenze Et berechnet. Es wird bei der Berechnung kein Export von Energie berücksichtigt. Die Eigendeckung durch Erzeugung von erneuerbarer Energie am Standort kann in der Berechnung berücksichtigt werden.

Der Referenzbedarf für Wohnhäuser wurde im Kapitel 9.4.6 von einem erfolgreichen Passivhausprojekt abgeleitet. Hieraus ergeben sich für die Energieträger die folgenden Kenngrößen für den Referenzbedarf für Wohnhäuser die unterschritten werden sollen:

- Gas: 110 kWh/m<sup>2</sup>.a
- Fernwärme unbekannt: 115 kWh/m<sup>2</sup>.a
- Fernwärme hocheffiziente KWK: 90 kWh/m<sup>2</sup>.a
- Fernwärme hocheffiziente KWK mit Nachweis: 60 kWh/m<sup>2</sup>.a
- Biomasse: 100 kWh/m<sup>2</sup>.a
- Wärmepumpe (Strom): 100 kWh/m<sup>2</sup>.a

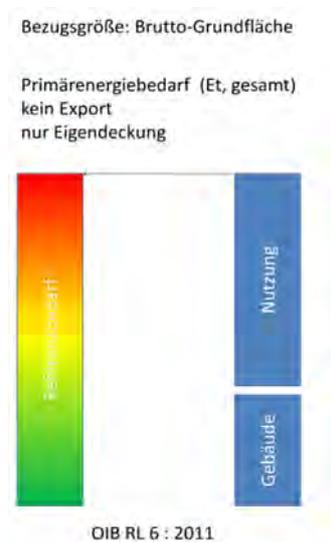


Abbildung 122: Kenngrößen für Plus-Energie Energieausweis: Primärenergiebedarf gesamt nach OIB RL 6 2011

Die obige Kenngröße des gesamten Primärenergiebedarfs inkl. der Nutzung wird für Österreich empfohlen.

In Deutschland wird mit der ENEC der Weg ohne Nutzung eingeschlagen, wie in der folgenden Abbildung ersichtlich. Als Primärenergiebedarf wird der gesamte Primärenergiebedarf oder der teilweise viel geringere nicht erneuerbare Primärenergiebedarf verwendet.

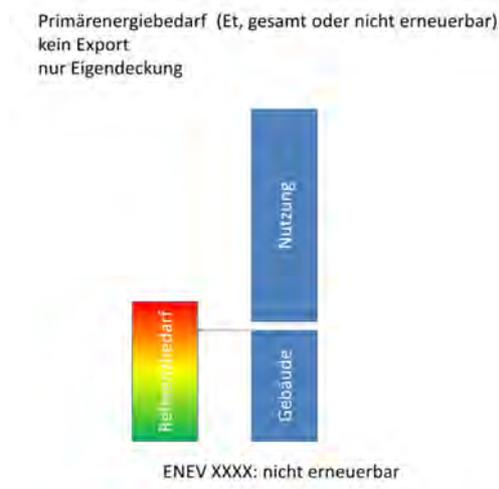


Abbildung 123: Kenngrößen für Plus-Energie Energieausweis: Primärenergiebedarf gesamt nach ENEV

Die zweite wesentliche Kenngröße ist die Definition von Plus-Energie-Gebäude, Null-Energie-Gebäude und Nahe-Null-Energie-Gebäude. Der Primärenergiebedarf (Gebäudebetrieb+Nutzung+Eigendeckung) wird an der Grenze Et mit den nicht erneuerbaren Konversionsfaktoren gerechnet. Diese Definition ist in folgender Abbildung dargestellt. Aus der Abbildung ist ersichtlich, dass der nicht erneuerbare Primärenergiebedarf kleiner als der durch den Export von Energie ins Netz reduzierte nicht erneuerbare Primärenergiebedarf ist.

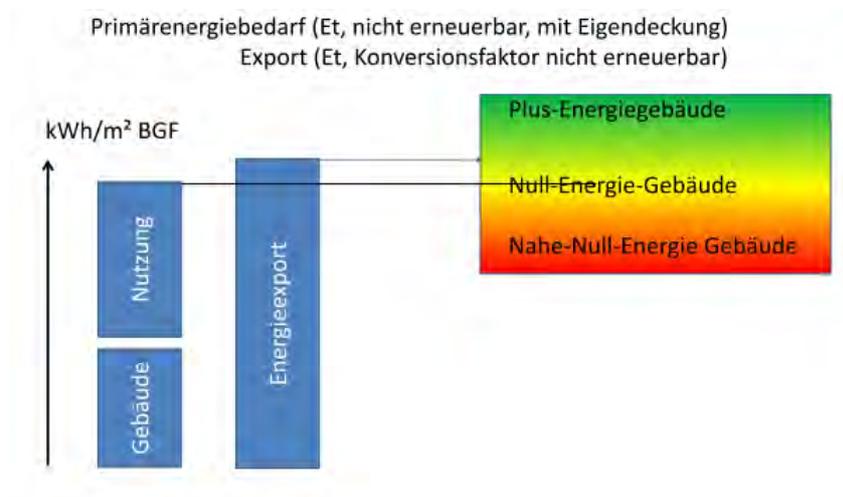


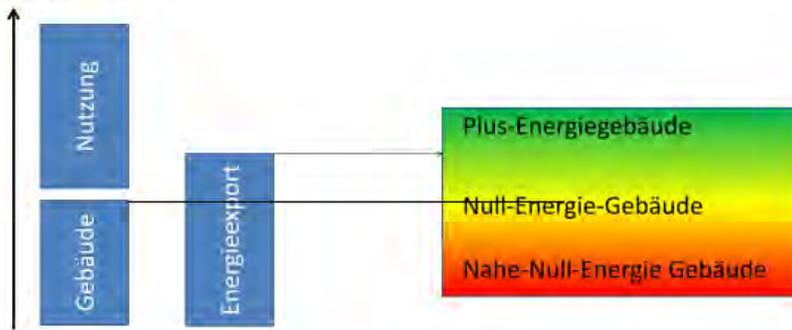
Abbildung 124: Kenngrößen für Plus-Energie Energieausweis: Netto-Primärenergiebedarf inkl. Nutzung

Die oben angeführte Definition, welche die Nutzung inkludiert, wird derzeit in Österreich angewendet.

In anderen Ländern, wie Dänemark und Deutschland, wird die Definition ohne Berücksichtigung der Nutzung, wie in folgender Abbildung dargestellt, derzeit favorisiert.

Primärenergiebedarf (Et, nicht erneuerbar, mit Eigendeckung)  
Export (Et, Konversionsfaktor nicht erneuerbar)

kWh/m<sup>2</sup> BGF



Derzeit in DK und BRD favorisiert

Abbildung 125: Kenngrößen für Plus-Energie Energieausweis: Netto-Primärenergiebedarf exkl. Nutzung

# 11 Ergebnisse

In der folgenden Zusammenstellung sind die Ergebnisse der einzelnen Arbeitspakete aufgelistet.

## 11.1 AP1 (Rechenverfahren)

- Der Algorithmus ist auf standortabhängige synthetische Stundenklimadatenätze umgestellt. Der Energiebedarf im Gebäude wird mit demselben Klima berechnet.
- Berechnungsmodell Heizlast
- Berechnungsmodell Kühllast
- Berechnungsmodell zum Nachweis der Zuluftbeheizbarkeit von Wohnräumen
- Darstellung der Berücksichtigung des tatsächlichen Haushalts- und Betriebsstrombedarfs, Berücksichtigung von energieeffizienten Geräten für die Ausstattung von Wohn- bzw. Bürobau.
- Rechenmodell zur Ermittlung des Energiebedarf für Beleuchtung mit stundenweiser Berücksichtigung des Nutzerverhaltens und des Klimas mit Unterscheidung zwischen tageslichtversorgten und nicht tageslichtversorgten Bereichen unter Berücksichtigung von Raumgeometrie, Fenstergeometrie, Verschattung
- Verschattungsberechnung
- Modellierung Biomassekessel
- Wärmepumpen/Kältemaschinen Modellierung
- Modellierung Erdboden
- Modellierung Windkraftanlage
- Rechenregeln für Photovoltaikanlagen und große gebäudeintegrierter
- Solarthermieanlagen
- Im Zuge des IEA Annex 53 (Annex53 Office) wurde ein virtuelles Gebäudemodell eines in Niederösterreich stehenden Bürogebäudes mit Hilfe von „BuildOpt\_VIE“ erstellt und die Ergebnisse mit gemessenen Daten verglichen. Das Gebäude hat drei Stockwerke und eine Bruttogeschoßfläche von 4811 m<sup>2</sup>. Es war das Ziel, Randbedingungen und Eingangswerte zu bestimmen, welche einen solchen Vergleich möglich machen. Es wurde gezeigt, dass, wenn alle nötigen Daten über das Gebäude, das Nutzerverhalten, die verwendeten Geräte und die Anwesenheit bekannt sind, Simulation und Messung sehr gut übereinstimmen.
- Anhand der Messdaten der Demonstrationsobjekte Schule Schwanenstadt,
- Wohnbau Utendorfgasse konnte die Genauigkeit der Berechnung getestet werden
- Konversionsfaktoren: Die Konversionsfaktoren wurden im Bericht mit dem Titel „Konversionsfaktoren der Endenergie für Gebäude“ (noch nicht publiziert) zusammengefasst. Im Bericht sind die realen Konversionsfaktoren mit den zugehörigen Herstellungsketten dokumentiert (siehe auch folgende Abbildung). Eine zeitliche Differenzierung der Konversionsfaktoren ist bis dato nicht umgesetzt worden. Im Anhang sind die Berichte mit den vorgeschlagenen Konversionsfaktoren zu finden.
- Darstellung der Berechnung des fGEE

## 11.2 AP2 (Normvorschläge)

Der Gesamtenergieeffizienz-Faktor wird in der neuen ÖNORM H 5050 eingebunden werden.

Im Hinblick auf Plusenergiehäuser ist darüber nachzudenken, ob der Gesamtenergieeffizienz-Faktor nicht mit einem Minus zu versehen ist. Wird der Lieferenergiebedarf dann negativ, würde der Gesamtenergieeffizienz-Faktor positiv werden und damit ein Plusenergiegebäude beschrieben werden.

Der Ertrag aus einer raumluftechnischen Anlage mit Wärmerückgewinnung wird diskutiert hinkünftig im HTEB bzw. im KTEB in den ÖNORMen H 5056 und 5058 Berücksichtigung zu finden. Damit wird die ÖNORM B 8110-6 einen Lüftungswärmeverlust beinhalten, der dem heutigen Lüftungswärmeverlust durch Fensterlüftung entspricht. Bei der Berechnung des Energiebedarfs für die Raumheizung bzw. Raumkühlung an der Bilanzgrenze  $E_t$  wird weiterhin die physikalisch korrekte Abbildung des Lüftungswärmeverlustes verwendet.

Es ist eine neue ÖNORM in der Serie H 5050ff zu kreieren, die die Erträge aus Photovoltaik, Wind, etc. beinhaltet.

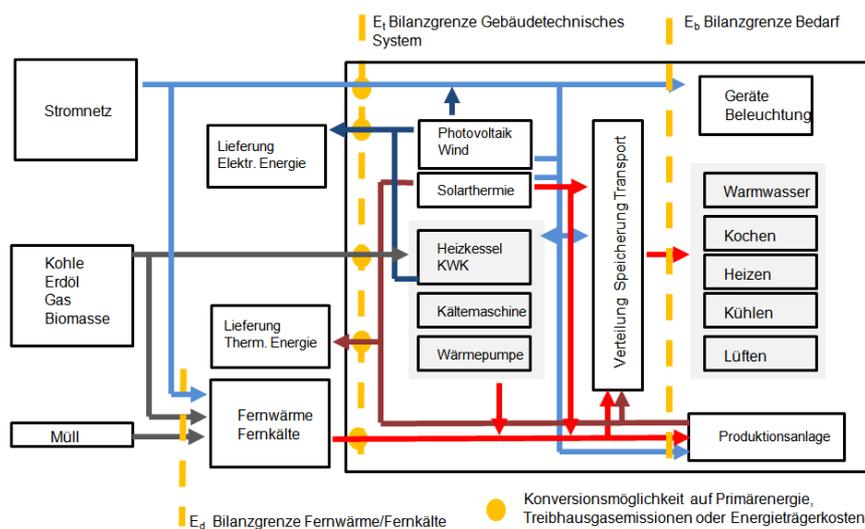


Abbildung 126: Veranschaulichung der Bilanzgrenzen, die bei der Verwendung der Konversionsfaktoren herangezogen werden. Diese Darstellungsmethode wird im Rahmen des IEA Annex 53 ISO TC 163 weiterentwickelt.

### NORM-Vorschläge

- Die ÖNORM B 8110-3:2012 03 15 „Vermeidung sommerlicher Überwärmung“ ist erschienen.
- H 7500 Bemessung von Niedrigstenergiegebäuden und Plus-Energiegebäuden Heizlast, Kühllast und Sommerliche Überwärmung als konsistenter Vorschlag vorhanden
- H 6040 Kühllast: Zusammenführung mit den im Bericht dargestellten Heiz- und Kühllastverfahren, wesentlich dabei ist die Ermöglichung einer Berechnung in einer frühen Planungsphase und eine detaillierte Auslegungsberechnung.

- B 8110 Bilanzverfahren für Plus-Energiehäuser, Verschattung, Klimamodell, Vereinfachte und detaillierte Berechnung, Trennung von Geräten und Personen, Zeitabhängige Nutzungsprofile, usw.
- H 5060 Photovoltaik, Windkraftanlagen
- H 5059 Einbau der Tageslichtnutzung und von energieeffizienten Technologien für die Beleuchtung
- H 5057 richtige spezifische Kennwerte, Standortklima, detailliertes Verfahren auf Basis der Prozesse, bedarfsgerechte Lüftung (VVS), eventuell Luftkühlung/-heizung alleine, Leitungslängen
- H 5056 Bilanzierung mehrerer paralleler bzw. alternativer Abgabe und Bereitstellungssysteme, Wärmepumpen vervollständigen, Geothermie (Tiefenbohrung, Flachkollektor), Solarthermie vervollständigen, Schichtspeicher
- H 5058 Bilanzierung mehrerer paralleler bzw. alternativer Abgabe und Bereitstellungssysteme, Leitungslängen
- H 5055 Umstellung auf Primärenergie, CO<sub>2</sub>, Darstellung von Plus-Energiegebäude, Anforderungen
- EN 15603 [ONO08a] Methodik und nationale Konversionsfaktoren (im nationalen Anhang) – wird derzeit in der Überarbeitung der OIB RL 6 vorbereitet

#### Schulungstool mit Handbuch

- Erstellung eines Schulungstools in Excel zur Umsetzung der Rechenregeln

### 11.3 AP3 (Umsetzung)

- Inhaltlicher Entwurf von Darstellungsarten für Plus-Energiehäuser für die geplante Überarbeitung des Energieausweises 2012 und Kommunikation mit den Gremien
- PEB, CO<sub>2</sub>, GEE sind in OIB RL 6 – 2011 eingeflossen
- Berücksichtigung von PV möglich

#### Wechselwirkung/Kommunikation in CEN und ISO Ausschüsse

Derzeit besteht intensiver Erfahrungsaustausch der ProjektpartnerInnen in den internationalen Arbeitsgruppen CEN TC 89, ISO TC 163, ISO TC 205 und im Rahmen des IEA Annex 53. Aktuelle Projektfortschritte werden laufend in den einzelnen österreichischen Normungsgremien besprochen und je nach Eignung im Normungsprozess weiterverfolgt. Aktuell wird auch an den Normungsentwürfen der einzelnen im Rahmen dieses Projektes untersuchten Projekte gearbeitet.



## 12 Ausblick und Empfehlungen

Im vorliegenden Endbericht und den parallelen Arbeiten wurden die Grundsteine für die Berechnung von Plus-Energie-Gebäuden gelegt. Folgende Punkte sind die nächsten Schritte um belastbare, einheitliche Anforderungen zu definieren:

- Entwicklungen von mathematisch-physikalisch sinnvoller Formulierung der Kenngrößen zur Darstellung der energetischen Situation, die in einer konsistenten Studie unter Berücksichtigung des kostenoptimalen Niveaus abgeleitet werden.
- Implementierung in die klassischen Softwareprogramme
- Durchführung von Ringrechnungen mit Softwareherstellern

Folgende Punkte stellen einen weiteren Grundstein für die Verbreitung und Weiterentwicklung der Plus-Energie- und Passivhaustechnologie dar:

- Einführung von Produktnormen
- Einführung von Auslegungsnormen zur Dimensionierung der Komponenten im System
- Einführung von Systemnormen für Energiebedarfsberechnung
- Anwendung an Demonstrationsobjekten, die erfolgreiche Errichtung von Niedrigstenergiegebäuden und Anlagen zur lokalen Energiebereitstellung und vor allem dessen Reproduzierbarkeit ermöglicht durch einen abgesicherten Stand des Wissens sichern die Verbreitung und Anwendbarkeit dieser Technologien
- Kommunikation des Verbrauchs und des Bedarfs von Niedrigstenergiegebäuden

## 13 Verwendete Formelzeichen

Formelzeichen	Einheit	Benennung
$\alpha$	-	Absorptionsgrad
$\alpha$	-	Parameter zur Ermittlung des Masseverlustes infolge Verrottung
$\alpha_c$	W/(m <sup>2</sup> .K)	konvektiver Wärmeübergangskoeffizient
$a_F$	Rad	Orientierung der Fläche
$a_s$	Rad	Orientierung der Sonne
$a_{VK}$	%	Kostensteigerung der VK <sub>i</sub> bzw. VK
$\alpha_r$	W/(m <sup>2</sup> .K)	Strahlungswärmeübergangskoeffizient
$\beta$	1/K	Volumenausdehnungskoeffizient $\beta$
$\beta_c$	m/s	Feuchteübergangskoeffizient
$\beta_p$	kg/(m <sup>2</sup> .s.Pa)	Feuchteübergangskoeffizient
$\gamma_F$	Rad	Neigung der Fläche (horizontal = 0)
$\gamma_h$	-	Verhältnis von Wärmegewinnen zu Wärmeverlusten im Heizfall
$\gamma_S$	Rad	Sonnenstand (horizontal = 0)
$\gamma_{SF}$	Rad	Winkel zwischen dem Sonnenstand und der Fläche in rad
$\delta_s$	-	Reflexionsgrad
$\delta$	M	Eindringtiefe für Temperaturwellen
$\delta_m$	M	Eindringtiefe für Feuchtwellen (m ... moisture)
$\delta_p$	kg/(m.s.Pa) (= s)	Diffusionskoeffizient zum Wasserdampfpartialdruck
$\delta_{p0}, \delta_{c0}$	kg/(m.s.Pa) (= s)	Permeabilität von Wasserdampf in Luft = Diffusionskoeffizient von Wasserdampf in Luft
$\varepsilon$	-	Emissionsvermögen
$\zeta$	kg/m <sup>3</sup>	Feuchtespeicherkapazität
$\eta$	Pa.s	Dynamische Viskosität von Luft
$\eta_{e,j}$	-	Ausnutzungsgrad für Wärmegewinne im Kühlfall im jeweiligen Monat
$\eta_{EWT}$	-	Wärmebereitstellungsgrad (Reduktion der Lüftungswärmeverluste) des Erdwärmetauschers
$\eta_{EWT,h}$	-	Wärmebereitstellungsgrad des Erdwärmetauschers im Heizfall
$\eta_{EWT,c}$	-	Wärmebereitstellungsgrad des Erdwärmetauschers im Kühlfall
$\eta_{h,j}$	-	Ausnutzungsgrad für Wärmegewinne im Heizfall im jeweiligen Monat
$\eta_n$	-	Jahreswirkungsgrad des Heizsystems
$\eta_{Vges}$	-	Wärmebereitstellungsgrad (Reduktion der Lüftungswärmeverluste) des Gesamtsystems
$\eta_{Vges,h}$	-	Wärmebereitstellungsgrad (Reduktion der Lüftungswärmeverluste) des Gesamtsystems im Heizfall im jeweiligen Monat
$\eta_{Vges,c}$	-	Wärmebereitstellungsgrad des Gesamtsystems im Kühlfall im jeweiligen Monat
$\eta_{WRG}$	-	Wärmebereitstellungsgrad (Reduktion der Lüftungswärmeverluste) des Lüftungsgerätes mit Wärmerückgewinnung (ablufseitiges Temperaturverhältnis $\eta_{t,ex}$ aus ÖNORM EN 13141-7 bzw. ÖNORM EN 308)
$\theta$	°C	Temperatur
$\theta_B$	°C	fiktive Bodentemperatur
$\theta_e$	°C	Außenlufttemperatur
$\theta_{e,M}$	°C	mittlere Außentemperatur im jeweiligen Monat
$\theta_{EWT}$	°C	Temperatur des Erdreichwärmetauschers
$\theta_{FH}$	°C	mittlere Temperatur der Flächenheizung (Heizmedium) des jeweiligen Monats
$\theta_i$	°C	Innenlufttemperatur

$\theta_{i,c}$	°C	Solltemperatur des konditionierten Raumes im Kühlfall
$\theta_{i,h}$	°C	Solltemperatur des konditionierten Raumes im Heizfall
$\theta_{i,hour}$	°C	Mittlere Innentemperatur in der jeweiligen Stunde
$\theta_{i,u}$	°C	Temperatur des unkonditionierten Raumes
$\theta_{sat}$	°C	Taupunkttemperatur; Sättigungstemperatur: Temperatur, bei der der Wasserdampf-Teildruck $p$ der Luft gleich dem Wasserdampf-Sättigungsdruck $p_{sat}$ ist.
$\theta_{si}$	°C	innere Oberflächentemperatur
$\theta_{si,min}$	°C	minimale Innenoberflächen-Temperatur
$\theta_{i,M}$	°C	Mittlere Innentemperatur im jeweiligen Monat
$\theta_{Kessel}$	°C	(Pellets-)Kesseltemperatur
$\theta_{Ne}$	°C	Normaußentemperatur (ist das tiefste Zweitagesmittel der Außentemperatur, das 10-mal in 20 Jahren erreicht oder unterschritten wird; in der ÖNORM H 7500 mit $\theta_o$ bezeichnet)
$\theta_{Raum}$	°C	Temperatur in (Kessel)-Aufstellraum
$\theta_{rL,Ne}$	°C	Rücklauftemperatur bei Normaußentemperatur
$\theta_{T,Mit,min}$	°C	mittlerer jährlicher Tiefstwert des Temperatur-Tagesmittels
$\theta_{VL,gew}$	°C	Gewichtete Vorlauftemperatur
$\theta_{VL,Heizung}$	°C	Notwendige Vorlauftemperatur für Heizung
$\theta_{VL,Ne}$	°C	Vorlauftemperatur bei Normaußentemperatur
$\theta_{VL,WW}$	°C	Notwendige Vorlauftemperatur für Warmwasserbereitung
$\theta_{Wärmequelle}$	°C	Referenztemperatur für die Wärmequelle eines Wärmepumpensystems
$\theta_{Wärmesenke}$	°C	Referenztemperatur für die Wärmesenke eines Wärmepumpensystems
$\lambda$	W/(m.K)	Wärmeleitfähigkeit
$\lambda_{n,v}$	W/(m².K)	Nennwert der Wärmeleitfähigkeit der wärmeschutztechnisch wirksamen Schicht
$\lambda_T$	W/(m.K)	Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit
$\mu$	-	Wasserdampf-Diffusionswiderstandszahl: Zahl, die angibt, um wie viel Mal größer der Diffusionswiderstand eines Stoffes gegenüber jenem einer gleich dicken Luftschicht gleicher Temperatur ist (Luft: $\mu = 1$ ).
$\mu_L$	-	Raumbelastungsgrad bei Einsatz von Abluftleuchten
$\zeta$		Reibbeiwert
$\zeta_A$		Reibbeiwert der Auslassöffnung
$\zeta_E$		Reibbeiwert infolge Wandreibung
$\zeta_R$		Reibbeiwert der Einlassöffnung
$\rho$	kg/m³	Dichte des Stoffes
$\rho_{tr}$	kg/m³	Rohdichte des trockenen Stoffes
$\rho_w$	kg/m³	Dichte des Wassers (1000 kg/m³ bei 20 °C)
$\rho_o$	kg/m³	Luftdichte der Referenztemperatur
$\tau_S$	-	Transmissionsgrad
$\tau$	h	Gebäudezeitkonstante
$\tau_o$	h	Referenzgebäudezeitkonstante (16 im Heiz- und Kühlfall)
$\Phi_{WRG}$	-	Rückwärmzahl (abluftseitiges Temperaturverhältnis gemäß ÖNORM EN 308) der Wärmerückgewinnung. Im Bedarfsfall bzw. in Übereinstimmung mit ÖNORM H 5057 ist die Möglichkeit eines Bypasssystems ( $\Phi_{WRG} = 0$ ) zu berücksichtigen.
$\varphi$	- oder %	relative Luftfeuchtigkeit: Verhältnis des tatsächlich vorhandenen Wasserdampfdruckes zum Sättigungsdruck (auch in % ausdrückbar).
$\varphi_i$	-	relative Feuchtigkeit der Raumluft (i ... interior)
$\varphi_e$	-	relative Feuchtigkeit der Außenluft (e ... exterior)
$\chi$	J/(K.m²)	flächenbezogene wirksame Wärmespeicherkapazität des Bauteiles
$\chi_k$	W/K	Korrekturkoeffizient der dreidimensionalen Wärmebrücke k
$\chi_m$	kg/m²/(kg/m³)	flächenbezogene wirksame Feuchtekapazität des Bauteiles
$\chi_{u,e}, \chi_{i,u}$	W/K	Korrekturkoeffizient einer dreidimensionalen Wärmebrücke zwischen innen und unkonditioniertem Raum bzw. zwischen unkonditioniertem Raum und außen
$\psi_j$	W/(m.K)	Korrekturkoeffizient der zweidimensionalen Wärmebrücke j

$\psi_{u,e}, \psi_{i,u}$	W/(m.K)	Korrekturkoeffizient einer zweidimensionalen Wärmebrücke zwischen innen und unconditioniertem Raum bzw. zwischen unconditioniertem Raum und außen
$a$	m <sup>2</sup> /s	Temperaturleitfähigkeit
$A$	m <sup>2</sup>	Fläche der Gebäudehülle
$A_{num}$	-	numerischer Parameter für den Ausnutzungsgrad
$A_{AL}$	m <sup>2</sup>	Fensterfläche, gegeben durch die Architekturlichte oder (sonnentechnische) Bauteilfläche
$A_B$	m <sup>2</sup>	Hüllfläche
$A_{Ap}$	m <sup>2</sup>	Aperturfläche des Solarkollektors gemäß ÖNORMEN 12975-1
$A_{BT}$	m <sup>2</sup>	Bauteilfläche
$A_F$	m <sup>2</sup>	Fußbodenfläche eines Raumes
$A_G$	m <sup>2</sup>	Fläche der transparenten Teile des Fensters (Glasfläche)
$A_I$	m <sup>2</sup>	Immissionsfläche
$A_i$	m <sup>2</sup>	Fläche des Bauteils i der Gebäudehülle
$A_k$	m <sup>2</sup>	Flächeninhalte jener Teilflächen k der Gebäudehülle, für die eindimensionale Wärmeleitung angenommen wird (plattenförmige, aus homogenen Schichten aufgebaute Bauteile)
$a_{mS,c}$	-	Parameter zur Bewertung der Aktivierung von Sonnenschutzeinrichtungen
$A_R$	m <sup>2</sup>	Fläche aller nicht transparenten Teile des Fensters (zB Rahmen)
$A_{trans,c,k,j}$	m <sup>2</sup>	solar wirksame Kollektorfläche der transparenten Oberfläche k mit der Orientierung j im Kühlfall
$A_{trans,h,k,j}$	m <sup>2</sup>	solar wirksame Kollektorfläche der transparenten Oberfläche k mit der Orientierung j im Heizfall
$A_{u,e}, A_{i,u}$	m <sup>2</sup>	Fläche eines Einzelbauteils zwischen innen und unconditioniertem Raum bzw. zwischen unconditioniertem Raum und außen
$A_{L,ex}$	m <sup>2</sup>	Oberfläche der Luftleitungen außerhalb der thermischen Gebäudehülle
$A_{VK}$	-	Faktor für die Kostensteigerung der VK, bzw. VK
$A/V$	1/m	Kompaktheit
$AWF$	-	„Aufwandsfaktor“
$a_0$		Referenzparameter für den Ausnutzungsgrad (1 im Heiz- und Kühlfall)
$a_{1,Ap}$	-	linearer Verlustfaktor des Kollektors gemäß ÖNORM M 7701 bezogen auf die Aperturfläche
$B$	EUR	Barwert der Gesamtkosten
$BF$	m <sup>2</sup>	konditionierte Bezugsfläche des Gebäudes / Gebäudeteils
$BGF$	m <sup>2</sup>	konditionierte Brutto-Grundfläche des Gebäudes/Gebäudeteils
$BK$	EUR	Baukosten
$BKK$	EUR	Barwert der kapitalgebundenen Kosten
$BNVK$	EUR	Barwert der nicht verbrauchsgebundenen Baunutzungskosten
$BVK$	EUR	Barwert der verbrauchsgebundenen Baunutzungskosten
$c$	kg/m <sup>3</sup>	absoluter Feuchtegehalt
$C$	Wh/K	wirksame Wärmespeicherfähigkeit des Gebäudes
$C_A$	J/(K.m <sup>2</sup> )	flächenbezogene wirksame Wärme-Speicherkapazität
$C_B$	J/K	wirksame Wärmespeicherkapazität des Bauteiles
$C_E$	J/(kg.K)	spezifische Wärmekapazität der Einrichtungsgegenstände
$C_{mat}$	-	Koeffizient für Schimmelpilzrückgang
$C_p$	J/(kg.K)	spezifische Wärmespeicherfähigkeit des Materials
$C_{p,L}, \rho_L$	W/(m <sup>3</sup> .K)	volumenbezogene Wärmespeicherfähigkeit von Luft man verwende $C_{p,L}, \rho_L = 0,34$
$C_{p,St}$	J/(kg.K)	spezifische Wärmespeicherfähigkeit von Stahl
$C_{p,w}$	J/(kg.K)	spezifische Wärmespeicherfähigkeit von Wasser
$C_p$	J/K	Wärmekapazität (eines Kessels,....)
$C_s$	Wh/K	wirksame Wärmespeicherfähigkeit des Gebäudes
$C_{tr}$	J/(kg.K)	spezifische Wärmekapazität
$C_{w,V}$	J/(K.m <sup>3</sup> )	volumenbezogene wirksame Wärmespeicherkapazität des Raumes
$C_0$	J/(kg.K)	Referenz-Wärmespeicherkapazität

$COP$	-	ideale (Carnot'sche) Leistungszahl (Coefficient of Performance)
$COP_{\alpha,in}$	-	ideale (Carnot'sche) Leistungszahl (Coefficient of Performance) der Wärmepumpe bei den Temperaturniveaus des betrachteten Temperaturintervalls bei Vollast
$COP_{\beta,in}$	-	Leistungszahl (Coefficient of Performance) der Wärmepumpe des Temperaturniveaus der betrachteten Temperaturintervalle bei Vollast unter Betriebsbedingungen
$COP_{pl,in}$	-	Leistungszahl der Wärmepumpe innerhalb des betrachteten Temperaturintervalls bei Teillast
$COP_N$	-	Leistungszahl der Wärmepumpe im Normbetriebspunkt
$COP_{real}$	-	Leistungszahl der Wärmepumpe im Referenzfall der betrachteten Stunde
$D, \delta_v$	m <sup>2</sup> /s	Diffusionskoeffizient zum absoluten Feuchtegehalt
$DBK$	EUR	Differenz der BK zweier zu vergleichender Varianten
$d$	m	Dicke der Schicht
$d_{c,a}$	d/a	Betriebstage der Kühlung pro Jahr
$d_{h,a}$	d/a	Betriebstage der Heizung pro Jahr
$d_m$		laufender Tag des Monats (1 bis zum Monatsletzten)
$d_{Nutz}$	d/M	Nutzungstage im jeweiligen Monat
$d_{Nutz,a}$	d/a	Nutzungstage pro Jahr
$d_{RL,T,a}$	d/a	Betriebstage der raumluftechnischen Anlage pro Jahr
$DVK$	EUR	Differenz der VK zweier zu vergleichender Varianten
$d_{v,opt}$	m	optimale wärmeschutztechnisch wirksame Dicke
$E_m$	lx	Wartungswert der Beleuchtungsstärke
$EPR_{Gebrauch}$	EUR/kWh	energiebezogener Einstandspreis für die Gebrauchsenegie
$EPR_{Nutz}$	EUR/kWh	Energiepreis für die Nutzenergie
$EVK$	EUR	Endwert der VK
$E_{Zünd,elektrisch}$	kWh	Elektrischer Zündenergiebedarf für einen Kessel-Kaltstart
$f_{BW}$	Wh/(m <sup>3</sup> .K)	Faktor zur Beurteilung der Bauweise
$F_C$	-	Abminderungsfaktor einer Abschattungseinrichtung
$f_{corr}$	-	Korrektur-Faktor $f_{corr} = \begin{cases} 1,4 & \tau \leq 90 \\ -0,01 \cdot \tau + 2,3 & 90 < \tau \leq 130 \\ 1,0 & \tau > 130 \end{cases}$
$FC_{in}$	-	Auslastungsgrad der Wärmepumpe im jeweiligen Temperaturintervall
$f_{E\Delta Z}$	-	Faktor für die Energieaufwandszahl zur Berechnung der Wärmeverluste von Raumheizgeräten und Herde
$f_{eh}$	-	Faktor zur Bewertung der Einschalthäufigkeit des Wärmebereitstellungssystems
$f_{ero,1}$	-	Faktor für äquivalente Verteilungslängen (bzw. allfälliger Zirkulationsleitungslängen) für Einbauten wie z. B. Armaturen und Pumpen
$f_{ero,2}$	-	Faktor für äquivalente Steig- und Anbindeleitungslängen (bzw. allfälliger Zirkulationsleitungslängen) für Einbauten wie z. B. Armaturen und Pumpen
$f_{et}$	-	Energieträgerfaktor
$F_i$	-	Verschattungsfaktor für seitliche Überstände
$f_{FH,i}$	-	Korrekturfaktor für Flächenheizungen in der Gebäudehülle $f_{FH,i} = 1$ bei Flächen ohne Flächenheizung
$f_G$	-	Glasflächenanteil $f_G = \frac{A_G}{A_{AL}}$ , $f_G + f_R = 1$
$F_h$	-	Verschattungsfaktor für den Horizont (Topographie)
$f_{H,\varphi}$	-	monatlicher Auslastungsgrad von Kesseln für Raumheizung
$f_{HT}$	-	Zuschlagsfaktor zum Referenz-Heiztechnik-Energiebedarf – fHT = 1,15 für Basis-Wärmeschutz – fHT = 1,05 für Erhöhten Wärmeschutz
$f_i$	-	Temperaturkorrekturfaktoren der Bauteile nicht gegen Außenluft
$f_{i,c}$	-	Temperaturkorrekturfaktoren der Bauteile im Kühlfall
$f_{i,h}$	-	Temperaturkorrekturfaktoren der Bauteile im Heizfall
$F_K$	-	Verschattung durch die Konstruktion des Wintergartens
$f_{kom,\varphi}$	-	monatlicher Auslastungsgrad von Kesseln für Raumheizung und Warmwasser

$f_{MG,in}$	-	Modulationsfaktor der Wärmepumpe im jeweiligen Temperaturintervall
$F_o$	-	Verschattung für Überhänge
$f_{op}$	kKh	Strahlungswirkungs-Korrekturfaktoren
$f_{pl}$	-	Teillastfaktor der Wärmepumpe
$f_{pl,in}$	-	Teillastfaktor der Wärmepumpe im Temperaturintervall
$f_R$	-	Rahmenflächenanteil $f_R = \frac{A_R}{A_{AL}}$
$f_{R_s}$	-	Temperaturfaktor: Quotient aus der Differenz zwischen der inneren Oberflächentemperatur und der Außenlufttemperatur und der Differenz zwischen Innen- und Außenlufttemperatur $f_{R_s} = \frac{\theta_{si} - \theta_e}{\theta_i - \theta_e}$
$f_{R_s, \min}$	-	Bemessungstemperaturfaktor kleinster zulässiger (mindestforderlicher) Temperaturfaktor für die raumseitige Oberfläche $f_{R_s, \min} = \frac{\theta_{si, \min} - \theta_e}{\theta_i - \theta_e}$
$F_s$	-	Verschattungsfaktor
$F_{s,h}$	-	Verschattungsfaktor für den Heizfall
$F_{s,c}$	-	Verschattungsfaktor für den Kühlfall
$F_{sky}$	-	Sichtfaktor der Oberfläche zum Himmel
$f_{TW,K,q}$	-	monatlicher Auslastungsgrad von Kesseln für Warmwasserbereitung
$F_{t,n,m}$	-	Minderungsfaktor Gebäudebetriebszeit im Hinblick auf Beleuchtung
$f_{üw}$	-	Faktor für nicht nutzbare Überwärme bei Heizkessel ohne Modulierungsmöglichkeit
$f_0$	-	thermodynamischer (carnot'scher) Gütegrad der Wärmepumpe
$G$	kg/s	Feuchteproduktion
$g$	m/s <sup>2</sup>	Erdbeschleunigung
$g$	-	Proportionalitätsfaktor: Faktor, der den Einfluss der Lufttemperatur in einem Raum auf die minimale Temperatur der Bauteiloberfläche im betrachteten Raum angibt
$g_0, g_1, \dots, g_n$	-	Temperaturgewichtungsfaktor: Faktor, der den Einfluss der Lufttemperatur auf die Oberflächentemperatur in an eine Baukonstruktion thermisch angekoppelten Räumen angibt
$g_F$	-	solarer Gesamtenergie-Durchlassgrad lotrecht auf die Verglasungsfläche nach ÖNORM EN 410.
$g_{surf,v}$	kg/m <sup>2</sup> s	Massenstromdichte
$g_{tot}$	-	Gesamtenergie-Durchlassgrad eines transparenten Bauteiles
$g_v$	kg/m <sup>2</sup> s	Massenstromdichte infolge Diffusion
$g_{w,F}$	-	effektiv wirksamer Gesamtenergie-Durchlassgrad der Verglasung
$g_{wges,F}$	-	Energiedurchlassgrad infolge Verschattung des Wintergartens
$g_{w1,F}$	-	Energiedurchlassgrad Verglasung 1
$g_{w2,F}$	-	Energiedurchlassgrad Verglasung 2
$h_d$	-	laufende Stunde des Tages (1 bis 24)
$h_{Ne}$	m	Höhe der Nutzebene im Hinblick auf Beleuchtung
$HEB_{BGF}$	kWh/(m <sup>2</sup> .a)	spezifischer jährlicher Heizenergiebedarf
$HGT_{20/12}$	(K.d)/a	Heizgradtage gemäß ÖNORM B 8110-5
$HGT$	(K.d)/M	monatliche Heizgradtage
$HGT_{H,zus,al}$	(K.d)/M	monatliche Heizgradtage für ein zusätzliches Heizungssystem bei Alternativ-Betrieb
$HGT_{H,zus,pa}$	(K.d)/M	monatliche Heizgradtage für ein zusätzliches Heizungssystem bei Parallel-Betrieb
$HGT_{H,x,al}$	(K.d)/M	monatliche Heizgradtage bei Alternativbetrieb
$HGT_{in}$	(K.d)/M	monatliche Heizgradtage innerhalb der betrachteten Temperaturintervalle
$HGT_{in,al}$	(K.d)/M	monatliche Heizgradtage innerhalb der betrachteten Temperaturintervalle für Alternativ-Betrieb der Wärmepumpe

$HGT_{in,pa}$	(K.d)/M	monatliche Heizgradtage innerhalb der betrachteten Temperaturintervalle für Parallel-Betrieb der Wärmepumpe
$HGT_{H,x,pa}$	(K.d)/M	monatliche Heizgradtage bei Parallelbetrieb
$HT$	d/M	Heiztage im jeweiligen Monat gemäß ÖNORM H 5056
$HT_{bp}$	d/M	Anzahl der monatlichen Heiztage bei einer Temperatur unter dem Bivalenzpunkt
$HT_{in}$	d/M	Anzahl der monatlichen Heiztage bei einem Tagesmittel der Außentemperatur innerhalb des betrachteten Temperaturintervalls
$HT_{Heiz,j}$	d/M	Anzahl der monatlichen Heiztage bei einem Tagesmittel der Außentemperatur von j
$HTEB_{BGF}$	kWh/(m <sup>2</sup> .a)	jährlicher spezifischer Heiztechnik-Energiebedarf
$HTEB_{H,BGF}$	kWh/(m <sup>2</sup> .a)	jährlicher spezifischer Heiztechnik-Energiebedarf für Raumheizung
$HTEBT_{W,BGF}$	kWh/(m <sup>2</sup> .a)	jährlicher spezifischer Heiztechnik-Energiebedarf für Warmwasser
$HWB$	kWh/a	jährlicher Heizwärmebedarf
$HWB_{BGF}$	kWh/(m <sup>2</sup> .a)	jährlicher spezifischer Heizwärmebedarf, bezogen auf die konditionierte Brutto-Grundfläche
$HWB_{BGF,WG,RK}$	kWh/(m <sup>2</sup> .a)	jährlicher Heizwärmebedarf für Wohngebäude – Neubau, bezogen auf die konditionierte Brutto-Grundfläche und das Referenzklima
$HWB_{BGF,WG,RK,max}$	kWh/(m <sup>2</sup> .a)	maximaler jährlicher Heizwärmebedarf für Wohngebäude – Neubau, bezogen auf die konditionierte Brutto-Grundfläche und das Referenzklima
$HWB_{BGF,WGSan,RK}$	kWh/(m <sup>2</sup> .a)	jährlicher Heizwärmebedarf für Wohngebäude – große Renovierung, bezogen auf die konditionierte Brutto-Grundfläche und das Referenzklima
$HWB_{BGF,WGSan,RK,max}$	kWh/(m <sup>2</sup> .a)	maximaler jährlicher Heizwärmebedarf für Wohngebäude – große Renovierung, bezogen auf die konditionierte Brutto-Grundfläche und das Referenzklima
$HWB_{BGF,nE-WG,RK}$	kWh/(m <sup>2</sup> .a)	jährlicher Heizwärmebedarf für Niedrigenergie-Wohngebäude – Neubau, bezogen auf die konditionierte Brutto-Grundfläche und das Referenzklima
$HWB_{BGF,nE-WG,RK}$	kWh/(m <sup>2</sup> .a)	jährlicher Heizwärmebedarf für Niedrigenergie-Wohngebäude – Neubau, bezogen auf die konditionierte Brutto-Grundfläche und das Referenzklima
$HWB_{NGF,RK}$	kWh/(m <sup>2</sup> .a)	auf die konditionierte Netto-Grundfläche bezogener jährlicher Heizwärmebedarf, bezogen und das Referenzklima
$HWB^*_{V,nE-NWG,RK}$	kWh/(m <sup>3</sup> .a)	jährlicher wohngebäudeäquivalenter Heizwärmebedarf für Niedrigenergie-Nicht-Wohngebäude – Neubau, bezogen auf das konditionierte Brutto-Volumen und das Referenzklima
$HWB^*_{V,nsE-NWG,Ref}$	kWh/(m <sup>3</sup> .a)	jährlicher wohngebäudeäquivalenter Heizwärmebedarf für Niedrigenergie-Nicht-Wohngebäude – Neubau, bezogen auf das konditionierte Brutto-Volumen und das Referenzklima
$HWB^*_V$	kWh/(m <sup>3</sup> .a)	jährlicher wohngebäudeäquivalenter Heizwärmebedarf, bezogen auf das konditionierte Brutto-Volumen
$HWB_V$	kWh/(m <sup>3</sup> .a)	jährlicher Heizwärmebedarf, bezogen auf das konditionierte Brutto-Volumen
$HWB^*_{V,NWG,RK}$	kWh/(m <sup>3</sup> .a)	jährlicher wohngebäudeäquivalenter Heizwärmebedarf für Nicht-Wohngebäude – Neubau, bezogen auf das konditionierte Brutto-Volumen und das Referenzklima
$HWB^*_{V,NWG,RK,max}$	kWh/(m <sup>3</sup> .a)	maximaler jährlicher wohngebäudeäquivalenter Heizwärmebedarf für Nicht-Wohngebäude – Neubau, bezogen auf das konditionierte Brutto-Volumen und das Referenzklima
$HWB^*_{V,NWGSan,RK}$	kWh/(m <sup>3</sup> .a)	jährlicher wohngebäudeäquivalenter Heizwärmebedarf für Nicht-Wohngebäude – größere Renovierung, bezogen auf das konditionierte Brutto-Volumen und das Referenzklima
$HWB^*_{V,NWGSan,RK,max}$	kWh/(m <sup>3</sup> .a)	maximaler jährlicher wohngebäudeäquivalenter Heizwärmebedarf für Nicht-Wohngebäude – größere Renovierung, bezogen auf das konditionierte Brutto-Volumen und das Referenzklima
$\Delta H$	m	Höhendifferenz
$I_{abs}$	W/m <sup>2</sup>	absorbierte Strahlung
$I_{diff}$	W/m <sup>2</sup>	diffuse Strahlung auf die Oberfläche
$I_{diff,H}$	W/m <sup>2</sup>	diffuse Strahlung auf eine horizontale Fläche
$I_{diff,refl}$	W/m <sup>2</sup>	diffuse Reflektionsstrahlung auf eine Fläche
$I_{diff,S}$	W/m <sup>2</sup>	diffuse Strahlung auf eine Fläche
$I_{dir}$	W/m <sup>2</sup>	direkte Strahlung auf die Oberfläche
$I_{dir,S}$	W/m <sup>2</sup>	direkte Strahlung auf eine Fläche
$I_{dir,n}$	W/m <sup>2</sup>	direkte Strahlung auf eine Fläche normal zur Sonne
$I_{refl}$	W/m <sup>2</sup>	reflektierte Strahlung auf die Oberfläche
$I_S$	kWh/(m <sup>2</sup> .M)	mittlere Monatssummen der Globalstrahlung
$I_{sol}$	W/m <sup>2</sup>	solare Einstrahlung auf die Fläche
$j$	kg/(m <sup>2</sup> .s) bzw. kg/(m.s)	Feuchtestromdichte
$j_a$	kg/(m <sup>2</sup> .s)	Luftmassenstromdichte (a ... air)
$JNGF$	-	Jahresnutzungsgradfaktor
$K$	m <sup>2</sup> /s	Flüssigkeitsleitfähigkeit
$k$	m <sup>2</sup>	Luftpermeabilität

$K$	-	Bodenreflexionskorrekturwert nach ÖNORM M 7701 (nur bei Anlagen über 60° Neigung)
$k_A$	-	Minderungsfaktor im Hinblick auf Beleuchtung
$k_{Invest}$	€/kW	Spezifische Investitionskosten
$K_{Invest,min}$	€	Mindestinvestition
$k_R$	-	Raumindex im Hinblick auf Beleuchtung
$KB^*_{V,NWG,max}$	kWh/(m <sup>3</sup> .a)	maximaler jährlicher außeninduzierter Kühlbedarf für Nicht-Wohngebäude – Neubau, bezogen auf das konditionierte Brutto-Volumen und das Referenzklima
$KB^*_{V,NWGSan,max}$	kWh/(m <sup>3</sup> .a)	maximaler jährlicher außeninduzierter Kühlbedarf für Nicht-Wohngebäude – größere Renovierung, bezogen auf das konditionierte Brutto-Volumen und das Referenzklima
$KB^*_V$	kWh/(m <sup>3</sup> .a)	jährlicher Kühlbedarf, bezogen auf das konditionierte Brutto-Volumen
$k_{Wbs}$	-	Korrekturwert des Wärmebereitstellungssystems
$k_1$		Intensitätsfaktor
$k_2$		Mäßigungsfaktor
$l_c$	m	charakteristische Länge
$L_g$	W/K	thermischer Leitwert für alle Bauteile, die den konditionierten Innenraum und die Außenluft thermisch verbinden
$LEK_{eq}$	-	äquivalenter LEK-Wert
$LEK\text{-Wert}$	-	Kennwert/Kennlinie für den Wärmeschutz der Gebäudehülle
$LENI$	kWh/(m <sup>2</sup> .a)	Beleuchtungsenergiebedarf gemäß ÖNORM H 5059
$L_g$	W/K	thermischer Leitwert für Bauteile, die den konditionierten Innenraum über den Boden mit dem Außenraum thermisch verbinden
$l_{H,Ro,Anbindel}$	m	Länge der Anbindeleitungen der Raumheizung in beheizten Räumen
$l_{H,Ro,Steigl,beh}$	m	Länge der Steigleitungen der Raumheizung in beheizten Räumen
$l_{H,Ro,Steigl,u}$	m	Länge der Steigleitungen der Raumheizung in unbeheizten Räumen
$l_{H,Ro,Verteil,beh}$	m	Länge der Verteilleitungen der Raumheizung in beheizten Räumen
$l_{H,Ro,Verteil,u}$	m	Länge der Verteilleitungen der Raumheizung in unbeheizten Räumen
$l_j$	m	Länge der zweidimensionalen Wärmebrücke
$l_{\psi,u,e}, l_{\psi,i,u}$	m	Länge einer zweidimensionalen Wärmebrücke zwischen innen und unconditioniertem Raum bzw. zwischen unconditioniertem Raum und außen
$L_{i,u}$	W/K	Leitwert zwischen innen und unconditioniertem Raum
$l_{Sol,Ro,hor,beh}$	m	Länge der horizontalen Rohrleitungen des Kollektorkreises in beheizten Räumen
$l_{Sol,Ro,hor,u}$	m	Länge der horizontalen Rohrleitungen des Kollektorkreises in unbeheizten Räumen
$l_{Sol,Ro,ver,beh}$	m	Länge der vertikalen Rohrleitungen des Kollektorkreises in beheizten Räumen
$l_{Sol,Ro,ver,u}$	m	Länge der vertikalen Rohrleitungen des Kollektorkreises in unbeheizten Räumen
$L_T$	W/K	Transmissions-Leitwert eines Gebäudes
$L_u$	W/K	thermischer Leitwert für Bauteile, die den konditionierten Innenraum über unconditionierte Räume mit der Außenluft verbinden
$L_{u,e}$	W/K	Leitwert zwischen unconditioniertem Raum und außen
$L_v$	W/K	Lüftungs-Leitwert
$L_{v,u,e}$	W/K	Lüftungsleitwert des unconditionierten Raumes
$L_{vh,FL}$	W/K	Lüftungs-Leitwert im Heizfall für Nicht-Wohngebäude infolge Fenster-Lüftung
$L_{vc,FL}$	W/K	Lüftungs-Leitwert im Kühlfall für Nicht-Wohngebäude infolge Fenster-Lüftung
$L_{v,Inf}$	W/K	Lüftungs-Leitwert für Nicht-Wohngebäude infolge Infiltration
$L_{vh,RLT}$	W/K	Lüftungs-Leitwert im Heizfall für Nicht-Wohngebäude infolge einer RLT-Anlage
$L_{vc,RLT}$	W/K	Lüftungs-Leitwert im Kühlfall für Nicht-Wohngebäude infolge einer RLT-Anlage (die Möglichkeit eines Sommer-Bypass ist zu berücksichtigen)
$l_{WW,Ro,Steigl,beh}$	m	Länge der Steigleitungen für Warmwasser in beheizten Räumen
$l_{WW,Ro,Steigl,u}$	m	Länge der Steigleitungen für Warmwasser in unbeheizten Räumen
$l_{WW,Ro,Stichel}$	m	Länge der Stichleitungen für Warmwassers
$l_{WW,Ro,Verteil,beh}$	m	Länge der Warmwasser-Verteilleitungen in beheizten Räumen
$l_{WW,Ro,Verteil,u}$	m	Länge der Warmwasser-Verteilleitungen in unbeheizten Räumen
$l_{WW,Ro,Zirkul-S,beh}$	m	Länge der Zirkulations-Rücklauf-Steigleitungen für Warmwasser in beheizten Räumen
$l_{WW,Ro,Zirkul-S,u}$	m	Länge der Zirkulations-Rücklauf-Steigleitungen für Warmwasser in unbeheizten Räumen
$l_{WW,Ro,Zirkul-V,beh}$	m	Länge der Warmwasser-Zirkulations-Rücklauf-Verteilleitungen in beheizten Räumen

$l_{WW,Ro,Zirk-V,u}$	m	Länge der Warmwasser-Zirkulations-Rücklauf-Verteilungen in unbeheizten Räumen
$L_{\psi}$	W/K	Leitwertzuschlag für zweidimensionale Wärmebrücken
$L_{\chi}$	W/K	Leitwertzuschlag für dreidimensionale Wärmebrücken
$M$		Schimmelindex (M ... Mould Index)
$\dot{m}$	kg/s	Massenstrom
$M_a$	kg/m <sup>2</sup>	flächenbezogene akkumulierte Kondenswassermenge an einer Grenzfläche
$m_f$	kg	Masse der Probe vor dem Trocknen
$MG_{WP,in}$	-	Modulationsgrad der Wärmepumpe im jeweiligen Temperaturintervall
$m_{Kess}$	kg	Masse des Kesselkörpers (ohne Wasser)
$ML$	%	Masseverlust (ML ... mass loss)
$m_{tr}$	kg	Masse der Probe nach dem Trocknen
$\dot{m}_V$	kg/s	Massenstrom durch Lüftung (Ventilation)
$\dot{m}_S$	kg/s	Massenstrom zwischen Bauteil und Raum (Surface)
$MT$	d/M	Tage im jeweiligen Monat gemäß ÖNORM B 8110-5
$m_w$	kg	gesamte speicherwirksame Masse eines Raumes
$m_{w,B}$	kg	speicherwirksame Masse eines Bauteils
$m_{w,B,A}$	kg/m <sup>2</sup>	flächenbezogene speicherwirksame Masse eines Bauteils
$m_{w,E}$	kg	speicherwirksame Masse der Einrichtung
$m_{w,I}$	kg/m <sup>2</sup>	immissionsflächenbezogene speicherwirksame Masse eines Raumes
$m_{w,I,min}$	kg/m <sup>2</sup>	mindest erforderliche immissionsflächenbezogene speicherwirksame Masse
$\Delta m_{w,I,min}$	kg/m <sup>2</sup>	Überschuss an immissionsflächenbezogener speicherwirksamer Masse
$m_{w,V}$	kg/m <sup>3</sup>	volumenbezogene speicherwirksame Masse eines Raumes
$n$	a	Betrachtungszeitraum
$N$	a	Nutzungsdauer
$NF$	m <sup>2</sup>	Nutzfläche des Gebäudes
$NGF$	m <sup>2</sup>	beheizte Nettogrundfläche bei Nicht-Wohngebäude
$n_{HK}$	-	Heizkörperexponent
$n_{LH,Vent}$	1/h	Luftwechselrate der Lüftung
$n_L$	1/h	Luftwechselzahl, Luftwechselrate
$n_{L,FL}$	1/h	energetisch wirksame Luftwechselrate bei Fensterlüftung
$n_{L,m,c}$	1/h	mittlere monatliche Luftwechselrate im Kühlfall
$n_{L,m,h}$	1/h	mittlere monatliche Luftwechselrate im Heizfall
$n_{L,NL}$	1/h	energetisch wirksame Luftwechselrate bei Nachtlüftung
$n_{L,NL,real}$	1/h	Nachtluftwechselrate bezogen auf das reale Lüftungsvolumen im Gebäude
$n_{L,RLT}$	1/h	energetisch wirksame Luftwechselrate bei Raumlufttechnik
$n_{L,u}$	1/h	Luftwechsel zwischen dem unconditionierten Raum und dem Außenraum; sofern keine genauen Werte bekannt sind, ist $n_{L,u} = 0,5$ 1/h zu setzen
$N_R$	a	Amortisationsdauer
$NVK_j$	EUR	nicht verbrauchsgebundene Baunutzungskosten im Rechenjahr
$n_x$	1/h	Falschluftrate
$n_{50}$	1/h	Luftwechselzahl, gemessen bei 50 Pa Druckdifferenz zwischen innen und außen
$p$	Pa	Partialdruck der trockenen Luft
$p_{NVK}$	%	Kostensteigerung der NVK
$P$	-	Faktor für die Kostensteigerung der $NVK_j$
$P_{A\&V,elektrisch}$	W	Elektrische Leistung für Antriebe und Ventilatoren eines Kessels
$P_H$	-	Peclet Zahl
$P_{H,NGF}$	W/m <sup>2</sup>	auf die konditionierte Netto-Grundfläche bezogene Heizlast
$p_{sat}$	Pa	Wasserdampf-Sättigungsdruck: Wasserdampf-Teildruck bei relativer Luftfeuchtigkeit $\phi = 100$ %
$P_{VW}$	EUR/m <sup>3</sup>	volumenbezogener Preis der wärmeschutztechnisch wirksamen Schicht

$P_{el,vw}$	kW	elektrische Leistungsaufnahme des Vorheizregisters
$P_{H,BE}$	kW	elektrische Nennleistung der Fördereinrichtung für Biomasse des Heizkessels für Raumheizung
$P_{H,K,Geb}$	kW	elektrische Nennleistung des Gebläses des Heizkessels für Raumheizung
$P_{H,K,HE}$	kW	elektrische Gesamtleistung der Komponenten mit Hilfsenergiebedarf des Heizkessels für Raumheizung
$P_{H,K,Ölp}$	kW	elektrische Nennleistung der Ölpumpe des Heizkessels für Raumheizung
$P_{H,K,p}$	kW	elektrische Nennleistung der Pumpe des Heizkessels für Raumheizung
$P_{H,KN}$	kW	Nennwärmeleistung des Heizkessels für Raumheizung
$P_{H,Vent}$	kW	elektrische Nennleistung des Ventilators
$P_{H,WS,p}$	kW	elektrische Nennleistung der Heizungsspeicherpumpe
$P_{H,WT}$	kW	Nennwärmeleistung des Wärmetauschers für Raumheizung
$P_{H,WV,p}$	kW	elektrische Nennleistung der Umwälzpumpe
$P_{KN}$	kW	Nennwärmeleistung des Heizkessels
$P_{kom,KN}$	kW	Nennwärmeleistung des Heizkessels für Raumheizung und Warmwasser
$P_{kom,WT}$	kW	Nennwärmeleistung des Wärmetauschers für Raumheizung und Warmwasser
$P_M$	-	Peclet Zahl für kombinierten Feuchttransport
$P_R$	W	elektrische Leistung der Regelung der Solaranlage
$P_{Verlust,Rauchgas}$	W	(Verlust-)Leistung an das Rauchgas
$P_{sol,p}$	W	elektrische Nennleistung der Umwälzpumpen des Kollektorkreises
$P_{T,V}$	W/(m <sup>3</sup> .K)	volumenbezogener Transmissions-Leitwert
$P_{Verlust,Aufstellraum}$	W	thermische Verlustleistung an den Aufstellraum (eines Kesels...)
$P_{WW,Anf}$	kW	Für Warmwasserbereitung angeforderte Leistung
$P_{Heiz,Anf}$	kW	Für Heizung angeforderte Leistung
$P_{WW,BE}$	kW	elektrische Nennleistung der Fördereinrichtung für Biomasse des Heizkessels für Warmwasserbereitung
$P_{WW,K,Geb}$	kW	elektrische Nennleistung des Gebläses des Heizkessels für Warmwasser
$P_{WW,K,HE}$	kW	elektrische Gesamtleistung der Komponenten für Hilfsenergiebedarf der Wärmebereitstellung Warmwasser
$P_{WW,K,Ölp}$	kW	elektrische Nennleistung der Ölpumpe des Heizkessels für Warmwasser
$P_{WW,K,p}$	kW	elektrische Nennleistung der Pumpe des Heizkessels für Warmwasser
$P_{WW,KN}$	kW	Nennleistung des Heizkessels für Warmwasser
$P_{WW,WS,p}$	kW	elektrische Nennleistung der Warmwasserspeicher-Ladepumpe
$P_{WW,WT}$	kW	Nennwärmeleistung des Wärmetauschers für Warmwasser
$P_{WW,WT,p}$	W	elektrische Nennleistung der Wärmetauscher-Ladepumpe
$P_{WW,WV,p}$	kW	elektrische Nennleistung der Zirkulationspumpe
$P_{Ve}$	W	elektrische Leistung der Ventile der Solaranlage
$P_{WP,el}$	kW	elektrische Leistung der Wärmepumpe
$P_{WP,HE}$	kW	zeitbezogener Hilfsenergieeinsatz der Wärmepumpe
$P_{WP,KN}$	kW	Nennwärmeleistung der Wärmepumpe beim Normpunkt
$P_{WP,KN,in}$	kW	Wärmeleistung der Wärmepumpe im jeweiligen Temperaturintervall
$p_{el,vw}$	W/(m <sup>3</sup> .h)	spezifische elektrische Leistungsaufnahme des Vorheizregisters
$p_{el,vent}$	W/(m <sup>3</sup> .h)	spezifische elektrische Leistungsaufnahme der Ventilatoren, bezogen auf den Luftvolumenstrom
$p_{H,al}$	-	Anteil des zusätzlichen monatlichen Heizungssystems am gesamten Wärmebedarf bei Alternativ-Betrieb der Wärmepumpe
$p_{H,pa}$	-	Anteil des zusätzlichen monatlichen Heizungssystems am gesamten Wärmebedarf bei Parallel-Betrieb der Wärmepumpe
$q$	W/m <sup>2</sup>	Wärmestromdichte
$Q$	J	Wärme
$q\%$	%	kalkulatorische Zinsen
$Q\%$	-	Faktor für die kalkulatorischen Zinsen
$Q_{c,a}$	kWh/a	jährlicher Kühlbedarf

$Q_{c,j}$	kWh/M	monatlicher Kühlbedarf
$Q_{cond}$	W/m <sup>2</sup>	Wärmestromdichte aus Wärmeleitung
$Q_{cond,li}$	W/m <sup>2</sup>	Wärmestromdichte aus Wärmeleitung von der linken Seite
$Q_{cond,re}$	W/m <sup>2</sup>	Wärmestromdichte aus Wärmeleitung von der rechten Seite
$Q_{conv}$	W/m <sup>2</sup>	Wärmestromdichte aus Konvektion
$Q_{g,j,c}$	kWh/M	modifizierte Wärmegewinne eines Gebäudes/Gebäudeteiles im jeweiligen Monat
$Q_{h,a}$	kWh/a	jährlicher Heizwärmebedarf
$Q_{h,j}$	kWh/M	monatlicher Heizwärmebedarf
$Q_{h,j,RK}$	kWh/M	monatlicher Heizwärmebedarf bei Berechnung mit Referenzklimabedingungen
$Q_{l,j}$	kWh/M	gesamte Wärmeverluste im jeweiligen Monat
$Q_{li}$	W/m <sup>2</sup>	Wärmestromdichte von links
$Q_{g,hour}$	W	gesamte Wärmegewinne in der jeweiligen Stunde
$Q_{g,j}$	kWh/M	gesamte Wärmegewinne im jeweiligen Monat
$Q_{el}$	kWh/M	monatlicher elektrischer Energiebedarf der Wärmepumpe
$Q_g$	kWh/M	Gesamtwärmegewinne
$Q_{ges,HE}$	kWh/M	gesamter monatlicher Hilfsenergiebedarf
$Q_H$	kWh/M	monatliche Verluste der Raumheizung
$Q^*_{H}$	kWh/M	bereitzustellende monatliche Heizenergie für Raumheizung
$Q_{H,BE,HE}$	kWh/M	monatlicher Hilfsenergiebedarf der Fördereinrichtung für Biomasse
$Q_{H,beh}$	kWh/M	zurückgewinnbare monatliche Verluste der Raumheizung
$Q_{H,Geb,HE}$	kWh/M	monatlicher Hilfsenergiebedarf des Gebläses des Heizkessels für Raumheizung
$Q_{H,HE}$	kWh/M	monatliche Hilfsenergiebedarf der Raumheizung
$Q_{H,hour}$	W	zurückgewinnbare Verluste der jeweiligen Stunde
$Q_{HT,hour}$	W	Verluste der Haustechnik der jeweiligen Stunde
$Q_{H,K}$	kWh/M	monatliche Verluste des Heizkessels für Raumheizung
$Q_{H,K,bb}$	kWh/M	monatliche Betriebsbereitschaftsverluste des Heizkessels für Raumheizung
$Q_{H,K,be}$	kWh/M	monatliche Betriebsverluste des Heizkessels für Raumheizung
$Q_{H,K,HE}$	kWh/M	monatlicher Hilfsenergiebedarf des Heizkessels für Raumheizung
$Q_{h,LE}$	kWh/M	monatliche Nutzenergie für Heizen zum Zweck der Lufterneuerung nach ÖNORM H 5057
$Q_{h,mch}, Q_{h,RLT}$	kWh/M	monatliche Nutzenergie für Heizen zum Zweck der prozessbedingten Luftbehandlung nach ÖNORM H 5057
$Q_{H,ÖV,HE}$	kWh/M	monatlicher Hilfsenergiebedarf der Ölvorwärmung des Heizkessels für Raumwärme
$Q_{H,R}$	kWh/M	monatliche Wärmeverluste von Raumheizungsgeräten und Herden
$Q_{H,SH}$	kWh/M	monatliche Wärmeverluste der Bereitstellung von Raumwärme durch elektrische Energie (z. B. elektrische Widerstandsheizung, elektrischer Nachtspeicherheizung)
$Q_{H,Vp}$	kWh/M	Zurückgewonnene monatliche Wärmeverluste von Verteilpumpen im Bereich Raumheizung
$Q_{H,Vp,HE}$	kWh/M	monatlicher Hilfsenergiebedarf der Verteilpumpen für Raumheizung
$Q_{H,WA}$	kWh/M	monatliche Verluste des Wärmeabgabesystems für Raumheizung
$Q_{H,WA,HE}$	kWh/M	monatliche Hilfsenergiebedarf für Gebläsekonvektoren
$Q_{H,WB}$	kWh/M	monatlichen Verluste der Wärmebereitstellung für Raumheizung
$Q_{H,WB,eh}$	kWh/M	zusätzliche monatliche Verluste des Wärmebereitstellungssystems der Raumheizung durch Einschalthäufigkeit
$Q^*_{H,WP}$	kWh/M	monatlicher Hilfsenergiebedarf der Wärmebereitstellung für Raumheizung
$Q_{H,WP,HE}$	kWh/M	monatlicher Hilfsenergiebedarf der Wärmepumpe für Raumheizung
$Q^*_{H,WP,in}$	kWh/M	von der Wärmepumpe bereitzustellende monatliche Heizenergie innerhalb des Temperaturintervalls
$Q_{H,WS}$	kWh/M	monatliche Verluste des Wärmespeichersystems für Raumheizung
$Q_{H,WS,HE}$	kWh/M	monatlicher Hilfsenergiebedarf zum Laden eines indirekt beheizten Heizungsspeichers
$Q_{H,WT}$	kWh/M	monatliche Verluste der Wärmebereitstellung durch Nah-/Fernwärme oder sonstige Wärmetauscher
$Q_{H,WV}$	kWh/M	monatliche Verluste des Wärmeverteilsystems der Raumheizung
$Q_{H,WV,HE}$	kWh/M	monatlicher Hilfsenergiebedarf für die Umwälzpumpe der Wärmeverteilung für Raumheizung

$Q_{h,zul}$	kWh/a	zulässiger jährlicher Heizwärmebedarf
$Q_{heiz, hour}$	W	Heizleistung in der jeweiligen Stunde
$Q_{HEB}$	kWh/a	jährlicher Heizenergiebedarf
$Q_{HEB, H}$	kWh/M	monatlicher Heizenergiebedarf für Raumheizung
$Q_{HEB, n}$	kWh/M	monatlicher Heizenergiebedarf
$Q_{HEB, ref}$	kWh/a	jährlicher Referenz-Heizenergiebedarf
$Q_{HEB, WW}$	kWh/M	monatlicher Heizenergiebedarf für Warmwasser
$Q_{HEB, zul}$	kWh/a	zulässiger jährlicher Heizenergiebedarf unter Berücksichtigung der Referenzausstattung und des maximal zulässigen Heizwärmebedarfes
$Q_{HTEB}$	kWh/a	jährlicher Heiztechnik-Energiebedarf
$Q_{HTEB, ref}$	kWh/a	jährlicher Referenz-Heiztechnik-Energiebedarf
$Q_{H,x, al}^*$	kWh/M	Wärmebedarf des zusätzlichen monatlichen Heizungssystems bei Alternativ-Betrieb
$Q_{H,x, pa}^*$	kWh/M	Wärmebedarf des zusätzlichen monatlichen Heizungssystems bei Parallel-Betrieb
$Q_i$	kWh/M	innere Wärmegewinne
$Q_{i,c}$	kWh/M	monatliche innere Wärmegewinne für Nicht-Wohngebäude im Kühlfall
$q_{i,c}$	W/m <sup>2</sup>	durchschnittliche spezifische Leistung der inneren Wärmegewinne im Kühlfall
$q_{i,c,n}$	W/m <sup>2</sup>	innere Wärmegewinne infolge Personen und Geräte im Kühlfall, bezogen auf die Bezugsfläche BF gemäß ÖNORM B 8110-6
$Q_{i,h}$	kWh/M	monatliche innere Wärmegewinne für Nicht-Wohngebäude im Heizfall
$q_{i,h}$	W/m <sup>2</sup>	durchschnittliche spezifische Leistung der inneren Wärmegewinne im Heizfall
$q_{i,h,n}$	W/m <sup>2</sup>	innere Wärmegewinne infolge Personen und Geräte im Heizfall, bezogen auf die Bezugsfläche BF gemäß ÖNORM B 8110-6
$Q_{i, hour}$	W	innere Wärmegewinne in der jeweiligen Stunde
$Q_{kom}^*$	kWh/M	vom Wärmeerzeuger bereitzustellende monatliche Heizenergie für Warmwasser und Raumheizung
$Q_{kom, FW}$	kWh/M	monatlichen Verluste der Wärmebereitstellung für Raumheizung und Warmwasser durch Nah-/ Fernwärme
$Q_{kom, K}$	kWh/M	monatliche Verluste des Heizkessels für Raumheizung und Warmwasser
$Q_{kom, K, bb}$	kWh/M	monatlicher Betriebsbereitschaftsverlust des Heizkessels für Raumheizung und Warmwasser
$Q_{kom, K, be}$	kWh/M	monatlicher Betriebsverlust des Heizkessels für Raumheizung und Warmwasser
$Q_{kom, KN}$	kWh/M	monatlichen Verluste von Heizkessel für Raumheizung und Warmwasser
$Q_{kom, SH}$	kWh/M	monatliche Verluste der Bereitstellung von Raumwärme und Warmwasser durch eine Beheizung mit elektrischer Energie
$Q_{kom, Vp}$	kWh/M	Zurückgewonnene monatliche Wärmeverluste von Verteilpumpen im Bereich Raumheizung und Warmwasser
$Q_{kom, WB}$	kWh/M	monatliche Verluste der kombinierten Wärmebereitstellung für Raumheizung und Warmwasser
$Q_{kom, WB, eh}$	kWh/M	zusätzliche monatliche Verluste des Wärmebereitstellungssystems für Raumheizung und Warmwasser durch die Einschalthäufigkeit
$Q_{kom, WT}$	kWh/M	monatliche Verluste der Wärmebereitstellung für Raumheizung und Warmwasser durch Nah-/Fernwärme oder sonstige Wärmetauscher
$Q_{kom, WT, s}$	kWh/M	monatliche Verluste der Wärmebereitstellung für Raumheizung und Warmwasser durch Nah-/Fernwärme oder sonstige Wärmetauscher (sekundär)
$Q_{kom, WT, t}$	kWh/M	monatliche Verluste der Wärmebereitstellung für Raumheizung und Warmwasser durch Nah-/Fernwärme oder sonstige Wärmetauscher (tertiär)
$Q_l$	kWh/M	monatliche Wärmeverluste nach ÖNORM B 8110-6
$Q_{L, HE}$	kWh/M	monatlicher Hilfsenergiebedarf der Lüftungsanlagen
$Q_{l, hour}$	W	gesamte Wärmeverluste in der jeweiligen Stunde
$Q_{LH}$	kWh/M	monatliche Verluste der Luftheizung
$Q_{lh}$	kWh/M	Nutzenergie der Luftheizung
$Q_{LH, LI, beh}$	kWh/M	zurückgewinnbare monatliche Verluste der Lüftungsleitungen in beheizten Räumen
$Q_{LH, HE}$	kWh/M	monatlicher Hilfsenergiebedarf des Ventilators für die Luftheizung
$Q_{LH, WA}$	kWh/M	Verluste für Wärmeabgabe der Luftheizung im jeweiligen Monat
$Q_{LH, WB}$	kWh/M	Verluste der Wärmebereitstellung der Luftheizung im jeweiligen Monat
$Q_{LH, WV}$	kWh/M	Verluste für Wärmeverteilung der Luftheizung im jeweiligen Monat
$Q_{nL, HE}$	kWh/M	monatliche Hilfsenergiebedarf des Ventilators für mechanische Lüftung
$Q_{nL, vv}$	kWh/M	Energie für die Vorwärmung eines ungeregelten Heizregisters
$Q_{opak, c, k, j}$	kWh/M	solarer Eintrag der opaken Oberfläche k mit der Orientierung) im Kühlfall

$q_{re}$	W/m <sup>2</sup>	Wärmestromdichte von rechts
$Q_s$	kWh/M	solare Gewinne
$Q_{s,hour}$	W	solare Gewinne in der jeweiligen Stunde
$Q_{Sol}$	kWh/M	monatlicher Bruttowärmeertrag
$Q_{Sol,B}$	kWh/M	monatlicher Bruttowärmeertrag des Kollektors
$Q_{Sol,beh}$	kWh/M	zurückgewinnbare monatliche Verluste der Rohrleitungen zwischen Solarkollektor und Speicher
$Q_{Sol,H}$	kWh/M	monatlicher Netto-Wärmeertrag des Solarkollektors für Raumheizung
$Q_{Sol,HE}$	kWh/M	monatlicher Hilfsenergiebedarf der Solaranlage
$Q_{Sol,N}$	kWh/M	monatlicher Netto-Wärmeertrag des Solarkollektors
$Q_{Sol,WW}$	kWh/M	monatlicher Netto-Wärmeertrag des Solarkollektors für Warmwasser
$Q_{Sol,WV}$	kWh/M	monatliche Wärmeverluste der Rohrleitungen des Kollektorkreises
$Q_T$	kWh/M	Transmissionswärmeverluste für den jeweiligen Monat gemäß
$Q_{T,hour}$	W	Transmissionswärmeverluste der jeweiligen Stunde
$Q_{V,hour}$	W	Lüftungswärmeverluste der jeweiligen Stunde
$Q_V$	kWh/M	Lüftungswärmeverluste für den jeweiligen Monat
$Q_{Vh,FL}$	kWh/M	Lüftungswärmeverlust im Heizfall infolge Fensterlüftung
$Q_{Vc,FL}$	kWh/M	Lüftungswärmeverlust im Heizfall infolge Fensterlüftung
$Q_{Vh,RLT}$	kWh/M	Lüftungswärmeverlust im Heizfall infolge einer RLT-Anlage
$Q_{Vc,RLT}$	kWh/M	Lüftungswärmeverlust im Kühlfall infolge einer RLT-Anlage
$Q_{Vh,Inf}$	kWh/M	Lüftungswärmeverlust im Heizfall infolge Infiltration
$Q_{Vh,Inf}$	kWh/M	Lüftungswärmeverlust im Kühlfall infolge Infiltration
$Q_{Vh}$	kWh/M	Lüftungswärmeverluste im Heizfall
$Q_{Vc}$	kWh/M	Lüftungswärmeverluste im Kühlfall
$Q_{WW}$	kWh/M	monatliche Verluste der Warmwasserbereitung
$Q_{WW}^*$	kWh/M	bereitzustellende monatliche Heizenergie für Warmwasser
$Q_{c,a}^*$	kWh/a	jährlicher Kühlbedarf gemäß wobei zur Berechnung die inneren Wärmegewinne und die Luftwechselrate null zu setzen sind (die Infiltration $n_x$ wird in diesem Fall mit dem Wert 0,15 angesetzt)
$Q_{tw}$	kWh/M	monatliche Warmwasser-Wärmebedarf
$Q_{WW,BE,HE}$	kWh/M	monatlicher Hilfsenergiebedarf der Fördereinrichtung für Biomasse
$Q_{WW,BE,HE,FG}$	kWh/M	monatlicher Hilfsenergiebedarf des Fördergebläses für Biomasse
$Q_{WW,BE,HE,FS}$	kWh/M	monatlicher Hilfsenergiebedarf der Förderschnecke für Biomasse
$Q_{WW,beh}$	kWh/M	zurückgewinnbare monatliche Verluste für Warmwasser
$Q_{WW,Geb,HE}$	kWh/M	monatlicher Hilfsenergiebedarf des Gebläses des Heizkessels für Warmwasser
$Q_{WW,HE}$	kWh/M	monatlicher Hilfsenergiebedarf für Warmwasserbereitung
$Q_{WW,K}$	kWh/M	monatliche Wärmeverluste von Heizkessel für Warmwasser im jeweiligen Monat
$Q_{WW,K,bb}$	kWh/M	monatlicher Betriebsbereitschaftsverlust des Heizkessels für Warmwasserbereitung
$Q_{WW,K,be}$	kWh/M	monatliche Betriebsverluste des Heizkessels für Warmwasser
$Q_{WW,K,HE}$	kWh/M	monatlicher Hilfsenergiebedarf eines Heizkessels für Warmwasser
$Q_{WW,WB,eh}$	kWh/M	zusätzliche monatliche Verluste der Wärmebereitstellung für Warmwasser durch die Einschalthäufigkeit
$Q_{WW,OV,HE}$	kWh/M	monatlicher Hilfsenergiebedarf der Ölvorwärmung des Heizkessels für Warmwasserbereitung
$Q_{WW,SH}$	kWh/M	monatliche Wärmeverluste der Wärmebereitstellung für Warmwasser durch elektrische Energie (z. B. Elektrodurchlauferhitzer)
$Q_{WW,Vp}$	kWh/M	zurückgewonnene monatliche Wärmeverluste von Verteilpumpen im Bereich Warmwasser innerhalb der Heizperiode
$Q_{WW,Vp,HE}$	kWh/M	monatlicher Hilfsenergiebedarf der Verteilpumpen für Warmwasser
$Q_{WW,WA}$	kWh/M	monatliche Wärmeverluste des Wärmeabgabesystems für Warmwasser
$Q_{WW,WB}$	kWh/M	monatliche Wärmeverluste des Wärmebereitstellungssystems für Warmwasserbereitung
$Q_{WW,WB,HE}$	kWh/M	monatlicher Hilfsenergiebedarf für Wärmebereitstellung für Warmwasser
$Q_{WW,WP}^*$	kWh/M	von der Wärmepumpe bereitzustellende monatliche Heizenergie für Warmwasser
$Q_{T,WW,WP,in}^*$	kWh/M	von der Wärmepumpe bereitzustellende monatliche Wärmemenge zur Warmwasserbereitung innerhalb des Temperaturintervalls

$Q_{WW, WS}$	kWh/M	monatlicher Verlust des Warmwasserspeichers
$Q_{WW, WS, HE}$	kWh/M	monatlicher Hilfsenergiebedarf zum Laden eines indirekt beheizten Warmwasserspeichers
$Q_{WW, WT}$	kWh/M	monatliche Verluste der Wärmebereitstellung für Warmwasser durch Nah-/Fernwärme oder sonstige Wärmetauscher
$Q_{WW, WT, s}$	kWh/M	monatliche Verluste der Wärmebereitstellung für Warmwasser im Sekundärkreis
$Q_{WW, WT, t}$	kWh/M	monatliche Verluste der Wärmebereitstellung für Warmwasser im Tertiärkreis
$Q_{WW, WT, HE}$	kWh/M	monatliche Hilfsenergiebedarf für den Betrieb des Warmwasser- Wärmetauschers
$Q_{WW, WW}$	kWh/M	monatliche Wärmeverluste des Wärmeverteilsystems für Warmwasser
$Q_{WW, WW, A}$	kWh/M	monatliche Aufheiz-/Abkühlverluste der Sticheitung des Wärmeverteilsystems der Warmwasserbereitung
$Q_{WW, WW, HE}$	kWh/M	monatlicher Hilfsenergiebedarf der Zirkulationspumpe
$Q_{WW}, Q_{WW, n}$	kWh/M	monatlicher Warmwasser-Wärmebedarf
$Q_{Umw, H}$	kWh/M	monatlicher Netto-Wärmeertrag der Wärmepumpe zur Raumheizung aus Umweltwärme
$Q_{Umw, WW}$	kWh/M	monatlicher Netto-Wärmeertrag der Wärmepumpe zum Warmwasser aus Umweltwärme
$Q_{Umw, WW, WP}$	kWh/M	monatlicher Netto-Wärmeertrag der Wärmepumpe zur Warmwasserbereitung aus Umweltwärme
$Q_{Umw, WW, WP, in}$	kWh/M	monatlicher Netto-Wärmeertrag der Wärmepumpe zur Warmwasserbereitung aus Umweltwärme innerhalb des jeweiligen Temperaturintervalls
$Q_{Umw, WP}$	kWh/M	monatliche Netto-Wärmeertrag der Wärmepumpe aus Umweltwärme
$Q_{Umw, WP, H}$	kWh/M	monatlicher Netto-Wärmeertrag der Wärmepumpe für Raumheizung aus Umweltwärme
$Q_{Umw, WP, in}$	kWh/M	monatlicher Netto-Wärmeertrag der Wärmepumpe aus Umweltwärme innerhalb des jeweiligen Temperaturintervalls
$Q_{Umw, WP, WW}$	kWh/M	monatlicher Netto-Wärmeertrag der Wärmepumpe für Warmwasser aus Umweltwärme
$Q_{ww, d}$	kWh/d	täglicher Warmwasser-Wärmebedarf
$Q_{WW, ZP, HE}$	kWh/M	monatlicher Hilfsenergiebedarf für Zirkulationspumpen
$q_{at}$	W/K	spezifische Wärmeverluste durch Anschlusssteile, Pumpen u. dgl.
$q_{b, WS}$	kWh/d	täglicher Bereitschaftsverlust des Wärmespeichers
$q_{b, WT}$	Wh/(kW · d)	täglicher Bereitschaftsverlust des Wärmetauschers
$q_{bb}$	kW/kW	spezifischer Betriebsbereitschaftsverlust des Heizkessels bei Betriebsbedingungen
$q_{bb, Pb}$	kW/kW	Betriebsbereitschaftsverlust des Heizkessels bei Prüfbedingungen
$q_{H, Ro, Anbindel}$	W/(m · K)	spezifische Wärmeabgabe von Anbindeleitungen für Raumheizung
$q_{H, Ro, beh}^*$	W	monatliche Wärmeabgabe der Rohrleitungen für Raumheizung in beheizten Räumen
$q_{H, Ro, Steigl}$	W/(m · K)	spezifische Wärmeabgabe von Steigleitungen für Raumheizung
$q_{H, Ro, Verteil}$	W/(m · K)	spezifische Wärmeabgabe von Verteilleitungen für Raumheizung
$q_{H, Ro, u}^*$	W	monatliche Wärmeabgabe der Rohrleitungen für Raumheizung in unbeheizten Räumen
$q_{H, WA}$	W/m <sup>2</sup>	spezifische Wärmeverluste des Wärmeabgabesystems
$q_{H, WA, 1}$	W/m <sup>2</sup>	spezifischer Wärmeverlust im Bereich Regelfähigkeit des Wärmeabgabesystems
$q_{H, WA, 2}$	W/m <sup>2</sup>	spezifischer Wärmeverlust im Bereich Anpassungsfähigkeit des Wärmeabgabesystems
$q_{H, WA, 3}$	W/m <sup>2</sup>	spezifischer Wärmeverlust im Bereich Heizkostenabrechnung des Wärmeabgabesystems
$q_{LH, LI}$	W/m <sup>2</sup>	Verlustfaktor der Verteilleitung der Luftheizung
$q_{Ro, A}$	W/m <sup>2</sup>	längenbezogene spezifische Wärmeabgabe der Sticheitung durch Aufheizung/Auskühlung
$q_{Ro, Anbindel}$	W/(m · K)	längenbezogene spezifische Wärmeabgabe Anbindeleitung
$q_{Ro, hor}$	W/(m · K)	längenbezogene spezifische Wärmeabgabe horizontaler Rohrleitung des Kollektorkreises
$q_{Ro, ver}$	W/(m · K)	längenbezogene spezifische Wärmeabgabe vertikaler Rohrleitung des Kollektorkreises
$q_{Ro, Steigl}$	W/(m · K)	längenbezogene spezifische Wärmeabgabe Steigleitung
$q_{Ro, Verteil}$	W/(m · K)	längenbezogene spezifische Wärmeabgabe Verteilleitung
$q_{Sol, Ro, beh}^*$	W	Wärmeabgabe der Rohrleitungen des Kollektorkreises in beheizten Räumen
$q_{Sol, Ro, hor}$	W/(m · K)	spezifische Wärmeabgabe von horizontalen Rohrleitungen des Kollektorkreises
$q_{Sol, Ro, u}^*$	W	Wärmeabgabe der Rohrleitungen des Kollektorkreises in unbeheizten Räumen
$q_{Sol, Ro, ver}$	W/(m · K)	spezifische Wärmeabgabe von vertikalen Rohrleitungen des Kollektorkreises
$q_{WW, Ro, beh}^*$	W	Wärmeabgabe der Rohrleitungen in beheizten Räumen

$Q_{WW,Ro,Steigl}$	W/(m.K)	spezifische Wärmeabgabe von Steigleitungen für Warmwasser
$Q_{WW,Ro,Verteil}$	W/(m.K)	spezifische Wärmeabgabe von Verteilungen für Warmwasser
$Q_{WW,Ro,u}^*$	W	Wärmeabgabe der Rohrleitungen in unbeheizten Räumen
$Q_{WW,Ro,Zirk-S}$	W/(m.K)	spezifische Wärmeabgabe von Rücklauf-Steigleitungen für Warmwasser
$Q_{WW,Ro,Zirk-V}$	W/(m.K)	spezifische Wärmeabgabe von Rücklauf-Verteilungen für Warmwasser
$Q_{WW,WA,1}$	W/m <sup>2</sup>	spezifischer Wärmeverlust aufgrund der Regelfähigkeit der Warmwasserabgabe
$Q_{WW,WA,2}$	W/m <sup>2</sup>	spezifischer Wärmeverlust im Bereich der Warmwasser- Verbrauchserfassung
$r$	m	Radius
$R_D$	J/(kg*K)	Gaskonstante von Wasserdampf
$r_F$	-	Reflexionsgrad der Fläche
$r_h$	-	Verhältniszahl für den Anteil der Heizung
$R_L$	J/kgK	Gaskonstante von Luft
$R_m$	kg/(m <sup>2</sup> .s.Pa)	Feuchtedurchgangswiderstand
$R_{se}$	m <sup>2</sup> .KW	Wärmeübergangswiderstand außen
$R_{si}$	m <sup>2</sup> .KW	Wärmeübergangswiderstand innen
$R_t$	m <sup>2</sup> .KW	Wämedurchlasswiderstand
$R_{t,r}$	m <sup>2</sup> .KW	Wämedurchlasswiderstand der restlichen Baustoffschichten
$RW$	EUR	Restwert
$r_{ww}$	-	Verhältniszahl für den Anteil des Warmwassers
$s$	Pa	Saugspannung
$s$	%	Wertsteigerung des RW
$S$	-	Faktor für die Wertsteigerung des RW
$S$	kWh/(m <sup>2</sup> .M)	monatliche Globalstrahlung auf die horizontale Fläche gemäß ÖNORM B 8110-5
$s_d$	m	wasserdampf-diffusionsäquivalente Luftschichtdicke: Dicke einer Luftschicht, die denselben Wasserdampf-Diffusionsdurchlasswiderstand aufweist wie die Schicht eines Stoffes mit der Dicke d und der Wasserdampf-Diffusionswiderstandszahl $\mu$ $s_d = \mu \cdot d$
$S_{ges}$	kWh/(m <sup>2</sup> .a)	Globalstrahlung auf die horizontale Fläche im gesamten Jahr gemäß ÖNORM B 8110-5
$SQ$		Oberflächenqualität (SQ ... surface quality)
$T$	K	absolute Temperatur
$t$	h/M	Stunden pro Monat
$T_A$	K	Temperatur der Außenluft
$t_{c,d}$	h/d	tägliche Betriebszeit der Kühlung
$t_{crit}$	h	kritische Zeit zur Verrottungsberechnung
$t_{FRL,min}$	h/M	monatliche Anzahl der Betriebsstunden unter der Außentemperatur, bei der das elektrische Heizregister zugeschaltet werden muss
$t_{FRL,min,j}$	h/M	monatliche Anzahl der Betriebsstunden des Frostschutzes bei einer Außentemperatur j in °C
$t_{FRL,VW,j}$	h/M	monatliche Anzahl der Betriebsstunden des Frostschutzes bei einer Außentemperatur j in °C
$T_{Grenz,li}$	K	Temperatur an der linken Schichtgrenze
$T_{Grenz,re}$	K	Temperatur an der rechten Schichtgrenze
$t_{H,BE,HE}$	h/M	monatliche Betriebsdauer der Komponenten mit Hilfsenergiebedarf der Fördereinrichtung für Biomasse
$t_{h,d}$	h/d	tägliche Betriebszeit der Heizung
$t_{H,K,bb}$	h/M	monatliche Betriebsbereitschaftsdauer des Heizkessels für Raumheizung
$t_{H,K,be}$	h/M	monatliche Laufzeit des Heizkessels für Raumheizung
$t_{H,K,HE}$	h/M	monatliche Betriebsdauer einzelner Komponenten des Heizkessels mit Hilfsenergiebedarf der Raumheizung
$t_{H,WA,HE}$	h/M	monatliche Betriebsdauer einzelner Komponenten der Wärmeabgabe (Gebläsekonvektor, Radiatoren, Einzelraumheizer, Flächenheizungen) mit Hilfsenergiebedarf der Raumheizung
$t_{H,WP}$	h/M	monatliche Laufzeit der Wärmepumpe
$t_{H,WP,in}$	h/M	monatliche Laufzeit der Wärmepumpe im jeweiligen Temperaturintervall
$t_{H,WS,HE}$	h/M	monatliche Betriebsdauer einzelner Komponenten der Wärmespeicherung mit Hilfsenergiebedarf der Raumheizung

$t_{H,WT,HE}$	h/M	monatliche Betriebsdauer einzelner Komponenten eines Wärmetauschers mit Hilfsenergiebedarf der Raumheizung
$t_{H,WV,HE}$	h/M	monatliche Betriebsdauer der Komponenten mit Hilfsenergiebedarf für Wärmeverteilung der Raumheizung
$t_{in}$	h/M	Stunden pro Monat innerhalb des betrachteten Temperaturintervalls
$t_j$	h/M	Anzahl der Stunden pro Monat bei einem Stundenmittel der Außentemperatur von $j$ °C
$t_{komK,bb}$	h/M	monatliche Betriebsbereitschaftsdauer des Heizkessels für Raumheizung und Warmwasserbereitung
$t_{komK,be}$	h/M	monatliche Laufzeit des Heizkessels für Raumheizung und Warmwasserbereitung
$T_L$	K	Lufttemperatur
$t_{LH}$	h/M	monatliche Betriebsdauer der Luftheizung
$t_{mL}$	h/M	monatliche Betriebsdauer der mechanischen Lüftungsanlage
$t_{Nacht,a}$	h/a	Nutzungsstunden zur Nachtzeit pro Jahr
$t_{NL,d}$	h/a	tägliche Betriebszeit der Nachtlüftung
$t_{Nutz}$	h/M	monatliche Nutzungsgesamtzeit (Nutzungstage mal Nutzungsstunden)
$t_{Nutz,d}$	h/d	tägliche Nutzungszeit
$T_O$	K	Oberflächentemperatur
$t_{op}$	°C	operative Temperatur
$T_R$	K	Temperatur des Raumes
$t_{RL,T,d}$	h/d	tägliche Betriebszeit der raumlufttechnischen Anlage
$t_{RL,T,d}$	h/d	tägliche Betriebsdauer der RLT-Anlage mit Nutzungsprofil gemäß ÖNORM B 8110-5
$t_s$	s	Zeit
$T_S$	K	Strahlungstemperatur
$T_{Schicht}$	K	Temperatur in der Schicht
$T_{Schicht,li}$	K	Temperatur in der linken Schicht
$T_{Schicht,re}$	K	Temperatur in der rechten Schicht
$t_{SD}$	min	Zeit zur Überbrückung der Schaltdifferenz
$T_{Sky}$	K	Himmelstemperatur
$t_{Sol,p}$	h/a	jährliche Laufzeit der Solarkreispumpe
$t_{Sol,Ve}$	h/a	jährliche Betriebszeit der elektrischer Ventile der Solaranlage
$t_{Tag,a}$	h/a	Nutzungsstunden zur Tageszeit pro Jahr
$t_p$	s	Periodendauer
$T_{Wärmequelle}$	K	Referenztemperatur der Wärmequelle für den Carnot-Vergleichsprozess einer Wärmepumpe bzw. Kältemaschine
$T_{Wärmesenke}$	K	Referenztemperatur der Wärmesenke für den Carnot-Vergleichsprozess einer Wärmepumpe bzw. Kältemaschine
$t_{WW,BE,HE}$	h/M	monatliche Betriebsdauer der Komponenten mit Hilfsenergiebedarf der Fördereinrichtung für Biomasse-Heizkessel der Warmwasserbereitung
$t_{WW,K,bb}$	h/M	monatliche Dauer der Betriebsbereitschaft des Heizkessels für Warmwasserbereitung
$t_{WW,K,be}$	h/M	monatliche Betriebsdauer des Heizkessels für Warmwasserbereitung
$t_{WW,K,HE}$	h/M	monatliche Betriebsdauer der Komponenten mit Hilfsenergiebedarf des Heizkessels für Warmwasser
$t_{WW,WS,HE}$	h/M	monatliche Betriebsdauer der Komponenten mit Hilfsenergiebedarf des Warmwasserspeichers
$t_{WW,WT,HE}$	h/d	tägliche Betriebsdauer der Wärmetauscher-Ladepumpe
$t_{WW,WV,HE}$	h/M	monatliche Betriebsdauer der Komponenten der Wärmeverteilung mit Hilfsenergiebedarf für Warmwasser
$T_0$	K	Referenztemperatur
$U$	W/(m <sup>2</sup> ·K)	Wämedurchgangskoeffizient
$U_{1/2}$	W/(m <sup>2</sup> ·K)	Wämedurchgangskoeffizient der halben Schicht
$U_i$	W/(m <sup>2</sup> ·K)	Wämedurchgangskoeffizient des Bauteils i
$U_{in}$	J	Innere Energie
$U_k$	W/(m <sup>2</sup> ·K)	Wämedurchgangskoeffizient der Teilfläche k
$U_k$	W/(m <sup>2</sup> ·K)	Wämedurchgangskoeffizient der Teilfläche k
$U_{Kess}$	W/(m <sup>2</sup> ·K)	Wämedurchgangskoeffizient für Pelletskessel
$U_m$	W/(m <sup>2</sup> ·K)	auf die Oberfläche des konditionierten Brutto-Volumens (wärmeabgebende Gebäudehüllfläche) bezogener Transmissions-Leitwert

$u_m$	-	massebezogener Feuchtigkeitsgehalt fester Stoffe: Verhältnis der Differenz von Feucht- und Trockenmasse zur Trockenmasse $u_m = \frac{m_f - m_{tr}}{m_{tr}}$
$U_{u,e}, U_{i,u}$	W/(m <sup>2</sup> .K)	U-Wert Einzelbauteils zwischen innen und unconditioniertem Raum bzw. zwischen unconditioniertem Raum und außen
$U_{Schicht,i}$	W/(m <sup>2</sup> .K)	Wärmedurchgangskoeffizient der linken Schicht
$U_{Schicht,re}$	W/(m <sup>2</sup> .K)	Wärmedurchgangskoeffizient der rechten Schicht
$u_v$	kg/m <sup>3</sup>	volumenbezogener Feuchtigkeitsgehalt fester Stoffe: Verhältnis des im feuchten Stoff enthaltenen Wasservolumens zum Volumen des trockenen Stoffes $u_v = \frac{u_m \cdot \rho_{tr}}{\rho_w}$
$V$	m <sup>3</sup>	konditioniertes Brutto-Volumen des Gebäudes/Gebäudeteils
$v$	m/s	Luftgeschwindigkeit
$VBW_{Rauchgas}$	W/K	Rauchgas-Verlustbeiwert für Kessel
$V_{r,u}$	m <sup>3</sup>	freies Luftvolumen des unconditionierten Raumes
$v_{gap}$	m/s	Luftgeschwindigkeit in der Hinterlüftungsebene
$V_{H,ws}$	l	Nenninhalt des Heizungsspeichers
$VK$	EUR	verbrauchsgebundene Baunutzungskosten als konstanter Wert pro Jahr
$VK_j$	EUR	verbrauchsgebundene Baunutzungskosten im Rechenjahr j
$V_L$	m <sup>3</sup>	Lüftungsvolumen des Gebäudes
$V_{L,s}$	m <sup>3</sup> /(h.m <sup>2</sup> )	immissionsflächenbezogener stündlicher Luftvolumenstrom
$V_V$	m <sup>3</sup>	energetisch wirksames Luftvolumen
$v_V$	m <sup>3</sup> /h	Luftvolumenstrom
$V_{V,real}$	m <sup>3</sup>	reales Lüftungsvolumen
$v_{VK}$	-	Verzinsungsfaktor für die VK
$V_{WW,ws}$	l	Nenninhalt des Warmwasserspeichers
$V_{Wass}$	l	Wasserinhalt des Kessels
$W$	J	Arbeit
$W$		Holzart
$wwwb$	Wh/(m <sup>2</sup> .d)	täglicher Warmwasser-Wärmebedarf, bezogen auf die Bezugsfläche BF gemäß ÖNORM B 8110-6
$x$	g/kg	absolute Feuchteanforderung (m. T. ... mit Toleranz: - ... keine Anforderung)
$x,y,z$	m	Ortskoordinaten
$Fc$	-	Abminderungsfaktor für bewegliche Sonnenschutzeinrichtungen

## 14 Literaturverzeichnis

- [ASH01] ASHRAE. International Weather for Energy Calculations. URL: [http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/cfm/weather\\_data2.cfm/region=6\\_europe\\_wmo\\_region\\_6](http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/cfm/weather_data2.cfm/region=6_europe_wmo_region_6) [Datum des Zugriffs: 21.11.2010].
- [BED12] Bednar, T.; Hanic, R., Holzer, T.; et. al.: Strategische Optimierung der Luftfeuchtereulation bei Lüftungsanlagen zur Reduktion des Energieeinsatzes für Be- und Entfeuchtungsanlagen. Projektbericht im Rahmen der Programmlinie „Energiesysteme der Zukunft“ Wien, 2012
- [BMW12] Bundesministerium für Wirtschaft, Familie und Jugend. URL: <http://www.bmwfj.gv.at/hp/klimadatenbank/Seiten/klimadaten.aspx> [Datum des Zugriffs: 22.05.2012]
- [BOI12] Bointer, Rafael, et. al.: Gebäude maximaler Energieeffizienz mit integrierter erneuerbarer Energieerschließung“, Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie, Wien, Juni 2012
- [BUN12] Bundesgesetzblatt – Arbeitsstättenverordnung – StF: BGBl. II Nr. 368/1998 – Änderung: BGBl. II Nr. 256/2009. Wien: 31.Juli.2012
- [CIM10] Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation, 2008 edition Updated in 2010, World Meteorological Organization, [ftp://ftp.wmo.int/Documents/MediaPublic/Publications/WMO8\\_CIMOguide/WMO8\\_Ed2008\\_Up2010\\_CORR1\\_en.pdf](ftp://ftp.wmo.int/Documents/MediaPublic/Publications/WMO8_CIMOguide/WMO8_Ed2008_Up2010_CORR1_en.pdf), Genf 2010
- [DIN11] DIN V 18599 , Energetische Bewertung von Gebäuden – Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung. Deutschland: Dezember 2011
- [DIN11a] DIN EN 61400, Windenergieanlagen - Teil 1: Auslegungsanforderungen. Deutschland: Dezember 2011
- [DIN12] DIN EN 12977-3, Thermische Solaranlagen und ihre Bauteile - Kundenspezifisch gefertigte Anlagen - Teil 3: Leistungsprüfung von Warmwasserspeichern für Solaranlagen;. Deutschland: Dezember 2012
- [DRA07] Draxler Erich, Kleeber Norbert. Handbuch zur Berechnung der Heizlast in Gebäuden mit Bezug auf ÖNORM EN 12831 und ÖNORM H 7500. Wien: Österreichisches Normungsinstitut. 2007.
- [DRÜ99] Drück, Harald: Speicher - Das Herz der Kombianlage. Beitrag Solar 99. Pforzheim, 1999.
- [DRÜ06] Drück, Harald, et all: Wärmespeicherung für Solaranlagen - Historie und Zukünftige Entwicklungen. Freiburg: Statusseminar "Thermische Energiespeicherung", 2006
- [ECO09] ecoinvent Datenbank, Version 2.1, 2009, <http://www.ecoinvent.org>

[EIC12] Eicker, Ursula: Solare Technologien für Gebäude – Grundlagen und Praxisbeispiele, 2. Auflage, Wiesbaden, Vieweg+Teubner, 2012.

[EIN11] Einfalt Alfred et al.: Konzeptentwicklung für ADRES - Autonome Dezentrale Erneuerbare Energie Systeme, FFG-Forschungsprojekt, Energie der Zukunft, 1. AS, Projektnummer: 815674, Endbericht, Wien 2011

[ENE10] Innovative und effiziente Beleuchtung – Energiesparverband Oberösterreich. Linz: 2010

[Feist 2012] Feist, Wolfgang (Hrsg.): Nachhaltige Energieversorgung mit Passivhäusern, Protokollband des Arbeitskreises kostengünstige Passivhäuser Nr. 46. Passivhaus Institut, Darmstadt 2012.

[FLO10] Floß, Alexander, et. al.: Effektivitätssteigerung von Wärmespeichern, Effektivitätssteigerung von Wärmespeichern. 2010

[FOU07] Fouad, Nabil; De Boer, Jan: Bauphysik Kalender 2007 – C Bauphysikalische Nachweisverfahren, Teil 4: Nutz- und Endenergiebedarf für Beleuchtung , 7.Jahrgang. Deutschland: Ernst & Sohn Verlag, 2007

[GEB12] Bointner, R.; Bednar, T.; Eikemeier, S. et al.: Gebäude maximaler Energieeffizienz mit integrierter erneuerbarer Energieerschließung, Projektbericht im Rahmen des Programms Haus der Zukunft, Wien, 2012

[GLÜ09] Glück Bernd: „Erdwärmekollektor Simulationsmodell ‚Erdwärmekollektor‘ zur wärmetechnischen Beurteilung von Wärmequellen, Wärmesenken und Wärme-/Kältespeichern“, Veröffentlicht bei der Rud. Otto Meyer-Umweltstiftung, 2009, Download: <http://berndglueck.de/veroeffentlichungen.php> (Abgerufen: 17.1.2010, 18:59)

[HÄB07] Häberlin, H.: „Photovoltaik – Strom aus Sonnenlicht für Verbundnetz und Inselanlagen“, AZVerlag, Aarau, 2007

[HAU03] Hau, Erich, et. al.: Windkraftanlagen, 3. Auflage, Springer,2003

[HDZ12] Haus der Zukunft Plus, 4. Ausschreibung, Leitfaden für Projekteinreichung, Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, Oktober 2012, Wien 2012

[HEC10] Heckmann, Mathias ,et all: Bestimmung von Jahresnutzungsgrad und Emissionsfaktoren von Biomasse - Kleinfeuerungen am Prüfstand. Wieselburg, BioEnergy 2020, 2010.

[Hei90] W. Heindl, T. Kornicki, A. Sigmund, „Erstellung halbsynthetischer Klimadatensätze für meteorologische Messstationen“, Forschungsbericht im Auftrag des Bundesministeriums für Wissenschaft und Forschung (GZ. 70.630/18-25/88) und des Amtes der NÖ - Landesregierung (Zl. NC 23-1988/1989), Wien (1990)

[HUB11] Huber-Fauland, H. et al.: „Simulationsvergleich von Pelletskesselmodellen“, Konferenzbeitrag zur BauSIM, 22.-24.9.2010, TU Wien, Wien, 2010

[IEA10] Annex 53, (2010) Total Energy Use in Buildings: Analysis & Evaluation Methods, The International Energy Agency (IEA), [www.ecbcsa53.org](http://www.ecbcsa53.org), 2010

[KAL06] Kaltschmitt, Martin, et. al.: Erneuerbare Energien, 4. Auflage, Springer, 2006

[Kom10] Mitteilung der Kommission an das Europäische Parlament, den Rat, den Europäischen Wirtschafts- und Sozialausschuss und den Ausschuss der Regionen, Energie 2020 Eine Strategie für wettbewerbsfähige, nachhaltige und sichere Energie, Europäische Kommission, KOM(2010) 639 endgültig, <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2010:0639:FIN:DE:PDF>, (Abgerufen: 03.09.2012)

[Kom11] Mitteilung der Kommission an das Europäische Parlament, den Rat, den Europäischen Wirtschafts- und Sozialausschuss und den Ausschuss der Regionen, Fahrplan für den Übergang zu einer wettbewerbsfähigen CO<sub>2</sub>-armen Wirtschaft bis 2050, Europäische Kommission, KOM(2011) 112 endgültig, <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2011:0112:FIN:de:PDF><http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2010:0639:FIN:DE:PDF>, (Abgerufen: 03.09.2012)

[KOR11] Korjenic, A.; Deseyve, C.; Höfer, T.; Bednar, T.: Validation and Analysis of Energy Performance Using Dynamic Simulations and Comparisons with Detailed Measurements – Nordic Symposium on Building Physics Tampere: 2011

[Kre10] K. Kreč; Halbsynthetische Klimadaten (HSKD) für Gebäudestandorte in Österreich; Kurzbericht im Rahmen des Haus der Zukunft – Forschungsprojekts „Gebäude maximaler Energieeffizienz mit integrierter erneuerbarer Energieerschließung“

[LEE10] Leeb, M.: „Abbildung von Personenströmen bei der Berechnung von Energiekennzahlen zur Optimierung von bau- und gebäudetechnischen Maßnahmen im Bürobau“, Diplomarbeit, TU Wien, 2010

[LEE11] Leeb, M.; Korjenic, A.; Deseyve, C.; Höfer, T.; Bednar, T.: Impact of Outdoor Climate and Life Style on the Total Energy Use in Office Buildings – Nordic Symposium on Building Physics Tampere: 2011

[LIN04] Linz, M.; Weder Mangel noch Übermaß - Über Suffizienz und Suffizienzforschung, Wuppertal Papers, Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie GmbH, Wuppertal 2004

[MAP12] GOOGLE Maps, Abgerufen am 5. 6. 2012 von <https://maps.google.at/>

[MAR11] Marek, Miara, et. al.: Wärmepumpen Effiziente – Messtechnische Untersuchung von Wärmepumpenanlagen zur Analyse und Bewertung der Effizienz im realen Betrieb. Fraunhofer ISE, Freiburg 2011

[OEK10] OEKLIM, V2.1, Programmpaket zur Berechnung von Temperaturstatistiken für Standorte in Österreich, © K. Kreč (2010)

- [OIB11] OIB – Richtlinie 6. Energieeinsparung und Wärmeschutz. Ausgabe: Oktober 2011  
Wien: Österreichisches Institut für Bautechnik, 2011
- [ONO96] ÖNORM M 7101, Begriffe der Energiewirtschaft - Allgemeine, Wien: Österreichisches Normungsinstitut. 1996
- [ONO97] ÖNORM EN 308, Wärmeaustauscher - Prüfverfahren zur Bestimmung der Leistungskriterien von Luft/Luft- und Luft/Abgas-Wärmerückgewinnungsanlagen, Wien: Österreichisches Normungsinstitut. 1997
- [ONO98] ÖNORM EN 255-1, Luftkonditionierer, Flüssigkeitskühlsätze und Wärmepumpen mit elektrisch angetriebenen Verdichtern - Heizen - Teil 1: Benennungen, Definitionen und Bezeichnungen, zurückgezogene Norm, Wien: Österreichisches Normungsinstitut. 1998
- [ONO99] ÖNORM EN 303-5, Heizkessel - Teil 5: Heizkessel für feste Brennstoffe, hand- und automatisch beschickte Feuerungen, Nenn-Wärmeleistung bis 300 kW - Begriffe, Anforderungen, Prüfungen und Kennzeichnung, Wien: Österreichisches Normungsinstitut. 1999
- [ONO03] ÖNORM EN 12831. Heizungsanlagen in Gebäuden, Verfahren zur Berechnung der Norm-Heizlast. Wien: Österreichisches Normungsinstitut. 2003.
- [ONO04] ÖNORM EN ISO 13791. Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden – Sommerliche Raumtemperaturen bei Gebäuden ohne Anlagentechnik – Allgemeine Kriterien und Validierungsverfahren. Wien: Österreichisches Normungsinstitut. 2004.
- [ONO05] ÖNORM EN ISO 9000, Qualitätsmanagementsysteme - Grundlagen und Begriffe (ISO 9000:2005) (mehrsprachige Fassung: de/en/fr), Wien: Österreichisches Normungsinstitut. 2005
- [ONO05a] ÖNORM EN ISO 15927-4, Wärme- und feuchtetechnisches Verhalten von Gebäuden - Berechnung und Darstellung von Klimadaten - Teil 4: Stündliche Daten zur Abschätzung des Jahresenergiebedarfs für Heiz- und Kühlsysteme (ISO 15927-4:2005), Wien: Österreichisches Normungsinstitut. 2005
- [ONO06] ÖNORM H 7500. Heizungssysteme in Gebäuden, Verfahren zur Berechnung der Norm-Heizlast. Wien: Österreichisches Normungsinstitut. 2006.
- [ONO06a] ÖNORM EN 12975-2. Thermische Solaranlagen und ihre Bauteile - Kollektoren - Teil 2: Prüfverfahren. Wien: Österreichisches Normungsinstitut. 2006.
- [ONO07a] ÖNORM EN 15255. Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden – Berechnung der wahrnehmbaren Raumkühllast - Allgemeine Kriterien und Validierungsverfahren. Wien: Österreichisches Normungsinstitut. 2007.
- [ONO07b] ÖNORM EN ISO 13786. Wärmetechnisches Verhalten von Bauteilen – Dynamisch-thermische Kenngrößen- Berechnungsverfahren. Wien: Österreichisches Normungsinstitut. 2007.

[ONO07c] ÖNORM EN 15316-1, Heizungsanlagen in Gebäuden - Verfahren zur Berechnung der Energieanforderungen und Nutzungsgrade der Anlagen - Teil 1: Allgemeines, Wien: Österreichisches Normungsinstitut. 2007

[ONO07d] ÖVE/ÖNORM EN 60904-1, Photovoltaische Einrichtungen - Teil 1: Messen der photovoltaischen Strom-/Spannungskennlinien (IEC 60904-1:2006): Österreichisches Normungsinstitut, ÖVE Österreichischer Verband für Elektrotechnik. 2007

[ONO07e] ÖNORM EN 15316-4-5, Heizungsanlagen in Gebäuden - Verfahren zur Berechnung der Energieanforderungen und Nutzungsgrade der Anlagen - Teil 4-5: Wärmeerzeugungssysteme, Leistungsfähigkeit und Effizienz von Fernwärme- und großvolumigen Systemen, Wien: Österreichisches Normungsinstitut. 2007

[ONO07f] ÖNORM EN 15316-4-6, Heizungsanlagen in Gebäuden - Verfahren zur Berechnung der Energieanforderungen und Nutzungsgrade der Anlagen - Teil 4-6: Wärmeerzeugungssysteme, photovoltaische Systeme, Wien: Österreichisches Normungsinstitut. 2007

[ONO07g] ÖNORM EN 15251: Eingangsparameter für das Raumklima zur Auslegung und Bewertung der Energieeffizienz von Gebäuden - Raumluftqualität, Temperatur, Licht und Akustik, Österreichisches Normungsinstitut, Wien, 2007.

[ONO08] ÖNORM EN 15193, Energetische Bewertung von Gebäuden. Wien: Österreichisches Normungsinstitut. 2011.

[ONO08a] ÖNORM EN 15603, Energieeffizienz von Gebäuden - Gesamtenergieverbrauch und Festlegung der Energiekennwerte Begriffsbestimmungen. Wien: Österreichisches Normungsinstitut. 2008

[ONO08d] ÖNORM EN ISO 13370, Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden - Wärmeübertragung über das Erdreich - Berechnungsverfahren, Wien: Österreichisches Normungsinstitut. 2008

[ONO10] ÖNORM H 5056, Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden - Heiztechnik-Energiebedarf, Wien: Österreichisches Normungsinstitut. 2010

[ONO10b] ÖNORM EN 13141-7, Lüftung von Gebäuden - Leistungsprüfungen von Bauteilen/Produkten für die Lüftung von Wohnungen - Teil 7: Leistungsprüfung von mechanischen Zuluft- und Ablufteinheiten (einschließlich Wärmerückgewinnung) für mechanische Lüftungsanlagen in Wohneinheiten (Wohnung oder Einfamilienhaus), Wien: Österreichisches Normungsinstitut. 2010

[ONO11] ÖNORM B 8110-5. Wärmeschutz im Hochbau – Klimamodell und Nutzungsprofile. Wien: Österreichisches Normungsinstitut. 2011.

[ONO11a] ÖNORM EN 12464-1, Licht und Beleuchtung – Beleuchtung von Arbeitsstätten – Teil 1: Arbeitsstätten in Innenräumen. Wien: Österreichisches Normungsinstitut. 2011.

[ONO11b] ÖNORM H 5057, Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden - Raumluftechnik-Energiebedarf für Wohn- und Nichtwohngebäude, Wien: Österreichisches Normungsinstitut. 2011

[ONO11c] ÖNORM EN 14511-1, Luftkonditionierer, Flüssigkeitskühlsätze und Wärmepumpen mit elektrisch angetriebenen Verdichtern für die Raumbeheizung und Kühlung - Teil 1: Begriffe, Wien: Österreichisches Normungsinstitut. 2011.

[ONO11d] ÖNORM EN 15879-1, Prüfung und Leistungsbestimmung von erdreichgekoppelten Direktübertragung - Wärmepumpen mit elektrisch angetriebenen Verdichtern zur Raumbeheizung und/oder -kühlung - Teil 1: Direktübertragung/Wasser-Wärmepumpe, Wien: Österreichisches Normungsinstitut. 2011.

[ONO12a] ÖNORM B 8110-3. Wärmeschutz im Hochbau – Vermeidung sommerlicher Überwärmung. Wien: Österreichisches Normungsinstitut. 2012.

[ONO12b] ÖNORM EN ISO 13791. Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden - Sommerliche Raumtemperaturen bei Gebäuden ohne Anlagentechnik - Allgemeine Kriterien und Validierungsverfahren. Wien: Österreichisches Normungsinstitut. 2012.

[ONO12c] ÖNORM H 6040. Berechnung der sensiblen und latenten Kühllast sowie der sommerlichen Temperaturgänge von Räumen und Gebäuden - (Nationale Ergänzungen zu ÖNORM EN 15255 und ÖNORM EN ISO 13791) Wien: Österreichisches Normungsinstitut. 2012.

[PLÖ08] H. Plöderl, M. Berger, G. Lang, et al.: Erste Passivhaus–Schulsanierung, Ganzheitliche Faktor 10 Generalsanierung der Hauptschule II und Polytechnischen Schule in Schwabenstadt mit vorgefertigten Holzwandelementen und Komfortlüftung, Berichte aus Energie- und Umweltforschung, Wien, 2008

[PRÖ09] Pröglhöf, C.: „On Patterns Of Control-Oriented Human Behaviour In Office Environments“ , Dissertation, TU Wien, 2009

[REC07] Schramek, E. (Hrsg.): Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik. Recknagel. Sprenger. Schramek. München: Oldenbourg Industrieverlag, 2007

[REI11] Reiß et.al.; PEB – Marktreifes Plus-Energie-Büro – Projektnummer 822247; Wien 2011 [www.hausderzukunft.at](http://www.hausderzukunft.at)

[SAL11] Salcher, Andreas: Modellierung eines Pelletskessel in Excel, IET Tu Wien, 2011

[SCH99] B. Schieferdecker, et al.: „Repräsentative VDEW-Lastprofile,“ VDEW-Materialien M32/99, 1999

[SCH13] Schöberl et.al.; Plus-Energie-Büro – Plus-Energie-Bürobau der Zukunft; Wien 2013 Endbericht wird 2013 veröffentlicht. [www.hausderzukunft.at](http://www.hausderzukunft.at)

[SIA04] SIA 380/4 Tageslichtnutzung – Einfluss der Tageslichtnutzung auf den Elektrizitätsbedarf von Beleuchtungsanlagen Zürich: 2004

[STR07] Streicher, Wolfgang, et. al: Fortschrittliche Wärmespeicher- Erhöhung von solarem Deckungsgrad und Kesselnutzungsgrad. Projekt zum IEA-SHC Task 32. Berichte aus Energie- und Umweltforschung, bmvit, 2007

[TOP12] Österreichische Energieagentur – Topprodukte Wien 2012. (Gefunden unter: [http://www.topprodukte.at/index.php?pid=produktlisten&topproductscat1=23&topproductscat2=57&topproductscat3=427&topprodukte\\_sort\\_listing=x&topprodukte\\_sort\\_direction=x&topprodukte\\_how\\_many\\_ds=1](http://www.topprodukte.at/index.php?pid=produktlisten&topproductscat1=23&topproductscat2=57&topproductscat3=427&topprodukte_sort_listing=x&topprodukte_sort_direction=x&topprodukte_how_many_ds=1) , abgerufen 28.08.2012, 18:51)

[VDI10] VDI 6007–Teil 3. Berechnung des instationären thermischen Verhaltens von Räumen und Gebäuden – Modell der solaren Einstrahlung. Düsseldorf: Verein Deutscher Ingenieure e.V. 2012.

[WAG09a] Wagner, W.; Prein, A., Mauthner, F.; et. al.: Energietechnische und baubiologische Begleituntersuchung Passivmehrfamilienhaus Utendorfsgasse. Projektbericht im Rahmen

[WAG09b] Wagner, W.; Prein, A., Felberbauer, K.P.; et. al.: Energietechnische und baubiologische Begleituntersuchung Passivhaus-Schulsanierung Schwanenstadt. Projektbericht im Rahmen der Programmlinie Haus der Zukunft, Wien, 2009

[WPZ12] Wärmepumpen Zentrum: Prüfergebnisse, Abgerufen am 2. 2. 2012 von <http://www.ntb.ch/fileadmin/Institute/IES/pdf/PruefResSW120117.pdf>

## 15 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Darstellung Bilanzgrenzen für Plus-Energie-Gebäude [IEA10].....	12
Abbildung 2: Plus-Energie-Gebäude am Beispiel des Plus-Energie-Dachgeschossausbaus Ybbsstraße Straßentrakt, Primärenergiebedarf (Et, Konversionsfaktor nicht erneuerbar).....	14
Abbildung 3: Organisation der Überarbeitung der europäischen und internationalen technischen Regeln für den Energieausweis (Quelle: <a href="http://www.cen.eu/cen/Sectors/Sectors/Construction/Events/Documents/2.1%20National%20implementation%20of%20EPBD%20-%20Jaap%20Hogeling.pdf">http://www.cen.eu/cen/Sectors/Sectors/Construction/Events/Documents/2.1%20National%20implementation%20of%20EPBD%20-%20Jaap%20Hogeling.pdf</a> ) .....	23
Abbildung 4: Betroffene Gremien zur Überarbeitung der europäischen und internationalen technischen Regeln für den Energieausweis (Quelle: <a href="http://www.cen.eu/cen/Sectors/Sectors/Construction/Events/Documents/2.1%20National%20implementation%20of%20EPBD%20-%20Jaap%20Hogeling.pdf">http://www.cen.eu/cen/Sectors/Sectors/Construction/Events/Documents/2.1%20National%20implementation%20of%20EPBD%20-%20Jaap%20Hogeling.pdf</a> ) .....	24
Abbildung 5: Monatlicher Endenergiebedarf, solarelektrische Energieproduktion, Biomassepotential und Stromexport eines Reihenendhauses in verschiedenen Energie- standards. Die Varianten unterscheiden sich nur bezüglich der Komponenten der Hülle inklusive der Lüftung, die Gebäudetechnik und der Haushaltsstrombedarf sind in allen Fällen identisch. Heizen und Warmwasserbereitung via Wärmepumpe. Aus [Feist 2012]. .....	29
Abbildung 6: Auszug aus dem statistischen Jahrbuch der UCTE 2004.....	40
Abbildung 7: Auszug aus dem statistischen Jahrbuch der UCTE 2006.....	41
Abbildung 8: Auszug aus dem statistischen Jahrbuch der UCTE 2008.....	42
Abbildung 9: jährlicher Strombedarf bzw. Haushaltsstrombedarf HHSB und der Beleuchtungsenergiebedarf <i>BelEB</i> in Abhängigkeit der Anzahl der Personen je Haushalt (Quelle: Morishita, Bednar, 2011, Evaluierungsprojekt eines Wiener Mehrfamilienhauses, detaillierte Auswertung von 27 Wohneinheiten unter Ausschluss von 4 Extremfällen: Veröffentlichung geplant) .....	56
Abbildung 10: Analyse verschiedener Haushaltsgeräte hinsichtlich dem Einsparungseffekt (Quelle: [TOP12]) .....	57
Abbildung 11: Vergleich verschiedener Lampen hinsichtlich Lichtausbeute und Lebensdauer (Quelle: [ENE10]) .....	57
Abbildung 12: Anwesenheitsprofil der BewohnerInnen in einem Mehrfamilienhaus. (Quelle: Morishita, Bednar, 2011, Evaluierungsprojekt eines Wiener Mehrfamilienhauses; Veröffentlichung geplant) .....	58
Abbildung 13: Analyse aller Komponenten im Bürobau plus Beleuchtung. Quelle:[SCH13].	59
Abbildung 14: Vergleich Primärenergiebedarf Referenzobjekt – PEB Passivhausstandard Effiziente Geräte Quelle:[REI11].....	60
Abbildung 15: Anwesenheitswahrscheinlichkeit eines typischen Bürobaues Quelle: [PRÖ09] .....	61
Abbildung 16: VDEW-Lastprofile (H0, G0, G1) [SCH99].....	62
Abbildung 17: Vergleich verschiedener Methoden zur Berücksichtigung von Verschattung.	65
Abbildung 18: Schema des Raumknotenmodells .....	82
Abbildung 19: Modell einer Schicht mit den Amplituden der thermischen/hygrischen Größen .....	83

Abbildung 20: Thermisches Modell mit n Schichten .....	84
Abbildung 21: Hygrisches Modell mit n Schichten .....	85
Abbildung 22: Schema des Zwei-Kapazitäten-Modells für opake Bauteile .....	88
Abbildung 23: Schema des Fenstermodells .....	91
Abbildung 24: Zusammenhang zwischen dem Tagesmittel der Globalstrahlung und der Außenlufttemperatur für verschiedene Standorte in Österreich, Datenquelle: IWEK Wetterdatensätze [ASH01].....	97
Abbildung 25: Zusammenhang zwischen dem Tagesmittel der Globalstrahlung und der Außenlufttemperatur mit Kennzeichnung des Auslegungszustands laut bestehender Normung für den Standort Wien (Winterfall) Datenquelle: Messdaten der Wetterstation der TU Wien in der Adolf-Blamauer-Gasse aus den Jahren 2005, 2007, 2008, 2009, 2010, 2011, 2012 (Jan-Apr). .....	98
Abbildung 26: Außenlufttemperaturverlauf für den Winterfall - Klimazustand 1 und Klimazustand 2 (Standort: Wien Landstraße).....	100
Abbildung 27: Außentemperaturverlauf während des Auslegungszeitraumes für den Winterfall (Standort: Wien Landstraße).....	101
Abbildung 28: Verlauf der Diffusstrahlung, Direktstrahlung und Globalstrahlung auf eine horizontale Fläche für den Klimazustand 1 (Winterfall, Standort: Wien Landstraße) .....	103
Abbildung 29: Verlauf der Diffusstrahlung, Direktstrahlung und Globalstrahlung auf nach Norden, Osten, Süden und Westen ausgerichtete Flächen für den Klimazustand 1 (Winterfall, Standort: Wien Landstraße).....	103
Abbildung 30: Verlauf der Diffusstrahlung, Direktstrahlung und Globalstrahlung auf eine horizontale Fläche für den Klimazustand 2 (Winterfall, Standort: Wien Landstraße) .....	104
Abbildung 31: Verlauf der Diffusstrahlung, Direktstrahlung und Globalstrahlung auf eine nach Norden ausgerichtete Fläche für den Klimazustand 2 (Winterfall, Standort: Wien Landstraße) .....	104
Abbildung 32: Verlauf der Diffusstrahlung, Direktstrahlung und Globalstrahlung auf eine nach Osten ausgerichtete Fläche für den Klimazustand 2 (Winterfall, Standort: Wien Landstraße) .....	104
Abbildung 33: Verlauf der Diffusstrahlung, Direktstrahlung und Globalstrahlung auf eine nach Süden ausgerichtete Fläche für den Klimazustand 2 (Winterfall, Standort: Wien Landstraße) .....	105
Abbildung 34: Verlauf der Diffusstrahlung, Direktstrahlung und Globalstrahlung auf eine nach Westen ausgerichtete Fläche für den Klimazustand 2 (Winterfall, Standort: Wien Landstraße) .....	105
Abbildung 35: Verlauf der Diffusstrahlung, Direktstrahlung und Globalstrahlung auf eine horizontale Fläche während des Auslegungszeitraums (Winterfall, Standort: Wien Landstraße) .....	106
Abbildung 36: Verlauf der Diffusstrahlung, Direktstrahlung und Globalstrahlung auf eine nach Norden ausgerichtete Fläche während des Auslegungszeitraums (Winterfall, Standort: Wien Landstraße) .....	106

Abbildung 37: Verlauf der Diffusstrahlung, Direktstrahlung und Globalstrahlung auf eine nach Osten ausgerichtete Fläche während des Auslegungszeitraums (Winterfall, Standort: Wien Landstraße) .....	107
Abbildung 38: Verlauf der Diffusstrahlung, Direktstrahlung und Globalstrahlung auf eine nach Süden ausgerichtete Fläche während des Auslegungszeitraums (Winterfall, Standort: Wien Landstraße) .....	107
Abbildung 39: Verlauf der Diffusstrahlung, Direktstrahlung und Globalstrahlung auf eine nach Westen ausgerichtete Fläche während des Auslegungszeitraums (Winterfall, Standort: Wien Landstraße) .....	108
Abbildung 40: Zusammenhang zwischen dem Tagesmittel der Globalstrahlung und der Außenlufttemperatur mit Kennzeichnung der Auslegungsklimazustände für den Winterfall Datenquelle: Messdaten der Wetterstation der TU Wien in der Adolf-Blamauer-Gasse aus den Jahren 2005, 2007, 2008, 2009, 2010, 2011, 2012 (Jan-Apr). .....	108
Abbildung 41: Luftwechselzahl für den Fall beheizter Nachbarwohnungen und unbeheizter Nachbarwohnungen.....	119
Abbildung 42: Außenlufttemperaturverlauf für den Sommerfall - Klimazustand 1 und Klimazustand 2.....	125
Abbildung 43: Außentemperaturverlauf während des Auslegungszeitraumes für den Sommerfall.....	126
Abbildung 44: Verlauf der Diffusstrahlung, Direktstrahlung und Globalstrahlung auf eine horizontale Fläche für den Klimazustand 1 (Sommerfall).....	128
Abbildung 45: Verlauf der Diffusstrahlung, Direktstrahlung und Globalstrahlung auf eine nach Norden ausgerichtete Fläche für den Klimazustand 1 (Sommerfall) .....	128
Abbildung 46: Verlauf der Diffusstrahlung, Direktstrahlung und Globalstrahlung auf eine nach Osten ausgerichtete Fläche für den Klimazustand 1 (Sommerfall) .....	129
Abbildung 47: Verlauf der Diffusstrahlung, Direktstrahlung und Globalstrahlung auf eine nach Süden ausgerichtete Fläche für den Klimazustand 1 (Sommerfall) .....	129
Abbildung 48: Verlauf der Diffusstrahlung, Direktstrahlung und Globalstrahlung auf eine nach Westen ausgerichtete Fläche für den Klimazustand 1 (Sommerfall) .....	130
Abbildung 49: Verlauf der Diffusstrahlung, Direktstrahlung und Globalstrahlung auf eine horizontale Fläche während des Auslegungszeitraums (Sommerfall) .....	131
Abbildung 50: Verlauf der Diffusstrahlung, Direktstrahlung und Globalstrahlung auf eine nach Norden ausgerichtete Fläche während des Auslegungszeitraums (Sommerfall) .....	131
Abbildung 51: Verlauf der Diffusstrahlung, Direktstrahlung und Globalstrahlung auf eine nach Osten ausgerichtete Fläche während des Auslegungszeitraums (Sommerfall).....	132
Abbildung 52: Verlauf der Diffusstrahlung, Direktstrahlung und Globalstrahlung auf eine nach Süden ausgerichtete Fläche während des Auslegungszeitraums (Sommerfall).....	132
Abbildung 53: Verlauf der Diffusstrahlung, Direktstrahlung und Globalstrahlung auf eine nach Westen ausgerichtete Fläche während des Auslegungszeitraums (Sommerfall) .....	133
Abbildung 54: Zusammenhang zwischen dem Tagesmittel der Globalstrahlung und der Außenlufttemperatur mit Kennzeichnung der Auslegungsklimazustände für den Sommerfall, Datenquelle: Messdaten der Wetterstation der TU Wien in der Adolf-Blamauer-Gasse aus den Jahren 2005, 2007, 2008, 2009, 2010, 2011, 2012 (Jan-Apr). .....	133

Abbildung 55: Taktverhalten eines Wärmeerzeugers mit unterschiedlichen Speichertypen, selbe Volumina [FLO10] .....	139
Abbildung 56: Energieflussdiagramm Biomassekessel [BOI12] .....	140
Abbildung 57: Wassertemperaturverlauf und Signale eines Pelletskessels [SAL11] .....	142
Abbildung 58: Kompressionskältemaschine /Wärmepumpe .....	143
Abbildung 59: Energiebilanz einer reversiblen a.) Kompressionskältemaschine und b.) Wärmepumpe .....	144
Abbildung 60: COP für unterschiedliche Wärmepumpen [MAR11] .....	145
Abbildung 61: Prüfergebnisse Sole/Wasser Wärmepumpen nach EN14511 [WPZ12] .....	145
Abbildung 62: Exemplarisches Kennlinienfeld einer Wärmepumpe .....	146
Abbildung 63: Verlege Art horizontaler Wärmeüberträger [KAL06] .....	149
Abbildung 64: Aufbau des Erdreichmodells .....	150
Abbildung 65: Vergleich der unterschiedlichen Erdreichmodelle .....	151
Abbildung 66: Zusammenhang zwischen Windgeschwindigkeit und am Generator abnehmbarer Leistung [KAL06] .....	153
Abbildung 67: Abhängigkeit des Höhenexponenten [HAU03] .....	154
Abbildung 68: Energiebilanz Solarkollektor .....	154
Abbildung 69: Winkelfaktor $K_{\theta}$ eines Solarkollektors in Abhängigkeit vom Einfallswinkel ...	156
Abbildung 70: Aufbau einer Solarzelle und deren Ersatzschaltbild. [HÄB07] .....	158
Abbildung 71: Einfluss von Strahlung und Temperatur auf die Strom- Spannung - Kennlinie unter Standardtestbedingungen. ....	159
Abbildung 72: Wärmeverlustrate nach DIN EN 12977 [DRÜ06] .....	160
Abbildung 73: Schichtenspeicher [EIC12] .....	162
Abbildung 74: Darstellung Bilanzgrenzen [IEA10] .....	164
Abbildung 75: Parameter des Beleuchtungsenergiebedarfs; Quelle: [FOU07] .....	165
Abbildung 76: Exemplarischer Wartungszyklus einer Beleuchtungsanlage; Quelle: [FOU07] .....	168
Abbildung 77: Einfluss der Fenstergeometrie auf den Tageslichtbereich; Quelle: [FOU07]	173
Abbildung 78: Schemaschnitte zur Erläuterung der verschiedenen Einflüsse und die geometrischen Größen für den Innenhof; Quelle: [DIN11] .....	176
Abbildung 79: Betriebszeiten des Sonnenschutzes mit verschiedenen Schwellenwerten [FOU07] .....	180
Abbildung 80: Abhängigkeit von Wirkleistung und Leistungsfaktor .....	183
Abbildung 81: Minimale Zonierung (7 Fassadennahe Zonen + 1 Kernzone) .....	184
Abbildung 82: Schematische Darstellung für eine konditionierte Zone und eine unkonditionierten Zone mit einer wärmeabgebenden Leitung .....	185
Abbildung 83: Schema einer Vollklimaanlage [BED12] .....	187
Abbildung 84: Benennung der einzelnen Anschlüsse eines Tauschers gemäß EN 308 [ONO97] .....	189
Abbildung 85: Beispielhafter Verlauf der Zustandsänderung im Kühlfall .....	191
Abbildung 86: Beispielhafter Verlauf der Zustandsänderung im Heizfall .....	192

Abbildung 87: Beispielhafter Verlauf der zuluftseitigen Rückwärmezahl für ein außen aufgestelltes Modulgerät mit einem Plattenwärmetauscher [Quelle: Messdaten AEE]	193
Abbildung 88: Geografische Lage Schwanenstadt [MAP12]	195
Abbildung 89: Passivhaus-Schule Schwanenstadt (Quelle: PAUAT Architekten ZTGmbH)	196
Abbildung 90: Passivhaus-Schule Schwanenstadt: Lageplan (Quelle: [PLÖ08], erweitert durch Schöberl & Pöll GmbH)	196
Abbildung 91: Passivhaus-Schule Schwanenstadt: Visualisierung Nordwest Vogelperspektive [PLÖ08]	197
Abbildung 92: Passivhaus-Schule Schwanenstadt – Planauszug: Grundriss 1. OG Hauptschule II [PLÖ08]	198
Abbildung 93: Schematische Darstellung des dezentralen Lüftungsgeräts „aeroschool“ (Quelle: Drexel und weiss energieeffiziente haustechniksysteme gmbh.)	201
Abbildung 94: Darstellung der Leistungsaufnahme des dezentralen Lüftungsgeräts „aeroschool“ in Abhängigkeit vom Volumenstrom bei unterschiedlichen Druckverlusten (Quelle: Drexel und weiss energieeffiziente haustechniksysteme gmbh.)	202
Abbildung 95: Globalstrahlung und mittlere Außentemperatur laut PHPP und Messwerten, Schwanenstadt, 1. Messjahr [WAG09b]	203
Abbildung 96: Raumklima in Tagesmittelwerten, Schwanenstadt, 1. Messjahr [WAG09b]	204
Abbildung 97: Übersicht Heizenergie, End- und Primärenergieeinsatz, Schwanenstadt 1. Messjahr [WAG09b]	204
Abbildung 98: Energiebilanz für Heizung und Warmwasser, Schwanenstadt, 1. Messjahr [WAG09b]	205
Abbildung 99: Verteilung des Stromverbrauchs, Schwanenstadt, 2. Messjahr [WAG09b]	206
Abbildung 100: Vergleich zwischen gemessenem Wärmeverbrauch für Warmwasser (M) und berechnetem Wärmeverbrauch (R) ohne Berücksichtigung der Kesselverluste	207
Abbildung 101: Vergleich zwischen gemessenem Wärmeverbrauch für Raumheizung (M) und berechnetem Wärmeverbrauch (R) ohne Berücksichtigung der Kesselverluste	207
Abbildung 102: Geografische Lage Utendorfgasse [MAP12]	208
Abbildung 103: Passivhaus Utendorfgasse (Foto Bruno Klomfar)	209
Abbildung 104: Passivhaus Utendorfgasse: Lage und Ansichten (Quelle: Arch. DI Franz Kuzmich)	209
Abbildung 105: Passivhaus Utendorfgasse: Grundriss 3. OG, Haus 2 (Quelle: Arch. DI Franz Kuzmich)	210
Abbildung 106: Schematische Darstellung des zentralen Lüftungsgeräts Utendorfgasse (Quelle: GTN)	213
Abbildung 107: Globalstrahlung und mittlere Außentemperatur laut PHPP und Messwerten, Utendorfgasse, 1. Messjahr [WAG09a]	214
Abbildung 108: Raumklima in Tagesmittelwerten, Utendorfgasse, 1. Messjahr [WAG09a]	215
Abbildung 109: Übersicht Heizenergie, Heizlast, End- und Primärenergieeinsatz, Utendorfgasse 1. Messjahr [WAG09a]	215
Abbildung 110: Energiebilanz für Heizung und Warmwasser, Utendorfgasse, 1. Messjahr [WAG09a]	216

Abbildung 111: Monatlicher Stromverbrauch, Utendorfgasse , 1. Messjahr [WAG09a].....	216
Abbildung 112: Vergleich zwischen gemessenen Wärmeverbrauch für Raumheizung (M) und berechnetem Wärmeverbrauch (R) ohne Berücksichtigung der Kesselverluste.....	217
Abbildung 113: Vergleich zwischen gemessenen Gasverbrauch für Raumheizung und Warmwasser (M) und berechnetem Wärmeverbrauch (R) .....	218
Abbildung 114: Building location.....	219
Abbildung 115: Building façade .....	220
Abbildung 116: “BuildOpt_VIE” building model. ....	222
Abbildung 117: Average presence in offices of the case study building .....	223
Abbildung 118: Energy flow diagram in kWh/m <sup>2</sup> -a for 2009 showing Ed, Er, Et, and Eb. ....	224
Abbildung 119: Heating energy demand—comparative measurements and calculations. ...	225
Abbildung 120: Lighting electricity consumption—comparative measurements and calculations. ....	226
Abbildung 121: Primary energy in kWh/m <sup>2</sup> GFA—comparative measurements and calculations. ....	227
Abbildung 122: Kenngrößen für Plus-Energie Energieausweis: Primärenergiebedarf gesamt nach OIB RL 6 2011 .....	233
Abbildung 123: Kenngrößen für Plus-Energie Energieausweis: Primärenergiebedarf gesamt nach ENEV .....	234
Abbildung 124: Kenngrößen für Plus-Energie Energieausweis: Netto-Primärenergiebedarf inkl. Nutzung.....	234
Abbildung 125: Kenngrößen für Plus-Energie Energieausweis: Netto-Primärenergiebedarf exkl. Nutzung.....	235
Abbildung 126: Veranschaulichung der Bilanzgrenzen, die bei der Verwendung der Konversionsfaktoren herangezogen werden. Diese Darstellungsmethode wird im Rahmen des IEA Annex 53 ISO TC 163 weiterentwickelt. ....	237

## 16 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Plus-Energie-Gebäude am Beispiel des Plus-Energie-Dachgeschossausbaus Ybbsstraße Straßentrakt, Endenergie, Primärenergiebedarf (Et, Konversionsfaktor total und nicht erneuerbar)	13
Tabelle 2: Konversionsfaktoren Kohle aus ecoinvent, Version 2.1, 2009 [ECO09]	34
Tabelle 3: Konversionsfaktoren Kohle OIB RL 6 [OIB11]	34
Tabelle 4: Konversionsfaktoren Heizöl aus ecoinvent, Version 2.1, 2009 [ECO09]	35
Tabelle 5: Konversionsfaktoren Heizöl OIB RL 6 [OIB11]	35
Tabelle 6: Konversionsfaktoren Erdgas aus ecoinvent, Version 2.1, 2009 [ECO09]	36
Tabelle 7: Konversionsfaktoren Erdgas OIB RL 6 [OIB11]	36
Tabelle 8: Konversionsfaktoren Biomasse Scheitholz aus ecoinvent, Version 2.1, 2009 [ECO09]	37
Tabelle 9: Konversionsfaktoren Biomasse Hackschnitzel aus ecoinvent, Version 2.1, 2009 [ECO09]	37

Tabelle 10: Konversionsfaktoren Biomasse Pellets aus ecoinvent, Version 2.1, 2009 [ECO09]	38
Tabelle 11: Konversionsfaktoren Biomasse Mittelwert aus ecoinvent, Version 2.1, 2009 [ECO09]	38
Tabelle 12: Konversionsfaktoren Biomasse OIB RL 6 [OIB11]	38
Tabelle 13: Konversionsfaktoren Strom aus ecoinvent, Version 2.1, 2009 [ECO09]	39
Tabelle 14: Konversionsfaktoren Strom Österreich-Mix [OIB11], Import-Mix	39
Tabelle 15: Importmengen	43
Tabelle 16: Importanteile	43
Tabelle 17: Importanteile bezogen auf Verbrauch	43
Tabelle 18: Konversionsfaktoren Fernwärme OIB RL 6 [OIB11]	48
Tabelle 19: 27 Orte der 7 Klimaregionen in Österreich	49
Tabelle 20: Tagesamplitude Ad	51
Tabelle 21: Monatsamplitude Am	51
Tabelle 22: Jahresmittelwert und Jahresamplitude	53
Tabelle 23: Tagesamplitude Ad	53
Tabelle 24: Monatsamplitude Am	53
Tabelle 25: Verschattungsfaktoren zur Berücksichtigung einer Horizontüberhöhung für den Sommer- und den Winterfall in Abhängigkeit der Neigung der Empfängerfläche	66
Tabelle 26: Verschattungsfaktoren zur Berücksichtigung der Fensterlaibung für den Sommer- und den Winterfall in Abhängigkeit der Neigung der Empfängerfläche	67
Tabelle 27: Verschattungsfaktoren zur Berücksichtigung eines Überhangs für den Sommer- und den Winterfall in Abhängigkeit der Neigung der Empfängerfläche	68
Tabelle 28: Einstufung der Berechnungsverfahren gemäß ÖNORM EN 15255 [ONO07a]	76
Tabelle 29: Untereinstufung der Berechnungsverfahren gemäß ÖNORM EN 15255 [ONO07a]	76
Tabelle 30: Erforderliche immisionsflächenbezogene speicherwirksame Masse $m_{w,l,min}$ in Abhängigkeit vom immisionsflächenbezogenen stündlichen Luftvolumenstrom $V_{L,s}$	79
Tabelle 31: Abschirmungskoeffizient für verschiedene Gebäudestandorte [DRA07]	111
Tabelle 32: Rechenwerte für die Temperatur in unbeheizten Nachbarräumen [DRA07]	112
Tabelle 33: Rechenwerte für die Temperatur in unbeheizten Dachräumen [DRA07]	113
Tabelle 34: Rechenwerte für die Temperatur in unbeheizten eingebauten Stiegenhäusern mit einer Außenwand [DRA07]	114
Tabelle 35: Abschirmungskoeffizient für verschiedene Gebäudestandorte [DRA07]	120
Tabelle 36: Rechenwerte der spezifischen elektrischen Bewertungsleistung $p_{lx}$ bezogen auf die Grundfläche je lx Wartungswert der Beleuchtungsstärke auf der Nutzebene für Leuchten mit stabförmigen Leuchtstofflampen und elektronischen Vorschaltgeräten (EVG)	167
Tabelle 37: Zusammenhang zwischen $\bar{E}_m$ und $\bar{E}_u$ ; Quelle: [ONO11a]	168
Tabelle 38: Anpassungsfaktor $k_L$ für unterschiedliche Lampentypen; Quelle: [DIN11]	170
Tabelle 39: Anpassungsfaktor $k_R$ zur Berücksichtigung des Einflusses der Raumauslegung; Quelle: [DIN11]	171

Tabelle 40: Richtwerte für Lichttransmissionsgrade $\tau_{D65, SNA}$ aus [DIN11]	178
Tabelle 41: Anhaltswerte für Lichttransmissionsgrade $\tau_{eff, SA}$ aus [DIN11]	179
Tabelle 42: Gebäudehülle laut PHPP Schwanenstadt	199
Tabelle 43: Umgebungsverschattung laut PHPP Schwanenstadt	199
Tabelle 44: Leistungsdaten Pelletkessel Schwanenstadt	200
Tabelle 45: Leistungsdaten Warmwasserbereitstellung – Boiler	200
Tabelle 46: Leistungsdaten Warmwasserbereitstellung – dezentrale Druckspeicher	200
Tabelle 47: Leitungslängen und Dämmung Schwanenstadt	201
Tabelle 48: Technische Daten des dezentralen Lüftungsgeräts „aeroschool“ (Quelle: Drexel und weiss energieeffiziente haustechniksysteme gmbh.)	202
Tabelle 49: Gebäudehülle laut PHPP Utendorfasse (Haus 2)	211
Tabelle 50: Umgebungsverschattung laut PHPP Utendorfasse (Haus 2)	211
Tabelle 51: Leistungsdaten Gasbrennwertkessel Utendorfasse (Haus 2)	212
Tabelle 52: Heizwärmeverteilung - Leitungslängen und Dämmung Utendorfasse (Haus 2)	212
Tabelle 53: Brauchwarmwasserverteilung - Leitungslängen und Dämmung Utendorfasse (Haus 2)	212
Tabelle 54: Technische Daten des zentralen Lüftungsgeräts für Utendorfasse (Haus 2)	213
Tabelle 55: window specifications	221
Tabelle 56: office equipement energy load	222
Tabelle 57: Electricity use breakdown by floor and category in kWh	225
Tabelle 58: Übersicht $KB_{NP}$ für Nicht-Wohn-Gebäude	230
Tabelle 59: Energieaufwandszahl $e_{AWZ}$ für Gebäude $BGF \leq 400 \text{ m}^2$	231
Tabelle 60: Energieaufwandszahl $e_{AWZ}$ für Gebäude $BGF > 400 \text{ m}^2$	232

## 17 Anhang

- Projektbericht „Konversionsfaktoren der Endenergie für Gebäude“ Umweltbundesamt
- Projektbericht „Untersuchung von Allokationsmethoden für KWK-Anlagen“, Umweltbundesamt
- Schulungstool

# **KONVERSIONSFAKTOREN UND PRIMÄRENERGIEFAKTOREN DER ENERGIEBEREITSTELLUNG FÜR GEBÄUDE**

Abgeleitet aus den Lebenszyklus-Emissionen  
in der Datenperiode 2004-2007

Storch Alexander  
Böhmer Siegmund  
Fischer Daniela  
Gössl Michael  
Pölz Werner  
Reisinger Hubert

**Projektleitung**

Alexander Storch

**AutorInnen**

Siegmund Böhmer, Daniela Fischer, Michael Gössl, Werner Pölz, Hubert Reisinger,

**Lektorat**

Maria Deweis

Weitere Informationen zu Umweltbundesamt-Publikationen unter: <http://www.umweltbundesamt.at/>

**Impressum**

Medieninhaber und Herausgeber: Umweltbundesamt GmbH  
Spittelauer Lände 5, 1090 Wien/Österreich

*Diese Publikation erscheint ausschließlich in elektronischer Form*

**<http://www.umweltbundesamt.at/>**

© Umweltbundesamt GmbH, Wien, 2012

Alle Rechte vorbehalten

# INHALT

<b>1</b>	<b>EINLEITUNG.....</b>	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>GRUNDLEGENDES.....</b>	<b>6</b>
2.1	Konversions- und Primärenergiefaktoren.....	6
2.2	LCA-Herstellungsaufwand.....	7
2.3	Abgrenzung.....	7
2.4	Kurzdefinitionen.....	9
<b>3</b>	<b>ERGEBNISSE .....</b>	<b>12</b>
3.1	Konversions- und Primärenergiefaktoren.....	12
3.2	LCA-Herstellungsaufwand.....	13
<b>4</b>	<b>INTERPRETATION UND PLAUSIBILISIERUNG.....</b>	<b>14</b>
<b>5</b>	<b>METHODIK UND DOKUMENTATION .....</b>	<b>17</b>
5.1	<b>Methodik.....</b>	<b>17</b>
5.1.1	Konversions- und Primärenergiefaktoren.....	17
5.1.2	LCA-Herstellungsaufwand.....	25
5.2	<b>Einflüsse auf die Ergebnisqualität .....</b>	<b>27</b>
<b>6</b>	<b>VERZEICHNISSE .....</b>	<b>29</b>
6.1	Literaturverzeichnis .....	29
6.2	Tabellenverzeichnis .....	29
6.3	Abbildungsverzeichnis .....	29
<b>7</b>	<b>ANHANG .....</b>	<b>31</b>

## ZUSAMMENFASSUNG

Im vorliegenden Bericht wurden nationale Konversionsfaktoren und Primärenergiefaktoren berechnet. Die wesentlichen Ergebnisse sind in der folgenden Tabelle zusammengefasst:

	Konversionsfaktor		Primärenergiefaktor
	in g CO <sub>2</sub> /kWh <sub>Endenergie</sub>	in g CO <sub>2</sub> -Äquivalent/kWh <sub>Endenergie</sub>	in kWh/kWh <sub>Endenergie</sub>
Kohle (Steinkohle, Braunkohle, Briketts, Koks)	363	420	1,13
Heizöl (HL, HEL, HEL schwefelfrei)	298	302	1,126
Erdgas	231	257	1,213
Flüssiggas	263	266	1,125
Scheitholz (inkl. Holzbriketts)	17	26	1,074
Energiehackgut	34	37	1,126
Pellets	40	49	1,177
Stromaufbringung in Österreich (Stromerzeugung in Österreich + Stromimporte, Durchschnitt 2004 bis 2007)	380	415	2,074
Fernwärme in Österreich (inkl. KWK-Durchschnitt von 2004 bis 2007)	247	274	1,58
Fernwärme Biomassewerk (10 % Erdgas, 2007)	75	87	1,395

Zusätzlich dazu wurde auch der Herstellungsaufwand unterschiedlicher Wärmepumpenarten und Pufferspeichervolumina auf Lebenszyklusbasis errechnet. Die Ergebnisse dieser Berechnungen finden Sie im Kapitel 3.2 LCA-Herstellungsaufwand.

# 1 EINLEITUNG

Im vorliegenden Bericht wurden auf Basis einer Lebenszyklusanalyse (LCA) nationale Konversions- und Primärenergiefaktoren für die in Wohngebäuden und Nichtwohngebäuden eingesetzten Energieträger berechnet.

Die errechneten Konversions- und Primärenergiefaktoren geben die – im österreichischen Durchschnitt - zu erwartende Menge an CO<sub>2</sub> bzw. Primärenergie je Kilowattstunde bereitgestellte Endenergie für Gebäude in Durchschnitt der Jahre 2004-2007 an. Die Berechnung erfolgte auf Basis der Lebenszyklusanalyse für Kohle, Heizöl, Erdgas, Flüssiggas, Scheitholz, Energiehackgut, Pellets, für die Stomaufbringung in Österreich, für die Fernwärme in Österreich allgemein und für Fernwärme aus Biomassewerken.

Zusätzlich zu den Konversions- und Primärenergiefaktoren wurde der LCA-Herstellungsaufwand für Wärmepumpen und Pufferspeicher errechnet. Dieser bildet die LCA-Emissionen bzw. den LCA-Primärenergieeinsatz je Kilowatt Nennwärmeleistung bzw. je Liter Füllvolumen ab.

Diese Studie wurde im Rahmen des Forschungsprojektes ÖNORM Plus-Energie in der Ausschreibung „Haus der Zukunft plus“ erstellt.

Die Veröffentlichung erfolgt ausschließlich online auf [www.umweltbundesamt.at](http://www.umweltbundesamt.at) und in den Berichten des Forschungsprojektes „ÖNORM Plus-Energie“.

## 2 GRUNDLEGENDES

### 2.1 Konversions- und Primärenergiefaktoren

#### **Durchschnittliche CO<sub>2</sub>-Emissionen**

Konversionsfaktoren werden auf Basis der Lebenszyklusanalyse (LCA) errechnet und berücksichtigen – im Unterschied zu Emissionsfaktoren – den gesamten durchschnittlichen Lebensweg eines Energieträgers.

Konversionsfaktoren geben die CO<sub>2</sub> und CO<sub>2</sub>-Äquivalent-Emissionen pro kWh Endenergie an. Primärenergiefaktoren geben die kWh Primärenergie pro kWh Endenergie an.

Bei den hier veröffentlichten Konversionsfaktoren handelt es sich um nationale Werte, sie bilden den österreichischen Durchschnitt für die Jahre 2004 bis 2007 ab. Sie beschreiben den Ist-Zustand in diesen Jahren, dienen der Veranschaulichung und können für die Berechnung von charakteristischen Emissionen herangezogen werden.

#### **Eignung der Konversions- faktoren**

Die Ergebnisse nachfolgender Berechnungen besitzen durch die gemeinsame Datengrundlage eine gute Vergleichbarkeit der unterschiedlichen Energieträger für den gesamten österreichischen Gebäudebestand.

Die tatsächlichen Emissionen eines konkreten Gebäudes mit einer konkreten Energiebereitstellung können von den durchschnittlichen österreichischen Werten, welche durch die nationalen Konversionsfaktoren dargestellt werden, erheblich abweichen. Aus diesem Grund dienen die ermittelten Konversionsfaktoren zwar der Charakterisierung und Abschätzung, jedoch nicht der Darstellung der tatsächlichen Emissionen eines konkreten Gebäudes.

Dies gilt insbesondere für die Energieträger Fernwärme und Strom. Der Brennstoffmix bei der Umwandlung in Fernwärme und die Verteilungsverluste variieren je nach Energieversorgungsunternehmen. Sie können außerdem starken tages- und jahreszeitlichen Schwankungen unterliegen. Bei der Bereitstellung von elektrischer Energie für ein konkretes Gebäude kommt zu diesen Schwankungen noch die spezifische Vertrags- und Nutzungssituation hinsichtlich der Bezugszeiten und des Brennstoffmix der Endverbraucher hinzu.

Eine allfällige dezentrale Stromerzeugung aus erneuerbaren Energieträgern kann zu erheblichen Abweichungen der Emissionen im Vergleich zu den nationalen Durchschnittswerten führen (z.B. Photovoltaik oder die Umwandlung in elektrische Energie bei konkreten Gebäuden bzw. der zugehörigen Liegenschaft). Die dezentrale Erzeugung von Wärme und Kälte mittels Solarthermie, Wärmepumpen und anderen erneuerbaren Energieträgern kann die konkreten Emissionen für die Bereitstellung ebenfalls wesentlich beeinflussen.

**Welche Konversions- und Primärenergiefaktoren wurden berechnet?**

**Berechnete Konversionsfaktoren** Die Berechnung der Konversionsfaktoren erfolgte mit GEMIS 4.5.

Es wurden Konversionsfaktoren für die Energieträger Kohle, Heizöl, Erdgas, Flüssiggas, Scheitholz, Energiehackgut und Pellets, des Weiteren für die gesamte Fernwärme in Österreich, für die Fernwärme aus Biomasseheizwerken sowie für die Gesamtstromaufbringung in Österreich ermittelt. Die Gesamtstromaufbringung berücksichtigt zusätzlich zum österreichischen Kraftwerkspark noch die Stromimporte und -exporte.

## 2.2 LCA-Herstellungsaufwand

Die Berechnung des LCA-Herstellungsaufwandes erfolgte mit GEMIS 4.5 für drei Arten von Wärmepumpen und für Pufferspeicher mit unterschiedlichen Füllvolumina. Abgebildet werden die Emissionen und der Primärenergieeinsatz der Herstellung der Energieumwandlungs- und -speicheranlagen auf LCA-Basis. Nicht abgebildet werden – räumlich betrachtet – zum Betrieb der Anlage notwendige Installationen und Baulichkeiten und – zeitlich betrachtet – der tatsächliche Betrieb über die Lebensdauer sowie die Entsorgung der Anlage. Die Emissionen der Anlagenherstellung sind im Verhältnis zu den Emissionen des Anlagenbetriebes meist nur sehr gering. Aus diesem Grund ist der LCA-Herstellungsaufwand nicht zu einer umfassenden Anlagendarstellung geeignet. Die errechneten Werte eignen sich nicht zum direkten Vergleich mit den Konversions- und Primärenergiefaktoren, da sie nicht die gleiche Datengrundlage besitzen und diese auch generell in unterschiedlichen Einheiten angegeben werden. Sie sind jedoch als Grundlage für weitere Studien und Modelle geeignet.

## 2.3 Abgrenzung

Der wesentliche Unterschied zwischen LCA Konversions- und Primärenergiefaktoren und dem LCA-Herstellungsaufwand liegt in der Datengrundlage.

**Datengrundlage:** Während Konversions- und Primärenergiefaktoren den gesamten Lebenszyklus der Anlagen darstellen und den österreichweiten Durchschnitt abbilden wurde beim LCA-Herstellungsaufwand ausschließlich die Herstellung der Anlagen auf LCA-Basis berücksichtigt. Um den LCA-Herstellungsaufwand mit den Konversions- und Primärenergiefaktoren vergleichen zu können, müsste beim LCA-Herstellungsaufwand zusätzlich noch die Betriebsdauer der Anlagen modelliert werden.

Eine grafische Übersicht über die Datengrundlage gibt die folgende Abbildung:

## Konversions- und Primärenergiefaktoren



## LCA-Herstellungsaufwand



Abbildung 1: Vergleich der Datengrundlagen

**Einheit:** Konversions- und Primärenergiefaktoren beziehen die CO<sub>2</sub>-Emissionen immer auf 1 kWh Endenergie (Einheit: g CO<sub>2</sub>/kWh), während sich der LCA-Herstellungsaufwand auf 1 kW Anlagennennleistung (Einheit: g CO<sub>2</sub>/kW) bzw. auf 1 Liter Speicherleistung (Einheit: g CO<sub>2</sub>/l) bezieht.

**Eignung der Ergebnisse:** Sowohl Konversions- und Primärenergiefaktoren als auch der LCA-Herstellungsaufwand eignen sich zur Charakterisierung, jedoch nicht zur Gesamtdarstellung von Einzelanlagen. Im Fall der Konversions- und Primärenergiefaktoren können die Werte durch die jeweilige Betriebsweise und durch anlagenspezifische Besonderheiten vom österreichischen Durchschnitt abweichen. Beim LCA-Herstellungsaufwand können die Werte zwar auf die Nennleistung einer Einzelanlage bezogen werden, zusätzlich müsste aber noch der Betrieb und die Betriebsdauer der Anlage berechnet werden, da der LCA-Herstellungsaufwand nicht den Betrieb berücksichtigt.

Die folgende Tabelle charakterisiert die wesentlichen Unterschiede zwischen Konversions- und Primärenergiefaktoren und dem LCA-Herstellungsaufwand:

Tabelle 1: Unterscheidung Konversions- bzw. Primärenergiefaktoren und LCA-Herstellungsaufwand

	LCA-Konversions- und Primärenergiefaktoren	LCA-Herstellungsaufwand
Einheit	Konversionsfaktor: g CO <sub>2</sub> /kWh <sub>Endenergie</sub>  Primärenergiefaktor: kWh/kWh <sub>Endenergie</sub>	LCA-Herstellungsaufwand g CO <sub>2</sub> /kW <sub>Nennwärmeleistung</sub> g CO <sub>2</sub> /l <sub>Speichervolumen</sub> kWh/kW <sub>Nennwärmeleistung</sub> kWh/l <sub>Speichervolumen</sub>
Datengrundlage	Österreichischer Durchschnitt (LCA)  <input checked="" type="checkbox"/> Emissionen der Herstellung auf Life-Cycle-Basis  <input checked="" type="checkbox"/> Emissionen des Betriebes bzw. der Energieumwandlung  <input type="checkbox"/> Emissionen der Entsorgung sind nicht enthalten	Der Herstellungsaufwand einer typischen Anlage (LCA)  <input checked="" type="checkbox"/> Emissionen der Herstellung auf Life-Cycle-Basis  <input type="checkbox"/> Emissionen des Betriebes bzw. der Energieumwandlung sind nicht enthalten  <input type="checkbox"/> Emissionen der Entsorgung sind nicht enthalten

Geeignet für die Darstellung einer Vielzahl von Anlagen?	<p><b>■ JA</b></p> <p>Begründung: Die Werte beziehen sich auf den österreichischen Durchschnitt und betrachten den gesamten Lebensweg (LCA) exkl. der Entsorgung.</p>	<p><input type="checkbox"/> <b>BEDINGT</b></p> <p>Begründung: Die Werte enthalten a) nur die Emissionen der Herstellung typischer Anlagen und b) nicht den österreichischen Durchschnitt.</p>
Geeignet für die Darstellung der Gesamtemissionen einer Einzelanlage (je kWh) ?	<p><b>■ JA</b></p> <p>Geeignet für die Charakterisierung, nicht jedoch zur Detaildarstellung, da Einzelanlagen stark vom österreichischen Durchschnitt abweichen können und die Emissionen der Entsorgung nicht inkludiert sind.</p>	<p><input type="checkbox"/> <b>NEIN</b></p> <p>Begründung: Um die gesamten Emissionen zu erhalten, müsste ergänzend die Betriebsdauer und die Entsorgung der Anlage modelliert werden.</p>
Geeignet für die Darstellung der Herstellungsemissionen einer Einzelanlage?	<p><input type="checkbox"/> <b>NEIN</b></p> <p>Begründung: In KF und PEF ist neben der Herstellung auch der Betrieb der Anlage inkludiert.</p>	<p><b>■ JA</b></p> <p>Wenn die Einzelanlage einer typischen Anlage ähnlich ist.</p>

## 2.4 Kurzdefinitionen

Im folgenden Kapitel werden einige für die Berechnung der Konversionsfaktoren relevante und oft verwendete Begriffe kurz erläutert.

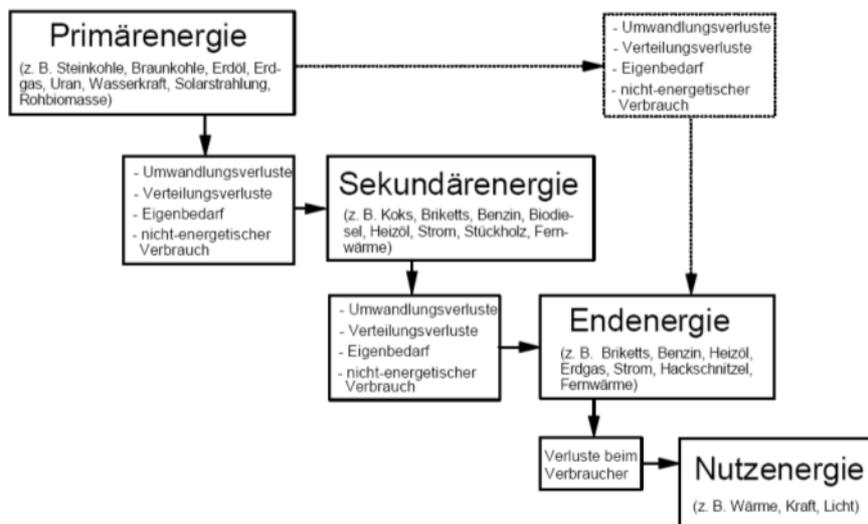


Abbildung 2: Schema der Energieumwandlungskette (KALTSCHMITT, 2009)

**Primärenergie:** Unter Primärenergie (bzw. unter Primärenergieträgern) werden Energieformen verstanden, die noch keiner technischen Umwandlung unterworfen wurden (z. B. Rohsteinkohle, Rohbraunkohle, Roherdöl, Rohbiomasse, Windkraft, Solarstrahlung, Erdwärme) (KALTSCHMITT 2009).

**Primärenergiefaktor:** Der Primärenergiefaktor, auch kumulierter Energieaufwand (KEA) genannt, ist die Summe aller Energieaufwendungen, die zur Herstellung und Nutzung eines Produktes oder einer Dienstleistung benötigt werden. Primärenergiefaktoren zeigen wie energieintensiv ein Prozess ist.

**Sekundärenergie:** Sekundärenergie bzw. Sekundärenergieträger werden durch Umwandlungen in (energie-)technischen Anlagen aus Primär- oder anderen Sekundärenergieträgern bzw. -energien hergestellt (z. B. Steinkohlebriketts, Benzin, Heizöl, Rapsöl, elektrische Energie). Dabei kommt es u. a. zu Umwandlungs- und Verteilungsverlusten. Sekundärenergie und Sekundärenergieträger können in andere Sekundär- oder Endenergieträger bzw. -energien umgewandelt werden (KALTSCHMITT 2009).

**Endenergie:** Unter Endenergie bzw. Endenergieträgern werden die Energieformen verstanden, die der Endverbraucher bezieht (z. B. Heizöl oder Rapsöl, Holzhackschnitzel, elektrische Energie vor dem Stromzähler, Fernwärme an der Hausübergabestation). Sie resultieren aus Primär- oder ggf. Sekundärenergieträgern bzw. -energien, vermindert um die Umwandlungs- und Verteilungsverluste, den Eigenverbrauch und den nicht-energetischen Verbrauch. Sie sind für die Umwandlung in Nutzenergie verfügbar (KALTSCHMITT 2009).

**Nutzenergie:** Als Nutzenergie wird die Energie bezeichnet, die nach der letzten Umwandlung in den Geräten des Verbrauchers für die Befriedigung der jeweiligen Bedürfnisse (z. B. Raumtemperierung, Nahrungszubereitung, Beförderung) zur Verfügung steht. Sie wird aus Endenergie und Endenergieträgern gewonnen, vermindert um die Verluste dieser letzten Umwandlung (KALTSCHMITT 2009). Dazu zählen z. B. Verluste durch die Wärmeabgabe einer Glühlampe, Lagerverluste bei festen Brennstoffen oder Verluste bei der Wärmeleitung und -speicherung.

#### **GEMIS – Globales Emissions-Modell Integrierter Systeme**

Das Emissionsmodell GEMIS errechnet Emissionen, welche für die Bereitstellung von Energieträgern, Strom, Wärme, für die Herstellung von Grundstoffen und für Transportprozesse anfallen. Die Emissionen werden auf Basis der Lebenszyklusanalyse ermittelt. (ÖKO-INSTITUT FREIBURG, s.a.).

Die Entwicklung der Software erfolgte durch das Öko-Institut Freiburg. Die aktuelle Version trägt die Versionsnummer 4.5. Das Umweltbundesamt übernimmt die allgemeinen Daten und passt die Software an österreichische Prozesse an. Die Datenbank, auf welche GEMIS zugreift, umfasst aktuell rund 450 Produkte, 15.000 Prozesse und 270 Szenarien, welche auf Hintergrundinformationen über Produkte (chemische Zusammensetzung etc.), Prozesse (Wirkungsgrade, Nutzungsdauer, Emissionsfaktoren, Hilfsenergieeinsatz etc.) und Szenarien (Auswirkungen und Bewertung) basieren.

#### **Lebenszyklusanalyse oder Life-Cycle-Assessment (LCA)**

Die Lebenszyklusanalyse oder auch Ökobilanz ist eine systematische Analyse der Umweltwirkungen von Produkten während ihres gesamten Lebensweges von der Gewinnung der Rohstoffe über die Produktionsprozesse, die Nutzungsphase bis zur Entsorgung des Produktes. Auch sämtliche damit verbundenen vor- und nachgeschalteten Prozesse (z. B. Herstellung von Hilfs- und Betriebsstoffen) werden mit einbezogen. Die Bilanzierung von der „Wiege bis zur Bahre“ dient der ganzheitlichen Betrachtung von Energiedienstleistungen und berücksichtigt sämtliche Energie- und Materialeinsätze innerhalb einer gesetzten Systemgrenze. Die LCA-Kette beinhaltet die gesamte Brennstoffkette der Förde-

rung, der Umwandlung und des Transportes einschließlich Herstellung und Betrieb der dafür erforderlichen Anlagen und Hilfsmittel.

### 3 ERGEBNISSE

#### 3.1 Konversions- und Primärenergiefaktoren

Die folgende Tabelle zeigt die errechneten Konversions- und Primärenergiefaktoren dieser Studie. Im Kapitel 2.1 finden Sie alle Informationen zur Datengrundlage und zur Anwendbarkeit dieser Faktoren.

*Tabelle 2: Konversions- und Primärenergiefaktoren je Einheit bereitgestellte Endenergie für Gebäude*

	Konversionsfaktor		Primärenergiefaktor
	in g CO <sub>2</sub> /kWh <sub>Endenergie</sub>	in g CO <sub>2</sub> -Äquivalent/kWh <sub>Endenergie</sub>	in kWh/kWh <sub>Endenergie</sub>
Kohle (Steinkohle, Braunkohle, Briketts, Koks)	363	420	1,13
Heizöl (HL, HEL, HEL schwefelfrei)	298	302	1,126
Erdgas	231	257	1,213
Flüssiggas	263	266	1,125
Scheitholz (inkl. Holzbriketts)	17	26	1,074
Energiehackgut	34	37	1,126
Pellets	40	49	1,177
Stromaufbringung in Österreich (Stromerzeugung in Österreich + Stromimporte, Durchschnitt 2004 bis 2007)	380	415	2,074
Fernwärme in Österreich (inkl. KWK-Durchschnitt von 2004 bis 2007)	247	274	1,58
Fernwärme Biomassewerk (10 % Erdgas, 2007)	75	87	1,395

### 3.2 LCA-Herstellungsaufwand

Die folgende Tabelle zeigt den errechneten LCA-Herstellungsaufwand. Im Kapitel 2.2 finden Sie alle Informationen zur Datengrundlage und zur Anwendbarkeit dieser Faktoren.

Tabelle 3: LCA-Herstellungsaufwand

	in g CO <sub>2</sub> /kW <sub>Nennwärmeleistung</sub>	in g CO <sub>2</sub> -Äquivalent/ kW <sub>Nennwärmeleistung</sub>	in kWh/ kW <sub>Nennwärmeleistung</sub>
Wärmepumpe Sole/Wasser	26,1	27,7	69
Wärmepumpe Sole/Wasser Erdreich-Flachkollektor	63,9	74,4	480
Wärmepumpe Sole/Wasser Erdreich-Tiefensonde	48,1	51,0	480
Wärmepumpe Außenluft-Kompaktgerät	170,8	179,1	596
Wärmepumpe Abluft/Luft	39,8	41,5	137

		in g CO <sub>2</sub> / l Speichervolumen	in g CO <sub>2</sub> -Äquivalent/ l Speichervolumen	in kWh/ l Speichervolumen
Pufferspeicher	100l	0,68	0,72	1,98
	200l	0,56	0,59	1,63
	300l	0,50	0,53	1,46
	500l	0,43	0,46	1,27
	1.000l	0,36	0,38	1,04
	3.000l	0,26	0,28	0,77
	5.000l	0,23	0,24	0,67
	10.000l	0,19	0,20	0,55

## 4 INTERPRETATION UND PLAUSIBILISIERUNG

- Bei Betrachtung der gesamten Prozesskette weisen fossile Energieträger zwischen 5- und bis zu über 10-mal höhere CO<sub>2</sub>-Äquivalent-Konversionsfaktoren auf als erneuerbare Energieträger. Beispielsweise hat Erdgas den etwa 10-fachen Konversionsfaktor von Scheitholz.
- Aus den Primärenergiefaktoren ist ersichtlich, dass Scheitholz unter den errechneten Energieträgern den geringsten energetischen Aufwand zur Bereitstellung und Aufbereitung verursacht. Der zusätzliche spezifische Energieaufwand nach der Ökobilanz beträgt nur 7 %.

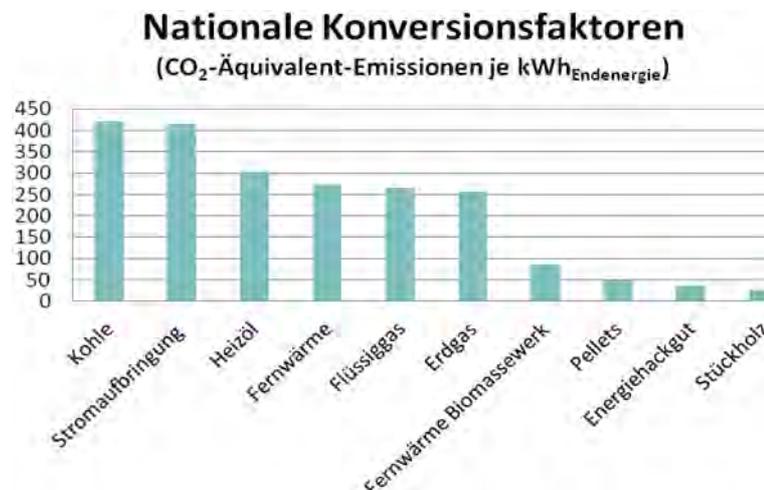


Abbildung 3: Nationale Konversionsfaktoren – CO<sub>2</sub>-Äquivalent

- Der **Konversionsfaktor für Strom** (Stromaufbringung) liegt deutlich über jenem der Fernwärme und etwa im Bereich der Kohle- und Koksheizungen. Dies ist vor allem auf den hohen Faktor für die Stromimporte zurückzuführen. Zu beachten ist, dass es sich hierbei um einen durchschnittlichen Konversionsfaktor auf Basis des derzeitigen Erzeugungsmix handelt. Ein zusätzlicher Stromverbrauch bzw. Stromeinsparungen wirken sich auf die brennstoffabhängigen Technologien aus. Ein entsprechender Konversionsfaktor wurde im Rahmen des Projekts nicht ermittelt, dieser ist aber deutlich höher als der durchschnittliche Konversionsfaktor für die Stromaufbringung. Die Bewertung von Strom und Wärme nach der Finnischen Methode (UMWELTBUNDESAMT, 2012) bei KWK-Anlagen hat Einfluss auf die beiden Konversionsfaktoren. Dies ist primär auf den wesentlich höheren Anteil der KWK-Produktion bei der Fernwärme (67 % der inländischen Produktion) als beim Strom (15 %) zurückzuführen. Sowohl Strom- als auch Fernwärmebereitstellung sind mit beträchtlichen Treibhausgasemissionen verbunden. Vor dem Hintergrund von gesetzlichen Verpflichtungen zu deren Reduktion sind daher Maßnahmen zur Senkung des Bedarfs ineffizienter Gebäude und ineffizienter gebäudetechnischer Anlagen am wirksamsten.
- Der verhältnismäßig hohe Wert des **Primärenergiefaktors für Strom** (2,074) begründet sich dadurch, dass Strom im Vergleich zur Wärme als ei-

ne energetisch höherwertige Energieform anzusehen ist. Aus diesem Grund ist bei der Stromgewinnung ein höherer Primärenergieeinsatz notwendig.

- **Biomasse-Fernwärme** verursacht besonders im Sommerhalbjahr aufgrund der hohen Netzverluste deutlich höhere Treibhausgasemissionen als moderne Biomasse-Heizkessel mit Pufferspeicher beim Endverbraucher, insbesondere wenn diese durch Sonnenkollektoren unterstützt werden. Durch Maßnahmen zur Optimierung der Effizienz bestehender und neu errichteter Biomasse-Fernwärmenetze besteht ein signifikantes Einsparpotenzial.

**Vergleich der errechneten Konversionsfaktoren mit den direkten Emissionsfaktoren der österreichischen Luftschadstoff-Inventur (OLI)**

Die ermittelten Konversionsfaktoren weisen in jeder Kategorie höhere Werte auf als die direkten Emissionsfaktoren laut Österreichischer Luftschadstoff-Inventur (OLI), da Konversionsfaktoren um die Emissionen und um den Lebenszyklus der eingesetzten Materialien und Energieeinsätze erweitert sind. Konversionsfaktoren berücksichtigen im Unterschied zu den direkten Emissionsfaktoren für die Emissionen bei der Verbrennung vor Ort, die gesamten Lebenszyklusemissionen eines Energieträgers bis zu seiner Bereitstellung für ein Gebäude. So entstehen auch für erneuerbare Energieträger durch Transport und Bereitstellung des Energieträgers und durch den Einsatz von Hilfsenergie und die Errichtung von Anlagen außerhalb des Gebäudes Emissionen.

**Grund für höhere Konversionsfaktoren**

**Vergleich mit anderen Studien**

*Tabelle 4: Ausgewählte Konversionsfaktoren im Vergleich mit den direkten Emissionsfaktoren der Österreichischen Luftschadstoff-Inventur (UMWELTBUNDESAMT 2010)*

	Direkte Emissionsfaktoren lt. Österreichischer Luftschadstoffinventur		Konversionsfaktor	
	in g CO <sub>2</sub> /kWh <sub>Endenergie</sub>	g CO <sub>2</sub> -Äquivalent/kWh <sub>Endenergie</sub>	in g CO <sub>2</sub> /kWh <sub>Endenergie</sub>	in g CO <sub>2</sub> -Äquivalent/kWh <sub>Endenergie</sub>
Kohle (Steinkohle, Braunkohle, Briketts, Koks)	339	348	363	420
Heizöl (HL, HEL, HEL schwefelfrei)	271	272	298	302
Erdgas	199	201	231	257
Flüssiggas	230	232	263	266
Scheitholz (inkl. Holzbriketts)	0	18	17	26
Energiehackgut	0	4	34	37
Pellets	0	3	40	49

In der Studie „Bestimmung spezifischer Treibhausgas-Emissionsfaktoren für Fernwärme“ im Auftrag des deutschen Umweltbundesamtes kommt das Öko-Institut für Fernwärme in Deutschland 2005 auf einen Konversionsfaktor von 248,8 g CO<sub>2</sub>-Äquivalent pro kWh Endenergie (UMWELTBUNDESAMT

DEUTSCHLAND 2008). Hier wurde ebenfalls die Finnische Methode verwendet, jedoch ist ein direkter Vergleich mit den österreichischen Ergebnissen nicht möglich, da unterschiedliche Referenzsysteme verwendet wurden. Bei Angleichung an die in dieser Studie verwendeten Referenzsysteme wäre der Konversionsfaktor um über 10 % höher.

In der Studie von THEISSING & THEISSING-BRAUHART (2009) werden für Strom THG-Emissionsfaktoren von 778 g CO<sub>2</sub>-Äquivalent pro kWh Endenergie angegeben. Der deutlich höhere Wert ist darauf zurückzuführen, dass nur die Wärmekraftwerke sowie die Stromimporte zur Berechnung herangezogen wurden, da kurzfristig nur diese verbrauchsabhängig genutzt werden. Für ein exemplarisches Fernwärmesystem werden 19,3 g CO<sub>2</sub>-Äquivalent pro kWh Endenergie erhalten. Dieser äußerst niedrige Wert basiert auf der Berechnungsweise nach ÖNORM EN 15316-4-5. Diese Methodik wird jedoch nicht empfohlen, da durch die Gutschrift für den erzeugten Strom – insbesondere bei hohen Stromkennzahlen der Erzeugungsanlagen – sehr niedrige bzw. negative Emissionsfaktoren auftreten können, wie auch im genannten Beispiel der Fall.

#### **Vergleich der errechneten Primärenergiefaktoren mit den Primärenergiefaktoren der DIN V 18599-1:2007-02-Vornorm**

In der DIN V 18599-1:2007-02-Vornorm wurden folgende Primärenergiefaktoren errechnet: Heizöl EL, Erdgas H, Flüssiggas, Steinkohle, Braunkohle, Holz, Nah- und Fernwärme aus KWKs (fossil, Endenergie), Nah- und Fernwärme aus KWKs (erneuerbar, Endenergie), Nah- und Fernwärme aus Heizwerken (fossil, Endenergie), Nah- und Fernwärme aus Heizwerken (erneuerbar, Endenergie), Strom, Umweltenergie (solar, Umgebungswärme). Die Werte für Heizöl, Flüssiggas, Steinkohle, Braunkohle, Biomasseheizwerke bzw. Nah- und Fernwärme aus Heizwerken (erneuerbar) ähneln den Ergebnissen dieser Studie. Der Primärenergiefaktor für Erdgas ist in dieser Studie höher. Bei den Faktoren für Holz und Strom sind die Ergebnisse dieser Studie geringer.

**Begründung:** Die Prozesskette von Erdgas zeigt, dass mit rund 7 % Erdgasverlust von der russischen Pipeline zu rechnen ist. Diese werden als Methan(CH<sub>4</sub>)verluste bewertet. Auf Grund des hohen Treibhausgaspotentials von Erdgas sind die höheren Primärenergiefaktoren begründbar. Die Biomassenutzung in Österreich ist traditionell kleinstrukturiert. Somit entstehen kurze Transportdistanzen. Die Stromproduktion in Österreich erfolgt überwiegend mit Wasserkraft. Die Errichtung der Anlagen wird auf die Lebensdauer von 50 Jahren abgeschrieben. Der Wasserkraftanteil in Österreich begründet die hohen Unterschiede zu den internationalen Primärenergiefaktoren.

## 5 METHODIK UND DOKUMENTATION

### 5.1 Methodik

#### 5.1.1 Konversions- und Primärenergiefaktoren

##### Strom und Fernwärme

Bei den Konversionsfaktoren für Strom und für Fernwärme handelt es sich um Endenergie-Konversionsfaktoren. Die Vorkette und Verluste bei der zentralen Erzeugung (Kraftwerk, Heizwerk bzw. Heizkraftwerk) sowie Verteilungsverluste von der Erzeugung zum Endverbraucher sind daher mitberücksichtigt (siehe Abbildungen 4 und 5). Verluste und Anlagen beim Endverbraucher sind es jedoch nicht. Zum Vergleich dazu inkludieren Faktoren für die direkten Emissionen nur die unmittelbaren Verbrennungsemissionen bei der Erzeugungsanlage und lassen die Vorkette und die Verluste der Wärmeverteilung unberücksichtigt.

Als Datenquelle dienten die österreichischen Energiebilanzen 1970–2007 der Statistik Austria. Diese liefern sowohl für Strom als auch für Fernwärme ein umfassendes Bild zur Energieerzeugung, aufgliedert nach drei Kriterien:

- **Erzeugungsanlage:** Kraftwerk, Heizkraftwerk (KWK-Anlagen) bzw. Heizwerk.
- **Besitzstruktur:** Energieversorgungsunternehmen (EVU) bzw. Unternehmen mit Eigenanlagen (UEA).
- **Brennstoffe:** Steinkohle, Braunkohle, Erdöl, Naturgas, Kohlegase, brennbare Abfälle sowie die erneuerbaren Energieträger Biogene, Wasserkraft, Wind, Photovoltaik, Geothermie, Solarthermie, Wärmepumpen.

Die Berechnungen erfolgten für die gesamte österreichische Versorgung, da in der Energiestatistik die öffentliche Versorgung nicht getrennt dargestellt wird. Die E-Control publiziert für den Strombereich Daten der öffentlichen Versorgung, jedoch fehlen die entsprechenden Brennstoffeinsätze sowie eine detaillierte Aufschlüsselung der Produktion in die verschiedenen Erzeugungsanlagen.

Bei den Berechnungen der Energiebilanzen wurde zur Vermeidung von Verzerrungen durch – insbesondere wetterbedingte – jährliche Schwankungen für die Einzeldaten jeweils ein Mittelwert der Jahre 2004 bis 2007, gebildet. Dies stellt einen Kompromiss zwischen der Mittelung von Schwankungen der Nachfrage und Erzeugung einerseits und der Darstellung der möglichst aktuellen energiewirtschaftlichen Situation andererseits dar.

Die Systemgrenze für die Konversionsfaktoren und Primärenergiefaktoren ist der Übergabepunkt der gelieferten Brennstoffe bei den netzgebundenen Energieträgern – also der Zähler bzw. die Grundstücksgrenze. Rückeinspeisungen in öffentliche Netze sind also in Summe über Österreich indirekt berücksichtigt, da der reale Substitutionseffekt auf die Nachfrage nach zentraler Bereitstellung enthalten ist.

Unberücksichtigt bei der Verwendung dieser Konversionsfaktoren bleiben Effekte aus dem Einsatz zusätzlicher Brennstoffe – z. B. bei einer Hauptheizung mit Erdgas und einer Übergangs- oder Zweitheizung mit Scheitholz.

**Österreichische  
Energiebilanzen**

**Mittelwert über 4  
Jahre**

Die folgenden Abbildungen geben einen grafischen Überblick, welche Daten in die Berechnung der Konversions- und Primärenergiefaktoren für Strom und Fernwärme eingeflossen sind.

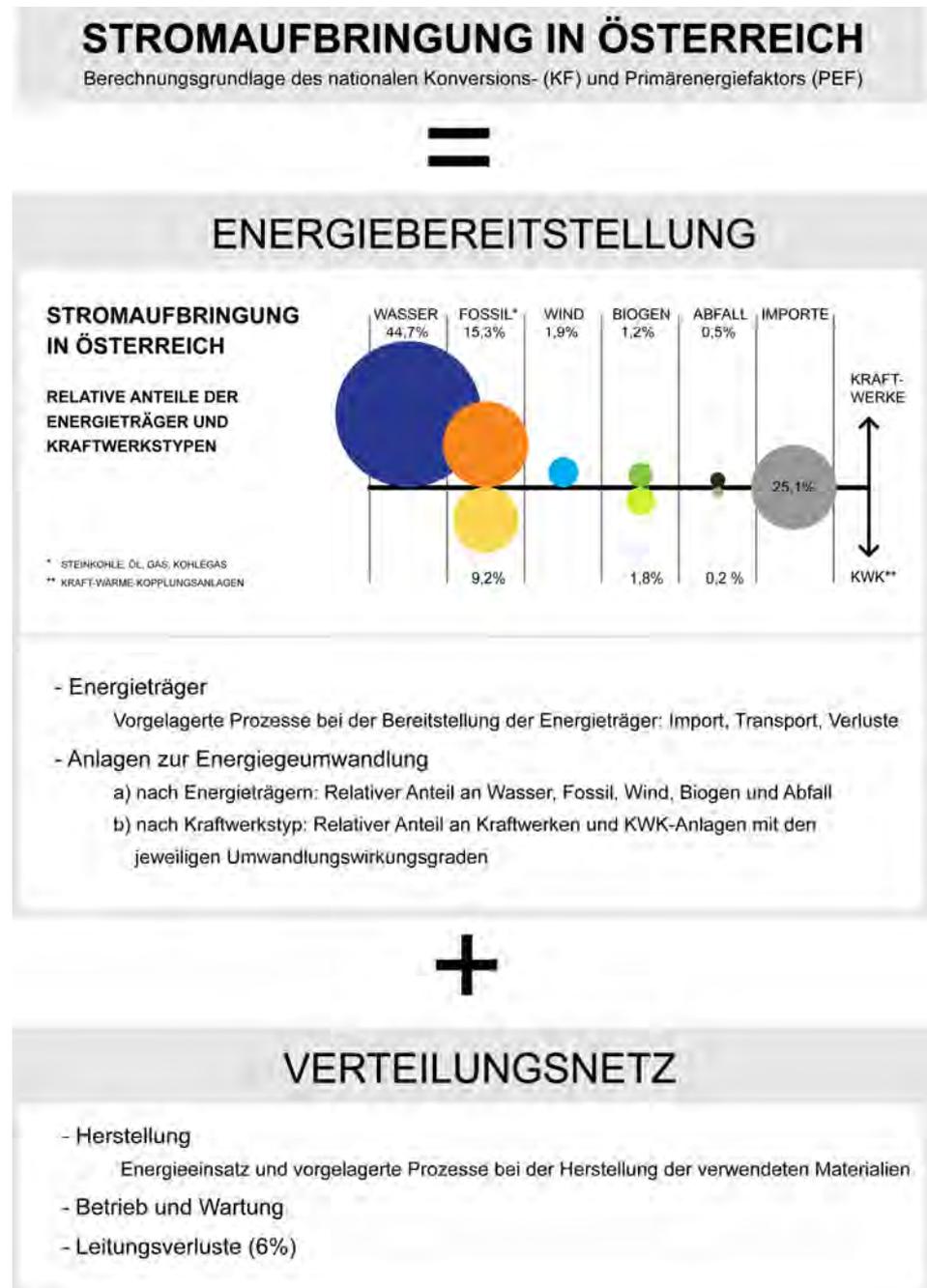


Abbildung 4: Stromaufbringung in Österreich

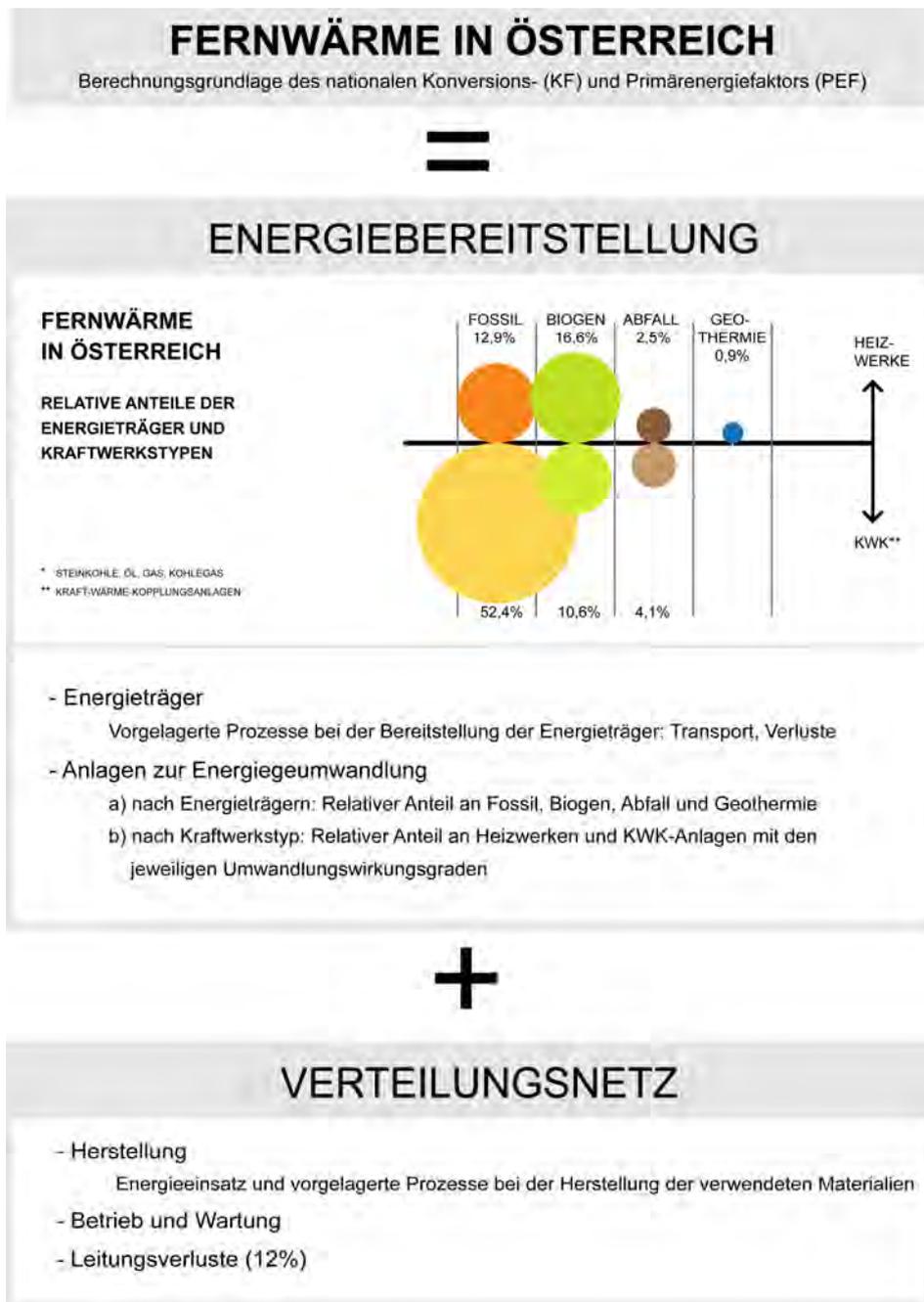


Abbildung 5: Fernwärme in Österreich

**KWK-Wirkungsgrad  
75 % oder höher**

**Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen (KWK)**

In den Energiebilanzen muss der Gesamtwirkungsgrad des KWK-Prozesses definitionsgemäß mindestens 75 % betragen. Falls dieser Wert bei einer KWK-Anlage unterschritten wird, werden die produzierte Strommenge und der dafür benötigte Umwandlungseinsatz so lange reduziert, bis 75 % erreicht werden. Die produzierte Strommenge, um die der KWK-Prozess reduziert wurde, wird als Strom aus Wärmekraft definiert. Dies führt aber zu Verschiebungen zwischen dem Kraftwerksbetrieb und dem KWK-Betrieb, da einige Anlagen diesen Wirkungsgrad auch im KWK-Betrieb nicht erreichen. Daher wurden für die Ermittlung der Konversionsfaktoren für die Brennstoffe Steinkohle, Erdöl, Erdgas und Abfall die tatsächliche Stromerzeugung im KWK-Betrieb sowie der dafür benötigte Umwandlungseinsatz auf Basis von verfügbaren Anlagendaten abgeschätzt. Die gesamte Stromerzeugung sowie der gesamte Umwandlungseinsatz in Kraftwerken und KWK-Anlagen wurden jedoch nicht verändert, es wurden gegenüber den Energiebilanzen lediglich Verschiebungen in den Zuordnungen zu Kraftwerksbetrieb und KWK-Betrieb vorgenommen.

Auf diese Weise steht ein Datensatz für die Strom- und Fernwärmeproduktion sowie die entsprechenden Umwandlungseinsätze in Kraftwerken, KWK-Anlagen und Heizwerken zur Verfügung.

**Datenerhebung und Berechnungsgrundlagen**

Die Energiebilanz weist die Bruttoproduktionsdaten aus, zur Berechnung der Nettoproduktion wurde der Eigenverbrauch der Erzeugungsanlagen abgezogen, welcher als Durchschnittswert für die einzelnen Energieträger auf Basis von Anlagendaten angesetzt wurde. Für die Kraftwerke sowie die Heizwerke kann der Strom- bzw. Wärmewirkungsgrad nun direkt errechnet werden, für die KWK-Anlagen ist dazu jedoch eine Aufteilung der Umwandlungseinsätze auf die Strom- und die Wärmeproduktion dieser Anlagen erforderlich.

Dazu existieren verschiedene Allokationsverfahren, wobei im Rahmen dieser Studie die sogenannte Finnische Methode verwendet wurde (siehe Abbildung 6).

**Finnische Methode**

**Allokation der Input-  
und Outputströme  
von KWK-Anlagen**

Diese definiert zunächst zwei Referenzanlagen, die jeweils getrennt Strom und Wärme produzieren. Bei der gekoppelten Produktion im Heizkraftwerk sind die Wirkungsgrade für Strom und Wärme geringer als bei der getrennten Produktion in Referenzanlagen, in Summe kommt es jedoch zu einer Reduktion des Brennstoffeinsatzes.

Die **Aufteilung** der Brennstoffeinsparung der gekoppelten Erzeugung gegenüber der getrennten Erzeugung erfolgt **proportional im Verhältnis der** über die Referenzwirkungsgrade ermittelten **Brennstoffeinsätze** für Strom und Wärme.

Es wird also sowohl der Strom- als auch der Wärmeproduktion ein Teil der Brennstoffeinsparung durch die gekoppelte Erzeugung zugeschrieben. Auf die-

se Weise wurden die auf die Strom- bzw. Wärmeproduktion entfallenden Brennstoffmengen und die entsprechenden Wirkungsgrade erhalten.

Die österreichweiten Konversionsfaktoren für Strom bzw. Fernwärme wurden berechnet, indem mit GEMIS für die verschiedenen Brennstoffe und Anlagentypen separate Faktoren ermittelt wurden. Diese wurden – gewichtet nach dem jeweiligen Anteil an der Strom- bzw. Fernwärmeproduktion und unter Berücksichtigung des Imports – zu einem durchschnittlichen Konversionsfaktor zusammengefasst. Zur Berechnung der Direktmissionen von CO<sub>2</sub>, Methan (CH<sub>4</sub>) und Lachgas (N<sub>2</sub>O) in den Erzeugungsanlagen wurden mit der Österreichischen Luftschadstoff-Inventur (OLI) konsistente nationale Emissionsfaktoren verwendet.

### ***Berechnung der Konversionsfaktoren***

#### **Anwendung der „Finnischen Methode“ für KWK-Anlagen**

Bei KWK-Anlagen (Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen) werden mit einem Brennstoff zwei Arten von Energie erzeugt: Strom und Wärme.<sup>1</sup> Um die Umwandlung eines Energieinputs in zwei Outputprodukte zahlenmäßig fassen zu können, gibt es mehrere Möglichkeiten (= Allokationsmethoden). Diese sind in der parallel publizierten Studie „UMWELTBUNDESAMT (2012): Storch, A.; Fischer, D. & Reisinger, H.: Untersuchung von Allokationsmethoden für KWK-Anlagen. Wien.“ dargestellt. Die Auswahl der „Finnischen Methode“ als bestgeeignete wird in der eben genannten Studie erläutert und detailliert begründet.

Das Ergebnis der Finnischen Methode ist in der folgenden Grafik am Beispiel der gasbetriebenen KWK in Österreich ersichtlich. Zum Vergleich sind auch die Gas-Heizwerke in Österreich mit reiner Wärmeproduktion und die Gas-Kraftwerke in Österreich mit reiner Stromproduktion dargestellt.

---

<sup>1</sup> Darin unterscheiden sich Kraftwerke (Strom) und Heizwerke (Wärme). Sie liefern jeweils einen Energieoutput.

### Gas-KWK-Anlagen, Strom- und Wärmeproduktion Allokation nach der "Finnischen Methode"



### Gas-Kraftwerke, Stromproduktion



### Gas-Heizwerke, Wärmeproduktion



Abbildung 6: Allokation nach der Finnischen Methode

Die Umwandlungseinsätze aller weiteren Energieträger zur Strom- und Wärmeproduktion in Österreich sind im Anhang zu finden.

Die Energieströme werden nach der Finnischen Methode wie folgt allokiert:

$$C_{el,ab} = C_{KWK} * (\eta_{el} / \eta_{el,ref}) / (\eta_{el} / \eta_{el,ref} + \eta_{th} / \eta_{th,ref}) \quad (1)$$

bzw.

$$C_{el,ab} = C_{KWK} * (\eta_{el} / \eta_{el,ref}) / (\eta_{el} / \eta_{el,ref} + \eta_{th} / \eta_{th,ref}) / W_{el,ab} \quad (2).$$

Sind die Effizienzwerte des KWK-Systems nicht bekannt, sondern nur die abgegebene Stromenergie  $W_{el,ab}$  und die abgegebene Fernwärmeenergie  $Q_{ab}$  sowie die zugeführte Brennstoffwärme, so können die Gleichungen (1) und (2) umgewandelt werden zu:

$$C_{el,ab} = C_{KWK} * (W_{el,ab} / \eta_{el,ref}) / (W_{el,ab} / \eta_{el,ref} + Q_{ab} / \eta_{th,ref}) \quad (3)$$

bzw.

$$C_{el,ab} = C_{KWK} * (1 / \eta_{el,ref}) / (W_{el,ab} / \eta_{el,ref} + Q_{ab} / \eta_{th,ref}) \quad (4).$$

Diese Gleichungen können weiter umgeformt werden zu:

$$C_{el,ab} = C_{KWK} * (W_{el,ab} * \eta_{th,ref} / \eta_{el,ref}) / (W_{el,ab} * \eta_{th,ref} / \eta_{el,ref} + Q_{ab}) \quad (5)$$

bzw.

$$C_{el,ab} = C_{KWK} * (\eta_{th,ref} / \eta_{el,ref}) / (W_{el,ab} * \eta_{th,ref} / \eta_{el,ref} + Q_{ab}) \quad (6).$$

oder

$$C_{el,ab} = C_{KWK} * E_{Br} * (\eta_{th,ref} / \eta_{el,ref}) / (W_{el,ab} * \eta_{th,ref} / \eta_{el,ref} + Q_{ab}) \quad (7).$$

Analog dazu sind die spezifischen CO<sub>2</sub>-Emissionen der abgegebenen Fernwärme:

$$C_{th,ab} = C_{KWK} * E_{Br} / (W_{el,ab} * \eta_{th,ref} / \eta_{el,ref} + Q_{ab}) \quad (8).$$

Auch die Einstufung von KWK-Anlagen als hocheffiziente Kraft-Wärme-Kopplung gemäß § 42a und § 42b sowie Anlage III und IV EIWOG nimmt Bezug auf die EU-Richtlinie 2004/8/EG und auf die Finnische Methode (E-CONTROL 2008). Eine Kraftwärmekopplungsanlage wird nur dann als hocheffizient eingestuft, wenn die Primärenergieeinsparung (PEE) gemäß nachstehender Gleichung größer als 10 % ist (EIWOG Anlage IV):

$$PEE = (1 - 1 / (\eta_{el} / \eta_{el,ref} + \eta_{th} / \eta_{th,ref})) * 100 \% \quad (9)$$

### Abkürzungen:

$C_{el,ab}$ $C_{el,ab}$	CO <sub>2</sub> -Emissionen alloziert auf den abgegebenen Strom spezifische CO <sub>2</sub> -Emissionen je abgegebener kWh Strom
$C_{KWK}$ $C_{KWK}$	CO <sub>2</sub> -Emissionen der KWK-Anlage bzw. des KWK-Systems spezifische CO <sub>2</sub> -Emission der KWK-Anlage je kWh Brennstoffinput
$C_{th,ab}$ $C_{th,ab}$	CO <sub>2</sub> -Emissionen alloziert auf die abgegebene Fernwärme spezifische CO <sub>2</sub> -Emissionen je abgegebener kWh Fernwärme
$E_{Br}$ $Q_{ab}$ $W_{el,ab}$	zugeführte Brennstoffenergie = Inputenergie abgegebenen Fernwärmeenergie abgegebene Stromenergie (netto)
$\eta_{el}$ $\eta_{el,ref}$ $\eta_{th}$ $\eta_{th,ref}$ PEE	Elektrischer Wirkungsgrad Elektrischer Wirkungsgrad des Referenzkraftwerks Wärmewirkungsgrad Wärmewirkungsgrad des Referenzheizkessels Primärenergieeinsparung

### 5.1.1.1 Zugrunde liegende Annahmen und Werte

#### Wirkungsgrade und Eigenverbrauch

Die Bruttowirkungsgrade für Kraftwerke und Heizwerke konnten direkt aus der Energiestatistik entnommen werden. Für KWK-Anlagen war die oben beschriebene Zuteilung der Brennstoffmengen nach der Finnischen Methode erforderlich. Um die Nettoproduktion zu erhalten, wurden die folgenden Annahmen für den Eigenverbrauch getroffen:

Kohle	6 %
Heizöl	4 %
Erdgas	2 %
Abfall	10 %
Biogene	5 %

#### Referenzwirkungsgrade für KWK-Anlagen

Als Referenzwirkungsgrad bei der Finnischen Methode wurde der Stand der Technik für die getrennte Strom- bzw. Wärmeproduktion festgelegt und mit 57 % für die Nettostromerzeugung in kalorischen Kraftwerken bzw. 90 % für die Wärmeerzeugung in Heizwerken angenommen. Die Brennstoffeinsätze werden bei gleicher Strom- und Wärmeproduktion also im Verhältnis Stromerzeugung zu Wärmeerzeugung von ca. 1,6:1 angesetzt.

#### Leitungsverluste

In den Berechnungen wurden Leitungsverluste von der zentralen Erzeugung zum Endverbraucher in der Höhe von 6 % bei Strom und von 12 % bei Wärme berücksichtigt.

#### Stromaufbringung

Die Stromaufbringung setzt sich zusammen aus der Stromerzeugung in Österreich und den Stromimporten. Die gemittelte Stromaufbringung aus den Jahren 2004 bis 2007 zeigt einen steigenden Anteil an Stromimporten nach Österreich. Diese Importmengen sind erforderlich, um die Stromversorgung gewährleisten zu können. Daher wurde bei den Berechnungen der durchschnittliche Importanteil von 25,1 % bei der Stromaufbringung berücksichtigt. Für die Stromexporte wurde die Annahme getroffen, dass sie mit der gesamten Stromaufbringung erfolgen, nicht nur durch die Inlandsproduktion. Aus diesem Grund reduzieren die Stromexporte die für das Inland nutzbare inländische Erzeugung und erhöhen den Importbedarf.

Rund 16 % der Stromerzeugungsanlagen in Österreich werden im KWK-Modus betrieben. Der durchschnittliche Wirkungsgrad zur Stromproduktion eines Wärmekraftwerkes in Österreich beträgt rund 38 %. 59 % der elektrischen Energie aus österreichischer Produktion stammt aus Wasserkraft, 37 % aus fossiler Wärmekraft.

## Wärmeaufbringung

Der Umwandlungseinsatz der durchschnittlichen Fernwärme in Österreich wird zu 78 % aus fossilen Energieträgern bereitgestellt.

## Biomasse

Bei der Ermittlung der Konversionsfaktoren werden die Emissionen sämtlicher Treibhausgase, inkl. CO<sub>2</sub> aus fossilen Quellen, in der Vorkette mit bilanziert.

Die Konversionsfaktoren für Biomassenahwärmanlagen wurden anhand eines Referenzsystems errechnet. Für die einzelnen Parameter wurden dabei durchschnittliche Werte angenommen, welche durch ein Screening über mehrere Biomassenahwärmenetze ermittelt wurden. Im Konkreten wurde angenommen, dass 90 % der Wärme aus biogenen Quellen und 10 % aus erdgasbefeuerten Spitzenlastkesseln bereitgestellt werden. Im Jahresdurchschnitt wird von Netzverlusten in Höhe von 20 % ausgegangen.

## Abfallverbrennung

Der energetische Anteil des Abfalls am gesamten Umwandlungseinsatz in Müllverbrennungsanlagen beträgt ca. 90-95 %. Der energetische Anteil der Abfallverbrennung beträgt 0,95 % an der inländischen Stromproduktion bzw. 0,71 % an der Stromaufbringung und 6,55 % an der Fernwärmeerzeugung.

Die in Abfallverbrennungsanlagen eingesetzten fossilen Brennstoffe werden in der Energiestatistik und daher auch in dieser Studie nicht unter Abfall, sondern unter den entsprechenden Energieträgern (Erdgas bzw. Heizöl) bilanziert.

Für die Berechnung der Konversionsfaktoren war keine Aufschlüsselung in den biogenen und fossilen energetischen Anteil des Abfalls nötig. Bei der Ermittlung der CO<sub>2</sub>-Emissionen wurden jedoch – analog zur Vorgehensweise bei der Biomasse – die dem biogenen Kohlenstoffanteil zugeschriebenen CO<sub>2</sub>-Emissionen nicht berücksichtigt. Die Emissionen anderer Treibhausgase wie CH<sub>4</sub> werden jedoch zur Berechnung der CO<sub>2</sub>-Äquivalente herangezogen.

## Erdgas

Die Erdgasverluste beim Transport von Russland nach Österreich (6 %) werden als CH<sub>4</sub>-Schlupf interpretiert.

### 5.1.2 LCA-Herstellungsaufwand

Der Materialeinsatz für Wärmepumpen und Pufferspeicher basiert auf einer Recherche führender Hersteller. Charakteristische Wärmepumpen mit einer typischen Dimensionierung für Einfamilienhäuser wurden ausgewählt und deren Materialeinsätze detailliert betrachtet. Diese Art der Recherche wurde gewählt, da zum Zeitpunkt der Verfassung dieser Studie nicht ausreichend Literatur zu den Materialeinsätzen unterschiedlicher Wärmepumpensysteme verfügbar war. Die errechneten Werte beziehen sich auf beispielhafte Geräte und stellen somit – im Gegensatz zu den Konversions- und Primärenergiefaktoren – nicht den

Durchschnitt des österreichischen Bestandes dar. Sie sind als exemplarische Richtwerte zu sehen.

### 5.1.2.1 Zugrunde liegende Annahmen und Werte

Bei allen Wärmepumpen und Pufferspeichern wurden die Materialeinsätze auf LCA-Basis ermittelt. Für alle betrachteten Wärmepumpen und Pufferspeicher gelten die gleichen Systemgrenzen: Materialeinsätze (LCA) ab Herstellung bzw. ab Werk sind inkludiert. Baulichkeiten in Gebäuden, welche außerhalb einer Wärmepumpe oder des Pufferspeichers liegen, wie beispielsweise Installationen in Gebäuden wurden ebenso wie der Betrieb und die Entsorgung der Anlage nicht mit einbezogen. Bei der Sole/Wasser-Wärmepumpe wurde zusätzlich der Materialeinsatz für Tief- und Flachkollektoren erhoben.

Folgende charakteristische Referenzanlagen wurden bei der Berechnung des LCA-Herstellungsaufwandes für Wärmepumpen und Pufferspeicher als Datengrundlage verwendet:

- **Sole/Wasser-Wärmepumpe:** Die Referenz-Sole/Wasser-Wärmepumpe besteht aus einem Kompressor, einem Plattenwärmetauscher, einem Expansionsventil und einer Steuerung in einem separaten Gehäuse.  
**Flachkollektor:** Die Berechnung des Flachkollektors bezieht sich auf die durchschnittliche Anlagengröße eines Einfamilienhauses von 10 kW Wärmeleistung. Dimensionierung des Flachkollektors: 2 kW Heizleistung pro Kreis 100 m pro Kreis ergibt 500 m Kunststoffrohrlänge HDPE 1 Zoll, ein Schacht mit Betonringen, Verlegetiefe 1,3 m. Die Berechnung erfolgte unter der Annahme, dass der Materialaushub (und keine zusätzlichen Materialien) wieder zum Auffüllen der ausgehobenen Fläche verwendet wird. Der Energieaufwand für den Materialaushub wurde nicht berücksichtigt.
- **Tiefenkollektor:** Eine durchschnittliche Rohrlänge von 17 m pro kW Heizlast wurde angenommen (HDPE, 1 Zoll). Der Energieaufwand der Bohrung wurde nicht mit berechnet.
- **Abluft/Luft-Wärmepumpe:** Die Referenz-Abluft/Luft-Wärmepumpe besteht aus einem Lüftungsmodul mit Wärmerückgewinnung und einer Luft/Wasser-Kleinstwärmepumpe. Für die Raumheizung ist ein Wärmetauscher in der Zuluft enthalten. Das Gehäuse besteht aus Stahlplatten, welche mit Weichschaum gedämmt sind. Um die Wärme aus der Abluft rückzugewinnen wird ein Gegenstrom-Plattenwärmetauscher eingesetzt. Das entstehende Kondensat wird über einen Schlauch abgeführt.
- **Außenluft-Kompaktgerät:** Das Kompaktgerät besteht aus einem Lüftungsmodul mit Wärmerückgewinnung und einer Wärmepumpe für eine Niedertemperaturheizung (Sole/Wasser). Das Gehäuse besteht aus Stahlblechplatten, welche mit Weichschaum gedämmt sind. Für die Rückgewinnung der Wärme aus der Abluft wird ein Gegenstrom-Plattenwärmetauscher eingesetzt.
- **Pufferspeicher:** Bei allen Pufferspeichern handelt es sich um Stahlbehälter ohne Einbauten mit einer Außenhülle aus PU-Weichschaum. Die Leitungen wurden – ebenso wie bei Wärmepumpen – nicht mit einberechnet.

Drei Behältergrößen wurden erhoben und über das Oberflächen-Volumen-Verhältnis interpoliert.

## 5.2 Einflüsse auf die Ergebnisqualität

Bei der Berechnung von Konversionsfaktoren ergeben sich die folgenden Darstellungsgrenzen, welche einen Einfluss auf die Ergebnisse der Berechnung ausüben können.

- Bei der Berechnung der Konversionsfaktoren wurde bestmöglich auf periodisch veröffentlichte, qualitätsgesicherte Daten zurückgegriffen. Die Werte für einige Parameter basierten jedoch auf eigenen getroffenen Annahmen (siehe Kapitel Zugrunde liegende Annahmen und Werte).
- **Substitutionseffekte** und die **zukünftige Entwicklung** der einzelnen Energieträger und deren Nachfrage stellen eine Systemgrenze dar. Veränderungen des Gesamtsystems durch Maßnahmen bei der thermischen Qualität der Gebäudehülle und bei der Energiebereitstellung in Gebäuden bzw. für Gebäude nach 2010 werden vernachlässigt.
- Die **Bewertungsmethodik** kann einen erheblichen Einfluss auf das Ergebnis der Ökobilanz haben. Die Finnische Methode, welche für die Allokation der Input- und Outputströme von KWK-Anlagen ausgewählt wurde, entspricht dem energiewirtschaftlichen Ziel der Optimierung der Effizienz des Gesamtsystems. Gegenüber früheren Ansätzen aus Sicht der Fernwärmenetze, bewertet sie die Fernwärme aus KWK-Anlagen nicht als unbedeutendes Abfallprodukt der Stromerzeugung, sondern als relevantes Koppelprodukt des Energiesystems. Im Vergleich zu früheren Ansätzen aus Sicht der Stromwirtschaft bewertet die Finnische Methode Wärme und Strom nicht als gleichwertige Energieformen, sondern berücksichtigt deren unterschiedlichen realen Umwandlungswirkungsgrad aus Brennstoffen.
- Primärenergiefaktoren reagieren sensibel auf **Umwandlungsverluste** und **Energiedichte** des Energieträgers. Insbesondere beim Transport von Energieträgern auf der Straße und in Pipelines spielt der gesamte Energieaufwand je transportierter Energieeinheit eine wesentliche Rolle.
- Werden zwei **unterschiedliche Energiedienstleistungen**, wie beispielsweise Strom für Antrieb oder Beleuchtung, mit Fernwärme für Beheizung oder Bereitstellung von Warmwasser verglichen, können durch die unterschiedliche Wertigkeit Darstellungsverzerrungen auftreten, die zu Fehlinterpretationen führen können.
- Wie bei den nationalen Emissionsfaktoren, die für die Österreichische Luftschadstoff-Inventur (OLI) herangezogen werden, können auch bei nationalen Konversionsfaktoren und Primärenergiefaktoren erhebliche Abweichungen von den tatsächlichen Emissionen und dem tatsächlichen Primärenergiebedarf entstehen. Der Grund für diese Abweichungen sind der tatsächlich eingesetzte Energieträger und die konkreten Beiträge aus der Vor- und Nachkette mit bestimmten Produkten und Betriebsmitteln – also Herstellung,

Bereitstellung, sowie die konkrete Einbausituation und Betriebsweise. Die hier vorgestellten Werte können also ausschließlich für eine Charakterisierung unter der **Annahme durchschnittlicher Bedingungen** und durchschnittlicher Anlagen eingesetzt werden, aber nicht für die Darstellung einer konkreten Anlage im Detail.

## 6 VERZEICHNISSE

### 6.1 Literaturverzeichnis

E-CONTROL (2008): Bericht über die Stromkennzeichnung. Wien. [www.e-control.at](http://www.e-control.at).

KALTSCHMITT, M.; HARTMANN, H. & HOFBAUER, H. (2009): Energie aus Biomasse – Grundlagen, Techniken und Verfahren, Springer, Berlin.

ÖKO-INSTITUT FREIBURG: Globales Emissions-Modell Integrierter Systeme. s.a. [www.oeko.de](http://www.oeko.de).

THEISSING, M. & THEISSING-BRAUHART, I. (2009): Primärenergie- und CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktoren von Energieträgern in Fernwärmesystemen. Graz.

UMWELTBUNDESAMT (2008): Bestimmung spezifischer Treibhausgas-Emissionsfaktoren für Wärme. Darmstadt. [www.umweltbundesamt.de](http://www.umweltbundesamt.de)

UMWELTBUNDESAMT (2010): Austria's National Inventory Report 2010, Wien.

UMWELTBUNDESAMT (2012): Storch, A.; Fischer, D. & Reisinger, H.: Untersuchung von Allokationsmethoden für KWK-Anlagen. Aufteilung der energetischen Input- und Outputströme. Wien.

#### Rechtsnormen und Leitlinien

ÖNORM EN 15316-4-5 (2007): Heizungsanlagen in Gebäuden – Verfahren zur Berechnung der Energieanforderungen und Nutzungsgrade der Anlagen. Wärmeerzeugungssysteme, Leistungsfähigkeit und Effizienz von Fernwärme- und großvolumigen Systemen. Ausgabe 1. Oktober 2007. Wien

### 6.2 Tabellenverzeichnis

*Tabelle 1: Unterscheidung Konversions- bzw. Primärenergiefaktoren und LCA-Herstellungsaufwand*

*Tabelle 2: Konversions- und Primärenergiefaktoren je Einheit bereitgestellte Endenergie für Gebäude*

*Tabelle 3: LCA-Herstellungsaufwand*

*Tabelle 4: Ausgewählte Konversionsfaktoren im Vergleich mit den direkten Emissionsfaktoren der Österreichischen Luftschadstoff-Inventur (UMWELTBUNDESAMT 2010)*

### 6.3 Abbildungsverzeichnis

*Abbildung 1: Vergleich der Datengrundlagen*

*Abbildung 2: Schema der Energieumwandlungskette (KALTSCHMITT, 2009)*

*Abbildung 3: Nationale Konversionsfaktoren – CO<sub>2</sub>-Äquivalent*

*Abbildung 4: Stromaufbringung in Österreich*

*Abbildung 5: Fernwärme in Österreich*

*Abbildung 6: Allokation nach der Finnischen Methode*

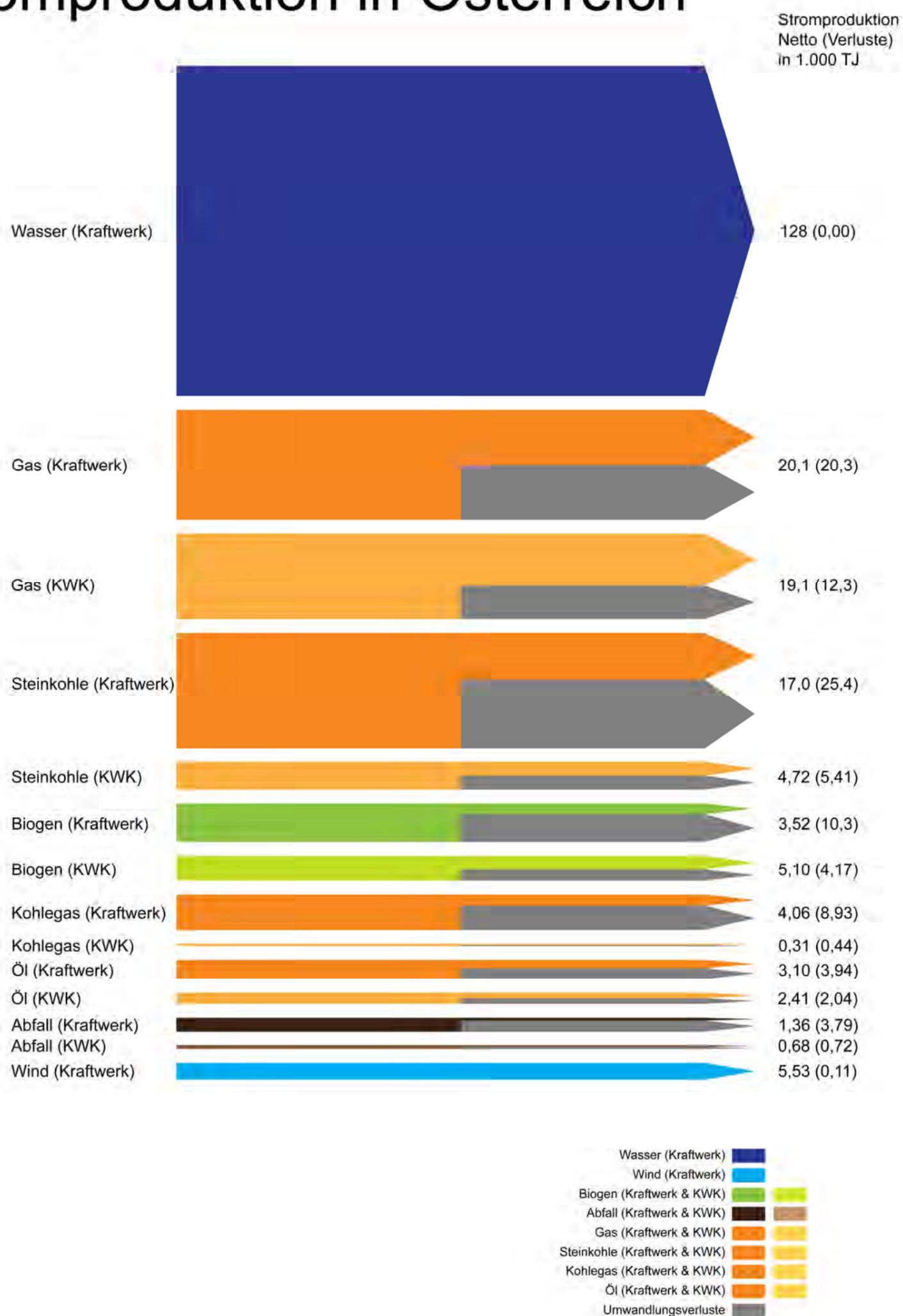
## 7 ANHANG

### Strom- und Wärmeproduktion in Österreich

Die folgenden Grafiken stellen die Wärme- und Stromproduktion in Österreich dar. Ersichtlich sind die Energieträger mit dem jeweiligen Input-Output-Verhältnis und den Umwandlungsverlusten. Die Pfeilstärken entsprechen den numerischen Werten und Verhältnissen.

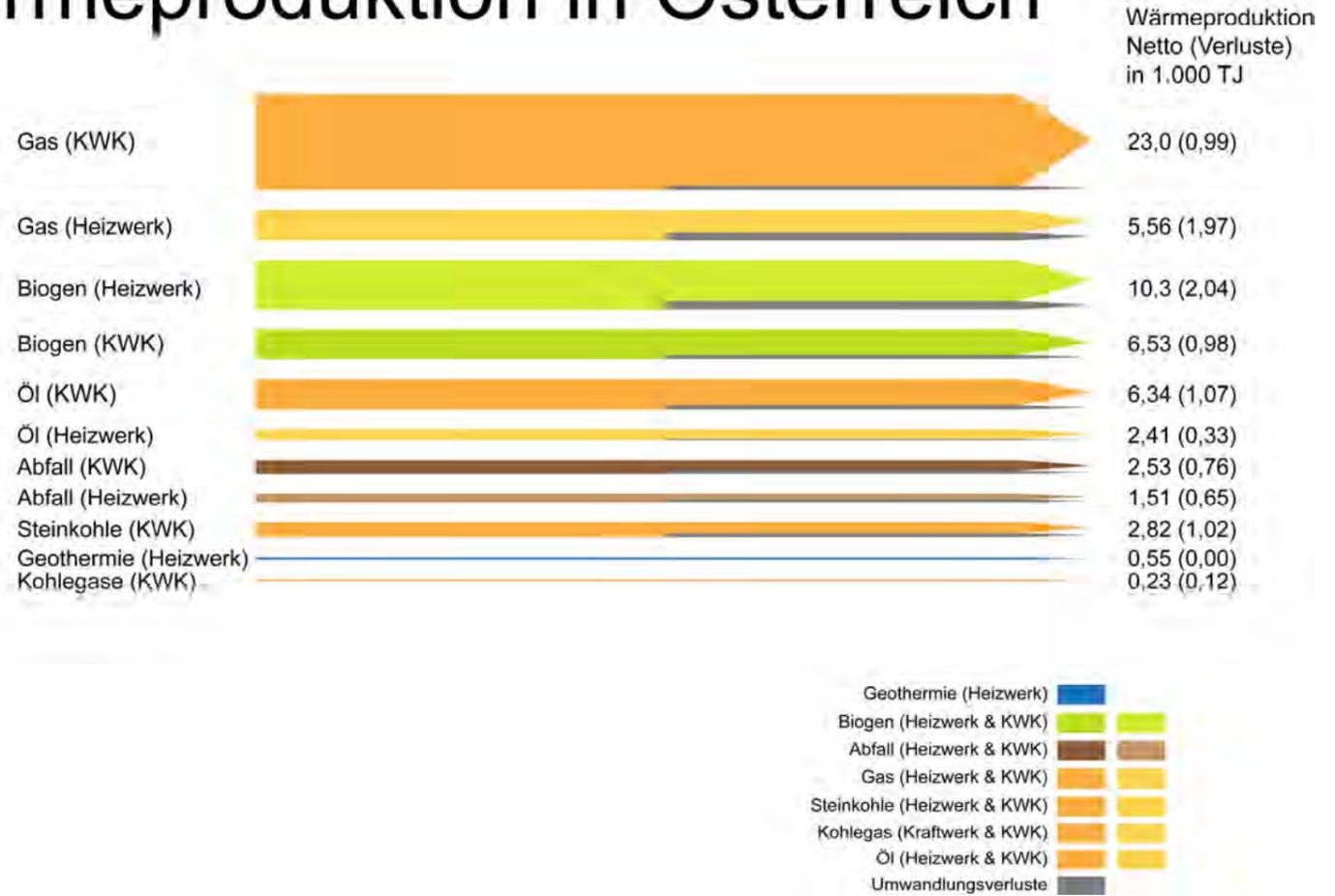
Die Allokationsmethode „Finnische Methode“ hat hier Einfluss auf die Zuteilung der Inputströme in KWK-Anlagen auf die Outputs Strom und Wärme und folglich auf die Pfeilstärke von KWK-Anlagen in der Grafik für Wärme einerseits und für Strom andererseits.

# Stromproduktion in Österreich



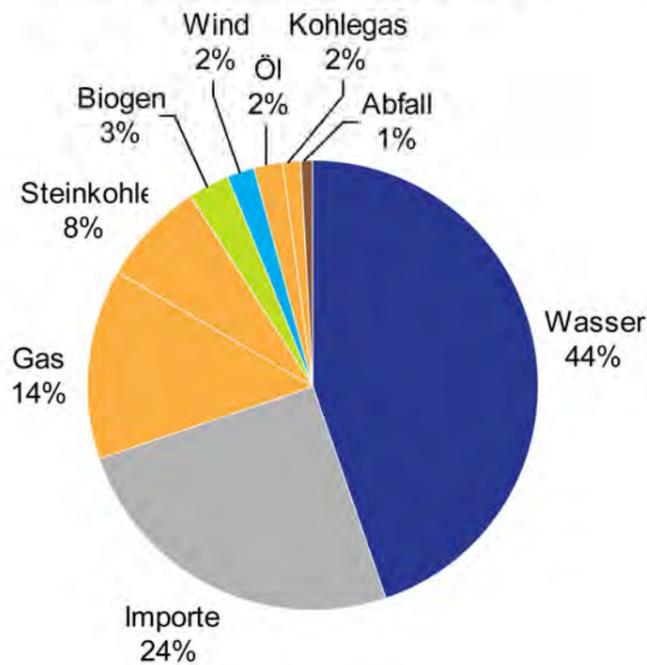
Anhang/Abbildung 1: Stromproduktion in Österreich inkl. Umwandlungsverlusten (Datenstand 2007, Reihung nach Energieträgerinput)

# Wärmeproduktion in Österreich



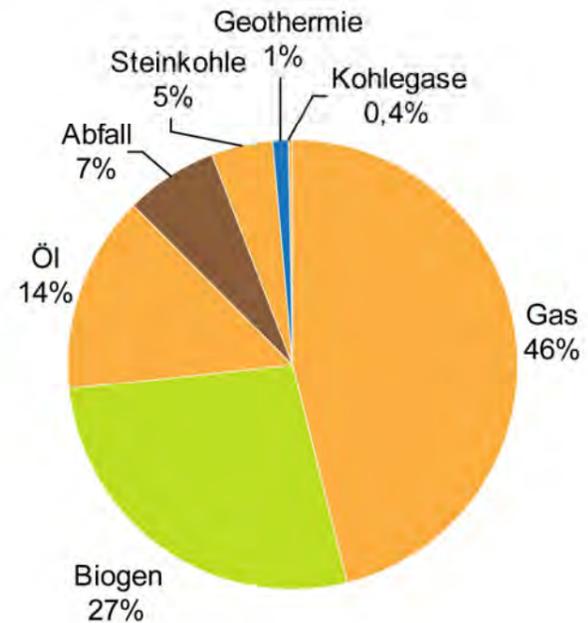
Anhang/Abbildung 2: Wärmeproduktion in Österreich inkl. Umwandlungsverlusten (Datenstand 2007, Reihung nach Energieträgerinput)

## Stromaufbringung in Österreich Nettoproduktion nach Energieträgern



Anhang/Abbildung 3: Stromaufbringung in Österreich (Datenstand: 2007)

## Wärmeproduktion in Österreich Nettoproduktion nach Energieträgern



Anhang/Abbildung 4: Wärmeproduktion in Österreich (Datenstand: 2007)

# **UNTERSUCHUNG VON ALLOKATIONSMETHODEN FÜR KWK-ANLAGEN**

Aufteilung der energetischen  
Input- und Outputströme

Storch Alexander  
Fischer Daniela  
Reisinger Hubert

**Projektleitung**

Alexander Storch

**AutorInnen**

Daniela Fischer, Hubert Reisinger

**Korrektorat**

Maria Deweis

Weitere Informationen zu Umweltbundesamt-Publikationen unter: <http://www.umweltbundesamt.at/>

**Impressum**

Medieninhaber und Herausgeber: Umweltbundesamt GmbH, Spittelauer Lände 5, 1090 Wien/Österreich

Diese Publikation erscheint ausschließlich in elektronischer Form.

<http://www.umweltbundesamt.at/>.

© Umweltbundesamt GmbH, Wien, 2012

Alle Rechte vorbehalten

# INHALT

<b>EINLEITUNG.....</b>	<b>6</b>
<b>METHODENÜBERSICHT .....</b>	<b>7</b>
<b>CHARAKTERISTIK DER METHODEN.....</b>	<b>8</b>
Überblick Allokationskriterien.....	10
Überblick der Bewertungsmethoden .....	11
Richtlinien für die KWK-Gesamtbeurteilung.....	13
<b>ENTSCHEIDUNGSFINDUNG .....</b>	<b>14</b>
<b>VORSCHLAG EINER GEEIGNETEN METHODE .....</b>	<b>16</b>
Beispielhafte Kalkulation.....	16
<b>DETAILDARSTELLUNG DER METHODEN .....</b>	<b>18</b>
Energiemethode.....	19
Wirkungsgradmethode .....	19
Strom-Restwertmethode.....	20
Brennstoffmehrbedarfsmethode.....	20
Wärme-Restwertmethode .....	21
Finnische Methode .....	22
Exergiemethode.....	24
Arbeitswertmethode .....	25
Exergieverlustmethode.....	25
Produktpreismethode .....	26
Keine Aufteilung .....	26
Konvention.....	26
<b>VERZEICHNISSE .....</b>	<b>27</b>
Literaturverzeichnis.....	27
Abbildungsverzeichnis.....	29
Tabellenverzeichnis.....	29



## ZUSAMMENFASSUNG

Das Ziel dieser Studie war die Auswahl eines geeigneten Verfahrens zur Aufteilung der eingesetzten Energieträger auf die Strom- und Wärmeerzeugung in Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen (KWK-Anlagen).

Die Wahl der Allokationsmethode fließt in die Berechnung der Konversionsfaktoren ein und hat einen direkten Einfluss auf die ermittelten Konversionsfaktoren für KWK-Anlagen. Konversionsfaktoren dienen der einheitlichen Berechnung von Emissionen aus Produkten, Dienstleistungen und Prozessen der Energiebereitstellung. Ihre Berechnung erfolgt auf Basis des Life-Cycle-Assessments (LCA).

Im Rahmen dieser Studie wurden 12 Allokationsmethoden ausgewählt und detailliert untersucht. Nach Abwägung der spezifischen Vor- und Nachteile der einzelnen Methoden wurde die Finnische Methode als bestgeeignete zur Beurteilung von KWK-Anlagen ausgewählt. Sie ist ein Kompromiss aus einer guten Ergebnisqualität einerseits und einer praktikablen Berechnung andererseits.

Die Finnische Methode fand bereits Anwendung in der EU-Richtlinie 2004/8/EG für Gesamtwirkungsgrade und Primärenergieeinsparung, im Elektrizitätswirtschafts- und -organisationsgesetz (EIWOG) und im Ökostromgesetz (ÖSG).

## **EINLEITUNG**

Die vorliegende Studie untersucht mögliche Bewertungsverfahren für KWK-Anlagen (Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen) und schlägt auf dieser Basis ein geeignetes Bewertungsverfahren vor.

Die Bewertungsverfahren beschreiben die Allokation der Input- und Outputströme in KWK-Anlagen. Die Verfahren unterscheiden sich in ihrem Allokationskriterium. Das Allokationskriterium bezeichnet die Art und Weise, wie die Umwandlung von Energieträgern (Input) in die Kalkulation der beiden unterschiedlichen Energieformen (Output an Strom und Wärme) einfließt.

Diese Arbeit enthält im Wesentlichen eine Auflistung und Beschreibung der in Betracht gezogenen Bewertungsverfahren, eine Darstellung der Vor- und Nachteile und eine Begründung der Auswahl zur Nachvollziehbarkeit des Entscheidungsprozesses. Detailinformationen zu den einzelnen Verfahren sind dem Kapitel Detaildarstellung der Methoden zu entnehmen.

Das vorgeschlagene Bewertungsverfahren findet Anwendung in der Ermittlung der nationalen Konversionsfaktoren für Raumwärme.

Diese Studie wurde im Rahmen des Forschungsprojektes ÖNORM Plus-Energie in der Ausschreibung „Haus der Zukunft plus“ erstellt.

Die Veröffentlichung erfolgt ausschließlich online auf [www.umweltbundesamt.at](http://www.umweltbundesamt.at) und in den Berichten des Forschungsprojektes „ÖNORM Plus-Energie“.

## METHODENÜBERSICHT

Folgende Auflistung zeigt die Verfahren, welche als Alternativen zur Bewertung von KWK-Anlagen in Betracht gezogen wurden. Sie sind teilweise auch in folgenden Publikationen und Richtlinien zu finden: AGEB 2008, DITTMANN & ROBBI 2008, JUNGMEIER 2000, SAADAT 2003, VIK 2006, VDI-Richtlinien 4608 und 4661.

- Energiemethode (kalorische Methode)
- Wirkungsgradmethode
- Strom-Restwertmethode (für stromgeführte KWK-Anlagen)
- Brennstoffmehrbedarfsmethode (für stromgeführte KWK-Anlagen)
- Wärme-Restwertmethode (für wärmegeführte KWK-Anlagen)
- Finnische Methode
- Exergiemethode
- Arbeitswertmethode
- Exergieverlust-Methode
- Produktpreismethode
- Keine Aufteilung
- Konvention

Einige der Methoden wurden auch in Deutschland zur Bestimmung des KWK-Outputs in Erwägung gezogen (AGFW 2009b). Die deutsche Studie „Bestimmung spezifischer Treibhausgas-Emissionsfaktoren für Fernwärme“ (UMWELTBUNDESAMT DESSAU 2008) beinhaltet die Verfahren Strom- und Wärme-Restwertmethode, Wirkungsgradmethode, Finnische Methode und der alleinigen Zurechnung zu Strom bzw. Wärme.

Das folgende Kapitel gibt eine kurze Beschreibung der oben aufgelisteten Methoden, eine detaillierte Beschreibung der Berechnung der einzelnen Verfahren erfolgt im Kapitel Detaildarstellung der Methoden.

## CHARAKTERISTIK DER METHODEN

### Energiemethode

Die Energiemethode oder kalorische Methode bewertet Wärme und Strom entsprechend dem 1. Hauptsatz der Wärmelehre gleichwertig (DITTMANN & ROSSI 2008). Die gesamte abgegebene Energie setzt sich zusammen aus dem abgegebenen Strom und der abgegebenen Wärmeenergie. Die Allokation erfolgt entsprechend der abgegebenen kWh an Strom und Wärme. Die CO<sub>2</sub>-Emissionen werden den Energieströmen entsprechend aufgeteilt.

### Wirkungsgradmethode

Die Wirkungsgradmethode ist eine spezielle Form der Energiemethode. Der Unterschied liegt in der Art der Allokation. Während bei der Energiemethode die Allokation über die abgegebene Energiemenge in kWh an Strom und Wärme erfolgt, wird bei dieser Methode über einen Wirkungsgradschlüssel allokiert.

### Strom-Restwertmethode – für stromgeführte KWK-Anlagen

Da bei stromgeführten KWK-Anlagen Wärme nur als Koppelprodukt entsteht, wird der Wärme ein spezifischer, typischer CO<sub>2</sub>-Wert für die alternative Wärmeerzeugung zugeordnet. Die Differenz zwischen den errechneten Emissionen und den Gesamtemissionen entfällt auf die Stromerzeugung.

### Brennstoffmehrbedarfs-Methode

Die Brennstoffmehrbedarfsmethode ist eine Sonderform der Strom-Restwertmethode. Es wird der zusätzliche Brennstoffbedarf gemessen, der durch die Wärmeauskopplung verursacht wird. Die Input- und Output-Ströme werden beinahe zur Gänze dem Strom zugerechnet, da die Wärmebereitstellung fast ohne zusätzliche Brennstoffzufuhr erfolgt. So können sich Wärmewirkungsgrade von weit über 100 % ergeben.

### Wärme-Restwertmethode

Die Wärme-Restwertmethode bewertet wärmegeführte KWK-Anlagen analog zur Strom-Restwertmethode. Der Unterschied besteht darin, dass es sich bei den hier bewerteten KWK-Anlagen um wärmegeführte handelt. Hier werden die Emissionen der Stromerzeugung über einen typischen CO<sub>2</sub>-Wert der alternativen Erzeugung errechnet und wie bei der Strom-Restwertmethode von den Gesamtemissionen subtrahiert um als Ergebnis die Emissionen der Wärmebereitstellung zu erhalten.

### Finnische Methode

Die Finnische Methode ist eine Mischung aus Wirkungsgradmethode und Wärme- bzw. Stromrestwertmethode. Die Wirkungsgrade von Strom und Wärme werden auf Referenzwirkungsgrade aus der – dem aktuellen Stand der Technik entsprechenden – Erzeugung von Strom und Wärme bezogen.

### **Exergiemethode**

Die Exergiemethode beschreibt den Anteil an gewonnener Energie, der sich in Arbeit umwandeln lässt. Strom lässt sich zu 100 % als Arbeit nutzen, Wärme hingegen nur entsprechend dem (theoretischen) Carnot'schen Wirkungsgrad.

### **Arbeitswertmethode**

Die Arbeitswertmethode ist eine Form der Exergiemethode, die berücksichtigt, dass der Carnot'sche Wirkungsgrad nur theoretisch erreichbar ist. Aus diesem Grund wird ein Wirkungsgrad verwendet, der der tatsächlich möglichen Erzeugung von Arbeit aus der erzeugten Fernwärme entspricht.

### **Exergieverlust-Methode**

Die Exergieverlust-Methode berücksichtigt die Tatsache, dass die gemeinsame Produktion von Strom und Wärme zu einem geringeren Exergieverlust führt als bei der getrennten Produktion.

### **Produktpreismethode**

Die Allokation der Input- und Outputgrößen erfolgt bei der Produktpreismethode entsprechend den Marktpreisen der Endprodukte Strom und Wärme, die EndverbraucherInnen tatsächlich zu bezahlen haben. Aus den Reserven ergibt sich ein 2,5:1-Verhältnis von Strom und Wärme.

### **Keine Aufteilung**

Alle Input- und Outputgrößen werden dem Hauptprodukt zugewiesen. Das „Nebenprodukt“ wird somit laut Berechnung emissionslos und ohne kalkulatorisch nachvollziehbaren Energieaufwand produziert.

### **Konvention**

Bei der Konvention erfolgt die Entscheidungsfindung durch einen Konsens von ExpertInnen, Unternehmen oder sonstigen EntscheidungsträgerInnen und -trägern. Bei der Konvention besteht das Risiko einer wissenschaftlich nicht abgesicherten Entscheidung. Trotzdem ist bei Ergebnissen aus Konventionen i.d.R. mit einer breiten Akzeptanz zu rechnen.

## Überblick Allokationskriterien

Zur besseren Übersicht werden die einzelnen Methoden nach ihrem Allokationskriterium aufgelistet.

*Tabelle 1: Allokationskriterien der einzelnen Methoden*

<b>Allokationsmethode</b>	<b>Allokationskriterium</b>
<b>Energiemethode</b>	Energie in kWh
<b>Wirkungsgradmethode</b>	Wirkungsgradschlüssel
<b>Restwertmethode</b>	Referenzwirkungsgrad für das Nebenprodukt
<b>Brennstoffmehrbedarfsmethode</b>	Zusätzlicher Aufwand für die Wärmeerzeugung (i.d.R. gering)
<b>Finnische Methode</b>	Wirkungsgradschlüssel und Referenzwirkungsgrad
<b>Exergiemethode</b>	Exergieanteil theoretisch
<b>Arbeitswertmethode</b>	Exergieanteil praktisch
<b>Exergieverlust-Methode</b>	Vergleich mit alternativer Strom- und Wärmeerzeugung
<b>Produktpreismethode</b>	Marktpreis
<b>Keine Aufteilung</b>	keines, 100 % der Emissionen entfallen auf das Hauptprodukt
<b>Konvention</b>	Vereinbarung einer relevanten Gruppe von EntscheidungsträgerInnen und -trägern

## Überblick der Bewertungsmethoden

Im Folgenden sind die Vor- und Nachteile der einzelnen Bewertungsmethoden stichwortartig zusammengefasst. Da es Methoden gibt, die ausschließlich für stromgeführte KWK-Anlagen oder ausschließlich für wärmegeführte KWK-Anlagen angewendet werden, bezeichnen die Spalten „Strom KWK“ und „Wärme KWK“ den Anwendungsbereich der einzelnen Methoden.

Tabelle 2: Vor- und Nachteile der einzelnen Methoden

	Strom KWK	Wärme KWK	Vorteile (+), Nachteile (–) und Fakten (●)
Energiemethode	✗	✗	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ Einfaches, gut nachvollziehbares Verfahren</li> <li>– Nimmt keine Rücksicht auf die unterschiedlichen Qualitäten der Energieformen Strom und Wärme (Exergie)</li> <li>– Belastet 1 kWh Fernwärme gleich stark wie 1 kWh Strom und damit die Fernwärme stärker als andere Methoden</li> <li>● Allokation über den kWh-Output</li> </ul>
Wirkungsgradmethode	✗	✗	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ Einfach</li> <li>+ Berücksichtigt die machbare Unwandelbarkeit</li> <li>– Enthält keine klaren Regeln für die festzulegenden Wirkungsgrade</li> <li>● Allokation über einen Wirkungsgradschlüssel</li> </ul>
Strom-Restwertmethode	✗		<ul style="list-style-type: none"> <li>+ Einfache Anwendbarkeit</li> <li>– Verfälschung des Ergebnisses durch die Wahl des Bezugssystems (und der dazugehörigen Schatten-CO<sub>2</sub>-Werte) ist leicht möglich</li> <li>– Gefahr negativer Allokationen für Strom</li> <li>– Aus der Bewertung ist nicht ersichtlich, dass es sich um ein stromgeführtes System handelt</li> </ul>
Brennstoffmehrbedarfsmethode	✗		<ul style="list-style-type: none"> <li>– Aufgrund der unterschiedlichen Wirkungsgradbereiche ist eine aufwändige Berechnung über einen speziellen Algorithmus notwendig</li> <li>– Eine Bewertung ist nur bei exakt vermessenen Kraftwerken mit hoher zeitlicher Auflösung individuell möglich</li> <li>– Nicht generalisierbar</li> <li>– Der Großteil der Input- und Outputgrößen wird dem Strom zugerechnet</li> <li>● Vorzugsweise für Kraftwerke zu verwenden, bei denen die Wärmenutzung erst nachträglich installiert wurde</li> </ul>

			bzw. kein „Muss“ darstellt
Wärme- Restwertmethode		✗	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ Einfache Anwendbarkeit</li> <li>– Verfälschung des Ergebnisses durch die Wahl des Bezugssystems (und der dazugehörigen Schatten-CO<sub>2</sub>-Werte leicht möglich)</li> <li>– Gefahr der negativen Allokation für Wärme</li> <li>– Aus der Bewertung ist nicht ersichtlich, dass es sich um ein wärmegeführtes System handelt</li> <li>• Wurde in der ÖNORM EN 15316-4-5 und der ÖNORM EN 15603 angewandt</li> </ul>
Finnische Methode	✗	✗	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ Durch zusätzliche Miteinbeziehung der Wirkungsgrade ist die Finnische Methode allgemeiner als die Restwertmethoden</li> <li>– Etwas komplexer</li> <li>• Durchschnittliche Jahre der Inbetriebnahme und durchschnittliche Wirkungsgrade sind als Berechnungsgrundlage erforderlich (für Biomasse-KWK-Anlagen gibt es noch keine Durchschnittswirkungsgrade)</li> <li>• Das Ergebnis der Finnischen Methode liegt zwischen dem der Energie- und dem der Exergiemethode und entspricht etwa dem Mittelwert aller Methoden</li> <li>• Wurde in der EU-Richtlinie 2004/8/EG für Gesamtwirkungsgrade und Primärenergieeinsparung und im EIWOG Österreich (Elektrizitätswirtschafts- und -organisationsgesetz) empfohlen</li> <li>• Belastet 1 kWh Strom rund 2-mal so stark wie Wärme</li> </ul>
Exergiemethode	✗	✗	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Die Orientierung an der Unwandelbarkeit von Wärme in Arbeit hat für Fernwärme aus KWK-Anlagen keine vorrangige Bedeutung</li> <li>– Da die Carnot'schen Wirkungsgrade theoretische Werte sind, ist auch das Ergebnis der Bewertungsmethode sehr theoretisch</li> <li>• Belastet 1 kWh Strom 5-mal so stark wie Wärme</li> </ul>
Arbeitswertmethode	✗	✗	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ Realistisch möglicher Carnot'schen Wirkungsgrad wird verwendet</li> <li>– Die Orientierung an der Unwandelbarkeit von Wärme in Arbeit hat für KWK-Anlagen keine reale Bedeutung</li> <li>• Belastet 1 kWh Strom stärker als die Exergiemethode</li> </ul>
Exergieverlust-Methode	✗	✗	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Genaue Kenntnis über die jeweilige Anlage nötig</li> <li>– Keine exakte Berechnung in der Literatur</li> <li>– Komplex und keine ausreichenden Erfahrungswerte</li> </ul>

			<ul style="list-style-type: none"> <li>– Nicht generalisierbar</li> <li>– Die Orientierung an der Unwandelbarkeit von Wärme in Arbeit hat für KWK-Anlagen keine reale Bedeutung</li> </ul>
Produktpreis methode	✘	✘	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ Einfache Anwendbarkeit</li> <li>– Unterliegt oft starken Schwankungen</li> <li>– Repräsentative Preise sind schwer zu ermitteln</li> <li>• Monetärer Ansatz</li> <li>• Aus volkswirtschaftlicher Sicht zu bevorzugen, wenn Marktpreise den tatsächlichen Wert der Produkte widerspiegeln würden</li> <li>• Belastet 1 kWh Strom rund 2,5-mal so stark wie Wärme</li> </ul>
Keine Aufteilung	✘	✘	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Dem Koppelprodukt werden keine Emissionen zugewiesen</li> <li>– Verzerrtes, einseitiges Ergebnis</li> <li>• Nur zu verwenden bei schlechter Datenlage oder wenn ein Produkt eindeutig als Abfallprodukt deklariert ist</li> </ul>
Konvention			<ul style="list-style-type: none"> <li>– Ein repräsentativer, ergebnisoffener und transparenter Festlegungsprozess ist sehr anspruchsvoll</li> <li>+ Gute Voraussetzung für hohe Akzeptanz</li> <li>+ Einfach in der Anwendung</li> </ul>

## Richtlinien für die KWK-Gesamtbeurteilung

Richtlinien für Ökobilanzen (ISO/WD 14041) und für den kumulierten Energieaufwand (VDI-Richtlinie 4600) empfehlen folgende Prinzipien für hierarchisch geordnete Allokationsprozeduren (HOCHFELD & JENSEIT 1998):

1. Wenn möglich **Vermeidung von Allokation** durch Aufteilen in getrennt zu erfassende Subsysteme oder durch Erweiterung der Systemgrenzen.
2. Wenn die Allokation nicht vermieden werden kann, nach Möglichkeit **Allokation nach physikalischen Beziehungen**.
3. Wenn 1. und 2. nicht möglich, **Allokation nach ökonomischen Beziehungen**.

## ENTSCHEIDUNGSFINDUNG

Basierend auf der Abwägung der Vor- und Nachteile, der spezifischen Eigenschaften und der Stärken und Schwächen der einzelnen Methoden wurde eine Selektion vorgenommen:

Folgende Bewertungsmethoden sind aufgrund der die Realität unzureichend abbildender Ergebnisse und/oder mangelnder Generalisierbarkeit – entweder inhaltlich oder durch überdurchschnittlich hohen Berechnungsaufwand – ausgeschieden:

- Konvention
- Keine Aufteilung
- Brennstoffmehrfachbedarfsmethode

Bei der Konvention sind es vor allem die Unsicherheiten im Festlegungsprozess, welche zu relativ willkürlichen Ergebnissen führen können und eine unrealistische Abbildung der KWK-Anlagen erwarten lassen.

Des Weiteren sind die Methoden, bei welchen die Allokation auf dem Energiegehalt der gewonnenen Energie basiert, zwar inhaltlich korrekt, aber für die Allokation in KWK-Anlagen nicht zielführend, da die Umwandlung von (Fern)wärme in Arbeit in der Praxis keine Option darstellt und diese Modelle der Wärme einen geringeren Wert und folglich eine geringere Bedeutung einräumt als ihr tatsächlich in der Energieversorgung zukommt. Für technische und wissenschaftliche Analysen bzw. Optimierungen haben diese Ansätze sicher ihre Berechtigung, da sie sich stärker an physikalischen Grundprinzipien anlehnen.

Die Produktpreismethode wurde aufgrund ihrer monetären Ausrichtung ausgesiektiert, da sich diese aufgrund der Marktpreisänderungen als wenig konsistent herausstellt und sich für eine volkswirtschaftliche Betrachtung besser eignet.

Folgende Methoden sind somit ausgeschieden:

- Exergiemethode
- Arbeitswertmethode
- Exergieverlust-Methode
- Produktpreismethode

Die verbleibenden Methoden waren:

- Energiemethode
- Wirkungsgradmethode
- Restwertmethoden für Strom und Wärme
- Finnische Methode

Die Restwertmethoden für Strom und Wärme wurden aufgrund der Gefahr negativer Allokation für eine der beiden Energieformen und möglicher Verfälschung des Ergebnisses durch die Wahl des Bezugssystems und der dazugehörigen Schatten-CO<sub>2</sub>-Werte ausgeschieden.

Da die Finnische Methode die Vorteile der beiden anderen Methoden (Energie- und Wirkungsgradmethode und Restwertmethoden) in sich vereint, hat sich dieses Verfahren als die bestgeeignete Allokation für KWK-Anlagen herauskristallisiert.

Tabelle 1: Matrix der Entscheidungsfindung

	Generalisierbarkeit	für Strom- und wärmegeführte-KWK geeignet	Genauigkeit	inhaltliche Eignung
Energiemethode	■	■	■	■
Wirkungsgradmethode	■	■	■	■
Strom-Restwertmethode	■	□	■	□
Brennstoffmehrbedarfsmethode	□	□	■	■
Wärme-Restwertmethode	■	□	■	□
Finnische Methode	■	■	■	■
Exergiemethode	■	■	■	□
Arbeitswertmethode	■	■	■	□
Exergieverlust-Methode	■	■	■	□
Produktpreismethode	■	■	□	□
Keine Aufteilung	■	■	□	□
Konvention	■	■	□	■

■ geeignet

□ nicht geeignet

## VORSCHLAG EINER GEEIGNETEN METHODE

Die Finnische Methode wird als Allokationsmethode für KWK-Anlagen vorgeschlagen. Sie stellt einen Kompromiss zwischen einer praktikablen Bewertungsmethode einerseits und einem qualitativ guten und aussagekräftigen Ergebnis andererseits dar.

Die Finnische Methode ist durch die zusätzliche Miteinbeziehung der Wirkungsgrade repräsentativer und methodisch sicherer als die beiden Restwertmethoden. Für die Berechnung sind die durchschnittlichen Inbetriebnahmejahre und Durchschnittswirkungsgrade erforderlich. Aus diesem Grund ist sie etwas komplexer als die Wirkungsgradmethode und die beiden Restwertmethoden. Dieser geringe Mehraufwand lässt sich aber durch die bessere Ergebnisqualität rechtfertigen.

### Das Ergebnis der Allokation

Im Gegensatz zu anderen Methoden, welche der Wärme und dem Strom zu geringe oder zu hohe Werte bei der Allokation zuordnen, liegt das Ergebnis der Finnischen Methode zwischen dem der Energie- und dem der Exergiemethode. Sie belastet 1 kWh Strom rund 2-mal so stark wie Wärme.

### Bisherige Anwendung

Die Finnische Methode wurde bereits in der EU-Richtlinie 2004/8/EG für Gesamtwirkungsgrade und Primärenergieeinsparung empfohlen und im Elektrizitätswirtschafts- und -organisationsgesetz Österreich (EIWOG) angewandt.

### Beispielhafte Kalkulation

Mittels der ausgewählten Finnischen Methode wurde eine beispielhafte Allokation der Input- und Outputströme durchgeführt (siehe Abbildung 1). Als Datengrundlage diente die Summe der österreichischen Gas-KWK-Anlagen.

Die Allokation ergibt - prozentuell ausgedrückt – folgendes Verhältnis des Brennstoffeinsatzes Gas zu den Endprodukten Strom und Wärme: Vom gesamten Brennstoffeinsatz (100%) werden **34,5% in Strom** (netto)<sup>1</sup> und **41,5% in Wärme** umgewandelt. Die übrigen 24% entfallen auf Verluste.

---

<sup>1</sup> Stromproduktion der KWK-Anlage abzüglich ihres Strombedarfes (elektr. Steuerung)

**Allokation nach der Finnischen Methode am Beispiel Gas als Brennstoff**

**Gas-KWK-Anlagen, Strom- und Wärmeproduktion  
Allokation nach der "Finnischen Methode"**



**Gas-Kraftwerke, Stromproduktion**



**Gas-Heizwerke, Wärmeproduktion**



Abbildung 1: Beispielhafte Allokation nach der Finnischen Methode.

## DETAILDARSTELLUNG DER METHODEN

### Grundsätze für die Auswahl von KWK-Referenzanlagen

Da für einige Methoden die Auswahl von Referenzanlagen erforderlich ist, wird kurz auf die vier Grundsätze für die Auswahl von Referenzanlagen der EU-Richtlinie 2004/8/EG eingegangen:

1. Beim Vergleich von KWK-Blöcken mit Anlagen zur getrennten Stromerzeugung bzw. zur getrennten Wärmeerzeugung gilt der Grundsatz, dass die **gleichen Kategorien von Primärenergieträgern verglichen** werden.
2. Jeder KWK-Block wird mit der **besten**, im Jahr des Baus dieses KWK-Blocks auf dem Markt erhältlichen und wirtschaftlich vertretbaren **Technologie** für die getrennte Erzeugung von Wärme und Strom verglichen.
3. Die Wirkungsgrad-Referenzwerte für **KWK-Blöcke, die mehr als zehn Jahre alt** sind, werden auf der Grundlage der **Referenzwerte von Blöcken festgelegt, die zehn Jahre alt** sind.
4. **Die Wirkungsgrad-Referenzwerte** für die getrennte Erzeugung von Strom und Wärme **müssen die klimatischen Unterschiede von Standorten bzw. zwischen den Mitgliedstaaten widerspiegeln**.

Anm.: Europäische Referenzwerte sind auf österreichische Systembetrachtungen anwendbar.

Um die Inhalte der folgenden Kapitel darzustellen, wird eine kurze Übersicht über die verwendeten Formelzeichen gegeben:

$E_{ab}$	abgegebene nutzbare Energie
$E_{Br}$	zugeführte Brennstoffenergie = Inputenergie
$W_{el,ab}$	abgegebene Stromenergie
$Q_{ab}$	abgegebene Fernwärmeenergie
$C_{KWK}$	CO <sub>2</sub> -Emissionen der KWK-Anlage
$C_{el,ab}$	CO <sub>2</sub> -Emissionen allokiert auf den abgegebenen Strom
$C_{th,ab}$	CO <sub>2</sub> -Emissionen allokiert auf die abgegebene Fernwärme
$C_{KWK}$	spez. CO <sub>2</sub> -Emissionen je kWh zugeführter Brennstoffenergie
$C_{ex,el,ab}$	spezifische CO <sub>2</sub> -Emission je Exergieeinheit abgeg. Strom
$C_{ex,th,ab}$	spezifische CO <sub>2</sub> -Emission je Exergieeinheit abgeg. Wärme

$C_{th,ab,shadow}$  Schatten-CO<sub>2</sub>-Emissionswert der Fernwärmeerzeugung  
 $C_{el,ab,shadow}$  Schatten-CO<sub>2</sub>-Emissionswert der Stromerzeugung

$\eta_{el}$  Elektrischer Wirkungsgrad/Stromwirkungsgrad  
 $\eta_{th}$  Wärmewirkungsgrad  
 $\eta_{el,ref}$  Referenzwärmewirkungsgrad eines Stand der Technik-Kraftwerks  
 $\eta_{th,ref}$  Referenzwärmewirkungsgrad eines Stand der Technik-Heizkessels

$E_{ex}$  Exergie (Energie die sich in Arbeit umwandeln lässt)  
 $E_{ex, th, ab}$  Exergie der abgegebenen Wärme  
 $E_{ex, el, ab}$  Exergie des abgegebenen Stroms

$T_n$  niedrigste Temperatur des Prozesses in Kelvin  
 $T_h$  höchste Temperatur des Prozesses in Kelvin

## Energiemethode

$$E_{ab} = W_{el,ab} + Q_{ab} \quad (1)$$

Entsprechend den Energieströmen werden die CO<sub>2</sub>-Emissionen  $C_{KWK}$  aufgeteilt:

$$C_{el,ab} = C_{KWK} / E_{ab} * W_{el,ab} \quad (2)$$

und

$$C_{th,ab} = C_{KWK} / E_{ab} * Q_{ab} \quad (3)$$

Es besteht die Möglichkeit der Berechnung der spezifischen CO<sub>2</sub>-Emissionen aus Gleichung (1) und

$$C_{KWK} = C_{el,ab} * W_{el,ab} + C_{th,ab} * Q_{ab} \quad (4)$$

folgt:

$$C_{el,ab} = C_{th,ab} = C_{KWK} / E_{ab} \quad (5)$$

## Wirkungsgradmethode

Die Wirkungsgradmethode ist eine spezielle Form (eine Erweiterung) der Energiemethode. Hier erfolgt die Allokation über einen Wirkungsgradschlüssel:

$$C_{el,ab} = C_{KWK} * (\eta_{el}/(\eta_{el} + \eta_{th})) \quad (6)$$

mit

$$\eta_{el} = W_{el,ab} / E_{Br} \quad (7)$$

$$\eta_{th} = Q_{ab} / E_{Br} \quad (8)$$

Das Ergebnis von Formel (6) ist identisch mit dem Ergebnis von Formel (2).

Die spezifischen CO<sub>2</sub>-Emissionen je abgegebener kWh Energie errechnen sich analog zu Gleichung (5) durch

$$C_{el,ab} = C_{th,ab} = C_{KWK} / (E_{Br} * (\eta_{el} + \eta_{th})) \quad (9)$$

mit

$$C_{KWK} = C_{KWK} * E_{Br} \quad (10)$$

und Gleichung (9) vereinfacht sich zu

$$C_{el,ab} = C_{th,ab} = C_{KWK} / (\eta_{el} + \eta_{th}) \quad (11)$$

## Strom-Restwertmethode

Dem Koppelprodukt von stromgeführten KWK (der Fernwärme) wird ein spezifischer CO<sub>2</sub>-Emissionswert zugeordnet, der für alternative Fernwärmeerzeugungstechnologien typisch ist. Da in der volkswirtschaftlichen Analyse in analogen Fällen von Schattenpreisen gesprochen wird (BELLI 1996), wird hier der Begriff **spezifischer Schatten-CO<sub>2</sub>-Emissionswert** verwendet.

$$C_{el,ab} = C_{KWK} - Q * C_{th,ab,shadow} \quad (12)$$

bzw.

$$C_{el,ab} = (C_{KWK} - Q_{ab} * C_{th,ab,shadow}) / W_{el,ab} \quad (13)$$

## Brennstoffmehrbedarfsmethode

Detaillierte Anlagenkenntnis der KWK-Anlage und Daten mit hoher Zeitauflösung sind erforderlich. Aufgrund der Betriebsweisen (Voll- und Teillast) ist ein komplizierter Algorithmus notwendig.

Die Brennstoffmehrbedarfsmethode ist eine Sonderform der Strom-Restwertmethode, bei welcher der zusätzliche Brennstoffeinsatz der von der Wärmeauskopplung verursacht wird, gemessen wird. Da in vielen Fällen mit dem Brennstoff wesentlich weniger zusätzliche Energie zugeführt werden muss, als aus der Abwärme gewonnen werden kann, können Wärmewirkungsgrade von weit über 100 % entstehen. Beispielsweise wurde für das Gaskraftwerk Donaustadt 3 ein Wärmewirkungsgrad von 333 % errechnet

Da der zusätzliche Brennstoffeinsatz stark davon abhängt, ob ein Kraftwerk im Voll- oder Teillastbereich fährt, sind umfangreiche Messungen und die Entwicklung eines Algorithmus notwendig (UMWELTBUNDESAMT 2007).

Es handelt sich um eine Methode, die nur auf ein konkretes, genau vermessenes Kraftwerk angewendet werden kann und die nur angewendet werden sollte, wenn für das Kraftwerk ursprünglich gar keine Abwärmenutzung vorgesehen war.

Diese Methode ist auch insofern problematisch, da bei Kraftwerken, bei denen die Wärmeauskopplung ohne Verringerung der Stromausbeute und ohne zusätzliche Brennstoffzufuhr erfolgt, der errechnete Primärenergiefaktor der Wärme Null, die allozierten Emissionen ebenfalls Null und die Effizienz der Wärmeerzeugung „unendlich“ betragen. Es ist eine Methode mit der die Input- und Outputströme (fast) zur Gänze dem Strom zugerechnet werden.

## Wärme-Restwertmethode

Analog zur Strom-Restwertmethode wird bei der Wärme-Restwertmethode ein spezifischer Schatten-CO<sub>2</sub>-Emissionswert der Stromerzeugung verwendet:

$$C_{th,ab} = (C_{KWK} - C_{el,ab,shadow} * W_{el,ab}) / Q_{ab} \quad (14)$$

Tabelle 2: Schattenkoeffizienten für die Wärme- und Stromrestwertmethode aus einem Ökoinventar der Energiesysteme der ETH Zürich 1996 (ADENSAM et al. 2009)

Energieträger	Koeffizient für die CO <sub>2</sub> -Produktion (kg/MWh)	Primärenergiefaktoren f <sub>p</sub>	
		nicht erneuerbarer Energie-Input (MWh <sub>Lebenszyklus,in</sub> /MWh <sub>el,ab</sub> )	Gesamt-Energie-Input (MWh <sub>Lebenszyklus,in</sub> /MWh <sub>el,ab</sub> )
<b>Strom aus</b>	<b>C<sub>el,ab,shadow</sub></b>		
Wasserkraft	7	0,50	1,50
Kernkraft	16	2,80	2,80
Kohlekraft	1.340	4,05	4,05
UCTE-Energiemix	617	3,14	3,31
<b>Brennstoff</b>	<b>C<sub>th,in</sub></b>	<b>nicht erneuerbarer Energie-Input (MWh<sub>Lebenszyklus,in</sub>/MWh<sub>th,in</sub>)</b>	<b>Gesamt-Energie-Input (MWh<sub>Lebenszyklus,in</sub>/MWh<sub>th,in</sub>)</b>
Heizöl	330	1,35	1,35
Gas	277	1,36	1,36
Anthrazit	394	1,19	1,19
Braunkohle	433	1,40	1,40
Koks	467	1,53	1,53

Holzspäne	4	0,06	1,08
Holzblock	14	0,09	1,09
Buchenholzblock	13	0,07	1,07
Tannenholzblock	20	0,10	1,10
<p><math>C_{elab,shadow}</math>.....spezifischer Schatten-CO<sub>2</sub>-Emissionswert der Stromerzeugung</p> <p><math>C_{th,in}</math>.....spezifischer Lebenszyklus-CO<sub>2</sub>-Emissionswert je MWh zugeführtem Brennstoff</p> <p><math>MWh_{Lebenszyklus,in}</math> ..... Energieinput über den Lebenszyklus</p> <p><math>MWh_{el,ab}</math>.....Stromabgabe</p> <p><math>MWh_{th,in}</math>.....Energieinhalt in zugeführtem Brennstoff</p> <p>UCTE .....Union for the Co-ordination of Transmission of Electricity</p>			

### Finnische Methode

Die Finnische Methode ist eine Mischung aus Wirkungsgradmethode und Restwertmethode bei der der aktuelle Stromwirkungsgrad einer KWK-Anlage ( $\eta_{el}$ ) auf einen Referenz-Stromwirkungsgrad eines Stand der Technik-Kraftwerks ( $\eta_{el,ref}$ ) und der aktuelle Wärmewirkungsgrad einer KWK-Anlage ( $\eta_{th}$ ) auf einen Referenz-Wärmewirkungsgrad eines Stand der Technik-Heizkessels ( $\eta_{th,ref}$ ) bezogen wird (AGEB 2008):

$$C_{el,ab} = C_{KWK} * (\eta_{el} / \eta_{el,ref}) / (\eta_{el} / \eta_{el,ref} + \eta_{th} / \eta_{th,ref}) \quad (15)$$

bzw.

$$c_{el,ab} = C_{KWK} * (\eta_{el} / \eta_{el,ref}) / (\eta_{el} / \eta_{el,ref} + \eta_{th} / \eta_{th,ref}) / W_{el,ab} \quad (16)$$

Sind nicht die Effizienzen des KWK-Systems bekannt sondern nur die abgegebene Stromenergie  $W_{el,ab}$  und die abgegebene Fernwärmeenergie  $Q_{ab}$ , so können die Gleichungen (15) und (16) mit Hilfe der Gleichungen (7) und (8) umgewandelt werden zu:

$$C_{el,ab} = C_{KWK} * (W_{el,ab} / \eta_{el,ref}) / (W_{el,ab} / \eta_{el,ref} + Q_{ab} / \eta_{th,ref}) \quad (17)$$

bzw.

$$c_{elab} = C_{KWK} * (1 / \eta_{el,ref}) / (W_{el,ab} / \eta_{el,ref} + Q_{ab} / \eta_{th,ref}) \quad (18)$$

Diese Gleichungen können weiter umgeformt werden zu:

$$C_{el,ab} = C_{KWK} * (W_{el,ab} * \eta_{th,ref} / \eta_{el,ref}) / (W_{el,ab} * \eta_{th,ref} / \eta_{el,ref} + Q_{ab}) \quad (19)$$

bzw.

$$c_{el,ab} = C_{KWK} * (\eta_{th,ref} / \eta_{el,ref}) / (W_{el,ab} * \eta_{th,ref} / \eta_{el,ref} + Q_{ab}) \quad (20)$$

oder gemäß Gleichung (10)

$$c_{el,ab} = c_{KWK} * E_{Br} * (\eta_{th,ref} / \eta_{el,ref}) / (W_{el,ab} * \eta_{th,ref} / \eta_{el,ref} + Q_{ab}) \quad (21)$$

Analog dazu sind die spezifischen CO<sub>2</sub>-Emissionen der abgegebenen Fernwärme:

$$c_{th,ab} = C_{KWK} * E_{Br} / (W_{el,ab} * \eta_{th,ref} / \eta_{el,ref} + Q_{ab}) \quad (22)$$

Tabelle 3: Wirkungsgrad-Referenzwerte für die Finnische Methode (Vik 2006)

Harmonisierte Wirkungsgrad-Referenzwerte der getrennten Stromproduktion $\eta_{el,ref}$			
Jahr der Inbetriebnahme der Anlage	1998	2002	2006–2011
Steinkohlekraftwerk	0,397	0,431	0,442
Erdgaskraftwerk	0,500	0,519	0,525
Harmonisierte Wirkungsgrad-Referenzwerte der getrennten Wärmeproduktion $\eta_{th,ref}$			
	Wärme	Dampf	Direktnutzung
Steinkohleheizkessel	0,88	0,83	0,80
Braunkohleheizkessel	0,86	0,981	0,78
Heizöl(leicht)heizkessel	0,89	0,84	0,81
Erdgasheizkessel	0,90	0,85	0,82

Nimmt man beispielsweise als Referenzanlage ein Kraftwerk mit  $\eta_{el,ref} = 0,431$  und einen heizölbefeuerten Heizkessel mit  $\eta_{th,ref} = 0,89$  so erhält man für Gleichungen (19) und (20):

$$C_{el,ab} = C_{KWK} * (W_{el,ab} * 2,06) / (W_{el,ab} * 2,06 + Q_{ab}) \quad (23)$$

bzw.

$$C_{el,ab} = C_{KWK} * 2,06 / (W_{el,ab} * 2,06 + Q_{ab}) \quad (24)$$

Daraus ergibt sich für die auf die Fernwärme allokierten CO<sub>2</sub>-Emissionen:

$$C_{th,ab} = C_{KWK} * Q_{ab} / (W_{el,ab} * 2,06 + Q_{ab}) \quad (25)$$

bzw.

$$c_{th,ab} = C_{KWK} / (W_{el,ab} * 2,06 + Q_{ab}) \quad (26)$$

Auch die Einstufung von KWK-Anlagen als hocheffiziente Kraft-Wärme-Kopplung gemäß § 42 a,b, Anlage III und IV EIWOG nimmt Bezug auf EU-Richtlinie 2004/8/EG und auf die Finnische Methode (E-CONTROL 2008).

Eine Kraftwärmekopplungsanlage wird nur dann als hocheffizient eingestuft, wenn die Primärenergieeinsparung (PEE) gemäß nachstehender Gleichung größer als 10 % ist (EIWOG, Anlage IV):

$$PEE = (1 - 1 / (\eta_{el} / \eta_{el,ref} + \eta_{th} / \eta_{th,ref})) * 100 \% \quad (27)$$

## Exergiemethode

Exergie  $E_{ex}$  ist Energie, die sich bei den jeweiligen thermodynamischen Umgebungsbedingungen prinzipiell in jede andere Energieform, insbesondere in Arbeit, umwandeln lässt. Strom lässt sich zu 100 % als Arbeit nutzen, Wärme hingegen nur entsprechend dem Carnotschen Wirkungsgrad  $\eta_C$ :

$$E_{ex,th,ab} = Q_{ab} * \eta_C = Q_{ab} * (1 - T_n / T_h) \quad (28)$$

Zur Berechnung der CO<sub>2</sub>-Allokation gilt analog zu Gleichung (4) folgende Gleichung:

$$C_{KWK} = c_{ex,el,ab} * E_{ex,el,ab} + c_{ex,th,ab} * E_{ex,th,ab} \quad (29)$$

Analog zu Gleichung (5) gilt dabei:

$$c_{ex,el,ab} = c_{ex,th,ab} \quad (30)$$

Es gilt aber auch weiterhin Gleichung (4). Daraus folgt:

$$C_{KWK} = c_{el,ab} * W_{el,ab} + c_{th,ab} * Q_{ab} = c_{ex,el,ab} * E_{ex,el,ab} + c_{ex,th,ab} * E_{ex,th,ab} \quad (31)$$

Da bei Strom Exergie und Energie ident sind, gilt:

$$W_{el,ab} = E_{ex,el,ab} \quad (32)$$

sowie

$$c_{el,ab} = c_{ex,el,ab} \quad (33)$$

bzw. unter Berücksichtigung von Gleichung (26):

$$c_{el,ab} = c_{ex,el,ab} = c_{ex,th,ab} \quad (34)$$

Damit lässt sich Gleichung (31) vereinfachen zu:

$$c_{th,ab} * Q_{ab} = c_{ex,th,ab} * E_{ex,th,ab} \quad (35)$$

bzw.

$$c_{th,ab} * Q_{ab} = c_{el,ab} * E_{ex,th,ab} \quad (36)$$

bzw (unter Berücksichtigung von Gleichung (28):

$$c_{th,ab} * Q_{ab} = c_{el,ab} * Q_{ab} * \eta_C \quad (37)$$

bzw.

$$c_{th,ab} = \eta_C * c_{el,ab} \quad (38)$$

Eingesetzt in Gleichung (4) ergibt sich:

$$c_{el,ab} = C_{KWK} / (W_{el,ab} + \eta_C * Q_{ab}) \quad (39)$$

und

$$c_{th,ab} = \eta_C * C_{KWK} / (W_{el,ab} + \eta_C * Q_{ab}) \quad (40)$$

Eine Schwierigkeit dieses Ansatzes bei der Betrachtung eines Systems aus mehreren Anlagen ist die Auswahl der  $T_n$  und der  $T_{\bar{n}}$ . Auch ist unklar, ob als  $T_n$  die Rücklauf­temperatur oder die durchschnittliche Umgebungstemperatur in der Heizperiode zu nehmen ist. Jedenfalls wird in der Literatur für den Exergieanteil der Fernwärme meist ein Wert von rund 0,2 genannt (JUNGMEIER 2000).

Nimmt man diesen Wert, so ergeben sich folgende spezifische  $CO_2$ -Emissionen je kWh erzeugtem Strom ( $c_{el,ab}$ ) und je kWh erzeugter Wärme ( $c_{th,ab}$ ):

$$c_{el,ab} = C_{KWK} / (W_{el,ab} + 0,2 * Q_{ab}) \quad (41)$$

$$c_{th,ab} = 0,2 * C_{KWK} / (W_{el,ab} + 0,2 * Q_{ab}) \quad (42)$$

## Arbeitswertmethode

Die Arbeitswertmethode berücksichtigt, dass der Carnotsche Wirkungsgrad nur theoretisch erreichbar ist, sodass bei dieser Methode ein Wirkungsgrad  $\eta_{real}$  verwendet wird, der der tatsächlich möglichen Erzeugung von Arbeit aus Fernwärme entspricht (DITTMANN & ROBBI 2008):

$$c_{el,ab} = C_{KWK} / (W_{el,ab} + Q_{ab} * \eta_{real}) \quad (43).$$

## Exergieverlustmethode

Die VDI-Richtlinie 4608 empfiehlt die Anwendung der Exergieverlust-Methode zur Allokation von Input- oder Outputgrößen auf die Produkte Strom und Fernwärme bei KWK.

Sowohl aus Sicht der Stromerzeugung als auch der Wärmeproduktion kommt es bei KWK zu einem geringen Exergieverlust (einer größeren Exergieausbeute) als bei der getrennten Produktion von Strom und Wärme. Das Maß des verringerten Exergieverlusts aus Stromsicht und das Maß des verringerten Exergieverlusts aus Wärmesicht wird zueinander in Beziehung gesetzt um die Input- bzw. Outputgrößen der KWK-Anlage dem Strom bzw. der Fernwärme zuzuordnen (ARBEITSGEMEINSCHAFT REFERENZWERTE 2006).

Es konnten keine Unterlagen zugänglich gemacht werden, aus denen eine Formel für die Allokation des KWK- $CO_2$  möglich gewesen wäre. Jedoch steht fest, dass eine genaue Kenntnis der jeweiligen Anlage notwendig ist (inklusive der Kenntnis der Umgebungstemperatur, der Höchst- und Niedrigsttemperatur des Dampfkreislaufes, mit und ohne Auskopplung des Koppelprodukts), um die Allokation durchführen zu können.

## Produktpreismethode

Die Allokation erfolgt entsprechend den Marktpreisen der Produkte Wärme und Strom.

$$C_{KWK} = c_{el,ab} * W_{el,ab} + c_{th,ab} * Q_{ab} \quad (44)$$

und

$$c_{el,ab} = 2,5 * c_{th,ab} \quad (45)$$

ergibt:

$$c_{el,ab} = C_{KWK} / (W_{el,ab} + Q_{ab} / 2,5) \quad (46)$$

## Keine Aufteilung

„Die Input- und Outputgrößen werden ganz dem Hauptprodukt zugeteilt. Dieser Weg kann beschränkt werden, wenn die Koppelprodukte auch als „Abfall“ oder „Abprodukte“ deklariert werden können. Ansonsten sollte nur bei schlechter Datenlage auf diese Methode zurückgegriffen werden“ (HECK 2007).

Die Wahl des Hauptproduktes kann sehr subjektiv sein. In dem Moment, in dem aus dem verbleibenden Nebenprodukt ein Nutzen gezogen wird, entspricht dessen rechnerische Vernachlässigung nicht der Realität.

## Konvention

„Die Aufteilung kann auf Grund von Konventionen vorgenommen werden. Dieses Vorgehen kann zum Beispiel beim Fehlen marktwirtschaftlicher Verhältnisse an Stelle der Allokation nach Produktpreisen verwendet werden“ (HECK 2007).

Die Festlegung durch eine Gruppe von ExpertInnen, Marktunternehmen und/oder Entscheidungsträgerinnen und -trägern wirft die Frage der Interessenlage, der vorgefassten Einzelmeinungen und der Repräsentativität der Gruppe auf.

Es besteht durch gruppendynamische Prozesse das Risiko einer einseitigen Konvention, da auch bei einer repräsentativen und sorgfältigen Auswahl der GruppenteilnehmerInnen das Ergebnis letztendlich immer einen Kompromiss zwischen Einzelinteressen und Einzelmeinungen darstellt.

Bei einem gut organisierten, möglichst offenen, fair abgehaltenen und gut dokumentierten Prozess mit einer, von offenen Gruppenteilnehmerinnen und -teilnehmern getragenen Konvention kann trotz fehlender technischer oder wirtschaftlicher Datengrundlage eine hohe Akzeptanz erreicht werden. In der EU-Richtlinie über Energieeffizienz und Energiedienstleistungen (EU-RL 2006/32/EG) ist als Strombewertungsoption ein Faktor von 2,5 für die Bewertung vorgegeben.

## VERZEICHNISSE

### Literaturverzeichnis

ADENSAM, H.; KRAWINKLER, R.; SIMADER, G. & THENIUS, G. (2009): Primärenergiebetrachtung. Kleingruppendiskussion, 23.07.2008. Energieeffizienz Monitoringstelle, Energieagentur, Wien.

AGEB – AG ENERGIEBILANZEN (2008): Vorwort zu den Energiebilanzen für die Bundesrepublik Deutschland. Berlin.. [www.ag-energiebilanzen.de](http://www.ag-energiebilanzen.de).

AGFW (2009a): Prüfung von Gutachten für spezifische Primärenergiefaktoren von Fernwärmesystemen. Frankfurt am Main. [www.agfw.de](http://www.agfw.de)

AGFW (2009b): Zertifizierung von KWK-Anlagen – Ermittlung des KWK-Stromes. Frankfurt am Main.

ARBEITSGEMEINSCHAFT REFERENZWERTE (2006): Produktbezogene Referenzwerte zur Bestimmung von Emissionsintensitäten und zugehörigen Kostenreduktionspotenzialen in kmU. Abschlussbericht Teil B1: Analyse der Energiewirtschaft. Aif ZUTECH Projekt Nr. 158 Z. Lehrstuhl für technische Thermodynamik, RWTH Aachen; Institut für Energie- und Umwelttechnik, Duisburg; EUtech, Aachen & Gesellschaft zur Förderung angewandter Informatik e.V., Berlin.

BELLI, P. (1996): Handbook on Economic Analysis of Investment Operations. The World Bank, Washington, D.C.

DITTMANN, A. & ROSSI, ST. (2008): Das Spannungsfeld einer ökologischen Bewertung von KWK-Anlagen. Proc. 13. Dresdner Fernwärmekolloquium, 14.09.2008.

E-CONTROL (2008): Bericht über die Stromkennzeichnung. Wien. [www.e-control.at](http://www.e-control.at).

HECK, Th. (2007): Teil XIV – Wärme-Kraft-Kopplung – Data v2.0. Ecoinvent Report No. 6-XIV, Villigen.

HOCHFELD, CH. & JENSEIT, W. (1998): Allokation in Ökobilanzen und bei der Berechnung des kumulierten Energieaufwandes (KEA). Öko-Institut, Darmstadt.

JUNGMEIER, G. (2000): Allocation of Emissions to Heat and Electricity from CHP Production. Joanneum Research; Proc. Cost E9: Mid-term meeting, Helsinki March 27.–29. 2000.

SAADAT, A. (2003): Methodische Ansätze zur Erstellung dezentraler multivalenter Energieversorgungskonzepte für Siedlungen im Iran. Dissertation, TU-Berlin.

THEISSING, M. & THEISSING-BRAUHART, I. (2009): Primärenergie- und CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktoren von Energieträgern in Fernwärmesystemen. Graz.

UMWELTBUNDESAMT (2007): Pölz, W.: Emissionen der Fernwärme Wien 2005 - Ökobilanz der Treibhausgas- und Luftschadstoffemissionen aus dem Anlagenpark der Fernwärme Wien GmbH. Report REP-0076. Wien.

UMWELTBUNDESAMT DESSAU (2008): Fritsche, U. & Rausch, L.: Bestimmung spezifischer Treibhausgas-Emissionsfaktoren für Fernwärme. Nr. 08/2008, UBAFBNr 001145. Darmstadt. [www.umweltbundesamt.de](http://www.umweltbundesamt.de)

Vik – Verband der Industriellen Energie- und Kraftwirtschaft e.V. (2006): CO<sub>2</sub>-Kennzeichnung von Strom aus KWK-Anlagen – Brennstoffzuordnung auf elektrische und thermische Energie. Essen. [www.vik.de](http://www.vik.de).

### **Rechtsnormen und Leitlinien**

DIN V 4701-10:2003-06 geändert durch A1:2006-12 (2006): Energetische Bewertung heiz- und raumluftechnischer Anlagen – Teil 10: Heizung, Trinkwassererwärmung, Lüftung. Deutsche Industrienorm. <http://www.nhrs.din.de/>

Elektrizitätswirtschafts- und -organisationsgesetz (EIWOG; BGBl. I Nr. 143/1998 i.d.F. BGBl. I Nr. 106/2006): Bundesgesetz, mit dem die Organisation auf dem Gebiet der Elektrizitätswirtschaft neu geregelt wird.

Energieeinsparverordnung (EnEV): Verordnung zur Änderung der Energieeinsparverordnung vom 29. April 2009 über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden.

ISO 14040 (2006): Umweltmanagement – Ökobilanz – Grundsätze und Rahmenbedingungen.

ISO/WD 14041 (1998): Umweltmanagement – Ökobilanz – Festlegung des Ziels und des Untersuchungsrahmens sowie Sachbilanz.

Ökostromgesetz (ÖSG; BGBl. I Nr. 149/2002): Bundesgesetz, mit dem Neuregelungen auf dem Gebiet der Elektrizitätserzeugung aus erneuerbaren Energieträgern und auf dem Gebiet der Kraft-Wärme-Kopplung erlassen werden.

ÖNORM EN 15203 (2005): Energieeffizienz von Gebäuden – Bewertung des Energieverbrauchs und Festlegung der Leistungsindikatoren.

ÖNORM EN 15316-4-5 (2007): Heizungsanlagen in Gebäuden – Verfahren zur Berechnung der Energieanforderungen und Nutzungsgrade der Anlagen – Teil 4–5: Wärmeerzeugungssysteme, Leistungsfähigkeit und Effizienz von Fernwärme- und großvolumigen Systemen.

ÖNORM EN 15603 (2008): Energieeffizienz von Gebäuden – Gesamtenergieverbrauch und Festlegung der Energiekennwerte.

RL 2004/8/EG: Richtlinie vom 11. Februar 2004 über die Förderung einer am Nutzwärmebedarf orientierten Kraft-Wärme-Kopplung im Energiebinnenmarkt und zur Änderung der Richtlinie 92/42/EWG. Abl. Nr. L 52/50.

RL 2006/32/EG: Richtlinie des Europäischen Parlaments und des Rates vom 5. April 2006 über Endenergieeffizienz und Energiedienstleistungen und zur Aufhebung der Richtlinie 93/76/EWG des Rates. Abl. Nr. L 114/64.

VDI-Richtlinie 4600 (1997): Kumulierter Energieaufwand – Begriffe, Definitionen, Berechnungsmethoden.

VDI-Richtlinie 4608, Blatt 2, Juli 2008 (2008): Energiesysteme – Kraft-Wärme-Kopplung – Allokation und Bewertung.

VDI-Richtlinie 4661 (2000): Energiekennwert – Definitionen, Begriffe, Methodik.

## Abbildungsverzeichnis

*Abbildung 1: Beispielhafte Allokation nach der Finnischen Methode*

## Tabellenverzeichnis

*Tabelle 1: Allokationskriterien der einzelnen Methoden*

*Tabelle 2: Vor- und Nachteile der einzelnen Methoden*

*Tabelle 3: Matrix der Entscheidungsfindung*

*Tabelle 4: Schattenkoeffizienten für die Wärme- und Stromrestwertemethode aus einem Ökoinventar der Energiesysteme der ETH Zürich 1996 (ADENSAM et al. 2009)*

*Tabelle 5: Wirkungsgrad-Referenzwerte für die Finnische Methode (VIK 2006)*

# Screenshot Schulungstool

Das Schulungstool basiert auf den vorangegangenen Schulungstool für die Berechnung der Energieausweiskennzahlen. Auf dem ersten Arbeitsblatt sind die verschiedenen Kenngrößen für das Labeling dargestellt.

Zur Erzeugung des Halbsynthetischen Referenzjahres ist das Arbeitsblatt TRY ergänzt.



Die Parameter zur Definition der Nutzung (Personenanzahl, Haushaltsstrom, Anwesenheit) sind im Blatt Nutzung zusammengestellt.

normierte Nutzung	Nein	Ja/Nein	DGF	1330 m³
			DF	1064 m³
Anzahl der WE	13		qi,h	4.03362859 W/m²BF
			wwwb	45.6296563 Wh/m²d
Anzahl der Personen	35 Personen			
Haushaltsstrombedarf	24000 kWh/Jahr			
Warmwasserverbrauch	381 m³/Jahr			
Anzahl Schlafzimmer	26 Anzahl			
Anteil Schlafzimmer mit gekippten Fenstern	10 %			
Operative Temperatur	22 °C			

Anwesenheit	in Prozent
1	90
2	90
3	90
4	90
5	90
6	90
7	50
8	50
9	50
10	50
11	50
12	50
13	75
14	75
15	75
16	75

Anwesenheit der BewohnerInnen in Prozent

Im Arbeitsblatt Verlauf kann der Vergleich mit gemessenen Daten hergestellt werden bzw. der kumulierte Energieverbrauch der verschiedenen Energieträger dargestellt werden.

WÄRME					
	TW	RH	Kessel	TW+RH	
	01.01.2007	kWh	kWh	m³Erdgas	
31 Jan	01.02	2.735	3.086	799.3151703	630
28 Feb	01.03	5.210	6.070	1542.040967	1.221
31 Mrz	01.04	7.933	7.798	2209.812349	1.709
30 Apr	01.05	10.531	8.838	2703.997261	2.110
31 Mai	01.06	13.205	9.371	3368.679563	2.519
30 Jun	01.07	15.767	9.871	3823.303395	2.806
31 Jul	01.08	18.408	9.871	4290.476968	3.102
31 Aug	01.09	21.059	9.871	4784.546667	3.401
30 Sep	01.10	23.661	10.929	5362.248182	3.805
31 Okt	01.11	26.376	12.328	5897.178938	4.257
30 Nov	01.12	29.035	16.341	6874.666003	4.976
31 Dez	01.01	31.800	22.311	7970.160015	5.913

STROM			
	HE	RLT	Gesamt
	kWh	kWh	kWh
Jan	40.81814		2038.356184
Feb	78.683781		3879.452085
Mrz	112.86988		5917.808219
Apr	142.20869		7890.410959
Mai	172.46443		9928.767123
Jun	196.62736		11901.36986
Jul	221.57018		13939.72603
Aug	246.54989		15978.08219
Sep	276.10829		17950.88403
Okt	308.49037		19989.0411
Nov	353.17988		21961.64384
Dez	468.65303		24200.21100

kumulierter Gasverbrauch in m³

kumulierte Wärmemenge für Raumheizung in kWh

