

Die approbierte Originalversion dieser Dissertation ist an der Hauptbibliothek der Technischen Universität Wien aufgestellt (<http://www.ub.tuwien.ac.at>).

The approved original version of this thesis is available at the main library of the Vienna University of Technology (<http://www.ub.tuwien.ac.at/englweb/>).



TECHNISCHE  
UNIVERSITÄT  
WIEN  
VIENNA  
UNIVERSITY OF  
TECHNOLOGY

# DISSERTATION

## **Erhöhung der Anwendbarkeit vereinfachter Berechnungsverfahren zur Bestimmung des Heizwärme- und Kühlbedarfs von Gebäuden**

**als Basis für ein Sicherheitskonzept**

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen  
Grades eines Doktors der technischen Wissenschaften

unter Anleitung von

Ao. Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. Thomas BEDNAR

Institut für Hochbau und Technologie

E 206

eingereicht an der Technischen Universität Wien,

Fakultät für Bauingenieurwesen

von

**Dipl.-Ing. MARIO SOFIC**

Mat.Nr. 9826133

1100 Wien, Hintschiggasse 5/6

Wien, im Mai 2009

## **Danksagung**

Dank gebührt meinem Doktorvater, Ao. Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. Thomas Bednar, der durch seine Anregungen und Verbesserungsvorschläge beim Entwickeln dieser Arbeit sehr viel beigetragen hat. Durch die ständige Weiterentwicklung des thermischen Gebäudesimulationsprogramms „buildopt“ durch Prof. Bednar ist es überhaupt möglich gewesen, dass diese Arbeit entstehen konnte. Für die kritische Durchsicht der Arbeit danke ich Dr. Clemens Hecht.

Besonderer Dank gebührt meiner Verlobten, Ksenija, die mir immer zur Seite stand, mich unterstützte und den Verzicht auf sehr, sehr viele Wochenenden hinnahm. Für die sprachliche Durchsicht und Korrektur der Arbeit bin ich ihr zu großem Dank verpflichtet.

## Kurzfassung

Um die Anwendbarkeit der in Europa gängigen Methoden zur Berechnung des Energiebedarfs für das Heizen und Kühlen von Gebäuden zu erhöhen, wurden in der vorliegenden Arbeit die Genauigkeiten vereinfachter Berechnungsverfahren für den Heizwärme- und Kühlbedarf untersucht. Die Methode, die in Österreich zur Ermittlung des Heizwärme- und Kühlbedarfs von Gebäuden herangezogen wird, ist das monatsbezogene Bilanzverfahren, oftmals auch Monatsbilanzverfahren genannt. Dieses ist in der europäischen Norm EN ISO 13790 beschrieben und die dort angeführten Berechnungsverfahren stellen den europäischen Standard dar. Das vereinfachte monatsbezogene Bilanzverfahren beruht auf einem empirisch gefundenen Ausnutzungsgrad für den eine eindeutige mathematische Ableitung fehlt. Dies führte in dieser Arbeit zu einer systematischen Untersuchung der Rechengenauigkeit an tausenden von Gebäudemodellen, also zu einer Parametervariation. Unter dieser Systematik ist die sukzessive Veränderung der Gebäudeparameter, um den gesamten technisch realisierbaren Bereich von Parameterkombinationen für Gebäude darzustellen, zu verstehen. Die Kopplungseigenschaften der Gebäudezonen spielen für die Genauigkeit des Rechenverfahrens eine entscheidende Rolle.

Bei der Erhöhung der Anwendbarkeit vereinfachter Rechenverfahren ist zum Einen die Genauigkeit der Verfahren zu überprüfen und zum Anderen die Vorhersagegenauigkeit bei Veränderung der Gebäudeparameter zu kontrollieren. Das führt dazu, dass zum Beispiel bei Sanierungsmaßnahmen an Gebäuden Aussagen über die Energieeinsparung getroffen werden können und die Anwendung eines vereinfachten Berechnungsverfahren in so einem Fall gerechtfertigt ist. Beide Anforderungen an solche Verfahren wurden in der gegenständlichen Arbeit überprüft. Es gab davor bereits mehrere Anstrengungen die Rechengenauigkeit des vereinfachten Bilanzverfahrens festzustellen, diese wissenschaftlichen Arbeiten werden angeführt und diskutiert. In diesen wird der gesamten Unschärfe des Rechenverfahrens, besonders bei sehr kleinen Energiebedarfswerten, nicht Rechnung getragen. Eine vereinfachte Untersuchung der Rechengenauigkeit des Verfahrens für den Kühlbedarf anhand von Büroboxen ergab eine Abweichung des Verfahrens von ungefähr 40 Prozent für Wien. Die vereinfachte Untersuchung der Rechengenauigkeit des Monatsbilanzverfahrens führte zu einer systematischen Variation eines Sechszonen-

modells mit Büronutzung. Dabei konnte festgestellt werden, dass die gewünschte Vorhersagegenauigkeit des vereinfachten Verfahrens bei Gebäudeparametervariation gegeben ist. Abschließend wurde an einem Büromodell die Rechengenauigkeit des Monatsbilanzverfahrens für den Heizwärme- und Kühlbedarf für Wien quantifiziert. Die Feststellung der Rechengenauigkeit des vereinfachten Verfahrens führte zu Korrekturfaktoren, die auch als Teilsicherheitsbeiwerte aufgefasst werden können. Die festgelegten Teilsicherheitsbeiwerte können als Basis für ein semiprobabilistisches Sicherheitskonzept bei der Ermittlung des Heizwärme- und Kühlbedarfs für Gebäude dienen. Bei der Betrachtung der Rechenabweichungen ist zu erkennen, dass bestimmte Nutzungsannahmen größere Ungenauigkeiten des Rechenverfahrens ergeben als andere. Die Unschärfe des vereinfachten Verfahrens ist größer als sie in der EN ISO 13790 angegeben ist. Für den Kühlbedarf sind die Teilsicherheitsbeiwerte für Wien, abhängig von der Zonierungsweise, mit 1.25 für eine Einzonenbilanz und mit 1.15 für eine Mehrzonenbilanz festgelegt worden. Für den Heizwärmebedarf kann die Korrektur entfallen, sofern das Monatsbilanzverfahren nicht für sehr kleine Luftwechselzahlen und ungekoppelte Systeme herangezogen wird.

## Summary

To increase the practicability of calculation methods for the energy demand for heating and cooling of buildings, this work investigate the precision of simplified calculation methods for the heating and cooling demand. The method which is used in Austria for the calculation of heating and cooling demand of buildings is the so called monthly balanced method. This method is described in the European draft EN ISO 13790. The simplified monthly balanced method is based on an utilization factor, for this factor there is no specific mathematical derivation, the factor is founded on an empirical formula. In this work this leads to a systematically examination of the accuracy of calculation for thousands of virtual building models, a parametric variation. The systematically examination is the variation of the building parameters to get the whole technically possible parameter combinations for buildings. The effects of coupled zones are very important for the precision of simplified calculation methods. For increasing the practicability of simplified calculation methods on the one side the precision of the method is important on the other side the prediction accuracy by changing the building parameters is fundamental. Both demands for simplified calculation method are verified in this work. There are scientific articles which take a look on the precision of the monthly balanced method, these works are discussed here. These former works do not show the whole imprecision of the simplified method, especially for small energy demands. A simplified investigation of the precision of the calculation method for the cooling demand for office boxes, leads to an imprecision of 40 percent of the simplified method for Vienna. The next step was the systematically study of a six zone model which is used as an office. For this model the prediction accuracy of the monthly balanced method for changing the building parameters was verified. At the end the precision of the simplified method was quantified for an office model for the heating and cooling demand for Vienna. The conclusion of the study for an office model was the correction factors for the simplified method. This correction factors can be safety factors for a semiprobabilistic safety concept for the calculation of heating and cooling demand. The imprecision of the simplified method is higher than the validation of monthly calculation method, as in the draft EN ISO 13790 is exposed. For the cooling demand for Vienna the safety factor is 1.25 for the one zone method and 1.15 for the multi-zone method. For the heating demand there is no safety factor, if the simplified method is not used for little air change rates and uncoupled models.

## Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung .....	2
Summary .....	4
1 Einleitung.....	8
2 Sicherheitskonzepte im Bauwesen .....	15
2.1 Sicherheitskonzept bei der Bemessung von Bauteilen.....	16
2.2 Deterministisches Sicherheitskonzept .....	17
2.3 Semiprobabilistisches Sicherheitskonzept.....	18
2.4 Teilsicherheitsbeiwert für die Berechnung des Heizwärme- und Kühlbedarf .....	19
3 Zusammenfassung der historischen Entwicklung des Wärmeschutzes in Österreich in der zweiten Republik.....	22
3.1 Einleitung.....	22
3.2 Betrachtung der historischen Entwicklung des Wärmeschutzes .....	24
3.3 Berechnungsmethodik des Energiebedarfs für das Heizen und Kühlen .....	37
3.4 Harmonisierung des Wärmeschutzes in Österreich.....	38
4 Berechnung des Energiebedarfs für Heizung und Kühlung nach EN ISO 13790.....	42
4.1 Berechnungsverfahren.....	43
4.2 Monatsbezogenes Verfahren .....	45
4.3 Mehrzonenberechnung mit Wärmekopplung zwischen den Zonen gemäß EN ISO 13790 [ISO07].....	68
5 Thermische Gebäudesimulation.....	72
5.1 Simulationsprogramm - buildopt .....	72
5.2 Die Teilmodelle für die thermische Gebäudesimulation .....	74
6 Untersuchungen des Bilanzverfahrens für den Heizwärme- und Kühlbedarf .....	86
6.1 Einleitung.....	86
6.2 Quantifizierung des Solar-Ausnutzungsgrades nach Jan Radon und Hans Werner ..87	
6.3 Untersuchung eines Quasi-stationären Verfahrens – Vereinfachte Korrelation des Ausnutzungsgrades von Corrado und Fabrizio .....	93
6.4 Validierung nach EN ISO 13790 .....	95
7 Validierung des verwendeten Simulationsprogrammes für ein Zweiraummodell .....	97
7.1 Zweiraummodell.....	97
7.2 Validierungsbeispiel für das Simulationsprogramm buildopt .....	98
8 Untersuchungen der Rechengenauigkeit des Bilanzverfahrens .....	102
8.1 Einleitung.....	102

---

8.2	Vereinfachte Untersuchung der Genauigkeit des Monatsbilanzverfahrens für den Kühlbedarf.....	104
8.3	Systematische Untersuchung der Genauigkeit des Monatsbilanzverfahrens .....	106
9	Quantifizierung der Teilsicherheitsbeiwerte für die vereinfachte Berechnung des Heizwärme- und Kühlbedarfs für Wien .....	113
9.1	Vorgangsweise zur Bestimmung der Teilsicherheitsbeiwerte .....	113
9.2	Büromodell zur Bestimmung der Teilsicherheitsbeiwerte .....	115
9.3	Aufbauten der Bauteile des Büromodells.....	117
9.4	Klimadaten für Wien.....	118
9.5	Nutzungen .....	119
9.6	Systematische Variation.....	126
9.7	Gültigkeit des Monatsbilanzverfahrens .....	128
9.8	Definition der Teilsicherheitsbeiwerte für Wien.....	129
9.9	Teilsicherheitsbeiwerte für die verschiedenen Nutzungen .....	143
9.10	Festlegung der Teilsicherheitsbeiwerte .....	162
10	Schlussfolgerungen.....	169
11	Literaturverzeichnis .....	170
1	ANHANG 1 .....	174
1.1	Einraummodell .....	174
1.2	Wärmebilanz .....	174
1.3	Fourier'sche Wärmeleitungsgleichung .....	175
1.4	Lösung für einen Raum.....	176
1.5	Lösung für eine Periode:.....	176
1.6	Lösung der Wärmeleitungsgleichung.....	178
1.7	Validierung des Simulationsprogramms .....	181
2	ANHANG 2 .....	184
2.1	Analytische Lösung der Wärmeleitungsgleichung für ein Zweiraummodell .....	184
3	ANHANG 3 .....	194
3.1	Weitere Variationsberechnungen des Büromodells für den Kühlbedarf.....	194
3.2	Kühlbedarf für die gewählte Nutzung.....	198
3.3	Büromodell in verschiedenen Bauweisen .....	218
3.4	Büromodell in verschiedenen Klimaten.....	231
3.5	Teilsicherheitsbeiwerte bezogen auf den Kühlbedarf .....	233
4	ANHANG 4 .....	237

---

Historische Entwicklung des Wärmeschutzes in Österreich.....	237
4.1 Historische Entwicklung des Wärmeschutzes in Österreich in der zweiten Republik anhand der ÖNORMEN-Reihe B 8110.....	237
4.2 Die Vorschriften des Österreichischen Instituts für Bautechnik (OIB) .....	287
5 ANHANG 5 .....	295
5.1 Artikel aus der Zeitschrift Bauphysik 3/2007 .....	295
6 ANHANG 6 .....	302
6.1 Beitrag zum Nordic Symposium on Building Physics 2008 .....	302
7 ANHANG 7 .....	312
7.1 Klimaflächen.....	312
7.2 Klimaflächen - Beispiele .....	316
7.3 Beurteilung der Klimaflächen .....	318

# 1 Einleitung

Der Umgang mit endenden Ressourcen spielt in unserer heutigen Zeit eine wichtige Rolle. In Europa unterliegt deshalb der Energiebedarf für das Heizen und Kühlen von Gebäuden einer immer stärker werdenden Regulierung. Die rechnerische Ermittlung des Energieverbrauchs für das Heizen und Kühlen von Gebäuden erfolgt entsprechend dem europäischen Standard nach einem vereinfachten Bilanzverfahren. Die Berechnungsmethodik des vereinfachten Bilanzverfahrens ist in der europäischen Norm EN ISO 13790 beschrieben. Dieses sogenannte Monatsbilanzverfahren, wobei die europäische Norm auch eine Stundenbilanz und ein dynamisches Verfahren vorsieht, wurde empirisch entwickelt. Bevor es Mitte der 1990er Jahre auch für die Berechnung des Kühlbedarfs herangezogen wurde, konnte mit dem empirisch gefundenen Verfahren beim Heizwärmebedarf viel Erfahrung gewonnen werden. In den meisten Fällen stimmt der bilanzierte Energiebedarf mit dem tatsächlichen Verbrauch gut überein. Durch das Fehlen der mathematischen Ableitung des Ausnutzungsgradverfahrens ist die Überprüfung der Genauigkeit des Rechenverfahrens nicht trivial. Da eine mathematische Ableitung der Beziehungen nicht bekannt ist, für die dynamischen Gebäudeparameter werden bei dem Verfahren Rekursionsformeln herangezogen, ist das Abstecken der Treffsicherheit des Verfahrens notwendig. Gerade jetzt, wo in Österreich die zu bewilligenden Gebäude dem Niedrigenergiehausstandard entsprechen müssen, ist die Genauigkeit des Rechenverfahrens umso entscheidender. Die europäische Normung gibt zwar aufgrund einer Validierungsrechnung, in der Veröffentlichung „A monthly method for calculating energy performance in the context of European building regulations“ [AMO05] ist diese Validierung zusammengefasst, die Genauigkeit des Verfahrens an, es stellte sich allerdings heraus, dass die Angaben in der EN ISO 13790 nicht die Gänze der Rechenungenauigkeiten des Verfahrens abdecken. Für kompliziertere Nutzungen von Gebäuden und für verschiedene Kopplungseigenschaften ist die Abweichung der vereinfachten Rechenverfahren weitaus größer als derzeit angegeben. Unter diesem Aspekt wurden mehrere Versuche unternommen, die Rechenungenauigkeit des Monatsbilanzverfahrens zu quantifizieren.

Bevor man feststellt wie genau ein vereinfachtes Rechenverfahren zur Bestimmung des Heizwärmebedarfs und Kühlbedarfs ist und die Rechenungenauigkeit quantifiziert,

muss man sich die die Frage stellen, was ein vereinfachtes Rechenverfahren eigentlich können muss?

Es muss die Vorhersagegenauigkeit des tatsächlichen Energiebedarfs für das Heizen und Kühlen von Gebäuden gewährleistet sein und die Vorhersagegenauigkeit für die Veränderung des Energiebedarfs bei Gebäudeparametervariation, ist ein entscheidender Faktor, der durch ein vereinfachtes Rechenverfahren sichergestellt werden muss, besonders in der Planungsphase von Gebäuden. Sollten diese beiden Punkte durch ein vereinfachtes Verfahren nicht abgedeckt sein, ist von der Anwendung abzuraten. In der vorliegenden Arbeit wurde die Rechenungenauigkeit des Bilanzverfahrens untersucht. Der Rechenfehler, der sich durch die verschiedenen Rechenmodelle, für eine einzonale oder mehrzonale Betrachtungsweise eines Gebäudes ergibt, soll mit Hilfe eines Korrekturfaktors richtiggestellt werden. Der Korrekturfaktor kann als Teilsicherheitsbeiwert bei der Ermittlung des Energiebedarfs für das Heizen und Kühlen von Gebäuden aufgefasst werden und dient als Basis für ein Sicherheitskonzept in eben diesem Bereich. Für ein gesamtheitliches Sicherheitskonzept wäre noch die Ermittlung der Unsicherheiten der Eingabeparameter bei der Berechnung der Energiebedarfswerte notwendig. Die Eingangsparameter sind zum Beispiel:

- Gebäudegeometrie
- Materialkonstanten wie Wärmeleitfähigkeiten
- Klimadatensätze
- Nutzung des Gebäudes (Luftwechselzahlen und Innere Wärmelasten)

Das zweite Erfordernis, welches sich für ein Rechenverfahren für den Heizwärme- und Kühlbedarf von Gebäuden ergibt, ist die Entscheidungsgenauigkeit, diese ist durch das vereinfachte Rechenverfahren sehr gut abgedeckt. In der Publikation „Strategic optimization of non-residential buildings“ [STR08] ist eine Gebäudeparametervariation durchgeführt worden und sie untersucht in dieser systematischen Variation Gebäudeparameter, die weit über die derzeitig technische Machbarkeit hinausreichen. Die Rechenungenauigkeit der vereinfachten Verfahren konnte in dieser Untersuchung abermals festgestellt werden. Die Veränderungen der Gebäudeparameter und die damit verbundenen Änderungen im Energiebedarf für das Heizen und Kühlen werden durch das vereinfachte Rechenverfahren sehr gut abgedeckt. Das bedeutet, die Vorhersagegenauigkeit der vereinfachten Rechenverfahren ist nach der Korrektur der

Rechenungenauigkeit, die sich in erster Linie durch Zonierung und Kopplungseigenschaften der Gebäude ergibt, sehr groß. Ein von den Gebäudeparametern abhängiger Rechenfehler, wie vom Verhältnis der Fensterflächen zu den opaken Bauteilen oder von der Zeitkonstante des Gebäudes, ist vorerst vermutet worden. Durch die sukzessive Parametervariation hat sich ergeben, dass eine solche Abhängigkeit nicht besteht.

Für die Feststellung der Rechenungenauigkeiten der vereinfachten Verfahren wurde in den vorliegenden Untersuchungen ein thermisches Gebäudesimulationsprogramm herangezogen. Die Validierung des Simulationsprogramms buildopt wurde an einem gekoppelten Zweiraummodell anhand des Matrizenverfahrens durchgeführt und an einem Einzonenmodell mit Hilfe der Fouriertransformation vollzogen. Im Anhang eins und zwei der vorliegenden Arbeit sind diese Validierungsberechnungen angeführt und in Kapitel sieben ist ein Validierungsbeispiel an einem Zweiraummodell berechnet worden. Das Simulationsprogramm wurde am Zentrum für Bauphysik und Bauakustik an der Technischen Universität Wien entwickelt. Der thermischen Gebäudesimulation ist ein eigenes Kapitel in dieser Arbeit gewidmet, da mit dem Simulationsprogramm buildopt das virtuelle Gebäude zur Feststellung der Rechenungenauigkeit herangezogen wird.

Dass sich bei der vereinfachten Rechenmethode der Bilanzierung ein Zonierungsfehler ergibt, wurde in dem Artikel „Analyse der Genauigkeit des Monatsbilanzverfahrens zur Ermittlung des Kühlbedarfs von Nichtwohngebäuden“ [ANA07] behandelt, besonders bei der Ermittlung des Kühlbedarfs ergeben sich größere Abweichungen zwischen Bilanzrechnung und Simulation. Dabei wurde die Idee der Gebäudeboxen aufgegriffen, die auch in der Validierungsberechnung der europäischen Norm [AMO05] herangezogen wurde. Für einzelne ebenerdige Büroboxen mit unterschiedlichen Bauweisen und Fensterflächenanteilen wurde dabei die Rechenungenauigkeit des Monatsbilanzverfahrens für den Kühlbedarf bestimmt. Die vereinfachte Untersuchung der Rechenungenauigkeit fand dann auch Eingang in die ÖNORM B 8110 Teil 6 [OEN07\_02]. Dort wird in Abhängigkeit der Gebäudezeitkonstanten ein Korrekturfaktor für den Kühlbedarf angegeben. Diese Korrektur ist bei Gebäudezeitkonstanten unter 90 Stunden 1.40 und bei Gebäudezeitkonstanten über 130 Stunden eins, wobei zwischen 90 und 130 Stunden linear interpoliert werden muss. Diese Korrekturen sind bei der Ermittlung des Kühlbedarfs in Österreich derzeit anzuwenden und in der

ÖNORM B 8110 Teil 6 [OEN07\_02] vorzufinden. Von der vereinfachten Untersuchung ausgehend wurde danach eine systematische Gebäudeparametervariation durchgeführt. Diese Variation ermöglichte es mehr Gebäudemodelle in ihrer Rechengenauigkeit zu überprüfen. Von den Büroboxen wurde Abstand genommen und ein Büromodell mit sechs Zonen wurde zur Bestimmung der Rechenabweichungen des vereinfachten Bilanzverfahrens herangezogen. In dem Beitrag [STR08] sind die Ergebnisse dieser Untersuchung, der systematischen Gebäudeparametervariation, zusammengefasst. Die Gebäudeboxen der vereinfachten Untersuchung haben ergeben, dass die Kopplungseigenschaften von Gebäudezonen für die Genauigkeit des vereinfachten Berechnungsverfahrens eine entscheidende Rolle spielen. Bei der Anwendung der Einzonenbilanz hilft die natürliche Entlüftung eines Gebäudes, über die Nacht im Sommer, dabei den Kühlbedarf zu senken, deshalb wurde auf ein komplexeres Gebäudemodell zurückgegriffen. Durch die systematische Variation der Gebäudeparameter, damit sind die Variation von Materialeigenschaften, Bauteilaufbauten, Fensterflächenanteilen und Nutzungsparameter gemeint, drängte sich die Frage der Ergebnisdarstellung auf. In dem Werk über klimagerechtes Bauen „Klimagerechtes Bauen, Grundlagen – Dimensionierung – Beispiele“ [KEL97] und in der Dissertation „qualitative gebäuderelevante Darstellung von Klimadaten: Die Klimaflächen“ [BUR96] ist die Methodik der Klimaflächen beschrieben. Auf diese beiden Arbeiten wird im Anhang sieben eingegangen, dabei wird die thermische Qualität der Gebäudehülle auf drei Parametern zusammengefasst. Diese können dann noch auf zwei Parameter reduziert werden, so dass der Energieverbrauch für das Heizen und Kühlen ebenso auf diese beiden Größen bezogen werden kann. Tritt zu diesen zwei Parametern der Energiebedarfparameter, wird eine dreidimensionale Darstellung für Gebäude und deren Parametervariationen möglich. Durch die Darstellung der Energiebedarfswerte durch Flächen im Raum, als Ergebnis der systematischen Variation, konnte wiederum die Rechengenauigkeit der vereinfachten Verfahren festgestellt werden. Aber nicht nur die Ungenauigkeit des Rechenverfahrens, sondern auch der Verlauf der Abweichungen über den gesamten Parameterbereich im Vergleich zur Simulationsrechnung wurde ersichtlich. Die Abweichung stellte sich über den gewählten Parameterbereich annähernd konstant dar. Diese Erkenntnis bestärkte die gewählte Vorgangsweise, nämlich die Korrektur der Rechenabweichung des vereinfachten Verfahrens mittels eines Faktors. Denn die Vorhersagegenauigkeit bei Veränderung der Gebäudeparameter war an dem gewählten Sechszonenmodell,

sofern man eine pauschale Erhöhung der bilanzierten Ergebnisse durchführt, feststellbar geworden. Nun mussten die Korrekturfaktoren quantifiziert werden, dazu wurde ein Büromodell mit unterschiedlichen Nutzungsbereichen herangezogen. Eine Erweiterung des in [STR08] gewählten Sechszonenmodells, mit einer feineren Zonierung, wurde notwendig. Eine wirklichkeitsnahe Abbildung von verschiedenen Büronutzungen und Lüftungsszenarien wurde definiert, um die Korrekturfaktoren für das Wiener Klima festzusetzen. Die Ermittlung der Korrekturfaktoren führte schließlich zu der Überlegung, dass diese ermittelten Rechenungenauigkeiten als Teilsicherheitsbeiwerte und somit als Basis für ein semiprobabilistisches Sicherheitskonzept dienen könnten. In der vorliegenden Arbeit sind die Korrekturfaktoren, beziehungsweise Teilsicherheitsbeiwerte, für ein vereinfachtes Berechnungsverfahren des Heizwärme- und Kühlbedarfs und für das Wiener Klima festgesetzt worden. Bei der Wahl der Nutzungsparameter wurde auch die Beleuchtungsabwärme berücksichtigt, um ein möglichst realistisches Nutzungsprofil abzubilden. Eine zweite Ermittlung der Faktoren, ohne Berücksichtigung der Beleuchtungsabwärme wurde durchgeführt, die zu abweichenden Ergebnissen, nämlich zu größeren Rechenungenauigkeiten, führt. Eine Variation der Bauweise wurde auch durchgeführt, um die Vorgehensweise für die Festlegung der Teilsicherheitsbeiwerte unabhängig von den Gebäudezeitkonstanten zu untermauern. Diese beiden Ergebnisse sind zusammengefasst in Anhang drei der vorliegenden Arbeit vorzufinden. Als Abschluss wurden dann die Rechenabweichungen für zwei andere Klimadatensätze als Wien, nämlich für Palermo und Peking, für das Büromodell angegeben.

Die Rechenungenauigkeiten, die bei allen Untersuchungen festgestellt wurden, weichen von der in der EN ISO 13790 angegebenen Schärfe des vereinfachten Verfahrens erheblich ab. Die Validierungsberechnung zur EN ISO 13790 zeigt nur teilweise die Rechenungenauigkeiten des vereinfachten Verfahrens auf. Der nächste Schritt wäre die Angabe der tatsächlichen Abweichungen für alle europäischen Regionen, da schon die Variationsrechnung für von Wien abweichende Klimate gezeigt hat, dass die Rechenabweichungen weitaus größer werden können. Für ein Land, in dem das vereinfachte Bilanzverfahren zur Ermittlung des Heizwärme- und Kühlbedarfs von Gebäuden herangezogen wird, könnten durch die Feststellung der Rechenabweichungen Teilsicherheitsbeiwerte quantifiziert werden.

Da die Bilanzrechnung grundsätzlich zwischen einer Einzonenberechnung und einer Mehrzonenberechnung eines Gebäudes unterscheidet, sind die Teilsicherheitsbeiwerte für beide Verfahren ermittelt worden. Wie die Teilsicherheitsbeiwerte für die Bestimmung des Energiebedarfs für das Heizen und Kühlen von Gebäuden definiert wurden, ist im ersten Kapitel der vorliegenden Arbeit beschrieben.

Das zweite Kapitel ist der historischen Entwicklung des Wärmeschutzes in Österreich in der zweiten Republik anhand der ÖNORMEN Reihe B 8110 gewidmet. Die verschiedenen Rechenverfahren für den Heizwärmebedarf und den Kühlbedarf fanden dabei Eingang in die österreichischen Normen. Der europäische Standard wurde im Laufe der Geschichte in Österreich auf nationaler Ebene immer relativ schnell umgesetzt. Somit stellt der derzeit auf europäischer Ebene gültige Rechenstandard auch den österreichischen Berechnungsweg für den Heizwärme- und Kühlbedarf dar. Nicht unerwähnt soll die Einführung des österreichischen Energieausweises bleiben, dieser ist sicher ein Meilenstein in der Entwicklung des Wärmeschutzes in Österreich. Bei der historischen Betrachtung des Wärmeschutzes wird auf die Anforderungen an den Heizwärme- und Kühlbedarf von Gebäuden eingegangen und auf die Anforderungen, die aus Wärmeschutzgründen an Bauteile gestellt wurden und werden. Der in Kapitel drei beschriebene Abriss der historischen Entwicklung stellt eine Zusammenfassung der Anforderungen in den Wärmeschutznormen in der zweiten Republik in Österreich dar. Im Anhang vier der Arbeit ist die detaillierte Beschreibung der Wärmeschutznormen vorzufinden. Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass die Anforderungen an den Heizwärme- und Kühlbedarf von Gebäuden in den letzten zehn Jahren immer strenger wurden und die Normung auf Niedrigenergiebauten abzielt.

Die Auseinandersetzung mit der österreichischen Normenlage zu dem Thema Wärmeschutz führt auf die europäische Norm EN ISO 13790, die drei verschiedene Berechnungsmethoden für das Heizen und Kühlen von Gebäuden vorsieht, zurück. Eine Methode davon ist das Monatsbilanzverfahren. Diese Berechnungsmethodik nach der EN ISO 13790 ist in der vorliegenden Arbeit in dem Kapitel vier angeführt.

Schließlich sind im Kapitel sechs wissenschaftliche Arbeiten angegeben, die sich mit dem vereinfachten Bilanzverfahren und dessen Genauigkeit beschäftigen. Die Quantifizierung des Solar-Ausnutzungsgrades ist in der Veröffentlichung „Quantifizierung des Solar-Ausnutzungsgrades zur Berechnung des Heizenergiebe-

darfs von Gebäuden“ [AUS92] festgelegt, dabei wurde für verschiedene Gebäudemodelle der solare Ausnutzungsgrad berechnet und quantifiziert. Für den Ausnutzungsgrad konnte eine regressive Funktion gefunden werden.

## 2 Sicherheitskonzepte im Bauwesen

Das Sicherheitsbedürfnis im Bauwesen ist gesellschaftlich geprägt. Die festgesetzte rechnerische Wahrscheinlichkeit des Versagens eines Tragwerks wird von der Gesellschaft vorgegeben. Dabei spielt die Nutzung eines Gebäudes, also ob es für den dauernden Aufenthalt von Menschen dienen soll oder nicht, eine wichtige Rolle. Die Entwicklung von Sicherheitskonzepten im planenden Bauwesen ist historisch geprägt. Bevor rechnerische Nachweise gegen das Versagen von Bauteilen geführt wurden, ist die Dimensionierung von tragenden Bauteilen durch Erfahrungswerte von Baumeistern vorgenommen worden.

Grundsätzlich sollte ein Tragwerk mit einer entsprechenden Sicherheit allen Einwirkungen und Umwelteinflüssen standhalten. In allen Bauzuständen, in allen Betriebszuständen bis hin zum Abtragen eines Gebäudes, sollte ein Tragwerk eine Sicherheit gegen das Versagen aufweisen.

Diese Forderung gilt als erfüllt, wenn ein genügender Sicherheitsabstand zwischen der größtmöglichen, also der ungünstigsten Einwirkungskombination und dem größten Tragwiderstand besteht, der knapp vor dem Versagen vorhanden ist und wenn das Tragwerk dauerhaft, also während seiner gesamten Nutzungsperiode, dem vorgesehenen Zweck dient. Tragwerke sollen ein einwandfreies Gebrauchsverhalten über ihre gesamte Lebensdauer aufweisen. [SIC08]

Um diese Kriterien mit Sicherheit, dass heißt mit einem entsprechenden Grad an Zuverlässigkeit zu erfüllen, stehen folgende Mittel zur Verfügung:

- Vorsichtige Annahme bezüglich der Einwirkungen (Lastannahme)
- Geeignete Konstruktions- und Bemessungsmodelle
- Qualitätssicherungs- und Kontrollmaßnahmen, um menschliche Fehler auszuschalten
- Maßnahmen zur Erleichterung der Inspektion und Wartung

[SIC08]

Die festgelegte Lebensdauer eines Bauwerks ist für Sicherheitsüberlegungen ein entscheidender Parameter. Je größer die geplante Lebensdauer desto mehr wächst das Sicherheitsbedürfnis der Gesellschaft.

Bei der Planung von Bauwerken gibt es für die Bemessung von Bauteilen unterschiedliche Sicherheitskonzepte. Im Bauwesen kommen dabei zwei Sicherheitskonzepte zur Anwendung:

- Deterministisches Sicherheitskonzept
- Semiprobabilistisches Sicherheitskonzept

## **2.1 Sicherheitskonzept bei der Bemessung von Bauteilen**

Wesentlich für die Bemessung von Bauteilen sind Ergebnisse aus Baustoffprüfungen. Durch eine Baustoffprüfung wird der statistische Festigkeitswert der Baustoffe festgelegt. Das Versagen einer Konstruktion tritt bei Erreichen der Bruchfestigkeit oder bei Erreichen des kritischen Formänderungszustandes ein. Die Dimensionierung der Bauteile muss mit dementsprechender Sicherheit gegen das Erreichen dieser beiden Grenzzustände erfolgen, damit kein Bauteil versagt. Die empirisch gefundenen Festigkeitswerte durch Baustoffprüfungen müssen in reduzierter Form einer statischen Berechnung zugrunde gelegt werden. Diese Reduktion der zulässigen Festigkeitswerte wird als Sicherheitsgrad tituliert. Der Sicherheitsgrad ist ein Produkt aus vielen Teilsicherheitsbeiwerten, die sich aus Unsicherheiten in der Lastannahme, in der Statik, in der Baustofffestigkeit und durch Ausführungsmängel ergeben. Die Größe des Sicherheitsgrades ist daher von der Art des Bauteiles und von der Art des Baustoffes abhängig. Die Festigkeitsstreuung des Materials legt fest, inwieweit der Teilsicherheitsbeiwert eines Baustoffs die im Prüfstand gemessenen Festigkeitswerte reduziert. Im Wesentlichen werden für tragende Bauteile im Bauwesen Stahl, Beton und Holz eingesetzt. Die Reduktion der zulässigen Spannungen fällt bei Stahl geringer aus als bei Beton oder Holz.

Auf der Seite der Belastung unterscheidet man zwischen ruhenden Lasten, wie das Eigengewicht, und bewegten Verkehrslasten, wie Personen. Hier kommt es auch zur Bildung von unterschiedlichen Teilsicherheitsbeiwerten. [STA93]

Im Bauwesen wurde, seitdem Sicherheitskonzepte eingesetzt werden, das deterministische Sicherheitskonzept angewendet, heute verwendet man aber das semiprobabilistische Sicherheitskonzept.

## 2.2 Deterministisches Sicherheitskonzept

Bei einem deterministischen Sicherheitskonzept wird der Sicherheitsgrad empirisch festgelegt. Diese Festlegung erfolgt durch Baustoffprüfungen im Labor, dabei kommen Zug- und Druckversuche oder Ähnliches zur Anwendung. Auf die einzelnen Teilsicherheitsbeiwerte wird dabei nicht eingegangen, das bedeutet keine Erhöhung der Einwirkungen, also der Lasten und Zwänge. [STA93]

Es wird ein globaler Sicherheitsbeiwert für die zulässigen Beanspruchungen der Baustoffe festgelegt und die empirisch ermittelte Bruchfestigkeit der Baustoffe wird um den Sicherheitsbeiwert reduziert. Auf der Seite der Belastung werden für ruhende Lasten die tatsächlichen Raumgewichte der gewählten Materialien angesetzt, für dynamische Lasten, wie Verkehrslasten wurden oftmals dynamische Beiwerte ( $\varphi$ ) herangezogen. Dabei wurde eine dynamisch auftretende Last als  $\varphi$ -fache statische Belastung auf ein Tragwerk aufgebracht. [STA93]

Der Quotient aus der Bruchfestigkeit des Baustoffs durch den Sicherheitsgrad ergibt die zulässige Spannung.

$$\sigma_{\text{zul}} = \frac{\beta_{\text{B}}}{\nu}$$

$\sigma_{\text{zul}}$  zulässige Spannung

$\beta_{\text{B}}$  Bruchfestigkeit des Materials

$\nu$  Sicherheitsbeiwert

Die auftretenden Belastungen der Tragwerke durften in den Bauteilquerschnitten nur Spannungen hervorrufen die kleiner oder gleich als die zulässige Spannung waren. Das bedeutet die zulässigen Spannungen durften unter Gebrauchslast nicht überschritten werden. [STA93]

$$\sigma_{\text{vorh}} \leq \sigma_{\text{zul}} = \frac{\beta_{\text{B}}}{\nu}$$

$\sigma_{\text{vorh}}$  vorhandene Spannung

Dieses Verfahren wurde auch Gebrauchslastverfahren genannt.

Physikalische Eigenschaften der Baustoffe, wie die Wärmeleitfähigkeit, werden auch durch Baustoffprüfungen festgelegt.

### 2.3 Semiprobabilistisches Sicherheitskonzept

Bei einem semiprobabilistischen Sicherheitskonzept werden Einwirkungs- und Widerstandsgrößen nicht als feststehend, sondern als Zufallsgrößen definiert. Das Erreichen des Grenzzustandes der Tragfähigkeit wird als ein Zufallsereignis aufgefasst. Mit probabilistischen also mit wahrscheinlichkeitstheoretischen Überlegungen wird dabei eine quantitative Aussage getroffen. Die Beschreibung von Zufallsgrößen setzt eine statistische Erhebung voraus, nach der die Häufigkeitsverteilung bestimmt werden kann. Die Verteilung einer stetigen Zufallsgröße in der Statistik für technische Anwendungen ist die Gaußsche Normalverteilung.

Zufallsgrößen werden als die Einwirkungen  $S$  und die Widerstandsgrößen  $R$  aufgefasst. Die Eintrittswahrscheinlichkeit des Versagenszustandes ergibt sich über die Überlappungsfläche der beiden Dichtefunktionen der Zufallsgrößen  $f_S$  und  $f_R$ . Der große Unterschied zum deterministischen Sicherheitskonzept ist dabei, dass mit einem globalen Sicherheitsbeiwert, bedingt durch unterschiedliche Standardabweichungen, unterschiedliche Versagenswahrscheinlichkeiten herbeigeführt werden können. [STA98]

Die Sicherheitsbeiwerte für den Widerstand und die Einwirkung werden wie folgt definiert:

$\gamma_S$  Teilsicherheitsbeiwert unabhängig von dem Widerstand mit dem der Fraktilewert der Einwirkung multipliziert werden muss

$\gamma_R$  Teilsicherheitsbeiwert unabhängig von der Einwirkung mit dem der Fraktilewert des Widerstandes dividiert werden muss

Von diesen Überlegungen her ausgehend wurde für das Bauwesen ein semiprobabilistisches Sicherheitskonzept entwickelt. Die charakteristischen Einwirkungen  $Q_{Ki}$  und die charakteristischen Werte des Widerstandes  $R_{Ki}$  werden als Fraktilewerte aufgrund probabilistischer Überlegungen von Normungsausschüssen festgelegt.

Die Nachweise sind mit diesen, auf probabilistischer Basis ermittelten Größen, jedoch wie mit festgelegten Sicherheitsbeiwerten ohne probabilistische Überlegungen zu führen, daher semiprobabilistisch. [STA98]

## **2.4 Teilsicherheitsbeiwert für die Berechnung des Heizwärme- und Kühlbedarfs**

Im Gegensatz zum Bauwesen ist die rechnerische Beurteilung mit Hilfe von Sicherheitskonzepten in der Bauphysik noch nicht üblich. Obwohl das gesellschaftliche Erfordernis gegeben ist, man denke dabei an die Bauhygiene, hat sich noch keine sichere Bewertung des Energiebedarfs für das Heizen und Kühlen von Gebäuden prognostiziert werden kann, wurde in der vorliegenden Arbeit untersucht. Als Ergebnis kann ein Teilsicherheitsbeiwert für die Berechnung des Heizwärme- und Kühlbedarfs von Gebäuden angegeben werden. Eine sichere Bewertung des Energiebedarfs für das Heizen und Kühlen von Gebäuden gibt es derzeit noch nicht. Es wurde noch kein Sicherheitskonzept für die energetische Bewertung von Gebäuden entwickelt. Die Unsicherheiten in der Berechnung liegen zum Einen bei den Eingangsparametern wie zum Beispiel Materialkonstanten, zum Anderen, wie in dieser Arbeit festgestellt wurde, in der Art der Berechnung des Energiebedarfs. Die Rechengenauigkeit, die sich beim vereinfachten Bilanzverfahren ergibt, wurde in Kapitel 9 für das Wiener Klima quantifiziert. Der Faktor zur Korrektur der Rechengenauigkeit kann als Teilsicherheitsbeiwert aufgefasst werden.

Deshalb wird in den folgenden Kapiteln der Weg zu einem Teilsicherheitsbeiwert für den Heizwärme- und Kühlbedarf beschrieben. Die vorliegende Arbeit untersucht die Ungenauigkeiten der vereinfachten Berechnungsverfahren für das Heizen und Kühlen von Gebäuden. Eine probabilistische Betrachtungsweise des gesamten Verfahrens würde noch die Quantifizierung der Unsicherheiten für alle Eingangsparameter, wie Klima oder Materialkonstanten, erfordern. Diese Teilsicherheitsbeiwerte könnten dann auch global erfasst werden. Diese Betrachtungsweise würde dann zu einem deterministischen Sicherheitskonzept führen.

Die vorliegende Untersuchung wurde mit den gleichen Eingangsparametern in der Simulations- und Bilanzrechnung durchgeführt. Unter den Eingangsparametern bei den Berechnungen sind die Gebäudegeometrie, die Materialkonstanten, die Klimadatensätze und die Nutzung des Gebäudes zu verstehen.

Der Teilsicherheitsbeiwert für die nach dem Bilanzverfahren errechneten Bedarfswerte für das Heizen und Kühlen wurden dabei wie folgt festgelegt.

$$\begin{aligned} \text{HWB}_{\text{SIM}} &= \text{HWB}_{\text{BIL}} \cdot \psi_{\text{HWB}} \\ \text{KB}_{\text{SIM}} &= \text{KB}_{\text{BIL}} \cdot \psi_{\text{KB}} \end{aligned}$$

$\text{HWB}_{\text{SIM}}$	Heizwärmebedarf in kWh/(m <sup>2</sup> a) gemäß Simulationsrechnung
$\text{HWB}_{\text{BIL}}$	Heizwärmebedarf in kWh/(m <sup>2</sup> a) gemäß Bilanzrechnung
$\psi_{\text{HWB}}$	Teilsicherheitsbeiwert für den Heizwärmebedarf
$\text{KB}_{\text{SIM}}$	Kühlbedarf in kWh/(m <sup>2</sup> a) gemäß Simulationsrechnung
$\text{KB}_{\text{BIL}}$	Kühlbedarf in kWh/(m <sup>2</sup> a) gemäß Bilanzrechnung
$\psi_{\text{KB}}$	Teilsicherheitsbeiwert für den Kühlbedarf

Das bedeutet die Teilsicherheitsbeiwerte geben die Rechengenauigkeit der vereinfachten Berechnungsmethode an. In der gegenständlichen Arbeit wurden der Heizwärme- und Kühlbedarf nach dem vereinfachten Bilanzverfahren und nach einer Simulationsrechnung bestimmt. Der Vergleich dieser beiden berechneten Werte für ein Gebäudemodell ergibt den Teilsicherheitsbeiwert  $\psi$ . Ist die Division von Simulationsergebnis und vereinfachter Bilanzrechnung kleiner eins, dann überschätzt das Monatsbilanzverfahren den auftretenden Energiebedarf. Der Teilsicherheitsbeiwert  $\psi$  wird in so einem Fall mit eins festgelegt. Ist die Rechenabweichung größer als eins, dann liegt eine Unterschätzung such die vereinfachte Methode vor und der Teilsicherheitsbeiwert ist größer als eins.

Die Bilanzrechnung kann nach verschiedenen Zonierungsprinzipien erfolgen. Der Teilsicherheitsbeiwert wird sowohl für die Mehrzonen- als auch für die Einzonenbilanz angegeben. Die Mehrzonenbilanz erfordert in der Regel einen kleineren Korrekturfaktor als die Einzonenbilanz, zumindest für das Wiener Klima.

Die vorliegende Ermittlung der Teilsicherheitsbeiwerte, um die Rechenungenauigkeit für die Bilanzrechnung zu korrigieren, könnte als Grundlage für ein Sicherheitskonzept bei der Ermittlung von Energiebedarfswerten für das Heizen und Kühlen von Gebäuden dienen.

## **3 Zusammenfassung der historischen Entwicklung des Wärmeschutzes in Österreich in der zweiten Republik**

### **3.1 Einleitung**

Der Wärmeschutz in Österreich ist einer historischen Entwicklung unterworfen, die am besten an den Energiekrisen, die auch als Ölkrisen bezeichnet werden, messbar ist. In den 1970er und 1980er Jahren waren die Ölkrisen maßgeblich für die Entwicklung und das Umdenken betreffend ökologischer und ökonomischer Belange hinsichtlich des Wärmeschutzes verantwortlich. Die Entwicklung von umweltorientierten politischen Parteien in ganz Mitteleuropa und somit auch in Österreich war der erste Schritt zu einem ressourcenbewussten Umgang bei unseren Gebäuden und führte zu umweltbewussterem Bauen. Nach und nach nahmen alle politischen Parteien Umweltbelange in ihre Programme auf. Auch dieser Trend ist in ganz Europa, einschließlich in Österreich, zu erkennen. Zahlreiche Umweltkatastrophen ließen ein Umdenken von statten gehen. Die österreichische Normung beeinflusste aber am meisten die Klimaerwärmung und der Beitritt zu Europäischen Union 1995 hinsichtlich des Wärmeschutzes. In den 1990er Jahren und ab dem Jahr 2000 wurden Regulative seitens der Europäischen Union vorgegeben und in Österreich umgesetzt. Zwei Regulative sind dabei herauszugreifen: die Richtlinie 89/106/EWG [EWG\_89] und die Richtlinie 2002/91/EG [EGL\_02], die sehr stark die österreichische Wärmeschutznormung beeinflussten. Die erste Richtlinie ist die Bauproduktenrichtlinie, die zweite die Gebäuderichtlinie über die Gesamtenergieeffizienz der Europäischen Union. Im Jahr 1983 wurde die Ausgabe der ÖNORM B 8110 Teil 1 [OEN83] gegenüber den Vorgängerversionen relativ stark verändert, diese neue Ausgabe der ÖNORM hat den damaligen Entwicklungsstand den Wärmeschutz betreffend in Österreich dargestellt. In den Nachfolgerversionen dieser Norm ist dann der europäische Einfluss, im Besonderen der durch die beiden erwähnten europäischen Richtlinien, stark ablesbar.

Diese genannten politischen und historischen Einflüsse sind am besten durch die Entwicklung der ÖNORMen Reihe B 8110, Wärmeschutz im Hochbau, ablesbar. Im Folgenden wird nun zusammenfassend auf die ÖNORMen Reihe B 8110 eingegangen und die historische Entwicklung der normativen Vorgaben wird damit aufgezeigt. Die

detaillierte Auseinandersetzung mit der ÖNORMen Reihe B 8110 ist im Anhang 4 der vorliegenden Arbeit zu finden.

## **3.2 Betrachtung der historischen Entwicklung des Wärmeschutzes**

In der Betrachtung der Entwicklung des Wärmeschutzes im Hochbau in Österreich lässt sich erkennen, dass bis 1998 die U-Wert Begrenzung von Bauteilen in den ÖNORMen verankert war. In der ÖNORM B 8110 Teil 1 vom 01.06.1998 [OEN98\_06] ist die Begrenzung der Wärmedurchgangskoeffizienten der Bauteile nicht mehr vorhanden. Man betrachtete zu diesem Zeitpunkt den Wärmeschutz in normativer Hinsicht gesammtheitlich und nicht mehr punktuell auf Bauteile bezogen. Die Begrenzung des gesamten Energiebedarfs eines Gebäudes wurde als Ziel gesetzt. Ab dem 01.08.2007 wurde die Begrenzung des Wärmedurchgangskoeffizienten interessanterweise wieder in die ÖNORM B 8110 Teil 1 aufgenommen. Dieser Schritt war ein Ergebnis des Harmonisierungsprozesses in Österreich, in dem versucht wurde, den Wärmeschutz in allen neun Bundesländern zu vereinheitlichen.

Im Folgenden wird lediglich auf die Begrenzung des Wärmedurchgangskoeffizienten der Bauteile und auf die Anforderungen an den Heizwärmebedarf und Kühlbedarf eingegangen.

### **3.2.1 Die Begrenzung der U-Werte von Bauteilen**

Die Entwicklung der höchstzulässigen Grenzwerte in der ÖNORM B 8110 gestaltete sich für den Wärmedurchgangskoeffizient wie im Folgenden beschrieben. In der Tabelle 3-1 ist diese Entwicklung der Grenzwerte für eine Außenwand in Wien von 1950 an dargestellt. Für eine Außenwand eines Wohngebäudes in Wien war der U-Wert von 1950 bis 1983 mit ungefähr  $1.50 \text{ W/m}^2\text{K}$  begrenzt, ab 1983 wurde dann die Grenze bei  $0.70 \text{ W/m}^2\text{K}$  für Außenwände gesetzt. Erwähnenswert ist an dieser Stelle, dass ab September 1978 die Einheit Kilokalorien pro Stunde durch Watt ersetzt wurde. Aufgrund des Maß- und Eichgesetzes aus dem Jahre 1973 durfte ab dem 1. Jänner 1978 in Österreich unter Anderem die Maßeinheit Kalorien in amtlichem und rechtsgeschäftlichem Verkehr nicht mehr verwendet werden. Deshalb musste die ÖNORM B 8110 aus dem Jahr 1959 an die gesetzlichen Maßeinheiten Watt, Joule und Pascal angepasst werden. In der Ausgabe von 2007 ist der U-Wert für Außenwände mit  $0.35 \text{ W/m}^2\text{K}$  begrenzt.

ÖNORM B8110(-1) von	Höchstzulässiger U-Wert für eine Außenwand in W/m <sup>2</sup> K
22.02.1950	1.52
22.08.1952	1.52
27.04.1959	1.52
01.07.1978	1.52
01.09.1978	1.52
01.02.1983	0.70
01.06.1998	Keine Begrenzung für Einzelbauteile
01.09.2000	
01.12.2004	
01.08.2007	0.35
01.01.2008	0.35

Tabelle 3-1 – Historische Entwicklung der höchstzulässigen U-Werte für eine Außenwand, Standort Wien

Ab dem Jahr 1983 kam es zu einer rigorosen Begrenzung des höchstzulässigen U-Werts für eine Außenwand gegenüber der Vorgängerversion. Dies war Ausdruck der Ölkrisen, die eine Minimierung des Heizwärmebedarfs der Gebäude in Österreich zur Folge hatte. Im Jahr 2007 wurde dann der zulässige Grenzwert gegenüber 1983 nochmals halbiert, eine Folge der EU-Gebäuderichtlinie [EGL\_02]. Doch nicht nur die Wärmedurchgangskoeffizienten der einzelnen Bauteile wurden reguliert, auch der Heizwärmebedarf und der Kühlbedarf wurden begrenzt.

### 3.2.2 Begrenzung des Heizwärmebedarfs in den Ausgaben der ÖNORM B 8110

Die Begrenzung des Heizwärmebedarfs stellt sich im Verlauf der Geschichte der zweiten Republik in Österreich sehr unterschiedlich dar. Im Gegensatz zur Begrenzung des Heizwärmebedarfs fand die normative Begrenzung des Kühlbedarfs erst sehr spät Eingang in die ÖNORM B 8110. In den Ausgaben von 1950 und 1952 wurde noch keine Begrenzung des Wärmebedarfs des gesamten Gebäudes angeführt. Erst ab dem Jahr 1959 wurde der Begriff des höchstzulässigen Wärmebedarfs, der sich von dem Begriff Heizwärmebedarf unterscheidet, in die ÖNORM aufgenommen. Der Unterschied vom höchstzulässigen Wärmebedarf zum Heizwärmebedarf liegt in der Einheit der beiden Größen, der höchstzulässige Wärmebedarf bezieht sich auf die Kubikmeter des beheizten Volumens, der

höchstzulässige Heizwärmebedarf auf die Bruttogeschoßfläche in Quadratmeter. Von 1959 bis 1983 wurde der höchstzulässige Wärmebedarf in der ÖNORM B 8110 angegeben. In der Version von 1983 wurde der rechnerisch spezifische Wärmeleistungsbedarf  $P_i$  in  $W/(m^3K)$  und der rechnerisch spezifische Wärmeverlust  $Q$  in  $MJ/(m^3a)$  beschränkt. Die Titulierung und die Einheit der Größe veränderten sich also ein wenig. Ab dem Jahr 1998 wurde die Begrenzung des Heizwärmebedarfs in  $kWh/(m^2a)$  in die ÖNORM aufgenommen und ist seitdem fester Bestandteil der ÖNORM.

Die Begrenzung des Energiebedarfs für das Heizen ist seit 1959 in der ÖNORM B 8110 verankert. Im Jahre 2007, also annähernd 50 Jahre später wurde dann auch der Kühlbedarf, genauer ausgedrückt die Anforderung an den Kühlbedarf, in der Wärmeschutznorm angeführt. Nun werden die genauen Angaben zu diesen Größen in den verschiedenen Ausgaben der ÖNORM angegeben.

### 3.2.2.1 ÖNORM B 8110 vom 27.04.1959

Erstmals wurde in der Ausgabe vom 27.04.1959 der Wärmebedarf begrenzt. In der folgenden Tabelle ist der damals höchstzulässige Wärmebedarf für verschiedene Gebäude und Geschoßnutzungen in Abhängigkeit der Heizgradtagzahl angegeben.

	Höchstzulässiger Wärmebedarf (kcal/m <sup>3</sup> h) bei Heizgradtagzahl		
	3200 - 3600	3600 - 4000	über 4000
Einfamilien- und Siedlungshäuser	50	45	39
Sonstige Gebäude			
Geschoß unter Dach	35	32	27
Geschoß über Keller	30	27	23
Mittelgeschoß	25	23	20

Tabelle 3-2 – Höchstzulässiger Wärmebedarf in der ÖNORM B 8110 – Ausgabe 27.04.1959

Die Anforderung wurde auf die Heizgradtagzahl bezogen, diese waren in der Ausgabe der ÖNORM folgendermaßen definiert. Heizgradtage HGT sind Heizgradsummen bei denen an allen Tagen, sofern die Außenlufttemperatur  $12^{\circ}C$  erreichte oder unterschritt, die Temperaturdifferenz zwischen  $20^{\circ}C$  Raumtemperatur und der jeweiligen Außentemperatur (Tagesmittelwert) gebildet und über die Heizperiode (Oktober bis April) summiert wird. Die Einheit der Heizgradtage ist Kelvin mal Tage,

also Kelvintage. Diese Größe, die Heizgradtagzahl, hat bis heute ihren Platz in der Wärmeschutznorm, wobei in der Ausgabe der Norm von 2008 auf 3400 Kelvintage für die Anforderung an den Heizwärmebedarf referenziert wird.

### 3.2.2.2 ÖNORM B 8110 vom 01.07.1978 und vom 01.09.1978

In der Ausgabe vom 1. Juli 1978 wurde der höchstzulässige Wärmebedarf in  $W/m^3$  für verschiedene Heizgradtage angegeben. Die Grenzwerte des höchstzulässigen Wärmebedarfs hatten sich nicht verändert, die veränderten Werte in der Ausgabe von 1978 stellten nur die Umrechnung der Einheiten dar, also in Tabelle 3-3 von  $kcal/(m^3h)$  in  $W/m^3$ . Im Jahr 1978 ist sowohl im Juli als auch im September eine Version der ÖNORM B 8110 herausgegeben worden. In beiden Ausgaben der ÖNORM, [OEN78\_07] und in [OEN78\_09] ist die folgende Tabelle zu finden.

	Höchstzulässiger Wärmebedarf ( $W/m^3$ ) bei einer Heizgradtagzahl von		
	3200 - 3600	3600 - 4000	über 4000
Einfamilien- und Siedlungshäuser	58	52	45
Sonstige Gebäude			
Geschoß unter Dach	41	37	31
Geschoß über Keller	35	31	27
Mittelgeschoß	29	27	23

Tabelle 3-3 – Höchstzulässiger Wärmebedarf in der ÖNORM B 8110 – Ausgabe 01.07.1978 und Ausgabe 01.09.1978

Geht man von einer Raumhöhe von 2.60 Metern aus, dann wäre der damals zulässige Wert für ein Einfamilienhaus und einer Heizgradtagzahl von 3200 – 3600 Kelvintage,  $150.80 kWh/(m^2a)$  groß. Vergleicht man diesen Wert mit der Abbildung 3-1, dann sieht man, in wie weit die Anforderung dann im Laufe der Zeit gesenkt wurde. Im Vergleich zu 1978 wurde dann später auch die Kompaktheit als bestimmende Größe für die Anforderung an den Heizwärmebedarf eingeführt.

### 3.2.2.3 ÖNORM B 8110 – Teil 1 vom 01.02.1983

Im Jahr 1983 wurde die Vorversion der ÖNORM B 8110 aus dem Jahr 1978 großteils überarbeitet. In den Ausgaben der ÖNORM vom 01.09.1978 zum 01.02.1983 sind sehr viele Änderungen aufgetreten. Man merkt ab 1983, an der [OEN83], eine gesteigerte Sensibilität was den Wärmeschutz angeht. Es wurden damals die

Maßeinheiten für die wärmetechnischen Begriffe, gegenüber der Vorgängernorm, neu definiert.

Zur besseren Übersicht wurde im Jahre 1983 eine Vierteilung der ÖNORM B 8110 vorgenommen, die wie folgt vorgesehen wurde. Der Teil 1 deckte die Anforderungen an die Wärmdämmung ab, der Teil 2 sollte sich mit Wasserdampfdiffusion und Kondensationsschutz beschäftigen, er war zu diesem Zeitpunkt noch in Vorbereitung. Der Teil 3 der ÖNORM B 8110 befand sich ebenfalls in Vorbereitung und sollte sich mit Wärmespeicherung und Sonneneinflüssen auseinandersetzen und der Teil 4 mit der betriebswirtschaftlichen Optimierung des Wärmeschutzes, er befand sich auch in Vorbereitung.

Der Wärmeschutz wurde durch die eben beschriebene Teilung der ÖNORM B 8110 in vier verschiedenen Ausgaben umfassender als zuvor definiert.

An den höchstzulässigen spezifischen Wärmeleistungsbedarf wurden damals folgende Anforderungen gestellt.

	Heizgradtage $HGT_{20/12}$		
	$\leq 3400$	3401-3800	$> 3800$
$P_l$ in $W/(m^2K)$	0.68	0.66	0.63
$Q$ in $MJ/m^3a$	200	215	230
$Q$ in $kWh/m^3a$	55.6	59.7	63.9
$Q = 0.024 \cdot P_l \cdot HGT_{20/12}$ in $kWh/(m^3a)$			
$Q = 86,40 \cdot P_l \cdot HGT_{20/12}$ in $kJ/(m^3a)$			

Tabelle 3-4 – Höchstzulässiger rechnerisch spezifischer Wärmeleistungsbedarf  $P_l$  – Ausgabe 01.02.1983

In der Ausgabe von 1983 wurde in Abhängigkeit der Heizgradtage auch der Gesamtwärmedurchgangskoeffizient der Außenhülle des Gebäudes begrenzt.

#### 3.2.2.4 ÖNORM B 8110 – Teil 1 vom 01.06.1998

Ab dem Jahr 1998 wurde die Begrenzung des Heizwärmebedarfs in  $kWh/(m^2a)$  in die ÖNORM aufgenommen. Der höchstzulässige Wert für den Heizwärmebedarf ergab sich aus der Kompaktheit des Gebäudes. Die Kompaktheit ist der Kehrwert der charakteristischen Länge eines Gebäudes. Die charakteristische Länge  $l_c$  in Meter wurde und wird herangezogen, um den zulässigen Heizwärmebedarf zu berechnen.

Sie ergibt sich aus dem beheizten Bruttovolumen eines Gebäudes und aus der zugehörigen beheizten Bruttogeschosßfläche, die Einheit ist Meter. Das Verhältnis dieser beiden Größen ergibt die charakteristische Länge eines Gebäudes. Zur Abschätzung des zulässigen Wertes für den Heizwärmebedarf kann man für ein Bürohaus als Hochhaus 0.20 Meter, für ein Mehrfamilienwohnhaue 0.50 Meter und für ein Einfamilienhaus 1.00 Meter für die charakteristische Länge annehmen. Aber nicht nur der Begriff der charakteristischen Länge fand Eingang in die Wärmeschutznorm, auch der Begriff der Linien Europäischer Kriterien (LEK-Linien) wurde eingeführt. Die Definition dieses Wertes kann dem Anhang 4 entnommen werden. Die Mindestanforderungen an den höchstzulässigen Heizwärmebedarf können der folgenden Tabelle entnommen werden.

<b>Gebäudewidmung</b>	<b>HWB<sub>max</sub>-Wert-Linien</b>	<b>LEK-Wert</b>
Ein- und Zweifamilienhäuser Reihenhäuser	$40,8 \cdot (1 + (2/l_c))$	50
Mehrfamilienhäuser Krankenhäuser Pflegeheime	$35,9 \cdot (1 + (2/l_c))$	44
Kindergärten Schulen	$44,9 \cdot (1 + (2/l_c))$	55
Gebäude mit niedriger Innentemperatur 16°C - 19°C	$49 \cdot (1 + (2/l_c))$	60

Tabelle 3-5 – Höchstzulässige HWB-Wert-Linien zur Erfüllung der Mindestanforderung an die Begrenzung des HWB-Wertes – Ausgabe 01.06.1998

Für ein Einfamilienhaus mit einer charakteristischen Länge von 1.00 Meter, lautete damals die Anforderung an den höchstzulässigen Heizwärmebedarf 122.40 kWh/(m<sup>2</sup>a). Dieser Wert wurde in den nachfolgenden Ausgaben der ÖNORM immer weiter herabgesetzt.

Neben den Mindestanforderungen wurden auch erhöhte Anforderungen an den Heizwärmebedarf angegeben. Dabei hieß es in der Wärmeschutznorm von 1998, dass bei Gebäuden mit höheren Anforderungen an den Wärmeschutz entsprechend niedrigere Werte für den Heizwärmebedarf einzuhalten sind.

### 3.2.2.5 ÖNORM B 8110 – Teil 1 vom 01.09.2000

Die Mindestanforderungen an den höchstzulässigen Heizwärmebedarf änderten sich im Jahr 2000 im Gegensatz zu 1998 nicht. Sie blieben inhaltlich und größenmäßig gleich. Diese neue Norm stellte eine seitens des ÖNORM-Instituts im Kurzverfahren verabschiedete Ausgabe der ÖNORM B 8110 Teil 1 dar. Das Normeninstitut kann dieses Verfahren bei kleinen Veränderungen der geltenden Normen anwenden. Die Veränderungen zu der Version von 1998 waren kaum inhaltlicher Natur. Das Wärmeschutzniveau wurde, was den Heizwärmebedarf anbelangt, nicht verändert.

### 3.2.2.6 ÖNORM B 8110 – Teil 1 vom 01.12.2004

Im Jahr 2004 wurde die Anforderung an den Heizwärmebedarf verändert und neu klassiert. Die Einführung von zwei Wärmeschutzklassen wurde vorgenommen. Die höchstzulässigen  $HWB_{BGF}$ -Linien wurden unterteilt in die Wärmeschutzklassen Basis-Wärmeschutz und in den erhöhten Wärmeschutz. Die Anforderung wurde weiterhin durch die charakteristische Länge eines Gebäudes definiert, sie kann der folgenden Tabelle entnommen werden.

Wärmeschutzklasse	$HWB_{BGF}$ -Linie	Deklaration $HWB_{BGF}/l_c$
Basis-Wärmeschutz	$33 \times (1+2/l_c)$	99/1.....50/4
Erhöhter Wärmeschutz	$24 \times (1+2/l_c)$	72/1.....36/4

Tabelle 3-6 – Höchstzulässige  $HWB_{BGF}$ -Linien für Gebäude/Gebäudeteile mit Aufenthaltsräumen – Ausgabe 01.12.2004

Geht man wieder von einer charakteristische Länge von 1.00 Meter für ein Einfamilienhaus aus, dann ergibt sich ein höchstzulässiger Heizwärmebedarf von 99.00 kWh/(m<sup>2</sup>a) für den Basis-Wärmeschutz, für den erhöhten Wärmeschutz ein Wert von 72.00 kWh/(m<sup>2</sup>a). Die Herabsetzung des Energiebedarfs für das Heizen wurde sukzessive weiterverfolgt.

### 3.2.2.7 ÖNORM B 8110 – Teil 1 vom 01.08.2007 und vom 01.01.2008

Im Jahr 2007 wurde die Anforderung an den Heizwärmebedarf in der gleichen Kategorisierung formuliert wie im Jahr 2000. Die Wärmeschutzklassen Basis-

Wärmeschutz und erhöhter Wärmeschutz wurden weiterhin beibehalten, nur der zulässige Wert für den Heizwärmebedarf wurde weiter reduziert. Im Gegensatz zu dem Jahr 2000 wurde eine Trennung in Wohngebäude und Nicht-Wohngebäude durchgeführt. Bei den Wohngebäuden unterschied man zwischen dem Neubau und der umfassenden Sanierung. Der Begriff der umfassenden Sanierung ist im Anhang 4 definiert. In der derzeit gültigen Ausgabe der ÖNORM B 8110 Teil 1 sind die gleichen Anforderungen an den höchstzulässigen Heizwärmebedarf gestellt, wie im Jahr 2007. Die Anforderung an den Heizwärmebedarf wurden mit einem Referenzklima gestellt, damit wurden Gebäude an unterschiedlichen Standorten vergleichbar gemacht. Das Referenzklima ist in [OEN07\_03] im Anhang A beschrieben.

Die höchstzulässigen  $HWB_{BGF,WG,Ref}$ -Werte in Abhängigkeit von der charakteristischen Länge  $l_c$  und der Maximalwerte für den Neubau von Wohngebäuden waren und sind gemäß der folgenden Tabelle einzuhalten.

<b>Wärmeschutzklasse</b>	<b><math>HWB_{BGF,WG,Ref}</math>-Linie</b>	<b>Maximalwert <math>HWB_{BGF,WG,Ref,max}</math></b>
Basis-Wärmeschutz	$26 \times (1+2/l_c)$	78.0 kWh/(m <sup>2</sup> a)
Erhöhter Wärmeschutz	$19 \times (1+2,5/l_c)$	66.5 kWh/(m <sup>2</sup> a)

Tabelle 3-7 – Höchstzulässige  $HWB_{BGF,WG,Ref}$ -Werte und Maximalwerte für Wohngebäude – Neubau – Ausgabe 01.08.2007 und 01.01.2008

Für ein Einfamilienhaus ergibt sich ein höchstzulässiger Wert von 78.00 kWh/(m<sup>2</sup>a) für den höchstzulässigen Heizwärmebedarf, um dem Basis-Wärmeschutz zu entsprechen. Dieser Wert stellt im Wohnbau den derzeitigen Wärmestandard dar. Für die weitere Entwicklung des Wärmeschutzes in Österreich ist im folgenden Abschnitt ein Ausblick gegeben.

### 3.2.3 Zusammenfassung der Begrenzung des Heizwärmebedarfs

Fasst man den Basis-Wärmeschutz der letzten zehn Jahre in Österreich zusammen, dann erhält man die folgende Abbildung 3-1. Der Basis-Wärmeschutz ist dabei auf die Jahre 2008, 2007 und 2004 beschränkt, davor war der Grenzwert für Ein- und Zweifamilienhäuser, also nicht mit Basis-Wärmeschutz definiert, in der ÖNORM angeführt. Erst im Jahr 2004 wurde die Begrenzung des Heizwärmebedarfs geteilt, in den Basis-Wärmeschutz und in den erhöhten Wärmeschutz, davor gab es diese Unterteilung nicht.

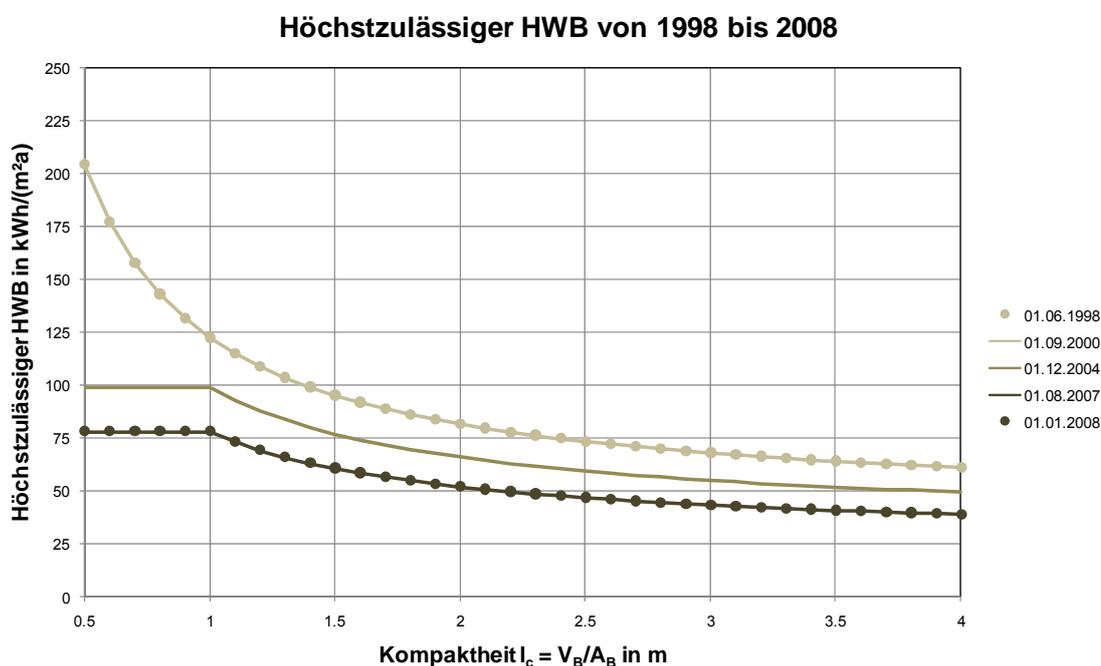


Abbildung 3-1 – Höchstzulässiger Heizwärmebedarf von 1998 bis 2008 für Wohngebäude

In der Abbildung 3-1 ist die Reduzierung der Anforderung an den höchstzulässigen Heizwärmebedarf bis zu dem Jahr 2008 zu erkennen. Betrachtet man den zulässigen Wert für die Kompaktheit 1.00 Meter, dann sank die Anforderung an den Heizwärmebedarf für Einfamilienhäuser beziehungsweise Wohngebäuden von 122.40 kWh/(m<sup>2</sup>a) auf 78.00 kWh/(m<sup>2</sup>a), also entspricht der derzeit höchstzulässige Wert nicht ganz 64 Prozent von dem vor zehn Jahren zulässigen Wert. Der Trend ist eindeutig. In der nächsten Ausgabe der ÖNORM B 8110 Teil 1 wird die Anforderung an den Heizwärmebedarf wieder herabgesetzt werden, der Leitfaden des Österreichischen Instituts für Bautechnik [OIB07] weist darauf schon hin. Ab dem 01.01.2010 ist bei

einem Neubau von Wohngebäuden ein höchstzulässiger Heizwärmebedarf von 66.50 kWh/(m<sup>2</sup>a) angegeben. Diese Reduzierung des zulässigen Heizwärmebedarfs wird sich in den nächsten Jahrzehnten weiter forsetzen.

In der vor 1998 gültigen Ausgabe der ÖNORM B 8110 Teil 1 wurde der Wärmebedarf in kWh/(m<sup>3</sup>a) begrenzt angegeben in Abhängigkeit der Heizgradtage. Der höchstzulässige spezifische Wärmeleistungsbedarf betrug ab 1983 55.60 kWh/(m<sup>3</sup>a). Für 3400 Heizgradtage, bei einer Raumhöhe von 2.60 Metern, entspricht das einer Anforderung an den Heizwärmebedarf von 144.60 kWh/(m<sup>2</sup>a), auf die Grundfläche bezogen. Seit dem Jahr 1983 hat also annähernd eine Halbierung des zulässigen Wertes stattgefunden. Die Abhängigkeit der Anforderung von der Kompaktheit des Gebäudes fehlte damals. Vor 1983 wurde die Heizlast pro Volumen begrenzt, erstmals 1959 und letztmals dann im Jahre 1978. Diese Anforderung war bis 1983 gültig, dann wurde sie von der gerade angeführten Begrenzung abgelöst. Bis dann im Jahr 1998 der Heizwärmebedarf in Abhängigkeit von der Kompaktheit reglementiert wurde.

Die Anforderung an den höchstzulässigen Heizwärmebedarf für Bürogebäude stellt sich wie im Folgenden beschrieben in der zweiten Republik dar. Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit der Nutzung von Bürohäusern, oder um die Titulierung der gültigen Wärmeschutznorm zu verwenden, mit Nichtwohngebäuden.

In den Jahren von 1952 bis 1959 war der Energiebedarf für das Heizen in der Wärmeschutznorm nicht reglementiert, demnach gab es keine Anforderung für Gebäude mit einer Büronutzung. Ab dem Jahr 1959 wurde eine Anforderung an den höchstzulässigen Wärmebedarf gestellt. Die Nutzung eines Bürogebäudes war zwar nicht explizit angeführt, allgemein galt aber, dass der höchstzulässige Wärmebedarf für ein Geschoß eines Gebäudes 30 Kilokalorien pro Kubikmeter und Stunde nicht überschreiten durfte. Im Jahr 1978 kam es zur Einheitenumrechnung in Watt pro Kubikmeter in der ÖNORM B 8110. Dabei wurde der höchstzulässige Grenzwert für ein Gebäude, unabhängig von seiner Nutzung, im Durchschnitt mit 35 Watt pro Kubikmeter angeführt. Inhaltlich hatte sich, was die Anforderung an den höchstzulässigen Wärmebedarf angeht, zu 1959 nichts geändert. Im Jahr 1983 ist in der Ausgabe der Wärmeschutznorm bezüglich Bürobauten auch nicht explizit der Wärmebedarf für das Heizen reglementiert. Die Anforderung an den höchstzulässigen rechnerisch spezifischen Wärmeleistungsbedarf war für Gebäude ohne Differenzierung der Nutzung formuliert. Also galt auch für Bürobauten für 3400 Heizgradtage als

Grenzwert 55.60 Kilowattstunden pro Kubikmeter und Jahr, was bei einer Raumhöhe von 2.60 Metern, einer Anforderung an den Heizwärmebedarf von 144.60 kWh/(m<sup>2</sup>a), auf die Grundfläche bezogen entspricht. Für Bürobauten ist eine andere Angabe in der ÖNORM B 8110 Teil 1 für den höchstzulässigen Wärmedurchgangskoeffizienten in der Ausgabe von 1983 angeführt. Damals wurde der Wärmedurchgangskoeffizient mit  $k$  bezeichnet. Für den höchstzulässigen Wärmedurchgangskoeffizienten  $k$  in Watt pro Quadratmeter und Kelvin wurde dabei eine Anforderung geschaffen. Diese Anforderung an  $k$  wurde in Abhängigkeit der Heizgradtage, des Verhältnisses von Volumen zu Fassadenfläche, des Fensteranteils von zehn bis dreißig Prozent, in Abhängigkeit des Wärmedurchgangskoeffizienten nichttransparenter Teile der Außenwand und schließlich in Abhängigkeit des Verhältnisses von Dachfläche zur Fassadenfläche gestellt. Dabei wurde unterschieden in Objekte mit 0.5fachem Luftwechsel pro Stunde, damit waren Ein- und Mehrfamilienhäuser mit großzügigem Raumangebot gemeint und in Objekte mit 0.75fachem Luftwechsel pro Stunde, Gebäude für den sozialen Wohnbau und Bürobauten ohne wesentlichen Parteienverkehr. Interessanterweise wurde an soziale Wohnbauten und Bürobauten die gleiche Anforderung an den höchstzulässigen Wärmedurchgangskoeffizienten  $k$  gestellt. Ab dem Jahr 1998 wurde der Heizwärmebedarf für die Gebäudewidmungen Ein- und Zweifamilienhäuser, Reihenhäuser, Mehrfamilienhäuser, Krankenhäuser, Pflegeheime, Kindergärten, Schulen und Gebäude mit niedriger Innentemperatur begrenzt. Für Bürogebäude allerdings gab es keine Anforderung. Auch in der Ausgabe der ÖNORM B 8110 Teil 1 aus dem Jahr 2000, die sich von der 1998 herausgegebenen Ausgabe inhaltlich kaum unterschied, wurde die Anforderung an den höchstzulässigen Wärmebedarf bei Bürogebäude nicht explizit angeführt. Im Jahr 2004 wurden der Basis-Wärmeschutz und der erhöhte Wärmeschutz als Anforderung eingeführt. Für Aufenthaltsräume von Gebäuden galt, unabhängig von der Nutzung ein Basis-Wärmeschutz-Grenzwert von 99.00 kWh/(m<sup>2</sup>a) und ein Erhöhter-Wärmeschutz-Grenzwert von 72.00 kWh/(m<sup>2</sup>a). Beziehungsweise war die Anforderung an den höchstzulässigen Heizwärmebedarf mit Hilfe der Kompaktheit zu ermitteln. Als Anforderung für Bürogebäude wurde 2007 der höchstzulässige Heizwärmebedarf bezogen auf das Bruttovolumen für Nichtwohngebäude eingeführt. Zwar wird der Begriff Bürogebäude in der ÖNORM B 8110 Teil 1 nicht explizit angeführt, allerdings ist im Teil 5 der Norm ein eigenes Nutzungsprofil für Bürogebäude angegeben. Für den Basis-Wärmeschutz ist der Grenzwert 27.00 kWh/(m<sup>3</sup>a) angegeben. Geht man bei

einem Bürogebäude von einer Bruttoraumhöhe von drei Metern aus, ergibt das 81.00 kWh/(m<sup>2</sup>a).

### 3.2.4 Begrenzung des Kühlbedarfs

Die Begrenzung des Kühlbedarfs fand erst sehr spät den Weg in die ÖNORM. In den Versionen der ÖNORM B 8110 von 1950 bis zur Ausgabe von 2004 war keine Anforderung an Kühlbedarf in der Wärmeschutznorm formuliert. In der ÖNORM B 8110 Teil 3 aus dem Jahr 1989 war zwar der Schutz gegen sommerliche Überwärmung von Aufenthaltsräumen reglementiert, der Energiebedarf für das Kühlen von Gebäuden war normativ aber nicht begrenzt. Erst im Jahr 2007 wurde für Nicht-Wohngebäude der außeninduzierte Kühlbedarf begrenzt. Das lag daran, dass die Berechnungsmethodik, das vereinfachte monatsbezogene Bilanzverfahren, für den Heizwärmebedarf schon sehr lange verwendet wurde und der Umgang damit zum technischen Standard gehörte. Im Gegensatz dazu wurde für den Kühlbedarf das vereinfachte Bilanzverfahren erst ab Mitte der 1990er Jahre definiert und angewandt. Es gab Untersuchungen von zwei niederländischen Forschern Dick van Dijk und Marleen Spiekman, die in der Arbeit [DIJ03] zusammengefasst sind. Das Verfahren für den Kühlbedarf beruhte auf Teilen der ÖNORM EN 832 [OEN98], dem Monatsbilanzverfahren für den Heizwärmebedarf. Den Weg in die Europäische Normung fand das Monatsbilanzverfahren für den Kühlbedarf im Jahre 2004. Diese Definition in der europäischen Normung [EUC04], wie der Energiebedarf für das Kühlen von Gebäuden in einem vereinfachten Verfahren zu berechnen ist, machte den Weg für die nationale Umsetzung frei. Für Wohngebäude, wobei diese eher selten mit Kühlanlagen ausgestattet sind, ist weiterhin nur der Schutz gegen sommerliche Überwärmung nach [OEN99] zu gewährleisten und kein Kühlbedarf zu berechnen.

Derzeit ist die Anforderung an den Kühlbedarf von Nicht-Wohngebäuden folgendermaßen formuliert. Entweder ist die [OEN99] einzuhalten, wobei die tatsächlichen inneren Lasten zu berücksichtigen sind, oder der maximal zulässige außeninduzierte Kühlbedarf  $KB^*_{V,NWG,max}$  (Nutzungsprofil Wohngebäude, Infiltration  $n_x = 0.15 \text{ h}^{-1}$ ) pro  $\text{m}^3$  Bruttovolumen von  $1.0 \text{ kWh}/(\text{m}^3\text{a})$  ist einzuhalten. Der Energiebedarf für das Kühlen wird also mit einem Infiltrationsluftwechsel und einer Wohnnutzung berechnet.

### 3.3 Berechnungsmethodik des Energiebedarfs für das Heizen und Kühlen

Für die Berechnungsmethodik des Heizwärmebedarfs wurde in der ÖNORM B 8110 Teil 1 erstmals im Jahre 1983 eine eigene NORM angeführt. Die Berechnung des rechnerisch spezifischen Wärmeleistungsbedarfs war gemäß ÖNORM B 8135 (Vereinfachte Berechnung des zeitbezogenen Wärmeverlusts [Heizlast] von Gebäuden) durchzuführen. In dieser Norm war ein vereinfachtes Berechnungsschema für die Ermittlung der Heizlast beschrieben. Von dieser ermittelten Heizlast konnte auf den Heizwärmebedarf mit einer Abschätzungsformel umgerechnet werden. Aus heutiger Sicht stellt das eine grobe Annäherung des Heizwärmebedarfs dar. Davor war in der ÖNORM B 8110 ein Verfahren zur Berechnung des Wärmebedarfs von Gebäuden angegeben. Diese Berechnungsverfahren entsprechen nicht mehr dem derzeitigen Standard.

Ab dem Jahr 1998 wurden in Österreich zwei Normen zur Berechnung des Heizwärmebedarfs angegeben, diese sind:

- ÖNORM EN 832, eine Vorgängernorm der EN ISO 13790. In der EN 832 wurde bereits das Bilanzverfahren verwendet, nach Monaten oder nach Perioden. [OEN98]
- ISO/FDIS 13790 (2007), die den derzeit gültigen Standard für die Berechnung des Energiebedarfs für Heizung und Kühlung darstellt. [ISO07]

Die ÖNORM B 8110 Teil 6 baut auf der EN ISO 13790 auf, das Monatsbilanzverfahren wird in der ÖNORM als Standard verwendet. Der Hinweis auf die [ISO07] ist in der [OEN08] angeführt. Das Berechnungsschema nach EN ISO 13790 ist im Kapitel 4 dieser Arbeit beschrieben. Grundsätzlich kann man drei Berechnungsmethoden des Energiebedarfs für das Heizen und Kühlen von Gebäuden verwenden. Sowohl der Heizwärmebedarf als auch der Kühlbedarf werden in Österreich nach dem vereinfachten monatsbezogenen Verfahren ermittelt. Eine Zonierung der Gebäude ist bei der Berechnung des Heizwärmebedarfs und Kühlbedarfs eher nicht vorzunehmen. Nur wenn Zonen von Gebäuden eine unterschiedliche Raumtemperatur von 4 Kelvin aufweisen ist nach dem Berechnungsschema eine Trennung in der Bilanzierung vorzunehmen. Das bedeutet, dass für die meisten Anwendungen die Einzonenbilanzberechnung durchgeführt wird.

### **3.4 Harmonisierung des Wärmeschutzes in Österreich**

Grundsätzlich ist das Baurecht in Österreich Ländersache, die Subsidiarität der österreichischen Republik wurde im Baurecht durchgeführt. Das führt dazu, dass es in Österreich neun gültige Bauordnungen gibt. Der Wärmeschutz hat im Laufe der zweiten Republik in allen Bauordnungen Einzug gehalten.

Auf der Basis der Richtlinie 2002/91/EG des Europäischen Parlaments und des Europäischen Rates vom 16.12.2002, betreffend die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden, konnte ein Harmonisierungsprozess in Österreich eingeleitet werden, der die Reglementierungen bezüglich des Wärmeschutzes in Österreich vereinheitlicht hat. Seit dem Jahr 2008 ist zum ersten Mal in der zweiten Republik eine einheitliche Reglementierung für das ganze Bundesgebiet gültig. Hierbei muss erwähnt werden, dass nur durch die Zusammenarbeit des Österreichischen Institutes für Bautechnik (OIB) und des Österreichischen Normungsinstituts die Vereinheitlichung stattfinden können. Die Einigung aller Bundesländer hinsichtlich des Wärmeschutzes stellt im Hinblick auf die historische Entwicklung eine Besonderheit dar. Die Reglementierungen für diverse Förderdarlehen und Fördergelder der Länder sind weiterhin Sache der Bundesländer und unterscheiden sich in jedem Bundesland.

#### **3.4.1 Der Energieausweis in Österreich**

Der Energieausweis für Wohngebäude und Nichtwohngebäude ist als eine der Maßnahmen in der Richtlinie 2002/91/EG angeführt, um den Energieverbrauch zu senken. In Österreich ist der Energieausweis von dafür befugten und qualifizierten Personen auszustellen. Das Energieausweisvorlagegesetz regelt die Vorlagepflicht von Energiezertifikaten für Gebäude. Der Energieausweis besteht aus zwei Seiten und einem Anhang. Auf der ersten Seite des Energieausweises ist eine Referenzskala mit dem Heizwärmebedarf angeführt. Die Referenzskala des Energieausweises ist in der folgenden Tabelle angegeben, Tabelle aus [BAU07] entnommen.

Klasse	HWB <sub>BGF,Ref</sub>
A++	≤ 10 kWh/(m <sup>2</sup> a)
A+	≤ 15 kWh/(m <sup>2</sup> a)
A	≤ 25 kWh/(m <sup>2</sup> a)
B	≤ 50 kWh/(m <sup>2</sup> a)
C	≤ 100 kWh/(m <sup>2</sup> a)
D	≤ 150 kWh/(m <sup>2</sup> a)
E	≤ 200 kWh/(m <sup>2</sup> a)
F	≤ 250 kWh/(m <sup>2</sup> a)
G	> 250 kWh/(m <sup>2</sup> a)

Tabelle 3-8 – Energieeffizienzskala bezogen auf das Referenzklima aus [BAU07]

Auf der zweiten Seite sind weitere Ergebnisdaten in detaillierter Form enthalten, wobei zum Heizwärmebedarf noch der Energiebedarf für die Haustechnik, für Warmwasser und Raumheizung für Wohngebäude hinzukommt und bei Nicht-Wohngebäuden noch zusätzlich der Energiebedarf für die Beleuchtung. Bei Nicht-Wohngebäuden kann eine raumluftechnische Anlage, eine Befeuchtungsanlage oder alternative Energieversorgung, wie eine Wärmepumpe oder eine Solaranlage, berücksichtigt werden. Die alternative Energieversorgung kann auch bei Wohngebäuden berücksichtigt werden. Der Kühlbedarf und der Kühltechnikenergiebedarf werden für Nicht-Wohngebäude zusätzlich angegeben.

Im Anhang des Energieausweises ist anzugeben mit Hilfe welcher Software der Energieausweis erstellt wurde. Die Eingabedaten für die Haustechnik, die Bauphysik und die Gebäudegeometrie sind im Anhang anzuführen. Im Folgenden sind die ersten beiden Seiten des Energieausweises für ein Wohngebäude angeführt.

Energieausweis für Wohngebäude		EXCEL Schulungs-Tool	
gemäß ÖNORM H 5055 und Richtlinie 2002/91/EG			
<b>GEBÄUDE</b>			
Gebaudeart:	<input type="text" value="Einfamilienhaus"/>	Erbaut:	<input type="text"/>
Gebaudezone:	<input type="text"/>	Katastralgemeinde:	<input type="text"/>
Straße:	<input type="text" value="Rinnböckstraße 15"/>	KG-Nummer:	<input type="text"/>
PLZ/Ort:	<input type="text" value="1110"/> <input type="text" value="Wien"/>	Einlagezahl:	<input type="text"/>
EigentümerIn:	<input type="text"/>	Grundstücksnummer:	<input type="text"/>
<b>SPEZIFISCHER HEIZWÄRMEBEDARF bei 3400 HEIZGRADTAGEN (REFERENZKLIMA)</b>			
<p>The image shows a vertical energy efficiency scale with seven levels: A+++ (blue), A+ (dark blue), A (green), B (teal), C (light green), D (yellow), E (orange), F (dark orange), and G (red). A grey box on the right indicates a specific value of 59.37 kWh/m²a, which falls between levels E and F.</p>			
<b>ERSTELLT</b>			
ErstellerIn:	<input type="text"/>	Organisation:	<input type="text"/>
ErstellerIn-Nr.:	<input type="text"/>	Datum:	<input type="text" value="02.01.2009"/>
GWR-Zahl:	<input type="text"/>	Gültigkeit:	<input type="text" value="keine"/>
Geschäftszahl:	<input type="text"/>	Unterschrift:	<input type="text"/>
<p><small>Dieser Energieausweis entspricht den Vorgaben der Richtlinie 6 "Energieeinsparung und Wärmeschutz" des Österreichischen Instituts für Bautechnik in Umsetzung der Richtlinie 2002/91/EG über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden und des Energieausweis-Vorlage-Gesetzes (EAVG).</small></p>			

Abbildung 3-2– Beispiel für die erste Seite des Energieausweises für Wohngebäude

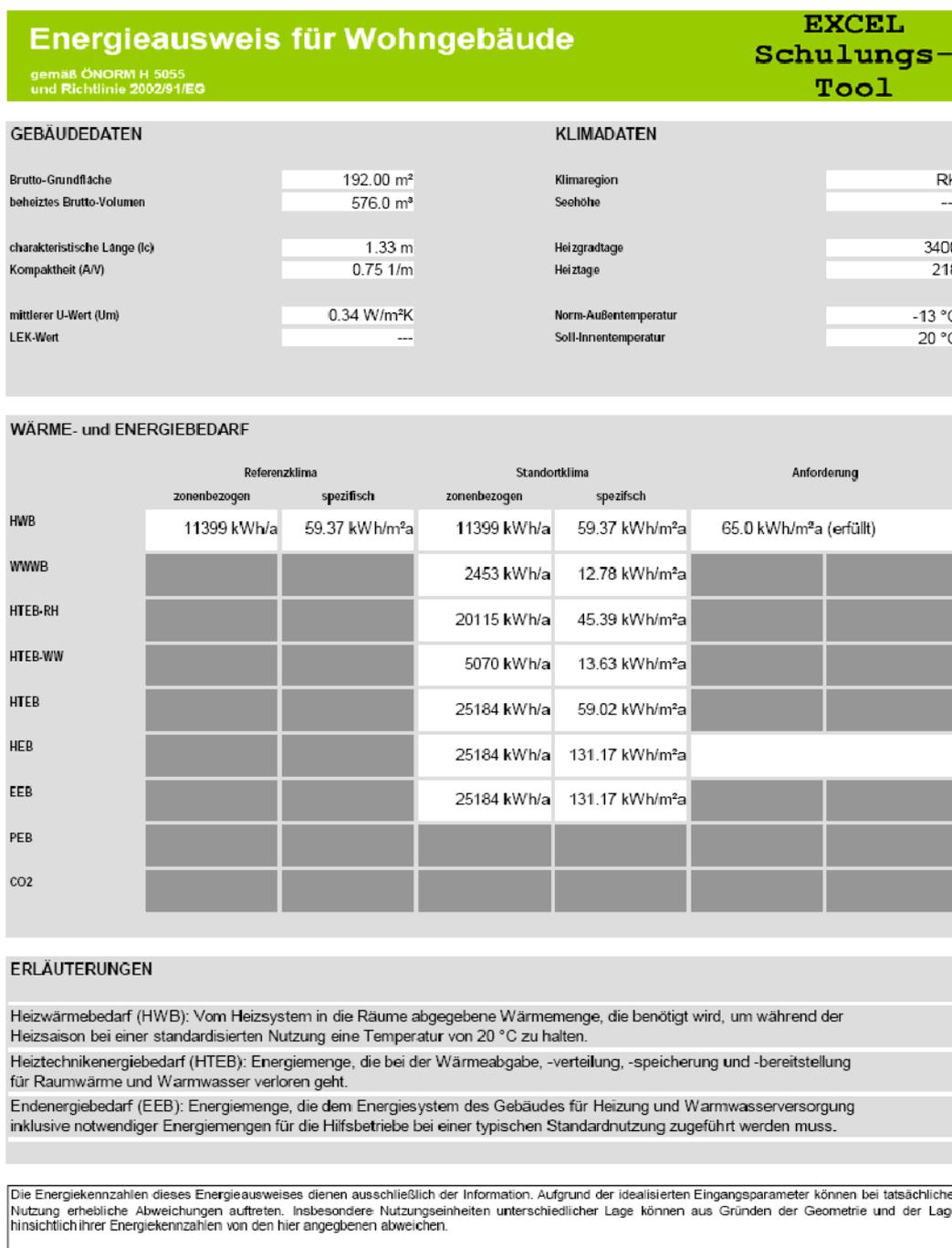


Abbildung 3-3 – Beispiel für die zweite Seite des Energieausweises für Wohngebäude

## 4 Berechnung des Energiebedarfs für Heizung und Kühlung nach EN ISO 13790

Im Folgenden wird das Verfahren nach [ISO07] zur Bestimmung des Energiebedarfs für Heizung und Kühlung beschrieben. Es stellt den derzeitigen Stand der Technik auf europäischer Ebene dar.

In der EN ISO 13790 sind grundsätzlich drei verschiedene Berechnungsverfahren für den Heizwärme- und Kühlbedarf eines Gebäudes angeführt:

1. Stundenbezogen
2. Monatsbezogen
3. Dynamische Simulation

Der Fokus in der vorliegenden Arbeit liegt auf dem Vergleich zwischen dem monatsbezogenen Verfahren und einer dynamischen Simulation, da in Österreich derzeit das monatsbezogene Verfahren zur Ermittlung des Energiebedarfs für Heizung und Kühlung angewendet wird.

Der jährliche Heizwärmebedarf  $Q_{H,nd}$  eines Gebäudes ist die rechnerisch ermittelte Wärmemenge in MJ oder in kWh/a unter Normnutzungsbedingungen, die im langjährigen Mittel während einer Heizsaison den Räumen des Gebäudes zugeführt werden muss, um die Einhaltung einer vorgegebenen Innentemperatur sicherzustellen.

Der jährliche Kühlbedarf  $Q_C$  eines Gebäudes ist die rechnerisch ermittelte Wärmemenge in MJ oder in kWh/a unter Normnutzungsbedingungen, die im langjährigen Mittel während einer Kühlsaison den Räumen des Gebäudes entzogen werden muss, um die Einhaltung einer vorgegebenen Innentemperatur sicherzustellen. [KRE04]

Die Berechnung der erforderlichen Wärmemengen, sei es nun zum Heizen oder zum Kühlen, erfolgt für ein Gebäude nach dem „Monatsbilanzverfahren“. Dabei wird der Wärmehaushalt des Gebäudes für die Dauer eines Monats bilanziert und danach auf das ganze Jahr summiert.

## 4.1 Berechnungsverfahren

Die Berechnungsverfahren nach [ISO07] zur Bestimmung des Energiebedarfs für Heizung und Kühlung sind in einem Flussdiagramm dargestellt. Dabei ist auch der Bezug zu anderen Normen, der sich bei der Bestimmung von Heizwärme- und Kühlbedarf ergibt, angegeben. Das Flussdiagramm hat die folgende Gestalt.

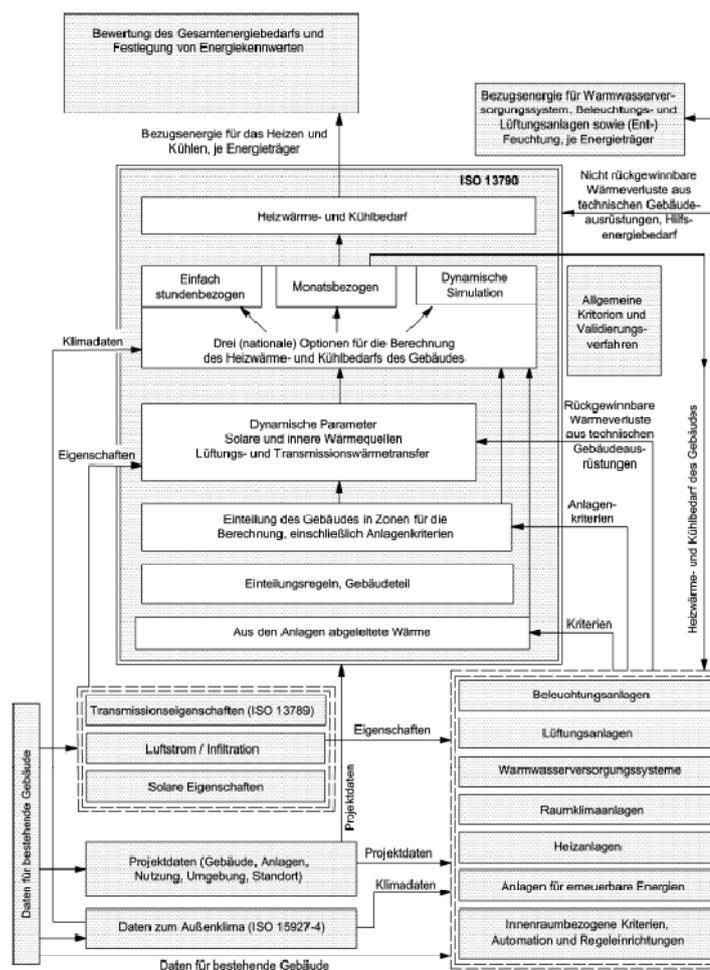


Abbildung 4-1 – Flussdiagramm des Berechnungsverfahrens mit Verweisungen auf weitere Normen aus [ISO07]

In der Abbildung 4-1 ist zu erkennen, dass die Berechnungsmethodik für den Heizwärme- und Kühlbedarf national festzulegen ist. Für Österreich wurde das monatsbezogene Verfahren als Standardberechnungsverfahren definiert. Daher ist dieses im Folgenden auch näher beschrieben.

Den Kernpunkt des Bereiches der in der Abbildung 4-1 aus [ISO07], durch die EN ISO 13790 abgedeckt, bildet die dynamischen Parameter. Die Bestimmung der Zeitkonstante des zu untersuchenden Gebäudes und die Ermittlung des Ausnutzungsgrades sind besonders für die Bilanzverfahren, sei es perioden- bzw. monatsbezogen oder auch stundenbezogen, von entscheidender Bedeutung. Die besprochene Norm [ISO07] ist aus der [OEN98] hervorgegangen und an diesen beiden Normen ist die Entwicklung des untersuchten Berechnungsverfahrens erkennbar. Das Ausnutzungsgradverfahren für den Heizwärmebedarf auf europäischer Ebene hat eine gewisse Tradition, respektive ist der Erfahrungsschatz, der durch den mehrere Jahrzehnte andauernden Umgang mit dem Verfahren gewonnen werden konnte, relativ groß. Die Modifikation des Verfahrens für die Berechnung des Kühlbedarfs von Gebäuden, die an dem Verfahren Mitte der 1990er-Jahre des vergangenen Jahrhunderts durchgeführt wurde, erbrachte die Option das Verfahren sowohl für den Heizbetrieb als auch für den Kühlbetrieb zu verwenden. Zu Beginn hatte man mit der Titulierung des Energiebedarfs für den Kühlbetrieb bedenken, die Bezeichnung Kühlwärmebedarf erschien zu verwirrend, sodass man sich in Österreich auf die Bezeichnung Kühlbedarf festlegte. Für den Kühlbetrieb ergab sich die Möglichkeit den Ausnutzungsgrad für die Wärmeeinträge oder für die Wärmeverluste zu berechnen. Dieser Schritt stellte genau genommen zwar keine weitere Modifikation des Verfahrens dar, mathematisch sind beide Formulierungen identisch, aber diese Betrachtungsweise des Ausnutzungsgrades stellte eine Neuerung dar.

## 4.2 Monatsbezogenes Verfahren

Als Bilanzierungsverfahren wurde das in Österreich standardisierte monatsbezogene Verfahren herangezogen, gemäß der ISO EN 13790 [ISO07]. Dieses Verfahren ist im Folgenden beschrieben und wird für die Berechnung des Heizwärme- und Kühlbedarfs nach dem Bilanzverfahren in nachstehenden Kapiteln angewendet.

Grundsätzlich gilt im Folgenden für alle Variablen  $Q$  mit allen angeführten Indizes, dass die Wärmemenge bzw. Energiemenge gemeint ist. Die Einheit der Wärmemenge ist Megajoule (MJ), wobei in Österreich eher in Kilowattstunden umgerechnet wird, da die Verwendung Einheit Joule im täglichen Umgang eher ungebräuchlich ist. Bei allen Parametern bei denen der Faktor Zeit enthalten ist (Zeitschritte, Zeiträume sowie auch für Luftwechselraten) kann anstelle von Sekunden auch Stunden eingesetzt werden. In diesem Fall ist für die Einheit Energie anstatt Joule Wattstunden (Wh) einzusetzen.

### 4.2.1 Heizwärmebedarf $Q_{H,nd}$ bzw. Nutzenergiebedarf des Gebäudes für Raumheizung

Der Nutzenergiebedarf für Raumheizung ist gemäß [ISO07] aus dem Gesamtwärmetransfer und der Gesamtheit der Wärmeeinträge für den Heizbetrieb zu berechnen. Die Wärmeeinträge sind allerdings nicht in vollem Umfang einzurechnen, sondern sind durch einen dimensionslosen Ausnutzungsgrad ab zu mindern. Dieser Ausnutzungsgrad stellt den Kern des Monatsbilanzverfahrens dar. In dem Abschnitt dynamische Parameter ist erklärt wie dieser Ausnutzungsgrad in der [ISO07] definiert ist. In Kapitel 6 der vorliegenden Arbeit ist die Bestimmung dieses Ausnutzungsgrades angegeben. Der Heizwärmebedarf  $Q_{H,nd}$  errechnet sich wie folgt.

$$Q_{H,nd} = Q_{H,nd,cont} = Q_{H,ht} - \eta_{H,gn} \cdot Q_{H,gn}$$

Für jede Gebäudezone bzw. für die jeweilige Heizperiode

$Q_{H,nd,cont}$	Heizwärmebedarf des Gebäudes bei kontinuierlichem Heizen
$Q_{H,ht}$	Gesamtwärmetransfer für den Heizbetrieb
$Q_{H,gn}$	Gesamtheit der Wärmeeinträge für den Heizbetrieb
$\eta_{H,gn}$	dimensionsloser Ausnutzungsgrad der Einträge

### 4.2.2 Kühlbedarf $Q_{C,nd}$

Der Kühlbedarf gemäß [ISO07] ergibt sich aus den Wärmeeinträgen und einem dimensionslosen Ausnutzungsgrad für den Kühlbetrieb. Gewählt wird dabei die alternative Formulierung des Kühlbedarfs aus Anhang D der [ISO07]. Die alternative Formulierung verwendet einen Ausnutzungsgrad der Einträge, wie bei dem Heizwärmebedarf. Die Formulierung des Kühlbedarfs mit dem Ausnutzungsgrad der Verluste, die im Hauptteil der [ISO07] angegeben ist, lässt auch negative Wärmeverluste zu. Außerdem sind die Wärmeverluste, die zur Verringerung des Kühlbedarfs beitragen, erkennbar. Die alternative Formulierung des Kühlbedarfs bietet den Vorteil, dass der Ausnutzungsgrad der Einträge  $\eta_{C,gn}$  für den Kühlbetrieb genauso bestimmt werden kann wie der Ausnutzungsgrad  $\eta_{H,gn}$  für den Heizbetrieb.

$$Q_{C,nd} = Q_{C,nd,cont} = (1 - \eta_{C,gn}) \cdot Q_{C,gn}$$

$Q_{C,nd,cont}$       Kühlbedarf des Gebäudes bei kontinuierlichem Kühlen

$Q_{C,gn}$             Gesamtheit der Wärmeeinträge für den Kühlbetrieb

$\eta_{C,gn}$             dimensionsloser Ausnutzungsgrad der Einträge für den Kühlbetrieb

### 4.2.3 Heiz- und Kühlperiode

In der [ISO07] wird die Ermittlung der Heiz- und Kühlperiode angeführt. Dabei wird für das Monatsverfahren die tatsächliche Länge der Heiz- und Kühlperiode als Anzahl von Monaten  $L_H$  und  $L_C$  angegeben. Für die Monate, die den Wechsel zwischen Heiz- und Kühlsaison darstellen, wird anteilig die Länge des Heiz- und Kühlbetriebes, in den Parametern  $f_{H,m}$  und  $f_{C,m}$  ausgedrückt und zu den Monatsanzahlen  $L_H$  und  $L_C$  hinzugerechnet. Für die Bestimmung der Parameter  $f_{H,m}$  und  $f_{C,m}$  werden zwei unterschiedliche Verfahren angegeben:

- Vereinfachtes Verfahren basierend auf dem Verhältnis zwischen dem Heizwärme- und Kühlbedarf
- Verfahren basierend auf den Monatswerten für das Wärmebilanzverhältnis des Heiz- bzw. Kühlbetriebes

Bei der Bestimmung des Heizwärme- und Kühlbedarfs nach ÖNORM B 8110 Teil 6 [OEN07\_02] wird der Begriff der Heiz- und Kühlperiode nicht verwendet. In

Abweichung zum europäischen Standard wird in Österreich über das ganze Jahr getrennt für das Heizen und Kühlen durch bilanziert und anschließend zur Energiebedarfsermittlung summiert. Erst bei der Berechnung des Heiztechnikenergiebedarfs, der den Energiebedarf für Raumheizung und Warmwasserversorgung mitberücksichtigt, wird die Heiz- und Kühlperiode ermittelt.

#### 4.2.4 Gesamtwärmetransfer und Gesamtheit der Wärmeeinträge

Die Bestimmung des Gesamtwärmetransfers und der Gesamtheit der Wärmeeinträge sind für die Ermittlung der Energiemenge für das Heizen und Kühlen von Gebäuden von entscheidender Bedeutung. Die beiden Größen werden oft auch als Gewinne und Verluste, die sich für den Heiz- und Kühlbetrieb ergeben, tituliert.

Der Gesamtwärmetransfer setzt sich für jede Gebäudezone und für jeden Berechnungsschritt aus dem Gesamtwärmetransfer durch Transmission und Lüftung zusammen, in der vorliegenden Betrachtungsweise ist der Berechnungsschritt jeweils ein Monat. Die Summation gibt den gesamten energetischen Wärmeaustausch zwischen konditionierter also beheizter oder gekühlter Gebäudezone und der Außenumgebung wieder. Die Wärme- oder Energiemenge, die sich bei dieser Wechselwirkung ergibt, ist in der vorliegenden Formulierung nur für die Bilanzgleichung des Heizwärmebedarfs von Bedeutung. Bei der Bilanzgleichung für den Kühlbedarf wird nur die Summe der Wärmeeinträge herangezogen. Die Gleichung für den Gesamtwärmetransfer ergibt sich wie folgt.

$$Q_{ht} = Q_{tr} + Q_{ve}$$

$Q_{ht}$  Gesamtwärmetransfer für jede Gebäudezone und jeden Berechnungsschritt

$Q_{tr}$  Gesamtwärmetransfer durch Transmission

$Q_{ve}$  Gesamtwärmetransfer durch Lüftung

Da in der verwendeten Formulierung der Gesamtwärmetransfer nur für den Heizbetrieb benötigt wird, kann die definierte Formulierung durch folgende Schreibweise substituiert werden.

$$Q_{H,ht} = Q_{tr} + Q_{ve}$$

$Q_{H,ht}$  Gesamtwärmetransfer für den Heizbetrieb und für jede Gebäudezone

$Q_{tr}$  Gesamtwärmetransfer durch Transmission bei Heizbetrieb

$Q_{ve}$  Gesamtwärmetransfer durch Lüftung bei Kühlbetrieb

Nicht nur der Gesamtwärmetransfer ist für die Bestimmung der Energiemenge des Heizens und Kühlen entscheidend, sondern auch die Gesamtheit der Wärmeeinträge. Die Wärmeeinträge oder Wärmegewinne sind definiert durch die inneren Wärmeeinträge, auch als innere Wärmelasten bezeichnet und durch die solaren Wärmeeinträge. Die Gesamtheit der Wärmeeinträge  $Q_{gn}$  der Gebäudezone für einen bestimmten Berechnungsschritt wird wie folgt berechnet.

$$Q_{gn} = Q_{int} + Q_{sol}$$

$Q_{gn}$  Gesamtheit der Wärmeeinträge für einen gegebenen Zeitraum

$Q_{int}$  Summe der inneren Wärmeeinträge für einen gegebenen Zeitraum

$Q_{sol}$  Summe der solaren Wärmeeinträge für einen gegebenen Zeitraum

Wenn man die Gleichung für den Heiz- und Kühlbetrieb aufteilt, dann ergeben sich folgende Beziehungen. Für den Heizbetrieb ist  $Q_{H,gn}$  folgendermaßen definiert.

$$Q_{H,gn} = Q_{int} + Q_{sol}$$

$Q_{H,gn}$  Gesamtheit der Wärmeeinträge für den Heizbetrieb

$Q_{int}$  Summe der inneren Wärmeeinträge für den Heizbetrieb

$Q_{sol}$  Summe der solaren Wärmeeinträge für den Heizbetrieb

Für den Kühlbetrieb ist  $Q_{C,gn}$  bestimmt durch folgende Beziehung.

$$Q_{C,gn} = Q_{int} + Q_{sol}$$

$Q_{C,gn}$  Gesamtheit der Wärmeeinträge für den Kühlbetrieb

$Q_{int}$  Summe der inneren Wärmeeinträge für den Kühlbetrieb

$Q_{sol}$  Summe der solaren Wärmeeinträge für den Kühlbetrieb

Für die Bilanzgleichungen des Heizwärme- und Kühlbedarfs sind nun bis auf die Ausnutzungsgrade die Bestandteile grundsätzlich definiert. Bevor auf die Bestimmung der dynamische Gebäudeparameter eingegangen wird, folgt nun die Berechnung der

Parameter für die Wärmegewinne und Wärmeverluste. Als erstes wird auf die Bestimmung des Gesamtwärmetransfers eingegangen.

#### 4.2.5 Transmissionswärmetransfer

Der Transmissionswärmetransfer eines Gebäudes ist von seiner Hülle abhängig. Je besser die thermische Qualität der Außenbauteile ist, desto weniger Transmissionsverluste ergeben sich. Die opaken und transparenten Bauteile sind dabei getrennt zu erfassen. Entscheidend ist natürlich auch an welche Umgebung ein Bauteil anschließt, dabei unterscheidet man zwischen der Außenumgebung, dem Erdreich, nicht konditionierten Räumen und angrenzenden Gebäuden. Diese Aufteilung ist flächenmäßig für jede Gebäudezone vorzunehmen. Der Transmissionswärmetransfer ist aber nicht nur von den zonenbegrenzenden Bauteilen abhängig, sondern auch von der Temperaturdifferenz zu der anschließenden Zone und von der Dauer des Berechnungsschrittes. Die Beziehungen für das Heizen und Kühlen stellen sich wie folgt dar.

Für den Heizbetrieb:

$$Q_{tr} = H_{tr,adj} \cdot (\theta_{int,set,H} - \theta_e) \cdot t$$

Für den Kühlbetrieb:

$$Q_{tr} = H_{tr,adj} \cdot (\theta_{int,set,C} - \theta_e) \cdot t$$

$H_{tr,adj}$  Gesamt-Transmissionswärmetransferkoeffizient der Zone, angepasst an die Differenz zwischen Innen- und Außentemperatur in Watt je Kelvin

$\theta_{int,set,H}$  Solltemperatur der Gebäudezone für das Heizen in Grad Celsius

$\theta_{int,set,C}$  Solltemperatur der Gebäudezone für das Kühlen in Grad Celsius

$\theta_e$  Temperatur der Außenumgebung in Grad Celsius

$t$  Dauer des Berechnungsschrittes in Megasekunden

Die Gesamt-Transmissionswärmetransferkoeffizienten, auch oftmals als Leitwert bezeichnet, beschreiben die thermische Qualität der Gebäudehülle. Neben den

Bauteilaufbauten und den verwendeten Materialien werden diese Koeffizienten auch durch Wärmebrücken beeinflusst.

Die Bedingungen der Innenräume sind nach [ISO07] im Abschnitt 13 definiert. Für das Innenraumklima sind folgende unterschiedliche Betriebsarten definiert:

- kontinuierliches bzw. quasi-kontinuierliches Heizen und/oder Kühlen mit einem konstanten Sollwert
- verringerter Sollwert bzw. Abschaltung in der Nacht und/oder am Wochenende
- Leerstandszeiten (z.B. Urlaub/Ferien)
- Komplizierte Situationen, z.B. Zeiträume mit Aufheizbetrieb, mit (wahlweise) maximaler Heiz- oder Kühlleistung während des Aufheizens

Die Verfahrensweise zu Bestimmung der Solltemperaturen ist abhängig vom Rechenverfahrenstyp. Die Tabelle 13 in [ISO07] gibt dabei an, dass durch das Monatsverfahren nur kontinuierlicher und intermittierender Heiz- und Kühlbetrieb berücksichtigt werden kann. Komplizierte Situationen erfordern detailliertere Rechenverfahren wie vereinfachtes Stundenverfahren oder ausführliche Simulationsverfahren.

In Österreich ist die Bedingung im Innenraum der Gebäude in der ÖNORM B 8110 Teil 5 definiert [OEN07\_03]. Für unterschiedliche Nutzungen sind dort Solltemperaturen der Innenräume angegeben, für den kontinuierlichen bzw. quasi-kontinuierlichen Heizbetrieb.

Die Temperatur der Außenumgebung  $\theta_e$  ist in [ISO07] im Anhang F beschrieben. Dabei sind für das Monatsverfahren folgende Klimadaten erforderlich:

- Monatliche mittlerer Außentemperatur in Grad Celsius
- Monatlich mittlere einfallende Sonnenstrahlung für Ebenen mit entsprechenden Ausrichtungen und Neigungswinkeln in Watt je Kelvin

Die Angabe, dass diese Daten aus den stundenbezogenen Daten zu bestimmen sind, für die Ermittlung der stundenbezogenen Daten ist auch im Anhang F der [ISO07] angeführt, sie erlaubt es für die Klimadaten Testreferenzdaten zu generieren. Der europäische Standard gibt dabei an, dass für ein repräsentatives Jahr die stundenbezogenen Wetterdaten zu entnehmen sind.

Die Dauer des Berechnungsschrittes ist im beschriebenen Monatsverfahren jeweils ein Monat.

#### 4.2.6 Die Transmissionswärmetransferkoeffizienten

Die Transmissionswärme, die an die Umgebung einer Zone abgegeben oder in eine Zone eindringt, ist von der Umgebung die die Gebäudezone umschließt und von der Bauteilbeschaffenheit der Zone abhängig. Der Gesamt-Transmissionswärmetransferkoeffizient  $H_{tr,adj}$  muss nach EN ISO 13789 unter Anwendung der folgenden Gleichung berechnet werden:

$$H_{tr,adj} = H_D + H_g + H_U + H_A$$

$H_D$	Transmissionswärmetransferkoeffizient für die direkte Wärmetransmission an die Außenumgebung in Watt je Kelvin
$H_g$	Transmissionswärmetransferkoeffizient für die stationäre Wärmetransmission an das Erdreich in Watt je Kelvin
$H_U$	Transmissionswärmetransferkoeffizient für die Wärmetransmission durch nicht konditionierte Räume in Watt je Kelvin
$H_A$	Transmissionswärmetransferkoeffizient für die Wärmetransmission an angrenzende Gebäude in Watt je Kelvin

Im Allgemeinen bestehen die Transmissionswärmekoeffizienten  $H_D$ ,  $H_g$ ,  $H_U$  und  $H_A$  aus drei verschiedenen Termen.  $H_x$  steht für einen allgemeinen Leitwert:

$$H_x = b_{tr,x} \cdot \left( \sum_i A_i \cdot U_i + \sum_k l_k \cdot \psi_k + \sum_j \chi_j \right)$$

$A_i$	die Fläche des Bauteils $i$ der Gebäudehülle in Quadratmeter
$U_i$	der Wärmedurchgangskoeffizient des Bauteils $i$ der Gebäudehülle in Watt je Quadratmeter und je Kelvin
$l_k$	die Länge der linienförmigen Wärmebrücke $k$ in Meter

$\psi_k$	linearer Wärmedurchgangskoeffizient der Wärmebrücke $k$ in Watt je Meter und je Kelvin
$\chi_j$	punktförmiger Wärmedurchgangskoeffizient der punktförmigen Wärmebrücke in Watt je Kelvin
$b_{tr,x}$	der Anpassungsfaktor mit dem Wert $b_{tr,x}$ ungleich 1, wenn die Temperatur auf der einen Seite des Bauteils nicht gleich der Temperatur der Außenumgebung ist. Dieser Wert wird nach [ISO07] nach Abschnitt 8.3.2 bestimmt.

Die Summenbildung erfolgt über sämtliche Bauteile, die den Innenraum und die auf der anderen Seite der Konstruktion liegende Umgebung (Außenumgebung, Erdreich, nicht konditionierter Raum oder angrenzender konditionierter Raum), voneinander trennen [ISO07].

#### 4.2.7 Wärmetransfer durch Lüftung

Der Gesamtwärmetransfer durch Lüftung ist für das Monatsverfahren wieder getrennt für den Kühlbetrieb und den Heizbetrieb zu bestimmen, für jedes Monat und jede Gebäudezone  $z$ . Die folgenden Beziehungen sind dafür angegeben.

Für das Heizen:

$$Q_{ve} = H_{ve,adj} \cdot (\theta_{int,set,H,z} - \theta_e) \cdot t$$

Für das Kühlen:

$$Q_{ve} = H_{ve,adj} \cdot (\theta_{int,set,C,z} - \theta_e) \cdot t$$

$Q_{ve}$	Gesamtwärmetransfer durch Lüftung
$H_{ve,adj}$	Gesamt-Lüftungswärmetransferkoeffizient, angepasst an die Differenzen zwischen Innen- und Außentemperatur in Watt je Kelvin
$\theta_{int,set,H,z}$	Solltemperatur der Gebäudezone für das Heizen in Grad Celsius
$\theta_{int,set,C,z}$	Solltemperatur der Gebäudezone für das Kühlen in Grad Celsius

$\theta_e$  die Temperatur der Außenumgebung in Grad Celsius

$t$  Dauer des Berechnungsschrittes in Megasekunden

Der Gesamtlüftungswärmetransferkoeffizient ist in der [ISO07] im Abschnitt 9.3 definiert und wird in 4.2.8 beschrieben.

Die Bedingungen der Innenräume sind nach [ISO07] im Abschnitt 13 definiert und wurden bereits erörtert.

Die Bestimmung der Temperatur der Außenumgebung und die Dauer des Berechnungsschrittes sind wie bereits erwähnt im Anhang F der [ISO07] definiert.

In bestimmten Zeiträumen kann der Wärmetransfer auch negativ sein kann, dann wird dieser dem Gebäude oder der betrachteten Zone hinzugerechnet.

#### 4.2.8 Lüftungswärmetransferkoeffizienten

Der Gesamt-Lüftungswärmetransferkoeffizient setzt sich aus der volumenbezogenen Wärmespeicherfähigkeit der Luft zusammen und dem Luftvolumenstrom für die betrachtete Zone. Der Luftvolumenstrom muss dabei noch mit einem Temperaturanpassungsfaktor multipliziert werden, um den Umstand zu berücksichtigen, dass die Zulufttemperatur nicht unbedingt identisch mit der Außentemperatur sein muss. Das ist zum Beispiel bei einer Vorheizung, Vorkühlung oder einer Wärmerückgewinnung, die Teile einer Lüftungsanlage sein können, der Fall. Der Gesamt-Lüftungswärmetransferkoeffizient wird mit folgender Gleichung bestimmt.

$$H_{ve,adj} = \rho_a \cdot c_a \cdot \left( \sum_k b_{ve,k} \cdot q_{ve,k,mn} \right)$$

$H_{ve,adj}$  Gesamt-Lüftungswärmetransferkoeffizient in Watt je Sekunde

$\rho_a \cdot c_a$  volumenbezogene Wärmespeicherfähigkeit der Luft in Joule je Kubikmeter je Kelvin

$q_{ve,k,mn}$  zeitlich gemittelter Luftvolumenstrom von Luftvolumenstromelement  $k$  in Kubikmeter je Sekunde

$b_{ve,k}$  Temperaturanpassungsfaktor für Luftvolumenstromelement  $k$

k jedes der relevanten Luftvolumenstromelemente, wie zum Beispiel Infiltration, freie Lüftung, maschinelle Lüftung oder zusätzliche Lüftung durch ein natürliches Nachtlüftungskonzept für den Kühlfall

Die volumenbezogene Wärmespeicherfähigkeit der Luft ergibt sich zu  $1200 \text{ J}/(\text{m}^3\text{K})$  und wird als konstanter Wert in der Berechnung des Lüftungswärmetransferkoeffizienten eingesetzt. Die Bestimmung des zeitlich gemittelten Luftvolumenstroms wird im Folgenden beschrieben. Der Temperaturanpassungsfaktor für ein Luftvolumenstromelement wird in der [ISO07] im Abschnitt 9.3.3 definiert. Die Anzahl der Luftvolumenstromelemente ergeben sich aus der Zusammensetzung der Lüftung einer Zone oder eines Gebäudes

Die Bestimmung des zeitlich gemittelten Luftvolumenstroms ist bestimmt durch den Luftvolumenstrom und dem zeitlichen Anteil des Betriebes von einem Luftvolumenstromelement  $k$ . Der zeitlich gemittelte Luftvolumenstrom von einem Luftvolumenstromelement  $k$ ,  $q_{ve,k,mn}$ , wird nach [ISO07] wie folgt berechnet.

$$q_{ve,k,mn} = f_{ve,t,k} \cdot q_{ve,k}$$

$q_{ve,k}$  Luftvolumenstrom von Luftvolumenstromelement  $k$  in Kubikmeter je Sekunde

$f_{ve,t,k}$  zeitlicher Anteil des Betriebes von Luftvolumenstromelement  $k$  berechnet als Anteil der Stundenanzahl je Tag (Vollzeit:  $f_{ve,t,k} = 1$ )

Die Bestimmung des Luftvolumenstroms  $q_{ve,k}$  und des zeitlichen Anteils des Betriebes  $f_{ve,t,k}$  von einem Luftvolumenstromelement  $k$  wird im Anhang A der [ISO07] beschrieben. Im Anhang A sind normative Verweise angegeben, für die beiden Parameter wird auf die EN 15242 und die EN 15241, auf nationale Normen, auf sonstige geeignete Dokumente und auf die prEN ISO 13789 verwiesen. Als Themengebiete sind dabei angeführt:

- Luftwechselraten
- Zeitliche Anteile und Zulufttemperaturen bei Infiltration, freier Lüftung und/oder maschineller Lüftung

### 4.2.9 Innere Wärmeeinträge

Grundsätzlich können sich innere Wärmeeinträge aus Quellen und Senken (Kältequellen) zusammensetzen. Sie umfassen die gesamte Wärmemenge, die durch Innere Quellen erzeugt werden.

Die inneren Wärmeeinträge umfassen:

- Stoffwechselwärme der Nutzer und Verlustwärme der Geräte
- Verlustwärme der Beleuchtungseinrichtungen
- Durch Warm- und Kaltwasser- sowie Abwassersysteme abgegebene oder aufgenommene Wärme
- Durch Heiz-, Kühl- und Lüftungsanlagen abgegebene oder aufgenommene Wärme
- Wärme aus oder für Prozesse und Güter

Die inneren Wärmeeinträge, die durch sogenannte rückgewinnbare Wärmeverluste durch die Warmwasser- und Raumheizungsversorgung in einem Gebäude oder einer Zone bestimmt sind, werden in der [ISO07] im Abschnitt 10.3 beschrieben. Für die Berechnung des Heizwärme- und Kühlbedarfs werden jedoch die rückgewinnbaren Wärmeverluste in der vorliegenden Arbeit nicht berücksichtigt. Diese Vorgangsweise entspricht dem in [OEN07\_02] beschriebenen Rechenverfahren.

Berechnet werden die inneren Wärmequellen wie folgt:

$$Q_{\text{int}} = \left( \sum_k \phi_{\text{int,mn,k}} \right) \cdot t + \left( \sum_l (1 - b_{\text{tr,l}}) \cdot \phi_{\text{int,mn,u,l}} \right) \cdot t$$

$Q_{\text{int}}$	Gesamtheit der inneren Wärmeeinträge
$b_{\text{tr,l}}$	der Abminderungsfaktor für den angrenzenden, nicht konditionierten Raum mit der inneren Wärmequelle l
$\phi_{\text{int,mn,k}}$	zeitlich gemittelter Wärmestrom der inneren Wärmequelle k in Watt
$\phi_{\text{int,mn,u,l}}$	zeitlich gemittelter Wärmestrom der inneren Wärmequelle l im angrenzenden nicht konditionierten Raum in Watt
t	Länge der betrachteten Monats-/Heiz-/Kühlperiode in Megasekunden

Der Abminderungsfaktor  $b_{tr,l}$  ist festgelegt in der prEN ISO 13789 und gemäß dieser Norm zu bestimmen. Die Bestimmung der zeitlich gemittelten Wärmeströme der inneren Wärmequellen ist nach [ISO07] im Abschnitt 10.3 angeführt. Die Länge der betrachteten Monatsperiode ist dem Abschnitt F der [ISO07] zu entnehmen und dort sind Monate und die Anzahl ihrer Tage und Stunden angegeben.

#### 4.2.10 Solare Wärmeeinträge

Wärmeeinträge aus solaren Wärmequellen ergeben sich aus der Sonnenstrahlung die üblicherweise am betrachteten Standort vorherrscht. Die solaren Gewinne werden von ständigen und beweglichen Verschattungseinrichtungen beeinflusst. Der solare Durchlassgrad, die Absorption, sowie die Wärmetransfereigenschaften der Kollektorflächen beeinflussen die solaren Wärmeeinträge. Mit folgender Gleichung werden die solaren Wärmeeinträge für eine betrachtete Gebäudezone berechnet.

$$Q_{sol} = \left( \sum_k \phi_{sol,mn,k} \right) \cdot t + \left( \sum_l (1 - b_{tr,l}) \cdot \phi_{sol,mn,u,l} \right) \cdot t$$

$Q_{sol}$	Gesamtheit der solaren Wärmeeinträge
$b_{tr,l}$	Anpassungsfaktor für den angrenzenden, nicht konditionierten Raum mit der solaren Wärmequelle l
$\phi_{sol,mn,k}$	der zeitlich gemittelte Wärmestrom der solaren Wärmequelle k in Watt
$\phi_{sol,mn,u,l}$	zeitlich gemittelter Wärmestrom der solaren Wärmequelle l im angrenzenden nicht konditionierten Raum in Watt
t	die Länge der betrachteten Kühl-/Heizperiode in Megasekunden

Der Anpassungsfaktor für den angrenzenden, nicht konditionierten Raum mit der solaren Wärmequelle l ist nach prEN ISO 13789 zu bestimmen. Die Ermittlung des zeitlich gemittelten Wärmestroms der solaren Wärmequelle k ist im Folgenden beschrieben. Der zeitlich gemittelte Wärmestrom der solaren Wärmequelle l im angrenzenden, nicht konditionierten Raum ist nach Abschnitt 10.3 der [ISO07] zu bestimmen. Und die Länge der betrachteten Monatsperiode ist dem Abschnitt F der [ISO07] zu entnehmen. Nun folgt die Beschreibung der Ermittlung des zeitlich gemittelten Wärmestroms der solaren Wärmequelle k.

### 4.2.11 Elemente solarer Wärmeeinträge

Für die solaren Wärmeeinträge durch Bauteile ist die Kenntnis der Umgebung und der damit verbundenen Verschattungsprozesse entscheidend. Freistehende Gebäude ohne benachbarte Bebauung sind von der Umgebungsverschattung viel weniger betroffen als Gebäude in dicht bebauten Gebieten. Zur Umgebungsverschattung zählen natürlich auch Tallagen von Gebäuden. Die Orientierung der Bauteilflächen und die Bestrahlungsstärke die sich am betrachteten Standort für die definierte Orientierung ergibt, sind weiters zu erfassen

Der Wärmestrom durch solare Einträge durch Bauteil  $k$ ,  $\phi_{\text{sol},k}$  kann wie folgt berechnet werden.

$$\phi_{\text{sol},k} = F_{\text{sh,ob},k} \cdot A_{\text{sol},k} \cdot I_{\text{sol},k} - F_{\text{r},k} \cdot \phi_{\text{r},k}$$

$\phi_{\text{sol},k}$	der Wärmestrom durch solare Einträge durch ein Bauteil $k$ in Watt
$F_{\text{sh,ob},k}$	Verschattungsfaktor durch außen liegende Hindernisse für die wirksame Kollektorfläche der Oberfläche $k$ , dimensionslos
$A_{\text{sol},k}$	wirksame solare Kollektorfläche der Oberfläche $k$ mit einer bestimmten Ausrichtung und einem bestimmten Neigungswinkel in der betrachteten Zone oder dem betrachteten Raum in Quadratmeter
$I_{\text{sol},k}$	solare Bestrahlungsstärke, die mittlere Sonneneinstrahlung über den Berechnungszeitschritt, je Quadratmeter Kollektorfläche der Oberfläche $k$ mit einer bestimmten Ausrichtung und einem bestimmten Neigungswinkel in Watt je Quadratmeter
$F_{\text{r},k}$	Sichtfaktor zwischen dem Bauteil und dem Himmel, dimensionslos
$\phi_{\text{r},k}$	zusätzlicher Wärmestrom aufgrund der vom Bauteil $k$ ausgehenden Wärmestrahlung an den Himmel in Watt

Die Bestimmung des Verschattungsfaktors durch außen liegende Hindernisse erfolgt nach dem Kapitel 11.4.4 der [ISO07]. Die solare Kollektorfläche  $A_{\text{sol},k}$  ist gleich der Fläche eines schwarzen Körpers mit dem gleichen solaren Wärmeeintrag wie die betrachtete Oberfläche. Die Bestimmung der solaren Kollektorfläche ist im Folgenden beschrieben. Die solare Bestrahlungsstärke wird nach Anhang F der [ISO07] ermittelt,

dort wird definiert wie die Klimadaten für das Monatsverfahren zu bestimmen sind. Der dimensionslose Sichtfaktor zwischen dem Bauteil und dem Himmel (liegt zwischen Null und eins) wird im Folgenden eingehender definiert, ebenso wie der zusätzliche Wärmestrom der an den Himmel abgestrahlt wird. Der zusätzliche Wärmestrom aufgrund der Wärmestrahlung an den Himmel ist eigentlich kein solarer Wärmeeintrag, wird jedoch aus Vereinfachungsgründen zu den solaren Einträgen gezählt.

#### 4.2.11.1 Wirksame solare Kollektorfläche von verglasten Bauteilen

Die wirksame Kollektorfläche eines verglasten Bauteils der Gebäudehülle  $A_{sol}$  ist wie folgt bestimmt.

$$A_{sol} = F_{sh,gl} \cdot g_{gl} \cdot (1 - F_F) \cdot A_{w,p}$$

$A_{sol}$	wirksame solare Kollektorfläche mit einer bestimmten Ausrichtung und einem bestimmten Neigungswinkel in der betrachteten Zone oder dem betrachteten Raum in Quadratmeter
$F_{sh,gl}$	Verschattungsfaktor für bewegliche Sonnenschutzeinrichtungen, dimensionslos
$g_{gl}$	solarer Gesamtenergiedurchlassgrad des transparenten Teils des Bauteils, dimensionslos
$F_F$	Rahmenflächenanteil, d.h. das Verhältnis von projizierter Rahmenfläche zur gesamten Projektionsfläche des verglasten Bauteils, dimensionslos
$A_{w,p}$	gesamte Projektionsfläche des verglasten Bauteils in Quadratmeter

#### 4.2.11.2 Wirksame solare Kollektorfläche von opaken Bauteilen

Die wirksame Kollektorfläche eines opaken Bauteils der Gebäudehülle  $A_{sol}$  wird wie folgt berechnet.

$$A_{sol} = a_{S,c} \cdot R_{se} \cdot U_c \cdot A_c$$

$a_{S,c}$	der dimensionslose Absorptionskoeffizient für die Sonnenstrahlung auf den opaken Teil, aus geeigneten nationalen Quellen
$R_{se}$	Oberflächenwärmehdurdurchlasswiderstand des opaken Teils nach ISO 6946 in Quadratmeter und Kelvin je Watt

$U_c$  Wärmedurchgangskoeffizient des opaken Bauteils nach ISO 6946 Watt je Quadratmeter je Kelvin

$A_c$  Projektionsfläche des opaken Teils in Quadratmeter

#### 4.2.11.3 Wärmestrahlung an den Himmel

Der zusätzliche Wärmestrom aufgrund der Wärmestrahlung an den Himmel für ein bestimmtes Bauteil der Gebäudehülle  $\Phi_r$  kann wie folgt berechnet werden.

$$\phi_r = R_{se} \cdot U_c \cdot A_c \cdot h_r \cdot \Delta\theta_{er}$$

$R_{se}$  Wärmeübergangswiderstand an der Außenoberfläche des Bauteils nach ISO 6946 in Quadratmeter und Kelvin je Watt

$U_c$  Wärmedurchgangskoeffizient des Bauteils bestimmt nach ISO 6946 in Watt je Quadratmeter je Kelvin

$A_c$  Projektionsfläche des Bauteils in Quadratmeter

$h_r$  äußerer Strahlungswärmetransferkoeffizient in Watt je Quadratmeter je Kelvin

$\Delta\theta_{er}$  mittlere Differenz zwischen Außenlufttemperatur und der scheinbaren Temperatur des Himmels in Grad Celsius

Auf nationaler Ebene darf entschieden werden, den zusätzlichen Wärmestrom aufgrund der Wärmestrahlung an den Himmel, je nach Anwendung, als einen zusätzlichen Transmissionswärmefluss zu betrachten, wobei anstelle der Lufttemperatur eine Betriebstemperatur verwendet wird.

#### 4.2.11.4 Solarer Energiedurchlassgrad von verglasten Bauteile

Der solare Gesamtenergiedurchlassgrad  $g_{gl}$  ist das zeitlich gemittelte Verhältnis zwischen der durch ein transparentes Bauteil gehenden Energie und der auf das Bauteil auffallenden Energie.

Für Fenster oder sonstige verglaste Bauteile der Gebäudehülle mit nicht streuender Verglasung ist der solare Energiedurchlassgrad,  $g_n$ , für eine senkrecht zur Verglasung laufende Strahlung nach der Norm EN410 zu ermitteln.

Da der Wert des zeitlich gemittelten solaren Energiedurchlassgrades etwas geringer ist als  $g_{gl,n}$  wird ein Korrekturfaktor  $F_w$  angewendet.

$$g_{gl} = F_w \cdot g_{gl,n}$$

$F_w$  Korrekturfaktor für nicht streuende Verglasung, dimensionslos

Sind auf nationaler Ebene keine Werte festgelegt, gilt für den Korrekturfaktor

$$F_w = 0.90$$

Bei verglasten Bauteilen der Gebäudehülle mit streuender Verglasung oder Sonnenschutzeinrichtungen kann der Energiedurchlassgrad für eine senkrecht zur Verglasung verlaufende Strahlung (bei normalen Strahlungseinfall),  $g_n$ , zu einer wesentlichen Unterschätzung des zeitlich gemittelten solaren Durchlassgrades führen.

Der zeitlich gemittelte solare Gesamtenergiedurchlassgrad wird entsprechend der gewichteten Summe berechnet.

$$g_{gl} = a_{gl} \cdot g_{gl,alt} + (1 - a_{gl}) \cdot g_{gl,dif}$$

$a_{gl}$  Gewichtungsfaktor, der für die Position (Ausrichtung, Neigung) des Fensters, das Klima und die Heiz-/Kühlperiode steht

$g_{gl,alt}$  solarer Energiedurchlassgrad für die Sonnenstrahlung aus einem Höhenwinkel, der für die Position (Ausrichtung, Neigung) des Fensters, das Klima und die Heiz-/Kühlperiode steht

$g_{gl,dif}$  solarer Energiedurchlassgrad für isotrope, diffuse Sonnenstrahlung

Sind auf nationaler Ebene keine Werte festgelegt, müssen folgende Werte angesetzt werden. Für  $a_{gl}$  kann 0.75 und für  $alt_{gl}$  kann 45 eingesetzt werden.

#### 4.2.11.5 Bewegliche Sonnenschutzeinrichtungen (Verschattungseinrichtungen)

Für das Monatsverfahren und das Heiz-/Kühlperiodenverfahren ist der Verschattungsfaktor für bewegliche Sonnenschutzeinrichtungen  $F_{sh,gl}$  wie folgt zu ermitteln.

$$F_{sh,gl} = \frac{((1 - f_{sh,with}) \cdot g_{gl} + f_{sh,with} \cdot g_{gl+sh})}{g_{gl}}$$

$g_{gl}$	solarer Gesamtenergiedurchlassgrad des Fensters, wenn die Sonnenschutzeinrichtung nicht in Gebrauch ist
$g_{gl+sh}$	solarer Gesamtenergiedurchlassgrad des Fensters, wenn die Sonnenschutzeinrichtung in Gebrauch ist
$f_{sh,with}$	gewichteter Anteil der Zeit, während der die Sonnenschutzeinrichtung in Gebrauch ist (als Funktion der Intensität der einfallenden Sonnenstrahlung)

#### 4.2.11.6 Äußerer Verschattungsfaktor

Der äußere Verschattungsfaktor  $F_{sh,O}$  kann im Bereich zwischen Null und eins liegen. Er stellt die Verringerung der einfallenden Sonnenstrahlung durch dauerhafte Verschattung der betreffenden Oberfläche dar, die sich aus den folgenden Parametern ergeben kann:

- Gebäude
- Topographie
- Überhänge
- weiteren Bauteilen desselben Gebäudes
- dem äußeren Teil der Wand, in der das verglaste Bauteil eingebaut ist

Der Verschattungsfaktor  $F_{sh,O}$  kann wie folgt berechnet werden.

$$F_{sh,O} = \frac{I_{sol,ps,mean}}{I_{sol,mean}}$$

$I_{sol,ps,mean}$  mittlere solare Bestrahlungsstärke, die tatsächlich auf Kollektorebene auftrifft, die während der Heiz- bzw. Kühlperiode durch ein äußeres Hindernis verschattet wird in Watt je Quadratmeter

$I_{sol,mean}$  mittlere solare Bestrahlungsstärke, die auf die Kollektorebene ohne Verschattung auftrifft in Watt je Quadratmeter

#### 4.2.11.7 Zusätzlicher Wärmetransfer durch Wärmestrahlung an den Himmel

Die Werte des Sichtfaktors für die Strahlung zwischen dem Bauteil und dem Himmel sind.

$F_r = 1.0$  für ein horizontales Dach ohne Verschattung

$F_r = 0.5$  für eine vertikale Wand ohne Verschattung

Der externe Strahlungswärmetransferkoeffizient,  $h_r$ , kann wie folgt bestimmt werden.

$$h_r = 4 \cdot \varepsilon \cdot \sigma \cdot (\theta_{ss} + 273)^3$$

$\varepsilon$  Emissionsgrad der Wärmestrahlung der äußeren Oberfläche

$\sigma$  Stefan-Boltzmann-Konstante:  $\sigma = 5.67 \times 10^{-8}$  in  $W/(m^2K^4)$

$\theta_{ss}$  arithmetisches Mittel der Oberflächentemperatur und der Temperatur des Himmels in Grad Celsius

## 4.2.12 Dynamische Parameter

### 4.2.12.1 Ausnutzungsgrad der Einträge für den Heizbetrieb

Der Ausnutzungsgrad der Einträge für das Heizen,  $\eta_{H,gn}$ , ist eine Funktion des Wärmebilanzverhältnisses  $\gamma_H$  und eines numerischen Parameters  $a_H$ , der von der Gebäudeträgheit abhängig ist. Es gelten die folgenden Beziehungen.

$$\text{wenn } \gamma_H \neq 1: \quad \eta_{H,gn} = \frac{1 - \gamma_H^{a_H}}{1 - \gamma_H^{a_H+1}}$$

$$\text{wenn } \gamma_H = 1: \quad \eta_{H,gn} = \frac{a_H}{a_H + 1}$$

$$\text{wenn } \gamma_H < 0: \quad \eta_{H,gn} = \frac{1}{\gamma_H}$$

Das Wärmebilanzverhältnis wird wie folgt berechnet.

$$\gamma_H = \frac{Q_{H,gn}}{Q_{H,ht}}$$

$\gamma_H$  dimensionsloses Wärmebilanzverhältnis für den Heizbetrieb

$Q_{H,ht}$  der Gesamtwärmetransfer für den Heizbetrieb

$Q_{H,gn}$  gesamte Wärmeeintrag für den Heizbetrieb

$a_H$  dimensionsloser numerischer Parameter

$$a_H = a_{H,0} + \frac{\tau}{\tau_{H,0}}$$

$a_{H,0}$  dimensionsloser numerischer Bezugsparameter

$\tau$  die Zeitkonstante des Gebäudes

$\tau_{H,0}$  Bezugszeitkonstante

Die Parameter dürfen auf nationaler Ebene festgelegt werden. Sind auf nationaler Ebene keine Werte angegeben dürfen die folgenden Tabellenwerte herangezogen werden.

Vefahrenstyp	$a_{H,0}$	$\tau_{H,0}$
		[h]
Monats-Berechnungsverfahren	1.0	15.0
Heiz-/Kühlperiodenberechnungsverfahren	0.8	30.0

Tabelle 4-1 Dynamische Parameter laut EN ISO 13790 für den Heizwärmebedarf

Ein wichtiger Hinweis in [ISO07] ist, dass der Ausnutzungsgrad der Einträge unabhängig von den Eigenschaften der Heizanlage festgelegt wird. Es wird dabei eine ideale Temperaturregelung und eine unbegrenzte Flexibilität angenommen. Eine langsam reagierende Heizanlage und eine nicht ideal arbeitende Regeleinrichtung können die Ausnutzung der Wärmeeinträge stark beeinträchtigen.

#### 4.2.12.2 Ausnutzungsgrad der Einträge für den Kühlbetrieb

Der Ausnutzungsgrad der Einträge für das Kühlen,  $\eta_{C,gn}$ , ist eine Funktion des Wärmebilanzverhältnisses  $\gamma_C$  und eines numerischen Parameters  $a_C$ , der von der Gebäudeträgheit abhängig ist. Es gelten folgende Beziehungen.

$$\text{wenn } \gamma_C \neq 1: \quad \eta_{C,gn} = \frac{1 - \gamma_C^{a_C}}{1 - \gamma_C^{a_C + 1}}$$

$$\text{wenn } \gamma_C = 1: \quad \eta_{C,gn} = \frac{a_C}{a_C + 1}$$

$$\text{wenn } \gamma_C < 0: \quad \eta_{C,gn} = 1$$

Das Wärmebilanzverhältnis wird wie folgt berechnet.

$$\gamma_C = \frac{Q_{C,gn}}{Q_{C,ht}}$$

$\gamma_C$  dimensionsloses Wärmebilanzverhältnis für den Kühlbetrieb

$Q_{C,ht}$  der Gesamtwärmetransfer für den Kühlbetrieb

$Q_{C,gn}$  gesamte Wärmeeintrag für den Kühlbetrieb

$a_c$  dimensionsloser numerischer Parameter

$$a_c = a_{c,0} + \frac{\tau}{\tau_{c,0}}$$

$a_{c,0}$  dimensionsloser numerischer Bezugsparameter

$\tau$  die Zeitkonstante des Gebäudes

$\tau_{c,0}$  Bezugszeitkonstante

Die Parameter dürfen auf nationaler Ebene festgelegt werden. Sind auf nationaler Ebene keine Werte angegeben dürfen die folgenden Tabellenwerte herangezogen werden.

Vefahrenstyp	$a_{c,0}$	$\tau_{c,0}$
		[h]
Monats-Berechnungsverfahren	1.0	15.0
Heiz-/Kühlperiodenberechnungsverfahren	0.8	30.0

Tabelle 4-2– Dynamische Parameter laut EN ISO 13790 für den Kühlbedarf

Das Verhältnis von Ausnutzungsgrad zu dem Gewinn-/Verlustverhältnis stellt sich wie folgt dar.

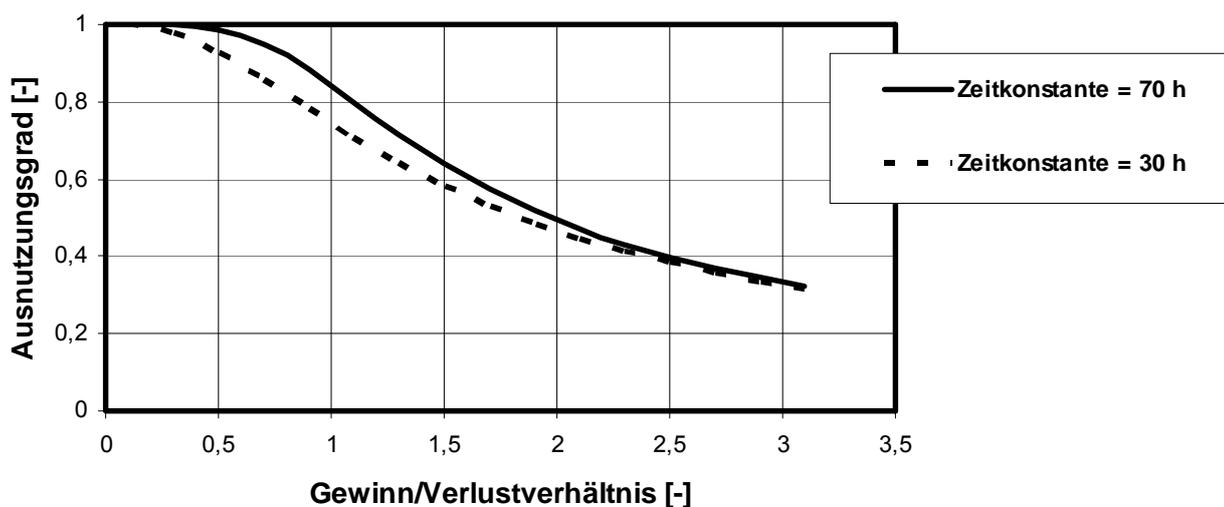


Abbildung 4-2 – Der Ausnutzungsgrad im Verhältnis zu dem Gewinn-/Verlustverhältnis

#### 4.2.12.3 Zeitkonstante des Gebäudes

Die Zeitkonstante einer Gebäudezone wird in Stunden angegeben. Sie charakterisiert die innere Wärmeträgheit der konditionierten Zone, während des Heiz- und oder des Kühlbetriebs. Die Berechnung der Zeitkonstanten erfolgt durch folgende Beziehung.

$$\tau = \frac{C_m / 3600}{H_{tr,adj} + H_{ve,adj}}$$

$C_m$  innere Wärmespeicherfähigkeit des Gebäudes oder der Gebäudezone

$H_{tr,adj}$  repräsentativer Wert des Gesamt-Transmissionswärmekoeffizienten, angepasst an die Differenz zwischen Innen- und Außentemperatur

$H_{ve,adj}$  repräsentativer Wert des Gesamt-Lüftungswärmekoeffizienten, angepasst an die Differenz zwischen Innen- und Außentemperatur

Mit dem Begriff repräsentativ sind Werte gemeint die für die vorherrschende (Heiz- oder Kühl-) Periode repräsentativ sind. Sie sind nach den national gültigen Verfahren zu ermitteln.

#### 4.2.13 Innere Wärmespeicherfähigkeit des Gebäudes

Die innere Wärmespeicherfähigkeit des Gebäudes oder der Gebäudezone wird als  $C_m$  angegeben. Sie wird durch Addition der Wärmespeicherfähigkeit aller Bauteile

berechnet, die sich mit der Innenluft in der betrachteten Zone in Kontakt befinden. Die Berechnung erfolgt mit folgender Beziehung.

$$C_m = \sum \kappa_j \cdot A_j$$

$\kappa_j$  innere Wärmespeicherfähigkeit je Flächeneinheit des Bauteils j mit einer maximalen Dicke laut Tabelle

$A_j$  Fläche des Bauteils angegeben in Quadratmeter

Die für die innere Wärmespeicherfähigkeit zu berücksichtigende maximale Dicke, bei einem Variationszeitraum von einem Tag, ist 0.10 Meter.

Es gibt auch für verschiedene Bauweisen unterschiedliche Ansätze der Wärmespeicherfähigkeit.

Klasse	Monatsverfahren
	$C_m$ (J/K)
Sehr leicht	$80.000 \times A_f$
Leicht	$110.000 \times A_f$
Mittel	$165.000 \times A_f$
Schwer	$260.000 \times A_f$
Sehr schwer	$370.000 \times A_f$

Tabelle 4-3 – Wärmespeicherfähigkeit anhand von Gebäudetypen

Die Klassifizierung der Gebäudetypen ist national festzulegen.

### 4.3 Mehrzonenberechnung mit Wärmekopplung zwischen den Zonen gemäß EN ISO 13790 [ISO07]

In der [ISO07] ist der Wärmekopplung zwischen Zonen der Anhang B gewidmet. In der vorliegenden Arbeit wird mehrmals darauf eingegangen, dass die Kopplung zwischen Zonen eine entscheidende Rolle für die Genauigkeit des Verfahrens spielt und auch die Festlegung des Teilsicherheitsbeiwertes bestimmt, siehe Kapitel 9 dieser Arbeit. Bei dem Verfahren für gekoppelte Zonen in [ISO07] wird der Bezug zwischen zwei Zonen z und y durch geänderte Transmissionswärmetransferkoeffizienten und durch geänderte Lüftungswärmetransferkoeffizienten berücksichtigt.

Die Wärmetransferkoeffizienten zwischen den Zonen z und y sind folgendermaßen definiert.

$H_{tr,zy}$  Transmissionswärmetransferkoeffizient zwischen den Zonen z und y in Watt je Kelvin

$H_{ve,z \rightarrow y}$  der Lüftungswärmetransferkoeffizient von Zone z in Zone y in Watt je Kelvin

$H_{ve,y \rightarrow z}$  der Lüftungswärmetransferkoeffizient von Zone y in Zone z in Watt je Kelvin

Dabei sind die Lüftungswärmetransferkoeffizienten wie folgt zu berechnen.

$$H_{ve,z \rightarrow y} = \rho_a \cdot c_a \cdot q_{z \rightarrow y}$$

und

$$H_{ve,y \rightarrow z} = \rho_a \cdot c_a \cdot q_{y \rightarrow z}$$

$q_{z \rightarrow y}$  Nettoluftvolumenstrom aus Zone z in Zone y in Kubikmeter je Sekunde

$q_{y \rightarrow z}$  Nettoluftvolumenstrom aus Zone y in Zone z in Kubikmeter je Sekunde

Zusätzlich zu den veränderten Koeffizienten sind zu dem Transmissions- und Lüftungstransfer der Zone z folgende Terme hinzuzufügen.

$$Q_{tr,zy} = H_{tr,zy} \cdot (\theta_{z,H/C} - \theta_{y,mn}) \cdot t$$

$Q_{tr,zy}$  Transmissionswärmetransfer zwischen den Zonen z und y

$H_{tr,zy}$	Transmissionswärmetransferkoeffizient zwischen den Zonen z und y in Watt je Kelvin
$\theta_{z,H/C}$	Raumtemperatur der Zone z für den Heiz- oder Kühlfall in Grad Celsius
$\theta_{y,mn}$	tatsächliche mittlere Temperatur einer angrenzenden Zone y, einschließlich jeglicher Überheizung (Heizbetrieb) bzw. Unterkühlung (Kühlbetrieb) in Grad Celsius
t	die Länge der betrachteten Kühl-/Heizperiode

$$Q_{ve,z \rightarrow y} = H_{ve,z \rightarrow y} \cdot (\theta_{z,H/C} - \theta_{y,mn}) \cdot t$$

$Q_{ve,z \rightarrow y}$	Lüftungswärmetransfer zwischen den Zonen z und y
$H_{ve,z \rightarrow y}$	der Lüftungswärmetransferkoeffizient von Zone z in Zone y in Watt je Kelvin
$\theta_{z,H/C}$	Raumtemperatur der Zone z für den Heiz- oder Kühlfall in Grad Celsius
$\theta_{y,mn}$	tatsächliche mittlere Temperatur einer angrenzenden Zone y, einschließlich jeglicher Überheizung (Heizbetrieb) bzw. Unterkühlung (Kühlbetrieb) in Grad Celsius

Die tatsächliche mittlere Temperatur der Zone y wird nach folgenden Gleichungen berechnet. Für den Heizbetrieb.

$$\theta_{y,mn} = \frac{Q_{H,gn} + Q_{H,nd} + \sum_k \left( H_{H,ht,k} \cdot \frac{\theta_{a,k}}{b_{tr,k}} \right)}{\sum_k \left( \frac{H_{H,ht,k}}{b_{tr,k}} \right)}$$

$Q_{H,gn}$	Gesamtheit der Wärmeeinträge für den Heizbetrieb wie in 4.2.4 beschrieben
$Q_{H,nd}$	der gesamte Heizwärmebedarf des Gebäudes für die Zone y wie in 4.2.1 beschrieben

- $H_{H,ht,k}$  das Element k des Gesamtwärmetransferkoeffizienten für den Heizbetrieb in der Zone y, angepasst an die Differenz zwischen Außen- und Innentemperatur, wie in 4.2.6 beschrieben
- $b_{tr,k}$  der Anpassungsfaktor mit dem Wert  $b_{tr,k} \neq 1$ , wenn die Temperatur auf der einen Seite des Bauteils nicht gleich der Temperatur der Außenumgebung ist, nach [OEN00] zu bestimmen

Für den Kühlbetrieb ist die tatsächliche mittlere Temperatur der Zone y nach folgender Gleichung zu bestimmen.

$$\theta_{y,mn} = \frac{Q_{C,gn} - Q_{C,nd} + \sum_k \left( H_{C,ht,k} \cdot \frac{\theta_{a,k}}{b_{tr,k}} \right)}{\sum_k \left( \frac{H_{C,ht,k}}{b_{tr,k}} \right)}$$

- $Q_{C,gn}$  Gesamtheit der Wärmeeinträge für den Kühlbetrieb wie in 4.2.4 beschrieben
- $Q_{C,nd}$  der gesamte Kühlbedarf des Gebäudes für die Zone y wie in 4.2.2 beschrieben
- $H_{C,ht,k}$  das Element k des Gesamtwärmetransferkoeffizienten für den Kühlbetrieb in der Zone y, angepasst an die Differenz zwischen Außen- und Innentemperatur wie in 4.2.6 beschrieben
- $b_{tr,k}$  der Anpassungsfaktor mit dem Wert  $b_{tr,k} \neq 1$ , wenn die Temperatur auf der einen Seite des Bauteils nicht gleich der Temperatur der Außenumgebung ist, nach [OEN00] zu bestimmen

In beiden Gleichungen ist die Temperatur  $\theta_{a,k}$  angeführt, dabei ist zu unterscheiden, ob es sich um ein Element des Transmissionswärmetransfers oder des Lüftungswärmetransfers handelt. Für ein Element k des Transmissionswärmetransfers ist die Temperatur an der einen Seite des Elementes  $\theta_{e,k}$  und für ein Element k des Lüftungswärmetransfers ist die Temperatur der Zuluft  $\theta_{a,sup,k}$  heranzuziehen.

Mit den angeführten Gleichungen ist eine Iteration zur Bestimmung des Heizwärme- und Kühlbedarfs durchzuführen. Dabei soll nach [ISO07] folgendermaßen vorgegangen werden.

Zu Beginn ist anzunehmen, dass die tatsächliche Temperatur in jeder Zone den Solltemperaturen für das Heizen und Kühlen entspricht. Danach ist der Heizwärme- und Kühlbedarf für jede Zone zu berechnen, dabei soll der Transmissionsaustausch und der Anteil der Lüftung nach den angegebenen Formeln zwischen den Zonen berücksichtigt werden. Die tatsächliche mittlere Temperatur jeder Zone ist mit dem Heizwärme- und Kühlbedarf zu berechnen. Weicht die tatsächliche Temperatur um mehr als das annehmbare Mindestkriterium ab (z.B. 0.30 °C), sind der Heizwärme- und der Kühlbedarf für jede Zone nochmals zu berechnen und die tatsächlichen mittleren Temperaturen sind abermals zu kontrollieren. Das wird solange wiederholt bis sich die gewünschte Abweichung ergibt, dann ist die Iteration abgeschlossen.

## 5 Thermische Gebäudesimulation

Die thermische Gebäudesimulation ist nun schon seit einigen Jahrzehnten das gebräuchlichste Instrument, um Gebäude zu modellieren und rechnerisch abzubilden. Die Modellierung von realen Gebäuden bedingt einige Vereinfachungen, besonders mathematische, und somit verschiedene Modellansätze für die Lösung der zu bestimmenden Parameter. Grundsätzlich wird ein thermisches Gebäudemodell in Teilmodelle zerlegt für die hinreichend genaue Lösungen bekannt sind und danach werden die Teilmodelle wieder miteinander verknüpft. Die Publikation [THE94] von Dr.-Ing. Wolfgang Feist beschäftigt sich mit den unterschiedlichen Modellansätzen, die für die thermische Gebäudesimulation herangezogen werden, dabei sind folgende abzubildende Teilmodelle angegeben:

- die instationäre Wärmeleitung (Fourier-Gleichung)
- die Strömung von Luft im Raum (Navier-Stokes-Gleichungen)
- den Strahlungsaustausch zwischen Bauteilen (Plancksches Gesetz)
- die Reflexion, Transmission und Adsorption von Solarstrahlung
- die Regelung der Heizung
- die Wärmequellen im Raum
- Infiltration und Ventilation

Auf die Teilmodelle wird in diesem Kapitel eingegangen und es wird beschrieben welche unterschiedlichen Lösungsansätze bekannt sind. Doch zuerst wird noch auf das in den folgenden Kapiteln verwendete Simulationsprogramm eingegangen. In der vorliegenden Arbeit wird für die thermische Gebäudesimulation das Programm buildopt verwendet.

### 5.1 Simulationsprogramm - buildopt

Das Simulationsprogramm, das für die Berechnungen des Heizwärmebedarfs, des Kühlbedarfs und der Raumtemperaturen herangezogen wurde, ist „buildopt“. Dieses Simulationsprogramm wurde am Zentrum für Bauphysik und Bauakustik an der Technischen Universität Wien entwickelt. Das verwendete Simulationsprogramm wurde mit Daten des Annex 41 [IEA08] validiert. Es wurde für alle in dieser Arbeit angeführten Simulationsrechnungen verwendet.

Eine thermische Validierung des Programms mit den analytischen Lösungen der Wärmeleitungsgleichung für ein Einraummodell, im Anhang 1 dieser Arbeit, wurde durchgeführt. Eine weitere Validierung für ein Zweiraummodell mit der Übertragungsmatrix wurde angestellt. Die Lösung mit der Übertragungsmatrix ist im Anhang 2 dieser Arbeit vorzufinden, im Kapitel 7 ist die Validierung an einem Zweiraummodell vorgenommen worden.

## 5.2 Die Teilmodelle für die thermische Gebäudesimulation

### 5.2.1 Die Fouriersche Wärmeleitungsgleichung

Die Wärmeleitungsgleichung beschreibt das zeitliche Verhalten eines Temperaturfeldes in einem bestimmten Gebiet. In der allgemeinen Form hat die Wärmeleitungsgleichung folgende Gestalt.

$$\rho \cdot c \cdot \frac{\partial T}{\partial t} - \dot{q} = \operatorname{div}(\lambda \operatorname{grad} T)$$

$\rho$	Dichte des Mediums für alle drei Raumrichtungen
$c$	spezifische Wärmespeicherfähigkeit des Mediums für alle drei Raumrichtungen
$T$	Temperaturfeld
$t$	Zeit
$\lambda$	Wärmeleitfähigkeit für alle drei Raumrichtungen
$-\lambda \operatorname{grad} T$	Vektorfeld der Transmissionswärmestromdichte

Durch die Festlegung bestimmter Randbedingungen an den Grenzen des Gebietes und durch eine vorgegebene Anfangstemperaturverteilung wird das Wärmeleitungsproblem eindeutig bestimmt. Allgemeine Lösungen für die Fouriersche Differentialgleichung existieren nur solange das Gebiet bestimmten Bedingungen am Rand genügt. Geschlossen analytisch lösbar ist die Gleichung nur für Gebiete von hoher Symmetrie und bei einfachen Randbedingungen und Anfangswerten, deshalb wurden zur Näherungslösung zahlreiche Approximationsverfahren entwickelt. Zur Anwendung kommen dabei Methoden, die auf Reihenentwicklung des Anfangswertproblems nach Eigenfunktionen des Laplaceoperators beruhen. Für die praktische Anwendung allerdings, wie sie die Bauphysik erfordert, werden numerische Lösungen der Wärmeleitungsgleichung herangezogen.

Bei der numerischen Lösung sind zwei Ansätze weit verbreitet:

- Differenzenverfahren
- Verfahren mit finiten Elementen

Die Lösung der Wärmeleitungsgleichung wird für die praktische Anwendung der thermischen Gebäudesimulation für einzelne Bauteile formuliert. Die umfassende Lösung für ein ganzes Gebäude würde eine sehr hohe räumliche und zeitliche Diskretisierung erfordern und gleichzeitig zu langen Rechenzeiten und großem Datenvolumen führen. Deshalb wird ein Gebäude zuerst in einzelne Bauteile zerlegt und zum Schluss zu einem Gesamtmodell zusammengesetzt. Der Vorteil dabei ist, dass die einzelnen Bauteile eine einfache Geometrie, deutlich kleinere Abmessungen einer Ausdehnungsrichtung, aufweisen. Auch die Homogenität der Bauteile trägt bei der thermischen Gebäudesimulation und der Lösung der Wärmeleitungsgleichung zur Vereinfachung bei. Der Bauteil Wand, kann als Paket von unendlich ausgedehnten Ebenen beschrieben werden, deren Eigenschaften sich nur normal zur Ebene ändern, [THE94]. Für ein solches Bauteil kann die Wärmeleitungsgleichung als eindimensionales, dynamisches Problem betrachtet werden. Die räumliche Diskretisierung beschränkt sich dabei auf die einzelnen Schichten der Wand. Das eindimensionale Problem der Wärmeleitung ist mathematisch viel leichter lösbar und der Rechenaufwand wird überschaubar.

Die eindimensionale dynamische Wärmeleitungsgleichung hat folgende Form.

$$\rho \cdot c \cdot \frac{\partial T}{\partial t} = -\frac{\partial}{\partial x} \left( -\lambda \frac{\partial T}{\partial x} \right)$$

$\rho$	Dichte des Baustoffs
$c$	spezifische Wärmespeicherfähigkeit des Baustoffs
$T$	Temperatur in senkrechter Wandrichtung
$t$	Zeit
$x$	senkrechte Richtung zur Wandoberfläche

Die analytische Lösung der eindimensionalen Betrachtung für einen Raum ist im Anhang 1 dieser Arbeit zu finden. Auch in dem Werk [THE94] ist eine exakte Lösung der Gleichung angegeben.

Diese exakten Lösungen der Wärmeleitungsgleichung eignen sich nicht für den direkten Einsatz in einem Programm für thermische Gebäudesimulation. Bestimmte Randbedingungen und Vereinfachungen, die zur Lösung herangezogen wurden, sind

für die Beschreibung des thermischen Verhaltens eines Raumes oder eines Gebäudes nicht geeignet. Folgende Punkte sind nicht erfüllt [THE94]:

- Die Voraussetzung konstanter, temperaturunabhängiger Werte für die Wärmeübergangszahlen kann für die Behandlung des Wärmetransports im Raum nicht aufrechterhalten werden. Die Wärmeübergangskoeffizienten sind vielmehr in einen radiativen und konvektiven Anteil zu trennen und sind damit temperaturabhängig. Damit entfällt aber die Linearität der Wärmeleitungsgleichung, die jedoch für das Superpositionsprinzip entscheidend ist.
- Die Voraussetzung, dass die inneren und äußeren Randbedingungen des Problems als Funktion  $T_a(t)$  und  $T_i(t)$  vorgegeben sind, ist im Raum nicht gültig.  $T_i(t)$  hängt vielmehr selbst von der Lösung des einzelnen Wandmodells ab. Die Wandprobleme können somit nicht einzeln und unabhängig gelöst werden, sondern sind als Gesamtproblem des ganzen Hauses gekoppelt zu lösen.
- Im Raum gelten im Allgemeinen Regelbedingungen mit einem halbseitigen Regler, z.B. der Heizung. Daher kann sich die Randbedingung des Problems in Abhängigkeit von der aktuellen Raumlufthtemperatur an nicht vorher bestimmten Zeitpunkten ändern. Der Übergang vom Zustand Heizen zum Zustand freie Randbedingung, obwohl sich die Raumlufthtemperatur ohne Heizung frei einstellt [THE94].

Die beiden Verfahren zur numerischen Lösung der Wärmeleitungsgleichung, das Differenzenverfahren und das Verfahren mit finiten Elementen, unterscheiden sich folgendermaßen.

Beim Differenzenverfahren werden die Differentialquotienten der Wärmeleitungsgleichung durch Differenzenquotienten ersetzt, damit aus der Differentialgleichung eine Differenzgleichung entsteht, die auf einem Gitter mit endlich vielen Punkten eingeschränkt wird.

Bei dem Verfahren mit finiten Elementen wird das Definitionsgebiet in endlich viele Teilgebiete aufgeteilt. Für jedes Teilgebiet wird ein vereinfachter, parametrisierter Ansatz erstellt und für das jeweilige Teilgebiet und den darauf definierten Funktionen der Begriff finites Element verwendet.

Für Simulationsprogramme kommen beide Verfahren zum Einsatz, doch die exakte Lösung wird dabei manchmal zur Überprüfung der Richtigkeit des programmierten Rechenalgorithmus verwendet.

An dieser Stelle müssen noch zwei Punkte erwähnt werden. Das Aufstellen von Beukenmodellen für Wandaufbauten und die Betrachtung von mehrdimensionalen Problemen an Kreuzungspunkten von Bauteilen, also die Betrachtung von Wärmebrücken. Die erforderlichen sechs Schritte zur Bildung von Beukenmodellen sind in [THE94] angeführt, sowie die stationäre Näherung von Wärmebrücken. Die Beukenmodelllösung beschreibt die elektrischen Spannungen eines Netzwerks, die in Analogie für Temperaturen herangezogen werden können. Zu den Wärmebrücken muss noch erwähnt werden, dass diese punktuellen Problemstellungen bei hocheffizienten Gebäuden mit niedrigem Energieverbrauch einen entscheidenden Einfluss auf den Heizwärme- und Kühlbedarf haben.

### **5.2.2 Konvektiver Wärmeübergang an Oberflächen im Raum**

Die Lösung der partiellen Differentialgleichungen für die Fluidbewegung im Raum ist z.B. durch die Navier-Stokes-Gleichungen gegeben. Auch das Heranziehen der Ähnlichkeitstheorie des Wärmeübergangs kommt für den konvektiven Wärmeübergang zur Anwendung. In der Literatur werden oftmals Formeln angegeben, die sich aus der Ähnlichkeitstheorie ableiten und mit experimentellen Methoden überprüft wurden.

Grundsätzlich wird im Raum von freier Konvektion ausgegangen und für den Oberflächenübergang von vertikalen, ebenen Wänden ist in der Literatur die Nusselt-Zahl angegeben. Folgende Formelansätze sind dabei zu finden.

$$\text{Nu}_h = C \cdot \text{Ra}_h^n$$

$\text{Nu}_h$  Nusselt-Zahl

$\text{Ra}_h$  Rayleigh-Zahl

$\text{Gr}_h$  Grashof-Zahl

$\text{Pr}$  Prandtl-Zahl

Die vier Größen die Nusselt-Zahl, die Rayleigh-Zahl, die Grashof-Zahl und die Prandtl-Zahl sind die dimensionslosen Kennzahlen der Ähnlichkeitstheorie. Sie sind folgendermaßen definiert. Die Definitionen sind aus [THE94] entnommen.

$$\text{Nu}_h = \frac{\alpha \cdot h}{\lambda}$$

$\alpha$  Wärmeübergangszahl

$h$  Höhe der Ebene

$\lambda$  Wärmeleitfähigkeit

$$\text{Ra}_h = \text{Gr}_h \cdot \text{Pr}$$

Die Rayleigh-Zahl setzt sich zusammen aus der Grashof-Zahl und der Prandtl-Zahl, die beiden Parameter unterliegen folgenden Definitionen.

$$\text{Gr}_h = \frac{1}{\mu^2} \cdot g \cdot \rho^2 \cdot \beta \cdot \Delta T \cdot h^3$$

$\mu$  dynamische Viskosität

$g$  Erdbeschleunigung

$\rho$  Dichte des Materials

$\beta$  Temperaturexpansionskoeffizient

$\Delta T$  Temperaturdifferenz

$h$  Höhe der Ebene

$$\text{Pr} = \frac{v}{a} = \frac{c_p \cdot \mu}{\lambda}$$

$v$  kinematische Viskosität

$a$  Temperaturleitfähigkeit

$c_p$  spezifische Wärme bei konstantem Druck

$\mu$  die dynamische Viskosität

$\lambda$  die Wärmeleitfähigkeit

Für die Nusselt-Zahl sind des Weiteren noch die Konstante C und der Exponent n notwendig. Für diese beiden Komponenten finden sich in der Literatur unterschiedliche Werte, die von dem Charakter der Strömung abhängen.

Setzt man nun die angegebenen Beziehungen in die Gleichung für die Nusselt-Zahl ein, ergeben sich für den konvektiven Wärmeübergangskoeffizienten folgende Beziehungen.

$$\alpha_{\text{kon}} = \frac{\lambda}{h} \cdot C \cdot \left[ \frac{1}{\mu^2} \cdot g \cdot \rho^2 \cdot \beta \cdot \Delta T \cdot h^3 \cdot \frac{c_p \cdot \mu}{\lambda} \right]^n$$

Für den Parameter C und den Exponenten n gibt es in der Literatur unterschiedliche Angaben. Abhängig davon ob es sich um einen reinen Wärmeleitungsübergang oder einen laminaren beziehungsweise einen turbulenten Übergang handelt, schwankt der Wert C von 0.135 bis 0.5 und der Wert n von 0 bis 0.333.

### 5.2.3 Langwelliger Strahlungsaustausch im Raum

Die langwellige Strahlung, die ein Körper infolge von Temperaturschwankungen an die Umgebung abgibt, ist im Grunde eine elektromagnetische Strahlung. Sie ist nur von der Größe und Beschaffenheit der Körperoberfläche und von der Temperatur abhängig. Dabei kommen der Energieerhaltungssatz und das Plancksche Strahlungsgesetz zur Anwendung. Dem Temperaturstrahlungsaustausch in den Räumen eines Gebäudes wird also das Strahlungsgesetz von Max Planck zu Grunde gelegt. Dabei wird von folgenden Voraussetzungen ausgegangen [THE94].

- alle Oberflächen im Raumtemperaturbereich werden als graue Körper behandelt und die Abstrahlung erfolgt dabei diffus
- die von der auffallenden Strahlung reflektierten Anteile verteilen sich nach dem Kosinusgesetz auf die Raumwinkel

Das Vorliegen von diffusen Reflexionen ist bei spiegelnden Oberflächen nicht mehr gegeben, der Reflexionskoeffizient wird also mit Hilfe des Kosinusgesetzes berechnet. Die Temperaturabhängigkeit des radiativen Wärmeübergangskoeffizienten wird mit dem Stefan-Boltzmann Gesetz berücksichtigt.

Für die Approximation des langwelligen Strahlungswärmeaustausches im Raum sind in [THE94] ein Einstern- und ein Zweisternmodell angegeben. Die thermische Modellierung der Fenster kann durch die Beschreibung des konvektiven Wärmeübergangs und dem langwelligen Strahlungsaustausch zwischen zwei Scheiben erfolgen, dabei bedient man sich der Formel von McGregor und Emery. In dieser Formel wird auf die bereits beschriebenen Größen die Nusselt-Zahl, die Rayleigh-Zahl, die Grashof-Zahl und die Prandtl-Zahl zurückgegriffen.

#### **5.2.4 Kurzwellige Strahlung – Absorption im Raum und Verschattung**

Der langwellige Strahlungsaustausch durch Fenster ist nicht der einzige zu berücksichtigende Faktor bei der Gebäudemodellierung. Der kurzwellige Strahlungsdurchgang mittels direkter, diffuser und reflektierter Sonnenstrahlung durch Fenster ist zusätzlich zu modellieren.

Es wird für jede Scheibe eines Scheibenstapels von Fenstern die Absorption der Strahlung, sowie die Transmission, in Abhängigkeit des Einfallswinkels der direkten und diffusen Strahlung nach dem Algorithmus, der in dem Report der Universität Lund [STR73] beschrieben ist, modelliert, und es werden alle Vielfachreflexionen exakt summiert. In [THE94] ist eine Überprüfung der angegebenen Formeln für den kurwelligen Strahlungsaustausch in dem Kapitel 7 angeführt.

Der Transmissionsgrad schwankt in Abhängigkeit der Scheibenanzahl und des Einfallswinkels zwischen Null und über 80 Prozent. Die Verschmutzung der Fenster wird pauschal mit fünf Prozent zusätzlicher Absorption auf der Außenoberfläche berücksichtigt.

Die Verschattung der kurzwelligen Strahlung wird getrennt für die direkte Sonnenstrahlung, für die diffuse Sonnenstrahlung und für die Reflexion von Sonnenstrahlung durch schattengebende Körper behandelt.

In der Arbeit Shadowing of Direct Solar Radiation [SHA86] wird eine exakte Lösung der Verschattung der direkten Sonnenstrahlung angegeben.

Für die Verschattung der diffusen Sonnenstrahlung wird von einer isotropen Verteilung eben dieser diffusen Strahlung im Halbraum ausgegangen. Lösungsansätze für die Betrachtung dieses Problems sind in [THE94] angeführt.

Für die Reflexion von Strahlung durch schattengebende Körper gestaltet sich die exakte Lösung schwierig. Dabei wird oftmals auf vereinfachte Ansätze, wie in [THE94] angeführt zurückgegriffen.

### 5.2.5 Lüftungswärmeverluste

Die Lüftungswärmeverluste in einem Raum können durch natürliche Belüftung, die gewollt oder nicht gewollt sein kann, durch ein natürliches Lüftungskonzept oder durch eine mechanische Lüftungsanlage entstehen.

Der Lüftungswärmeverlust ist im Wesentlichen mit drei Gesetzen beschreibbar:

- Das Gesetz der Massenerhaltung
- Die Navier-Stokes-Bewegungsgleichungen
- Die Energiegleichung

Für die theoretische Betrachtung des Luftaustausches eines Gebäudes mit der Außenumgebung muss man also folgende partielle Differentialgleichungen heranziehen.

Das Gesetz für der Massenerhaltung:

$$\operatorname{div}(\rho \nabla) + \frac{\partial \rho}{\partial t} = 0$$

Die Navier-Stokes Bewegungsgleichung (für eine Raumrichtung):

$$\frac{\partial v_x}{\partial t} + \nabla \cdot \operatorname{grad} v_x = - \frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial p}{\partial x} - g_x + \frac{\mu}{\rho} \cdot \operatorname{div}(\operatorname{grad} v_x)$$

Die Energiegleichung:

$$\rho \cdot c \cdot \left( \frac{\partial T}{\partial t} + \nabla \operatorname{grad} T \right) = \operatorname{div}(\lambda \operatorname{grad} T) + \frac{dp}{dt} + \mu R(\nabla)$$

Grundsätzlich wirken als Antriebskräfte entweder der Winddruck, der thermische Auftrieb oder mechanische Kräfte durch eine Lüftungsanlage. Diese drei Antriebskräfte können natürlich auch in Kombination wirksam werden.

Für die Betrachtung des Luftaustausches im Inneren von Gebäuden werden folgende spezifische Begriffe verwendet:

- Kalte Außenluft (Luft der freien Umgebung)
- Frischluft (Luft der freien Umgebung, die durch den Einlass einer raumluftechnischen Anlage eintritt)
- Zuluft (Luft, die einem Raum durch eine raumluftechnische Anlage zugeführt wird)
- Abluft (Luft, die aus einem Raum durch eine raumluftechnische Anlage abgeführt wird)
- Fortluft (Luft, die aus dem Auslass einer raumluftechnischen Anlage ins Freie abgegeben wird)
- Infiltration (Luft, die durch Fugen von außerhalb der thermischen Hülle, also aus der freien Umgebung des Gebäudes in einen Raum eintritt)
- Exfiltration (Luft, die durch Fugen aus der thermischen Hülle austritt)
- Außenluft (Luft, die ohne Umweg von der freien Umgebung in einem Raum eintritt)

Lösungsansätze für ein Mehrzonenmodell für die Druckverteilung und die Luftdurchströmung von Gebäuden sind in [THE94] im Kapitel 8 angegeben.

### **5.2.6 Der Wärmeübergang an Außenoberflächen**

An den Außenoberflächen treten wieder zwei Wärmeübergangsvorgänge auf, zum Einen der äußere, konvektive Übergang und zum Anderen der langwellige Strahlungsaustausch an den Außenoberflächen.

Der äußere, konvektive Wärmeübergang an der Außenoberfläche eines Bauteils wird von einigen Faktoren beeinflusst. Das Windgeschwindigkeitsfeld beeinflusst nach Betrag und Richtung die Konvektion des Wärmeübergangs, die Beschaffenheit der Bauteiloberfläche, die Temperaturdifferenz zwischen Umgebungstemperatur, die Bauteiloberflächentemperatur und die Feuchtigkeit der Außenluft.

Im Inneren eines Raumes kann von freier Konvektion ausgegangen werden, bei den Außenoberflächen der Bauteile ist diese Vereinfachung nicht mehr haltbar. Die Komplexität dieses Problems führt dazu, dass in der thermischen Gebäudesimulation exakte Lösungen für den Wärmeübergang an Außenoberflächen nicht zur Anwendung kommen. Es haben sich vielmehr empirische Formeln für den äußeren, konvektiven

Wärmeübergang in Abhängigkeit der Windgeschwindigkeit durchgesetzt. In [THE94] sind unterschiedliche Lösungsansätze in dem Kapitel 9 angeführt.

Für den langwelligen Strahlungsaustausch an den Außenoberflächen der Gebäudehülle fehlen auch exakte Lösungen. Besonders die atmosphärische Gegenstrahlung kann nur empirisch gelöst werden und Angaben dafür sind in [THE94] zu finden.

### **5.2.7 Interne Wärmequellen**

Da der Energieverbrauch für das Heizen und Kühlen von Gebäuden immer geringer wird und die thermische Güte der Außenbauteile steigt, werden die inneren Wärmeeinträge immer entscheidender für die Berechnung des Energiebedarfs. Ganz allgemein können Energieumsätze in Wohngebäuden wie folgt zusammengefasst werden:

- Wärmeeinträge von Personen
- Wärmeeinträge von elektrisch versorgten Systemen oder Geräten (z.B. Beleuchtung)
- Wärmeeinträge durch Brennstellen
- Wärmeeinträge durch Warmwasserverteilsystemen
- Wärmeeinträge aus der Nutzung von Warmwasser
- Wärmeeinträge von Heizungsleitungen
- Wärmeeinträge von Speichern für Warmwasser und Raumheizung

Parallel dazu treten aber auch Wärmesenken in Wohnnutzungen auf und zwar zum Beispiel durch sich erwärmendes Kaltwasser oder durch die Verdunstung von Wasser, [THE94].

Für die internen Wärmeeinträge sind zwei Punkte zu betrachten, zum Einen der Einfluss der unterschiedlichen Wärmetransportmechanismen bei der Abgabe der internen Wärme und zum Anderen der zeitliche Verlauf der internen Wärmeeinträge.

Für die Wärmetransportmechanismen bei der Abgabe kommen Luftknotenmodelle zum Einsatz, dabei werden die internen Wärmequellen als eingepprägter Wärmestrom an einem Raumlufknoten angesehen. Die Wärmezufuhr für den Raumknoten wird so betrachtet, als wäre die Luft bereits erwärmt. Der konvektive Übergang und der Strahlungsaustausch mit den übrigen Raumboberflächen sind dabei zu beachten.

Der zeitliche Verlauf der internen Wärmeeinträge ist nicht vollständig abbildbar oder genauer formuliert, die exakte Abbildung des zeitlichen Verlaufes wäre zu aufwendig. Bei der thermischen Gebäudesimulation wird der periodische Ansatz der internen Wärmeeinträge gewählt. Allerdings ist zu erwähnen, dass für Wohnnutzungen der sich wiederholende Wärmeeintrag eher gegeben ist als bei komplexeren Nutzungen, man denke an ein Amtsgebäude oder einen Gewerbebetrieb mit unterschiedlichsten Belegungen, hier ist der periodische Ansatz kritisch zu betrachten.

### **5.2.8 Einfluss des Heizsystems**

Bei den meisten Simulationsprogrammen wird das Heizsystem nicht exakt abgebildet, vielmehr wird von idealen Heizsystemen ausgegangen. Die genaue Abbildung des Heizsystems würde den Aufwand für die Berechnung des Heizwärmebedarfs erheblich erhöhen. Der Begriff der idealen Heizung ist in [THE94] folgendermaßen definiert:

- Die Solltemperaturen in den Raumlufknoten der Räume werden nach einem frei definierten Zeitprogramm vorgegeben.
- Das Raumgleichungssystem wird für jeden Zeitschritt nach der notwendigen Energiezufuhr im Raumlufknoten und nach den Temperaturen in allen übrigen Knoten aufgelöst.
- Ergeben sich positive Werte für die Energiezufuhr, so ist die von einem idealen Heizsystem zuzuführende Wärme um gerade die Raumlufknotentemperatur aufrecht zu erhalten. Ergeben sich negative Werte oder Null, so ist die Raumluftheizleistung Null und der Modellfall „freies Modell“ liegt vor.

Es wird also bei den meisten Programmen zur thermischen Gebäudesimulation von einer vollkommen, ideal gesteuerten Heizung ausgegangen. Modellierungsansätze für ideale Konvektorheizungen, ideale Flächenradiatoren und Fußbodenheizungen sind in [THE94] angegeben.

### **5.2.9 Klimadaten**

In der Publikation [THE94] wurden sechs Klimadatenansätze untersucht. Die Abweichungen die dabei für einen Standort in Deutschland angegeben sind, waren sehr gering. Für die meisten Simulationsmodelle werden Klimadatenansätze nach Testreferenzjahren herangezogen. In der vorliegenden Arbeit wurde der IWEC-Wetterdatensatz für die untersuchten Standorte verwendet. Die IWEC-

Wetterdatensätze werden von der Energiebehörde der Vereinigten Staaten von Amerika (U.S. Department of energy – Energy efficiency and renewable energy) kostenlos zur Verfügung gestellt.

## 6 Untersuchungen des Bilanzverfahrens für den Heizwärme- und Kühlbedarf

### 6.1 Einleitung

Seit dem die Gebäuderichtlinie „Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden“ (Richtlinie 2002/91/EG des Europäischen Parlamentes und Rates) in Österreich umgesetzt wurde, gibt es den sogenannten „Energieausweis“. In diesem Zertifikat für Gebäude werden der Heizwärme- und Kühlbedarf für Wohn- und Nichtwohngebäude ausgewiesen. Seit dem 01. August 2007 ist in der ÖNORM 8110 Teil 6 [OEN07\_02] festgehalten, wie der Heizwärme- und Kühlbedarf für ein Gebäude über ein Jahr zu bilanzieren ist.

In der ÖNORM 8110 Teil 6 ist, das Berechnungsverfahren für den Heizwärme- und Kühlbedarf aus der EN ISO 13790 [ISO07] herangezogen worden. Dieses Verfahren stellt den derzeitigen europäischen Standard dar. In der [ISO07] ist eine Validierungsberechnung des Monatsbilanzverfahrens, beziehungsweise des Ausnutzungsgradverfahrens, angeführt, und im Folgenden wird nun auf bereits angestellte Untersuchungen dieses Verfahrens eingegangen.

Auf internationaler Ebene wurde im Zuge der Entstehung der [ISO07] eine Validierung des Monatsbilanzverfahrens durchgeführt. Als die „The European Energy Performance in Building Directive (EPBD)“ im Jahre 2002 innerhalb der Europäischen Union beschlossen wurde, sind Untersuchungen im Hinblick auf die Genauigkeit des Monatsbilanzierungsverfahrens durchgeführt worden. In der [ISO07] sind Validierungsrechnungen für Paris, Rom und Stockholm angeführt.

Doch woher kommt dieses Monatsbilanzverfahren mit der Verwendung eines Ausnutzungsgrades? Dieses Kapitel befasst sich mit der Quantifizierung des Solar-Ausnutzungsgrades zur Berechnung des Heizenergiebedarfs nach [AUS92].

Prof. Bruno Keller hat in seinem Werk „Klimagerechtes Bauen“ [KEL97], Kapitel 9.1, Bezug auf die Energieberechnungs- und Wärmeschutznormen EN 832 und SIA 380/1 (Schweizer Norm) genommen. Dabei wurde in [Kel97] Folgendes festgehalten.

„Diese beiden Normen werden deshalb zusammen besprochen, weil die EN 832 faktisch aus der SIA 380/1 hervorgegangen ist und im Wesentlichen eine

vervollständigte und vertiefte Fassung derselben darstellt. Aus dem gleichen Grund kann man sich deshalb auf einen Kommentar zur EN 832 beschränken.

Die EN berechnet, meist auf Monatsbasis, die Verlustenergien und die Gewinnenergien (Sonne und innere Quellen) und bildet daraus einen Quotienten:

$$\gamma = \frac{Q_{\text{Gewinn}}}{Q_{\text{Verlust}}}$$

Aus diesem Gewinn-zu-Verlustquotienten wird ein reduzierter Nutzungsfaktor  $\eta$  für die Gewinne abgeleitet, mit welchem diese gegen die Verluste verrechnet werden. Die funktionale Abhängigkeit des Ausnutzungsgrades  $\eta_{(\gamma)}$  wird durch eine Zeitkonstante des betreffenden Raumes bestimmt. Der Zusammenhang wird zwar als analytische Näherungsgleichung angegeben, ist aber nirgends hergeleitet und es sind keine diesbezüglichen Literaturangaben vorhanden. Der Hinweis, dass die PASSYS-Gruppe dies mit dem Programm ESP gerechnet habe ist wissenschaftlich gesehen nach Ansicht des Autors wertlos.“ [Kel97]

Im Jahre 2002 kam es zu einer Validierungsberechnung des Ausnutzungsgradverfahrens, wobei die mathematische Ableitung des Verfahrens fehlt. Wie viele andere Näherungsberechnungen ist die Formel empirisch gefunden worden. Grundsätzlich stellt dies, auch im Blickwinkel der Wissenschaft, kein Problem dar, solange klar abgesteckt ist, in welchen Bereichen das Verfahren ohne Bedenken angewendet werden kann.

## **6.2 Quantifizierung des Solar-Ausnutzungsgrades nach Jan Radon und Hans Werner**

Die folgenden Überlegungen wurden von Jan Radon und Hans Werner angestellt und im Jahre 1992 als „Quantifizierung des Solar-Ausnutzungsgrades zur Berechnung des Heizenergiebedarfs von Gebäuden“ [AUS92] veröffentlicht.

### **6.2.1 Definition des Ausnutzungsgrades**

Der Ausnutzungsgrad beschreibt den Anteil der solaren Energie und der internen Wärmequellen für die Wärmebilanz eines Gebäudes.

Die Wärmebilanz eines Gebäudes kann wie folgt angeschrieben werden:

$$\dot{Q}_H(t) + \dot{Q}_S(t) + \dot{Q}_i(t) - \dot{Q}_B(t) - \dot{Q}_L(t) = 0 \text{ in Watt}$$

$\dot{Q}_H(t)$  Heizleistung, die momentan zugeführt wird

$\dot{Q}_S(t)$  Solare Gewinne zum Zeitpunkt t

$\dot{Q}_i(t)$  Interne Wärmegewinne, die momentan zugeführt werden

$\dot{Q}_B(t)$  Wärmeübergang an Bauteilflächen zum Zeitpunkt t

$\dot{Q}_L(t)$  Wärmeverluste durch Luftaustausch zum Zeitpunkt t

Die momentane Heizleistung führt jedoch durch Schwankungen der Außenlufttemperaturen und der Sonneneinstrahlung dazu, dass die Raumlufthtemperatur über eine definierte Zieltemperatur des Raumes steigt. Das bedeutet, wenn ein Gebäude nur eine Heizung aufweist, kann nur verhindert werden, dass eine gewisse Raumtemperatur nicht unterschritten wird.

Nun lässt sich der momentane Heizleistungsbedarf bei einer Kontrolle der Raumlufthtemperatur wie folgt definieren.

$$\dot{Q}_H(t) = \dot{Q}_B(t) + \dot{Q}_L(t) - \eta'(t, \vartheta_i) \cdot \left[ \dot{Q}_S(t) + \dot{Q}_i(t) \right]$$

$\eta'(t, \vartheta_i)$  der momentane Ausnutzungsgrad, der den Anteil der Leistung von inneren und äußeren Energiequellen, der für die Heizung effektiv ausgenutzt wird, angibt.

Für den Ausnutzungsgrad ergibt sich aus der vorher angegebenen Überlegung folgende Bedingung.

$$\eta' = 0 \quad \text{wenn } \vartheta_i > \vartheta_{iSOLL}$$

$$0 < \eta' \leq 1 \quad \text{wenn } \vartheta_i \leq \vartheta_{iSOLL}$$

Die Solltemperatur des Raumes ist dabei  $\vartheta_{iSOLL}$ .

Damit man den Heizenergiebedarf für einen bestimmten Zeitraum erhält, muss man die Heizleistung über diesen Zeitabschnitt integrieren.

$$Q_H = Q_{B,L} - \eta \cdot Q_{S,i}$$

$Q_H$  Heizenergiebedarf für einen bestimmten Zeitraum

$Q_{B,L}$  Verluste der Transmission und der Konvektion für einen bestimmten Zeitraum

$\eta$  Ausnutzungsgrad für einen bestimmten Zeitraum

$Q_{S,i}$  solare und interne Gewinne für einen bestimmten Zeitraum

Die obere Gleichung in Worten ausgedrückt: der Heizenergiebedarf sind die Verluste durch den Wärmeübergang an Bauteiloberflächen und durch Luftaustausch weniger den mit den Ausnutzungsgrad multiplizierten solaren und internen Wärmegewinnen.

Die einzelnen Komponenten ergeben sich zu:

$$Q_H = \int_{t_1}^{t_2} \dot{Q}_H(t) dt$$

$$Q_{B,L} = \int_{t_1}^{t_2} \left[ \dot{Q}_{B,L}(t) + \dot{Q}_L(t) \right] dt$$

$$\eta \cdot Q_{S,i} = \int_{t_1}^{t_2} \eta^l(t, \vartheta_i) \left[ \dot{Q}_S(t) + \dot{Q}_i(t) \right] dt$$

$$Q_{S,i} = \int_{t_1}^{t_2} \left[ \dot{Q}_S(t) + \dot{Q}_i(t) \right] dt$$

Der Ausnutzungsgrad für den Zeitraum  $t_1$  und  $t_2$  ergibt sich aus den letzten beiden Gleichungen zu:

$$\eta = \frac{\int_{t_1}^{t_2} \eta^l(t, \vartheta_i) \left[ \dot{Q}_S(t) + \dot{Q}_i(t) \right] dt}{\int_{t_1}^{t_2} \left[ \dot{Q}_S(t) + \dot{Q}_i(t) \right] dt}$$

Diese Gleichung gilt als Definition für den Ausnutzungsgrad der Wärmegewinne. Aus praktischen Gründen ist es einfacher den Ausnutzungsgrad aus der folgenden Definition zu berechnen.

$$Q_H = Q_{B,L} - \eta \cdot Q_{S,i}$$

$$\eta = \frac{Q_{B,L} - Q_H}{Q_{S,i}}$$

Aus physikalischen Gründen liegen die Werte von  $\eta$  zwischen Null und eins. Es gilt:

$$Q_H \geq 0 \quad \text{daraus folgt} \quad \eta \leq \frac{Q_{B,L}}{Q_{S,i}}$$

Oder anders ausgedrückt

$$\eta \leq \frac{1}{G/V}$$

wobei  $G/V$  das Gewinn-/Verlustverhältnis ist.

$$G/V = \frac{Q_{S,i}}{Q_{B,L}}$$

Die Randbedingungen für den Ausnutzungsgrad ergeben sich somit zu.

$$\begin{aligned} \eta &\leq 1 && \text{für } G/V \leq 1 \\ \eta &\leq \frac{1}{G/V} && \text{für } G/V > 1 \end{aligned}$$

Ein Ausnutzungsgrad von eins würde sich dann ergeben, wenn die gesamte eingestrahlte Sonnenenergie und die Energieeinträge der internen Wärmequellen gespeichert und in Bedarfszeiten gezielt an die Raumluft abgegeben werden können. Im Realfall kann nur ein Teil dieser Energie gespeichert werden.

Das Gewinn-/Verlustverhältnis spielt eine entscheidende Rolle für die Bestimmung des Ausnutzungsgrades.

Der Ausnutzungsgrad wurde von den Autoren der Publikation [AUS92] für verschiedene Gebäudetypen berechnet, in Zeitabschnitten von einer Stunde. Das Integral von Wärmegewinnen, Wärmeverlusten und der Heizenergiebedarf wurden für

jede Stunde eines Jahres berechnet. Mit dem Gewinn- zu Verlustverhältnis wurde der Ausnutzungsgrad für jeden Zeitabschnitt ermittelt. Für die Variation der Gebäudetypen wurden charakteristische deutsche Bauarten und Bauweisen herangezogen, am Beispiel eines freistehenden Einfamilienhauses leichter, mittlerer und schwerer Bauart. Um eine Variation des Gewinn-/Verlustverhältnis zu erreichen wurde in allen drei Fällen die Dämmstärke der Außenwand von Null bis 20 cm verändert.

Die Untersuchung [AUS92] ergab, dass der Gebäudetyp den Ausnutzungsgrad als Funktion des Gewinn- zu Verlustverhältnis nur wenig beeinflusst.

Mit den erhaltenen Werten einzelner Monate für den Ausnutzungsgrad, wurde mit Hilfe der Methode kleinster Quadrate eine Regressionsfunktion gefunden.

Für den Ausnutzungsgrad ergab sich folgende regressive Funktion.

$$\eta = 1 - A \cdot e^{\left(-\frac{B}{(G/V)^c}\right)}$$

Die Parameter A, B und C hängen von der Bauart und der zulässigen Überheizung des Gebäudes ab.

Bauart	Zulässige Überheizung in Kelvin	A	B	C
leicht	0	0.951	0.705	1
	2	0.991	1.154	1
schwer	0	0.971	0.981	1
	2	0.824	1.820	2

Tabelle 6-1 – Kennwerte für leichte und schwere Bauweise

Der Verlauf des Ausnutzungsgrades nach der Regressionsfunktion stellt sich wie folgt dar.

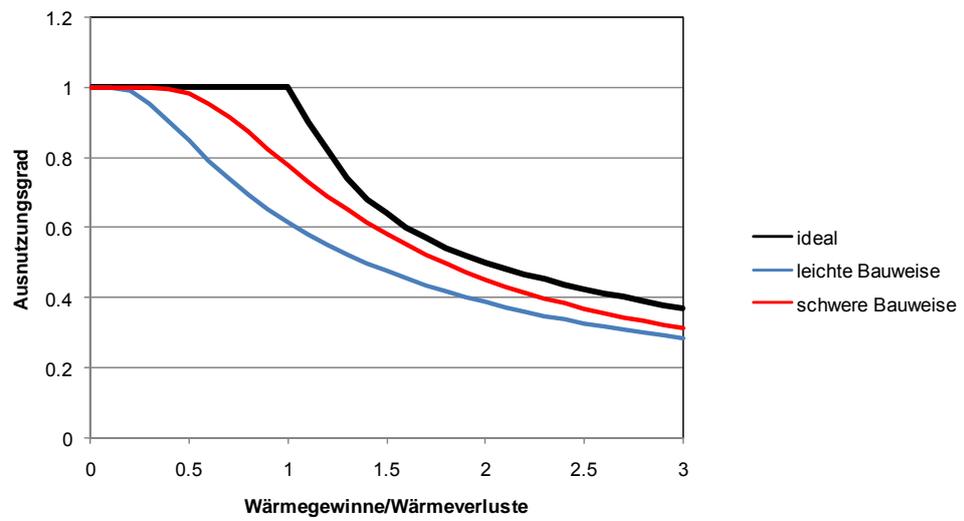


Abbildung 6-1– Verlauf des Ausnutzungsgrades

### **6.3 Untersuchung eines Quasi-stationären Verfahrens – Vereinfachte Korrelation des Ausnutzungsgrades von Corrado und Fabrizio**

In der von Vincenzo Corrado und Enrico Fabrizio veröffentlichten Arbeit [ASS06] wurde in Fallstudien untersucht, welche Korrelationen sich für die dynamischen Parameter des Bilanzverfahrens ergeben. In der Veröffentlichung weisen die beiden Autoren darauf hin, dass es direkte und indirekte Methoden zur Berechnung des Energiebedarfs von Gebäuden gibt. Sie nehmen auch Bezug auf die EU-Gebäuderichtlinie [EGL\_02] und auf das sich daraus ergebende Erfordernis, Verfahren zur Berechnung des Energiebedarfs von Gebäuden zu untersuchen. Auf den europäischen Berechnungsstandard für den Heiz- und Kühlenergiebedarf von Gebäuden, auf die EN ISO 13790 in der Ausgabe von 2005, wird hingewiesen. Und das darin drei Berechnungsmethoden angeführt werden, ein monatsbezogenes Verfahren, ein Stundenverfahren und detaillierte Simulationsmethoden.

Die Korrelation für die dynamischen Parameter wurde in der Veröffentlichung durch eine Vergleichsrechnung von einem Monatsverfahren als quasi-stationäres Verfahren, einer vereinfachten Stundenbilanzmethode und einem Simulationsprogramm festgestellt. Der Energiebedarf für das Kühlen wurde für drei verschiedene italienische Klimate für Turin, Rom und Palermo ermittelt. Als Wetterdatensätze wurden, genau wie in der vorliegenden Arbeit, die IWEC-Wetterdaten der drei benannten Städte herangezogen. Daraus wurde auf die dynamischen Parameter des monatsbezogenen Verfahrens rückgerechnet und die Korrelation abgeleitet. Die Fallstudien die dabei untersucht wurden, sind ein Testraum des European Committee of Standardization (CEN), ein Einfamilienhaus, ein Mehrfamilienhaus und ein Bürohaus. Das Simulationsprogramm zur Bestimmung der tatsächlich auftretenden Beziehungen zwischen den dynamischen Parametern ist EnergyPlus. Dieses Simulationsprogramm wurde vom Energieinstitut der Vereinigten Staaten von Amerika im Jahr 2001 entwickelt.

Die Aussagen der Untersuchung sind, dass bevor man die Korrelationen zwischen den dynamischen Parametern für ein Berechnungsverfahren wählt, die thermischen Eigenschaften des Gebäudes und das Nutzerverhalten bekannt sein müssen. Auf die Berechnung der Wärmetransmission sollte bei vereinfachten Verfahren acht gegeben

werden. Die nichtlinearen Effekte des Wärmeübergangs an Oberflächen sollte man bei der Ermittlung der Wärmetransmission berücksichtigen.

Die wesentlichste Aussage der Arbeit ist, sofern die Korrelation der numerischen Parameter richtig abgebildet wird, kann mit quasi-stationären Verfahren der Jahresenergiebedarf richtig ermittelt werden.

## 6.4 Validierung nach EN ISO 13790

In der Arbeit von H. Van Dijk, M. Spiekman und P. De Wilde, „A monthly method for calculating energy performance in the context of european building regulations“ [AMO05], wurde das Monatsbilanzverfahren validiert. Diese Untersuchung fand dann auch Einzug in die EN ISO 13790 [ISO07] und bewirkte die folgenden Ergebnisse.

Die Validierung in dieser Veröffentlichung wurde für drei verschiedene Klimate vollzogen: für Stockholm, Paris und Rom. Als Testfälle wurden typische „Schuhkartonboxen“ herangezogen. Diese wurden mit insgesamt zwölf Variationen berechnet, darunter, ständige und periodische Heizung und Kühlung, schwere und leichte Bauart der Gebäudeboxen, hohe und niedrige Innere Wärmelasten und mit und ohne Dach. Die Berechnung des Energiebedarfs für das Heizen und Kühlen erfolgte mit einem Simulationsprogramm, mit einem vereinfachten Stundenbilanzverfahren und mit dem Monatsbilanzverfahren. Die Ergebnisse für alle Monate und die drei Klimate sind im Anhang H der EN ISO 13790 [ISO07] angeführt. Die Abweichung des Monatsbilanzverfahrens für das Heizen und Kühlen ist wie folgt angegeben:

<b>Abweichung</b> (quadratisches Mittel für acht Fälle)	<b>Paris</b>	<b>Rom</b>	<b>Stockholm</b>
Heizung	10%	3%	8%
Kühlung	6%	8%	7%

Abbildung 6-2 – Zusammenfassung der Ergebnisse auf Jahresbasis

In der Publikation [AMO05] und in der EN ISO 13790 [ISO07] sind aufgrund dieser Ergebnisse folgende Aussagen festgehalten:

In Bezug auf die Ergebnisse für Paris, Rom und Stockholm können folgende Aussagen getroffen werden:

- Wie zu erwarten, treten einige Abweichungen auf, vor Allem nahe den Grenzen der Heiz- und der Kühlperiode.
- Die Ergebnisse für das Kühlen (siehe Sommermonate) sind nicht schlechter als für das Heizen (siehe Wintermonate).
- Es liegt kein systematischer Einfluss des Klimas vor.

- Eine Feinabstimmung des Verfahrens (der Verfahren), besonders für den intermittierenden Heiz- und Kühlbetrieb, ist möglich, z. B. in erster Instanz auf nationaler Ebene; auf diese Weise werden Diskrepanzen weiter verringert. Die vorgestellten Ergebnisse wurden mit einer Entwurfsfassung des Monatsverfahrens bestimmt. Einige gewisse Feinabstimmung erfolgte bereits in Bezug auf die Berechnung der Zeitkonstante des Gebäudes, was sich in diesem Abschnitt jedoch noch nicht widerspiegelt, [ISO07].

In der vereinfachten Untersuchung des Monatsbilanzverfahrens [ANA07] wurde auch ein Modell mit Büroboxen (das 14 Zonenmodell) herangezogen. Bereits dort ergaben sich größere Abweichungen des Rechenverfahrens für den Kühlbedarf, bis zu 40 Prozent des realen Kühlbedarfs. Die Ungenauigkeit konnte auch an einem realen Bürohaus überprüft werden.

In der vorliegenden Arbeit konnten durch weitere Untersuchungen noch wesentlich größere Abweichungen des Monatsbilanzverfahrens, als derzeit in der europäischen Normung angegeben wird, festgestellt werden. Die maximale Abweichung des vereinfachten Verfahrens ist in der EN ISO 13790 [ISO07] mit zehn Prozent für das Heizen und mit acht Prozent für das Kühlen angegeben. Die Untersuchung des Büromodells, in Kapitel 9 dieser Arbeit, ergab weitaus größere Abweichungen und das Erfordernis einer Korrektur, bzw. einen Teilsicherheitsbeiwert, einzuführen.

## 7 Validierung des verwendeten Simulationsprogrammes für ein Zweiraummodell

### 7.1 Zweiraummodell

Die vereinfachte Untersuchung des Bilanzverfahrens hat gezeigt, dass Kopplungseffekte für die Genauigkeit des Verfahrens maßgebend sind. Um gekoppelte Systeme und die Auswirkung der Kopplung und deren Eigenschaften auf das Temperaturverhalten der Räume zu untersuchen, wurde die Wärmeleitungsgleichung für ein Zweiraummodell gelöst. Im Anhang 2 ist die Ableitung aus den Wärmebilanzen der beiden Räume angeführt. Zur Anwendung kommt hierbei das sogenannte Matrizenverfahren, dass zur Berechnung der Wärmekapazität von Räumen herangezogen wird.

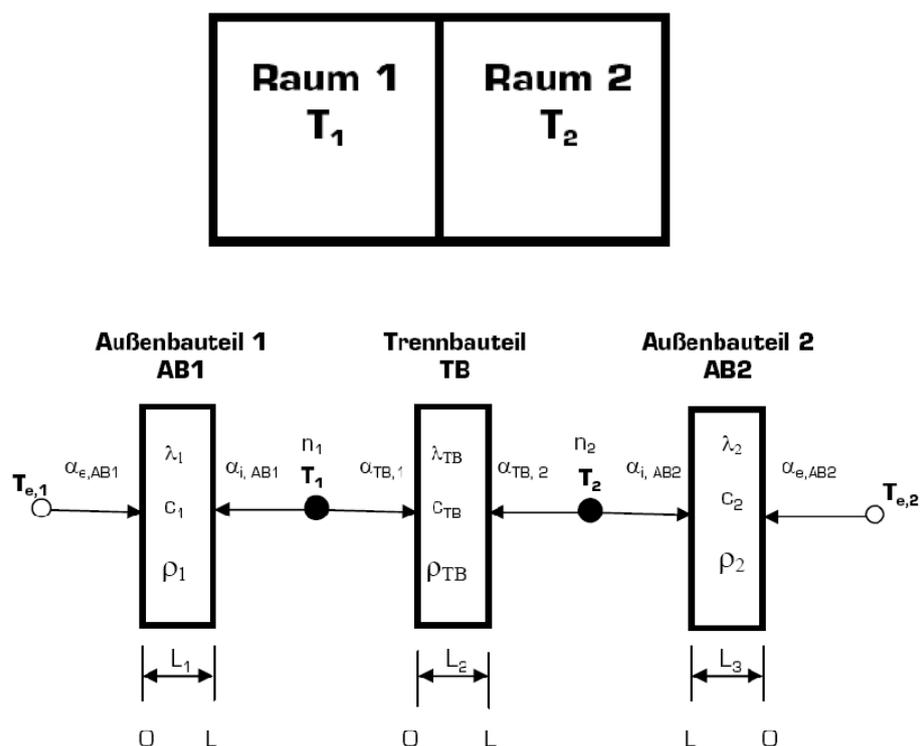


Abbildung 7-1 - Zweiraummodell

Bei dem erwähnten Matrizenverfahren werden die einzelnen Bauteile und Räume durch Wandmatrizen ausgedrückt. Die Wandmatrix  $R$  hat folgende Gestalt:

$$R = \begin{pmatrix} u & v & r & s \\ -v & u & -s & r \\ u' & v' & r' & s' \\ -v' & u' & -s' & r' \end{pmatrix}$$

Im Anhang 2 ist angeführt, wie man die reellen Komponenten der Wandmatrix berechnet und in welchen Zusammenhang sie zueinander stehen. Sind die Komponenten der Wandmatrix bekannt, kann die Matrix für jede Bauteilschicht berechnet werden. Die Berechnung von mehrschichtigen Konstruktionen erfolgt durch Multiplikation der Wandmatrizen. Für das im Folgenden angeführte Validierungsbeispiel ist es notwendig die Beziehung zwischen zwei aufeinanderfolgenden Punkten zu kennen. Dieser Zusammenhang ist ebenfalls im Anhang 2 angegeben.

## 7.2 Validierungsbeispiel für das Simulationsprogramm buildopt

Als Anwendungsbeispiel wird ein Modell mit zwei Räumen herangezogen mit einem Volumen von jeweils 36 Kubikmetern und folgender Geometrie.

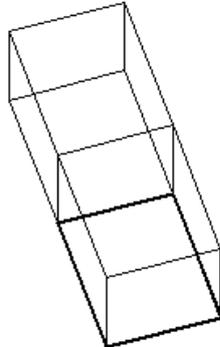


Abbildung 7-2 – Zweiraummodell mit zwei identischen Räumen

Die Breite eines Raumes beträgt drei Meter, die Länge vier Meter und die Höhe drei Meter. Das Volumen jedes Raumes ergibt somit 36 Kubikmeter.

Die gesamte Hülle besteht aus einer Betonschicht von 20 cm Dicke, die Temperatur des Außenklimas wird als Tagessinusschwingung mit einer Amplitude von zehn Kelvin angesetzt.

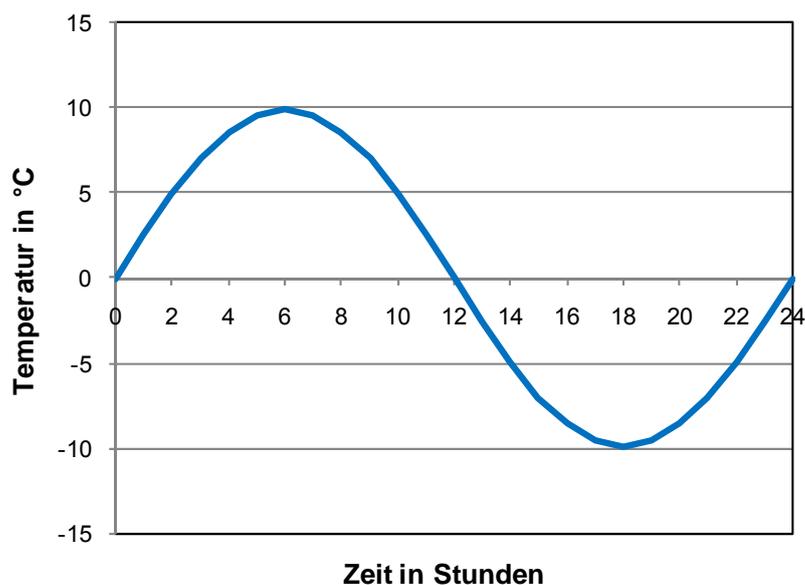


Abbildung 7-3 – Verlauf der Außentemperatur als Tagessinusschwingung

Setzt man für  $T_L$  und  $T_R$  jeweils zehn Kelvin an, so erhält man die in Abbildung 7-3 dargestellte Tagessinusschwingung.

$$T_R(t) = T_R \cdot \sin(\omega \cdot t)$$

$$T_L(t) = T_L \cdot \sin(\omega \cdot t)$$

Im vorliegenden Fall wurde die Betonschicht mit einer Wärmeleitfähigkeit von 2.30 W/(mK), der äußere Wärmeübergangswiderstand  $R_{se}$  wurde mit 0.04 m<sup>2</sup>K/W und der innere Wärmeübergangswiderstand  $R_{si}$  mit 0.125 m<sup>2</sup>K/W angesetzt.

Um die analytische Lösung zu erhalten, wurden Schichten mit der Übertragungsmatrix multipliziert.

Bezeichnung	d	$\lambda$	c	$\rho$	R
	m	W/(mK)	J/(kgK)	kg/m <sup>3</sup>	m <sup>2</sup> K/W
$R_{se}$					0.04
Betonschicht	0.20	2.30	1080.00	2000.00	0.09
$R_{si}$					0.13
$R_{si}$					0.13
Betonschicht	0.20	2.30	1080.00	2000.00	0.09
$R_{si}$					0.13
$R_{si}$					0.13
Betonschicht	0.20	2.30	1080.00	2000.00	0.09
$R_{se}$					0.04

Tabelle 7-1 - Bauteilaufbauten

Da die Innen- und Außenflächen nicht identisch sind, muss noch mit dem Verhältnis von Innen- zu Außenfläche multipliziert werden. Das bedeutet, dass die Übertragungsmatrix mit einer Matrix zur Korrektur der Fläche multipliziert wird.

$$A = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & \frac{A_i}{A_e} \end{pmatrix}$$

Danach können alle Matrixglieder berechnet werden und die Lösung, das heißt der Temperaturverlauf, ergibt sich folgendermaßen.

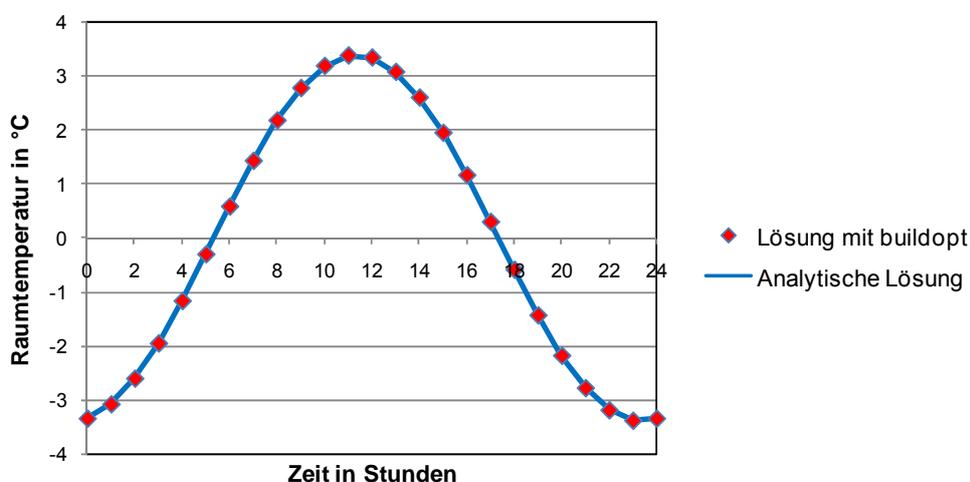


Abbildung 7-4 – Ergebnis Zweiraummodell

Die analytische Lösung, mit Hilfe der Übergangsmatrix hergeleitet, stimmt mit der Lösung des Simulationsprogramms buildopt überein. Die Konvektion blieb dabei vollständig unberücksichtigt, nur die Transmission wurde in der vorliegenden Betrachtung validiert.

In einem zweiten Durchlauf wird eine Betonschicht mit einer Wärmeleitfähigkeit von 0.1 W/(mK) angesetzt. Die Schichten stellen sich somit wie folgt dar.

Bezeichnung	d	$\lambda$	c	$\rho$	R
	m	W/(mK)	J/(kgK)	kg/m <sup>3</sup>	m <sup>2</sup> K/W
R <sub>se</sub>					0.04
Betonschicht	0.20	2.30	1080.00	2000.00	0.09
R <sub>si</sub>					0.13
R <sub>si</sub>					0.13
Betonschicht	0.20	2.30	1080.00	2000.00	0.09
R <sub>si</sub>					0.13
R <sub>si</sub>					0.13
Betonschicht	0.20	0.10	1080.00	2000.00	2.00
R <sub>se</sub>					0.04

Tabelle 7-2 – Veränderte Aufbauten mit einer dämmenden Betonschicht

Die Lösung des Temperaturverlaufs mit der analytischen Lösung und dem Simulationsprogramm ergibt sich folgendermaßen.

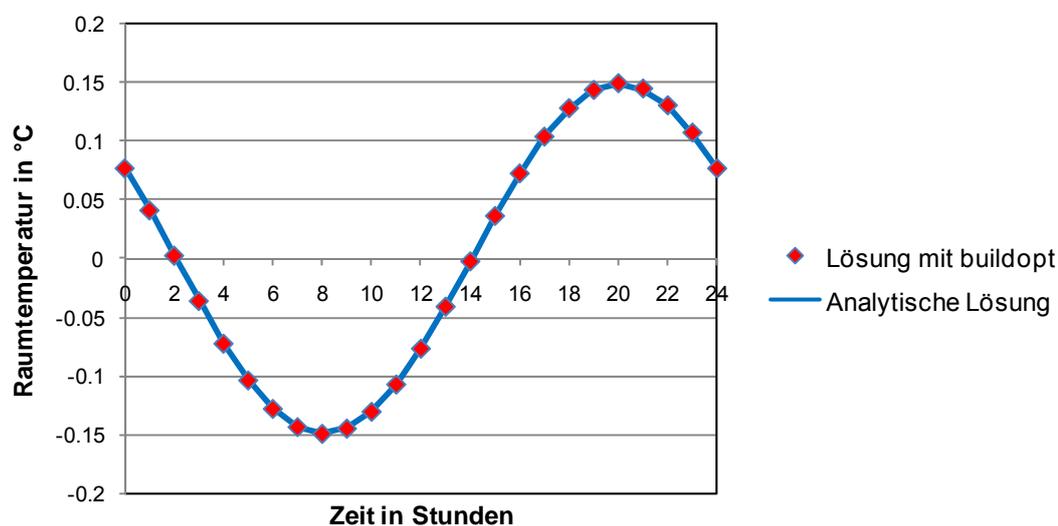


Abbildung 7-5 – Ergebnis Zweiraummodell mit veränderten Bauteilaufbauten

Die Lösung der Übertragungsmatrix und die Lösung des Simulationsprogramms buildopt stimmen in beiden Fällen überein. Gemeinsam mit der analytischen Lösung im Anhang 1 dieser Arbeit stellen die beiden Überprüfungen des Simulationsprogramms eine Validierung in thermischer Hinsicht dar.

## **8 Untersuchungen der Rechengenauigkeit des Bilanzverfahrens**

### **8.1 Einleitung**

Eine wichtige Frage bei der Analyse des Monatsbilanzverfahrens ist die Abgrenzung der Zonen. Es gibt grundsätzlich zwei verschiedene Betrachtungsweisen bei der Bilanzierung des Energiebedarfs für das Heizen und Kühlen. Entweder ein Gebäude wird als eine Zone betrachtet und die Bilanzierung wird über das ganze Gebäude einheitlich durchgeführt oder ein Gebäude wird als ein Mehrzonenmodell betrachtet, dabei werden Gebäudebereiche in der Bilanzrechnung getrennt. Trennbare Bereiche können durch verschiedene Nutzungen herbeigeführt werden, so kann man in einem Gebäude mit Büronutzung die einzelnen Bürobereiche von Sanitärbereichen und Gangbereichen trennen oder in einem Gebäude mit Wohnnutzung die Wohnbereiche von dem Treppenhausbereich. Um diese Zonierung zu verfeinern, kann ein Gebäude auch als Multizonenmodell betrachtet werden, dabei wird jeder Raum als eine Zone betrachtet.

Die Berechnung des Energiebedarfs für Heizen und Kühlen erfolgt für jede Zone separat. Es wird also nach dem Monatsbilanzverfahren für jede Zone der Energiebedarf für ein Jahr berechnet. Danach wird die Summe aus allen Zonen gebildet. Die Bilanzierung einer abgeschlossenen Zone wirft allerdings unweigerlich die Frage auf mit welcher Temperatur eine Nachbarzone in die Bilanzierung einfließt oder welchen Austausch es zwischen zwei benachbarten Zonen gibt, das bedeutet wie groß die Kopplung zwischen zwei Nachbarzonen ist. Besonders entscheidend für die Größe des Kühlbedarfs sind die Kopplungseffekte dieser Zonen. Ein natürliches Nachtlüftungskonzept, bei dem Teile des Gebäudes durch Vergrößerung des Luftaustausches durch unterschiedliches Innen- und Außentemperaturniveau in der Nacht, kann nur funktionieren, wenn die Kopplung von entlüfteten und angrenzenden Zonen gegeben ist.

Es gibt also grundsätzlich drei Unterteilungsmöglichkeiten von Gebäuden für das Bilanzverfahren:

1. Einzonenmodell
2. Mehrzonenmodell

### 3. Multizonenmodell

Diese Überlegungen wurden untersucht und die Rechenergebnisse für den Heizwärme- und Kühlbedarf der unterschiedlichen Zonierungsmodelle wurden gegenübergestellt. Dabei stellte sich heraus, dass die Einzonenbilanz Ungenauigkeiten aufweist. Meistens wird der tatsächliche Energiebedarf überschätzt, doch in manchen Fällen kommt es zur Unterschätzung des Energiebedarfs. Diese Untersuchung führte zur Bestimmung eines Korrekturfaktors für den Kühlbedarf und ist im Anhang 5 dieser Arbeit beschrieben. Diese Arbeit stellte den ersten Versuch dar, einen Korrekturfaktor für die Bestimmung des Heizwärme- und Kühlbedarfs, für Gebäude die einer Büronutzung unterliegen, zu bestimmen. Die Idee dazu lieferte die Validierungsberechnung, die in der EN ISO 13790 [ISO07] Anhang H angeführt ist. Das Ergebnis war die Korrektur über die Gebäudezeitkonstante eines Gebäudes. Eine genauere Untersuchung stellte den nächsten Schritt zur genauen Bestimmung der Abweichungen des Verfahrens dar. Es wurden die Gebäudeparameter systematisch variiert und die Abweichung des Bilanzverfahrens zum tatsächlichen Energiebedarf wurde dargestellt. Hierzu diente ein Büromodell, von den ebenerdigen Gebäudeboxen wurde dabei Abstand genommen, an dem die Gebäudeparameter  $\Gamma$  und  $\tau$ , diese Parameter werden im Folgenden beschrieben, systematisch variiert wurden. Diese Art der Ergebnisdarstellung und die Rückführung der Beschreibung eines Gebäudes auf lediglich drei Parameter wurde von Prof. Bruno Keller in der Publikation [Kel97] und in der Dissertation von Dr. Burmeister [Bur96] beschrieben.

## **8.2 Vereinfachte Untersuchung der Genauigkeit des Monatsbilanzverfahrens für den Kühlbedarf**

Im Anhang 5 der vorliegenden Arbeit ist die Veröffentlichung aus dem Jahr 2007 mit dem Titel „Analyse der Genauigkeit des Monatsbilanzverfahrens zur Ermittlung des Kühlbedarfs von Nutzbauten“ [ANA07] angeführt. In dieser Arbeit wurde ein 14 Zonenmodell mit Büronutzung untersucht. Dabei wurde eine sukzessive Steigerung des Fensteranteils vorgenommen, und die Modelle mit

- Lochfassade
- Lichtbandfassade
- Ganzglasfassade

wurden untersucht. Den Anstoß zu dieser Untersuchung lieferte die Arbeit von H. Van Dijk, M. Spiekman und P. De Wilde [AMO05] in dem die Validierungsberechnung für die EN ISO 13790 [ISO07] beschrieben ist. In dieser Publikation wurden Schuhschachtelmodelle als Gebäudezonen hinsichtlich ihres Heizwärme- und Kühlbedarfs untersucht, wie in dem Kapitel 6 der vorliegenden Arbeit beschrieben.

In dem Artikel [ANA07] wurden die Kopplungseigenschaften zwischen den Zonen verändert, was zu unterschiedlichen Rechengenauigkeiten des Bilanzverfahrens führt. In dieser Arbeit konnte festgehalten werden, dass eine pauschale Angabe eines Korrekturfaktors für die Einzonenbilanz dem Verfahren nicht ganz gerecht wird. Wie die weiteren Untersuchungen ergaben, ist in den meisten Fällen eine Überschätzung des tatsächlichen Energiebedarfs gegeben. Nur 20 Prozent der untersuchten Fälle in [ANA07] weisen eine Unterschätzung des Energiebedarfs für das Kühlen auf. Als Ergebnis dieser Arbeit konnte ein Korrekturfaktor für die Bilanzierung mit der Einzonenbilanz angegeben werden. Für den Kühlbedarf ist der Faktor in Abhängigkeit der Gebäudezeitkonstanten bestimmbar. Diese Angabe eines Korrekturfaktors wurde in die österreichische Normung aufgenommen. In der derzeit gültigen ÖNORM B 8110 Teil 6 [OEN07\_02] ist diese Berücksichtigung der Rechengenauigkeit des Verfahrens zu finden. Für Gebäude mit einer Gebäudezeitkonstante unter 90 Stunden ist der nach dem Bilanzverfahren errechnete Kühlbedarf um 40 Prozent zu erhöhen. Die weitere Untersuchung der Rechengenauigkeit, in Kapitel 9 der vorliegenden Arbeit zusammengefasst, ergab, dass diese Korrektur mit Sicherheit alle Rechengenauigkeiten des vereinfachten Verfahrens abdeckt. Die tatsächliche Rechengenauigkeit,

sofern die Eingangsparameter für die Berechnung des Heizwärme- und Kühlbedarfs realitätsnahe gewählt werden, ist etwas geringer.

Die Kopplungseigenschaften zwischen Räumen in der Nacht spielen für die Größe des Kühlbedarfs, wenn ein natürliches Nachtlüftungskonzept zu Grunde liegt, eine entscheidende Rolle. Die inkorrekte Berücksichtigung dieser Effekte im Bilanzverfahren konnte durch den Artikel [ANA07] aufgezeigt werden.

### **8.3 Systematische Untersuchung der Genauigkeit des Monatsbilanzverfahrens**

Im Anhang 6 der vorliegenden Arbeit ist die Veröffentlichung aus dem Jahr 2008 mit dem Titel „Strategic optimization of non-residential buildings“ [STR08] angeführt. In dieser Arbeit wurde eine systematische Variation der Gebäudeparameter bei einem Bürozonemodell durchgeführt. In der Weiterentwicklung zur vereinfachten Untersuchung wurden nicht mehr ebenerdige Gebäudeboxen untersucht, sondern ein Modell eines kleinen Bürohauses. Die Kopplungseigenschaften der Zonen untereinander wurden durch Variation der Wärmedurchgangskoeffizienten der Zwischenwände als stark gekoppeltes und als ungekoppeltes Modell untersucht. Die systematische Variation wurde auch an den Wärmespeicherfähigkeiten der im Modell verwendeten Materialien durchgeführt und der Fensteranteil wurde variiert. Die Berücksichtigung eines natürlichen Nachtlüftungskonzepts wurde in die Betrachtungen miteinbezogen.

Als Ergebnis konnten abermals Rechenungenauigkeiten des vereinfachten Verfahrens festgestellt werden. Besonders ungekoppelte Modelle werden durch das Bilanzverfahren, sowohl im Heizwärmebedarf als auch im Kühlbedarf, unterschätzt.

Für die Ergebnisdarstellung wurden die Untersuchungen von Prof. Bruno Keller, die in der Veröffentlichung [Kel97] zu finden sind, mit einbezogen. Die Klimaflächen, in der gegenständlichen Arbeit sind diese in Anhang 7 kurz beschrieben, führen die Beurteilung eines Gebäudes, hinsichtlich seines Energieverbrauchs, auf drei entscheidende Parameter zurück. Da im Folgenden diese Parameter zur Ergebnisdarstellung herangezogen werden, wird nun die Beschreibung der drei Gebäudeparameter vorgenommen.

### 8.3.1 Ergebnisdarstellung – die drei Parameter K, G und C

Wie in der Dissertation „Die qualitative gebäuderelevante Darstellung von Klimadaten: Die Klimaflächen“ [Bur96] gezeigt wurde, sind es drei Parameter K, G und C die für die Kategorisierung eines Gebäudes entscheidend sind. Diese wurden zur Ergebnisdarstellung der systematischen Variation, in Kapitel 9, gewählt.

Das Maß für die Wärmetransmission, der erste Parameter K, wird in folgender Weise definiert.

$$K = \frac{1}{\sum_i A_{\text{außen},i}} \cdot \left[ \sum_{\substack{j \text{ über alle} \\ \text{Außenflächen}}} A_j \cdot U_j + n_L \cdot V \cdot (c \cdot \rho)_{\text{Luft}} \right] \text{ in } \frac{W}{(m^2K)}$$

$A_{\text{außen},i}$	Einzelfläche eines Außenbauteils in $m^2$
$A_j$	Fläche eines Bauteils mit Transmissionsverlusten in $m^2$
$U_j$	Wärmedurchgangskoeffizient eines Einzelbauteils $W/(m^2K)$
$n_L$	Notwendige minimale effektive Luftwechselzahl in $h^{-1}$
$V$	Raumvolumen in $m^3$
$c$	spezifische Wärme in $J/(kgK)$
$\rho$	Dichte in $kg/m^3$

Der gemittelte Wärmedurchgangsfaktor K ist auf die Außenfläche bezogen und gibt an, wie groß die Verluste eines Gebäudes durch Wärmetransmission sind. Hier ist die thermische Qualität der Hülle, Luftkonvektion und die Luftwechselrate entscheidend.

Doch auch die Wärmegewinne durch Sonneneinstrahlung spielen bei der Beurteilung eines Gebäudes eine wichtige Rolle. Der zweite Parameter G wird wie folgt berechnet.

$$G = \frac{1}{\sum_i A_{\text{außen},i}} \cdot \left[ \sum_{\substack{j \text{ über alle} \\ \text{Außenflächen}}} A_j \cdot g_j \right] \text{ dimensionslos}$$

$A_{\text{außen},i}$	Einzelfläche eines Außenbauteils in $m^2$
$A_j$	Fläche eines transparenten Bauteils in $m^2$
$g_j$	Gesamtenergiedurchlassgrad

G ist der auf die Außenfläche bezogene gemittelte Gesamtenergie transmissionsgrad, er gibt also an, wie groß die solaren Gewinne sein können.

Die Speicherkapazität eines Gebäudes, der dritte Parameter C, kann wie folgend vereinfacht ermittelt werden.

$$C = \frac{1}{A_{\text{ges}}} \sum_l A_l \cdot \sum_m c_m \cdot \rho_m \cdot d_m \text{ in J}/(\text{m}^2\text{K})$$

$A_{\text{ges}}$  Gesamte Außenfläche des Gebäudes in  $\text{m}^2$

$A_l$  Fläche eines Einzelbauteils in  $\text{m}^2$

$c_m$  spezifische Wärmekapazität in  $\text{J}/\text{kgK}$

$\rho_m$  Dichte der Einzelbaustoffe in  $\text{kg}/\text{m}^3$

$d_m$  Dicke des Einzelbaustoffs in m

Der Parameter C ist die auf die Außenfläche bezogene und gemittelte Speicherkapazität, sie ist ein Maß dafür wie viel Wärmeenergie in einem Gebäude gespeichert werden kann.

Diese drei Parameter K, G und C können auf zwei Parameter reduziert werden, auf Gamma und Tau. Diese beiden Größen sind folgendermaßen bestimmbar.

$$\text{Gamma} = \frac{G}{K} \text{ in } \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}$$

$$A = \frac{\frac{C}{K}}{\text{Stunden}}$$

$$\text{Tau} = \log(A)$$

Der Parameter A ist dabei dimensionslos und somit auch der Ausdruck Tau, der eine Art Gebäudezeitkonstante darstellt.

Sie können zur Darstellung verschiedener Gebäudequalitäten herangezogen werden. Der Vorteil dabei liegt, dass die beiden Größen, die die Qualität eines Gebäudes beschreiben, eine dreidimensionale Darstellung des Energieverbrauchs bei unterschiedlicher Güte der Gebäudemodelle möglich machen. Für die gegenständli-

chen Untersuchungen, die systematische Variation der Gebäudeparameter, ist diese Art der Darstellung sehr nützlich.

### 8.3.2 Ausgewählte Ergebnisse der systematischen Variation

Im Folgenden sind zwei Darstellungen vorzufinden, die als Ergebnis der Untersuchung „Strategic optimization of non-residential buildings“ [STR08] hervorgingen. Die Beschreibung des gewählten Modells, der Nutzungen und der Modellparameter sind dem Anhang 6 zu entnehmen.

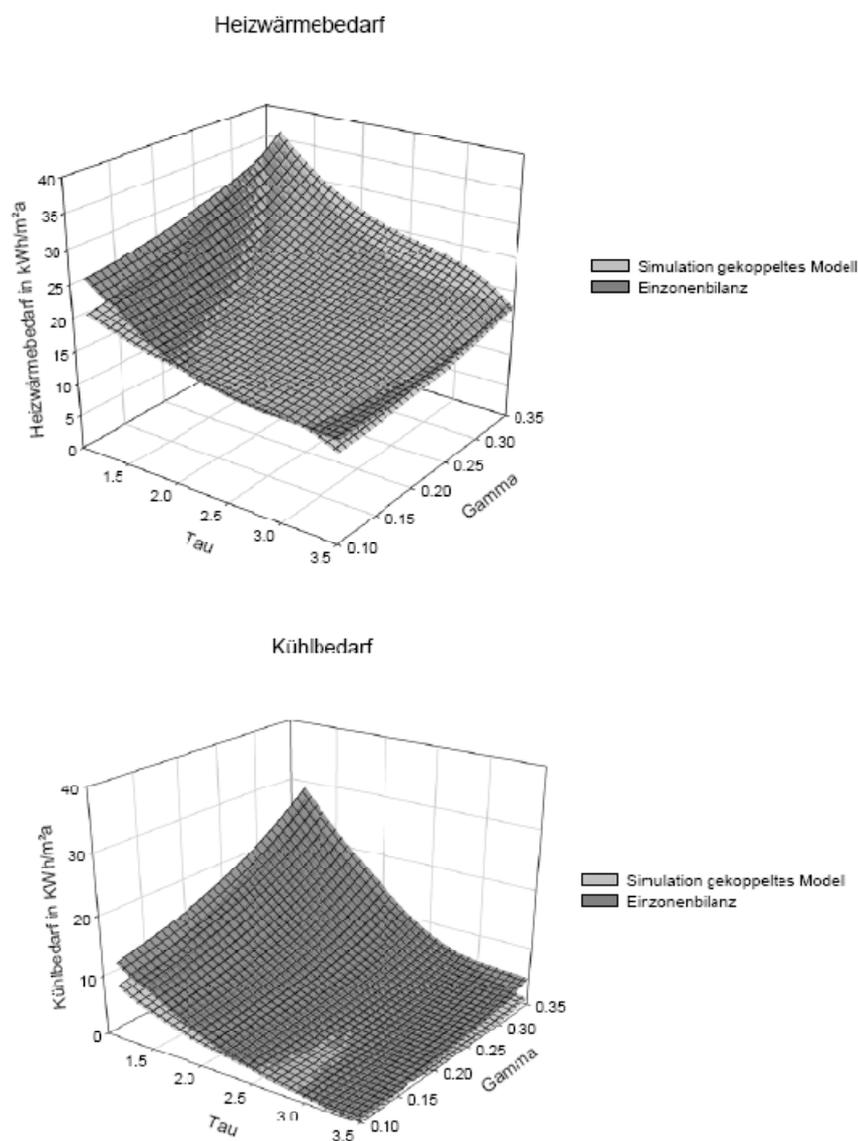


Abbildung 8-1 – Heizwärme- und Kühlbedarf für das Sechszonenmodell mit systematischer Gamma und Tau Variation - Vergleich Einzonenmodell und gekoppeltes Modell aus [STR08]

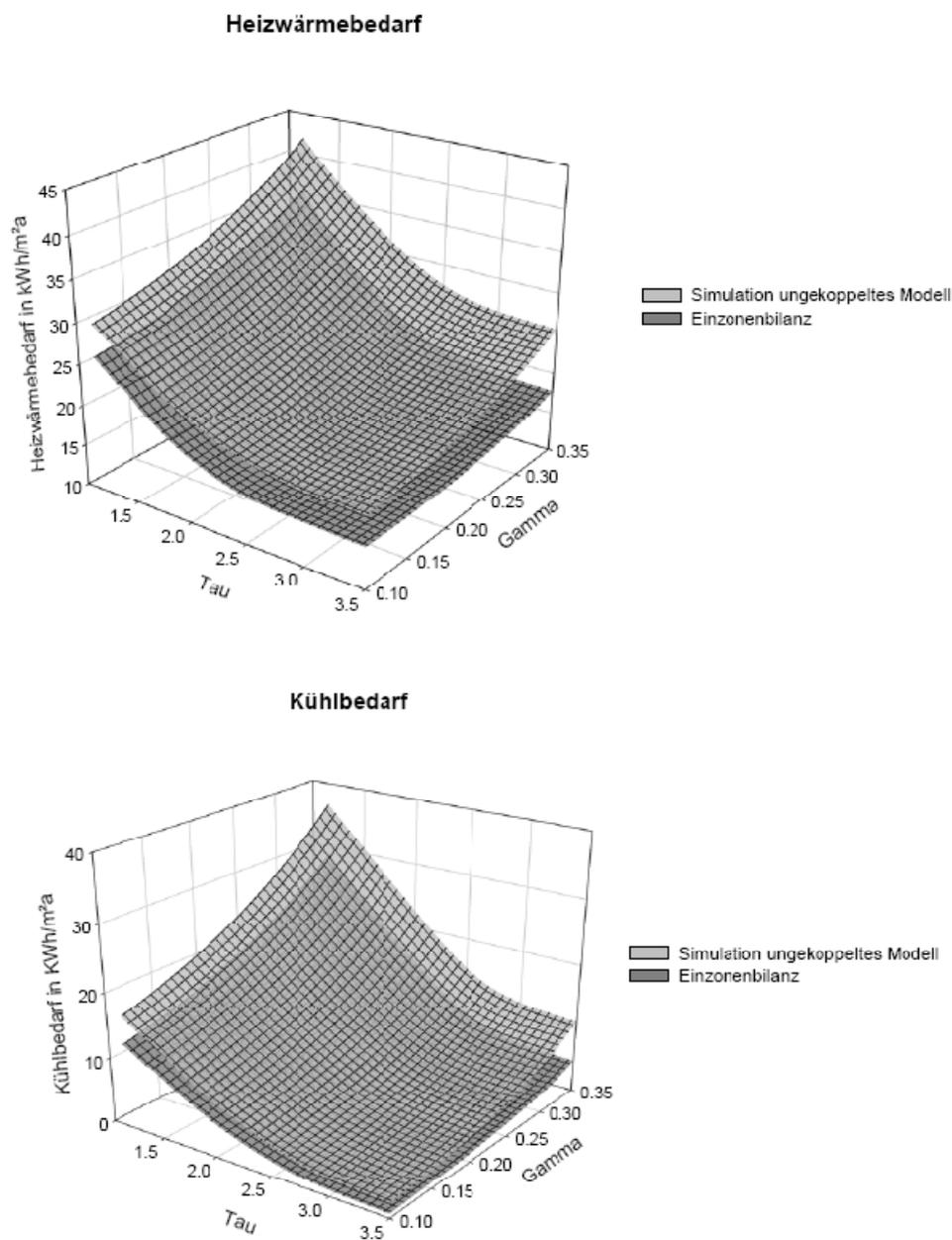


Abbildung 8-2- Heizwärme- und Kühlbedarf für das Sechszonenmodell mit systematischer Gamma und Tau Variation - Vergleich Einzonnenmodell und ungekoppeltes Modell

Die Abbildung 8-1 – Heizwärme- und Kühlbedarf für das Sechszonenmodell mit systematischer Gamma und Tau Variation - Vergleich Einzonnenmodell und gekoppeltes Modell, zeigt, dass für das Sechszonenmodell aus [STR08] und für den Standort Wien die Einzonnenbilanz den Heizwärmebedarf teilweise unterschätzt und

der Kühlbedarf richtig berechnet wird. Die Abweichungen beim Heizwärmebedarf ist maximal rund 5 kWh/(m<sup>2</sup>a). In diesem Fall wäre also auch eine Korrektur des Bilanzverfahrens notwendig.

In der Abbildung 8-2- Heizwärme- und Kühlbedarf für das Sechszonenmodell mit systematischer Gamma und Tau Variation - Vergleich Einzonenmodell und ungekoppeltes Modell, ist das Bilanzverfahren für ein ungekoppeltes Modell der Simulationsrechnung gegenübergestellt. Hier zeigt sich, dass das Bilanzverfahren den wirklich auftretenden Energiebedarf über den gesamten Variationsbereich unterschätzt. Erstaunlich ist aber wie gut der Verlauf des tatsächlich auftretenden Energiebedarfs, sowohl für das Heizen als auch für das Kühlen, vom Bilanzverfahren wiedergegeben wird. Das bedeutet, dass die Vorhersagegenauigkeit des vereinfachten Verfahrens bei einer Gebäudeparametervariation grundsätzlich gegeben ist. Die vom Bilanzverfahren angegebene Quantität des Energieverbrauchs für das Heizen und Kühlen ist nicht unbedingt korrekt, die relative Änderung bei einer Variation der Gebäudeparameter wird durch das vereinfachte Verfahren allerdings richtig angegeben.

Die Einführung eines Korrekturfaktors, wie schon bei der vereinfachten Untersuchung vorgeschlagen, erscheint eine sinnvolle Verbesserung des Bilanzverfahrens für Einzonenmodelle.

Im folgenden Kapitel wird die Quantifizierung der Korrekturfaktoren, die als Teilsicherheitsbeiwerte für die Bestimmung des Energiebedarfs von Gebäuden angesehen werden können, vorgenommen.

## **9 Quantifizierung der Teilsicherheitsbeiwerte für die vereinfachte Berechnung des Heizwärme- und Kühlbedarfs für Wien**

### **9.1 Vorgangsweise zur Bestimmung der Teilsicherheitsbeiwerte**

Zur Quantifizierung der Teilsicherheitsbeiwerte für den Heizwärme- und Kühlbedarf für das Wiener Klima wurde ein realistischer Fall eines Bürohauses gewählt. In den meisten Nutzungsszenarien wurde eine natürliche Fensterlüftung, besonders im Hinblick auf natürliche Nachtlüftungskonzepte für den Kühlbedarf, abgebildet. Dabei wurden die Inneren Wärmelasten entsprechend ihrem Tagesgang in der Realität gewählt. Für die Bestimmung der Größe des Sicherheitsfaktors wurden bei den Inneren Wärmelasten neben den Personen, Geräten auch die Beleuchtung berücksichtigt. Damit wurde ein realistischer Fall eines kleinen Bürohauses abgebildet. Die Luftwechselzahlen für die vier verschiedenen Nutzungsbereiche wurden bei Betriebszeiten, also dann wenn Personen anwesend sind, mindestens so groß gewählt, dass der hygienische Luftwechsel von 30 m<sup>3</sup> Luft je Stunde und Person gewährleistet ist.

Vier verschiedene Nutzungsbereiche wurden gewählt:

- Büronutzung (Einzelbüro und Großraumbüro)
- Besprechungszimmer
- Kantine
- Gangnutzung

Folgende Nutzungsszenarien wurden für die Festlegung der Teilsicherheitsbeiwerte untersucht:

1. Bürobelegung
2. Bürobelegung mit Nachtlüftungskonzept für den Gang (für den Kühlbedarf)
3. Bürobelegung mit Nachtlüftungskonzept in allen Zonen (optimale Nachtlüftung für den Kühlbedarf)
4. Energieäquivalenter Luftwechsel einer Anlage mit Wärmetauscher

5. Konstanter Luftwechsel einer Lüftungsanlage (für den Kühlbedarf)
6. Konstanter zeitabhängiger Luftwechsel

Die Nutzungsszenarien wurden für drei verschiedene Fassadenvarianten und für drei verschiedene Kopplungseigenschaften der inneren Trennwände (schwach, stark und ungekoppeltes Modell) berechnet.

Um die Kopplungseigenschaften zu variieren, wurde der U-Wert der Zwischenwand verändert. Für ein schwach gekoppeltes Modell wurde der U-Wert auf  $1.43 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  gesetzt, für ein stark gekoppeltes Modell wurde ein U-Wert von  $4.96 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  angenommen und für ein ungekoppeltes Modell ein U-Wert von  $0.01 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ .

Schließlich wurde das Büromodell mit den verschiedenen Nutzungen, Fassadentypen und Kopplungseigenschaften einer systematischen Variation der Materialparameter und der Eigenschaften der Gebäudehülle unterzogen.

Bei dem Teilsicherheitsbeiwert für den Kühlbedarf sind alle sechs untersuchten Szenarien heranzuziehen. Im Gegensatz dazu sind für den Teilsicherheitsfaktor für den Heizwärmebedarf die Szenarien mit natürlichen Nachlüftungskonzepten und der konstante Luftwechsel einer Lüftungsanlage auszuschließen.

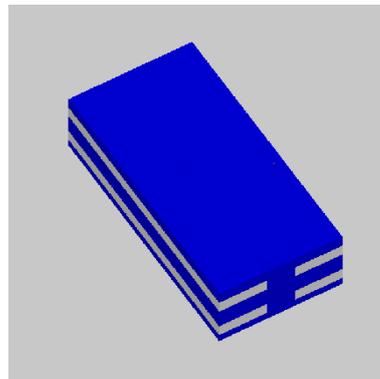
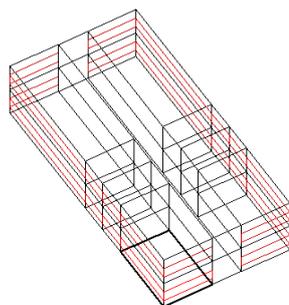
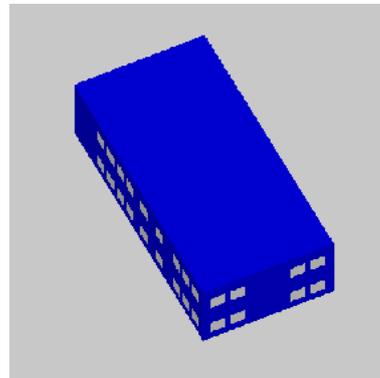
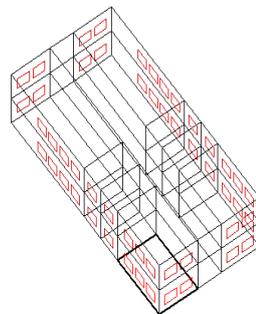
Diese Vorgangsweise ergab sich aus den Untersuchungen der Genauigkeit des Monatsbilanzverfahrens, die davor angestellt wurden. Die Variation der Gebäudeeigenschaften führt oftmals zu Szenarien die in der Realität nicht vorkommen, besonders im Bezug auf sehr hohe Heiz- oder Kühllasten, beziehungsweise sehr hohe Energieverbrauchszahlen. In einigen Szenarien werden Gebäudeeigenschaften angenommen die noch nicht technisch erreichbar sind, wie zum Beispiel Gebäudezeitkonstanten über 100.000 Stunden. Diese Fälle galt es zur Quantifizierung der Teilsicherheitsfaktoren für Wien auszuschließen. Deshalb wurde im Gegensatz zu allen vorangegangenen Untersuchungen auch die Beleuchtungsabwärme in den Räumen berücksichtigt, um reale Fälle für die Bestimmung des Sicherheitsfaktors zu erhalten.

## 9.2 Büromodell zur Bestimmung der Teilsicherheitsbeiwerte

Als Büromodell wurde ein Mehrzonenmodell mit unterschiedlichen Nutzungen gewählt. Darin sind acht Einzelbüros mit jeweils 15.00 m<sup>2</sup>, vier Großraumbüros mit 37.50 m<sup>2</sup>, drei Besprechungszimmer mit 65.00 m<sup>2</sup>, eine Kantine mit 65.00 m<sup>2</sup> und zwei Gänge mit 79.50 m<sup>2</sup> enthalten.

Der Fensteranteil der Außenfassade wurde variiert und drei Fassadenformen treten somit auf:

- Büromodell mit Lochfassade
- Büromodell mit Lichtbandfassade
- Büromodell mit Ganzglasfassade



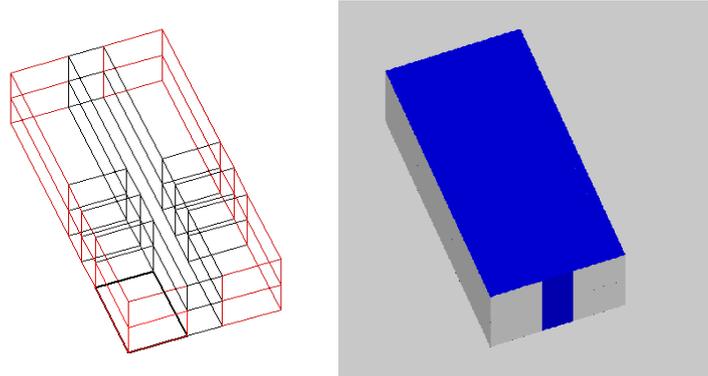


Abbildung 9-1 – Büromodell mit unterschiedlichen Fensterarten

In der folgenden Abbildung ist der Grundriss des Büromodells abgebildet, die Aufteilung der verschiedenen Büros und der gewählten Nutzungen sind zu erkennen.

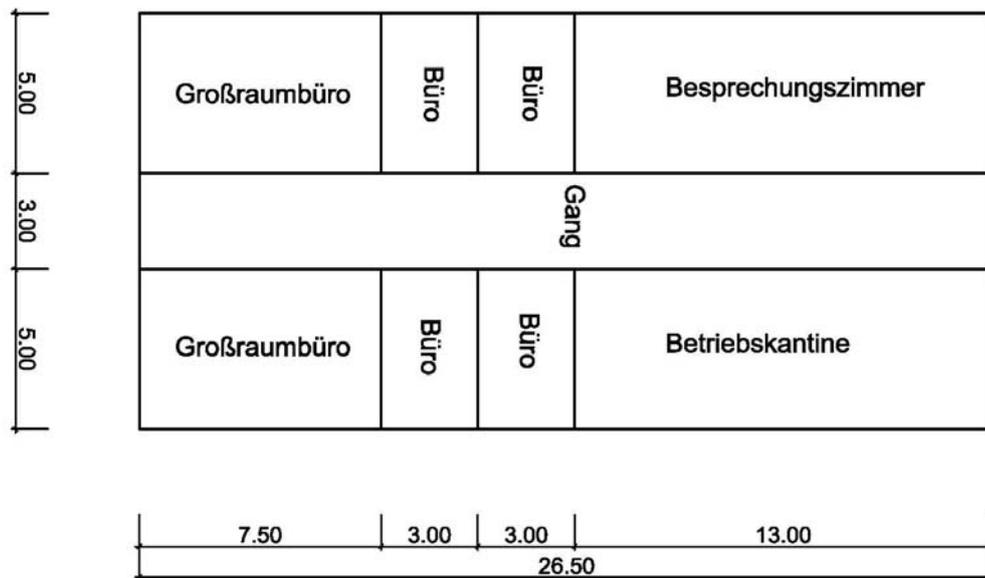


Abbildung 9-2 – Abmessungen der Achsen des Büromodells

### 9.3 Aufbauten der Bauteile des Büromodells

Die Bauteilaufbauten wurden für die Standardvariante genauso gewählt wie für das Sechszonenmodell, welches in der Arbeit [STR08] beschrieben ist. Die Bauteilaufbauten wurden einem Niedrigenergiegebäude entsprechend angenommen.

Boden	
Material	Dicke in cm
Zementestrich	4
Extrudiertes Polystyrol	20
Stahlbeton	20
<b>U = 0.19 W/(m<sup>2</sup>K)</b>	

Zwischendecke	
Material	Dicke in cm
Zementestrich	4
Extrudiertes Polystyrol	3
Stahlbeton	20
<b>U = 0.94 W/(m<sup>2</sup>K)</b>	

Decke	
Material	Dicke in cm
Extrudiertes Polystyrol	25
Stahlbeton	20
<b>U = 0.15 W/(m<sup>2</sup>K)</b>	

Zwischenwand	
Material	Dicke in cm
Hochlochziegel	5
Ultrawärmedämmung	5
Hochlochziegel	5
<b>U = variabel</b>	

Aussenwand	
Material	Dicke in cm
Extrudiertes Polystyrol	20
Hochlochziegel	20
<b>U = 0.16 W/(m<sup>2</sup>K)</b>	

Tabelle 9-1– Aufbauten der Bauteile des Büromodells

Für die Variation der Wärmeleitfähigkeit, welche im Folgenden noch detailliert beschrieben ist, wurde die Materialeigenschaft des Hochlochziegels verändert.

## 9.4 Klimadaten für Wien

Als Klimadaten wurde der IWEC-Wetterdatensatz für Wien gewählt. Stellt man den Verlauf der Außentemperatur und den Verlauf der Globalstrahlung dar, erhält man die folgenden Abbildungen.

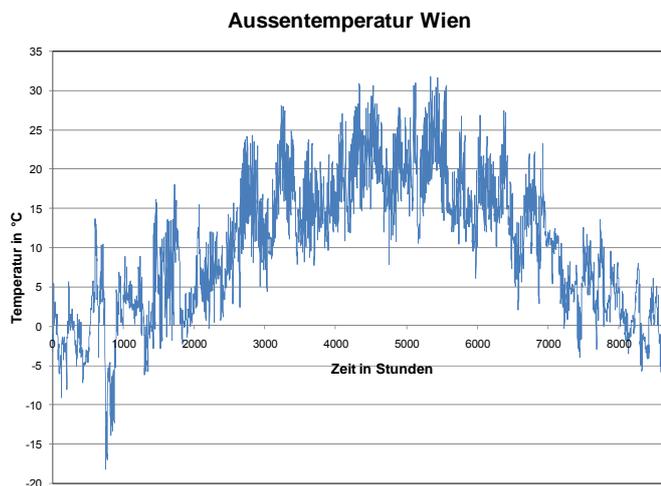


Abbildung 9-3 – Jahrgang der Außentemperatur des IWEC-Wetterdatensatz für Wien-Schwechat

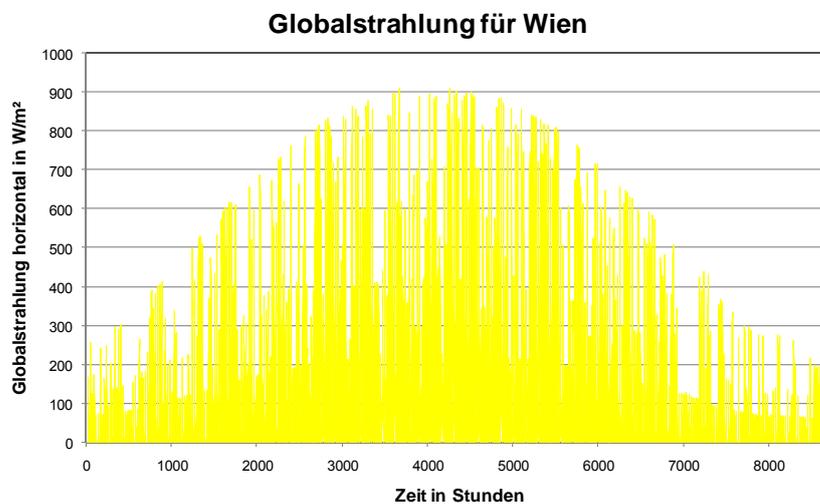


Abbildung 9-4 – Jahrgang der Globalstrahlung des IWEC-Wetterdatensatz für Wien-Schwechat

## 9.5 Nutzungen

### 9.5.1 Innere Wärmelasten

Bei den verschiedenen Nutzungen, die für die Quantifizierung des Teilsicherheitsfaktors herangezogen worden sind, wurden die Inneren Wärmelasten immer konstant angesetzt und zwar in folgender Weise.

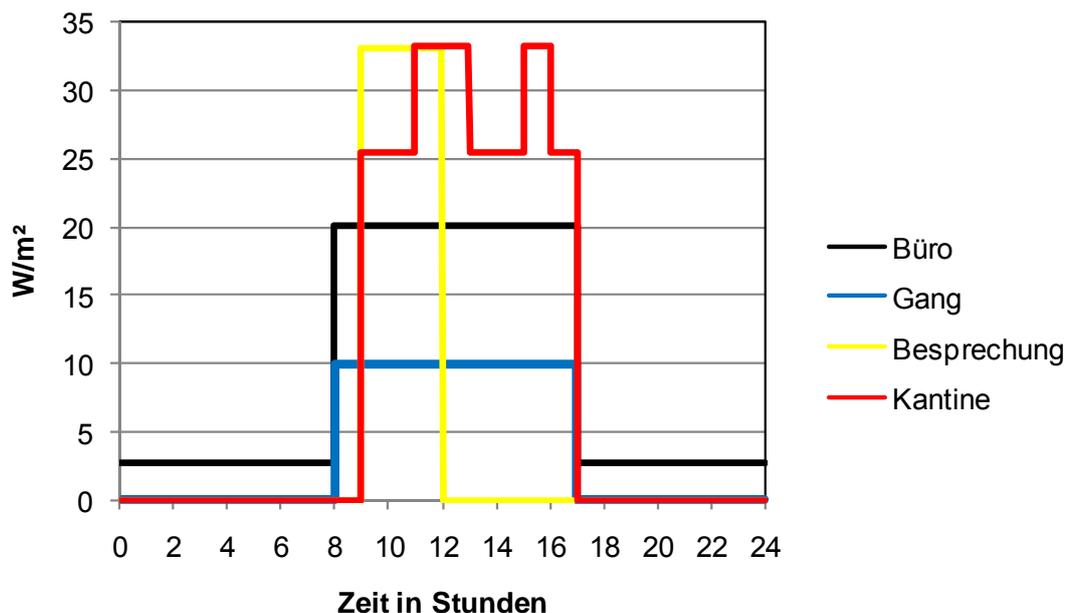


Abbildung 9-5 – Innere Wärmelasten für die Bestimmung des Sicherheitsfaktors

Dieser Tagesgang der Inneren Wärmelasten wurde für die Simulationsrechnung angenommen. Er unterliegt den unterschiedlichen Belegungszeiten für die verschiedenen Nutzungsbereiche.

Für die Büros wurde von einer Arbeitszeit von 8:00 Uhr bis 17:00 Uhr ausgegangen. Die Inneren Wärmelasten in den Büros sind zehn Stunden von Beleuchtung, Personen und elektrischen Geräten zusammengesetzt und 14 Stunden nur durch Geräte im Ruhezustand. Für die Büros wurde eine Mindestfläche von  $15\text{ m}^2$  pro Angestelltem vorausgesetzt. Das bedeutet, dass die Maximalbelegung des gesamten Gebäudemodells, 18 Angestellte beträgt. Die acht Einzelbüros und die vier Großraumbüros haben insgesamt  $270\text{ m}^2$  Bruttofläche, das ergibt 18 Arbeitsplätze zu je  $15\text{ m}^2$ . Die Wärmelasten in den Büros sollen für einen Arbeitsplatz 150 Watt während der Arbeitszeit betragen und 40 Watt während der restlichen Tages- und Nachtzeit, damit

wird eine Innere Wärmelast für Geräte berücksichtigt. Für die Beleuchtung in den Büros wurde eine konstante Leistung von zehn  $\text{W/m}^2$  angenommen.

Die Nutzung der Besprechungszimmer wurde mit einem Zeitraum von drei Stunden je Tag begrenzt. Es wurde angenommen, dass sich in einem Besprechungsraum täglich für drei Stunden zehn Angestellte einfinden. Auch hier wurde eine innere Last von 150 Watt je Angestellten, menschliche Abwärme und Laptop angesetzt.

Die Kantine des Büromodells wird über die Mittagszeit von 11:00 bis 13:00 Uhr von 25 Personen genutzt, zusätzlich noch eine Stunde am Vormittag und am Nachmittag. Das ergibt eine Nutzungsdauer der Kantine von vier Stunden pro Tag. Die Inneren Wärmelasten ergeben sich dadurch, dass pro Kantinenbesucher 50 Watt Wärmeleistung angenommen wurde. Dieses ergibt für vier Stunden eine Last von  $19.23 \text{ W/m}^2$ , hinzu kommt noch der Kochvorgang der mit fünf Stunden pro Tag und 1000 Watt angesetzt wurde. Für diese fünf Stunden wurde eine Belastung von  $15.38 \text{ W/m}^2$  angesetzt. Für die Nachtzeit wurde die Kantine ohne Innere Wärmelast berechnet, das bedeutet, dass etwaige elektrische Geräte im Ruhezustand für die Kantine nicht berücksichtigt wurden. In der Belegzeit der Kantine wurde die Beleuchtung mit zehn  $\text{W/m}^2$  berücksichtigt.

Die Gangeinheiten wurden während der Betriebszeit des Büromodells mit einer Inneren Wärmelast von zehn  $\text{W/m}^2$  für die Beleuchtung der Gänge ausgestattet.

Die Inneren Wärmelasten für die einzelnen Nutzungsbereiche weisen damit für die Mehrzonenbilanz folgende Größen auf.

Einzelbüro	Innere Wärmelast <sub>BILANZ</sub> = $9.17 \text{ W/m}^2$
Großraumbüro	Innere Wärmelast <sub>BILANZ</sub> = $9.17 \text{ W/m}^2$
Besprechungszimmer	Innere Wärmelast <sub>BILANZ</sub> = $4.14 \text{ W/m}^2$
Kantine	Innere Wärmelast <sub>BILANZ</sub> = $9.44 \text{ W/m}^2$
Gang	Innere Wärmelast <sub>BILANZ</sub> = $3.75 \text{ W/m}^2$

Für eine Einzonenbilanz ist der Mittelwert über alle Nutzungsbereiche zu bilden, es ergibt sich eine Innere Wärmelast von  $6.63 \text{ W/m}^2$ .

## 9.5.2 Luftwechsel

Entsprechend der Belegung des Büromodells wurden nun unterschiedliche Lüftungskonzepte angesetzt.

### 9.5.2.1 Variabler Luftwechsel einer Bürobelegung

So wie bei den Inneren Wärmelasten wurde auch für die Luftwechselzahlen entsprechend den Belegungszeiten der hygienische Mindestluftwechsel angesetzt. Stellt man für die vier verschiedenen Nutzungsbereiche den Luftwechsel dar, erhält man folgende Darstellung.

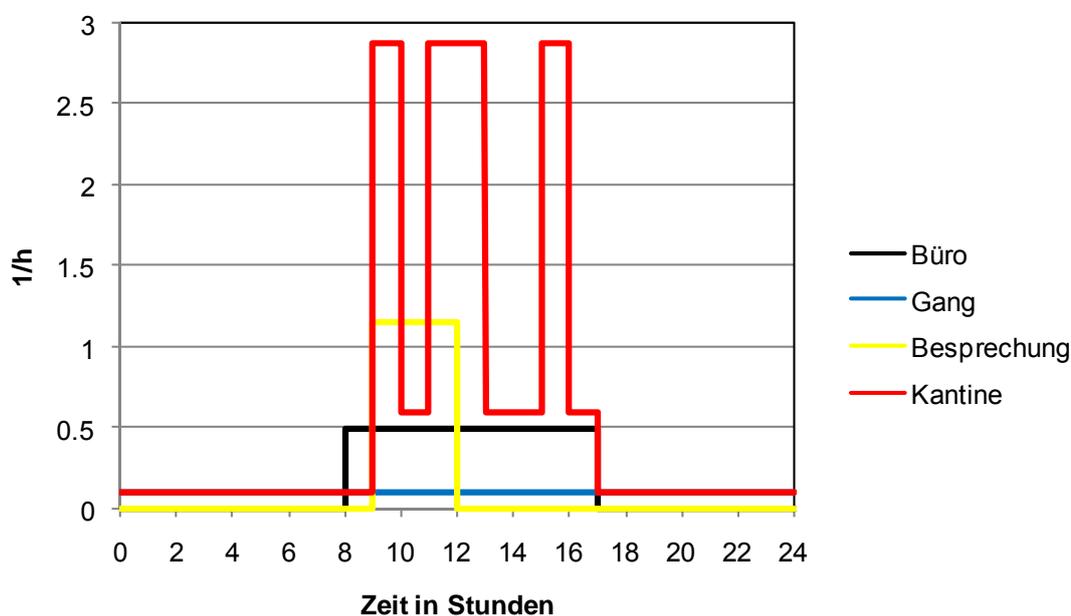


Abbildung 9-6 – Luftwechselzahlen für Bürobelegung

Für das Bilanzverfahren ergeben sich somit folgende Luftwechselraten:

Einzelbüro	$n_{\text{BILANZ}} = 0.21 \text{ h}^{-1}$
Großraumbüro	$n_{\text{BILANZ}} = 0.21 \text{ h}^{-1}$
Besprechungszimmer	$n_{\text{BILANZ}} = 0.14 \text{ h}^{-1}$
Kantine	$n_{\text{BILANZ}} = 0.67 \text{ h}^{-1}$
Gang	$n_{\text{BILANZ}} = 0.10 \text{ h}^{-1}$

Für ein Einzonenmodell wäre der Mittelwert aus diesen Luftwechselraten zu bilden, man muss für die Einzonenbilanz den Wert  $0.27 \text{ h}^{-1}$  für die Luftwechselzahl einsetzen.

### 9.5.2.2 Variabler Luftwechsel und natürliches Nachtlüftungskonzept für den Gang

Zusätzlich zu der Bürobelegung wurde nun ein natürliches Nachtlüftungskonzept für den Gang angenommen. Dabei soll eine Nachtlüftung durch ein Atrium zwischen 21:00 und 07:00 Uhr den Gang natürlich entlüften. Durch ankoppeln der anderen Nutzungsbereiche kann damit eine Auskühlung eines Gebäudes in der Sommerzeit während der Nacht auf natürlichem Wege erfolgen.

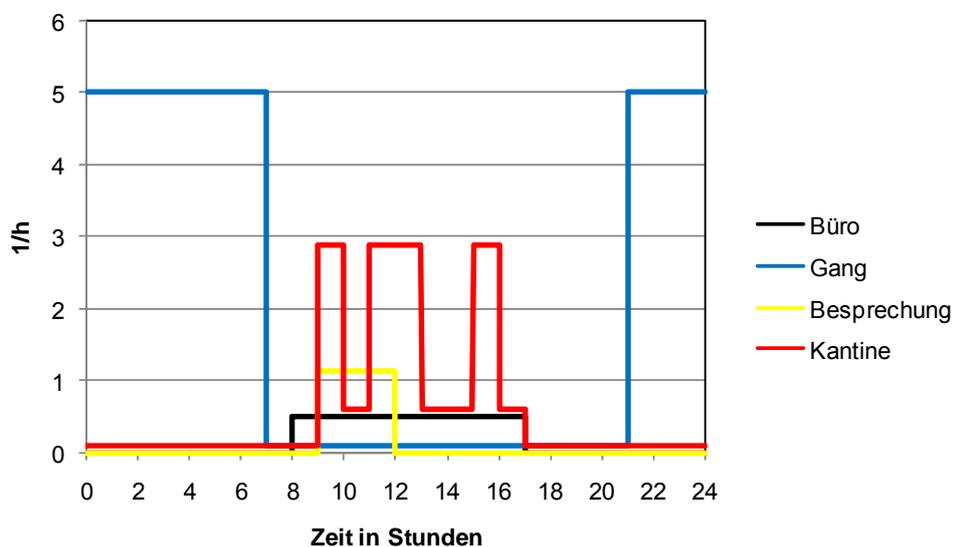


Abbildung 9-7 – Luftwechsel mit Nachtlüftung für den Gang

### 9.5.2.3 Konstanter Luftwechsel und Nachtlüftungskonzept in allen Zonen

Das natürliche Nachtlüftungskonzept wird bei dieser Variante für alle Zonen angewendet, allerdings nur von 23:00 bis 07:00 Uhr. In der Tageszeit wird angenommen, dass eine Lüftungsanlage mit Wärmetauscher den energieäquivalenten Luftwechsel in allen Zonen ganz gering hält. Die Darstellung dieser Luftwechselzahlen ergibt die folgende Abbildung und ist für alle Nutzungsbereiche identisch.

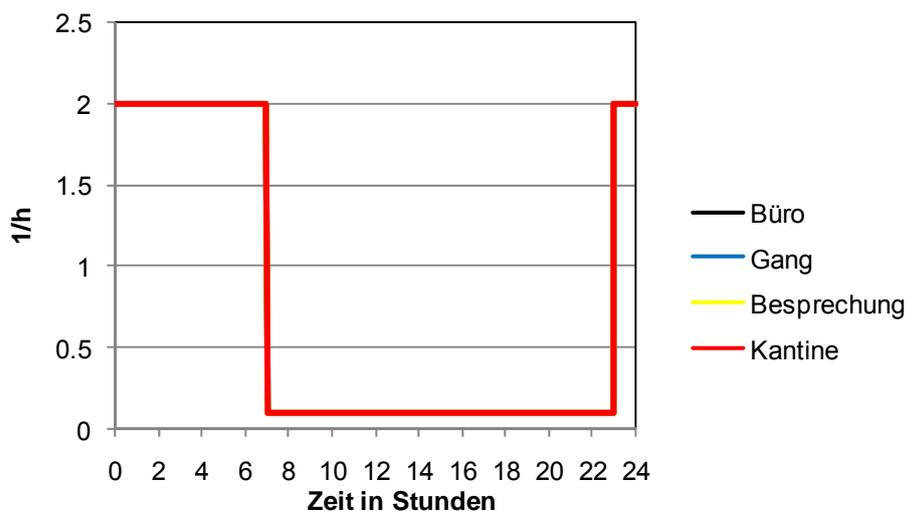


Abbildung 9-8 - Luftwechsel mit optimaler Nachtlüftung in allen Zonen

#### 9.5.2.4 Konstanter energieäquivalenter Luftwechsel einer Anlage mit Wärmetauscher

Bei einer Lüftungsanlage, die mit einem Wärmetauscher ausgestattet ist, kann der energieäquivalente Luftwechsel eines Gebäudes sehr klein werden. In dem gewählten Fall ist eine Anlage gewählt, die den tatsächlichen Luftwechsel auf  $0.10 \text{ h}^{-1}$  für alle Zonen senkt. Stellt man den Verlauf dar, ergibt sich das folgende Bild. Der Verlauf der Luftwechselzahlen ist dabei wieder für alle Nutzungsbereiche identisch.

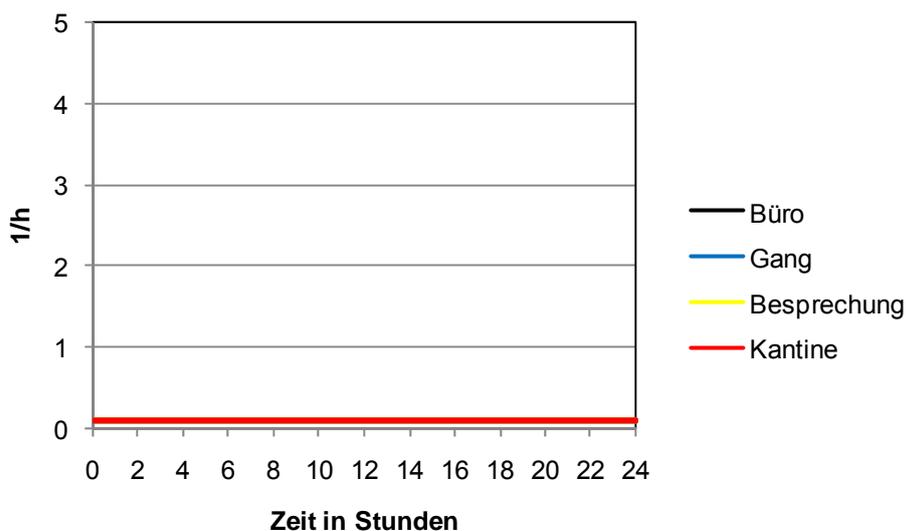


Abbildung 9-9 – Konstanter energieäquivalenter Luftwechsel für alle Zonen einer Lüftungsanlage mit Wärmetauscher

#### 9.5.2.5 Konstanter Luftwechsel mit einer Lüftungsanlage

Eine Lüftungsanlage in Betrieb kann in den Räumen, die sie versorgt, einen konstanten Luftwechsel erzeugen. Im gegenständlichen Fall wird eine Lüftungsanlage mit einem sehr hohen Luftwechsel für alle Nutzungsbereiche angenommen.

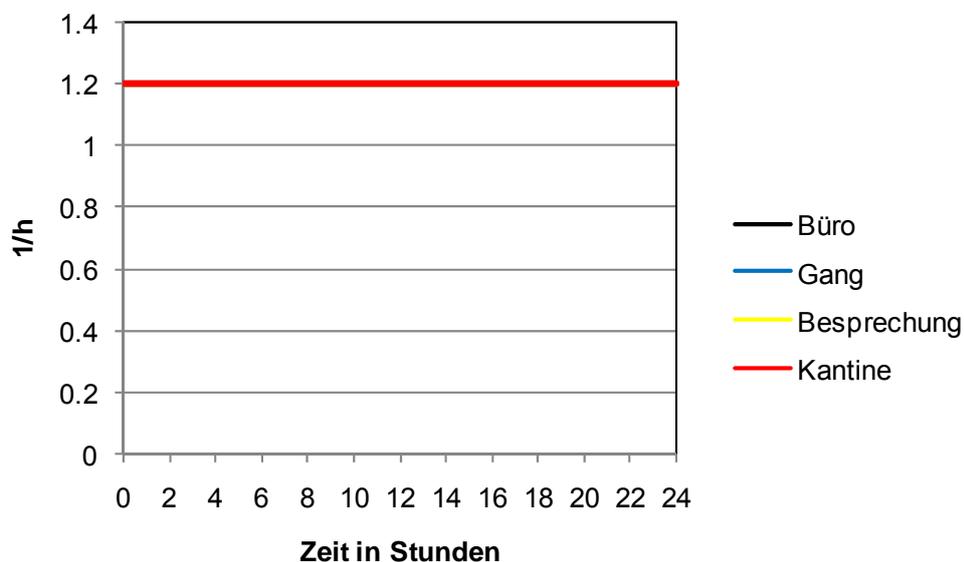


Abbildung 9-10– Konstanter Luftwechsel für alle Zonen mit einer Lüftungsanlage

### 9.5.2.6 Konstanter zeitabhängiger Luftwechsel

Nach ÖNORM B 8110 Teil 5 ist in Sommer- und Winterperiode zu trennen, da für den Kühlbedarf und den Heizwärmebedarf unterschiedliche Lüftungszahlen anzusetzen sind. In der Variante mit einem konstanten zeitabhängigen Luftwechsel wurden die Größen für die Winter- und Sommerperiode entsprechend der ÖNORM B 8110 Teil 5 gewählt.

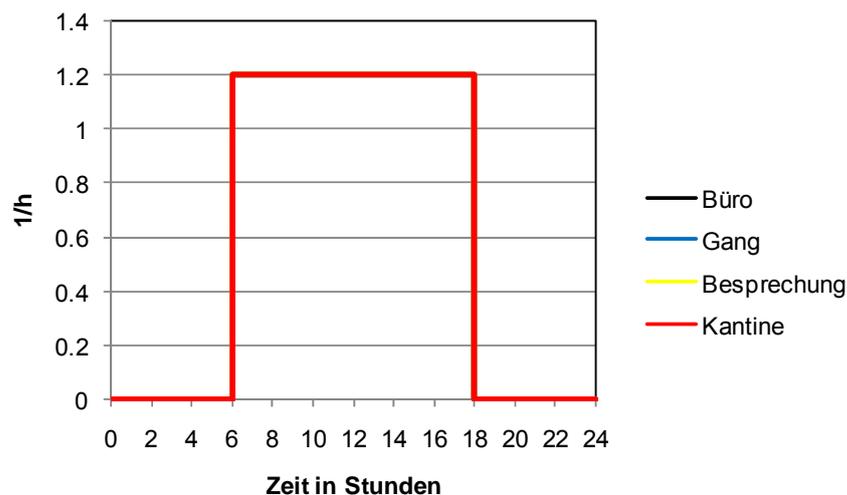


Abbildung 9-11 – Konstanter Luftwechsel für die Winterperiode

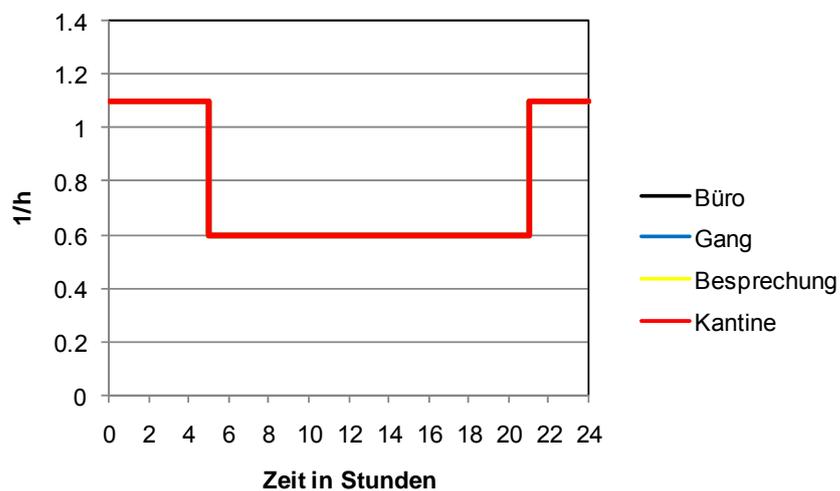


Abbildung 9-12 - Konstanter Luftwechsel für die Sommerperiode

## 9.6 Systematische Variation

Zur systematischen Variation von Gamma und Tau wurden die Wärmeleitfähigkeit und die Speicherkapazität des Hochlochziegels und zusätzlich die Fensterqualität variiert.

Bei den Fenstern wurde der U-Wert des Glases, der Gesamtenergiedurchlassgrad und der Verschattungsgrad des Fensters variiert, wobei der Rahmenanteil vernachlässigt wurde. Die Fenster wurden nur aus Glasscheiben bestehend berechnet. Die Betrachtung der Fenster kann somit als akademisch bezeichnet werden, denn es wurden Zweischeibenisolierverglasungen mit einem U-Wert bis  $0.21 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  angesetzt. Diese Fensterqualität, bzw. diese Verglasungsqualität, gibt es in der Realität nicht. Richtiger wäre es mit Dreischeibenisolierverglasung zu arbeiten.

Fenster 1: U-Wert der Verglasung:  $1.94 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ ,  $g = 0.70$  und  $z = 1.00$

Fenster 10: U-Wert der Verglasung:  $0.21 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ ,  $g = 0.34$  und  $z = 0.33$

Zusätzlich zu den Fenstern wurden auch die Wärmeleitfähigkeit, die Dichte und die Wärmekapazität variiert. Die drei Materialparameter wurden für den Hochlochziegel verändert, dabei wurden für die zehn Varianten folgende Werte als Minimum und Maximum angesetzt. Der Hochlochziegel wird nicht nur bei der Außenwand, sondern auch bei den Zwischenwänden verwendet.

Für die Wärmeleitfähigkeit des Hochlochziegels wurde für die erste Variation  $2.00 \text{ W}/(\text{mK})$  angenommen und für die zehnte Variation  $0.10 \text{ W}/(\text{mK})$ .

Für die Wärmekapazität des Hochlochziegels wurde für die erste Variation  $500 \text{ J}/(\text{kgK})$  angenommen und für die zehnte Variation  $10.000 \text{ J}/(\text{kgK})$ .

Für die Dichte des Hochlochziegels wurde für die erste Variation  $150 \text{ kg}/\text{m}^3$  angenommen und für die zehnte Variation  $2000 \text{ kg}/\text{m}^3$ .

Durch die gewählte Parametervariation ergeben sich für die Modelle Gamma zu Tau Verhältnisse, die in der folgenden Abbildung angegeben sind.

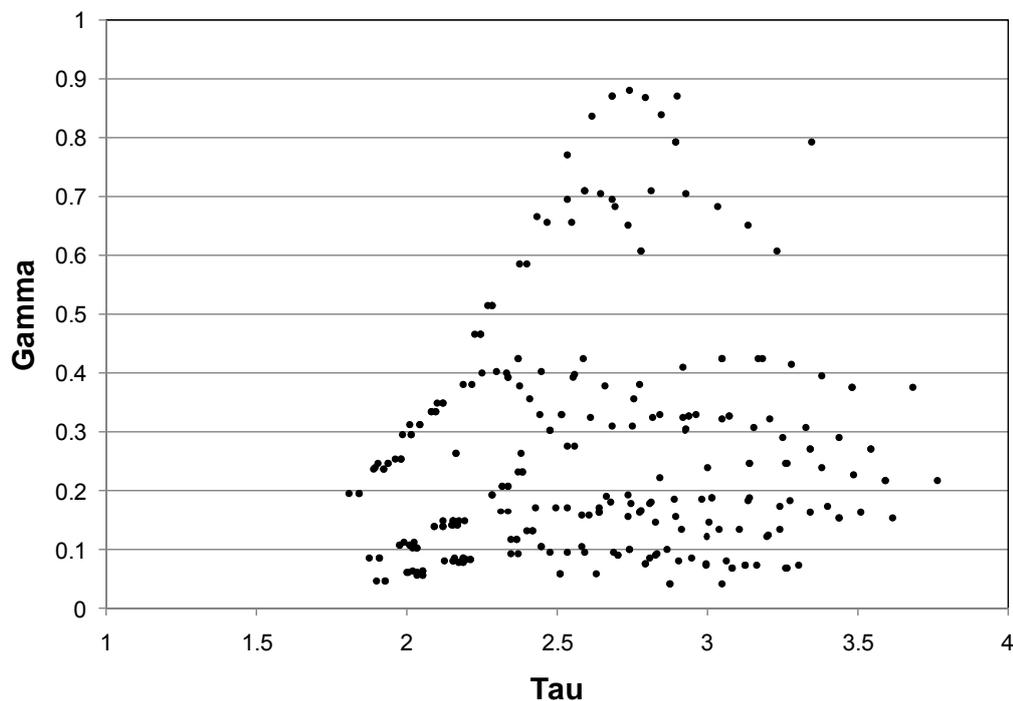


Abbildung 9-13 – Gamma zu Tau Verhältnisse für die systematische Variation

Es ergeben sich Gebäudezeitkonstanten von unter 100 Stunden bis über 5.000 Stunden und Gamma-Werte zwischen 0.00 und 0.90. Damit erscheinen alle realistischen Gebäudeparameterkonstellationen abgedeckt.

Versucht man die systematische Variation des Luftwechsels, wobei für jede Fassadenform die Variation der Fenster- und Materialparameter durchgeführt wurde, in einer Matrix darzustellen, dann erhält man folgende Tabelle.

Nutzung	Loch-, Lichtband und Ganzglasfassade		
	schwach gekoppelt	stark gekoppelt	ungekoppelt
Bürobelegung	HWB/KB	HWB/KB	HWB/KB
Bürobelegung mit Nachtlüftung für den Gang	KB	KB	KB
Nachtlüftungskonzept in allen Zonen	KB	KB	KB
Energieäquivalenter Luftwechsel	HWB/KB	HWB/KB	HWB/KB
Konstanter Luftwechsel	KB	KB	KB
Zeitabhängiger Luftwechsel	HWB/KB	HWB/KB	HWB/KB
	HWB = Systematische Variation für den Heizwärmebedarf KB = Systematische Variation für den Kühlbedarf		

Tabelle 9-2– Darstellung der systematischen Variation des Luftwechsels in Matrixform

## 9.7 Gültigkeit des Monatsbilanzverfahrens

Für die systematische Variation wurden Modelle mit unterschiedlichsten Zeitkonstanten herangezogen. Die Zeitkonstanten werden in den Darstellungen immer logarithmisch ausgegeben. Das bedeutet: ist der dekadische Logarithmus von Tau zwei ist eine Zeitkonstante von 100 Stunden gegeben, ist der dekadische Logarithmus vier ist eine Zeitkonstante von 10.000 Stunden gegeben. Bei Zeitkonstanten über 1.000 Stunden ist die Monatsbilanz grundsätzlich nicht mehr anwendbar. Hierbei muss aber erwähnt werden, dass in der europäischen Norm EN ISO 13790 [ISO07] und in der ÖNORM B 8110 Teil 6 [OEN07\_02] diesem Umstand, zur Bestimmung des Energiebedarfs für das das Heizen und Kühlen, auch nicht Rechnung getragen wird, somit sind auch diese Fälle auf Richtigkeit überprüft worden.

## 9.8 Definition der Teilsicherheitsbeiwerte für Wien

Die Teilsicherheitsbeiwerte für die Berechnung des Heizwärme- und Kühlbedarfs wurden in der vorliegenden Arbeit in Kapitel 2 definiert. Die Faktoren sollen die Rechenungenauigkeit des Bilanzverfahrens korrigieren. Die nach dem vereinfachten Verfahren ermittelten Werte für das Heizen- und Kühlen sollen die Werte dermaßen vergrößern, dass eine Unterschätzung des tatsächlich auftretenden Energiebedarfs unrealistisch wird. In den folgenden Überlegungen wird jeweils das nach dem Bilanzverfahren errechnete Ergebnis, und der mit dem verwendeten Simulationsprogramm errechneten Wert gegenübergestellt. Dabei wird der simulierte Wert durch das bilanzierte Ergebnis dividiert. Ergeben sich für diesen Faktor nun Werte die kleiner als eins sind, dann überschätzt das Bilanzverfahren den tatsächlichen Energiebedarf. Bei Werten größer als eins liegt eine Unterschätzung vor und die prozentuale Abweichung der Ergebnisse ist sofort ersichtlich. Der Vergleich wird jeweils getrennt für die Einzonenbilanz und für die Mehrzonenbilanz durchgeführt. Die Teilsicherheitsfaktoren werden getrennt für das Heizen und Kühlen und für die ein- und mehrzonale Betrachtung von Gebäuden definiert und zwar folgendermaßen.

$$\Psi_{\text{HWB-Einzonenbilanz}} = \frac{\text{HWB} - \text{Simulation}}{\text{HWB-Einzonenbilanz}}$$

$$\Psi_{\text{HWB-Mehrzonenbilanz}} = \frac{\text{HWB} - \text{Simulation}}{\text{HWB-Mehrzonenbilanz}}$$

$$\Psi_{\text{KB-Einzonenbilanz}} = \frac{\text{KB} - \text{Simulation}}{\text{KB-Einzonenbilanz}}$$

$$\Psi_{\text{KB-Mehrzonenbilanz}} = \frac{\text{KB} - \text{Simulation}}{\text{KB-Mehrzonenbilanz}}$$

$\Psi_{\text{HWB-Einzonenbilanz}}$  Teilsicherheitsbeiwert für den Heizwärmebedarf der Einzonenbilanz

---

$\Psi$ HWB-Mehrzonenzbilanz	Teilsicherheitsbeiwert für den Heizwärmebedarf der Mehrzonenzbilanz
$\Psi$ KB-Einzonenzbilanz	Teilsicherheitsbeiwert für den Kühlbedarf der Einzonenzbilanz
$\Psi$ KB-Mehrzonenzbilanz	Teilsicherheitsbeiwert für den Kühlbedarf der Mehrzonenzbilanz
HWB - Simulation	Ergebnis der Simulationsrechnung für den Heizwärmebedarf in Kilowattstunden je Quadratmeter und Jahr
HWB - Einzonenzbilanz	Ergebnis der Einzonenzbilanzberechnung für den Heizwärmebedarf in Kilowattstunden je Quadratmeter und Jahr
HWB - Mehrzonenzbilanz	Ergebnis der Mehrzonenzbilanzberechnung für den Heizwärmebedarf in Kilowattstunden je Quadratmeter und Jahr
KB - Simulation	Ergebnis der Simulationsrechnung für den Kühlbedarf in Kilowattstunden je Quadratmeter und Jahr
KB - Einzonenzbilanz	Ergebnis der Einzonenzbilanzberechnung für den Kühlbedarf in Kilowattstunden je Quadratmeter und Jahr
KB - Mehrzonenzbilanz	Ergebnis der Mehrzonenzbilanzberechnung für den Kühlbedarf in Kilowattstunden je Quadratmeter und Jahr

Durch diese vergleichende Festlegung von Simulationsergebnis und Bilanzrechnung für die Teilsicherheitsbeiwerte können die Faktoren mit dem gewählten Büromodell quantifiziert werden. Für die durchgeführten Variationen ergibt sich eine Fülle von Faktoren auf die im Folgenden näher eingegangen wird.

### **9.8.1 Wahl der Darstellung der Ergebnisse für den Teilsicherheitsbeiwert**

Bei der Wahl der Darstellung der Teilsicherheitsbeiwerte für die Bilanzrechnung wird nun eine andere Darstellungsmethodik gewählt. Im Gegensatz zum Vorgegangenen

wird der Teilsicherheitsfaktor auf den Energiebedarf bezogen, da kein eindeutiger Zusammenhang des Faktors zu den Größen Tau oder Gamma ableitbar ist. In den folgenden Abbildungen ist das Fehlen dieses Zusammenhangs dargestellt. Die vereinfachte Untersuchung des Verfahrens, wie in Anhang 5 dieser Arbeit angefügt, ergab dabei noch abweichende Resultate. Die Festlegung des Korrekturfaktors für den Kühlbedarf die in die [OEN07\_02] aufgenommen wurde, gibt die Korrektur in Abhängigkeit von Tau an. In den folgenden Abbildungen sind die Ergebnisse aus der Summe der systematischen Variation, wie in Kapitel 9.6 beschrieben, dargestellt. Für den Kühlbedarf ergeben sich dabei mehr Teilsicherheitsbeiwerte als für den Heizwärmebedarf. Wie aus der Tabelle 9-2 zu erkennen ist, wurden für die Berechnung des Kühlbedarfs mehr Nutzungen angesetzt als für den Heizwärmebedarf. Stellt man die ermittelten Teilsicherheitsfaktoren für die Einzonenbilanz Tau gegenüber, erhält man folgende Abbildung.

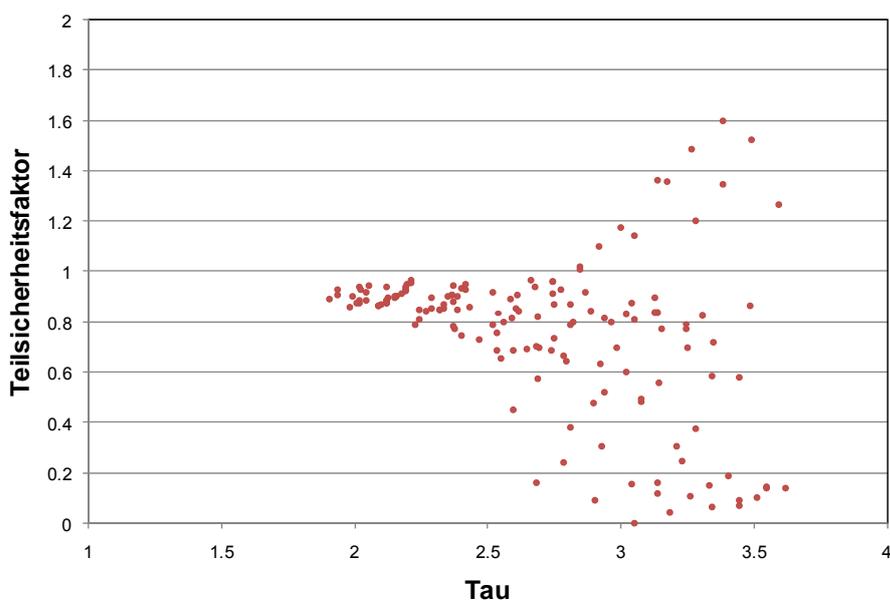


Abbildung 9-14 – Summe der Teilsicherheitsfaktoren zu Tau dargestellt für die Einzonenbilanz und den Heizwärmebedarf

Für die Einzonenbilanz könnte man bei dem Heizwärmebedarf eine Abhängigkeit von Tau aus der Abbildung 9-14 – Summe der Teilsicherheitsfaktoren zu Tau dargestellt für die Einzonenbilanz und den Heizwärmebedarf, ablesen. In den meisten der berechneten Fälle überschätzt die Einzonenbilanz den auftretenden Energiebedarf für das Heizen. Eine Nutzungsvariante unterschätzt den tatsächlich auftretenden Heizwärmebedarf um mehr als 50 Prozent. Es ergibt sich dabei ein maximaler

Teilsicherheitsbeiwert von 1.60, dieser hohe Wert fällt bei der Festlegung der Teilsicherheitsfaktoren weg, da die technische Realisierbarkeit bei der Quantifizierung der Faktoren einfließt. Stellt man die Summe der für die Einzonenbilanz ermittelten Faktoren für den Heizwärmebedarf dem Parameter Gamma gegenüber, erhält man folgende Abbildung.

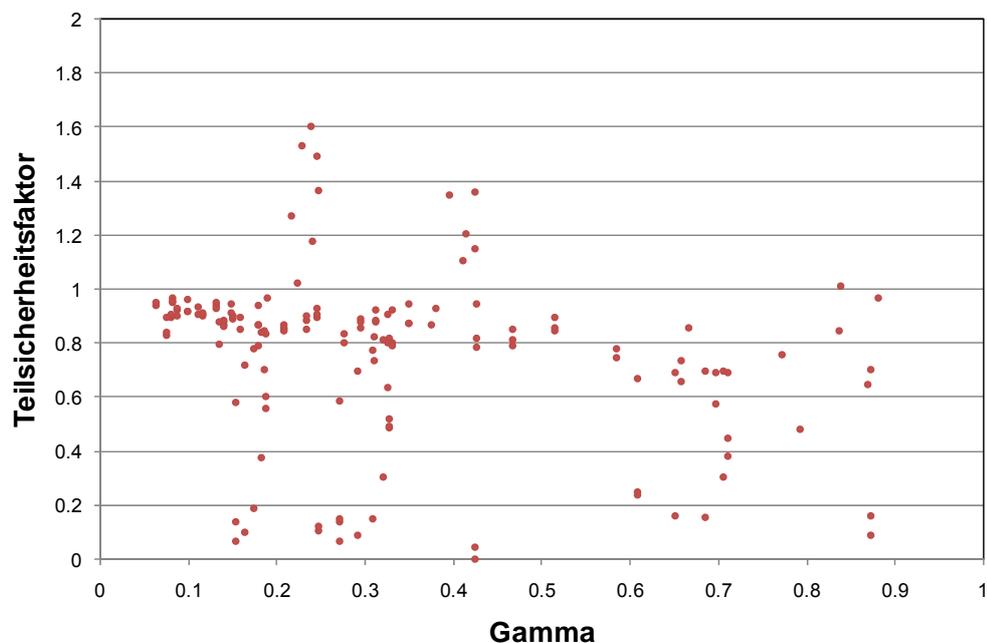


Abbildung 9-15 - Summe der Teilsicherheitsfaktoren zu Gamma dargestellt für die Einzonenbilanz und den Heizwärmebedarf

Von dem Parameter Gamma ist eindeutig der Fensteranteil des gewählten Modells bestimmbar. Ein Zusammenhang von dem Fensteranteil zum Teilsicherheitsfaktor ist aus der Abbildung 9-15 nicht zu erkennen. Würden man die beiden letzten Abbildungen zusammenfassen könnte man auf die in [STR08] gewählte Darstellung, als eine dreidimensionale Ergebnisdarstellung, zurückgreifen. Diese Art der Darstellung wird im Folgenden nicht erwähnt, da die Größe der Energiekennzahl für den Teilsicherheitsbeiwert bestimmend ist, siehe Abbildung 9-18.

Für den Kühlbedarf ergibt sich bei der Einzonenbilanz ein völlig undefinierter Zusammenhang zwischen der Größe Tau und dem Teilsicherheitsbeiwert, wie man aus der folgenden Abbildung ablesen kann.

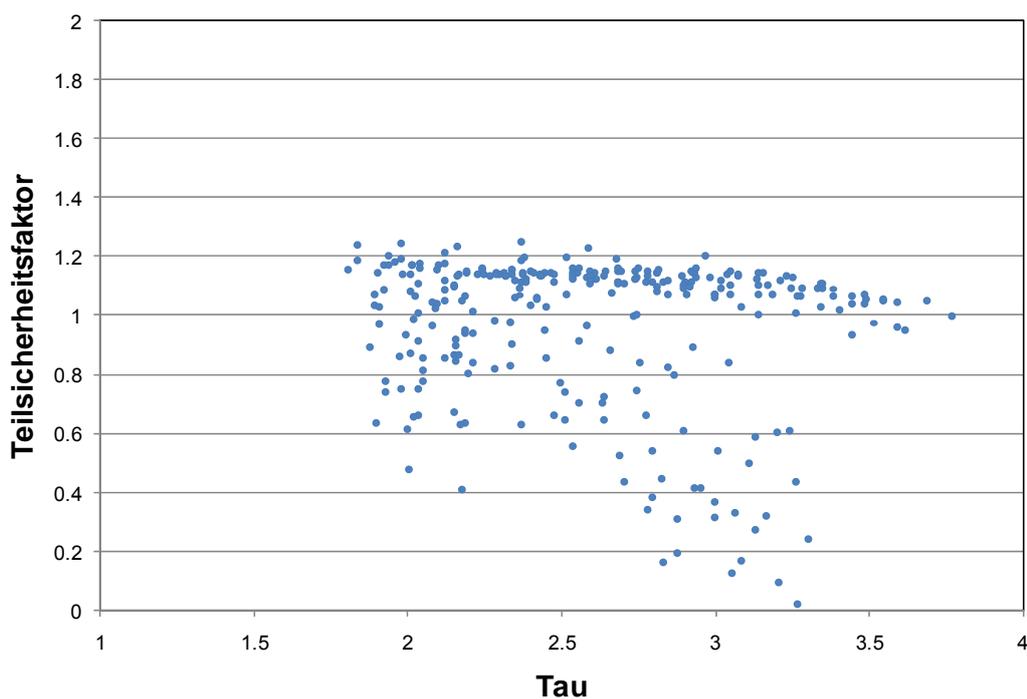


Abbildung 9-16 – Summe der Teilsicherheitsfaktoren zu Tau dargestellt für die Einzonenbilanz und den Kühlbedarf

Beim Kühlbedarf ist eine Abhängigkeit von Tau und dem Teilsicherheitsbeiwert nicht mehr gegeben, im Gegensatz zum Heizwärmebedarf, dabei steigt mit größer werdender Gebäudezeitkonstanten die Rechenungenauigkeit. Lediglich ein leichter Abfall der Ungenauigkeiten mit größer werdendem Tau ist für den Kühlbedarf zu erkennen.

Für den Parameter Gamma ist der Zusammenhang zum Teilsicherheitsbeiwert für den Kühlbedarf in der folgenden Darstellung abgebildet.

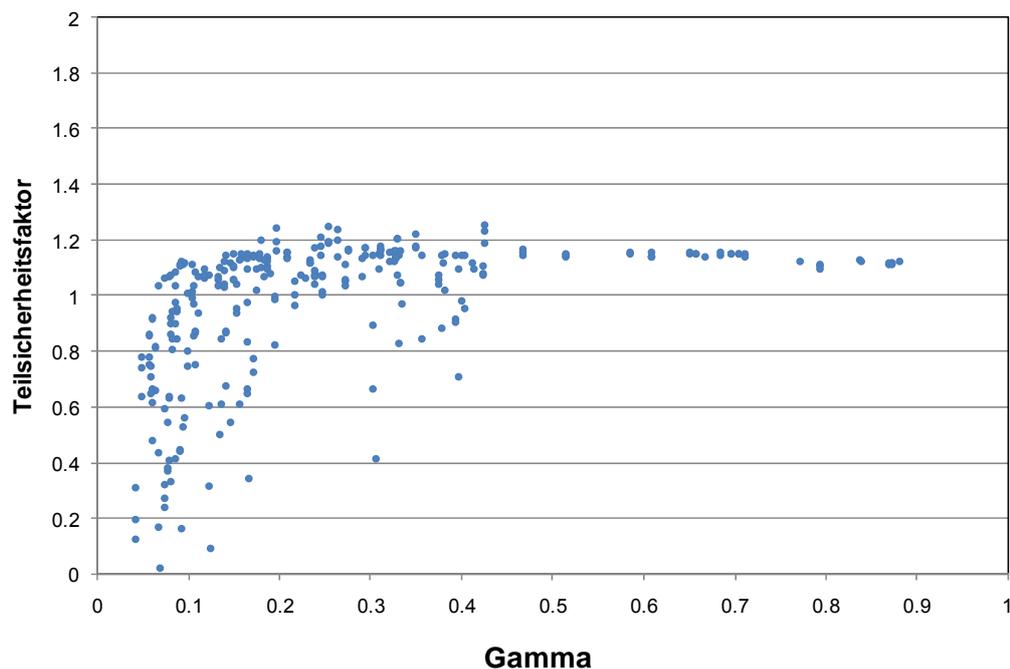


Abbildung 9-17 – Summe der Teilsicherheitsfaktoren zu Gamma dargestellt für die Einzonbilanz und den Kühlbedarf

Hierbei erscheint die Größe der Rechengenauigkeit des vereinfachten Verfahrens völlig unabhängig von der Größe von Gamma, also im Wesentlichen vom Fensteranteil des Gebäudemodells, zu sein.

Aus der Summe der Teilsicherheitsfaktoren, wie sie aus den vorangegangenen Abbildungen ablesbar sind, lässt sich eine Erkenntnis ableiten. In dem Artikel [ANA07] wurde festgehalten, dass die Abweichungen des vereinfachten Rechenverfahrens zur Simulationsrechnung in den meisten Fällen kleiner eins sind, das heißt der tatsächlich auftretende Energiebedarf wird überschätzt. Betrachtet man die Rechengenauigkeit bei dem Kühlbedarf, so ist diese Aussage nicht bestätigt. Die Fälle, in denen der mit der Simulationsrechnung ermittelte Kühlbedarf unterschätzt wird, betragen über 65 Prozent.

### 9.8.2 Summe der Faktoren für den Heizwärme- und Kühlbedarf

Die Abhängigkeit des Teilsicherheitsbeiwerts von den Gebäudeparametern Tau und Gamma lässt eine konkrete Definition eines Kriteriums für die Bestimmung des Faktors nicht zu. Bezieht man aber den Teilsicherheitsbeiwert auf die Energiekennzahlen, also den Heizwärmebedarf und Kühlbedarf, erhält man folgende Abbildungen.

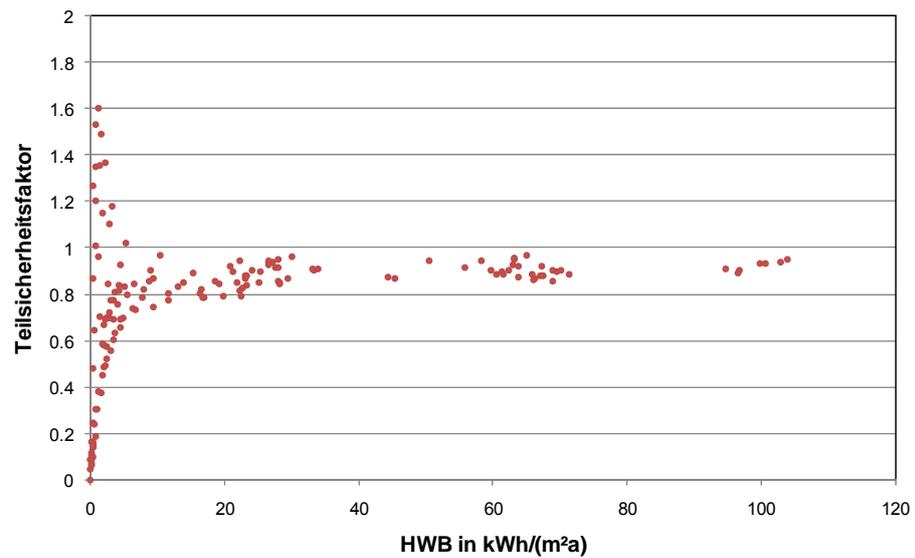


Abbildung 9-18 – Summe der Teilsicherheitsfaktoren für die Einzonenbilanz für den Heizwärmebedarf

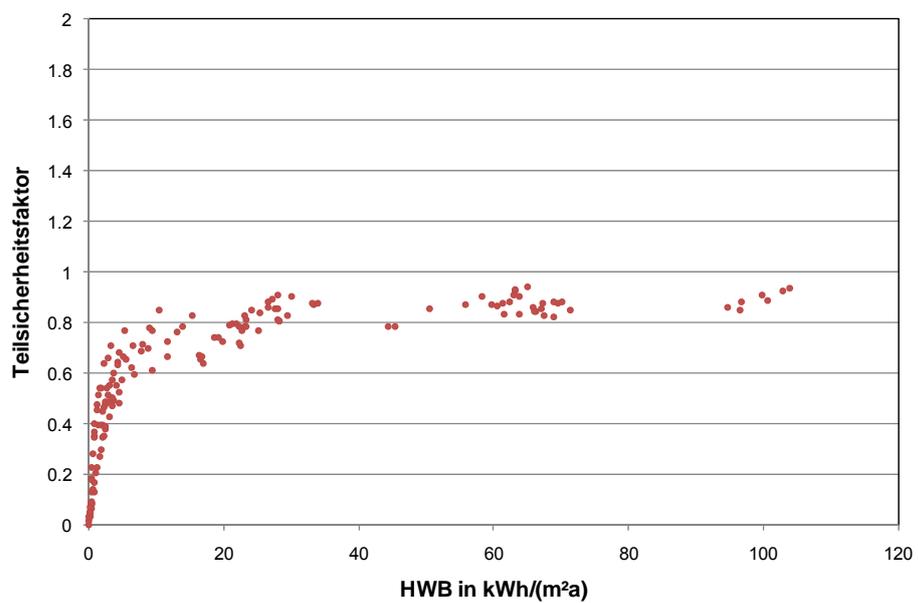


Abbildung 9-19 – Summe der Teilsicherheitsfaktoren für die Mehrzonenbilanz für den Heizwärmebedarf

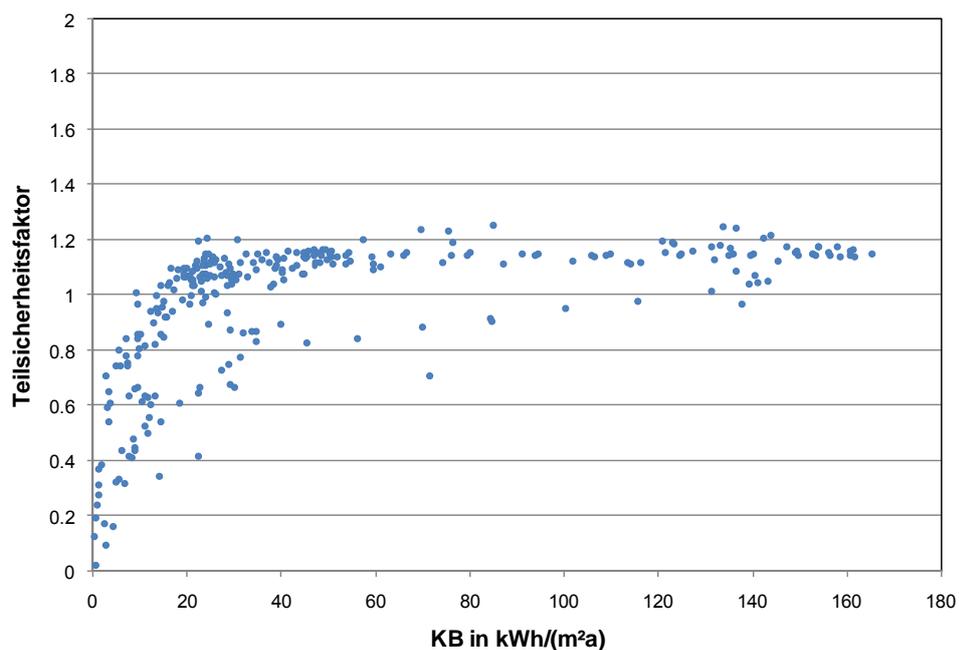


Abbildung 9-20 – Summe der Teilsicherheitsfaktoren für die Einzonenbilanz für den Kühlbedarf

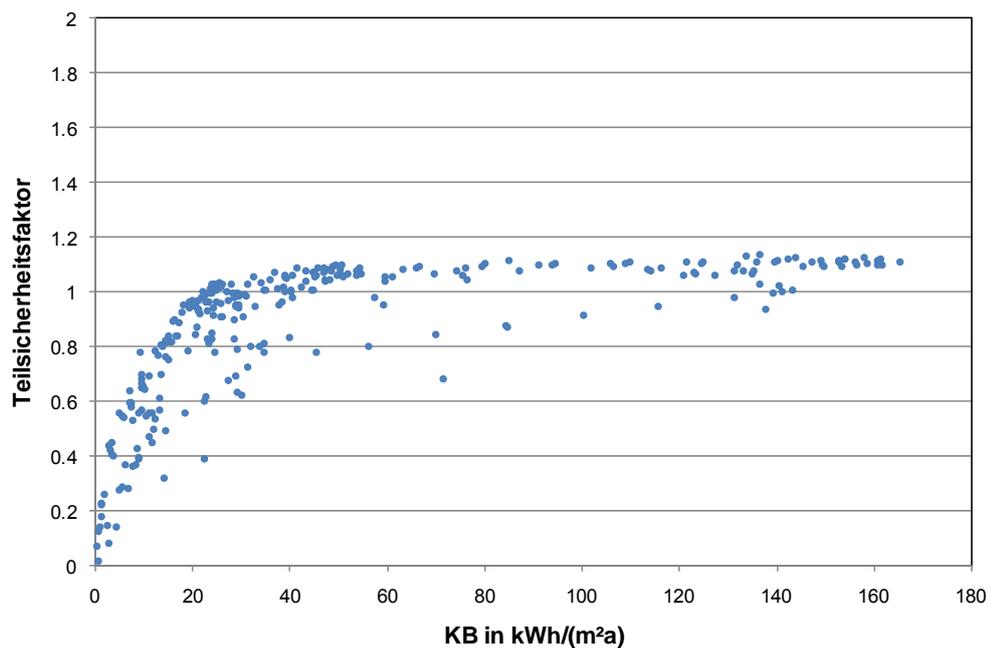


Abbildung 9-21 - Summe der Teilsicherheitsfaktoren für die Mehrzonenbilanz für den Kühlbedarf

Für den Heizwärmebedarf ergeben sich bei der Einzonenbilanz nur bei sehr kleinen Werten für den Energiebedarf Faktoren die größer als eins sind. Da der Trend derzeit

zu Gebäuden mit niedrigem Energieverbrauch geht, ist von der Anwendung der Einzonenbilanz bei Niedrigenergiehäusern abzuraten. Bei größeren Werten für den Heizwärmebedarf sinkt die Rechenungenauigkeit derart, dass die Bilanzrechnung die Simulationsrechnung stets überschätzt. Für die Mehrzonenbilanz erscheint eine Korrektur für das Heizen nicht notwendig, da die Teilsicherheitsbeiwerte immer kleiner als eins sind.

Für den Kühlbedarf ist ein umgekehrter Trend zu erkennen, je größer der Kühlbedarf wird, desto größer ist die Rechenungenauigkeit, wenn man die Teilsicherheitsfaktoren von Null kWh/(m<sup>2</sup>a) bis 40 kWh/(m<sup>2</sup>a) betrachtet. Für das Wiener Klima und das gewählte Gebäudemodell ist dieser Bereich der Energiebedarfswerte am interessantesten. Bei der Mehrzonenbilanz steigt die Rechenungenauigkeit über eins, sofern Kühlbedarfswerte größer als 20 kWh/(m<sup>2</sup>a) auftreten. Bei der Anwendung der vereinfachten Methode ist bei größeren Energiebedarfswerten für das Kühlen mit Ungenauigkeiten von bis zu 20 Prozent zu rechnen.

### **9.8.3 Ausschlusskriterium für die Sicherheitsfaktoren**

Für die Festsetzung der Faktoren wurden einige der berechneten Fälle jedoch nicht berücksichtigt. Deutlich wird das Ausschlusskriterium, wenn man Heizlast und Heizwärmebedarf gegenüberstellt, bzw. Kühllast und Kühlbedarf, wie in den nächsten beiden Grafiken dargestellt.

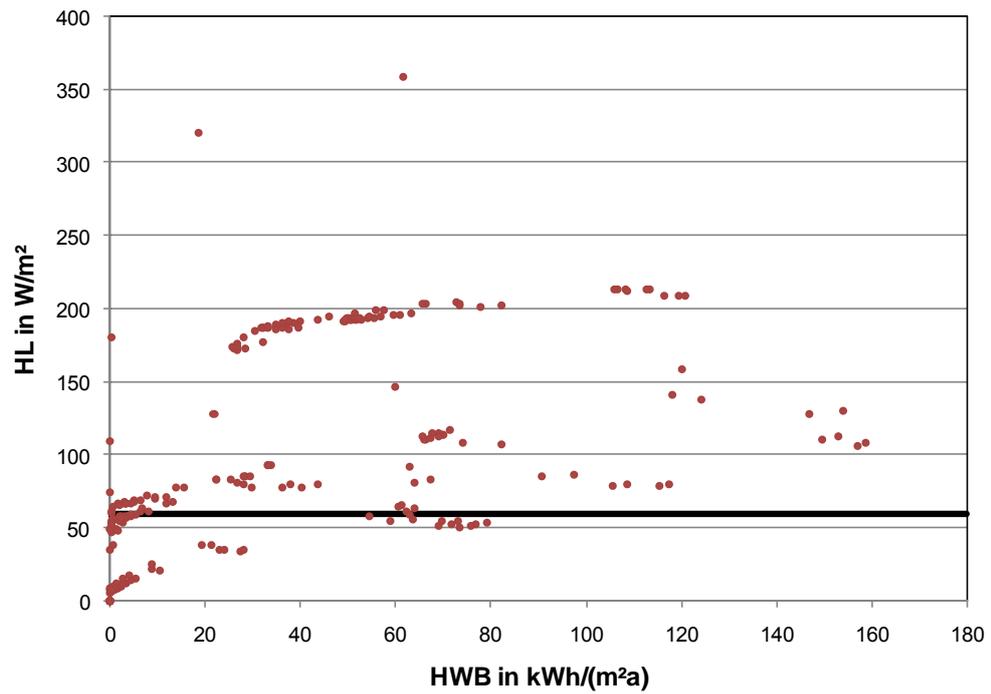


Abbildung 9-22 – Maximale Raumheizlasten bezogen auf den Heizwärmebedarf

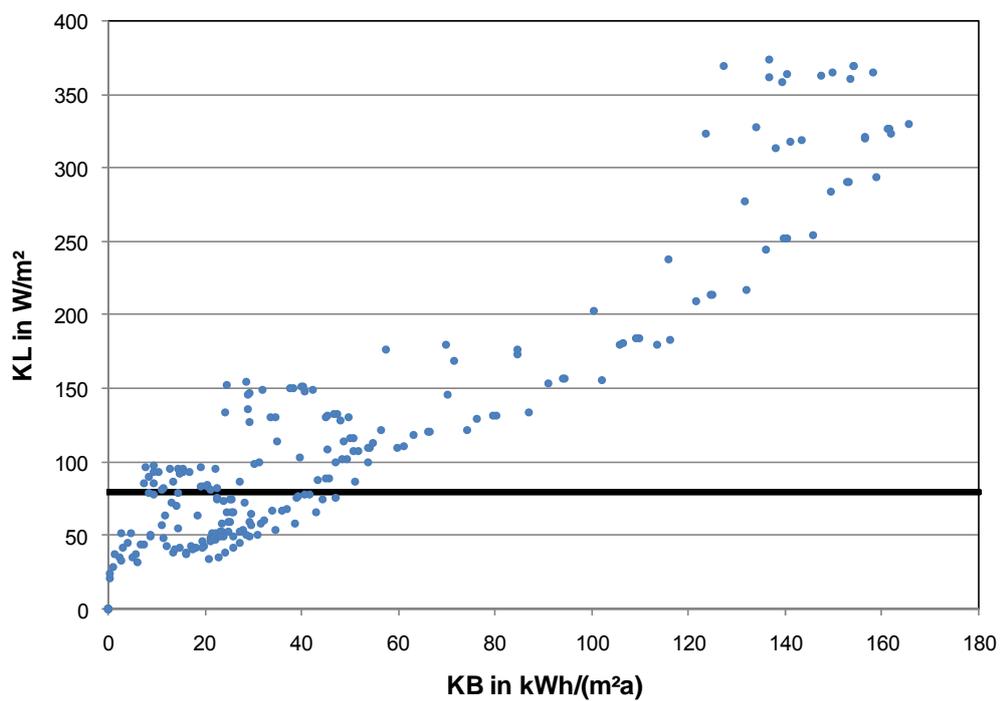


Abbildung 9-23 - Maximale Raumkühllasten bezogen auf den Kühlbedarf

Die beiden Darstellungen machen sofort deutlich, dass durch die Materialparameter- und Nutzungsvariationen Fälle mit sehr hohen Energiebedarfswerten erzeugt wurden. In den letzten Jahren sind Gebäude nur dann durch die Behörde genehmigungsfähig, wenn sie entsprechend kleine Energieverbrauchswerte aufweisen. Völlig abgesehen davon, gibt es sowohl beim Heizen als auch beim Kühlen eine technische Grenze der Realisierbarkeit, die durch die Heiz- bzw. Kühllast gegeben ist. Somit wurden Fälle mit einer Heizlast über 60 Watt pro m<sup>2</sup> und Fälle mit Kühllasten über 80 Watt pro m<sup>2</sup> ausgeschlossen. Dieses Ausschlusskriterium ist für die Bestimmung eines Teilsicherheitsbeiwertes für das vereinfachte Berechnungsverfahren in der praktischen Anwendung notwendig. Es sei aber darauf hingewiesen, dass bei der Anwendung des Verfahrens für bestehende Gebäude mit sehr hohen Raumheiz- und Raumkühllasten die Ungenauigkeit noch größer werden kann, als sie durch den Korrekturfaktor berücksichtigt wird. Besonders bei Sanierungsmaßnahmen wird sehr oft der Vergleich zwischen der Bestandssituation, meist Gebäude mit schlechter thermischer Qualität und einer sanierten Situation gezogen. In diesen Vergleichsfällen sollte man sich der Ungenauigkeit des Rechenverfahrens bewusst werden und auf eine mehrzonale Betrachtung des Gebäudes zurückgreifen, damit die Abweichungen gering gehalten werden.

Wendet man das Ausschlusskriterium für die ermittelten Sicherheitsfaktoren, ergeben sich die folgenden Diagramme für den Heizwärme- und Kühlbedarf.

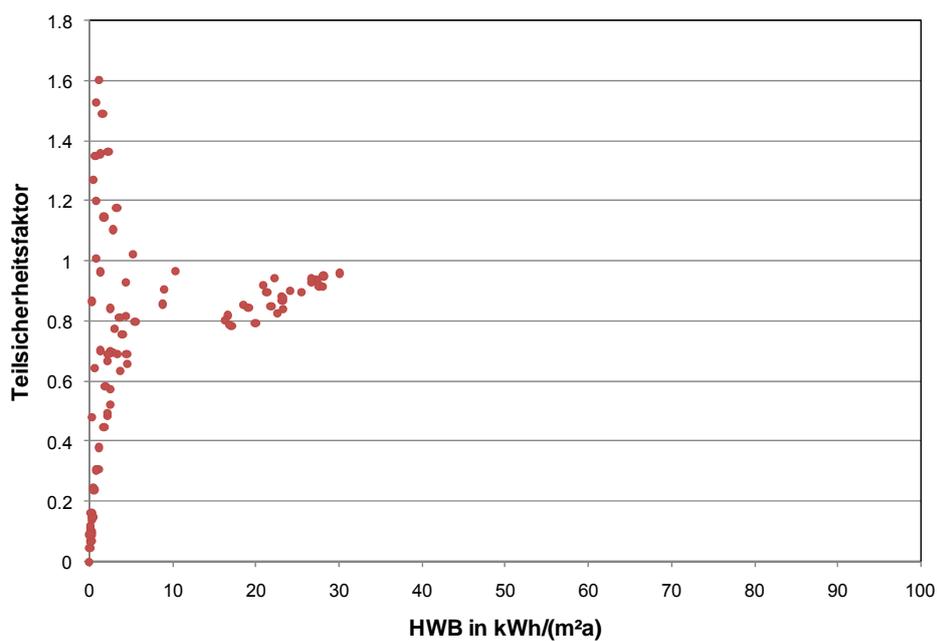


Abbildung 9-24 – Teilsicherheitsfaktoren für die Einzonenbilanz für den Heizwärmebedarf ohne Heizlasten über  $60 \text{ W/m}^2$

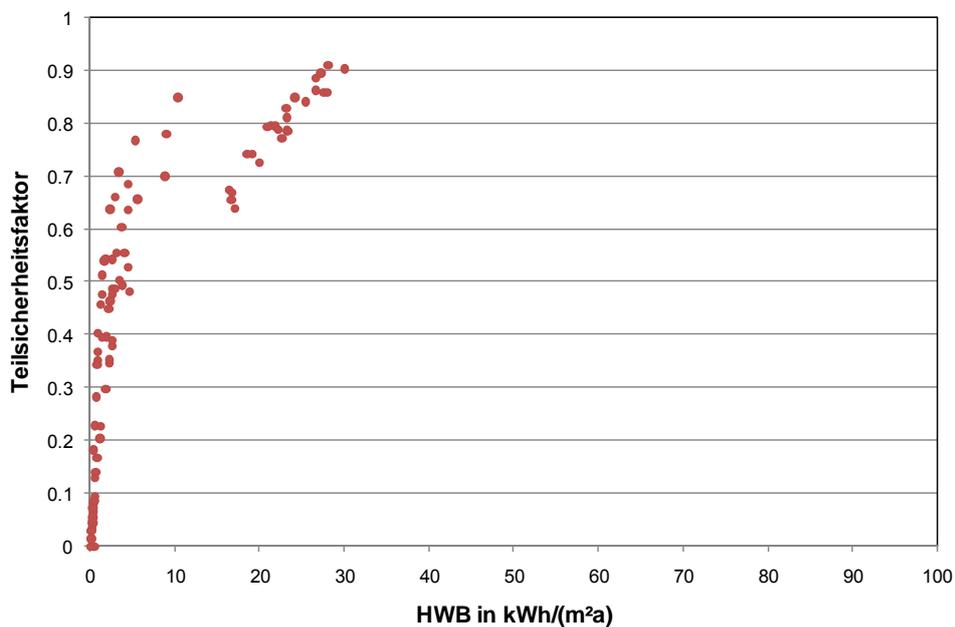


Abbildung 9-25 - Teilsicherheitsfaktoren für die Mehrzonenbilanz für den Heizwärmebedarf ohne Heizlasten über  $60 \text{ W/m}^2$

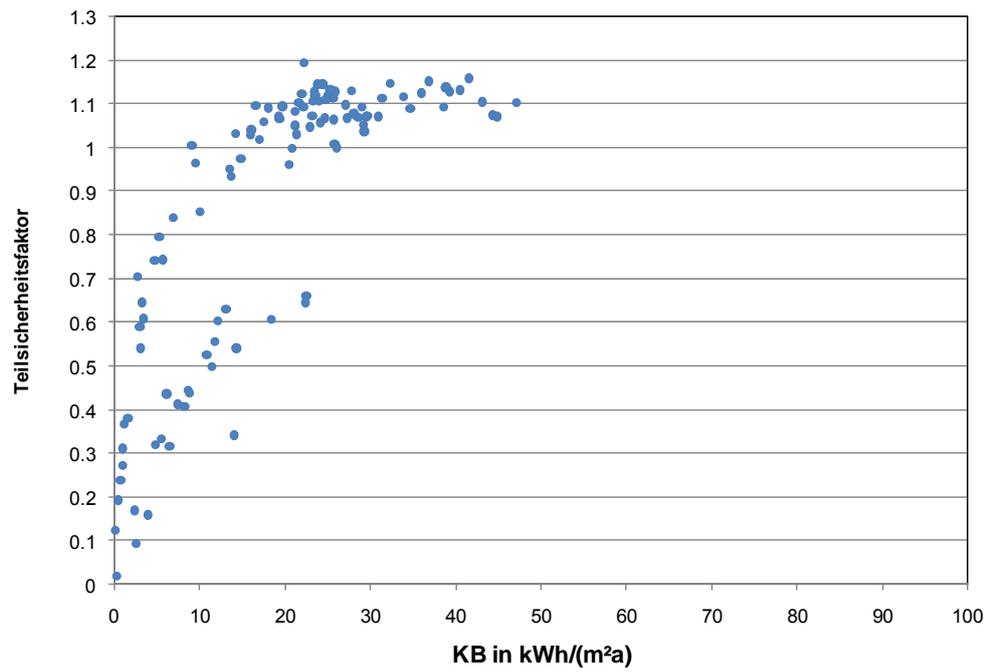


Abbildung 9-26 - Teilsicherheitsfaktoren für die Einzonenbilanz für den Kühlbedarf ohne Kühllasten über  $80 \text{ W/m}^2$

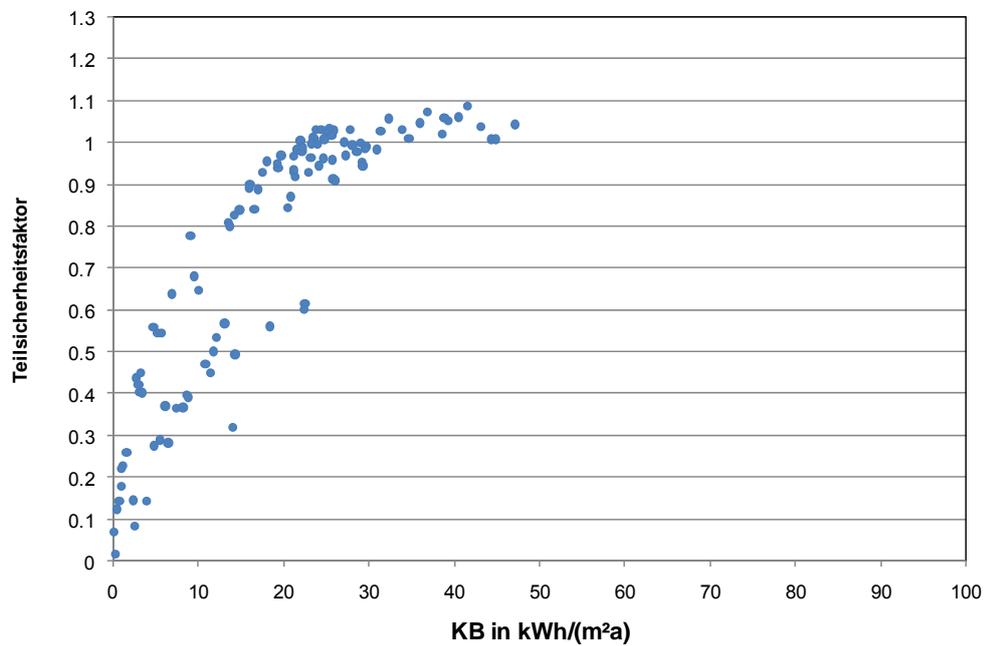


Abbildung 9-27 - Teilsicherheitsfaktoren für die Mehrzonenbilanz für den Kühlbedarf ohne Kühllasten über  $80 \text{ W/m}^2$

Die vier vorangegangenen Abbildungen lassen eine Quantifizierung des Teilsicherheitsbeiwertes zu, um die ermittelten Rechenabweichungen zu korrigieren. Das Ausschlusskriterium war für die Bestimmung des Teilsicherheitsbeiwertes für die praktische Anwendung herangezogen worden. Aber nicht nur die technische Realisierbarkeit ist von Interesse, sondern auch welche Nutzungsszenarien die größten Rechenungenauigkeiten erzeugen, ist für den Umgang mit dem Verfahren wissenswert. Deshalb wird im nächsten Kapitel auf die einzelnen Nutzungsszenarien detaillierter eingegangen, um zu verdeutlichen welche Nutzungsszenarien welche Abweichungen hervorrufen.

## 9.9 Teilsicherheitsbeiwerte für die verschiedenen Nutzungen

In den folgenden Kapiteln wird auf die verschiedenen Nutzungen in der Weise eingegangen, dass für alle untersuchten Varianten die Teilsicherheitsbeiwerte, die die Rechenabweichungen des vereinfachten Verfahrens darstellen, separat angegeben werden. Es werden für die Einzonenbilanz und die Mehrzonenbilanz die Teilsicherheitsbeiwerte getrennt abgebildet. Das definierte Ausschlusskriterium bezüglich Raumheiz- und Raumkühllast ist dabei weiterhin berücksichtigt, die Teilsicherheitsbeiwerte sind aber partiell auch ohne Ausschlusskriterium zum besseren Verständnis angegeben.

### 9.9.1 Teilsicherheitsbeiwerte für den Heizwärmebedarf

Stellt man die Rechenabweichung für die drei verschiedenen Nutzungsvarianten, für die der Sicherheitsfaktor für den Heizwärmebedarf ermittelt wurde dar, dann erkennt man sofort welche Nutzung die Faktoren für sehr kleine Energiebedarfswerte größer eins werden lässt. Da sich bei der Mehrzonenbilanz keine Faktoren größer als eins ergeben, werden die Faktoren nur für die Einzonenbilanz dargestellt.

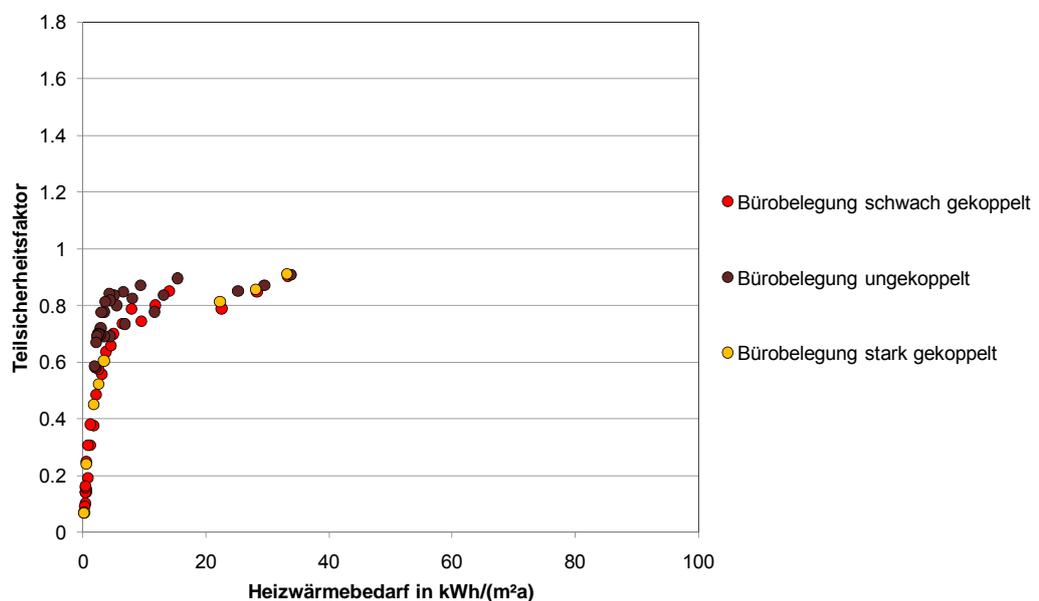


Abbildung 9-28 – Teilsicherheitsbeiwerte der Einzonenbilanz für den Heizwärmebedarf und für die Bürobelegung

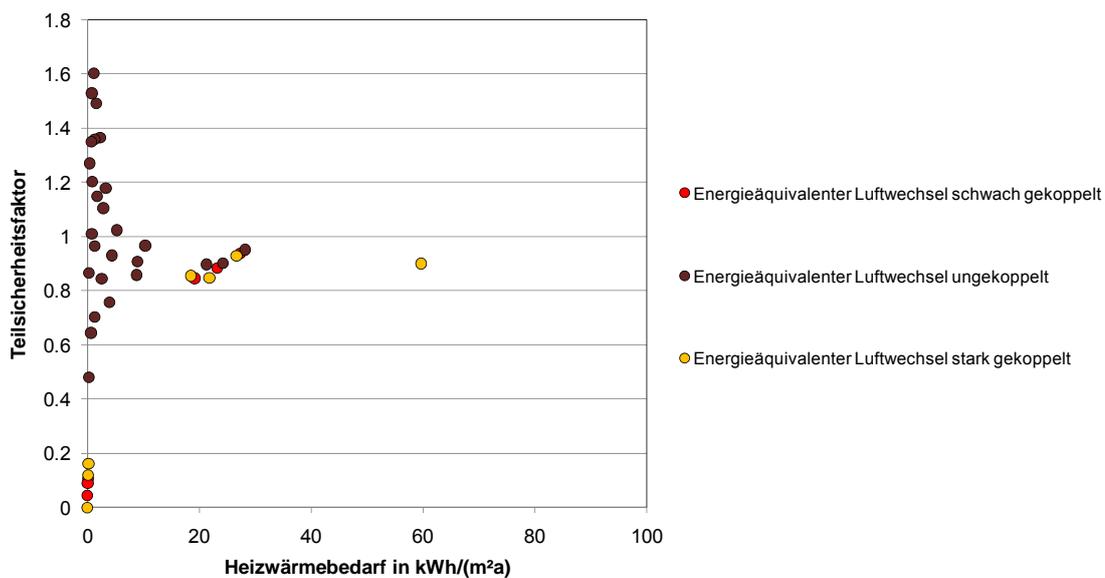


Abbildung 9-29 - Teilsicherheitsbeiwerte der Einzonenbilanz für den Heizwärmebedarf und für die Nutzung mit energieäquivalenten Luftwechsel

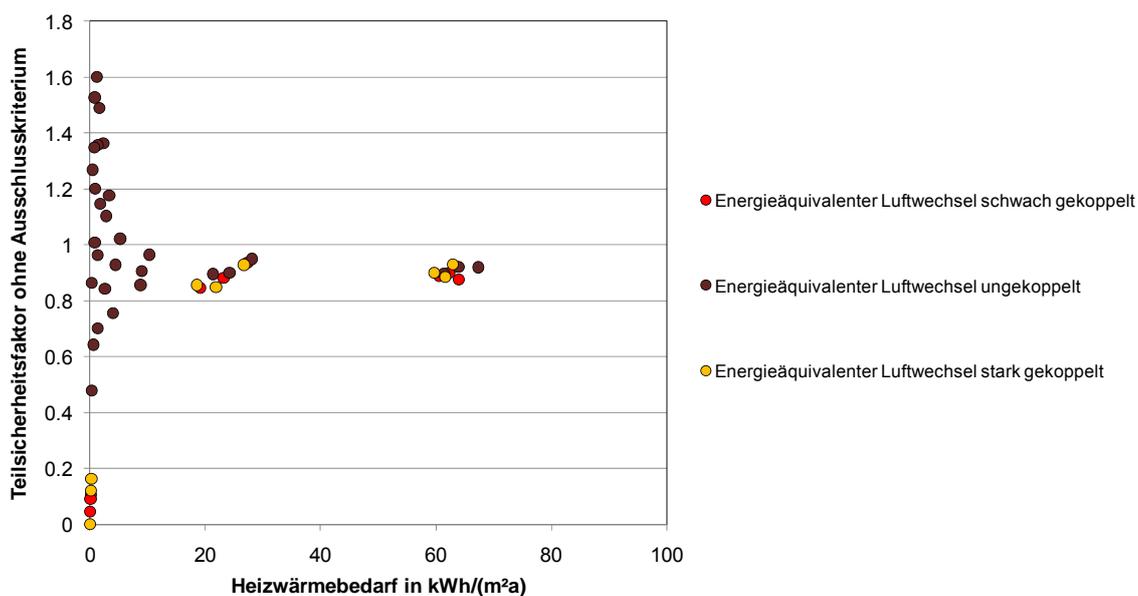


Abbildung 9-30 - Teilsicherheitsbeiwerte der Einzonenbilanz ohne Ausschlusskriterium für den Heizwärmebedarf und für die Nutzung mit energieäquivalentem Luftwechsel

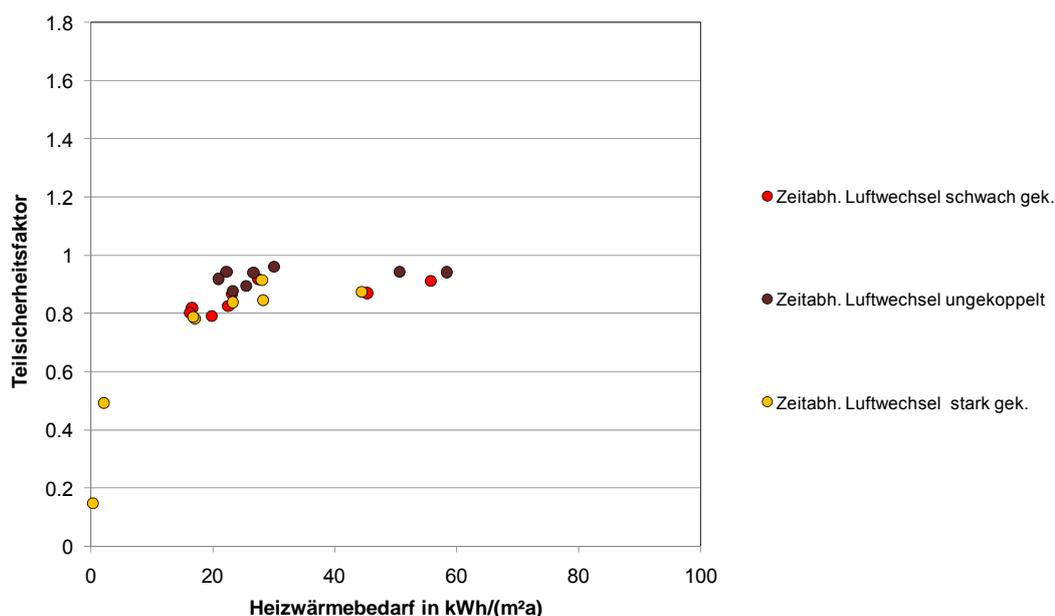


Abbildung 9-31 – Teilsicherheitsbeiwerte der Einzonenbilanz für den Heizwärmebedarf und für den zeitabhängigen konstanten Luftwechsel

Aus den vier vorherigen Abbildungen ist zu erkennen, dass die Nutzung mit Inneren Wärmelasten einer Bürobelegung und einem konstantem energieäquivalenten Luftwechsel einer Anlage, die größten Rechenungenauigkeiten hervorruft. Die Inneren Wärmelasten wurden für alle Nutzungsvarianten identisch der Bürobelegung entsprechend angesetzt. Allerdings ist die Ungenauigkeit dabei nicht in allen Fällen am größten, sondern nur wenn die Zonen des Gebäudemodells als ungekoppelt, das bedeutet ohne thermischen Austausch zwischen den Zonen, betrachtet werden. Sofern ein ungekoppeltes Gebäude mit sehr kleinen Energiebedarfswerten für das Heizen berechnet werden soll, ist vom Gebrauch der Einzonenbilanz abzuraten, da die Ungenauigkeit des Verfahrens zu groß ist. Die Abbildung 9-30 wurde deshalb mit aufgenommen um zu verdeutlichen, dass nur die ungekoppelten Gebäudemodelle Rechenungenauigkeiten über eins hervorrufen.

## 9.9.2 Teilsicherheitsbeiwerte für den Kühlbedarf

### 9.9.2.1 Bürobelegung

Die Bürobelegung wurde in dem Kapitel 9.5.1 dieser Arbeit hinsichtlich der Inneren Wärmelasten beschrieben. Dabei wurde von einem Bürobau ausgegangen der tagsüber von 18 Angestellten benützt wird und in der Nacht leersteht. Die Luftwechselzahlen wurden dabei so angesetzt, dass der hygienische Luftwechsel für die Belegung gewährleistet ist. Für die Standardbüronutzung, das bedeutet variierende Luftwechselzahlen über den Tag und unterschiedliche Inneren Wärmelasten für die Arbeitszeit und die Nacht, ergeben sich folgende Sicherheitsfaktoren.

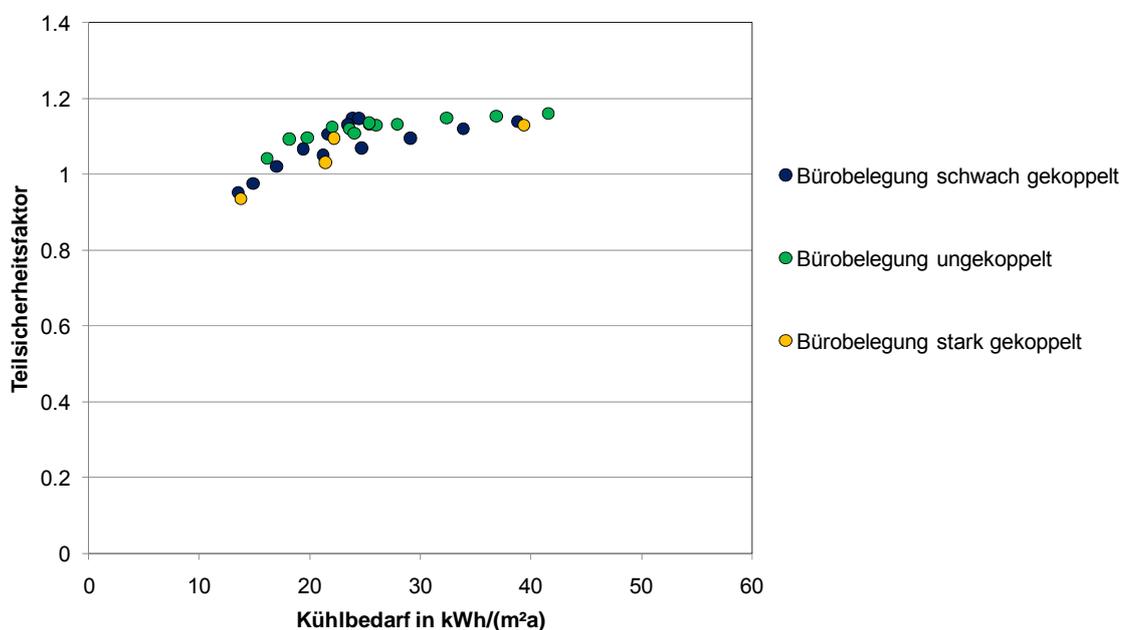


Abbildung 9-32 – Teilsicherheitsfaktoren für die Bürobelegung für die Einzonenbilanz und den Kühlbedarf

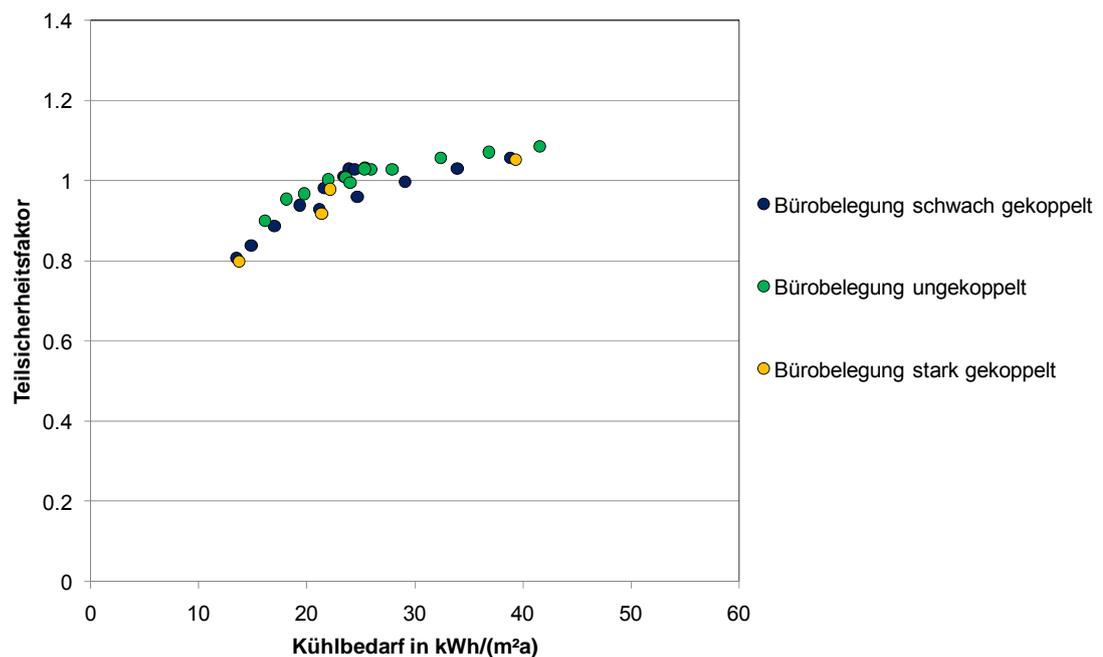


Abbildung 9-33 – Teilsicherheitsfaktoren für die Bürobelegung für die Mehrzonenbilanz und den Kühlbedarf

Bei sehr kleinen Energiebedarfswerten für das Kühlen wird der Teilsicherheitsbeiwert kleiner als eins und die Rechengenauigkeit des Bilanzverfahrens ist zufriedenstellend. Je größer Kühlbedarf wird, desto größer wird die Rechengenauigkeit. Der gegenständliche Fall stellt eine typische Büronutzung dar und es wurde versucht diese unterschiedlichen Nutzungen der Gebäudebereiche, die Büros, die Besprechungszimmer, die Kantine und die Gänge mit dem vereinfachten Verfahren nach [ISO07] abzubilden. Die Rechengenauigkeit sollte bei dieser Vorgehensweise sehr groß sein, beziehungsweise sollte sie größer sein, als für den Fall vieler Vereinfachungen in der Nutzung. In den österreichischen Rechenvorschriften wird im Falle einer Büronutzung periodisch zwischen Sommer und Winter getrennt, beziehungsweise zwischen dem Heizfall und dem Kühlfall unterschieden. Die Inneren Wärmelasten und die Luftwechselzahlen sind im Falle einer Fensterlüftung konstant über den Tag und konstant über die Nacht, getrennt für Sommer- und Winterperiode, anzusetzen. Allerdings ist diese Nutzung allen Zonen auferlegt und nicht getrennt nach Nutzungsbereichen festgesetzt. Diese Vereinfachung stellt einen Ausgleich der unregelmäßigen Nutzung tagsüber der verschiedenen Nutzeinheiten dar. Der Ansatz, der in diesem Fall gewählt wurde, die genaue Wiedergabe der Nutzungsunregelmä-

ßigkeiten in der Simulationsrechnung, führt zu den ermittelten Ungenauigkeiten im Berechnungsverfahren. Die Abweichung übersteigt nie den Faktor 1.20, also 20 Prozent des ermittelt bilanzierten Energiebedarfs. Der Teilsicherheitsbeiwert für den Kühlbedarf würde in diesem untersuchten Fall mit 1.20 für die Einzonenbilanz und mit 1.15 für die Mehrzonenbilanz festgelegt werden können. Dann wäre sichergestellt, dass bei dem gewählten Gebäudemodell, bei der definierten Nutzung und für das Wiener Klima, die Unterschätzung des auftretenden Kühlbedarfs mit dem vereinfachten Verfahren nicht eintritt. Zur genauen Analyse der Ergebnisse werden nun die Teilsicherheitsbeiwerte für den Kühlbedarf ohne Ausschlusskriterium dargestellt, um die getroffenen Aussagen zu untermauern.

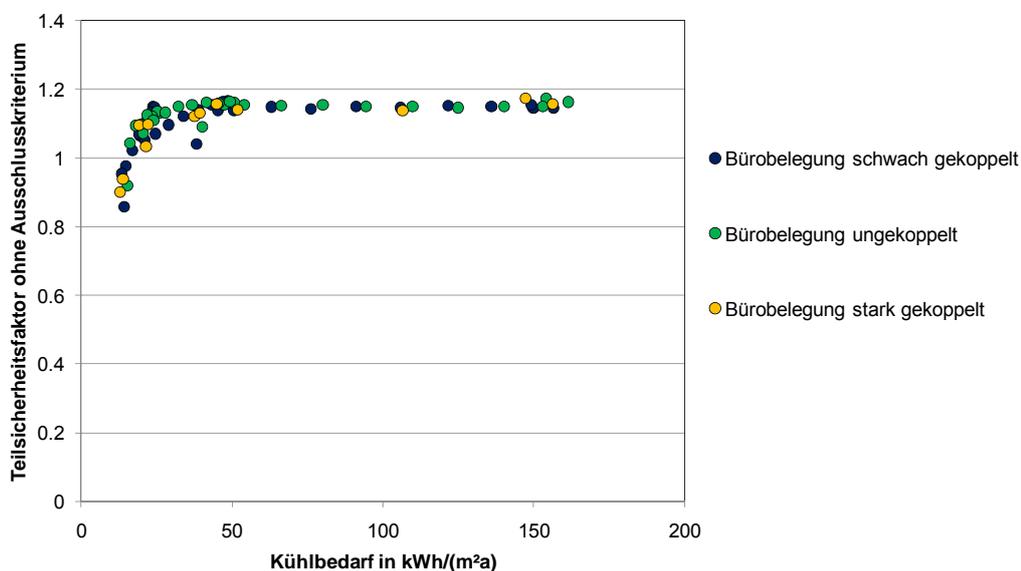


Abbildung 9-34 - Teilsicherheitsfaktoren für die Bürobelegung für die Einzonenbilanz ohne Ausschlusskriterium für den Kühlbedarf

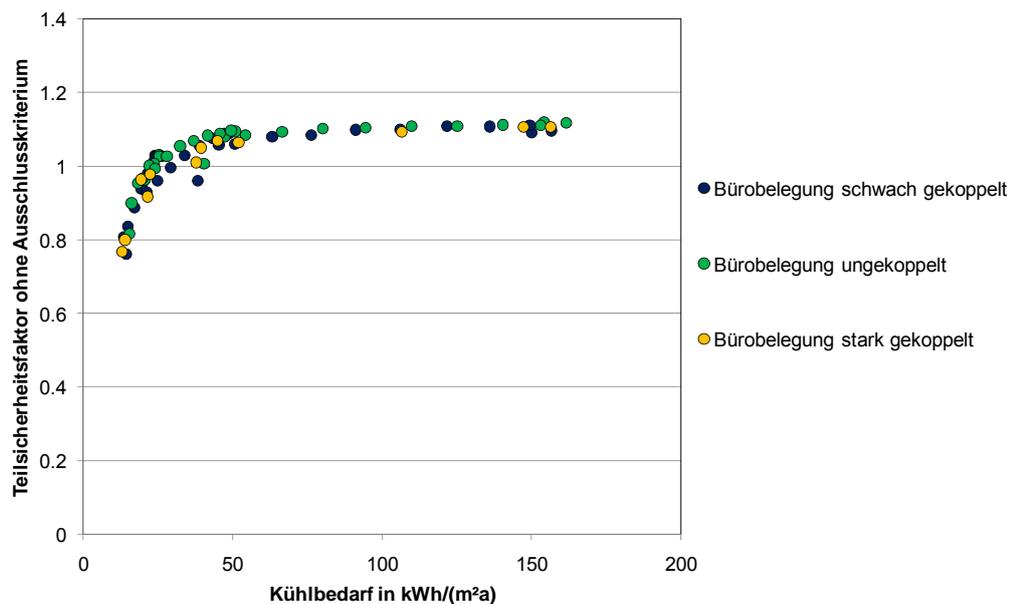


Abbildung 9-35 - Teilsicherheitsfaktoren für die Bürobelegung für die Mehrzonenbilanz ohne Ausschlusskriterium für den Kühlbedarf

Die Abbildung 9-34 und die Abbildung 9-35 bestätigen die angegebenen Obergrenzen der Rechenabweichungen des vereinfachten Verfahrens. In diesem untersuchten Fall der Nutzung des Gebäudemodells ist die Ungenauigkeit des Rechenverfahrens nicht von den Kopplungseigenschaften des Modells abhängig. Die detaillierte Betrachtung dieser Nutzungsvarianten mit Bürobelegung, lässt diese Aussage zu. Für die praktische Anwendung bedeutet das, dass bei der Büronutzung und einem fehlenden Nachtlüftungskonzept, durch schließen der Fenster über die Nacht, wie es durch Einbruchschutz gegeben sein kann, die Kopplungseigenschaften der Zonen untereinander keine Rolle spielen. Die Abweichungen der Einzonenbilanz sind dagegen größer als die der Mehrzonenbilanz, beide Verfahren weisen jedoch ungewünschte Abweichungen zu der Simulationsrechnung auf. Pauschale Faktoren können sowohl Einzonenbilanz als auch Mehrzonenbilanz korrigieren.

#### 9.9.2.2 Natürliches Nachtlüftungskonzept für den Gang und Nachtlüftungskonzept in allen Zonen

Im Gegensatz zur Nutzung mit Bürobelegung wurde nun für die Ermittlung des Kühlbedarfs ein zusätzliches natürliches Nachtlüftungskonzept für den Gang berücksichtigt. Eine Luftwechselzahl von fünf ist für die Gangzonen in den Nachtstunden für die Sommerzeit festgelegt worden. Die restlichen Nutzungsbereiche

sind mit der identischen Nutzung wie für die Bürobelegung ausgestattet. Zusätzlich wurde ein Nachtlüftungskonzept in allen Zonen angesetzt. Die Rechenungenauigkeiten, respektive die Teilsicherheitsbeiwerte, stellen sich wie in den beiden folgenden Abbildungen ersichtlich ein.

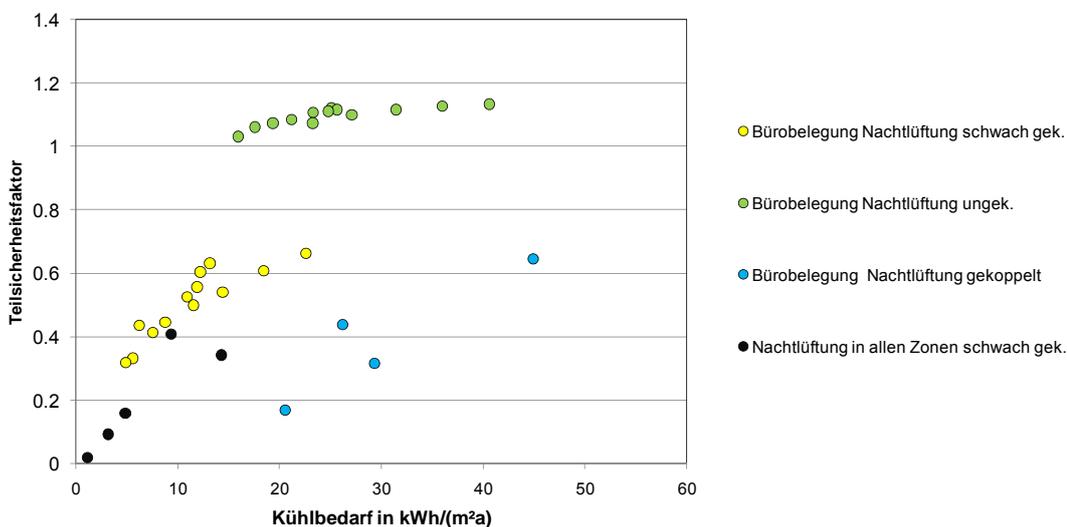


Abbildung 9-36 - Teilsicherheitsfaktoren für die Büronutzung mit Nachtlüftung für den Gang und in allen Zonen für die Einzonenbilanz und den Kühlbedarf

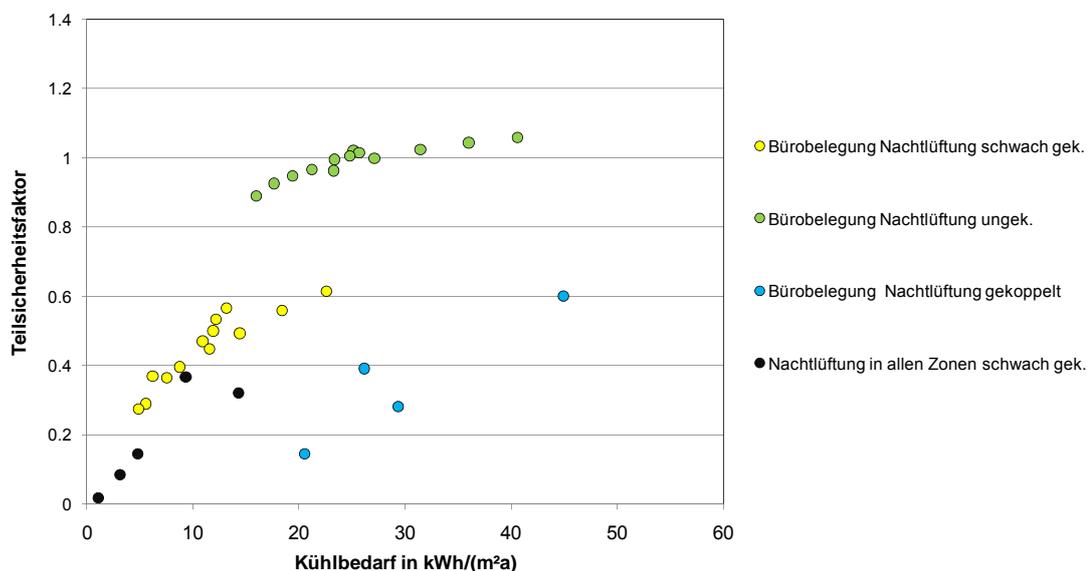


Abbildung 9-37 - Teilsicherheitsfaktoren für die Büronutzung mit Nachtlüftung am Gang und in allen Zonen für die Mehrzonenbilanz und den Kühlbedarf

Im Gegensatz zur Bürobelegung sind die Kopplungseigenschaften der Zonen für die Größe der Teilsicherheitsbeiwerte von entscheidender Bedeutung. Bei stark gekoppelten Modellen wird durch das vereinfachte Verfahren der tatsächlich auftretende Kühlbedarf grob überschätzt. Bei einem ungekoppelten Modell wird sowohl bei der einzonalen als auch bei der mehrzonalen Betrachtung des Gebäudemodells der Kühlbedarf unterschätzt. Für die Anwendung des vereinfachten Verfahrens ist die Unterschätzung des auftretenden Kühlbedarfs bei schlecht gekoppelten Gebäuden durch Teilsicherheitsbeiwerte zu verhindern, allerdings ist die grobe Überschätzung bei Gebäuden mit einem natürlichen Nachtlüftungskonzept und guten Kopplungseigenschaften nicht zu verhindern. In diesen Fällen ist von der Anwendung des vereinfachten Verfahrens Abstand zu nehmen. Die beiden folgenden Abbildungen stellen die Faktoren wieder ohne Ausschlusskriterium dar, um festzustellen ob weitere Unterschätzungen des Kühlbedarfs vorkommen.

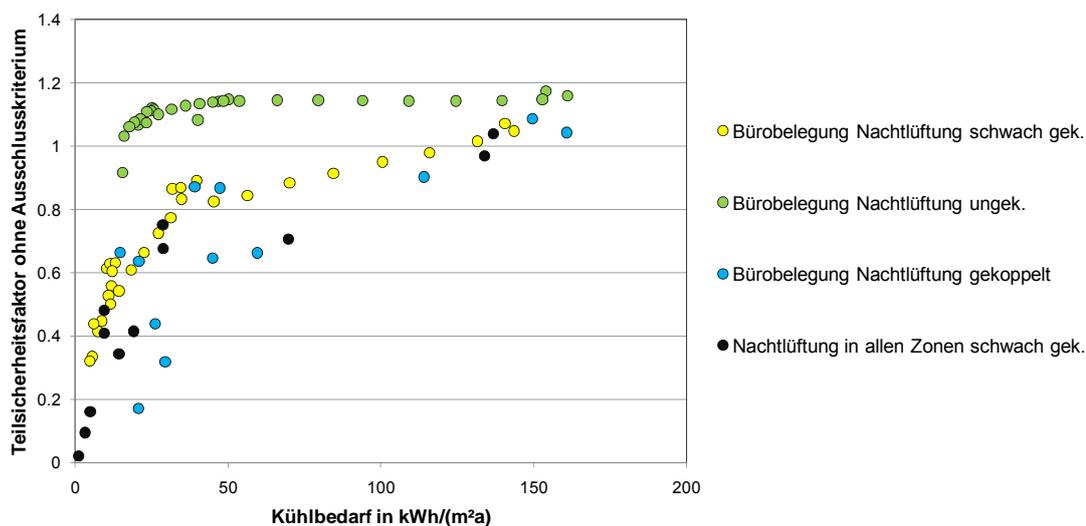


Abbildung 9-38 - Teilsicherheitsfaktoren für die Büronutzung mit Nachtlüftung für den Gang und in allen Zonen für die Einzonenbilanz und den Kühlbedarf ohne Ausschlusskriterium

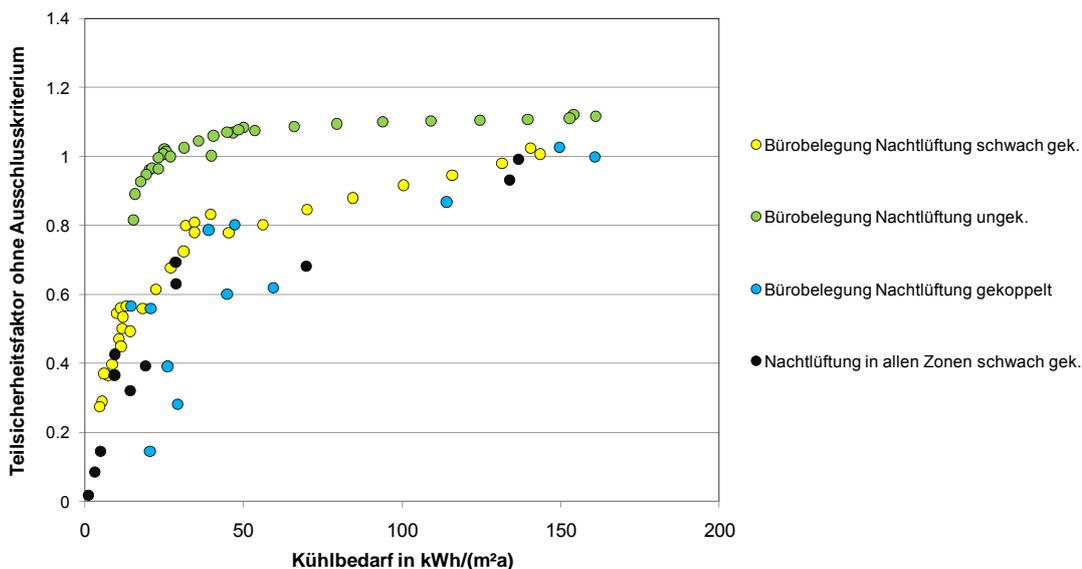


Abbildung 9-39 - Teilsicherheitsfaktoren für die Büronutzung mit Nachtlüftung für den Gang und in allen Zonen für die Mehrzonenbilanz und den Kühlbedarf ohne Ausschlusskriterium

Die Betrachtung aller ermittelten Teilsicherheitsbeiwerte bestätigt die Erkenntnis, dass bei Gebäuden mit einem Nachtlüftungskonzept in einem Nutzungsbereich und ungekoppelten Zonen das vereinfachte Verfahren den Kühlbedarf unterschätzt. Es treten dabei auch Rechengenauigkeiten größer als eins bei schwach gekoppelten und gekoppelten Gebäudemodellen auf aber erst bei einem Kühlbedarf von rund 150 kWh/(m²a). Für die praktische Anwendung sind diese Fälle nicht von Bedeutung.

### 9.9.2.3 Konstanter energieäquivalenter Luftwechsel einer Anlage mit Wärmetauscher

Eine Lüftungsanlage mit einem optimalen Wärmeaustausch kann die effektive Luftwechselrate für ein Gebäude sehr niedrig halten. Die Betrachtung des Kühlbedarfs für so einen Fall erscheint auf den ersten Blick nicht ganz klar. Im Hinblick auf die ÖNORM B 8110 Teil 1 [OEN08] ist für den Sommerfall entweder die ÖNORM B 8110 Teil 3 [OEN99] heranzuziehen oder es ist eine Anforderung an den außeninduzierten Kühlbedarf zu erfüllen. Bei der Ermittlung dieses Kühlbedarfs für Nichtwohngebäude ist nur der Infiltrationsluftwechsel anzusetzen. Die Rechengenauigkeit des Verfahrens soll also auch für diese Fälle überprüft werden. In den beiden folgenden Abbildungen sind die Ergebnisse für den Teilsicherheitsbeiwert dargestellt.

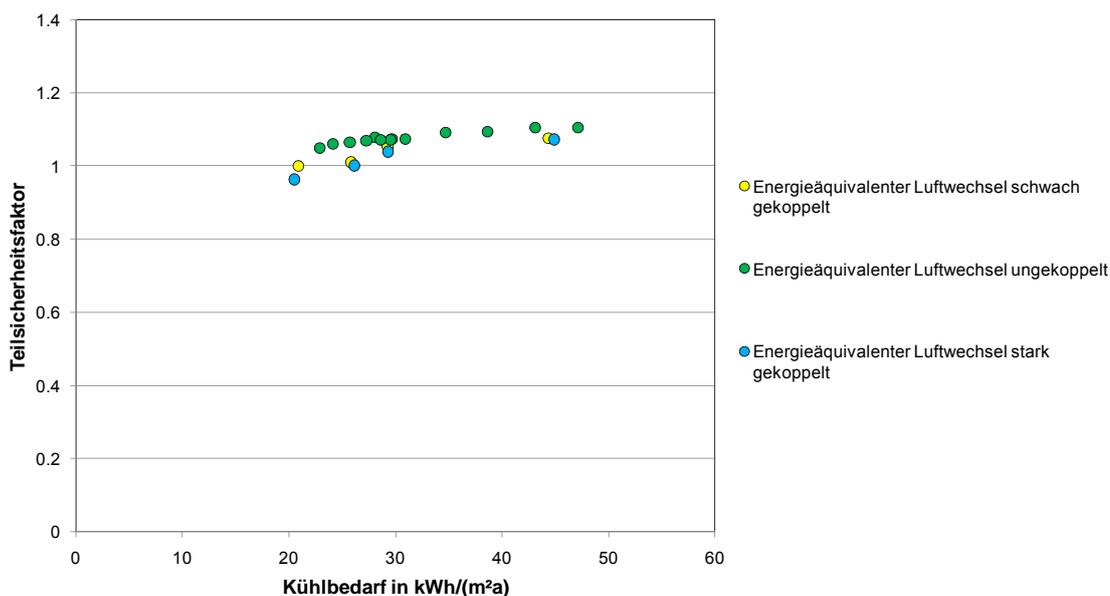


Abbildung 9-40 - Teilsicherheitsfaktoren für eine Lüftungsanlage mit Wärmetauscher für die Einzonenbilanz und den Kühlbedarf

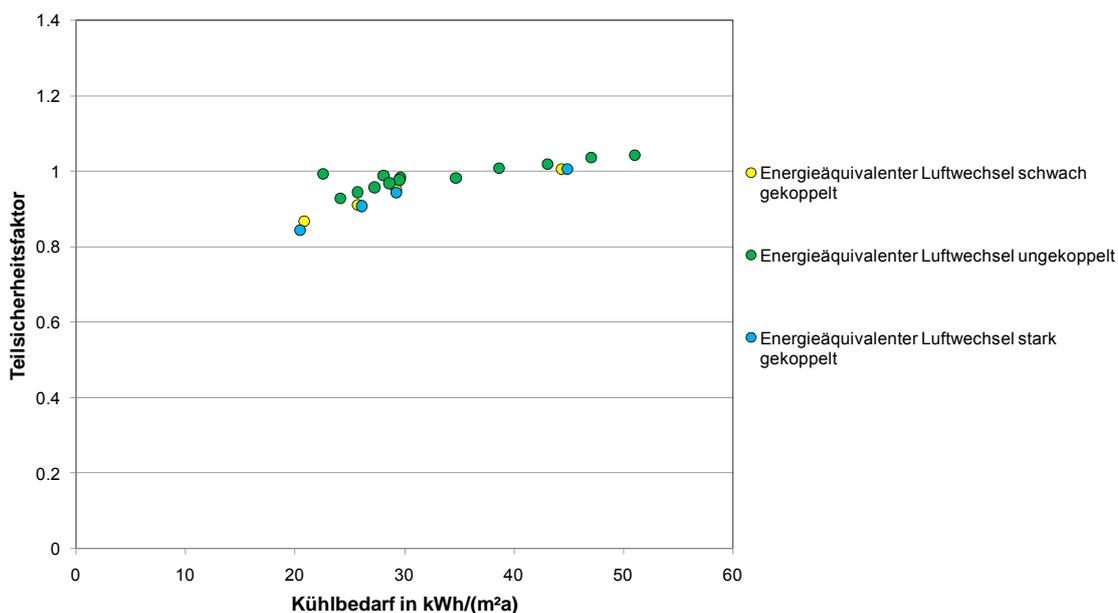


Abbildung 9-41 - Teilsicherheitsfaktoren für eine Lüftungsanlage mit Wärmetauscher für die Mehrzonenbilanz und den Kühlbedarf

Bei den Abbildung 9-40 und Abbildung 9-41 stellen sich die Rechenungenauigkeiten als Unterschätzungen des vereinfachten Verfahrens dar. Die Abweichungen sind bei der Einzonenbilanz größer als bei der Mehrzonenbilanz. Die Unterschätzung der

tatsächlichen Bedarfswerte für das Kühlen ist eindeutig bei der Mehrzonenbilanz und bei Kühlbedarfswerten zwischen 20 und 30 kWh/(m<sup>2</sup>a) zu erkennen. In dem vorliegenden Fall ist die Wahl eines Teilsicherheitsbeiwertes eine akzeptable Korrektur der Rechenungenauigkeit. Für die Einzonenbilanz würde ein Faktor von 1.15 alle Abweichungen hinreichend korrigieren und für die Mehrzonenbilanz würde ein Faktor von 1.05 eine ausreichende Korrektur darstellen. Betrachtet man nun wieder den Verlauf der Rechenungenauigkeiten ohne das Ausschlusskriterium, erhält man die beiden folgenden Abbildungen.

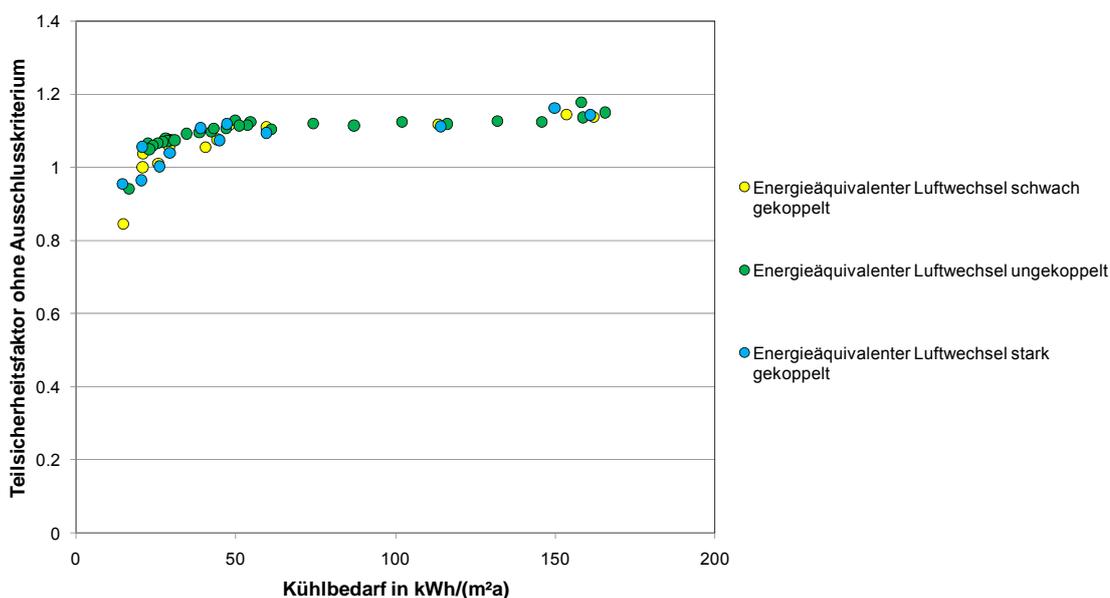


Abbildung 9-42 - Teilsicherheitsfaktoren für eine Lüftungsanlage mit Wärmetauscher für die Einzonenbilanz und den Kühlbedarf ohne Ausschlusskriterium

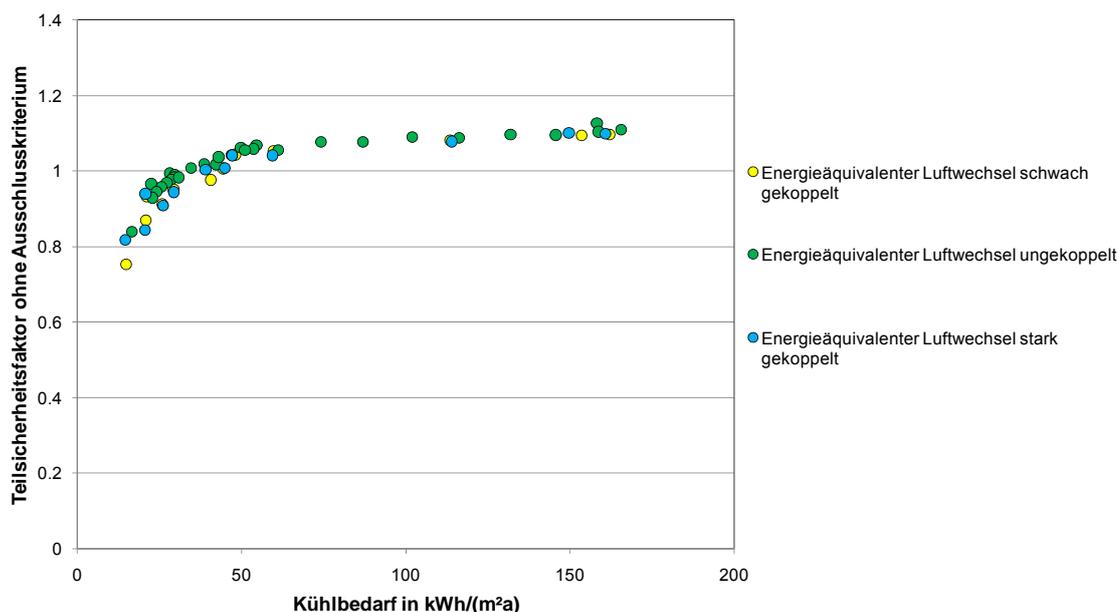


Abbildung 9-43 - Teilsicherheitsfaktoren für eine Lüftungsanlage mit Wärmetauscher für die Mehrzonenbilanz und den Kühlbedarf ohne Ausschlusskriterium

Die Gesamtheit der ermittelten Teilsicherheitsbeiwerte ohne Ausschlusskriterium für den betrachteten Nutzungsfall bestätigt die zuvor getroffenen Aussagen. Bei der Einzonenbilanz ist die Wahrscheinlichkeit der Unterschätzung des Kühlbedarfs sehr hoch, bei der Mehrzonenbilanz ist eine Unterschätzung bei Kühlbedarfswerten über 50 kWh/(m²a) gegeben. Die Kopplungseigenschaften des Gebäudemodells spielen bei der identischen Nutzung aller Zonen keine Rolle. Für alle untersuchten Gebäudemodelle ergeben sich ungefähr die gleichen Teilsicherheitsbeiwerte.

#### 9.9.2.4 Konstanter Luftwechsel mit einer Lüftungsanlage

Eine Lüftungsanlage soll in diesem untersuchten Nutzungsfall einen 1.20-fachen Luftwechsel in allen Zonen über den ganzen Tag und die Nacht gewährleisten. In der ÖNORM B 8110 Teil 5 [OEN07\_03] ist für die Büronutzung und die Fensterlüftung diese Luftwechselzahl vorgesehen. Die ermittelten Teilsicherheitsbeiwerte nehmen dabei die in den folgenden beiden Abbildungen dargestellten Größen ein.

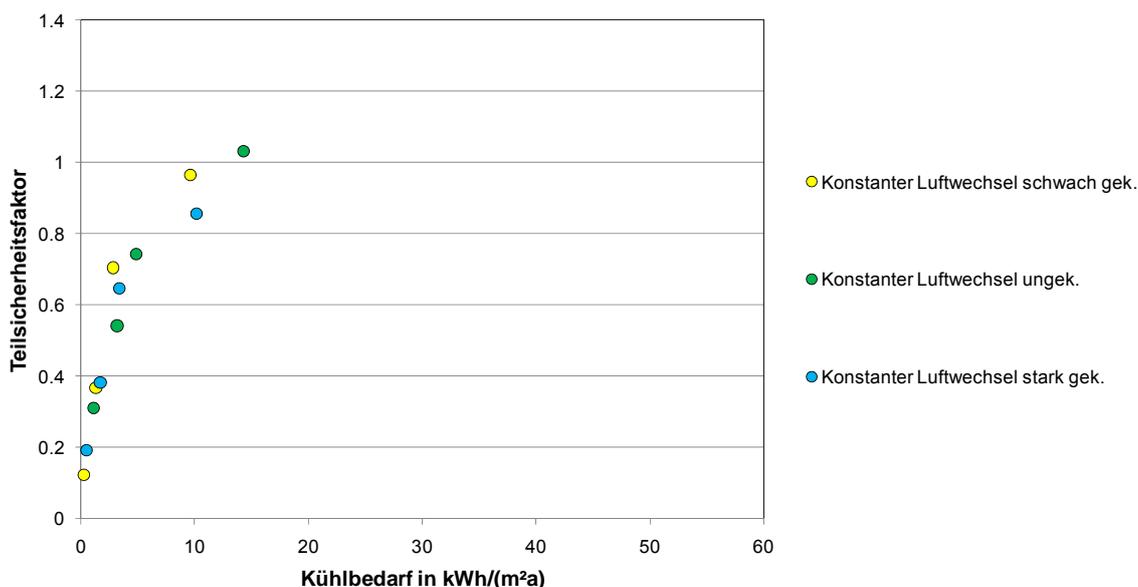


Abbildung 9-44 - Teilsicherheitsfaktoren für einen konstanten Luftwechsel einer Lüftungsanlage für die Einzonenbilanz und den Kühlbedarf

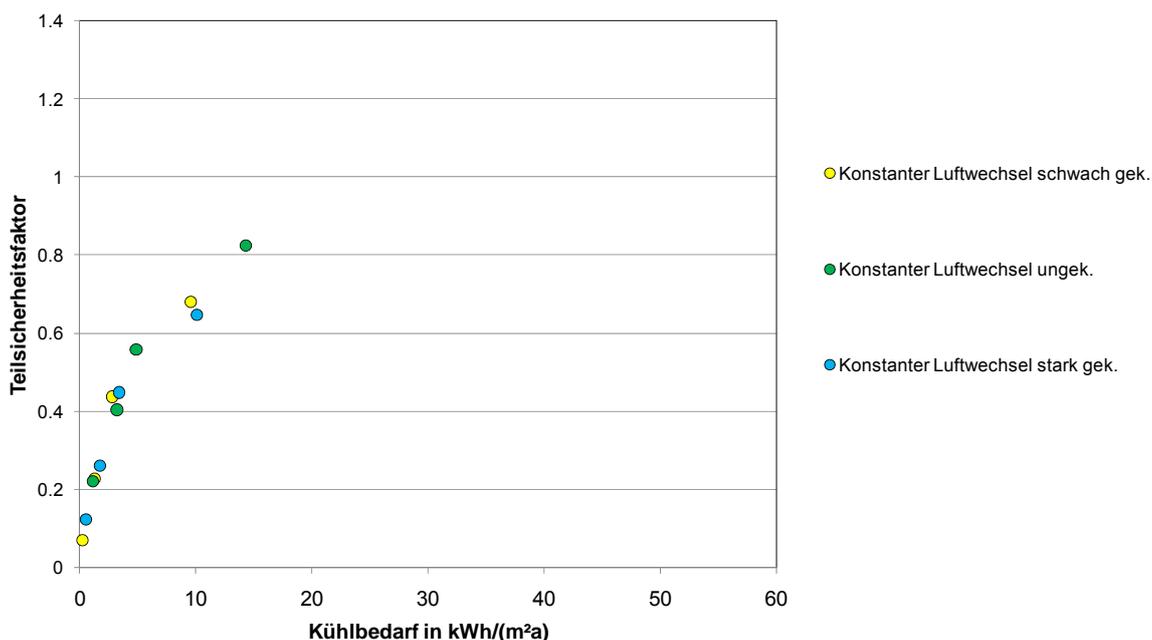


Abbildung 9-45 - Teilsicherheitsfaktoren für einen konstanten Luftwechsel einer Lüftungsanlage für die Mehrzonenbilanz und den Kühlbedarf

Durch das Ausschlusskriterium fallen bei diesem Luftwechselszenario sehr viele der ermittelten Teilsicherheitsbeiwerte weg. Für die Einzonenbilanz ergibt sich nur eine einmalige Unterschätzung des Kühlbedarfs durch das vereinfachte Verfahren. In allen

anderen Fällen wird der tatsächlich auftretende Kühlbedarf überschätzt. Für die Anwendung des vereinfachten Verfahrens kann durch einen Teilsicherheitsbeiwert von 1.05 für die Einzonenbilanz die Vorhersage des Energiebedarfs für das Kühlen eines Gebäudes zwar derart sichergestellt werden, dass keine Unterschätzung vorliegt, in den meisten Fällen wird der Kühlbedarf mit dem Bilanzverfahren jedoch überschätzt werden, besonders wenn man die ermittelten Abweichungen der Mehrzonenbilanz betrachtet.

In den beiden folgenden Abbildungen sind nun alle ermittelten Teilsicherheitsbeiwerte für einen konstanten Luftwechsel mit einer Lüftungsanlage, also ohne das Ausschlusskriterium, dargestellt.

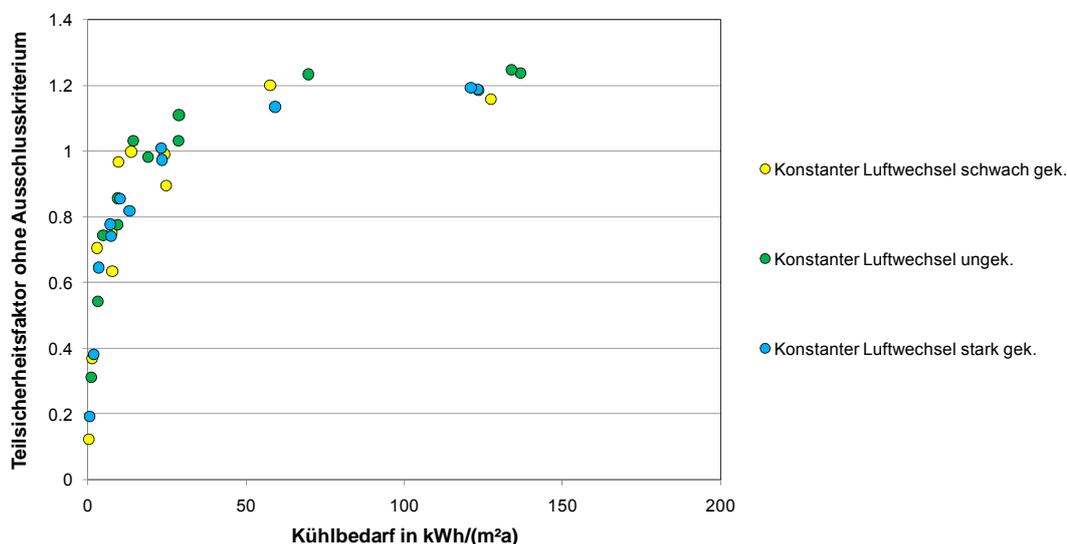


Abbildung 9-46 - Teilsicherheitsfaktoren für einen konstanten Luftwechsel einer Lüftungsanlage für die Einzonenbilanz und den Kühlbedarf ohne Ausschlusskriterium

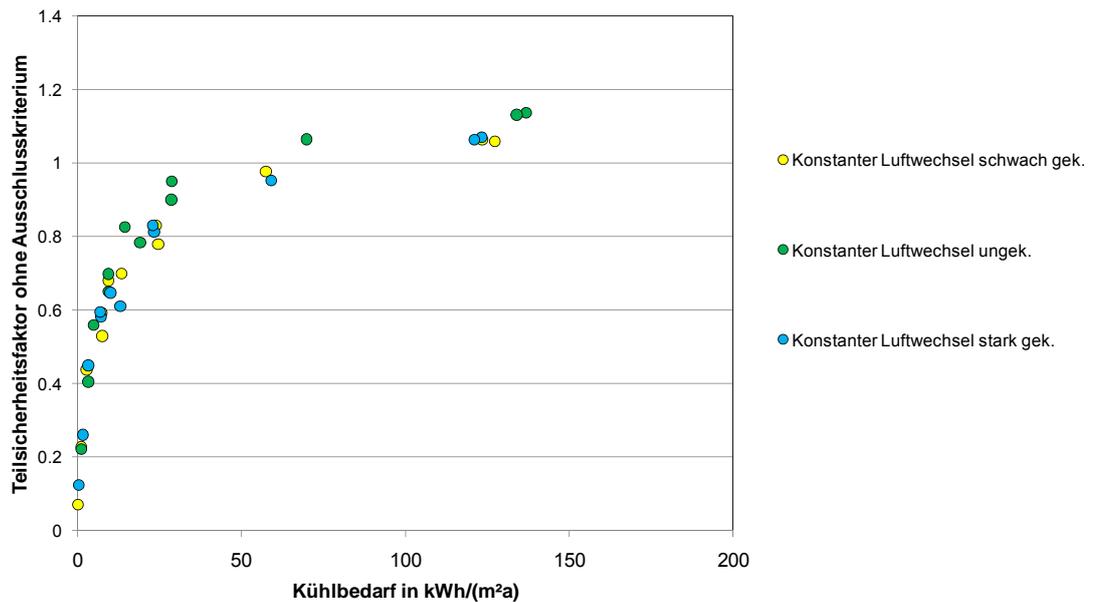


Abbildung 9-47 - Teilsicherheitsfaktoren für einen konstanten Luftwechsel einer Lüftungsanlage für die Mehrzonenbilanz und den Kühlbedarf ohne Ausschlusskriterium

Wie man aus den Abbildung 9-46 und Abbildung 9-47 erkennt steigen bei größer werdendem Kühlbedarf die Rechenungenauigkeiten. Für die in der praktischen Anwendung vorkommenden Fälle ist ein Teilsicherheitsbeiwert nur für die Einzonenbilanz notwendig. Entweder man korrigiert den mit der Einzonenbilanz ermittelten Kühlbedarf mit einem Teilsicherheitsbeiwert oder man wendet die Mehrzonenbilanz, die den Kühlbedarf grob überschätzen kann, an.

#### 9.9.2.5 Konstanter zeitabhängiger Luftwechsel

Bei diesem untersuchten Nutzungsfall wurden für die Ermittlung des Kühlbedarfs und für die Ermittlung des Heizwärmebedarfs unterschiedliche Luftwechselszenarien angesetzt. Für den Kühlbedarf 0.60 als Luftwechselzahl für den Tag und 1.10 für die Nacht. Dies entspricht einer Bürobelegung tagsüber und einem Nachtlüftungskonzept für alle Zonen. Die ermittelten Teilsicherheitsbeiwerte sind in den folgenden beiden Abbildungen dargestellt.

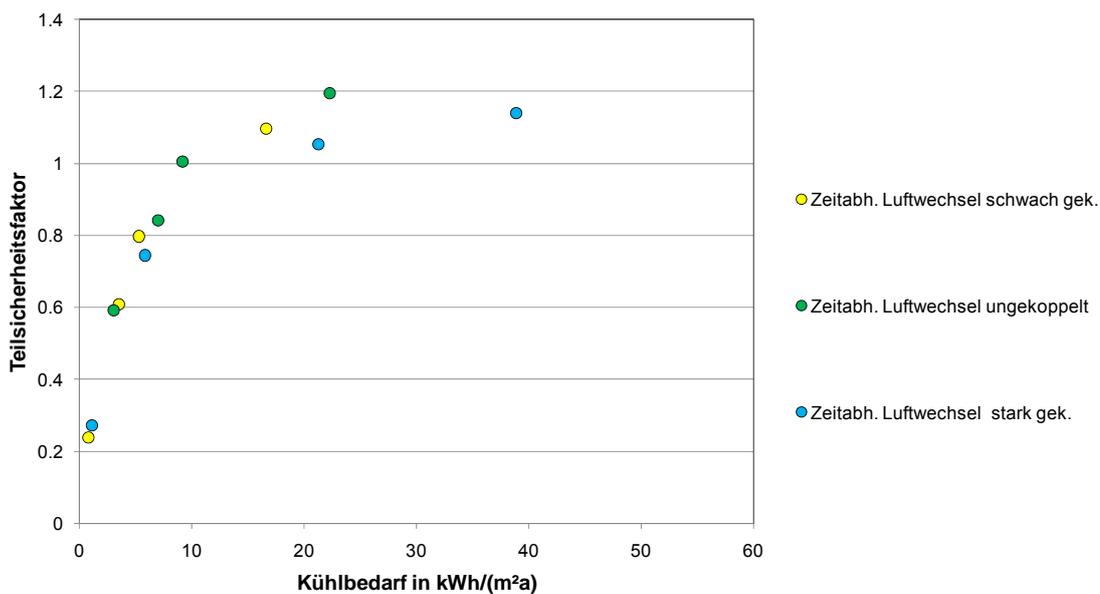


Abbildung 9-48 - Teilsicherheitsfaktoren für einen konstanten zeitabhängigen Luftwechsel für die Einzonenzonenzustand und den Kühlbedarf

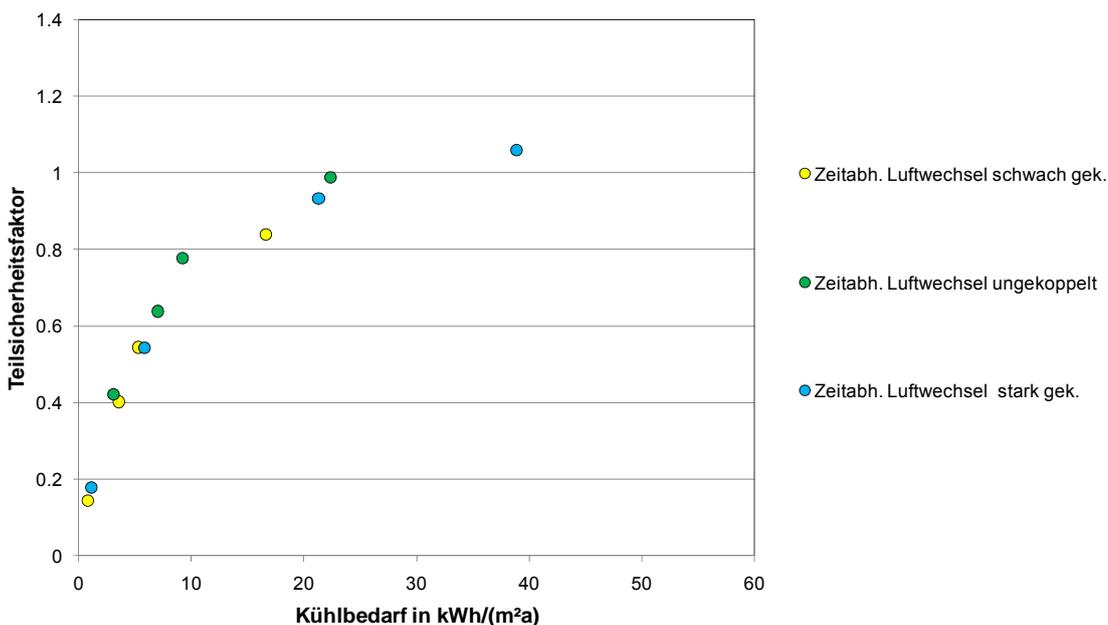


Abbildung 9-49 - Teilsicherheitsfaktoren für einen konstanten zeitabhängigen Luftwechsel für die Mehrzonenzonenzustand und den Kühlbedarf

In der Abbildung 9-48 erkennt man, dass die Rechenungenauigkeiten für die Einzonenzonenzustand bei Kühlbedarfswerten über zehn kWh/(m²a) Unterschätzungen des Simulationsergebnis sind. Ein Teilsicherheitsbeiwert von 1.20 würde für dieses

Nutzungsszenario die Einzonenbilanz hinreichend korrigieren, sodass mit dem vereinfachten Verfahren keine Unterschätzungen mehr auftreten würden. Bei kleiner werdenden Energiebedarfswerten für das Kühlen kommt es zu Überschätzungen des Simulationsergebnisses und eine Anwendung des Bilanzverfahrens ist nicht mehr sinnvoll, sofern der tatsächlich auftretende Kühlbedarf von Interesse ist.

In der Abbildung 9-49 kommt nur ein Teilsicherheitsbeiwert der größer als eins ist vor. In allen anderen Fällen wird der tatsächlich auftretende Kühlbedarf durch die Mehrzonenbilanz überschätzt. Um den Einfluss der Kopplungseigenschaften des Gebäudemodells darzustellen, ist in den beiden folgenden Abbildungen die Summe der ermittelten Teilsicherheitsbeiwerte für diesen Nutzungsfall dargestellt, ohne das Ausschlusskriterium.

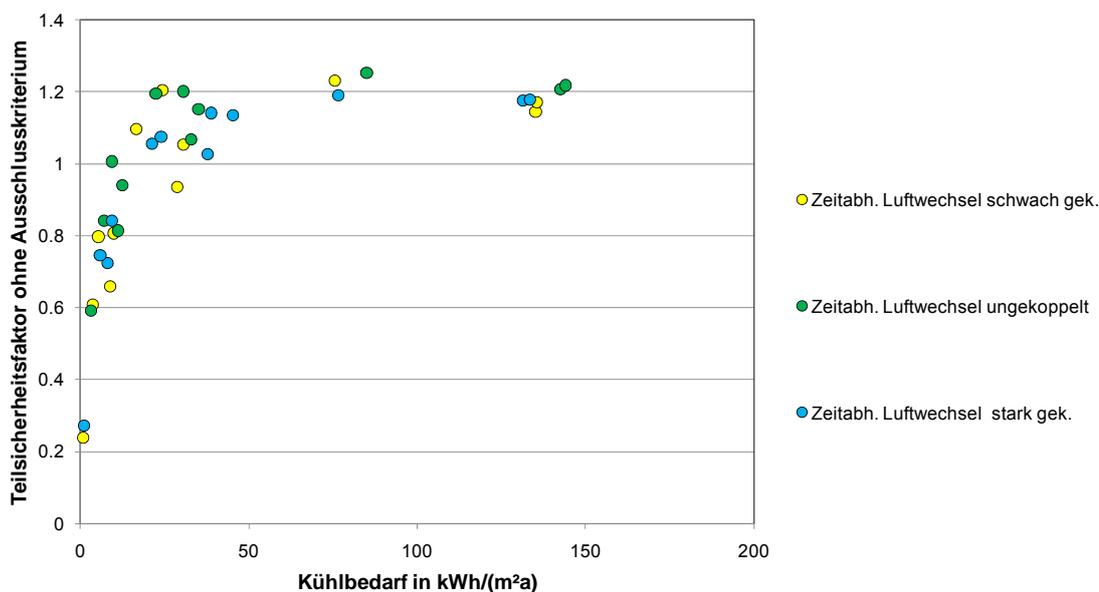


Abbildung 9-50 - Teilsicherheitsfaktoren für einen konstanten zeitabhängigen Luftwechsel für die Einzonenbilanz und den Kühlbedarf ohne Ausschlusskriterium

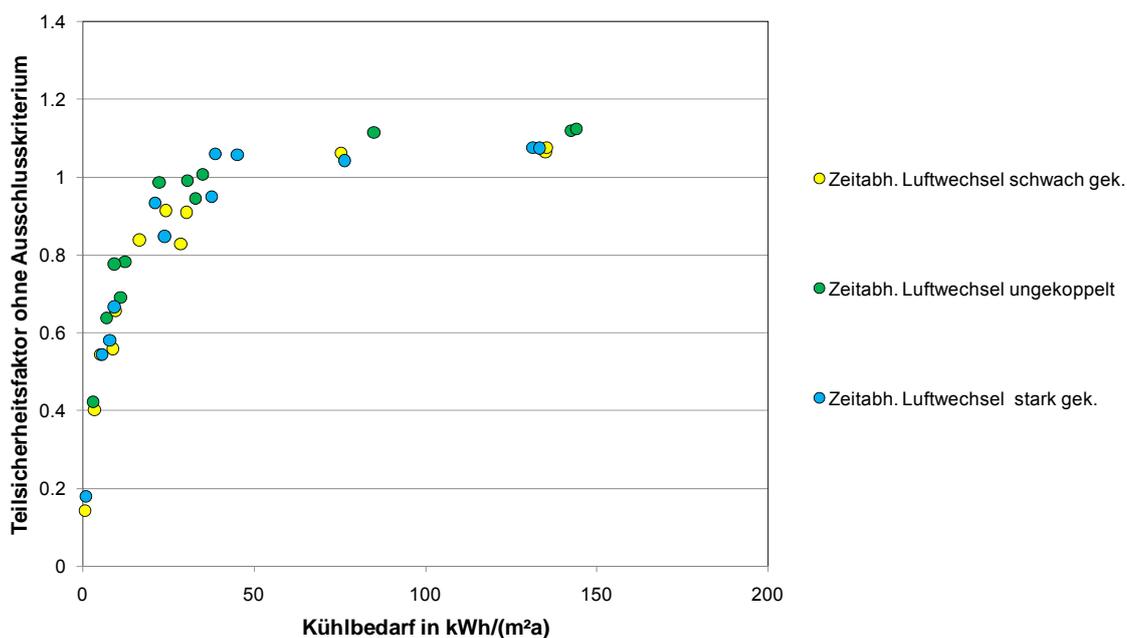


Abbildung 9-51 - Teilsicherheitsfaktoren für einen konstanten zeitabhängigen Luftwechsel für die Mehrzonenbilanz und den Kühlbedarf ohne Ausschlusskriterium

Die Abbildung 9-50 und Abbildung 9-51 machen deutlich, dass bei einem konstanten zeitabhängigen Luftwechsel kein Zusammenhang der Rechenungenauigkeit des Verfahrens und den Kopplungseigenschaften des Gebäudemodells auftritt. Sowohl bei stark gekoppelten als auch bei nicht gekoppelten Zonen treten ähnliche Teilsicherheitsbeiwerte auf. Für kleine Werte des Kühlbedarfs gibt es bei der Einzonenbilanz sehr unterschiedliche Ungenauigkeiten.

In dem folgenden Kapitel folgt aufgrund der gewonnen Erkenntnisse die Festlegung der Teilsicherheitsbeiwerte für den Heizwärmebedarf und den Kühlbedarf.

## 9.10 Festlegung der Teilsicherheitsbeiwerte

In Kapitel acht dieser Arbeit wurde die Vorhersagegenauigkeit des vereinfachten monatsbezogenen Berechnungsverfahrens nach EN ISO 13790 [ISO07] bei Veränderung der Gebäudeparameter überprüft. Der Verlauf des Heizwärmebedarfs und des Kühlbedarfs über variierende Werte von Tau und Gamma ist für die Einzonenbilanz und einer ungekoppelten Simulationsrechnung für das Gebäudemodell nach Strategic optimization of non-residential buildings [STR08] identisch. Dabei wurde festgestellt, dass die Vorhersagewahrscheinlichkeit des vereinfachten Verfahrens grundsätzlich für eine Parametervariation der Gebäudeeigenschaften gegeben ist. Lediglich die Größe des Energiebedarfs für das Heizen und Kühlen von Gebäuden kann durch das Bilanzverfahren unterschätzt werden. In dem gegenständlichen Kapitel neun dieser Arbeit wurde für ein Gebäudemodell eines Bürohauses diese Rechenungenauigkeit quantifiziert. Und für ein Modell mit vier verschiedene Nutzungsbereichen (Büronutzung, Besprechungszimmer, Kantine und Gang) und sechs verschiedenen Nutzungsszenarien ermittelt. Zusätzliche Parameter ergaben sich für drei Fassadenvarianten (Loch-, Lichtband und Ganzglasfassade) und für drei verschiedene Kopplungseigenschaften der inneren Trennwände (schwach, stark und ungekoppeltes Modell). Die Beschreibung der gewählten Modelle ist in Kapitel 9.2 der vorliegenden Arbeit zu finden.

Die ermittelten Teilsicherheitsbeiwerte wurden einem Ausschlusskriterium unterworfen, das für eine maximale Raumheiz- und Raumkühllast definiert wurde. In der Abbildung 9-22 und in der Abbildung 9-23 ist zu erkennen, wie viele der untersuchten Fälle für die Quantifizierung der Faktoren ausscheiden. Die Festlegung der Faktoren erfolgt zuerst für den Heizwärmebedarf und anschließend für den Kühlbedarf.

### 9.10.1 Teilsicherheitsbeiwerte für den Heizwärmebedarf

Für den Heizwärmebedarf können nun die Teilsicherheitsbeiwerte für Wien für die Einzonenbilanz und die Mehrzonenbilanz aus den ermittelten Ergebnissen festgelegt werden. Davor muss aber noch erwähnt werden, dass die Bestimmung der Teilsicherheitsbeiwerte, wie in Abbildung 9-24 zu erkennen ist, eigentlich nur für Energiebedarfswerte über zehn kWh/(m<sup>2</sup>a) sinnvoll ist. Bei sehr kleinen Werten für den Heizwärmebedarf sind die Ungenauigkeiten des Berechnungsverfahrens, respektive die Streuung der Teilsicherheitsbeiwerte, sehr groß. In diesen Fällen ist sowohl bei der Einzonenbilanz als auch bei der Mehrzonenbilanz, wie in Abbildung 9-25 - Teilsicherheitsfaktoren für die Mehrzonenbilanz für den Heizwärmebedarf ohne Heizlasten über 60 W/m<sup>2</sup> Abbildung 9-25 zu erkennen ist, von einer Anwendung des vereinfachten monatsbezogenen Verfahrens abzuraten. Die monatsbezogene Mehrzonenbilanz unterschätzt den tatsächlich auftretenden Heizwärmebedarf nicht, die Rechenungenauigkeit ist aber bei sehr kleinen Energiebedarfswerten für eine praktische Anwendung des Verfahrens inakzeptabel.

Bei der detaillierten Analyse der Nutzungsszenarien für den Luftwechsel hat sich herausgestellt, dass sich nur für ein ungekoppeltes Gebäudemodell mit sehr geringem Luftwechsel bei der Einzonenbilanz eine Unterschätzung des Simulationsergebnisses für das Heizen einstellt. Wenn diese Fälle nicht mit der Einzonenbilanz berechnet werden und die Mehrzonenbilanz angewendet wird, kann diese Unschärfe der Berechnungsmethodik vermieden werden. Für den praktischen Gebrauch eines Teilsicherheitsbeiwertes werden die Faktoren folgendermaßen festgelegt.

Für Heizwärmebedarfswerte größer/gleich zehn kWh/(m<sup>2</sup>a) können die Faktoren für die Einzonenbilanz und die Mehrzonenbilanz mit eins definiert werden.

Teilsicherheitsbeiwert für die monatsbezogene Einzonenbilanz:

$$\psi_{\text{HWB,EZ}} = 1.00$$

für  $\text{HWB}_{\text{EZ}} \geq 10.00 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$

Teilsicherheitsbeiwert für die monatsbezogene Mehrzonenbilanz:

$$\psi_{\text{HWB,MZ}} = 1.00$$

für  $\text{HWB}_{\text{MZ}} \geq 10.00 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$

$\Psi_{\text{HWB,EZ}}$	Teilsicherheitsbeiwert für die monatsbezogene Einzonenbilanz
$\text{HWB}_{\text{EZ}}$	Heizwärmebedarf in Kilowattstunden je Quadratmeter und Jahr nach der monatsbezogenen Einzonenbilanz
$\Psi_{\text{HWB,MZ}}$	Teilsicherheitsbeiwert für die monatsbezogene Mehrzonenbilanz
$\text{HWB}_{\text{MZ}}$	Heizwärmebedarf in Kilowattstunden je Quadratmeter und Jahr nach der monatsbezogenen Mehrzonenbilanz

Die Definition der Teilsicherheitsbeiwerte über die monatsbezogenen Energiebedarfs- werte für das Heizen ergibt sich aus praktischen Gesichtspunkten. In allen vorangegangenen Abbildungen sind die Teilsicherheitsbeiwerte immer auf die nach den Simulationsrechnungen ermittelten Energiebedarfswerten, also auf den Heizwärmebedarf und den Kühlbedarf gemäß der Simulation, bezogen worden. Bezieht man die Teilsicherheitsbeiwerte auf das Ergebnis der Einzonenbilanz- und Mehrzonenbilanzrechnung ergeben sich die beiden folgenden Abbildungen.

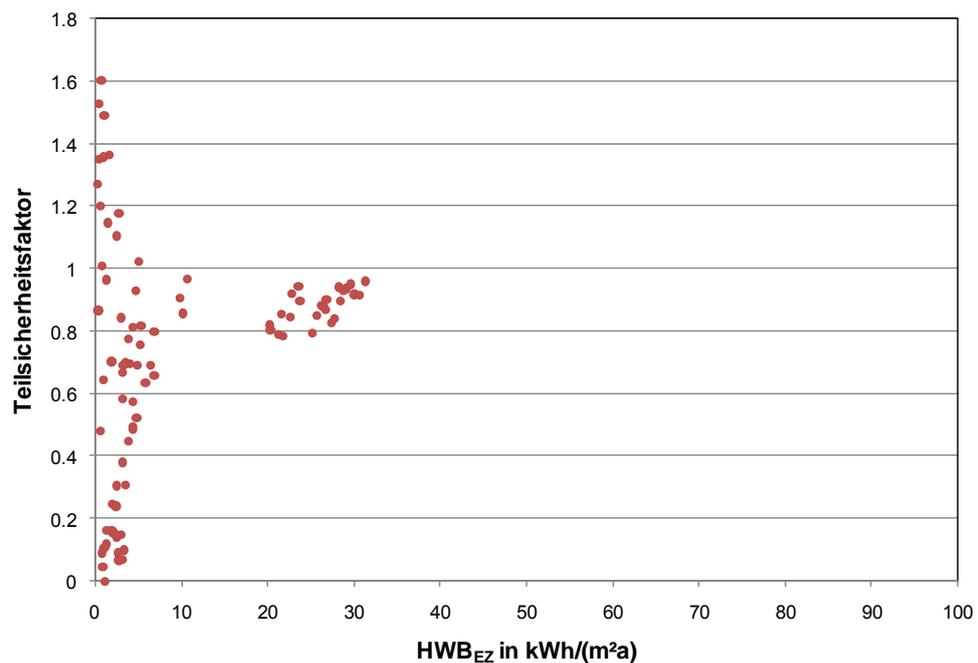


Abbildung 9-52 - Teilsicherheitsfaktoren für die Einzonenbilanz bezogen auf den Heizwärmebedarf aus der Einzonenbilanzberechnung ohne Heizlasten über 60 W/m<sup>2</sup>

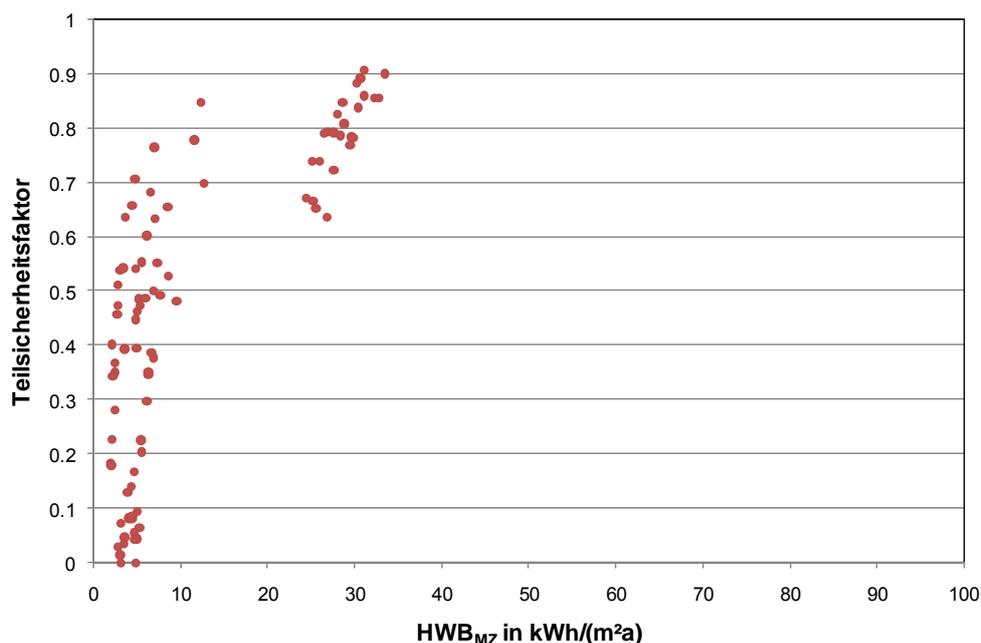


Abbildung 9-53 - Teilsicherheitsfaktoren für die Mehrzonenbilanz bezogen auf den Heizwärmebedarf aus der Mehrzonenbilanzberechnung ohne Heizlasten über 60 W/m<sup>2</sup>

Die Abbildung 9-52 und Abbildung 9-53 machen deutlich, dass die Rechenungenauigkeit bei Werten kleiner als zehn kWh/(m<sup>2</sup>a) für den Heizwärmebedarf auch für die Ergebnisse aus der monatsbezogenen Einzonenbilanzberechnung und für die Mehrzonenbilanzberechnung inakzeptabel hoch ist. Der aufgegriffene Begriff des praktischen Gesichtspunkts ergibt sich daraus, dass bei einer Berechnung nach dem Bilanzverfahren in den seltensten Fällen parallel eine Simulationsberechnung durchgeführt wird. Meistens wird eine Berechnungsmethodik herangezogen und das Ergebnis aus der Simulationsberechnung ist bei der Anwendung des Bilanzverfahrens häufig nicht bekannt. Der Teilsicherheitsbeiwert kann somit auch mit dem bilanzierten Berechnungsergebnis ermittelt werden.

### 9.10.2 Teilsicherheitsbeiwerte für den Kühlbedarf

Für den Kühlbedarf können nun die Teilsicherheitsbeiwerte für Wien für die Einzonenbilanz und die Mehrzonenbilanz aus den ermittelten Ergebnissen festgelegt werden. Betrachtet man die Abbildung 9-26 für die Einzonenbilanz und die Abbildung 9-27 für die Mehrzonenbilanz, so ist ein eindeutiger Zusammenhang von der Größe des ermittelten Energiebedarfswert erkennbar. Bei größer werdenden Werten für den Kühlbedarf nimmt die Zahl der Unterschätzungen des tatsächlich auftretenden Kühlbedarfs mit dem monatsbezogenen Verfahren zu. Eine Definition über die Größe des Kühlbedarfs erscheint, im Gegensatz zum Heizwärmebedarf, für die Teilsicherheitsbeiwerte für das Kühlen nicht sinnvoll. Wie bei dem Heizwärmebedarf fehlt aber, um diese Feststellung zu bekräftigen, noch die Darstellung der ermittelten Teilsicherheitsbeiwerte auf die Ergebnisse aus der monatsbezogenen Bilanzrechnung bezogen, in den folgenden beiden Abbildungen ist dies dargestellt.

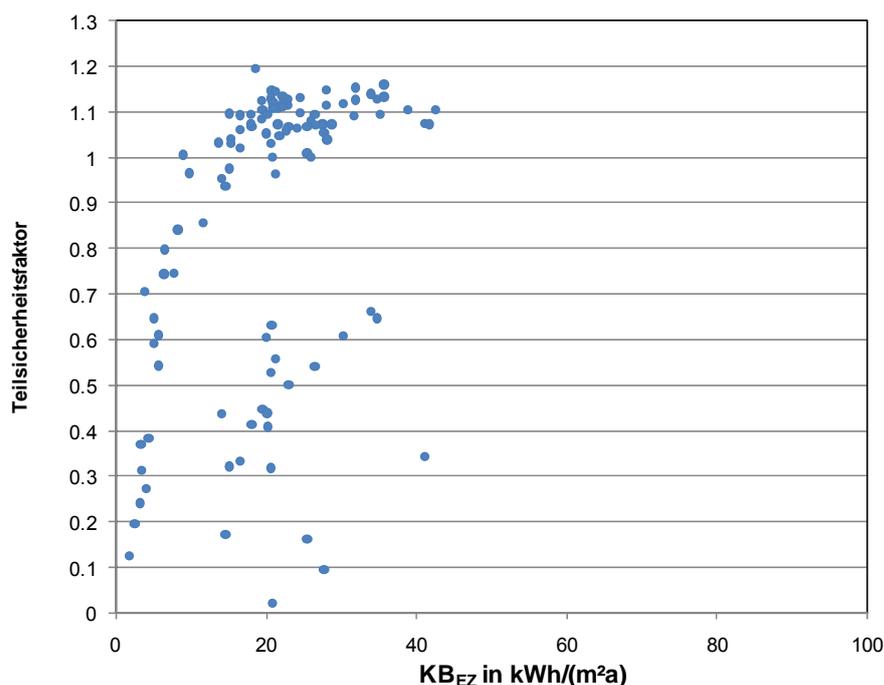


Abbildung 9-54 - Teilsicherheitsfaktoren für die Einzonenbilanz bezogen auf den Kühlbedarf aus der Einzonenbilanzberechnung ohne Kühllasten über 80 W/m<sup>2</sup>

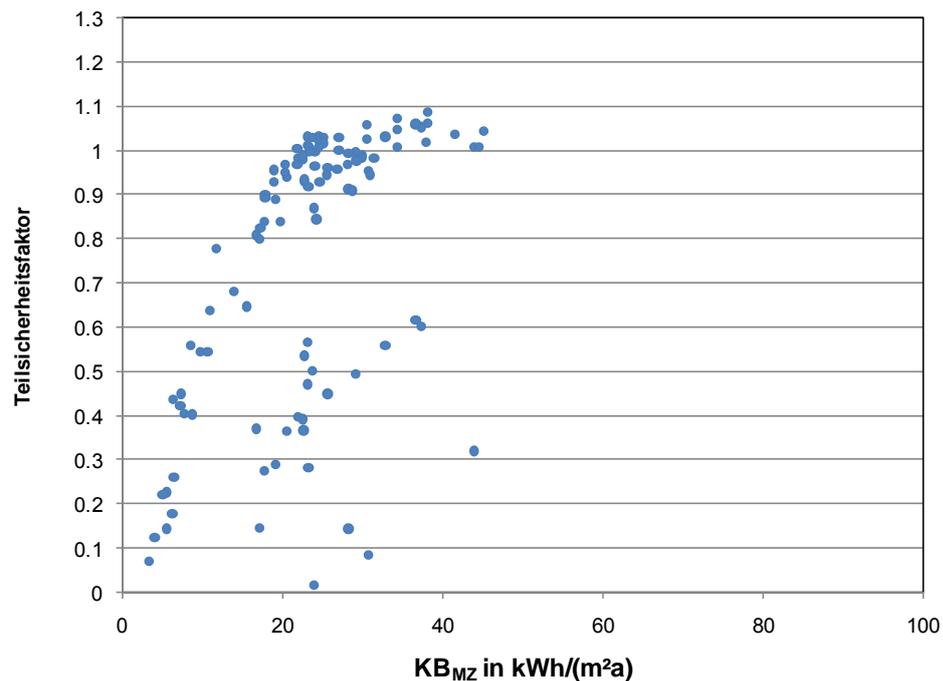


Abbildung 9-55 - Teilsicherheitsfaktoren für die Mehrzonenbilanz bezogen auf den Kühlbedarf aus der Mehrzonenbilanzberechnung ohne Kühllasten über  $80 \text{ W/m}^2$

Die Abbildung 9-54 und die Abbildung 9-55 zeigen, dass die Rechenungenauigkeit für das monatsbezogen Verfahren für den Kühlbedarf sehr weit streut. Bei der Einzonenbilanz kommt es bei Werten von ungefähr neun  $\text{kWh}/(\text{m}^2\text{a})$  und bei der Mehrzonenbilanz bei Werten von ungefähr  $22 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ , für den simulierten Kühlbedarf zu Rechenungenauigkeiten die größer als eins sind, betrachtet man die Abbildung 9-26 und die Abbildung 9-27. Über den gesamten, für den Kühlbedarf ermittelten, Wertebereich für den Teilsicherheitsbeiwert kommt es zu großen Überschätzungen des tatsächlich auftretenden Kühlbedarfs. Für die praktische Anwendung muss also bedacht werden, dass der berechnete Kühlbedarf nach dem monatsbezogenen Verfahren eine grobe Überschätzung des Simulationsergebnisses darstellen kann. Beim Heizwärmebedarf konnte eindeutig festgestellt werden, dass die Ungenauigkeit des monatsbezogenen Berechnungsverfahrens mit größer werdendem Heizwärmebedarf abnimmt. Für den Kühlbedarf ist dies nicht feststellbar.

Bei der detaillierten Analyse der Nutzungsszenarien für den Luftwechsel hat sich herausgestellt, dass für Szenarien, in denen Bereiche des Gebäudes einem Nachlüftungskonzept unterworfen werden, für ungekoppelte Gebäudemodelle die

Einzelbilanz und die Mehrzonenbilanz mit sehr hoher Wahrscheinlichkeit den tatsächlich auftretenden Kühlbedarf unterschätzen.

Was die Festlegung der Teilsicherheitsbeiwerte anbelangt wird, im Gegensatz zu dem Heizwärmebedarf, keine Abhängigkeit zum bilanzierten Ergebnis für den Kühlbedarf angegeben. Grundsätzlich wäre dies bei der Mehrzonenbilanz möglich, allerdings erscheint das Problem der Rechenungenauigkeit bei dem Kühlbedarf größer als bei dem Heizwärmebedarf.

Teilsicherheitsbeiwert für die monatsbezogene Einzelbilanz:

$$\psi_{KB,EZ} = 1.25$$

Teilsicherheitsbeiwert für die monatsbezogene Mehrzonenbilanz:

$$\psi_{KB,MZ} = 1.15$$

$\psi_{KB,EZ}$  Teilsicherheitsbeiwert für die monatsbezogene Einzelbilanz

$\psi_{KB,MZ}$  Teilsicherheitsbeiwert für die monatsbezogene Mehrzonenbilanz

Die Definition der Teilsicherheitsbeiwerte für den Kühlbedarf wird also pauschal über den gesamten Wertebereich mit den angegebenen Faktoren definiert.

## 10 Schlussfolgerungen

Die Untersuchungen in der vorliegenden Arbeit haben ergeben, dass die Einführung von Korrektur- oder Teilsicherheitsfaktoren, für die Energiebedarfswerte für das Heizen und Kühlen von Gebäuden nach dem vereinfachten Monatsbilanzverfahren, unvermeidbar ist. Die Gebäude- und Nutzungsvariation hat gezeigt, dass die Ungenauigkeiten des standardisierten Rechenverfahrens zu groß sind, als dass man die derzeitige Situation unverändert belassen könnte. Diese ermittelten Teilsicherheitsbeiwerte können als Basis für ein Sicherheitskonzept dienen. Für die Definition eines Sicherheitskonzeptes würden noch die Quantifizierung der Rechenungenauigkeiten für andere Nutzungen als einer Büronutzung fehlen, und die Ermittlung der Teilsicherheitsbeiwerte für die Eingabedaten des Berechnungsverfahren. Die Fehler, die zum Beispiel bei der Annahme von Materialkonstanten gemacht werden und welchen Einfluss diese Ungenauigkeiten auf den vereinfachten ermittelten Energiebedarf haben, müssten festgestellt werden. Damit könnte dann ein umfassendes semiprobabilistisches Sicherheitskonzept für die Ermittlung des Heizwärmebedarfs und Kühlbedarfs für Gebäude definiert werden. Die weiteren Untersuchungen, im Anhang 3, dieser Arbeit haben ergeben, dass für andere Klimate die Rechenungenauigkeiten des vereinfachten Verfahrens sich erheblich von den für Wien ermittelten Teilsicherheitsbeiwerten unterscheiden können. Das bedeutet, dass die Ermittlung der Abweichung des vereinfachten Verfahrens in den Ländern, in denen es angewendet wird, separat erfolgen müsste.

Die ermittelten Rechenungenauigkeiten für den Heizwärmebedarf, für das Wiener Klima, sind nur bei sehr kleinen Werten für den Energiebedarf groß. Die Anwendung des vereinfachten monatsbezogenen Verfahrens sollte erst ab einem Heizwärmebedarf von  $10.00 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$  erfolgen. Bei Gebäuden die einen geringeren Energiebedarf für das Heizen ausweisen, sollte eine andere Berechnungsmethodik zu Anwendung kommen. Das in der [ISO07] angeführte stundenbezogene Verfahren könnte für Gebäude mit geringem Energieverbrauch für das Heizen eine größere Rechengenauigkeit aufweisen. Die Rechenungenauigkeit eines stundenbezogenen Verfahrens wäre dann zu ermitteln.

---

## 11 Literaturverzeichnis

- [AMO05] A monthly method for calculating energy performance in the context of European building regulations, H. Van Dijk, M. Spiekman and P. De Wilde, TNO Building a Construction research Delft, The Netherlands, Building Simulation 2005
- [ANA07] Analyse der Genauigkeit des Monatsbilanzverfahrens zur Ermittlung des Kühlbedarfs von Nichtwohngebäuden, Zeitschrift Bauphysik 3/2007, Verlag: Ernst&Sohn, Sofic, Bednar, Berlin, 2007,
- [ASS06] Assessment of building cooling energy need through a quasi-steady state model: Simplified correlation for gain-loss mismatch, Vincenzo Corrado, Enrico Fabrizio, Dipartimento di Energetica (DENER), Politecnico di Torino, Corso Duca degli Abruzzi 24, 10129 Torini, Italy, Received 10 August 2006
- [AUS92] Quantifizierung des Solar-Ausnutzungsgrades zur Berechnung des Heizenergiebedarfs von Gebäuden, Dr.-Ing. Jan Radon, Dr.-Ing. Hans Werner, ErnstSohn Verlag für Architektur und technische Wissenschaften, Berlin 1992
- [BAU07] Baukonstruktionen, Bauphysik, Erweiterung 1: Energieeinsparung und Wärmeschutz, Energieausweis – Gesamtenergieeffizienz, Christian Pöhn, Anton Pech, Thomas Bednar, Wolfgang Streicher, Springer-Verlag,/Wien, 2007
- [BUR96] Dissertation: Die qualitative gebäuderelevante Darstellung von Klimadaten: Die Klimaflächen, von Dr. Harald Burmeister erstellt an der Eidgenössischen Technische Hochschule in Zürich, 1996
- [DIJ03] Monthly method to calculate cooling demand for EP regulations, draft report; van Dijk D. und Spiekman M., April 2003
- [EGL\_02] 2002/91/EG – L 001/2003, Richtlinie 2002/91/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 16. Dezember 2002 über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden
- [EWG\_89] 89/106/EWG – L40/1989, Richtlinie 89/106/EWG des Rates vom 21. Dezember 1988 zur Angleichung der Rechts- und Verwaltungsvorschriften der Mitgliedsstaaten über Bauprodukte
- [EUC04] Thermal performance of buildings – calculation of energy use for space heating and cooling, simplified method, monthly method to calculate the cooling demand for EP regulations; CEN/TC89 – European Committee for Standardization, Februar 2004
- [IEA08] Final report of IEA ANNEX 41 (in preparation) 2008
- [ISO07] ISO/FDIS 13790 (2007). Energieeffizienz von Gebäuden – Berechnung des Energiebedarfs für Heizung und Kühlung (ISO/FDIS 13790: 2007), November 2007
- [KEL97] Klimagerechtes Bauen, Grundlagen – Dimensionierung – Beispiele, von Prof. Dr. Bruno Keller, Verlag: B.G. Teubner Stuttgart, 1997
- [KRE04] Diplomarbeit von Otto Raffael Krenn, Validierung des Monatsbilanzverfahrens zur Berechnung des jährlichen Kühlwärmebedarfs von Gebäuden, August 2004

- 
- [LEI07] Leitfaden des Energietechnischen Verhaltens von Gebäuden zur Richtlinie 6 des Österreichischen Instituts für Bautechnik (OIB) über die Energieeinsparung und Wärmeschutz, 25. April 2007
- [OEN98] ÖNORM EN 832, Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden –Berechnung des Heizenergiebedarfs, Österreichisches Normungsinstitut (ON) , September 1998
- [OEN00] ÖNORM EN ISO 13789, Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden, Spezifischer Transmissionswärmeverlustkoeffizient – Berechnungsverfahren, Österreichisches Normungsinstitut (ON), August 2000
- [OIB05] Leitfaden – Energietechnisches Verhalten von Gebäuden-Entwurf, Version 2.0, 16. September 2005
- [OIB07] Richtlinie 6 des Österreichischen Instituts für Bautechnik (OIB) über die Energieeinsparung und Wärmeschutz, 25. April 2007
- [SIC08] Vorlesungsskriptum: Sicherheit und Zuverlässigkeit von Ingenieurtragwerken, Alfred Strauss, Konrad Bergmeister, Barbara Bonfiglioli, Universität für Bodenkultur, Institut für Konstruktiven Ingenieurbau, 2008
- [SHA86] Shadowing of Direct Solar Radiation, K. Källblad, Universität Lund, Rapport BKL 1986:28; 1986
- [STA93] Statik 1 einschließlich Festigkeitslehre, Manz Verlags- und Universitätsbuchhandlung, 5., überarbeitete Auflage, Alfred Böhm, Reinhold Fritsch, Wien 1993
- [STA98] Stahlbau, Manz Verlag, 5., korrigierte Auflage, Günter Ramberger, Stefan Schnaubelt, Gerolf Schuh, Wien 1998
- [STA06] Statistik Austria, Statistisches Jahrbuch 2006, Statistisches Zentralamt, Wien 2006
- [STR73] Stralning genom Glaskombinationer, K. Källblad, Universität Lund, Rapport BKL 1973:12, 1973
- [STR08] Strategic optimization of non-residential buildings, Northern Building Symposium 2008 in Kopenhagen, Sofic, Bednar, 2008
- [THE94] Thermische Gebäudesimulation – Kritische Prüfung unterschiedlicher Modellansätze, Wolfgang Feist, Verlag C.F. Müller, 1. Auflage 1994

**ÖNORMEN B 8110**

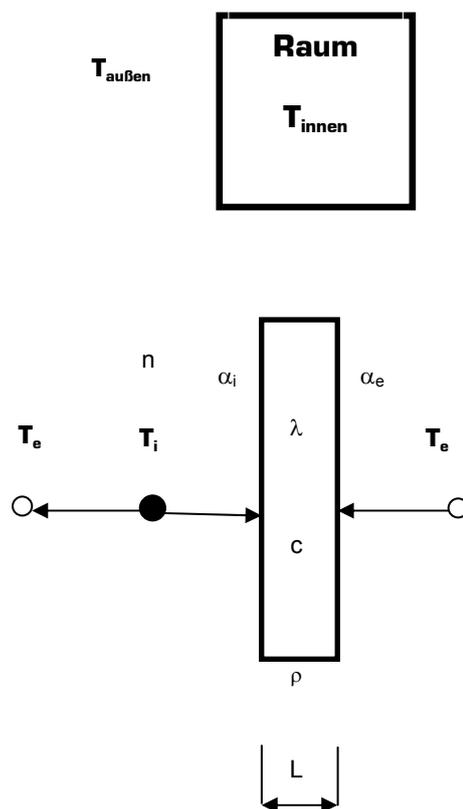
- [OEN50] ÖNORM B 8110, Hochbau – Wärmeschutz und Wärmebedarf, Norm, 22.02.1950, Österreichisches Normungsinstitut (ON)
- [OEN52] ÖNORM B 8110, Hochbau – Wärmeschutz und Wärmebedarf, Norm, 22.08.1952, Österreichisches Normungsinstitut (ON)
- [OEN59] ÖNORM B 8110, Wärmeschutz – Hochbau, Norm, 27.04.1959, Österreichisches Normungsinstitut (ON)
- [OEN78\_07] ÖNORM B 8110, Wärmeschutz – Hochbau, Norm, 01.07.1978, Österreichisches Normungsinstitut (ON)
- [OEN78\_09] ÖNORM B 8110, Wärmeschutz – Hochbau, Norm, 01.09.1978, Österreichisches Normungsinstitut (ON)
- [OEN83] ÖNORM B 8110 Teil 1 Wärmeschutz im Hochbau - Anforderungen an die Wärmedämmung, Vornorm, 01.02.1983, Österreichisches Normungsinstitut (ON)
- [OEN98\_06] ÖNORM B 8110 Teil 1 Wärmeschutz im Hochbau - Anforderungen an den Wärmeschutz und Nachweisverfahren, Vornorm, 01.06.1998, Österreichisches Normungsinstitut (ON)
- [OEN98\_09] ÖNORM B 8110 Teil 4 Wärmeschutz im Hochbau - Betriebswirtschaftliche Optimierung des Wärmeschutzes, Vornorm; 01.09.1998, Österreichisches Normungsinstitut (ON)
- [OEN99] ÖNORM B 8110 Teil 3, Wärmeschutz im Hochbau; Wärmespeicherung und Sonneneinflüsse, Norm, 01.12.1999, Österreichisches Normungsinstitut (ON)
- [OEN00\_01] ÖNORM B 8110 Teil 1 Wärmeschutz im Hochbau - Anforderungen an den Wärmeschutz und Nachweisverfahren, Vornorm, 01.09.2000, Österreichisches Normungsinstitut (ON)
- [OEN03] ÖNORM B 8110 Teil 2 Wärmeschutz im Hochbau - Teil 2: Wasserdampfdiffusion und Kondensationsschutz, Norm, 01.07.2003, Österreichisches Normungsinstitut (ON)
- [OEN04] ÖNORM B 8110 Teil 1 Wärmeschutz im Hochbau - Teil 1: Anforderungen an den Wärmeschutz und Deklaration des Wärmeschutzes von Gebäuden/Gebäudeteilen, Norm, 01.02.2004, Österreichisches Normungsinstitut (ON)
- [OEN07\_01] ÖNORM B 8110 Teil 1 Wärmeschutz im Hochbau - Teil 1: Anforderungen an den Wärmeschutz und Deklaration des Wärmeschutzes von Gebäuden/Gebäudeteilen - Heizwärmebedarf und Kühlbedarf, Norm, 01.08.2007, Österreichisches Normungsinstitut (ON)
- [OEN07\_02] ÖNORM B 8110 Teil 6 Wärmeschutz im Hochbau - Teil 6: Grundlagen und Nachweisverfahren - Heizwärmebedarf und Kühlbedarf, Norm, 01.08.2007, Österreichisches Normungsinstitut (ON)
- [OEN07\_03] ÖNORM B 8110 Teil 5 Wärmeschutz im Hochbau - Teil 5: Klimamodell und Nutzungsprofile, Norm, 01.08.2007, Österreichisches Normungsinstitut (ON)
- [OEN08] ÖNORM B 8110 Teil 1 Wärmeschutz im Hochbau - Teil 1: Anforderungen an den Wärmeschutz und Deklaration des Wärmeschutzes von Gebäu-

den/Gebäudeteilen - Heizwärmebedarf und Kühlbedarf, Norm, 01.01.2008, Österreichisches Normungsinstitut (ON)

# 1 ANHANG 1

## 1.1 Einraummodell

Das Einraummodell für die analytische Lösung der Wärmeleitungsgleichung wurde wie folgt gewählt.



## 1.2 Wärmebilanz

Die Wärmebilanz für einen Raum kann wie folgt angesetzt werden.

$$\dot{Q}_V + P - \dot{Q}_T = V \cdot \rho \cdot c \cdot \frac{\partial T}{\partial t}$$

$\dot{Q}_V$  Volumenstrom

$P$  Innere Wärmequelle in W

$\dot{Q}_T$  Transmissionswärmestrom

$\dot{Q}_V$  Luftvolumenstrom

$V$  Volumen des Raumes in  $\text{m}^3$

$\rho$  Dichte des Materials in  $\text{kg/m}^3$   
 $c$  spezifische Wärmekapazität in  $\text{J}/(\text{kgK})$

$\frac{\partial T}{\partial t}$  Änderung der Temperatur nach der Zeit

Der Transmissionswärmestrom und der Luftvolumenstrom sind wie folgt definiert.

$$\dot{Q}_T = \alpha_i \cdot A \cdot (T_i - T_{(0,t)})$$

$$\dot{Q}_V = n \cdot V \cdot \rho \cdot c \cdot (T_e - T_i)$$

$T_i$  Innentemperatur in  $^{\circ}\text{C}$

$T_{(0,t)}$  Temperatur an der Außenoberfläche der Wand zum Zeitpunkt  $t$  in  $^{\circ}\text{C}$

$T_e$  Außentemperatur in  $^{\circ}\text{C}$

### 1.3 Fourier'sche Wärmeleitungsgleichung

Die Wärmeleitungsgleichung (Fourier'sche Gleichung) in allgemeiner Form lautet.

$$\frac{\partial T}{\partial t} = a \cdot \Delta T$$

Für eine Wandkonstruktion genügt die eindimensionale Betrachtung der Wärmeleitungsgleichung.

$$\frac{\partial T}{\partial t} = a \frac{\partial^2 T}{\partial x^2}$$

$T$  Temperatur an der Stelle  $x$  zur Zeit  $t$

$a$  Temperaturleitfähigkeit in  $\text{m}^2/\text{s}$

Die Temperaturleitfähigkeit  $a$  ist bestimmt durch:

$$a = \frac{\lambda}{\rho \cdot c_p}$$

$\lambda$  Wärmeleitfähigkeit in  $\text{W}/(\text{mK})$

$\rho$  Dichte in  $\text{kg}/\text{m}^3$

$c_p$  Spezifische Wärmekapazität in  $\text{J}/(\text{kgK})$

## 1.4 Lösung für einen Raum

Die Randbedingungen für einen Raum lauten.

$$\alpha_i \cdot (T_i - T_{(0,t)}) = -\lambda \cdot \left. \frac{\partial T_{(0,t)}}{\partial x} \right|_{x=0}$$

$$\alpha_e \cdot (T_e - T_{(L,t)}) = \lambda \cdot \left. \frac{\partial T_{(L,t)}}{\partial x} \right|_{x=L}$$

Zur Lösung der Wärmeleitungsgleichung wird die Fouriertransformation herangezogen.

$$P = \sum_{k=0}^{\infty} \hat{P}_k \cdot e^{ikt \frac{2\pi}{t_p}}, \quad T = \sum_{k=0}^{\infty} \hat{T}_k \cdot e^{ikt \frac{2\pi}{t_p}}$$

$$T_i = \sum_{k=0}^{\infty} \hat{T}_{i,k} \cdot e^{ikt \frac{2\pi}{t_p}}, \quad T_e = \sum_{k=0}^{\infty} \hat{T}_{e,k} \cdot e^{ikt \frac{2\pi}{t_p}}$$

## 1.5 Lösung für eine Periode:

Für eine Periode können nun folgende Beziehungen bestimmt werden.

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \hat{T}_k \cdot e^{ikt \frac{2\pi}{t_p}} \cdot ik \frac{2\pi}{t_p}$$

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} = \frac{\partial^2 \hat{T}_k}{\partial x^2} \cdot e^{ikt \frac{2\pi}{t_p}}$$

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \hat{T}_k \cdot e^{ikt \frac{2\pi}{t_p}} \cdot ik \frac{2\pi}{t_p} = \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} \cdot a = \hat{T}_k \cdot e^{ikt \frac{2\pi}{t_p}} \cdot ik \frac{2\pi}{t_p} = \frac{\partial^2 \hat{T}_k}{\partial x^2} \cdot e^{ikt \frac{2\pi}{t_p}} \cdot a$$

$$\hat{T}_k \cdot ik \frac{2\pi}{t_p} = \frac{\partial^2 \hat{T}_k}{\partial x^2} \cdot a$$

Die Randbedingungen für eine Periode lauten.

$$\alpha_i \cdot (\hat{T}_{i,k} - \hat{T}_{k(0)}) = -\lambda \cdot \left. \frac{\partial \hat{T}_{k(0)}}{\partial x} \right|_{x=0}$$

$$\alpha_e \cdot (\hat{T}_{e,k} - \hat{T}_{k(L)}) = \lambda \cdot \left. \frac{\partial \hat{T}_{k(L)}}{\partial x} \right|_{x=L}$$

Für die Lösung wird nun folgender Ansatz getroffen.

$$\hat{T}_k = P_1 \cdot \sinh mx + P_2 \cdot \cosh mx$$

Die zugehörigen Ableitungen haben folgende Gestalt.

$$\frac{\partial \hat{T}_k}{\partial x} = m \cdot P_1 \cdot \cosh mx + m \cdot P_2 \cdot \sinh mx$$

$$\frac{\partial^2 \hat{T}_k}{\partial x^2} = m^2 \cdot P_1 \cdot \sinh mx + m^2 \cdot P_2 \cdot \cosh mx = m^2 \cdot (P_1 \cdot \sinh mx + P_2 \cdot \cosh mx)$$

$$\frac{\partial^2 \hat{T}_k}{\partial x^2} = m^2 \cdot \hat{T}_k$$

$$\frac{\partial^2 \hat{T}_k}{\partial x^2} = \frac{2\pi \cdot ik}{a \cdot t_p} \cdot \hat{T}_k = m^2 \cdot \hat{T}_k \quad \text{daraus folgt } m = \sqrt{i} \cdot \sqrt{\frac{2\pi k}{a \cdot t_p}}$$

$$\text{daraus folgt } \sqrt{i} = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot (1+i)$$

$$m = (1+i) \cdot \sqrt{\frac{k \cdot \pi}{a \cdot t_p}}$$

### 1.5.1 Randbedingung: $x=0$

Für die Randbedingung  $x=0$  gelten folgende Beziehungen.

$$\alpha_i \cdot (\hat{T}_{i,k} - \hat{T}_{k(0)}) = -\lambda \cdot \left. \frac{\partial \hat{T}_k}{\partial x} \right|_{x=0}$$

$$\hat{T}_k = P_1 \cdot \sinh mx + P_2 \cdot \cosh mx$$

Somit ergibt sich für  $x=0$ .

$$\hat{T}_{k(0)} = P_1 \cdot \sinh(m \cdot 0) + P_2 \cdot \cosh(m \cdot 0)$$

$$\sinh 0 = 0$$

$$\cosh 0 = 1$$

$$\hat{T}_{k(0)} = P_2$$

$$\frac{\partial \hat{T}_k}{\partial x} = m \cdot P_1 \cdot \cosh mx + m \cdot P_2 \cdot \sinh mx$$

$$\frac{\partial \hat{T}_{k(0)}}{\partial x} = m \cdot (P_1 \cdot \cosh(m \cdot 0) + P_2 \cdot \sinh(m \cdot 0))$$

$$\frac{\partial \hat{T}_{k(0)}}{\partial x} = m \cdot P_1 \cdot 1 = m \cdot P_1$$

Die 1. Randbedingung nimmt damit folgende Gestalt an:

$$\alpha_i \cdot (\hat{T}_{i,k} - \hat{T}_{k(0)}) = -\lambda \cdot \frac{\partial \hat{T}_{k(0)}}{\partial x} = \alpha_i \cdot (\hat{T}_{i,k} - P_2) = -\lambda \cdot m \cdot P_1$$

$$P_1 = -\frac{\alpha_i}{\lambda \cdot m} \cdot (\hat{T}_{i,k} - P_2)$$

$$P_1 = \frac{\alpha_i}{\lambda \cdot m} \cdot (P_2 - \hat{T}_{i,k})$$

### 1.5.2 Randbedingung: x=L

Für die Randbedingung x=L gelten folgende Beziehungen.

$$\alpha_e \cdot (\hat{T}_{e,k} - \hat{T}_{k(L)}) = \lambda \cdot \left. \frac{\partial \hat{T}_{k(L)}}{\partial x} \right|_{x=L}$$

$$\hat{T}_{k(L)} = P_1 \cdot \sinh(m \cdot L) + P_2 \cdot \cosh(m \cdot L)$$

Somit ergibt sich für x=L:

$$\hat{T}_{k(L)} = P_1 \cdot \sinh(m \cdot L) + P_2 \cdot \cosh(m \cdot L)$$

$$\frac{\partial \hat{T}_{k(L)}}{\partial x} = P_1 \cdot m \cdot \cosh(m \cdot L) + P_2 \cdot m \cdot \sinh(m \cdot L)$$

$$\alpha_e \cdot (\hat{T}_{e,k} - P_1 \cdot \sinh(m \cdot L) - P_2 \cdot \cosh(m \cdot L)) = \lambda \cdot (P_1 \cdot m \cdot \cosh(m \cdot L) + P_2 \cdot m \cdot \sinh(m \cdot L))$$

## 1.6 Lösung der Wärmeleitungsgleichung

Aus der 1. Randbedingung kann  $P_1$  wie folgt ersetzt werden.

$$P_1 = \frac{\alpha_i}{\lambda \cdot m} \cdot (P_2 - \hat{T}_{i,k})$$

Eingesetzt in die Bedingung ergibt das den folgenden Zusammenhang.

$$\begin{aligned}
& \alpha_e \cdot \left( \hat{T}_{e,k} - \frac{\alpha_i}{\lambda \cdot m} \cdot (P_2 - \hat{T}_{i,k}) \cdot \sinh(m \cdot L) - P_2 \cdot \cosh(m \cdot L) \right) = \\
& \lambda \cdot \left( \frac{\alpha_i}{\lambda \cdot m} \cdot (P_2 - \hat{T}_{i,k}) \cdot m \cdot \cosh(m \cdot L) \right. \\
& \quad \left. + P_2 \cdot m \cdot \sinh(m \cdot L) \right) \\
& - \frac{\alpha_i \cdot \alpha_e}{\lambda \cdot m} \cdot P_2 \cdot \sinh(m \cdot L) - \alpha_e \cdot P_2 \cdot \cosh(m \cdot L) - \alpha_i \cdot P_2 \cdot \cosh(m \cdot L) - P_2 \cdot \lambda \cdot m \cdot \sinh(m \cdot L) = \\
& - \alpha_e \cdot \hat{T}_{e,k} - \frac{\alpha_i \cdot \alpha_e}{\lambda \cdot m} \cdot \hat{T}_{i,k} \cdot \sinh(m \cdot L) - \alpha_i \cdot \hat{T}_{i,k} \cdot \cosh(m \cdot L) \\
& - \frac{\alpha_i \cdot \alpha_e}{\lambda \cdot m} \cdot P_2 \cdot \sinh(m \cdot L) - \alpha_e \cdot P_2 \cdot \cosh(m \cdot L) - \alpha_i \cdot P_2 \cdot \cosh(m \cdot L) - P_2 \cdot \lambda \cdot m \cdot \sinh(m \cdot L) = \\
& - \alpha_e \cdot \hat{T}_{e,k} - \frac{\alpha_i \cdot \alpha_e}{\lambda \cdot m} \cdot \hat{T}_{i,k} \cdot \sinh(m \cdot L) - \alpha_i \cdot \hat{T}_{i,k} \cdot \cosh(m \cdot L) \\
& P_2 \cdot \left( - \frac{\alpha_i \cdot \alpha_e}{\lambda \cdot m} \cdot \sinh(m \cdot L) - \alpha_e \cdot \cosh(m \cdot L) - \alpha_i \cdot \cosh(m \cdot L) - \lambda \cdot m \cdot \sinh(m \cdot L) \right) = \\
& - \alpha_e \cdot \hat{T}_{e,k} - \frac{\alpha_i \cdot \alpha_e}{\lambda \cdot m} \cdot \hat{T}_{i,k} \cdot \sinh(m \cdot L) - \alpha_i \cdot \hat{T}_{i,k} \cdot \cosh(m \cdot L) \\
& P_2 \cdot \left( \frac{\alpha_i \cdot \alpha_e}{\lambda \cdot m} \cdot \sinh(m \cdot L) + \alpha_e \cdot \cosh(m \cdot L) + \alpha_i \cdot \cosh(m \cdot L) + \lambda \cdot m \cdot \sinh(m \cdot L) \right) = \\
& \alpha_e \cdot \hat{T}_{e,k} + \frac{\alpha_i \cdot \alpha_e}{\lambda \cdot m} \cdot \hat{T}_{i,k} \cdot \sinh(m \cdot L) + \alpha_i \cdot \hat{T}_{i,k} \cdot \cosh(m \cdot L)
\end{aligned}$$

Es ergibt sich für  $P_2$  die folgende Gleichung.

$$P_2 = \frac{\alpha_e \cdot \hat{T}_{e,k} + \frac{\alpha_i \cdot \alpha_e}{\lambda \cdot m} \cdot \hat{T}_{i,k} \cdot \sinh(m \cdot L) + \alpha_i \cdot \hat{T}_{i,k} \cdot \cosh(m \cdot L)}{\left( \frac{\alpha_i \cdot \alpha_e}{\lambda \cdot m} \cdot \sinh(m \cdot L) + \alpha_e \cdot \cosh(m \cdot L) + \alpha_i \cdot \cosh(m \cdot L) + \lambda \cdot m \cdot \sinh(m \cdot L) \right)}$$

Ersetzt man den Nenner durch X erhält man die angegebene Beziehung.

$$X = \left( \frac{\alpha_i \cdot \alpha_e}{\lambda \cdot m} \cdot \sinh(m \cdot L) + \alpha_e \cdot \cosh(m \cdot L) + \alpha_i \cdot \cosh(m \cdot L) + \lambda \cdot m \cdot \sinh(m \cdot L) \right)$$

$$P_1 = \frac{\alpha_i}{\lambda \cdot m} \cdot \left( \frac{\alpha_e \cdot \hat{T}_{e,k}}{X} - \frac{\hat{T}_{i,k} \cdot \alpha_e \cdot \cosh(m \cdot L)}{X} - \frac{\hat{T}_{i,k} \cdot \lambda \cdot m \cdot \sinh(m \cdot L)}{X} \right)$$

$$P_1 = \hat{T}_{e,k} \cdot \frac{\alpha_i \cdot \alpha_e}{\lambda \cdot m \cdot X} - \hat{T}_{i,k} \cdot \left( \frac{\alpha_e \cdot \cosh(m \cdot L)}{X} + \frac{\lambda \cdot m \cdot \sinh(m \cdot L)}{X} \right)$$

Um die Lösung von  $P_1$  und  $P_2$  entkoppelt zu erhalten, wird folgender Ansatz getroffen.

$$P_1 = \hat{T}_{e,k} \cdot M_{12} - \hat{T}_{i,k} \cdot M_{11}$$

Wobei die Parameter  $M_{11}$  und  $M_{12}$  sich wie folgt ergeben.

$$P_1 = \hat{T}_{e,k} \cdot \left( \frac{\alpha_i \cdot \alpha_e}{\lambda \cdot m \cdot X} \right) - \hat{T}_{i,k} \cdot \frac{\alpha_i}{\lambda \cdot m} \cdot \left( \frac{\alpha_e \cdot \cosh(m \cdot L)}{X} + \frac{\lambda \cdot m \cdot \sinh(m \cdot L)}{X} \right)$$

$$M_{12} = \frac{\alpha_i \cdot \alpha_e}{\lambda \cdot m \cdot X}$$

$$M_{11} = \frac{1}{X} \cdot \left( \frac{\alpha_i \cdot \alpha_e}{\lambda \cdot m} \cdot \cosh(m \cdot L) + \alpha_i \cdot \sinh(m \cdot L) \right)$$

$$X = \left( \frac{\alpha_i \cdot \alpha_e}{\lambda \cdot m} + \lambda \cdot m \right) \cdot \sinh(m \cdot L) + (\alpha_e + \alpha_i) \cdot \cosh(m \cdot L)$$

Setzt man nun wieder in die Bilanzgleichung ein, erhält man (für eine Periode) folgende Lösung.

Bilanzgleichung:

$$\dot{Q}_V + P - \dot{Q}_T = V \cdot \rho \cdot c \cdot \frac{\partial T}{\partial t}$$

$$\dot{Q}_T = \alpha_i \cdot A \cdot (T_i - T_{(0,t)})$$

$$\dot{Q}_V = n \cdot V \cdot \rho_{\text{air}} \cdot c_{\text{air}} \cdot (T_e - T_i)$$

Somit ergibt sich für die Bilanzgleichung.

$$n \cdot V \cdot \rho_{\text{air}} \cdot c_{\text{air}} \cdot (\hat{T}_{e,k} - \hat{T}_{i,k}) + \hat{P}_k - \alpha_i \cdot A \cdot (\hat{T}_{i,k} - \hat{T}_{k,(0,t)}) = V \cdot \rho \cdot c \cdot i \cdot k \cdot \frac{2\pi}{t_p} \cdot \hat{T}_{i,k}$$

Aus der Randbedingung ist Folgendes bekannt.

$$\alpha_i \cdot (\hat{T}_{i,k} - \hat{T}_{k(0)}) = -\lambda \cdot \left. \frac{\partial \hat{T}_k}{\partial x} \right|_{x=0} = -\lambda \cdot m \cdot P_1$$

$$P_1 = \hat{T}_{e,k} \cdot M_{12} - \hat{T}_{i,k} \cdot M_{11}$$

$$\alpha_i \cdot (\hat{T}_{i,k} - \hat{T}_{k(0)}) = -\lambda \cdot \left. \frac{\partial \hat{T}_k}{\partial x} \right|_{x=0} = -\lambda \cdot m \cdot (\hat{T}_{e,k} \cdot M_{12} - \hat{T}_{i,k} \cdot M_{11})$$

Setzt man diesen Ausdruck in die Bilanzgleichung ein, erhält man eine Gleichung die nurmehr von der Außen- und der Innentemperatur abhängig ist, die restlichen Parameter sind bekannt.

$$n \cdot V \cdot \rho_{\text{air}} \cdot c_{\text{air}} \cdot (\hat{T}_{e,k} - \hat{T}_{i,k}) + \hat{P}_k + A \cdot \lambda \cdot m \cdot (\hat{T}_{e,k} \cdot M_{12} - \hat{T}_{i,k} \cdot M_{11}) = V \cdot \rho \cdot c \cdot i \cdot k \cdot \frac{2\pi}{t_p} \cdot \hat{T}_{i,k}$$

$$\hat{T}_{i,k} \cdot \left( -n \cdot V \cdot \rho_{\text{air}} \cdot c_{\text{air}} - A \cdot \lambda \cdot m \cdot M_{11} - V \cdot \rho \cdot c \cdot i \cdot k \cdot \frac{2\pi}{t_p} \right) =$$

$$\hat{T}_{e,k} \cdot \left( -n \cdot V \cdot \rho_{\text{air}} \cdot c_{\text{air}} - A \cdot \lambda \cdot m \cdot M_{12} \right) - \hat{P}_k$$

$$\hat{T}_{i,k} \cdot \left( n \cdot V \cdot \rho_{\text{air}} \cdot c_{\text{air}} + A \cdot \lambda \cdot m \cdot M_{11} + V \cdot \rho \cdot c \cdot i \cdot k \cdot \frac{2\pi}{t_p} \right) =$$

$$\hat{T}_{e,k} \cdot \left( n \cdot V \cdot \rho_{\text{air}} \cdot c_{\text{air}} + A \cdot \lambda \cdot m \cdot M_{12} \right) + \hat{P}_k$$

Die Lösung der Innentemperatur für eine Periode nimmt damit folgende Gestalt an.

$$\hat{T}_{i,k} = \frac{\hat{T}_{e,k} \cdot (n \cdot V \cdot \rho_{\text{air}} \cdot c_{\text{air}} + A \cdot \lambda \cdot m \cdot M_{12}) + \hat{P}_k}{\left( n \cdot V \cdot \rho_{\text{air}} \cdot c_{\text{air}} + A \cdot \lambda \cdot m \cdot M_{11} + V \cdot \rho \cdot c \cdot i \cdot k \cdot \frac{2\pi}{t_p} \right)}$$

Somit wurde die eindimensionale Wärmeleitungsgleichung mit Hilfe der Fouriertransformation gelöst. Die Parameter der Lösung für  $T_{i,k}$ , für eine Periode, sind alle bekannt.

## 1.7 Validierung des Simulationsprogramms

Um die Lösung der Wärmeleitungsgleichung zu validieren wurde folgendes Beispiel herangezogen. Zur Validierung diente ein Programm, das am Zentrum für Bauphysik und

Bauakustik entwickelt wurde, mit dem Namen buildopt. Die analytische Lösung wurde mit dem Programm Matlab Simulink v. 7.0 (von The Mathwork, Inc.) berechnet.

### 1.7.1 Berechnungsbeispiel

Angenommen wird ein Raum mit  $12 \text{ m}^2$  Grundrissfläche wird untersucht (mit drei Metern Breite und vier Metern Länge und mit einer Höhe von drei Metern). Die Außenhülle des Raumes ist aus 20 cm Beton. Die Gesamtaußenfläche des Raummodells beträgt somit  $66 \text{ m}^2$ . Auch die Grundfläche wurde als Außenfläche betrachtet. Die Stoffeigenschaften des Betons wurden mit folgenden Werten festgesetzt: die Dichte  $\rho$  mit  $2000 \text{ kg/m}^3$ , die spezifische Wärmekapazität  $c$  mit  $1080 \text{ J/(kgK)}$  und die Wärmeleitfähigkeit  $\lambda$  mit  $2.3 \text{ W/(mK)}$ .

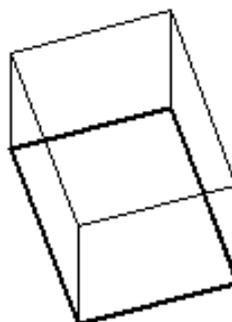


Abbildung 1-1 – Einraummodell aus 20 cm Beton

Der Raum hat keine Fenster oder innere Wärmelasten. Der Luftwechsel wurde mit  $0.50 \text{ h}^{-1}$  festgelegt. Als Außenklima wurde eine Tagessinusschwingung mit einer Amplitude von 10 Kelvin vorgegeben.

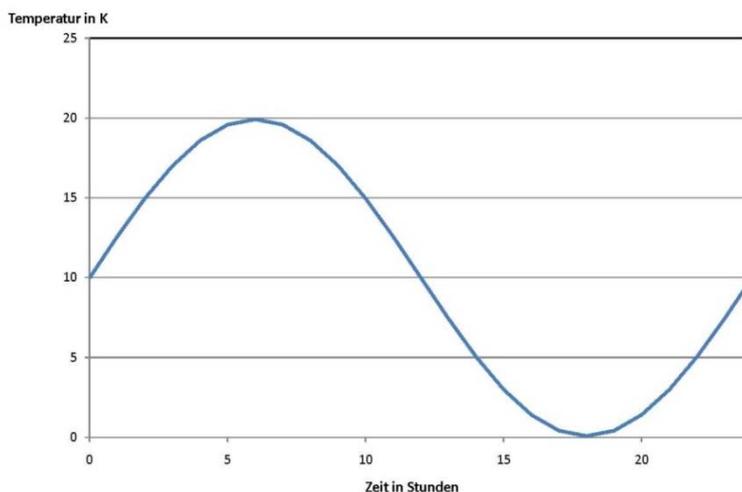


Abbildung 1-2 – Verlauf der Außentemperatur für einen Tag

Bei den gewählten Parametern stellt sich folgender Temperaturverlauf im Raum ein.

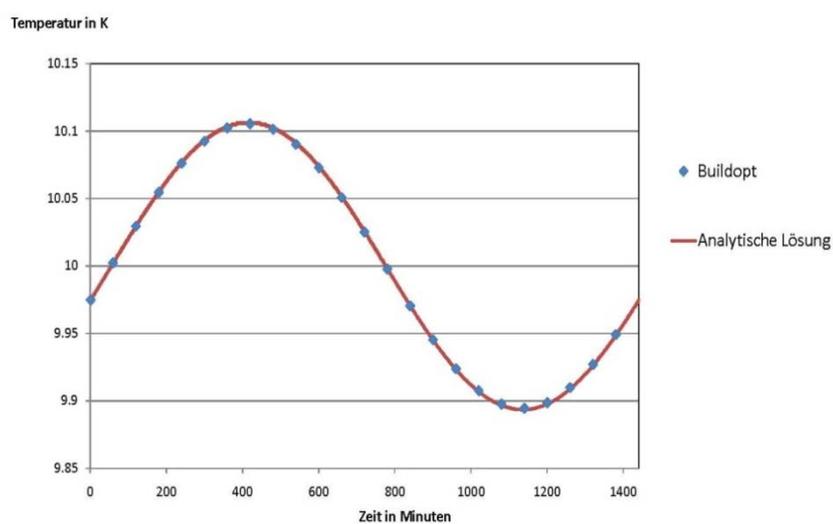


Abbildung 1-3 – Analytische Lösung und mit dem Simulationsprogramm

Analytische Lösung und das Ergebnis der Simulationsrechnung sind für einen Tag oder 1440 Stunden identisch und die Validierung des Simulationsprogramms in thermischer Sicht ist somit erreicht.

## 2 ANHANG 2

### 2.1 Analytische Lösung der Wärmeleitungsgleichung für ein Zweiraummodell

#### 2.1.1 Zweiraummodell

In Kapitel 7 der vorliegenden Arbeit wurde als Validierungsbeispiel für das Simulationsprogramm buildopt ein Zweiraummodell herangezogen. Diesem Validierungsbeispiel liegt das in Abbildung 2-1 dargestellte Raummodell zu Grunde.

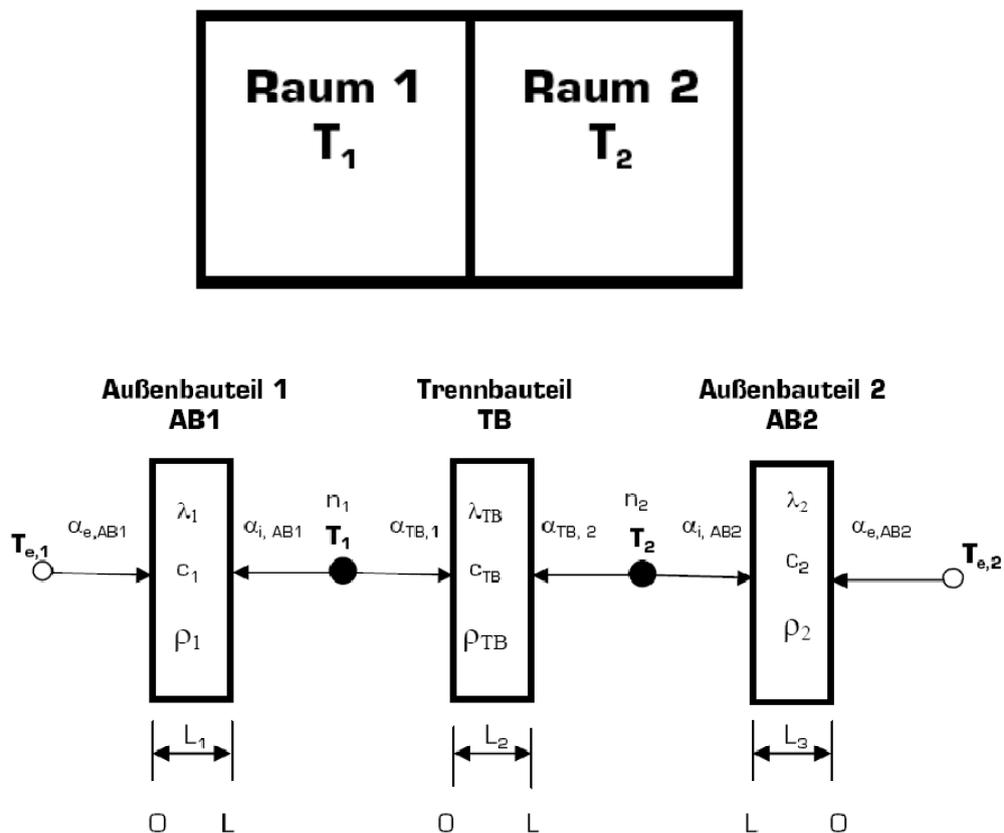


Abbildung 2-1 - Zweiraummodell

#### 2.1.2 Wärmebilanzgleichungen für das Zweiraummodell

Die Wärmebilanzen für die beiden Räume haben folgende Gestalt:

$$\dot{Q}_{V1} + P_1 - \dot{Q}_{T_{AB1}} - \dot{Q}_{T_{TB,1}} = V_1 \cdot \rho_L \cdot c_L \cdot \frac{\partial T_1}{\partial t}$$

$$\dot{Q}_{V2} + P_2 - \dot{Q}_{T_{AB2}} - \dot{Q}_{T_{B,2}} = V_2 \cdot \rho_L \cdot c_L \cdot \frac{\partial T_2}{\partial t}$$

Im Gegensatz zum Einraummodell wird hier die analytische Lösung mit Hilfe der Übertragungsmatrix abgeleitet. Ausgangspunkt der Betrachtungen für das Zweiraummodell ist die Fourier'sche Wärmeleitungsgleichung. Für eine Wandkonstruktion genügt die eindimensionale Betrachtung der dreidimensionalen Wärmeleitungsgleichung.

$$\frac{\partial T}{\partial t} = a \frac{\partial^2 T}{\partial x^2}$$

T Temperatur an der Stelle x zur Zeit t

a Temperaturleitfähigkeit in m<sup>2</sup>/s

Die Temperaturleitfähigkeit a ist bestimmt durch.

$$a = \frac{\lambda}{\rho \cdot c_p}$$

$\lambda$  Wärmeleitfähigkeit in W/(mK)

$\rho$  Dichte in kg/m<sup>3</sup>

$c_p$  Spezifische Wärmekapazität in J/(kgK)

### 2.1.3 Lösung der Wärmebilanzgleichungen

Die Lösung der beiden Bilanzgleichungen wird durch die Betrachtung von periodischen Wärmeleitungsvorgängen hergeleitet. Das natürliche Klima ist durch Abläufe, die sich wiederholen, gekennzeichnet, deshalb erscheint eine Betrachtung einer Tages- oder Jahresperiode am vernünftigsten.

Die Wärmeleitungsgleichung lautet bezogen auf die Variable  $\xi$ .

$$\frac{\partial T}{\partial t} = a \frac{\partial^2 T}{\partial \xi^2}$$

Man beschränkt sich zuerst auf Sinusschwingungen und betrachtet den folgenden Lösungsansatz.

$$T(\xi, t) = a(\xi) \cdot e^{i\omega t}$$

Der Parameter a ist die komplexe Amplitude, dieser Parameter gibt durch seinen Absolutbetrag die reelle Amplitude und durch sein Argument die Phasenlänge der Schwingung wider.

Setzt man die Wärmestromdichte p wie folgt an.

$$p = \frac{\partial U}{\partial \xi}$$

dann errechnet sich die Wärmestromdichte  $p$  durch Differentiation nach  $\xi$ .

$$p(\xi, t) = a'(\xi) \cdot e^{i\omega t}$$

wobei  $a'$  die erste Ableitung nach  $\xi$  von  $a$  bedeutet.

Der Ansatz

$$T(\xi, t) = a(\xi) \cdot e^{i\omega t}$$

führt, wenn man in die Wärmeleitungsgleichung einsetzt zu:

$$T(\xi, t) = a(\xi) \cdot e^{i\omega t}$$

$$\frac{\partial T(\xi, t)}{\partial t} = a(\xi) \cdot e^{i\omega t} \cdot i \cdot \omega$$

$$\frac{\partial^2 T}{\partial \xi^2} = a''(\xi) \cdot e^{i\omega t}$$

Durch einsetzen ergibt sich die gewöhnliche Differentialgleichung.

$$\begin{aligned} \frac{\partial T(\xi, t)}{\partial t} &= a \cdot \frac{\partial^2 T(\xi, t)}{\partial \xi^2} \\ a(\xi) \cdot e^{i\omega t} \cdot i \cdot \omega &= a \cdot a''(\xi) \cdot e^{i\omega t} \end{aligned}$$

Nun kann der Parameter  $e^{i\omega t}$  heraus gekürzt werden. Die Gleichung hat nun folgende Gestalt.

$$a(\xi) \cdot i \cdot \omega = a \cdot a''(\xi)$$

Die Temperaturleitfähigkeit  $a$  ist bestimmt durch:

$$a = \frac{\lambda}{\rho \cdot c_p}$$

Es kann aber auch die Wärmeeindringzahl  $b$  verwendet werden.

$$b = \sqrt{\rho \cdot c \cdot \lambda}$$

Die ursprüngliche Form der Wärmeleitungsgleichung lautete:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = a \frac{\partial^2 T}{\partial x^2}$$

Die Umformulierung auf den Parameter  $\xi$  hat den Vorteil, dass die Wärmeleitungsgleichung auf folgende Gestalt gebracht werden kann.

$$\frac{\partial T}{\partial x} = \frac{\partial T}{\partial \xi} \cdot \frac{d\xi}{dx} = \frac{\partial T}{\partial \xi} \cdot \frac{1}{\lambda}$$

Anstelle der Ortsvariable  $x$  wurde die Variable  $\xi$  herangezogen, sie hat die Dimension eines Durchlasswiderstandes. Sie kann wie folgt ausgedrückt werden.

$$\xi = \int_{x_0}^x \frac{ds}{\lambda(s)}$$

Es gilt nun Folgendes.

$$\frac{\partial T(\xi, t)}{\partial t} = a \cdot \frac{1}{\lambda} \cdot \frac{\partial^2 T}{\partial \xi^2}$$

$$\frac{\partial T(\xi, t)}{\partial t} \cdot \frac{1}{a} = \frac{1}{\lambda} \cdot \frac{\partial^2 T}{\partial \xi^2}$$

Setzt man nun folgende Beziehung ein, dann erhält man die folgende Beziehung.

$$\frac{\lambda}{a} = \frac{\lambda}{\frac{\lambda}{c \cdot \rho}} = \frac{\lambda \cdot c \cdot \rho}{\lambda} = \frac{b^2}{\lambda}$$

Kann man die Wärmeleitungsgleichung in der folgenden Form umschreiben.

$$\frac{\partial T(\xi, t)}{\partial t} = a \cdot \frac{\partial^2 T(\xi, t)}{\partial \xi^2}$$

$$a(\xi) \cdot e^{i\omega t} \cdot i \cdot \omega = a \cdot a''(\xi) \cdot e^{i\omega t}$$

$$\frac{\partial T(\xi, t)}{\partial t} = \frac{a}{\lambda} \cdot \frac{\partial^2 T(\xi, t)}{\partial \xi^2}$$

$$b^2 \cdot \frac{\partial T(\xi, t)}{\partial t} = \frac{\partial^2 T(\xi, t)}{\partial \xi^2}$$

Die Form der Wärmeleitungsgleichung für periodische Vorgänge kann somit umgeschrieben werden:

$$a(\xi) \cdot e^{i\omega t} \cdot i \cdot \omega = a \cdot a''(\xi) \cdot e^{i\omega t}$$

$$a(\xi) \cdot i \cdot \omega = a \cdot a''(\xi)$$

$$b^2 \cdot a(\xi) \cdot i \cdot \omega = a''(\xi)$$

Führt auf die lineare und homogene gewöhnliche Differentialgleichung für  $a(\xi)$ .

$$a''(\xi) - i \cdot \omega \cdot b^2 \cdot a(\xi) = 0$$

Diese Gleichung hat die allgemeine Lösung der folgenden Form.

$$a(\xi) = C_1 \cdot f(\xi) + C_2 \cdot g(\xi)$$

Man kann nun linear unabhängige Lösungen dadurch erzeugen, indem man die Anfangsbedingungen wie folgt festlegt.

$$f(0) = 1 \quad \text{und} \quad f'(0) = 0$$

$$g(0) = 0 \quad \text{und} \quad g'(0) = 1$$

Verwendet man nun die Anfangsbedingung das  $\xi = 0$  ist, dann ist  $f = 1$  und  $g = 0$  und somit ergibt sich:

$$a(0) = C_1$$

$C_2$  kann man durch Differentiation der Gleichung errechnen.

$$a'(\xi) = C_1 \cdot f'(\xi) + C_2 \cdot g'(\xi)$$

Setzt man nun  $\xi = 0$ , so ergibt sich für  $f = 0$  und für  $g = 1$ .

$$a'(0) = C_2$$

Der Ansatz für die Lösung kann nun umgeschrieben werden.

$$a(\xi) = a(0) \cdot f(\xi) + a'(0) \cdot g(\xi)$$

$$a'(\xi) = a(0) \cdot f'(\xi) + a'(0) \cdot g'(\xi)$$

Dieses Gleichungssystem hat in Matrizenschreibweise folgende Gestalt.

$$\begin{pmatrix} a(\xi) \\ a'(\xi) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} f(\xi) & g(\xi) \\ f'(\xi) & g'(\xi) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} a(0) \\ a'(0) \end{pmatrix}$$

Oder kurz angeschrieben.

$$A(\xi) = M(\xi) \cdot A(0)$$

Die Komponenten von  $M(\xi)$ , der sogenannten Wandmatrix, sind komplexe Zahlen. Diese können aber sehr einfach als reelle Zahlen dargestellt werden, denn es gilt:

$$f = u + i \cdot v = \begin{pmatrix} u & v \\ -v & u \end{pmatrix}$$

$$g = r + i \cdot s = \begin{pmatrix} r & s \\ -s & r \end{pmatrix}$$

$$f' = u' + i \cdot v' = \begin{pmatrix} u' & v' \\ -v' & u' \end{pmatrix}$$

$$g' = r' + i \cdot s' = \begin{pmatrix} r' & s' \\ -s' & r' \end{pmatrix}$$

Der Vorteil an der gewählten Darstellung ist, dass die Matrixschreibweise nur reelle Zahlen als Komponenten aufweist. Daher kann die Wandmatrix,  $M(\xi)$  nur mit reellen Komponenten angeschrieben werden und hat folgende Gestalt.

$$R = \begin{pmatrix} u & v & r & s \\ -v & u & -s & r \\ u' & v' & r' & s' \\ -v' & u' & -s' & r' \end{pmatrix}$$

Für die lineare und homogene gewöhnliche Differentialgleichung für  $a(\xi)$  gilt:

$$a''(\xi) - i \cdot \omega \cdot b^2 \cdot a(\xi) = 0$$

Diese Gleichung hat die allgemeine Lösungsform.

$$a(\xi) = C_1 \cdot f(\xi) + C_2 \cdot g(\xi)$$

Man kann nun linear unabhängige Lösungen dadurch erzeugen, indem man die Anfangsbedingungen wie folgt festlegt.

$$f(0) = 1 \quad \text{und} \quad f'(0) = 0$$

$$g(0) = 0 \quad \text{und} \quad g'(0) = 1$$

Kürzt man den Teil  $i\omega b^2$  mit  $k^2$  ab, erhält man die folgende Beziehung.

$$k^2 = i \cdot \omega \cdot b^2$$

Für die Differentialgleichung ergibt sich nun der folgende Zusammenhang.

$$a''(\xi) - i \cdot \omega \cdot b^2 \cdot a(\xi) = 0$$

$$a''(\xi) - k^2 \cdot a(\xi) = 0$$

Die oben angeführten Anfangsbedingungen können nun eingesetzt werden.

$$a(\xi) = C_1 \cdot f(\xi) + C_2 \cdot g(\xi)$$

Mit den beiden Anfangsbedingungen lässt sich  $C_1$  und  $C_2$  berechnen.

$$a(0) = C_1$$

$$a'(0) = C_2$$

Und so wurde bereits festgestellt, dass daher Folgendes gilt.

$$a(\xi) = a(0) \cdot f(\xi) + a'(0) \cdot g(\xi)$$

$$a'(\xi) = a(0) \cdot f'(\xi) + a'(0) \cdot g'(\xi)$$

$$a''(\xi) - k^2 \cdot a(\xi) = 0$$

Man erhält die Lösung für diese Gleichung mit folgender Gestalt.

$$f(\xi) = g'(\xi) = \cosh(k \cdot \xi)$$

$$g(\xi) = \frac{1}{k} \cdot \sinh(k \cdot \xi)$$

$$f'(\xi) = k \cdot \sinh(k \cdot \xi)$$

Und die Konstante  $k$  kann wie folgt ausgedrückt werden.

$$k^2 = i \cdot \omega \cdot b^2$$

$$k = \sqrt{(i \cdot \omega \cdot b^2)}$$

$$k = (1+i) \cdot b \cdot \sqrt{\frac{\omega}{2}}$$

Die reelle Lösung kann nun sehr leicht angeschrieben werden, zuerst werden noch folgende Abkürzungen eingeführt.

$$\xi = D = \frac{d}{\lambda}$$

$$b \cdot \sqrt{\frac{\omega}{2}} = H$$

$$H \cdot D = z$$

$$k = (1+i) \cdot H$$

$$k \cdot \xi = k \cdot D = (1+i) \cdot z$$

Setzt man nun ein, erhält man folgende Beziehungen.

$$f(D) = g'(D) = \cosh(k \cdot D) = \cosh((1+i) \cdot z) = \cosh(z) \cdot \cosh(i \cdot z) + \sinh(z) \cdot \sinh(i \cdot z)$$

$$g(D) = \frac{1}{k} \cdot \sinh(k \cdot D) = \frac{1}{k} \cdot \sinh((1+i) \cdot z) = \frac{1}{(1+i) \cdot H} \cdot (\sinh(z) \cdot \cos(z) + i \cdot \cosh(z) \cdot \sin(z))$$

$$f'(D) = H \cdot [(\cosh(z) \cdot \sin(z) + \sinh(z) \cdot \cos(z)) + i \cdot (\cosh(z) \cdot \sin(z) - \sinh(z) \cdot \cos(z))]$$

Um nur reelle Lösungen zu erhalten, kann man folgende Beziehungen anwenden.

$$\cosh(i \cdot z) = \cos(z)$$

$$\sinh(i \cdot z) = i \cdot \sin(z)$$

Setzt man dies ein, ergeben sich folgende Gleichungen für die Komponenten der Wandmatrix.

$$f(D) = g'(D) = \cosh(z) \cdot \cos(z) + i \cdot \sinh(z) \cdot \sin(z)$$

$$g(D) = \frac{1}{2 \cdot H} \cdot [(\cosh(z) \cdot \sin(z) + \sinh(z) \cdot \cos(z)) + i \cdot (\cosh(z) \cdot \sin(z) - \sinh(z) \cdot \cos(z))]$$

$$f'(D) = H \cdot [(\sinh(z) \cdot \cos(z) - \cosh(z) \cdot \sin(z)) + i \cdot (\cosh(z) \cdot \sin(z) + \sinh(z) \cdot \cos(z))]$$

Nun sind die reellen Komponenten der Wandmatrix bekannt.

$$R = \begin{pmatrix} u & v & r & s \\ -v & u & -s & r \\ u' & v' & r' & s' \\ -v' & u' & -s' & r' \end{pmatrix}$$

$$f(D) = g'(D) = \cosh(z) \cdot \cos(z) + i \cdot \sinh(z) \cdot \sin(z)$$

$$f = u + i \cdot v = \begin{pmatrix} u & v \\ -v & u \end{pmatrix}$$

$$g = r + i \cdot s = \begin{pmatrix} r & s \\ -s & r \end{pmatrix}$$

$$f' = u' + i \cdot v' = \begin{pmatrix} u' & v' \\ -v' & u' \end{pmatrix}$$

$$\mathbf{g}^l = \mathbf{r}^l + i \cdot \mathbf{s}^l = \begin{pmatrix} \mathbf{r}^l & \mathbf{s}^l \\ -\mathbf{s}^l & \mathbf{r}^l \end{pmatrix}$$

$$\mathbf{u} = \mathbf{r}^l = \cosh(z) \cdot \cos(z)$$

$$\mathbf{v} = \mathbf{s}^l = \sinh(z) \cdot \sin(z)$$

$$\mathbf{r} = \frac{1}{2 \cdot H} \cdot (\cosh(z) \cdot \sin(z) + \sinh(z) \cdot \cos(z))$$

$$\mathbf{s} = \frac{1}{2 \cdot H} \cdot (\cosh(z) \cdot \sin(z) - \sinh(z) \cdot \cos(z))$$

$$\mathbf{u}^l = H \cdot (\sinh(z) \cdot \cos(z) - \cosh(z) \cdot \sin(z))$$

$$\mathbf{v}^l = H \cdot (\cosh(z) \cdot \sin(z) + \sinh(z) \cdot \cos(z))$$

Mit diesen Komponenten ist die Wandmatrix komplett und kann für jede Bauteilschicht berechnet werden.

Die Berechnung von mehrschichtigen Konstruktionen erfolgt durch Matrizenmultiplikation. Das Produkt zweier Wandmatrizen hat folgende Gestalt.

$$\mathbf{R} = \begin{pmatrix} \mathbf{u}_1 & \mathbf{v}_1 & \mathbf{r}_1 & \mathbf{s}_1 \\ -\mathbf{v}_1 & \mathbf{u}_1 & -\mathbf{s}_1 & \mathbf{r}_1 \\ \mathbf{u}_1^l & \mathbf{v}_1^l & \mathbf{r}_1^l & \mathbf{s}_1^l \\ -\mathbf{v}_1^l & \mathbf{u}_1^l & -\mathbf{s}_1^l & \mathbf{r}_1^l \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} \mathbf{u}_2 & \mathbf{v}_2 & \mathbf{r}_2 & \mathbf{s}_2 \\ -\mathbf{v}_2 & \mathbf{u}_2 & -\mathbf{s}_2 & \mathbf{r}_2 \\ \mathbf{u}_2^l & \mathbf{v}_2^l & \mathbf{r}_2^l & \mathbf{s}_2^l \\ -\mathbf{v}_2^l & \mathbf{u}_2^l & -\mathbf{s}_2^l & \mathbf{r}_2^l \end{pmatrix}$$

Die neuen Komponenten ergeben sich zu.

$$\mathbf{u} = \mathbf{u}_1 \cdot \mathbf{u}_2 - \mathbf{v}_1 \cdot \mathbf{v}_2 + \mathbf{r}_1 \cdot \mathbf{u}_2^l - \mathbf{s}_1 \cdot \mathbf{v}_2^l$$

$$\mathbf{v} = \mathbf{u}_1 \cdot \mathbf{v}_2 + \mathbf{v}_1 \cdot \mathbf{u}_2 + \mathbf{r}_1 \cdot \mathbf{v}_2^l + \mathbf{s}_1 \cdot \mathbf{u}_2^l$$

$$\mathbf{r} = \mathbf{u}_1 \cdot \mathbf{r}_2 - \mathbf{v}_1 \cdot \mathbf{s}_2 + \mathbf{r}_1 \cdot \mathbf{r}_2^l - \mathbf{s}_1 \cdot \mathbf{s}_2^l$$

$$\mathbf{s} = \mathbf{u}_1 \cdot \mathbf{s}_2 + \mathbf{v}_1 \cdot \mathbf{r}_2 + \mathbf{r}_1 \cdot \mathbf{s}_2^l + \mathbf{s}_1 \cdot \mathbf{r}_2^l$$

$$\mathbf{u}^l = \mathbf{u}_1^l \cdot \mathbf{u}_2 - \mathbf{v}_1^l \cdot \mathbf{v}_2 + \mathbf{r}_1^l \cdot \mathbf{u}_2^l - \mathbf{s}_1^l \cdot \mathbf{v}_2^l$$

$$\mathbf{v}^l = \mathbf{u}_1^l \cdot \mathbf{v}_2 + \mathbf{v}_1^l \cdot \mathbf{u}_2 + \mathbf{r}_1^l \cdot \mathbf{v}_2^l + \mathbf{s}_1^l \cdot \mathbf{u}_2^l$$

$$\mathbf{r}^l = \mathbf{u}_1^l \cdot \mathbf{r}_2 - \mathbf{v}_1^l \cdot \mathbf{s}_2 + \mathbf{r}_1^l \cdot \mathbf{r}_2^l - \mathbf{s}_1^l \cdot \mathbf{s}_2^l$$

$$\mathbf{s}^l = \mathbf{u}_1^l \cdot \mathbf{s}_2 + \mathbf{v}_1^l \cdot \mathbf{r}_2 + \mathbf{r}_1^l \cdot \mathbf{s}_2^l + \mathbf{s}_1^l \cdot \mathbf{r}_2^l$$

Die Beziehung zwischen zwei Punkten kann mit Hilfe der Wandmatrix in folgender Weise ausgedrückt werden.

$$\begin{pmatrix} \mathbf{u} & \mathbf{v} & \mathbf{r} & \mathbf{s} \\ -\mathbf{v} & \mathbf{u} & -\mathbf{s} & \mathbf{r} \\ \mathbf{u}^l & \mathbf{v}^l & \mathbf{r}^l & \mathbf{s}^l \\ -\mathbf{v}^l & \mathbf{u}^l & -\mathbf{s}^l & \mathbf{r}^l \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \mathbf{T}_R \\ \mathbf{0} \\ \mathbf{x}_R \\ \mathbf{y}_R \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \mathbf{T}_L \\ \mathbf{0} \\ \mathbf{x}_L \\ \mathbf{y}_L \end{pmatrix}$$

Löst man diese Gleichung nach  $x_L$ ,  $y_L$ ,  $x_R$  und  $y_R$  auf, so erhält man für die einzelnen Komponenten folgende Lösungen:

$$x_L = -\frac{1}{r^2 + s^2} \cdot \left( \begin{array}{l} -r \cdot r' \cdot T_L - s \cdot s' \cdot T_L + r \cdot r' \cdot T_R \cdot u + s \cdot s' \cdot T_R \cdot u - r^2 \cdot T_R \cdot u' - s^2 \cdot T_R \cdot u' \\ + r' \cdot s \cdot T_R \cdot v - r \cdot s' \cdot T_R \cdot v \end{array} \right)$$

$$y_L = -\frac{1}{r^2 + s^2} \cdot \left( \begin{array}{l} -r' \cdot s \cdot T_L + r \cdot s' \cdot T_L + r' \cdot s \cdot T_R \cdot u - r \cdot s' \cdot T_R \cdot u - r \cdot r' \cdot T_R \cdot v - s \cdot s' \cdot T_R \cdot v \\ + r^2 \cdot T_R \cdot v' + s^2 \cdot T_R \cdot v' \end{array} \right)$$

$$x_R = -\frac{-r \cdot T_L + r \cdot T_R \cdot u + s \cdot T_R \cdot v}{r^2 + s^2}$$

$$y_R = -\frac{-s \cdot T_L + s \cdot T_R \cdot u - r \cdot T_R \cdot v}{r^2 + s^2}$$

Damit sind die Gleichungen vollständig, um für ein Zweiraummodell die Wärmeströme zwischen den verschiedenen Raum- und Wandpunkten zu berechnen, um dann die Temperaturen für die Räume und Wandoberflächen zu ermitteln.

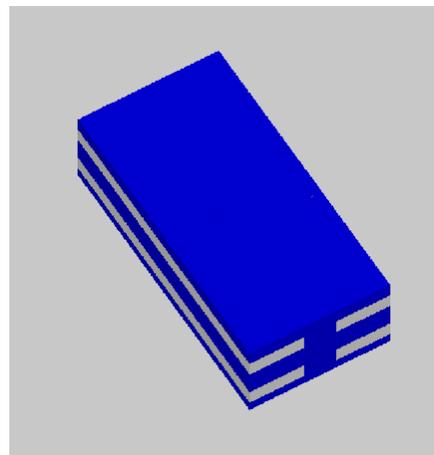
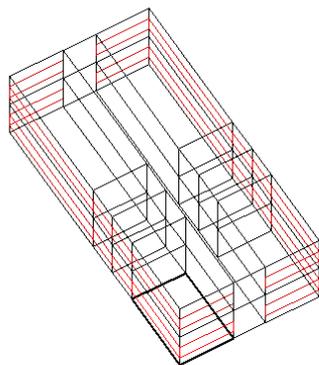
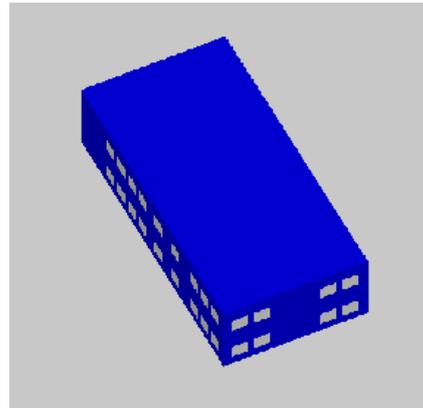
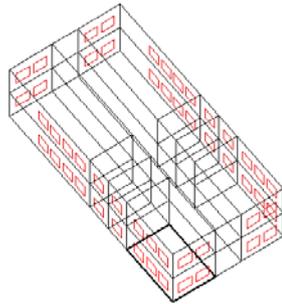
## **3 ANHANG 3**

### **3.1 Weitere Variationsberechnungen des Büromodells für den Kühlbedarf**

Ergänzend zu der in Kapitel 9 dieser Arbeit vorliegenden Quantifizierung der Teilsicherheitsbeiwerte wurden noch weitere Berechnungen zur Ermittlung der Rechenungenauigkeit des vereinfachten Verfahrens für den Kühlbedarf vorgenommen. Für Wien wurde eine Nutzungsvariante, ohne Berücksichtigung der Beleuchtungsabwärme bei den Inneren Wärmelasten, untersucht. Dieses Vorgehen wurde deshalb gewählt, weil im vereinfachten Verfahren nach ÖNORM B 8110 Teil 6 [OEN07\_02], beziehungsweise in dem davor vorgesehenen Nutzungsprofil aus ÖNORM B 8110 Teil 5 [OEN07\_03], auch keine Beleuchtungsabwärme, zumindest für den Heizwärmebedarf bei den Inneren Lasten, berücksichtigt wird. Der für den Heizfall vorgesehene Ansatz für die Inneren Wärmelasten nach der ÖNORM B 8110 Teil 5 [OEN07\_03] wäre für ein Bürogebäude 3.75 Watt pro Quadratmeter. Für den Kühlfall wären die Inneren Wärmelasten für ein Bürogebäude 7.50 Watt pro Quadratmeter. Die Teilsicherheitsbeiwerte für die Einzonenbilanz in dem Kapitel 9 wurden mit Inneren Wärmelasten berechnet die 6.63 Watt pro Quadratmeter groß waren, also eher dem Normwert für den Kühlbedarf entsprechen. In diesem Abschnitt der Arbeit wird die Rechenungenauigkeit für Innere Wärmelasten, die 4.03 Watt pro Quadratmeter groß sind, berechnet. Danach wird die Bauweise des Büromodells zusätzlich zur Parametervariation verändert. Ein leichtes Büromodell aus einer Holzriegelkonstruktion, ein mittelschweres Büromodell in Skelettbauweise und ein schweres Büromodell in massiver Bauweise werden untersucht. Dafür werden auch die Rechenungenauigkeiten angegeben. Schließlich wird noch der Ausblick auf andere Klimate gegeben und die Rechenungenauigkeit des vereinfachten Verfahrens wird noch für Palermo und Peking, für den Kühlbedarf, angegeben.

### 3.1.1 Büromodell

Es wird das gleiche Büromodell wie in Kapitel 9 dieser Arbeit zur Verdeutlichung herangezogen: mit einer Lochfassade, mit einer Lichtbandfassade und mit einer Ganzglasfassade.



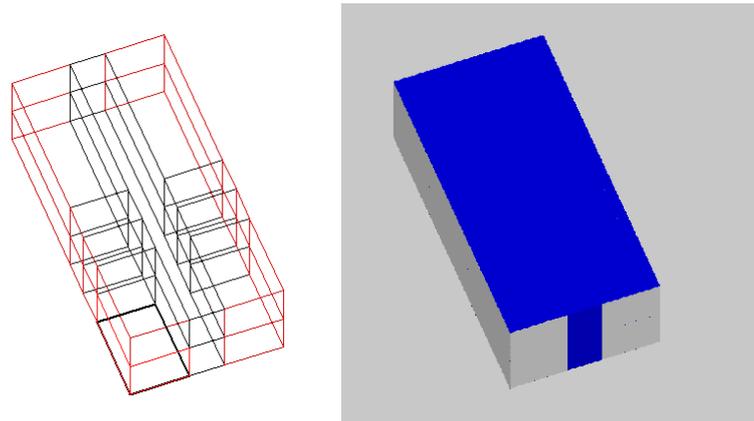


Abbildung 3-1 – Büromodell mit unterschiedlichen Fensterarten

### 3.1.2 Unterschied der Nutzung zu Kapitel 9

In Kapitel 9 dieser Arbeit wurde auch die Beleuchtung als Innere Wärmelast angesetzt. In diesem Abschnitt sind die Inneren Lasten um die Beleuchtungsabwärme reduziert. Die zehn Watt pro Quadratmeter Innere Wärmelast für die Beleuchtung wurden zur Bestimmung der Rechengenauigkeit des vereinfachten Verfahrens nicht berücksichtigt.

### 3.1.3 Nutzung

Die Nutzung wurde als Büronutzung festgelegt, mit vier verschiedenen Nutzungsbereichen:

Büronutzung (Einzelbüro, Großraumbüro)

Besprechungszimmer

Kantine

Gangnutzung

Für die Büros wurde von einer Arbeitszeit von 8:00 Uhr bis 17:00 Uhr ausgegangen. Das bedeutet, der notwendige hygienische Luftwechsel für besetzte Büros ist für zehn Stunden zu gewährleisten. Die Inneren Wärmelasten in den Büros sind zehn Stunden von Personen und Geräten zusammengesetzt und 14 Stunden nur durch Geräte im Standbymodus. Für die Büros wurde eine Mindestfläche von 15 m<sup>2</sup> pro Angestellten vorausgesetzt. Die Maximalbelegung des gesamten Gebäudemodells beträgt dadurch 18 Angestellte. Die acht Einzelbüros und die vier Großraumbüros haben insgesamt 270 m<sup>2</sup> Bruttofläche und das ergibt 18 Arbeitsplätze zu je 15 m<sup>2</sup>.

Die Wärmelasten in den Büros sollen für einen Arbeitsplatz 150 Watt während der Arbeitszeit betragen und 40 Watt während der restlichen Tages- und Nachtzeit, so dass eine Innere Wärmelast für Geräte berücksichtigt werden soll. Der Mindestluftwechsel wurde als hygienisch erforderlicher Luftwechsel angesetzt, er beträgt 30 m<sup>3</sup>/h und Person. Das bedeutet für die Einzel- und Großraumbüros eine Luftwechselrate von 0.50 h<sup>-1</sup> während der Arbeitszeit und für die restliche Tages- und Nachtzeit eine Luftwechselrate von 0.00 h<sup>-1</sup>.

Die Nutzung der Besprechungszimmer wurde mit einem Zeitraum von drei Stunden je Tag begrenzt. Es wurde angenommen, dass in einem Besprechungsraum sich täglich für drei Stunden zehn Angestellte einfinden. Auch hier wurde eine Innere Last von 150 Watt je Angestelltem, menschliche Abwärme und Laptop angesetzt. Die erforderliche Luftwechselrate ergibt sich somit für drei Stunden am Tag mit  $1.15 \text{ h}^{-1}$ . Die restliche Tages- und Nachtzeit ist kein Luftwechsel für die Besprechungszimmer erforderlich.

Die Kantine des Büromodells wird über die Mittagszeit von 11:00 bis 13:00 Uhr von 25 Personen genutzt, zusätzlich noch eine Stunde am Vormittag und am Nachmittag. Ergibt eine Nutzungsdauer der Kantine von vier Stunden pro Tag und einer erforderlichen Luftwechselrate von  $2.88 \text{ h}^{-1}$  während dieser Zeit. Die Inneren Wärmelasten ergeben sich dadurch, dass pro Kantinenbesucher 50 Watt Wärmeleistung angenommen wurde. Ergibt für vier Stunden eine Last von  $19.23 \text{ W/m}^2$ , hinzu kommt noch der Kochvorgang der mit fünf Stunden pro Tag und 1000 Watt angesetzt wurde. Für diese fünf Stunden wurde eine Belastung von  $15.38 \text{ W/m}^2$  angesetzt. Für die Nachtzeit wurde die Kantine ohne Innere Wärmelast berechnet, das bedeutet dass etwaige elektrische Geräte im Ruhezustand für die Kantine nicht berücksichtigt wurden. Der Luftwechsel in der Kantine ergibt sich in den vier Stunden, in denen die Vollaustattung der Räumlichkeiten angesetzt wird zu  $2.88 \text{ h}^{-1}$  und in den restlichen fünf Stunden der Arbeitszeit zu  $0.60 \text{ h}^{-1}$ , womit der hygienische Mindestluftwechsel für das Personal abgedeckt werden soll. In den Nachtstunden wird für die Kantine ein Luftwechsel von  $0.10 \text{ h}^{-1}$  angesetzt.

Die Gangeinheiten sind ohne Innere Wärmelasten versehen worden, der Luftwechsel wurde genauso wie in der Kantine nachts mit  $0.10 \text{ h}^{-1}$ , allerdings über die gesamte Tages- und Nachtzeit angenommen.

Für die Simulationsrechnung ist die Nutzung somit festgelegt worden, identisch wie in Kapitel 9 aber ohne Beleuchtung. Für das Monatsbilanzverfahren sind nun Mittelwertbildungen über 24 Stunden notwendig, sowohl für die Inneren Wärmelasten als auch für die Luftwechselraten.

Für das Bilanzverfahren ergeben sich somit folgende Luftwechselraten:

Einzelbüro	$n_{\text{BILANZ}} = 0.21 \text{ h}^{-1}$
Großraumbüro	$n_{\text{BILANZ}} = 0.21 \text{ h}^{-1}$
Besprechungszimmer	$n_{\text{BILANZ}} = 0.14 \text{ h}^{-1}$
Kantine	$n_{\text{BILANZ}} = 0.67 \text{ h}^{-1}$
Gang	$n_{\text{BILANZ}} = 0.10 \text{ h}^{-1}$

Für ein Mehrzonenmodell wären die oben angeführten Luftwechselraten anzusetzen und danach die Summe aus allen Bilanzrechnungen zu bilden, um die gesamte Energiebilanz über alle Zonen und das ganze Jahr für das Heizen und Kühlen zu erhalten. Für ein Einzonenmodell wäre der Mittelwert aus diesen Luftwechselraten zu bilden, man muss für die Einzonenbilanz den Wert  $0.27 \text{ h}^{-1}$  für die Luftwechselzahl von allen Nutzungseinheiten einsetzen.

Die Inneren Wärmelasten für die einzelnen Nutzungsbereiche müssen für die Mehrzonenbilanz folgende Größe aufweisen:

Einzelbüro	Innere Wärmelast $_{\text{BILANZ}} = 5.42 \text{ W/m}^2$
------------	--

Großraumbüro	Innere Wärmelast <sub>BILANZ</sub> = 5.42 W/m <sup>2</sup>
Besprechungszimmer	Innere Wärmelast <sub>BILANZ</sub> = 2.88 W/m <sup>2</sup>
Kantine	Innere Wärmelast <sub>BILANZ</sub> = 6.41 W/m <sup>2</sup>
Gang	Innere Wärmelast <sub>BILANZ</sub> = 0.00 W/m <sup>2</sup>

Für eine Einzonenbilanz ist wieder der Mittelwert über alle Nutzungsbereiche zu bilden, es würde sich eine Innere Wärmelast von 4.03 W/m<sup>2</sup> für das gesamte Gebäudemodell ergeben.

### 3.2 Kühlbedarf für die gewählte Nutzung

Für die Zwischenwand wurde für die erste Simulation zum Vergleich von Bilanz und Simulation ein U-Wert von 1.43 W/(m<sup>2</sup>K) angenommen. Dieser Aufbau kommt einer schwachen Kopplung des Modells gleich. Mit den angegebenen Parametern ergibt sich für die drei Modelle: mit Lochfassade, mit Lichtbandfassade und mit Ganzglasfassade folgender Kühlbedarf aus der Simulation, der Mehrzonen- und der Einzonenbilanz.

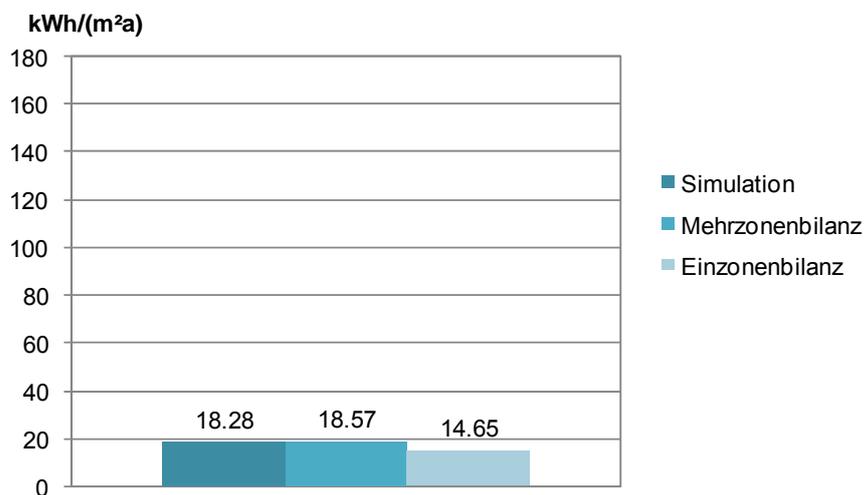


Abbildung 3-2 – Kühlbedarf für das Modell mit Lochfassade

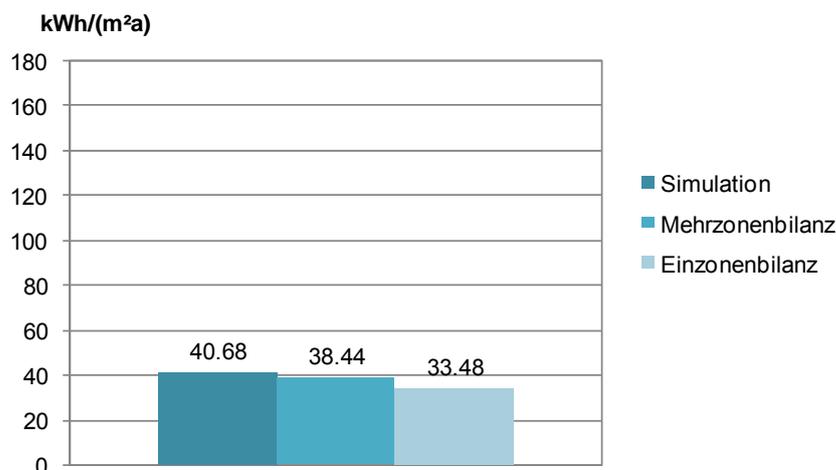


Abbildung 3-3 - Kühlbedarf für das Modell mit Lichtbandfassade

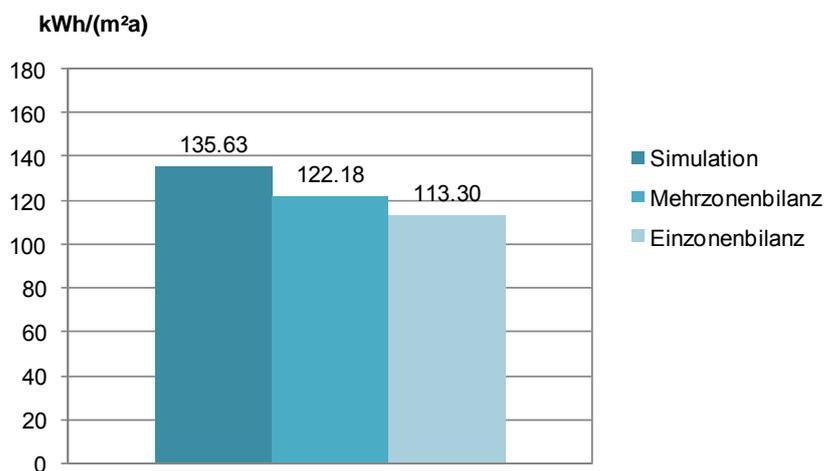


Abbildung 3-4 - Kühlbedarf für das Modell mit Ganzglasfassade

Bei dem Büromodell wird der Kühlbedarf durch die Einzonenbilanz unterschätzt, ebenso durch die Mehrzonenbilanz, bei Lichtband- und Ganzglasfassade. Nur für die Lochfassade wird der Kühlbedarf durch die Mehrzonenbilanz richtig abgebildet.

### 3.2.1 Anzahl der Variationen

Die Variation wurde als erstes für 1000 Varianten durchgeführt, danach immer nur für zehn Varianten entsprechend den 1000 Varianten für die erste, die hundertste, die dreihundertste bis zur 1000. Die zweihundertste Variante wurde dabei ausgelassen.

Die systematische Variation ergab folgende Verhältnisse von Gamma und Tau.

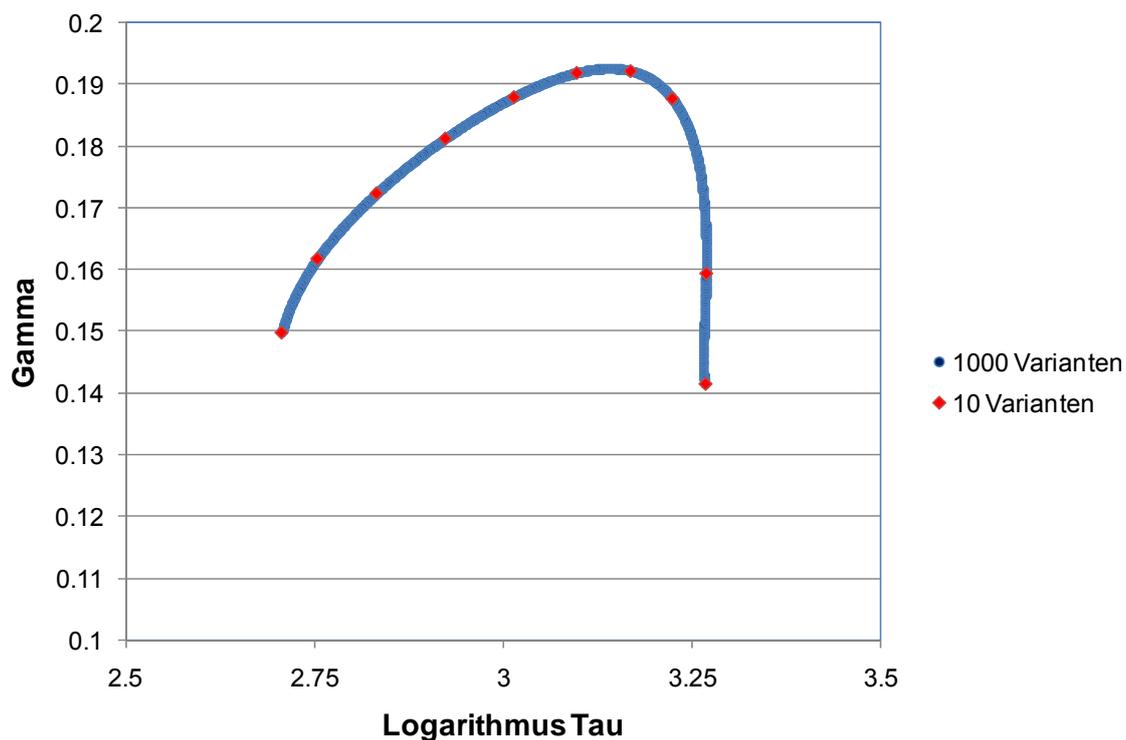


Abbildung 3-5 – Gamma/Tauverhältnis für 1000 Variationen und für 10 Variationen

### 3.2.2 Variation der Gebäudehülle und der Materialparameter

Die Parametervariation wurde genauso wie in Kapitel 9 dieser Arbeit beschrieben durchgeführt.

### 3.2.3 Systematische Variation

Die Beschreibung systematischen Variation ist dem Kapitel 9.3 der vorliegenden Arbeit zu entnehmen, auch die Nutzungsveränderung wurde entsprechend der beschriebenen Szenarien durchgeführt.

### 3.2.4 Ergebnisse

Die Ergebnisse für jede Variation der Einzonenbilanz und Mehrzonenbilanz wurden nun wieder auf das Ergebnis der Simulationsrechnung bezogen. Sofern die Bilanzrechnung den tatsächlich auftretenden Energiebedarf für das Heizen oder das Kühlen unterschätzt, ergibt sich ein Wert größer als eins. In der Abbildung 3-6 ist das Gamma zu Tau Verhältnis der Variationsberechnungen dargestellt.

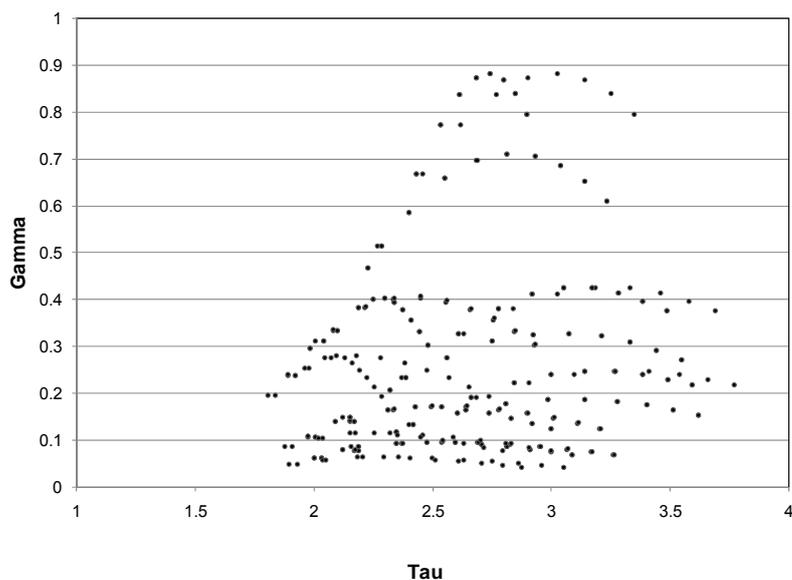


Abbildung 3-6 – Gamma zu Tauverhältnis für das Büromodell ohne Beleuchtungsabwärme

Die Variation des Modells führte zu Gebäudezeitkonstanten von knapp 100, der dekadische Logarithmus von 100 ist zwei, bis zu Zeitkonstanten von annähernd 10.000, würde dem Wert vier in der Abbildung entsprechen.

Durch die drei Fassadentypen kommt es zu einer Gamma-Variation von Null bis eins. Die meisten der untersuchten Fälle haben einen Gammawert von unter 0.5.

Wie in Kapitel 9 muss man nun wieder betrachten, welche Kühllasten sich durch die systematische Variation ergeben haben. In der Abbildung 3-7 ist das Ergebnis dargestellt.

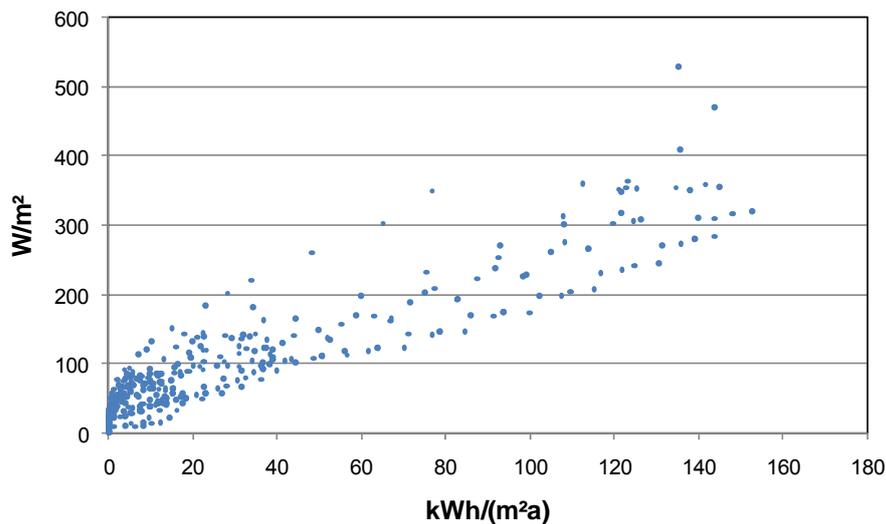


Abbildung 3-7 – Maximale Raumheizlast bezogen auf den Kühlbedarf

In der Abbildung 3-7 ist zu erkennen, dass maximale Raumheizlasten über  $80 \text{ W/m}^2$  entstanden sind. Bezieht man alle Teilsicherheitsbeiwerte wieder auf den Kühlbedarf, dann erhält man die Abbildung 3-8 für die Einzonenbilanz und die Abbildung 3-9 für die Mehrzonenbilanz.

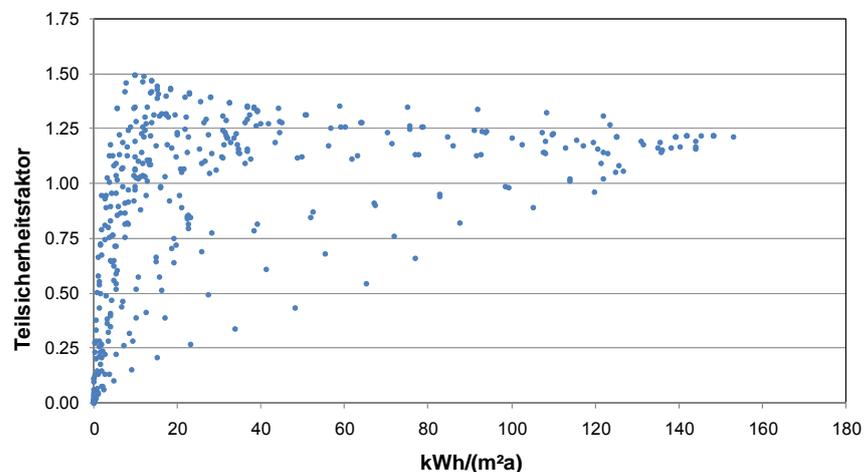


Abbildung 3-8 – Teilsicherheitsfaktoren bezogen auf den Kühlbedarf für die Einzonenbilanz

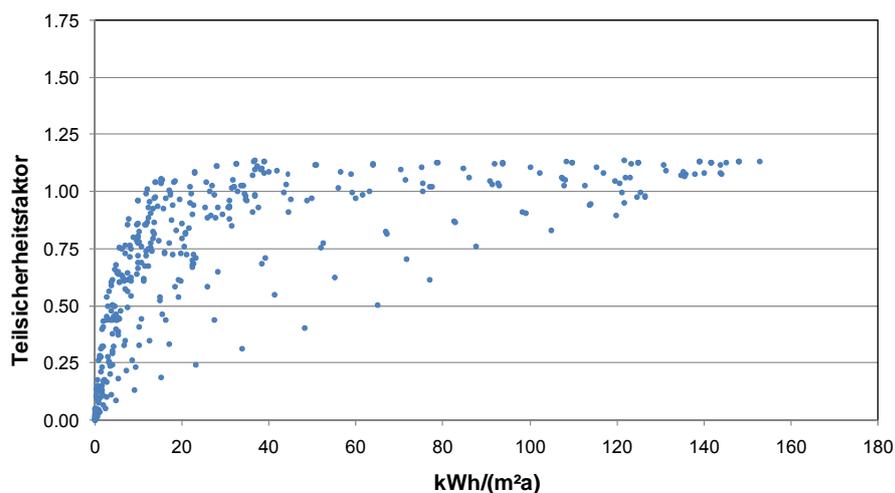


Abbildung 3-9 – Teilsicherheitsfaktoren bezogen auf den Kühlbedarf für die Mehrzonenbilanz

Die Faktoren sind ohne Berücksichtigung der Beleuchtung als Innere Wärmelast etwas höher als mit, wie in Kapitel 8 der vorliegenden Arbeit beschrieben wurde.

Berücksichtigt man nun wieder realistische Fälle und schließt das Ausschlusskriterium der Fälle mit einer Kühllast von über  $80 \text{ W/m}^2$  aus, ergeben sich für die Teilsicherheitsfaktoren folgende Abbildungen.

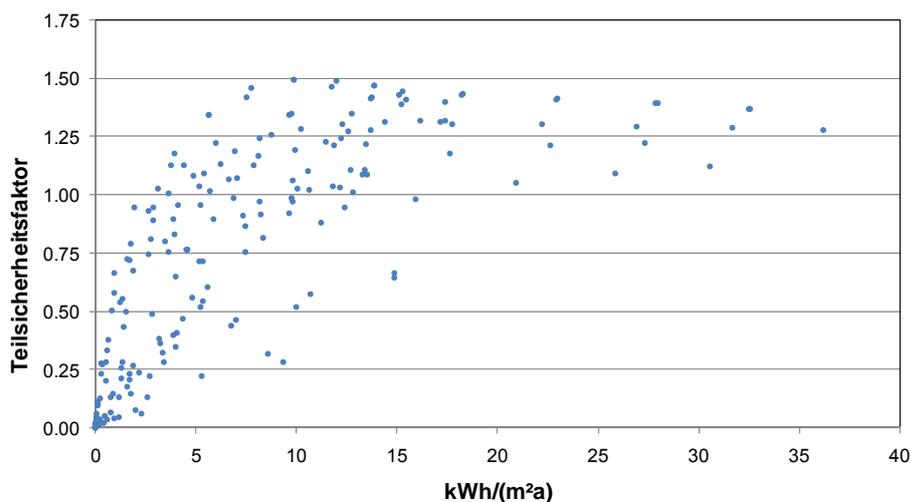


Abbildung 3-10 - Teilsicherheitsfaktoren bezogen auf den Kühlbedarf für die Einzonenbilanz für realistische Büromodelle ohne Kühllasten über  $80 \text{ W/m}^2$

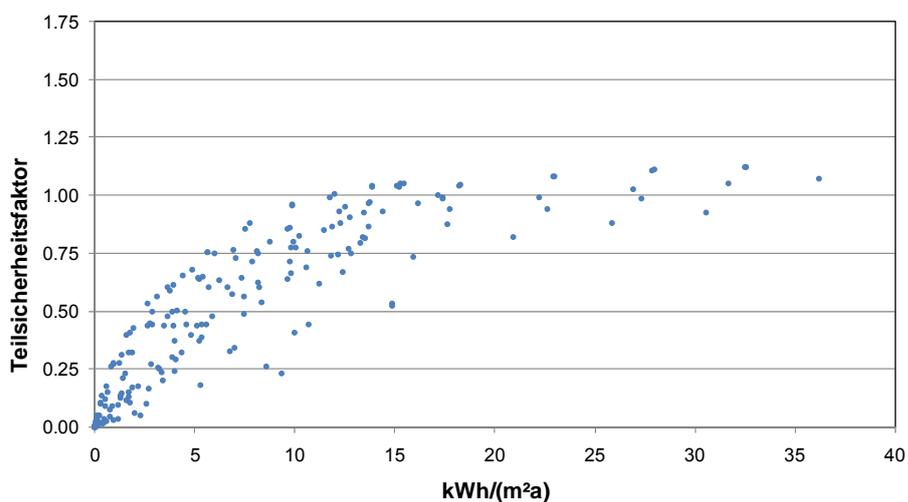


Abbildung 3-11 - Teilsicherheitsfaktoren bezogen auf den Kühlbedarf für die Mehrzonenbilanz für realistische Büromodelle ohne Kühllasten über  $80 \text{ W/m}^2$

Bei der Anwendung des Ausschlusskriteriums auf die berechneten Teilsicherheitsfaktoren erkennt man wiederum, dass die ermittelten Rechenungenauigkeiten größer sind als für eine Nutzung mit höheren Inneren Wärmelasten. Bezogen auf das Ergebnis der Bilanzrechnung für den Kühlbedarf ist die Abweichung der Einzonenbilanz an die 50 Prozent, bei der Mehrzonenbilanz an die 20 Prozent.

Im Folgenden wird nun wieder auf die einzelnen Nutzungen eingegangen, damit feststellbar wird, welche Lüftungsszenarien zu welchen Rechenungenauigkeiten führen.

### 3.2.5 Teilsicherheitsbeiwerte für die verschiedenen Nutzungen

Im Folgenden wird auf die Rechenabweichungen der verschiedenen Nutzungen, in der gleichen Weise wie in Kapitel 9 eingegangen. Die Teilsicherheitsbeiwerte werden wieder getrennt für die Einzonenbilanz und die Mehrzonenbilanz abgebildet. Das definierte Ausschlusskriterium für die Raumkühllast ist dabei weiterhin berücksichtigt. Die Teilsicherheitsbeiwerte sind auch ohne Ausschlusskriterium zum besseren Verständnis der Rechenabweichungen angegeben.

#### 3.2.5.1 Bürobelegung

Für die Bürobelegung ergeben sich für das berechnete Modell, ohne Innere Wärmelasten für die Beleuchtung, die in der Abbildung 3-12 und in der Abbildung 3-32 dargestellten Rechenabweichungen. Ein stark gekoppeltes Modell wurde dabei nicht betrachtet.

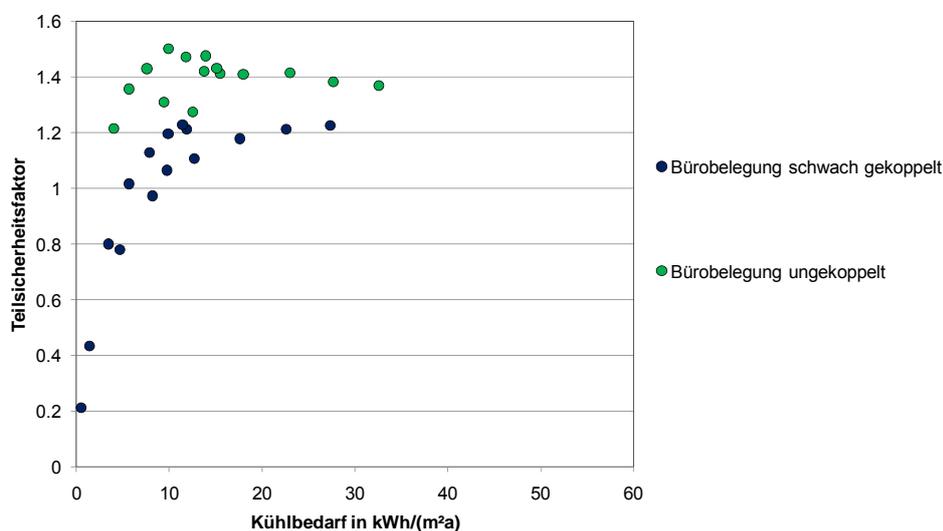


Abbildung 3-12 - Teilsicherheitsfaktoren der Bürobelegung für die Einzonenbilanz und den Kühlbedarf ohne Beleuchtungsabwärme

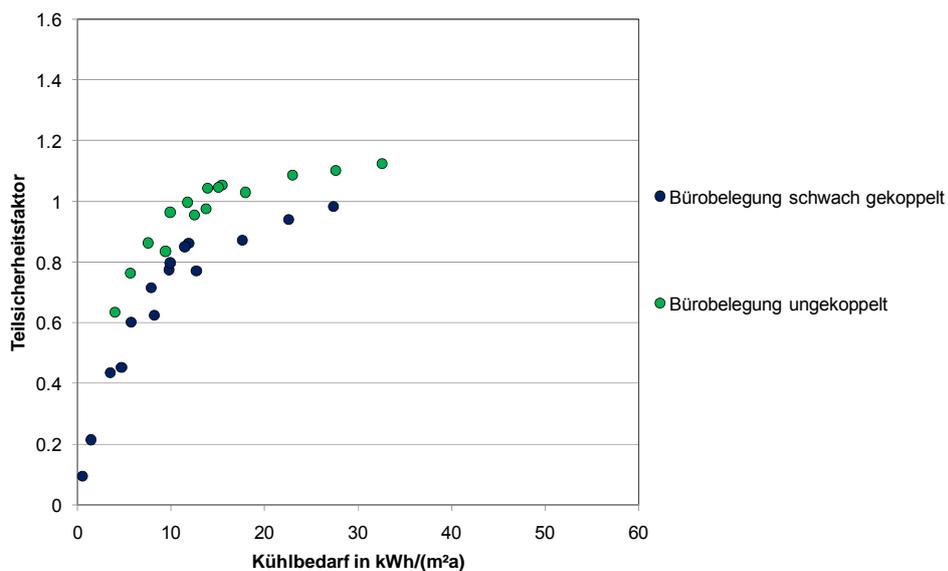


Abbildung 3-13 - Teilsicherheitsfaktoren der Bürobeleuchtung für die Mehrzonenbilanz und den Kühlbedarf ohne Beleuchtungsabwärme

Bei der Abbildung 3-12 für die Einzonenbilanz und der Abbildung 3-32 für die Mehrzonenbilanz ist erkennbar, dass das ungekoppelte Modell zu größeren Rechenungenauigkeiten führt als das gekoppelte Modell. In dem Kapitel 9, indem die Beleuchtungsabwärme berücksichtigt wurde, ist dies nicht erkennbar gewesen. Bei der Einzonenbilanz erscheint die Abweichung, bei einem Kühlbedarf von zehn kWh/(m²a), am größten. Bei der Mehrzonenbilanz wächst Rechenabweichung mit ansteigendem Energiebedarf für das Kühlen. Die Teilsicherheitsbeiwerte wären für die Einzonenbilanz 1.50 und für die Mehrzonenbilanz 1.20. Betrachtet man nun den Verlauf der Ungenauigkeiten des vereinfachten Rechenverfahrens ohne Ausschlusskriterium, erhält man die beiden folgenden Abbildungen.

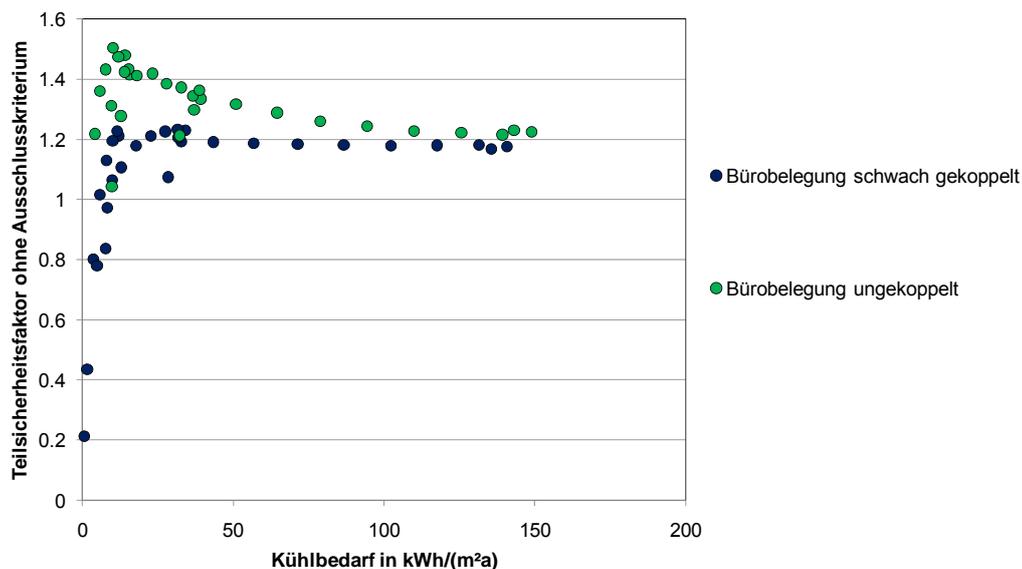


Abbildung 3-14 - Teilsicherheitsfaktoren der Bürobelegung für die Einzonenbilanz und den Kühlbedarf ohne Beleuchtungsabwärme und ohne Ausschlusskriterium

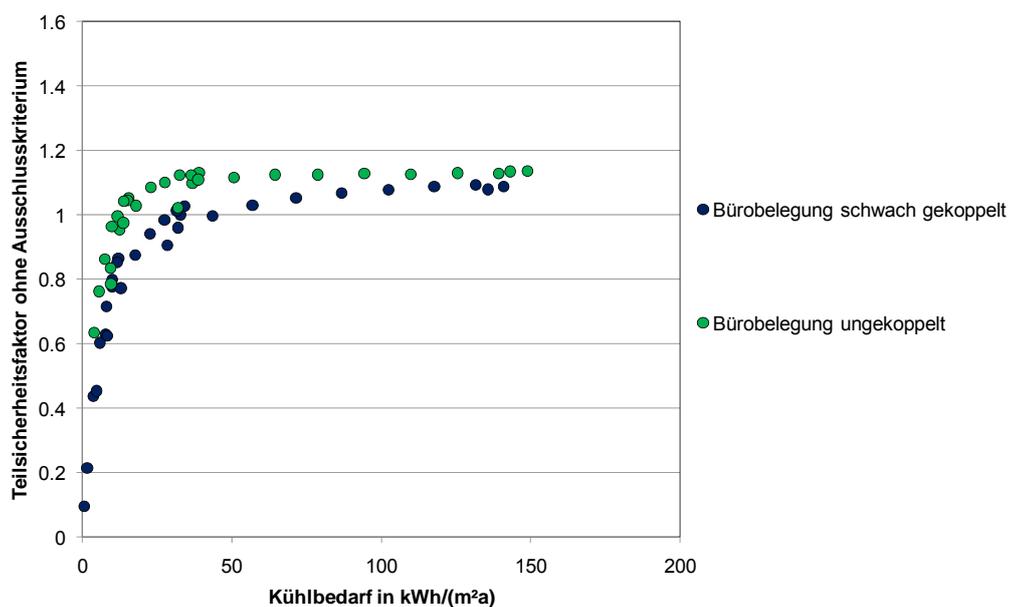


Abbildung 3-15 - Teilsicherheitsfaktoren der Bürobelegung für die Mehrzonenbilanz und den Kühlbedarf ohne Beleuchtungsabwärme und ohne Ausschlusskriterium

Die Abbildung 3-14 und Abbildung 3-15 bestätigen die festgestellten Erkenntnisse. Bei der Einzonenbilanz wird die Rechengenauigkeit mit zunehmenden Kühlbedarf größer, bei der Mehrzonenbilanz bleibt die Abweichung ab einem Energiebedarf für das Kühlen von rund 30 kWh/(m²a) gleich groß.

### 3.2.5.2 Natürliches Nachlüftungskonzept für den Gang und Nachlüftungskonzept in allen Zonen

Durch eine nächtliche Belüftung des Gangs im Sommer und ein Nachlüftungskonzept in allen Zonen kann der Kühlbedarf gesenkt werden. In Kapitel 9 konnten dabei nur Rechengenauigkeiten für ein ungekoppeltes Büromodell festgestellt werden. Stellt man die Ergebnisse für die Einzonenbilanz und die Mehrzonenbilanz dar, erhält man die Abbildung 3-16 und die Abbildung 3-17.

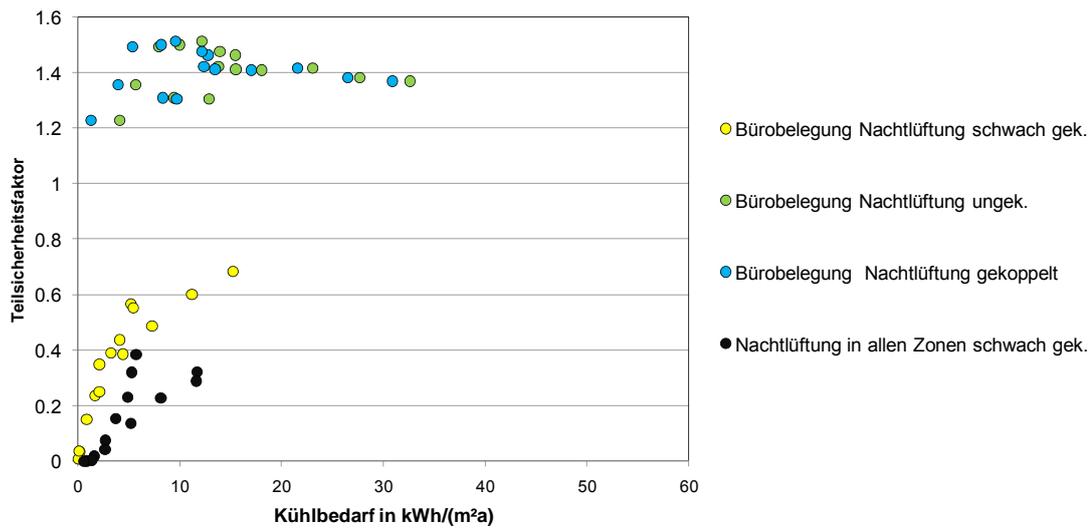


Abbildung 3-16 - Teilsicherheitsfaktoren der Büronutzung mit Nachtlüftung für den Gang und in allen Zonen für die Einzonenbilanz und den Kühlbedarf ohne Beleuchtungsabwärme

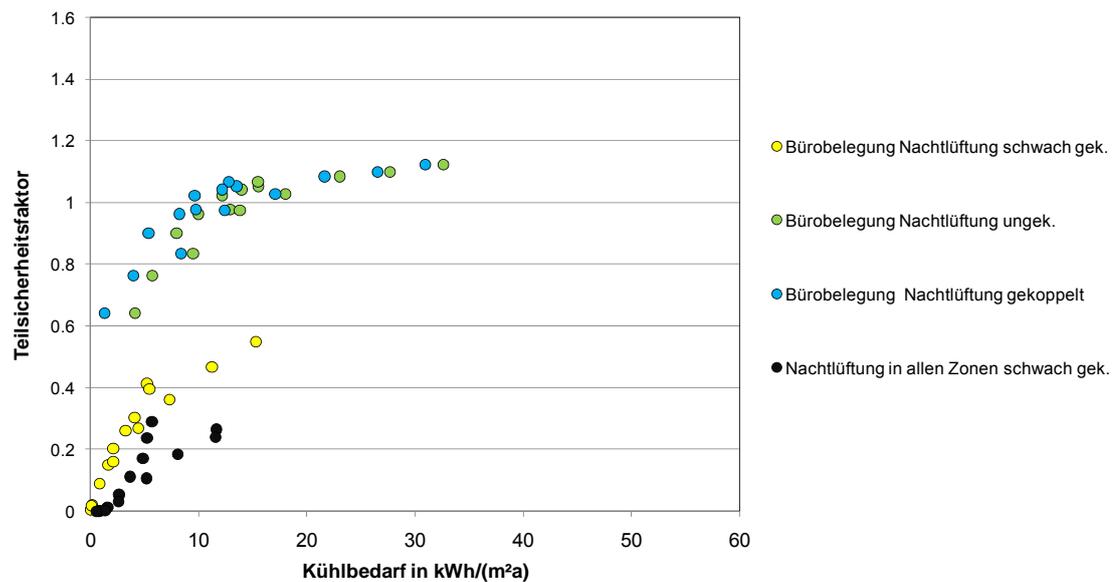


Abbildung 3-17 - Teilsicherheitsfaktoren der Büronutzung mit Nachtlüftung für den Gang und in allen Zonen für die Einzonenbilanz und den Kühlbedarf ohne Beleuchtungsabwärme

Die beiden Darstellungen zeigen, dass nun nicht nur die ungekoppelte Variante des Büromodells, sondern auch das Modell mit gekoppelten Zonen große Rechenungenauigkeiten hervorruft. Die Abweichung erscheint bei der Einzonenbilanz, bei einem Kühlbedarf größer als zehn kWh/(m<sup>2</sup>a) am größten, bei der Mehrzonenbilanz nimmt die Rechenungenauigkeit mit noch größerem Kühlbedarf zu. Die Teilsicherheitsbeiwerte sind bei diesem Lüftungsszenario deutlich größer als bei der gleichen Nutzungsvariante in Kapitel 9. In den nächsten beiden Abbildungen sind wieder die Rechenabweichungen; der Büronutzung mit Nachtlüftung für den Gang und in allen Zonen; ohne Ausschlusskriterium dargestellt.

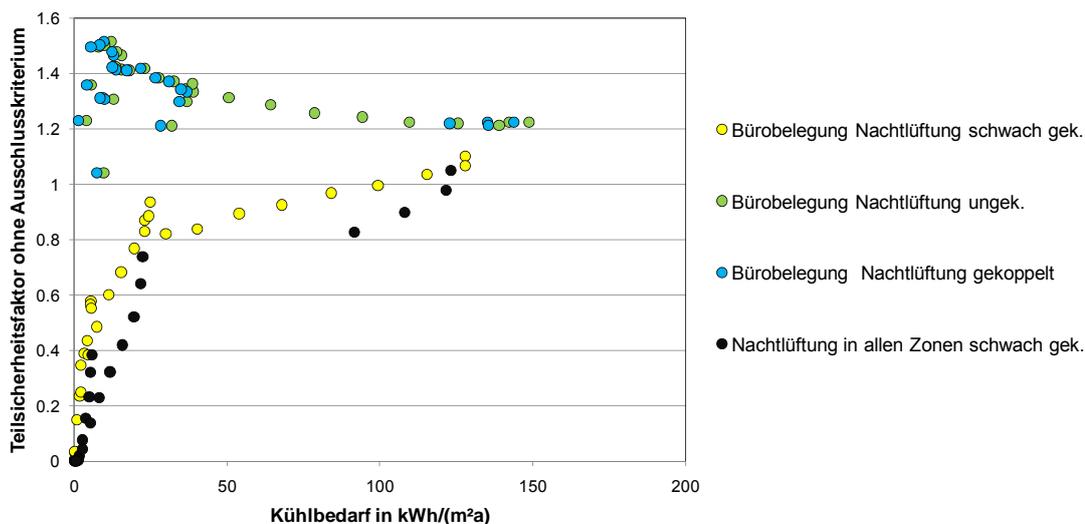


Abbildung 3-18 - Teilsicherheitsfaktoren der Büronutzung mit Nachtlüftung für den Gang und in allen Zonen für die Einzonenbilanz und den Kühlbedarf ohne Ausschlusskriterium und ohne Beleuchtungsabwärme

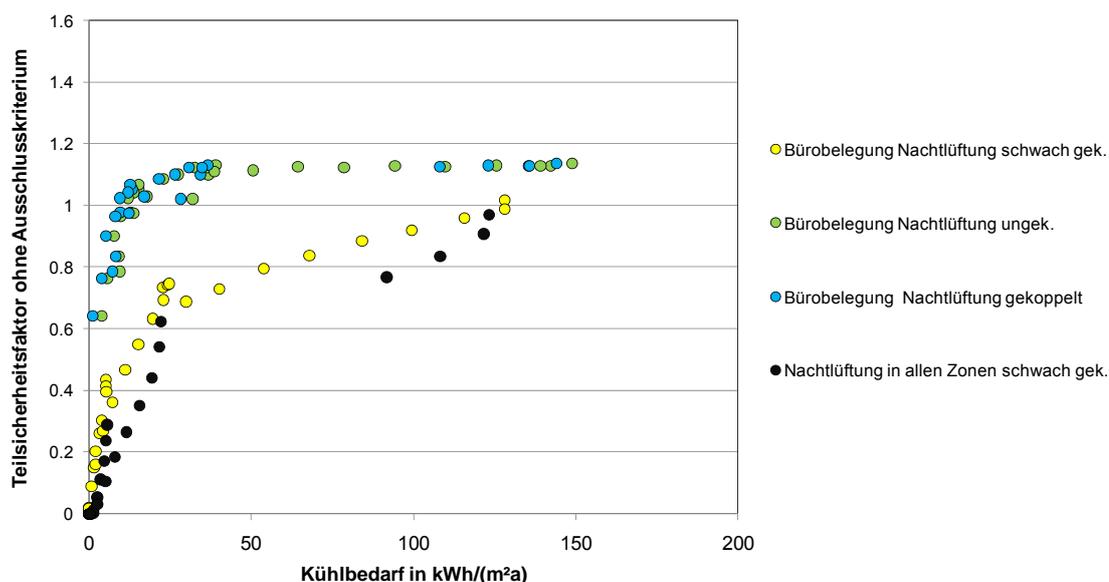


Abbildung 3-19 - Teilsicherheitsfaktoren der Büronutzung mit Nachtlüftung für den Gang und in allen Zonen für die Mehrzonenbilanz und den Kühlbedarf ohne Ausschlusskriterium und ohne Beleuchtungsabwärme

Die Abbildung 3-18 und Abbildung 3-19 sind die gesamten Ergebnisse des untersuchten Nutzungsfalls. Sie untermauern die in Kapitel 9 festgestellten Erkenntnisse. Der einzige Unterschied ist, dass nun auch gekoppelte Modelle zu den gleichen Abweichungen wie ungekoppelte führen.

### 3.2.5.3 Konstanter, energieäquivalenter Luftwechsel einer Anlage mit Wärmetauscher

Die Lüftungsanlage mit Wärmetauscher, die einen sehr kleinen energieäquivalenten Luftwechsel in den Zonen hervorruft, wurde in diesem Nutzungsfall untersucht. Dabei stellen sich die in den nächsten beiden Abbildungen dargestellten Ergebnisse ein.

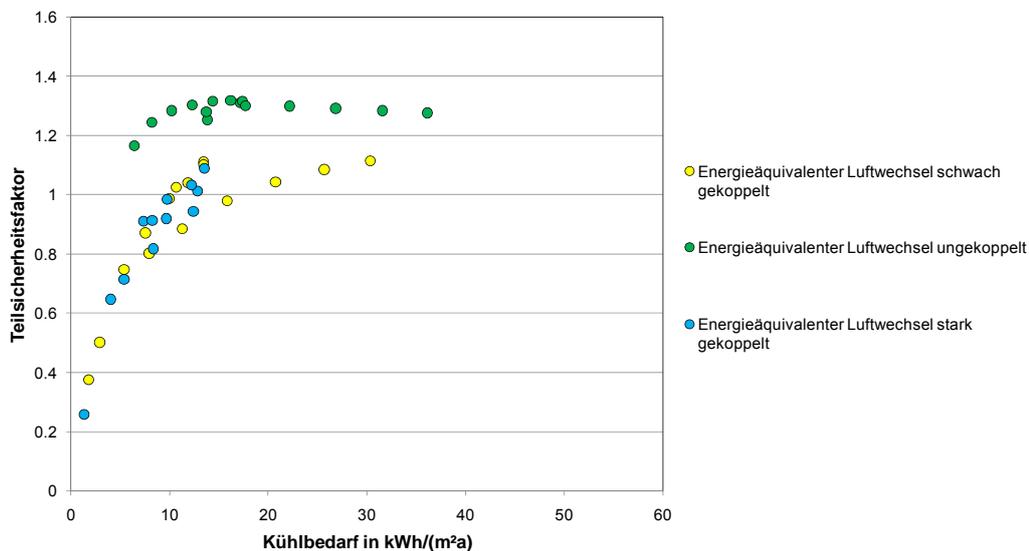


Abbildung 3-20 - Teilsicherheitsfaktoren der Lüftungsanlage mit Wärmetauscher für die Einzonenbilanz und den Kühlbedarf ohne Beleuchtungsabwärme

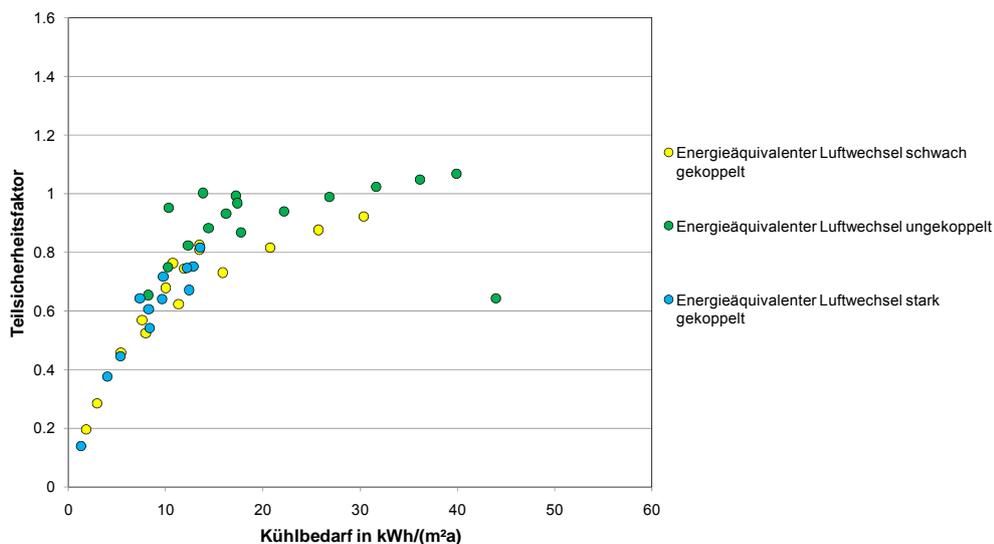


Abbildung 3-21 - Teilsicherheitsfaktoren der Lüftungsanlage mit Wärmetauscher für die Mehrzonenbilanz und den Kühlbedarf ohne Beleuchtungsabwärme

Die Abbildung 3-20 und Abbildung 3-21 zeigen, dass das ungekoppelte Modell die größten Rechenungenauigkeiten bei den getroffenen Annahmen hervorruft. Unter Berücksichtigung der Beleuchtungsabwärme war das nicht so, dennoch sind die Teilsicherheitsbeiwerte größer als in Kapitel 9. Betrachtet man nun alle Ergebnisse für dieses Lüftungsszenario erhält man die beiden folgenden Abbildungen.

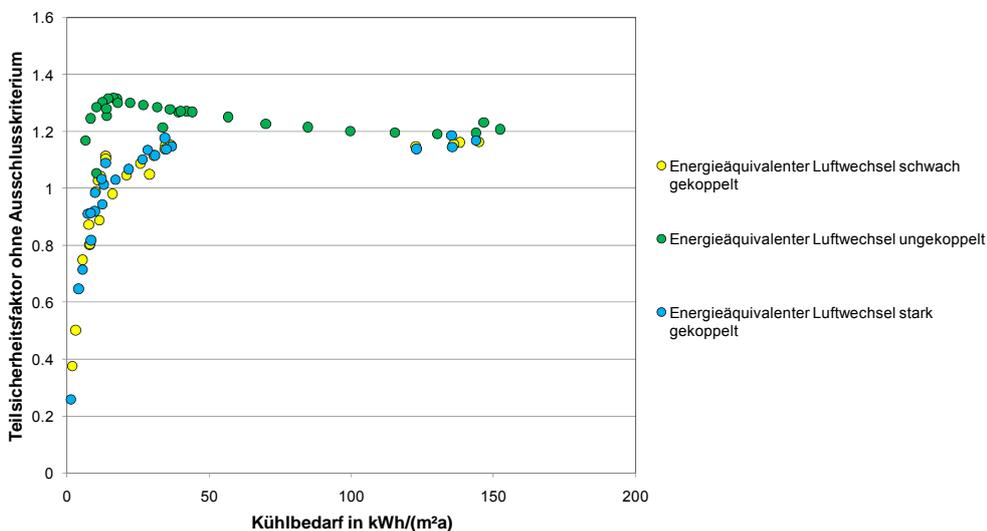


Abbildung 3-22 - Teilsicherheitsfaktoren der Lüftungsanlage mit Wärmetauscher für die Einzonenbilanz und den Kühlbedarf ohne Ausschlusskriterium und ohne Beleuchtungsabwärme

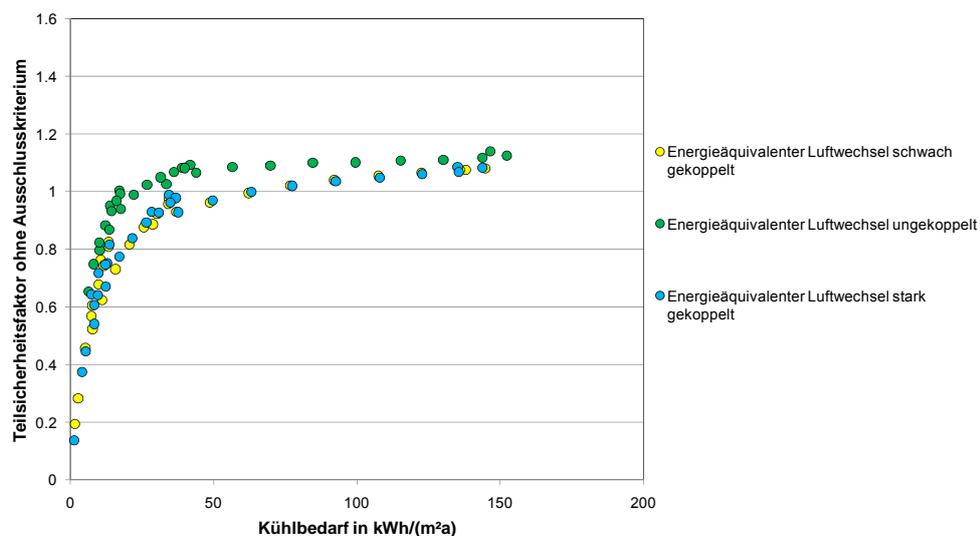


Abbildung 3-23 - Teilsicherheitsfaktoren der Lüftungsanlage mit Wärmetauscher für die Mehrzonenbilanz und den Kühlbedarf ohne Ausschlusskriterium und ohne Beleuchtungsabwärme

Bei der Einzonenbilanz sind die Abweichungen bei zehn kWh/(m²a) am größten, die Rechenungenauigkeiten sinken mit steigendem Kühlbedarf. Bei der Mehrzonenbilanz steigen die Teilsicherheitsbeiwerte mit größer werdendem Kühlbedarf an. In beiden Fällen weicht das ungekoppelte Modell am meisten ab.

#### 3.2.5.4 Konstanter Luftwechsel mit einer Lüftungsanlage

Bei einem 1.20-fachen Luftwechsel ergab sich in Kapitel 9, nur für die Einzonenbilanz, ein Teilsicherheitsbeiwert, die Mehrzonenbilanz überschätzte den tatsächlich auftretenden Kühlbedarf. In den nachstehenden Abbildungen sind die Ergebnisse für dieses Lüftungsszenario dargestellt. Dabei wurde das stark gekoppelte Modell nicht berücksichtigt.

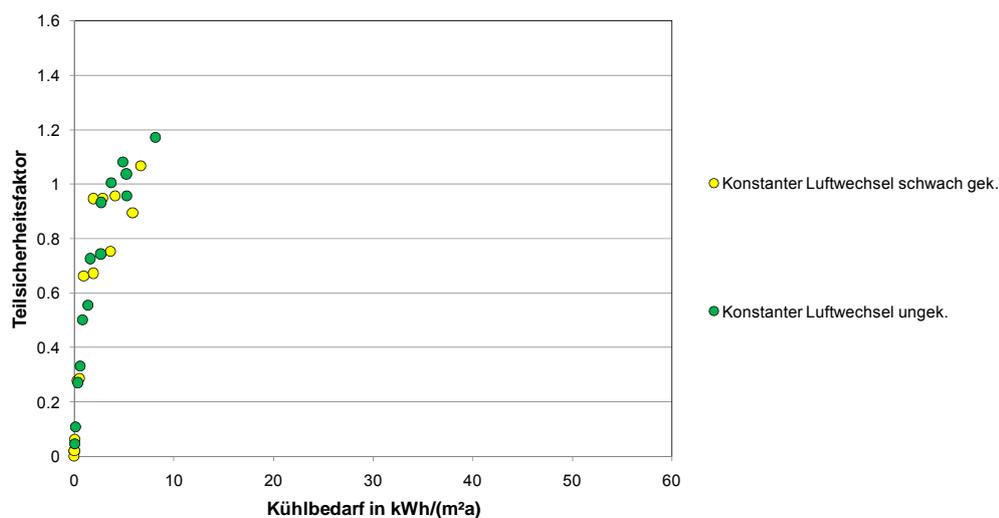


Abbildung 3-24 - Teilsicherheitsfaktoren für einen konstanten Luftwechsel einer Lüftungsanlage für die Einzonenbilanz und den Kühlbedarf ohne Beleuchtungsabwärme

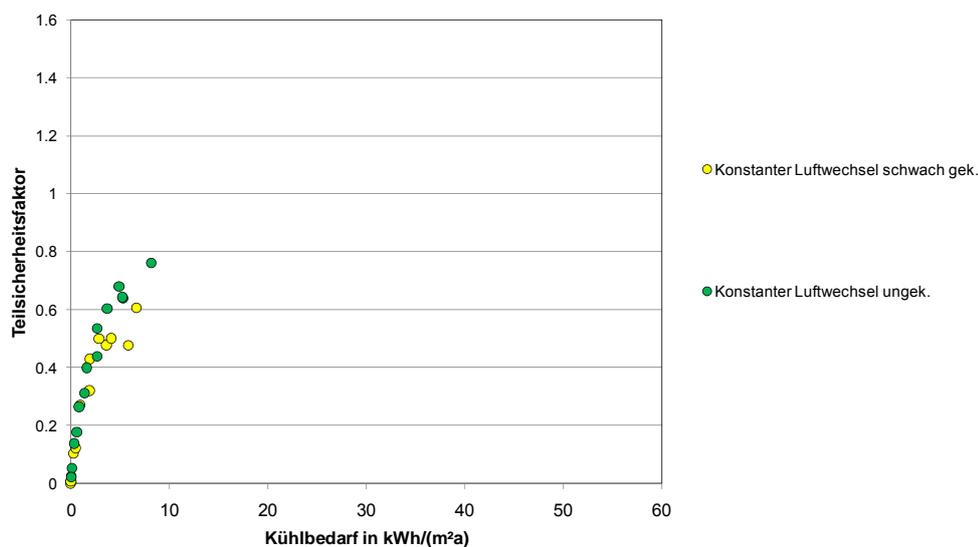


Abbildung 3-25 - Teilsicherheitsfaktoren für einen konstanten Luftwechsel einer Lüftungsanlage für die Mehrzonenbilanz und den Kühlbedarf ohne Beleuchtungsabwärme

Die in Kapitel 9 gewonnenen Erkenntnisse bestätigen sich in diesem Fall und für die Mehrzonenbilanz ist die Abweichung für realistische Fälle immer kleiner eins. Ein Teilsicherheitsbeiwert würde sich nur für die Einzonenbilanz ergeben. In den nächsten beiden Darstellungen sind die Ergebnisse, für einen konstanten Luftwechsel einer Lüftungsanlage, ohne Ausschlusskriterium dargestellt.

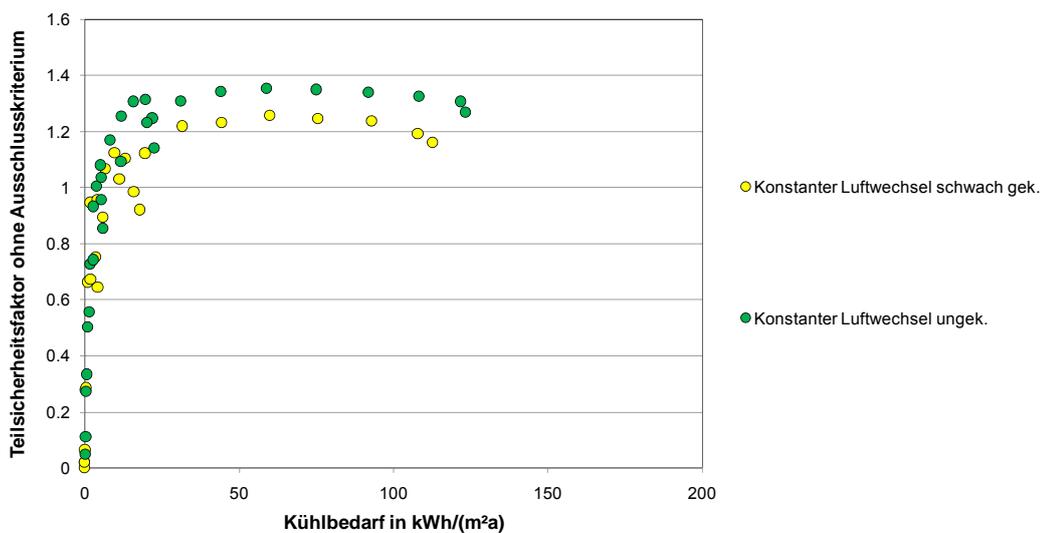


Abbildung 3-26 - Teilsicherheitsfaktoren für einen konstanten Luftwechsel einer Lüftungsanlage für die Einzonenbilanz und den Kühlbedarf ohne Ausschlusskriterium und ohne Beleuchtungsabwärme

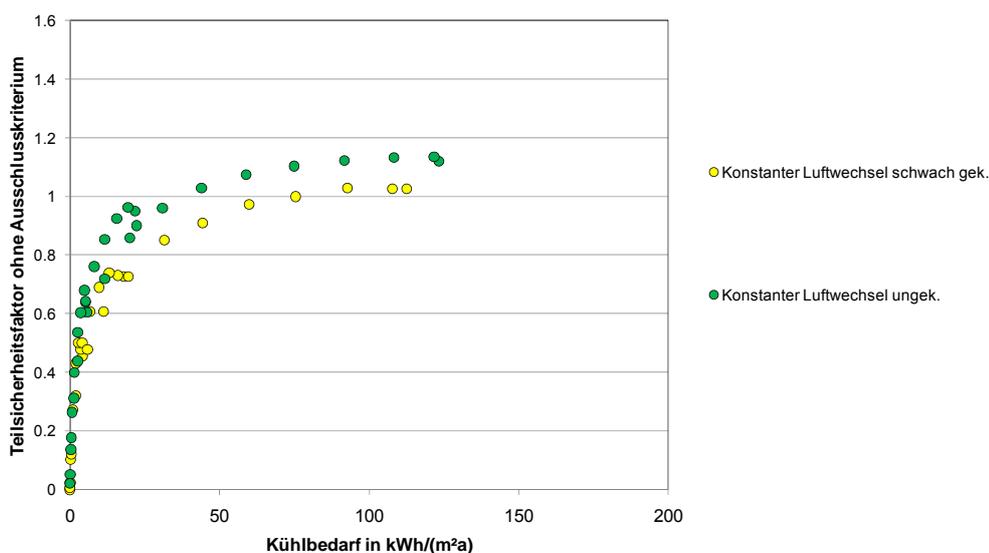


Abbildung 3-27 - Teilsicherheitsfaktoren für einen konstanten Luftwechsel einer Lüftungsanlage für die Mehrzonenbilanz und den Kühlbedarf ohne Ausschlusskriterium und ohne Beleuchtungsabwärme

Die Rechenabweichungen sind wieder größer als bei der Untersuchung in Kapitel 9. Die Mehrzonenbilanz liefert für dieses Lüftungsszenario von für technisch verwirklichtbare Gebäude gute Ergebnisse für den Kühlbedarf. Die Rechengenauigkeit bei der Einzonenbilanz beträgt für das ungekoppelte Modell rund 40 Prozent vom Ergebnis des bilanzierten Kühlbedarfs.

### 3.2.5.5 Konstanter zeitabhängiger Luftwechsel

Für den konstanten, zeitabhängigen Luftwechsel wurden für die Ermittlung des Kühlbedarfs unterschiedliche Luftwechselzahlen für Tag und Nacht angesetzt. Es wurde ein Nachtlüftungskonzept für alle Zonen angenommen. Bei der gewählten Nutzung stellen sich Teilsicherheitsbeiwerte ein, die in den nächsten beiden Abbildungen dargestellt sind. Dabei wurde das stark gekoppelte Modell nicht berücksichtigt.

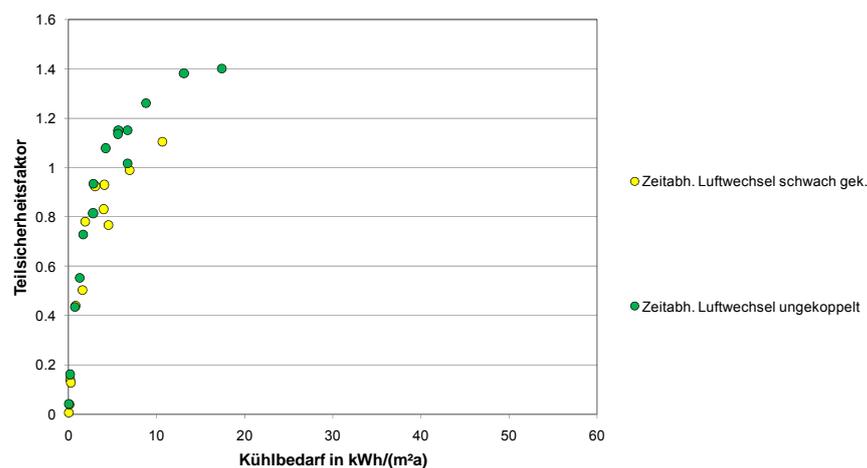


Abbildung 3-28 - Teilsicherheitsfaktoren für einen konstanten zeitabhängigen Luftwechsel für die Einzonenbilanz und den Kühlbedarf ohne Beleuchtungsabwärme

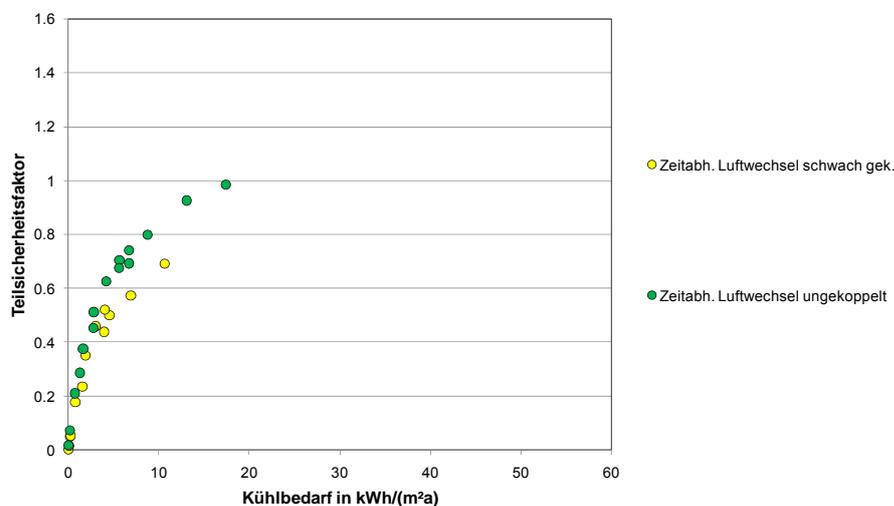


Abbildung 3-29 - Teilsicherheitsfaktoren für einen konstanten zeitabhängigen Luftwechsel für die Mehrzonenbilanz und den Kühlbedarf ohne Beleuchtungsabwärme

Die Abbildung 3-28 und die Abbildung 3-29 zeigen, dass sich für die gewählte Nutzung und für die Einzonenbilanz ein größerer Teilsicherheitsfaktor, als im Kapitel 9 quantifiziert wurde, einstellt. Für die Mehrzonenbilanz ergäbe sich hier keine erforderliche Korrektur, jedoch fehlt

dabei die Untersuchung des stark gekoppelten Modells. Abschließend werden nun die Ergebnisse für dieses Lüftungsszenario ohne Ausschlusskriterium dargestellt.

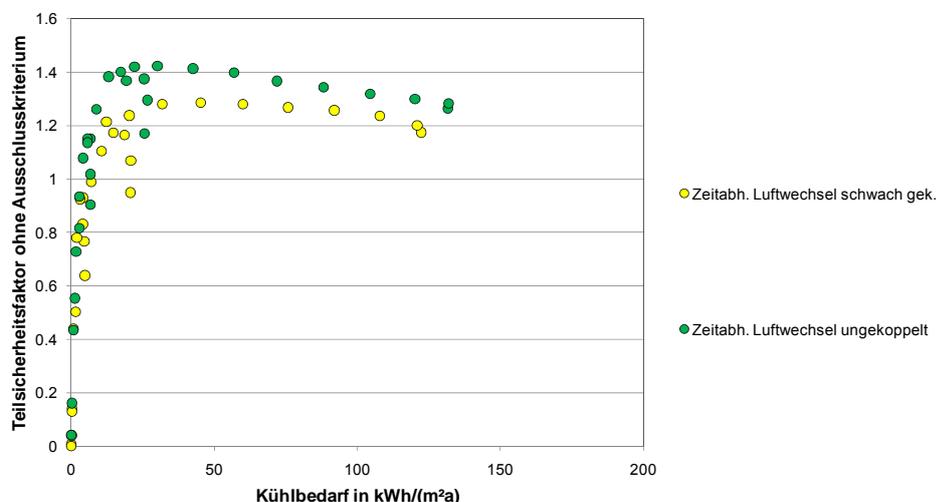


Abbildung 3-30 - Teilsicherheitsfaktoren für einen konstanten zeitabhängigen Luftwechsel für die Einzonenbilanz und den Kühlbedarf ohne Ausschlusskriterium und ohne Beleuchtungsabwärme

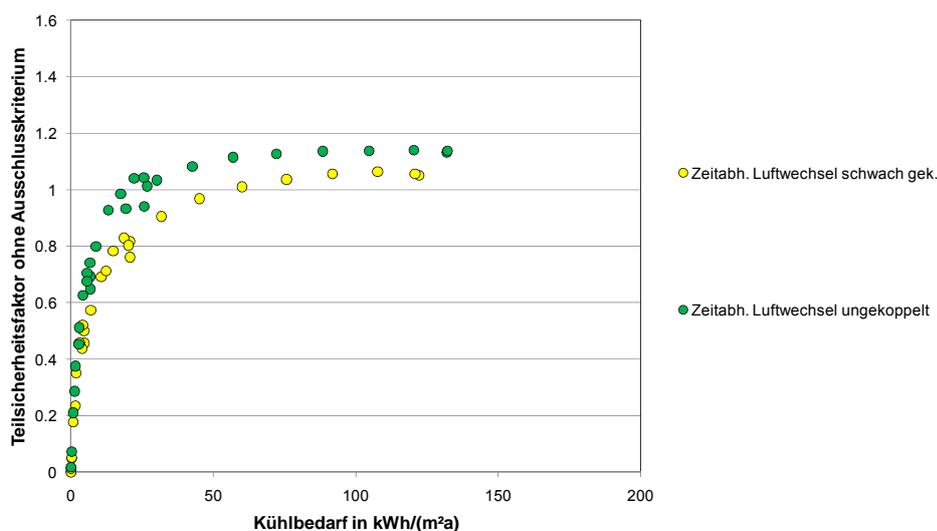


Abbildung 3-31 - Teilsicherheitsfaktoren für einen konstanten zeitabhängigen Luftwechsel für die Mehrzonenbilanz und den Kühlbedarf ohne Ausschlusskriterium und ohne Beleuchtungsabwärme

Die Abweichung der Einzonenbilanz, wie die Abbildung 3-30 zeigt, ist bei kleineren Ergebnissen für den Kühlbedarf am größten. Bei der Mehrzonenbilanz nimmt die Rechenungenauigkeit mit größer werdendem Kühlbedarf zu und bleibt dann ab einem Wert von 50 kWh/(m<sup>2</sup>a) konstant, siehe Abbildung 3-31. Hingegen nimmt bei der Einzonenbilanz die Rechenabweichung des vereinfachten Verfahrens mit steigendem Kühlbedarf ab. Für ungekoppelte Modelle ist bei beiden Bilanzverfahren die Abweichung größer als für schwach gekoppelte Modelle.

Abschließend muss noch erwähnt werden, dass die Quantifizierung der Teilsicherheitsbeiwerte in Kapitel 9 mit einer realitätsnahen Nutzung für ein Büromodell getroffen wurde, um für eine praktische Anwendung die Rechenungenauigkeit festzustellen und zu korrigieren. Die ermittelten Teilsicherheitsbeiwerte in diesem Anhang können als Parameterstudie der Eingangsgrößen aufgefasst werden.

### **3.3 Büromodell in verschiedenen Bauweisen**

Um das gesamte Spektrum der in der Praxis üblichen Bauweisen abzudecken, wurde die in dem vorigen Kapitel beschriebene Variation auch mit unterschiedlichen Bauweisen durchgeführt. Das bedeutet, die Ergebnisse der verschiedenen Bauweisen sind auch ohne Beleuchtungsabwärme bei den Inneren Wärmelasten ermittelt worden. Dabei wurde auf veränderliche Materialparameter verzichtet, die Dichte, die Wärmeleitfähigkeit und die Wärmekapazität wurden konstant gehalten.

#### **3.3.1 Büromodell mit leichter Bauweise**

Ein Modell in ultraleichter Bauweise wurde angenommen, um die Speicherkapazität des Gebäudes herabzusetzen. Hierbei wurden die massiven Betondecken und die massiven Außenwände aus Ziegel entfernt und durch Holzkonstruktionen mit dazwischen befindlicher Dämmschicht ersetzt. Als Holzschicht wurden Holzfaserdämmplatten herangezogen. Die tragende Konstruktion, wie es beispielsweise eine Holzriegelkonstruktion sein könnte, wurde dabei für die Heizwärme- und Kühlbedarfsberechnung vernachlässigt. Für die Innenwände wurden Gipskartonständerwände angenommen, wobei auch hier für die Energiebedarfsberechnung die tragende Konstruktion vernachlässigt wurde. Die Materialparameter der Dämmschicht wurden für die zehn Varianten mit einer Dichte von  $150 \text{ kg/m}^3$  und einer Wärmekapazität von  $500 \text{ J/(kgK)}$  fixiert.

##### **3.3.1.1 Bauteilaufbauten für Modell mit leichter Bauweise**

In der folgenden Tabelle sind die Bauteilaufbauten für das Modell mit leichter Bauweise angeführt.

Boden	
Material	Dicke in cm
Zementestrich	3.00
Dämmmaterial	2.00
Holzfaserdämmplatte	2.50
Dämmmaterial	10.00
Holzfaserdämmplatte	2.50
<b>U = 0.12 W/(m²K)</b>	

Zwischendecke	
Material	Dicke in cm
Zementestrich	3.00
Dämmmaterial	3.00
Holzfaserdämmplatte	2.50
Dämmmaterial	10.00
Holzfaserdämmplatte	2.50
<b>U = 0.23 W/(m²K)</b>	

Decke	
Material	Dicke in cm
Deckschicht	0.30
Dämmmaterial	25.00
Holzfaserdämmplatte	2.50
Dämmmaterial	10.00
Holzfaserdämmplatte	2.50
<b>U = 0.10 W/(m²K)</b>	

Zwischenwand	
Material	Dicke in cm
Gipskartonplatte	2.00
Ultrawärmedämmung	8.00
Gipskartonplatte	2.00
<b>U = 2.56 W/(m²K) bzw. variabel</b>	

Aussenwand	
Material	Dicke in cm
Holzfaserdämmplatte	2.00
Dämmmaterial	10.00
Holzfaserdämmplatte	2.00
<b>U = 0.31 W/(m²K)</b>	

Tabelle 3-1 – Bauteilaufbauten der leichten Bauweise

### 3.3.1.2 Kühlbedarf für leichte Bauweise

In den drei folgenden Abbildungen wird der Kühlbedarf für die leichte Bauweise mit den drei Fassadenformen für die Einzonenbilanz, die Mehrzonenbilanz und die Gebäudesimulation dargestellt.

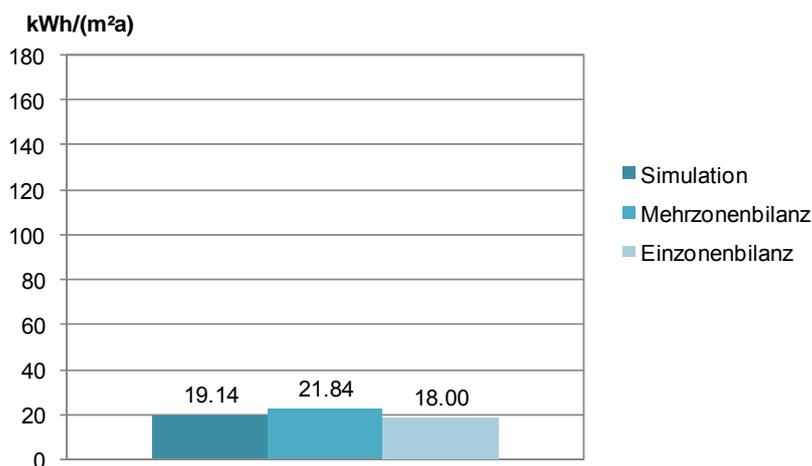


Abbildung 3-32 - Kühlbedarf für Modell mit leichter Bauweise und Lochfassade

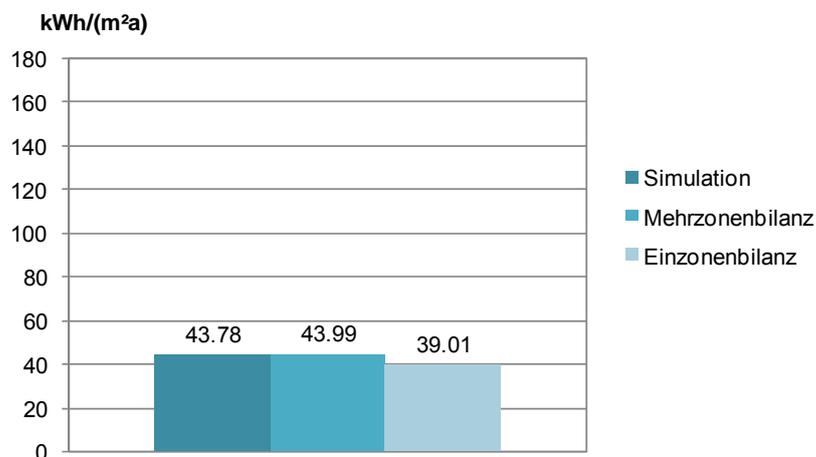


Abbildung 3-33 - Kühlbedarf für Modell mit leichter Bauweise und Lichtbandfassade

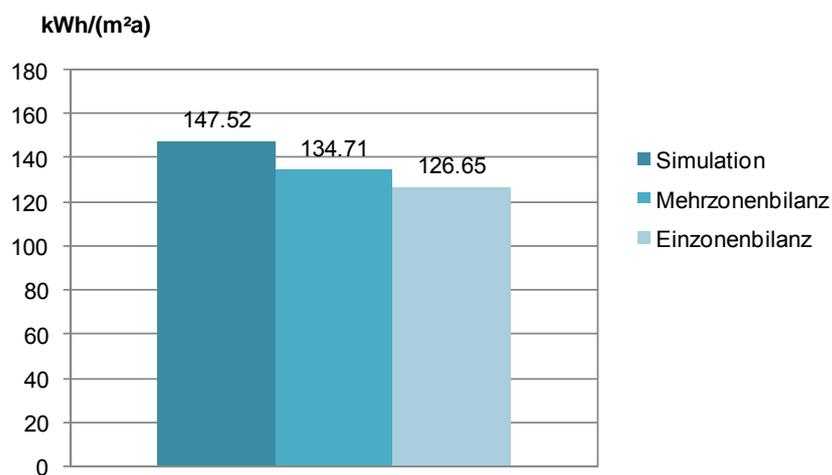


Abbildung 3-34 - Kühlbedarf für Modell mit leichter Bauweise und Ganzglasfassade

Die Einzonenbilanz unterschätzt den tatsächlich auftretenden Kühlbedarf bei allen drei Fassadenformen, die Mehrzonenbilanz nur bei der Ganzglasfassade. Bei der Loch- und Lichtbandfassade überschätzt die Mehrzonenbilanz die Simulationsrechnung.

### 3.3.2 Büromodell mittelschwerer Bauweise

Eine mittelschwere Bauweise wurde mit Stahlbetondecken und einem handelsüblichen Hochlochziegel für die Außenwände ausgestattet. Die Innenwände wurden als Gipskartonständerwände angenommen. Die Materialparameter des Hochlochziegels wurden für die zehn Varianten mit einer Dichte von  $800 \text{ kg/m}^3$  und einer Wärmekapazität von  $2000 \text{ J/(kgK)}$  fixiert.

### 3.3.2.1 Bauteilaufbauten für Modell mit mittelschwerer Bauweise

In der folgenden Tabelle sind die Bauteilaufbauten für das Modell mit mittelschwerer Bauweise angeführt.

Boden	
Material	Dicke in cm
Zementestrich	4
Extrudiertes Polystyrol	20
Stahlbeton	20
<b>U = 0.19 W/(m<sup>2</sup>K)</b>	

Zwischendecke	
Material	Dicke in cm
Zementestrich	4
Extrudiertes Polystyrol	3
Stahlbeton	20
<b>U = 0.94 W/(m<sup>2</sup>K)</b>	

Decke	
Material	Dicke in cm
Extrudiertes Polystyrol	25
Stahlbeton	20
<b>U = 0.15 W/(m<sup>2</sup>K)</b>	

Zwischenwand	
Material	Dicke in cm
Gipskartonplatte	2.00
Ultrawärmedämmung	8.00
Gipskartonplatte	2.00
<b>U = 2.56 W/(m<sup>2</sup>K) bzw. variabel</b>	

Aussenwand	
Material	Dicke in cm
Extrudiertes Polystyrol	20
Hochlochziegel	20
<b>U = 0.16 W/(m<sup>2</sup>K)</b>	

Tabelle 3-2 - Bauteilaufbauten der mittelschweren Bauweise

### 3.3.2.2 Kühlbedarf für mittelschwere Bauweise

In den drei folgenden Abbildungen wird der Kühlbedarf für die mittelschwere Bauweise mit den drei Fassadenformen für die Einzonenbilanz, die Mehrzonenbilanz und die Gebäudesimulation dargestellt.

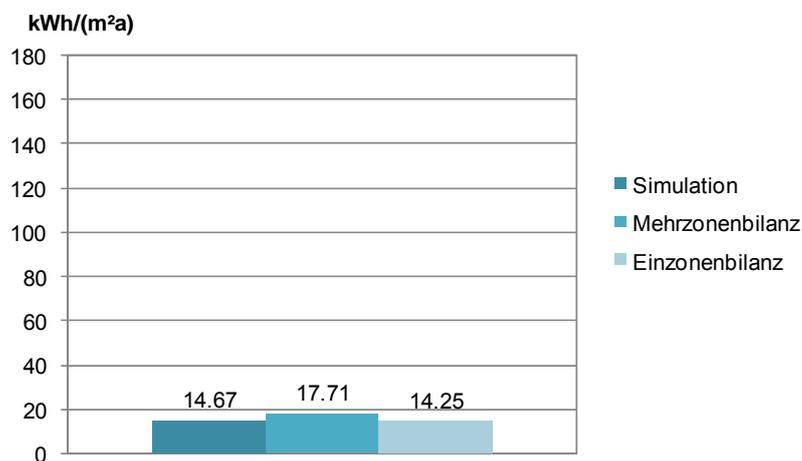


Abbildung 3-35 - Kühlbedarf für das Modell in mittelschwerer Bauweise und Lochfassade

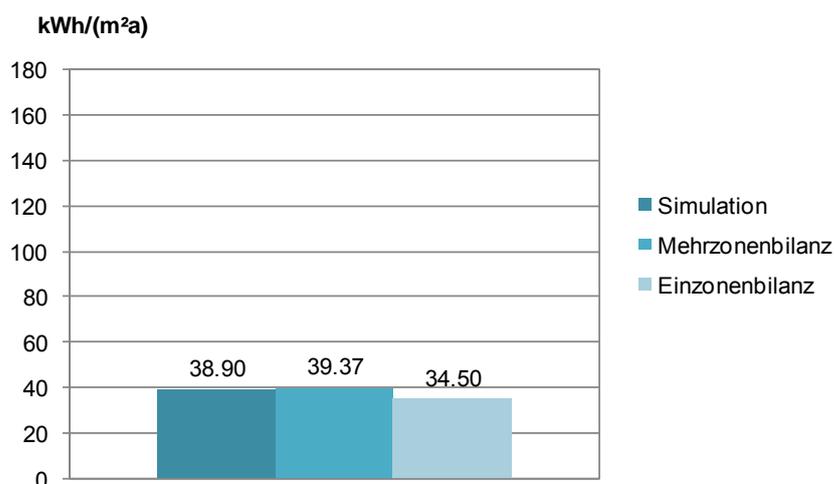


Abbildung 3-36 - Kühlbedarf für das Modell in mittelschwerer Bauweise und Lichtbandfassade

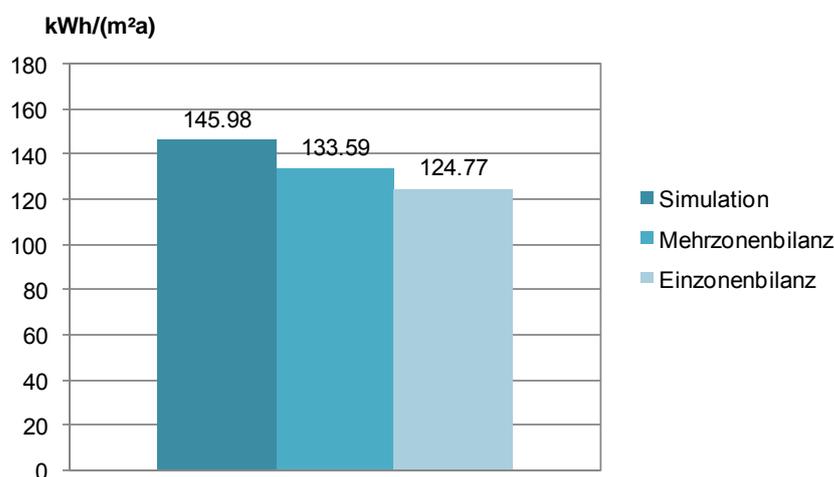


Abbildung 3-37 - Kühlbedarf für das Modell in mittelschwerer Bauweise und Ganzglasfassade

Bei der mittelschweren Bauweise stellt sich das gleiche Ergebnis wie bei der leichten Bauweise ein. Die Einzonenbilanz unterschätzt den Kühlbedarf der Simulationsrechnung bei allen drei Fassadenformen, die Mehrzonenbilanz nur bei der Ganzglasfassade. Bei der Loch- und Lichtbandfassade überschätzt die Mehrzonenbilanz die Simulationsrechnung.

### 3.3.3 Büromodell in schwerer Bauweise

Eine schwere Bauweise wurde mit Stahlbetondecken und erhöhter Speicherkapazität der Außenwandziegel angenommen. Dabei könnten die Ziegel mit „Phase Changing Materials“ (PCM), zum Beispiel mit Paraffinen, vergossen werden um die Speicherkapazität der Bauteilschicht zu erhöhen. Die Innenwände wurden mit Innenwandziegeln angesetzt und einer dazwischen befindlichen Dämmschicht. Die Materialparameter des Hochlochziegels wurden für

die zehn Varianten mit einer Dichte von  $2500 \text{ kg/m}^3$  und einer Wärmekapazität von  $10000 \text{ J/(kgK)}$  fixiert.

### 3.3.3.1 Bauteilaufbauten für Modell mit schwerer Bauweise

In der folgenden Tabelle sind die Bauteilaufbauten für das Modell mit schwerer Bauweise angeführt.

Boden	
Material	Dicke in cm
Zementestrich	4
Extrudiertes Polystyrol	20
Stahlbeton	20
<b>U = 0.19 W/(m<sup>2</sup>K)</b>	

Zwischendecke	
Material	Dicke in cm
Zementestrich	4
Extrudiertes Polystyrol	3
Stahlbeton	20
<b>U = 0.94 W/(m<sup>2</sup>K)</b>	

Decke	
Material	Dicke in cm
Extrudiertes Polystyrol	25
Stahlbeton	20
<b>U = 0.15 W/(m<sup>2</sup>K)</b>	

Zwischenwand	
Material	Dicke in cm
Hochlochziegel	5
Ultrawärmedämmung	5
Hochlochziegel	5
<b>U = variabel</b>	

Aussenwand	
Material	Dicke in cm
Extrudiertes Polystyrol	20
Hochlochziegel	20
<b>U = 0.16 W/(m<sup>2</sup>K)</b>	

Tabelle 3-3 - Bauteilaufbauten der schweren Bauweise

### 3.3.3.2 Kühlbedarf für schwere Bauweise

In den drei folgenden Abbildungen wird der Kühlbedarf für die schwere Bauweise mit den drei Fassadenformen für die Einzonenbilanz, die Mehrzonenbilanz und die Gebäudesimulation dargestellt.

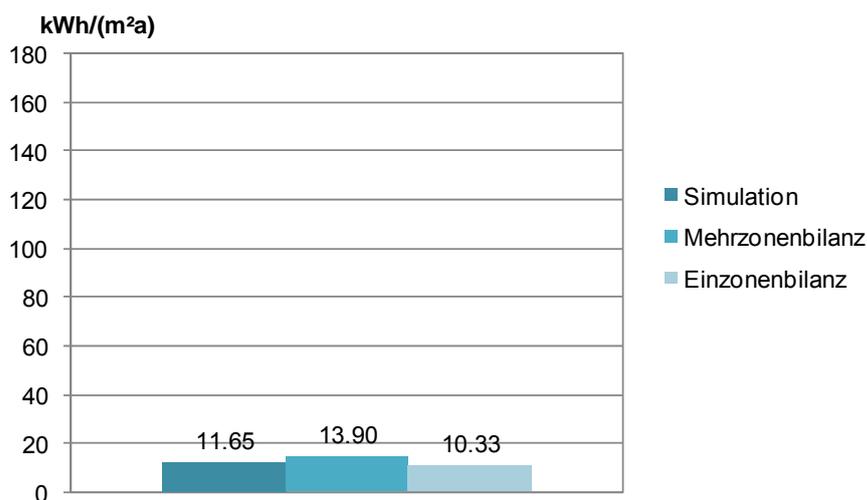


Abbildung 3-38 - Kühlbedarf für das Modell in schwerer Bauweise und mit Lochfassade

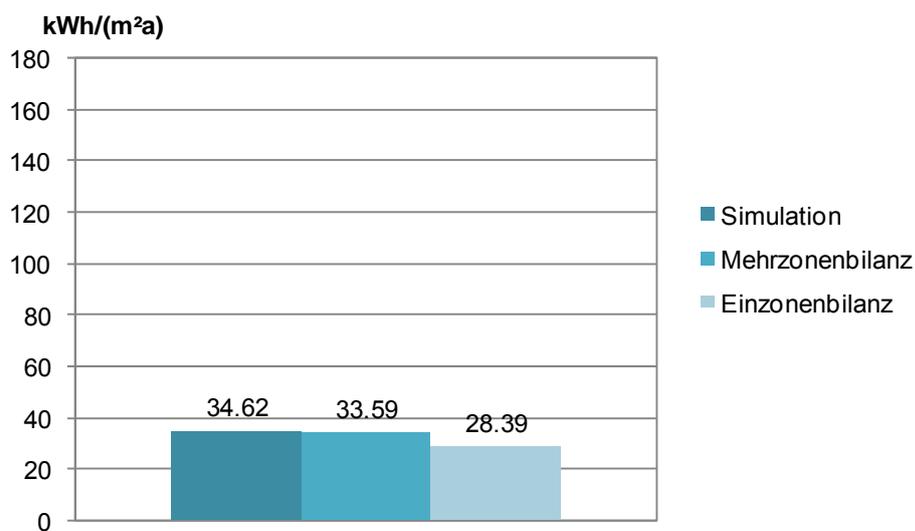


Abbildung 3-39 - Kühlbedarf für das Modell in schwerer Bauweise und mit Lichtbandfassade

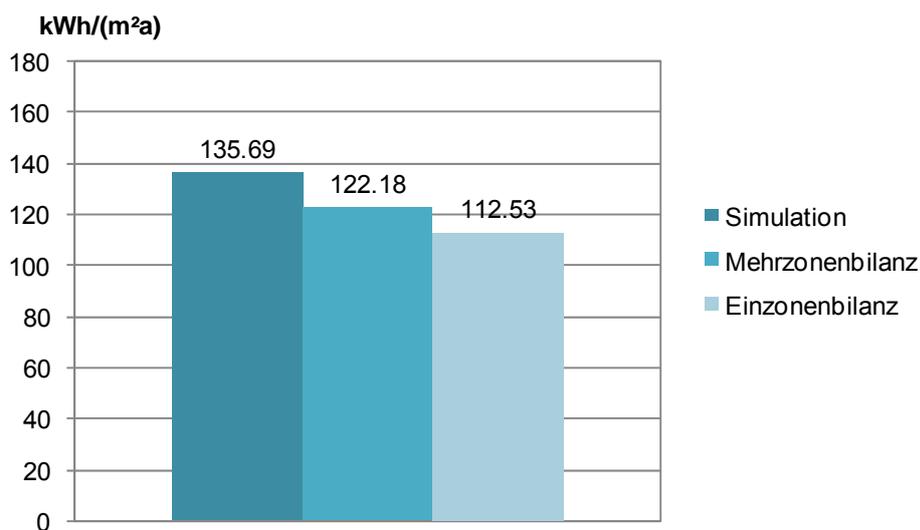


Abbildung 3-40 - Kühlbedarf für das Modell in schwerer Bauweise und mit Ganzglasfassade

Die Einzonenbilanz unterschätzt den Kühlbedarf der Simulationsrechnung bei allen drei Fassadenformen, die Mehrzonenbilanz bei der Lichtband- und bei der Ganzglasfassadenform. Bei der Lochfassade überschätzt die Mehrzonenbilanz die Simulationsrechnung.

### 3.3.4 Ergebnisse der systematischen Variation für verschiedene Bauweisen

Eingangs wurde bereits erwähnt, dass an den Modellen mit unterschiedlichen Bauweisen die gleiche systematische Variation wie in dem vorherigen Abschnitt beschrieben durchgeführt wurde. Die Inneren Wärmelasten wurden dabei ohne Beleuchtungsabwärme berücksichtigt. Für die verschiedenen Bauweisen ergaben sich unterschiedliche Gamma-/Tau-Verhältnisse, wie an den drei nachstehenden Abbildungen abzulesen ist.

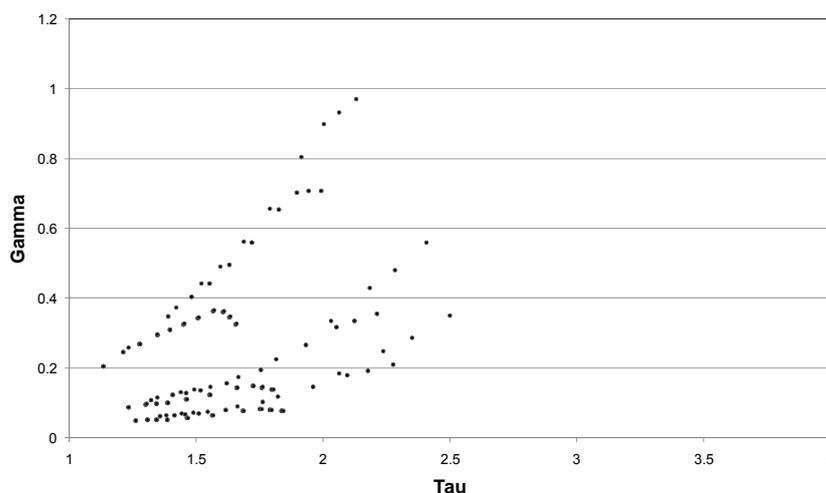


Abbildung 3-41 – Gamma und Tau Verhältnis für Modell mit leichter Bauweise

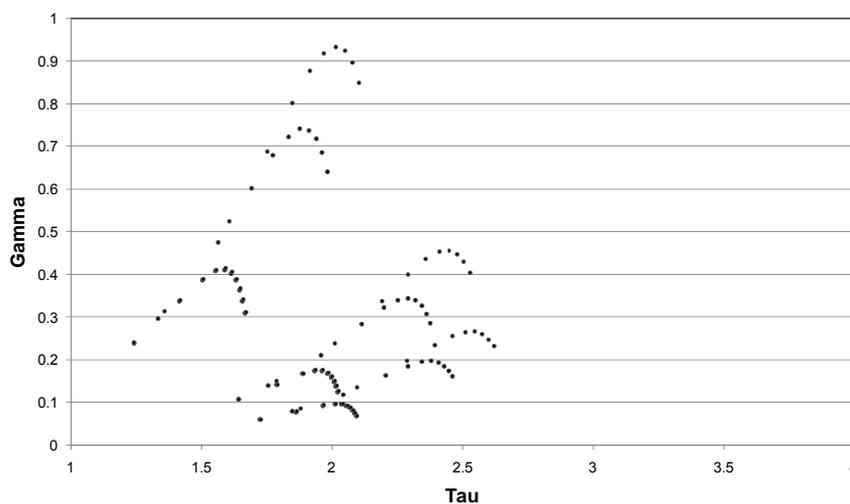


Abbildung 3-42 – Gamma und Tau Verhältnis für Modell mit mittelschwerer Bauweise

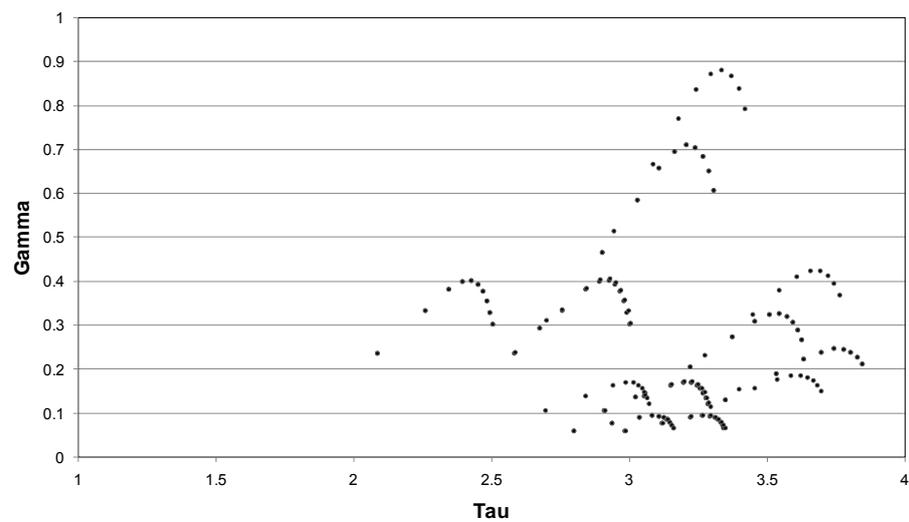


Abbildung 3-43 – Gamma und Tau Verhältnis für Modell mit schwerer Bauweise

Die unterschiedlichen Bauteilaufbauten führen grundsätzlich zu unterschiedlichen Gebäudeparametern, wobei die leichte und die mittelschwere Bauweise ähnliche Werte für Gamma und Tau aufweisen. In den folgenden sechs Abbildungen sind die Ergebnisse der systematischen Variation für die Teilsicherheitsfaktoren dargestellt.

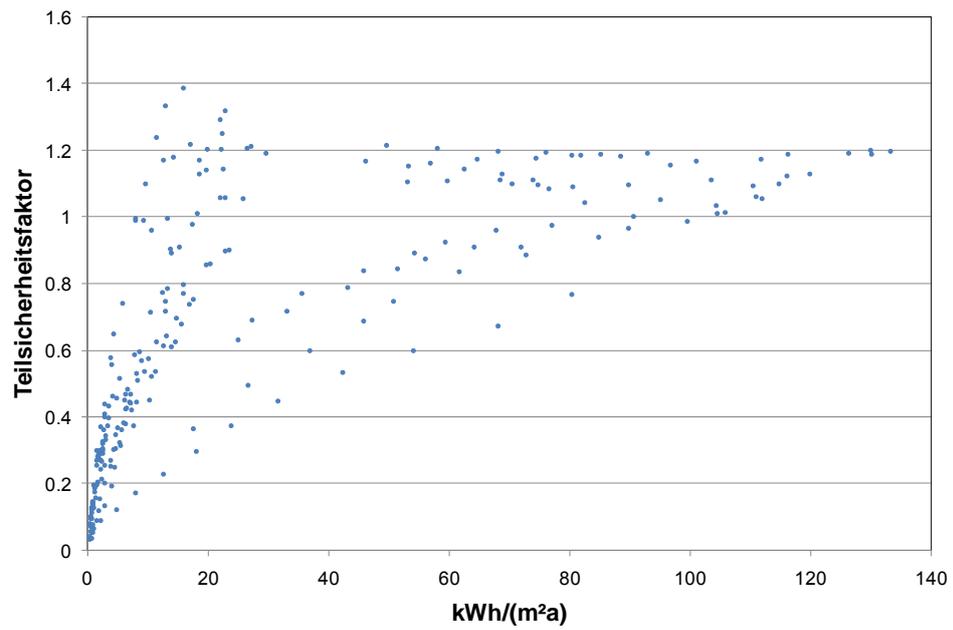


Abbildung 3-44 – Teilsicherheitsfaktor für Modell mit leichter Bauweise und Einzonenbilanz

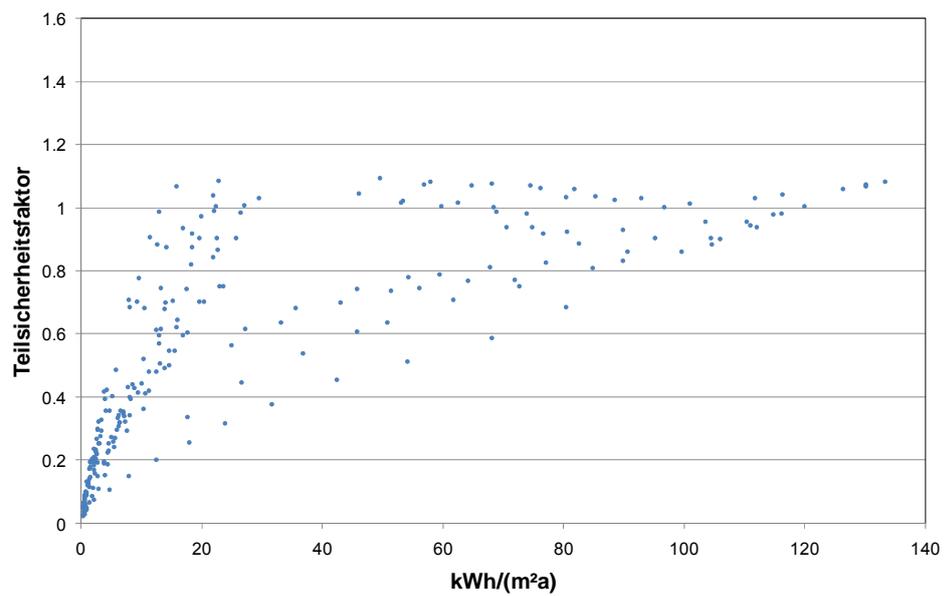


Abbildung 3-45 – Teilsicherheitsfaktor für Modell mit leichter Bauweise und Mehrzonenbilanz

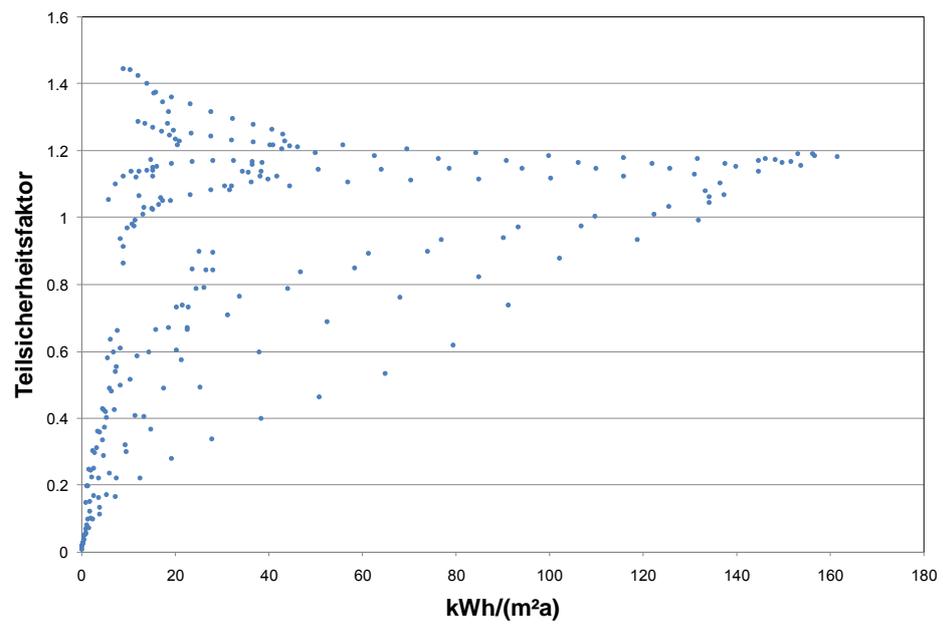


Abbildung 3-46 – Teilsicherheitsfaktor für Modell mit mittelschwerer Bauweise und Einzonenbilanz

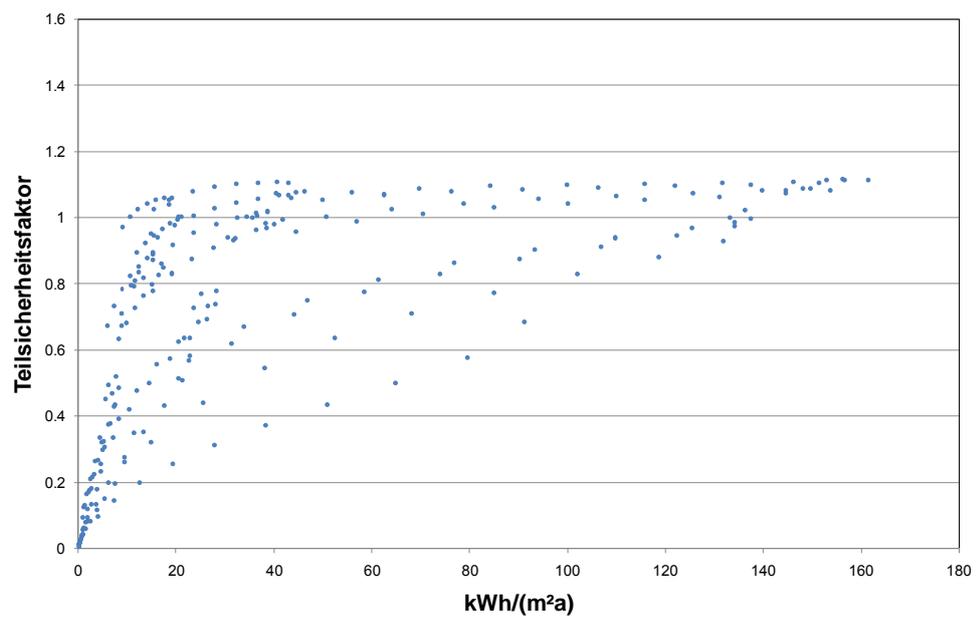


Abbildung 3-47 – Teilsicherheitsfaktor für Modell mit mittelschwerer Bauweise und Mehrzonenbilanz

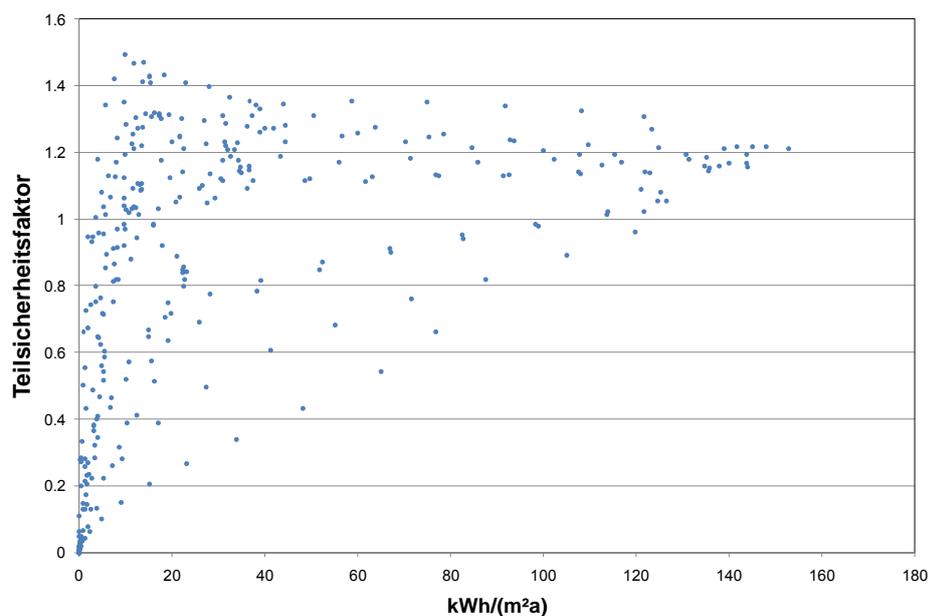


Abbildung 3-48 – Teilsicherheitsfaktor für Modell mit schwerer Bauweise und Einzonenbilanz

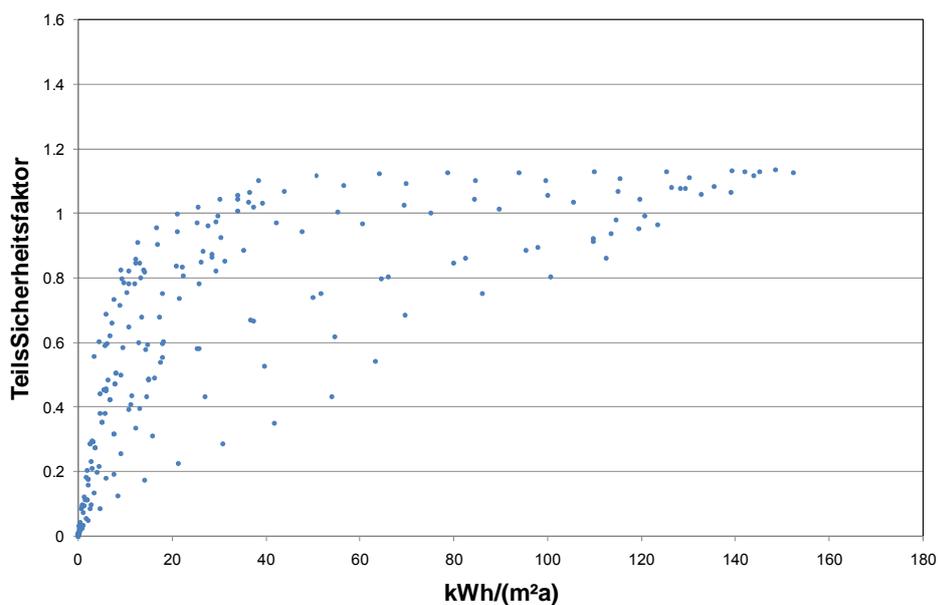


Abbildung 3-49 – Teilsicherheitsfaktor für Modell mit schwerer Bauweise und Mehrzonenbilanz

Die sechs gewählten Ergebnisdarstellungen der Teilsicherheitsfaktoren für die unterschiedlichen Bauweisen und den Kühlbedarf machen sehr deutlich, dass die in „Analyse der Genauigkeit des Monatsbilanzverfahrens zur Ermittlung des Kühlbedarfs von Nichtwohngebäuden“ [ANA07] gewählte Vorgehensweise, den Korrekturfaktor von der Bauweise abhängig zu machen, bei dem gewählten Büromodell nicht richtig wäre. Ein eindeutiger Zusammenhang zwischen der Bauweise und der Größe der Rechenabweichung ist nicht erkennbar. Im

gegenständlichen Fall sind die Korrekturwerte für die schwere Bauweise sogar größer als für die mittelschwere und die leichte Bauweise. Man müsste allerdings, um Teilsicherheitsbeiwerte für den praktischen Gebrauch zu erhalten, wieder die Fälle mit sehr großen Raumkühllasten ausschließen und die Beleuchtungsabwärme bei den Inneren Wärmelasten berücksichtigen.

Abschließend können für die Variation der Bauweise folgende Aussagen festgehalten werden:

- Eine Abhängigkeit des Teilsicherheitsfaktors in Bezug auf die Bauweise ist nicht erkennbar.
- Die in Kapitel 9 gewählte Vorgehensweise, den Teilsicherheitsfaktor für alle Gebäudezeitkonstanten gleich groß anzusetzen, ist für das Büromodell damit gerechtfertigt.

### 3.4 Büromodell in verschiedenen Klimaten

Welchen Einfluss die Klimadaten auf die Genauigkeit des vereinfachten Rechenverfahrens haben, muss einer genauen Untersuchung unterzogen werden. In dem vorliegenden Kapitel konnte festgestellt werden, dass die Klimadaten einen großen Einfluss auf die Größe der Teilsicherheitsbeiwerte haben. Für eine nationale Festlegung wäre die Bestimmung der Rechenabweichungen für ein an die Realität angepasstes Modell notwendig.

In diesem Abschnitt wurde die in 3.1, Weitere Variationsberechnungen des Büromodells für den Kühlbedarf, beschriebene Variation für das Büromodell in Ziegelbauweise noch für zwei verschiedene Klimate durchgeführt.

- Palermo
- Peking

Die Wetterdatensätze wurden, wie für Wien, von der IWEC Homepage verwendet. Ähnlich wie in der Arbeit „Strategic optimization of non-residential buildings“ [STR08] wurden insgesamt zwei verschiedene Klimadatensätze herangezogen.

1. Palermo (Mediterranes Klima)
2. Peking (Asiatisch kontinentales Klima)

#### 3.4.1 Klimadaten für Palermo

In den folgenden beiden Abbildungen ist der jährliche Außentemperaturverlauf und die jährliche Globalstrahlung für Palermo dargestellt.

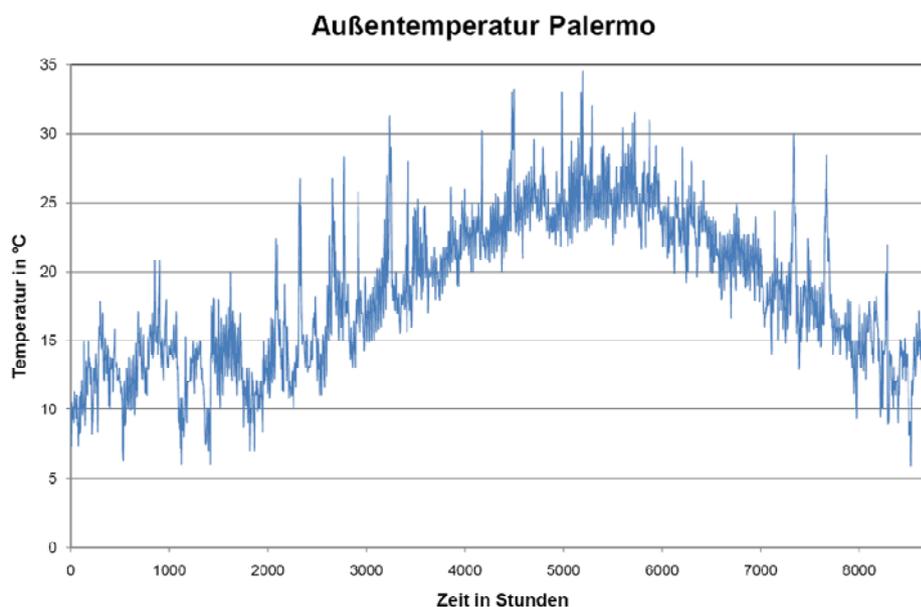


Abbildung 3-50 – Außentemperaturverlauf für Palermo

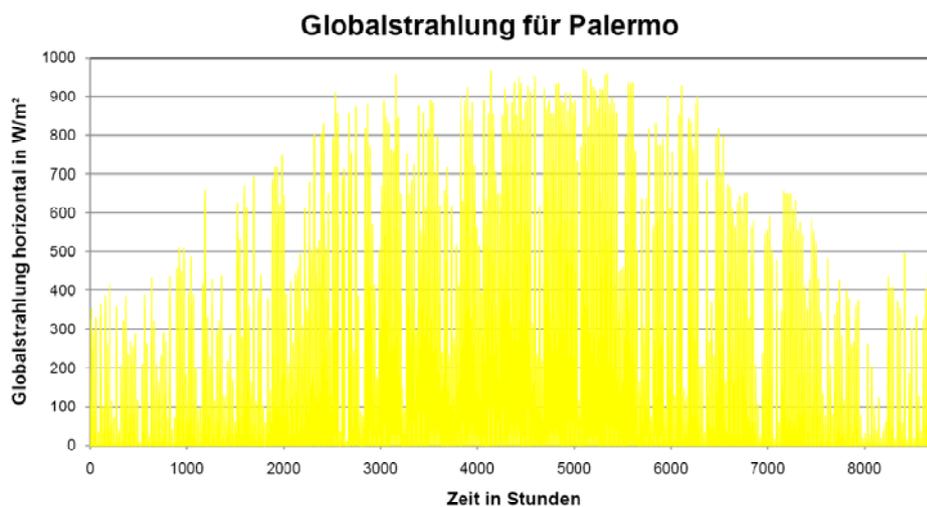


Abbildung 3-51 – Globalstrahlung für Palermo

### 3.4.2 Klimadaten für Peking

In den folgenden beiden Abbildungen ist der jährliche Außentemperaturverlauf und die jährliche Globalstrahlung für Peking dargestellt.

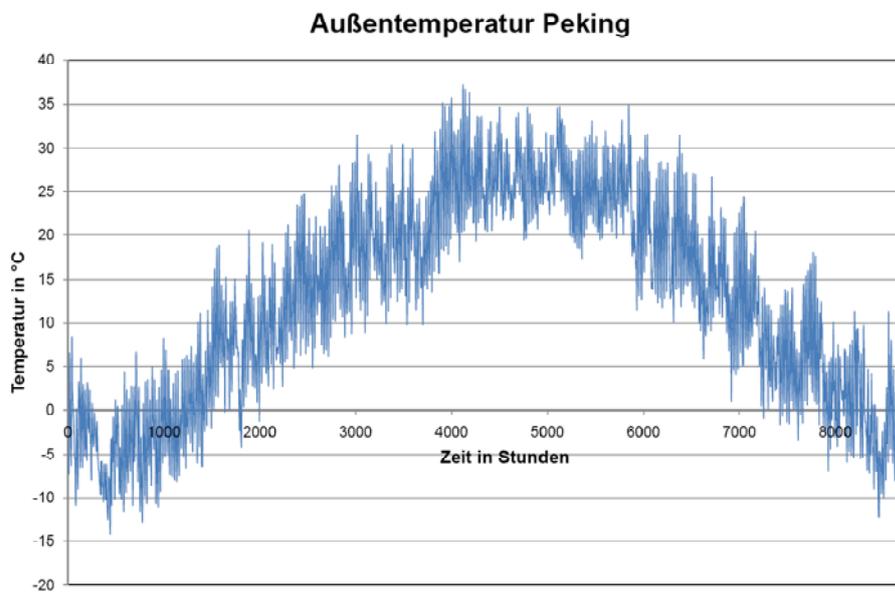


Abbildung 3-52 – Außentemperaturverlauf für Peking



Abbildung 3-53 – Globalstrahlung für Peking

## 3.5 Teilsicherheitsbeiwerte bezogen auf den Kühlbedarf

### 3.5.1 Teilsicherheitsbeiwerte für Palermo

Wendet man die systematische Variation der Gebäudeparameter und der Nutzung, die in 3.1 dieses Anhangs beschrieben ist, auf das Büromodell mit verschiedenen Fassadenformen an, dann erhält man für das Klima in Palermo die Teilsicherheitsfaktoren der folgenden beiden Abbildungen.

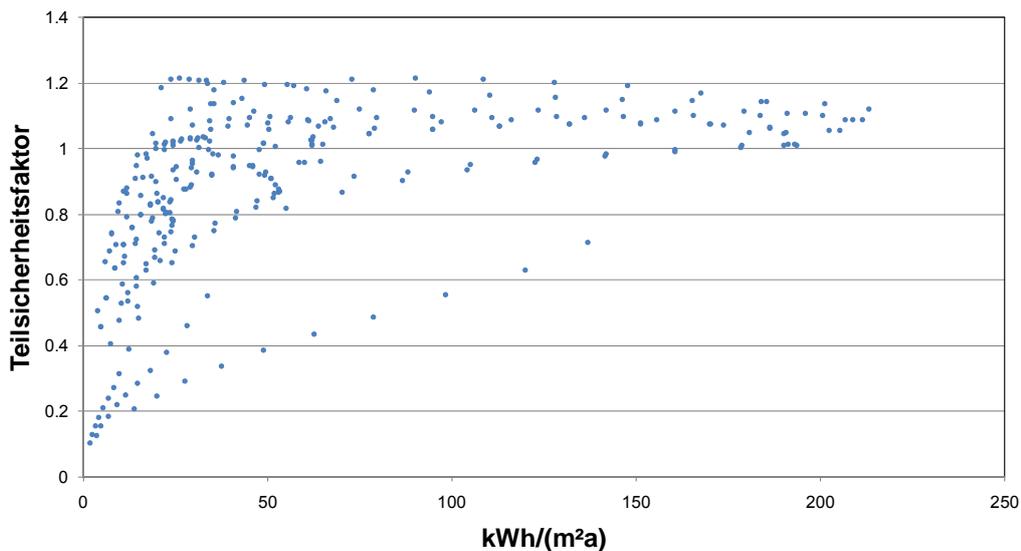


Abbildung 3-54 – Teilsicherheitsfaktor für die Einzonenbilanz bezogen auf den Kühlbedarf für Palermo

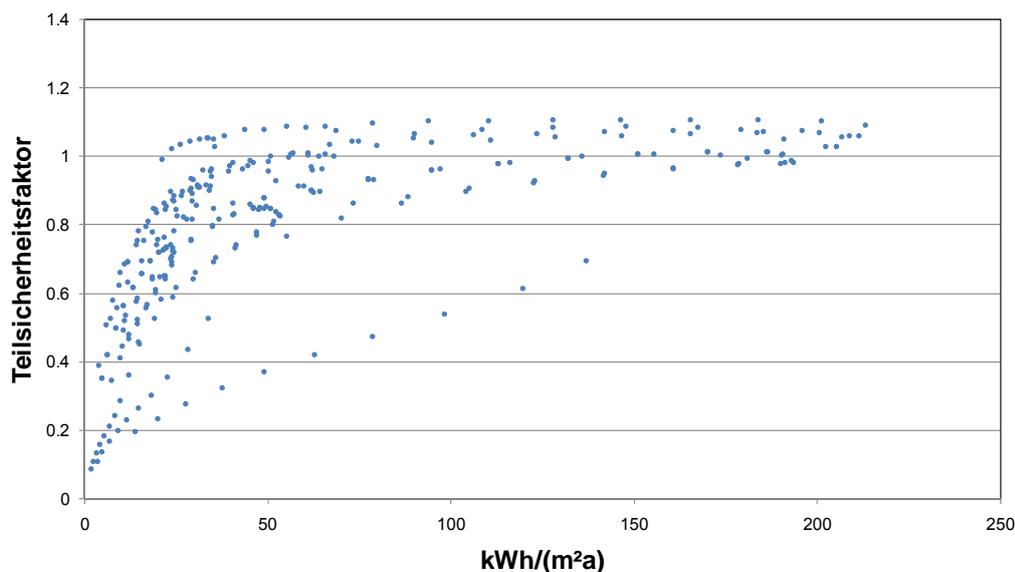


Abbildung 3-55 – Teilsicherheitsfaktor für die Mehrzonenbilanz bezogen auf den Kühlbedarf für Palermo

An den Abbildung 3-55 und Abbildung 3-56 sieht man, dass die Teilsicherheitsfaktoren für Palermo deutlich kleiner sind, als die Rechenabweichungen für das Wiener Klima (in Abschnitt 3.2.4 dieses Anhangs angeführt). Würde man die Quantifizierung der Teilsicherheitsweiwerte für den praktischen Gebrauch für Palermo vornehmen, müsste man das Ausschlusskriterium anwenden und die Beleuchtungsabwärme berücksichtigen. Für die Einzonenbilanz sind die Rechenabweichungen maximal rund 20 Prozent, für die Mehrzonenbilanz immer unter 20 Prozent, bezogen auf das Ergebnis der vereinfachten Bilanzrechnung.

### 3.5.2 Teilsicherheitsbeiwerte für Peking

Wendet man die systematische Variation der Gebäudeparameter und der Nutzung, die in 3.1 dieses Anhangs beschrieben ist, auf das Büromodell mit verschiedenen Fassadenformen an, dann erhält man die Rechenabweichungen der Abbildungen Abbildung 3-57 und Abbildung 3-58 für das Pekinger Klima. Doch zuerst wird Zusammenhang von Kühllast und Kühlbedarf in der folgenden Abbildung dargestellt.

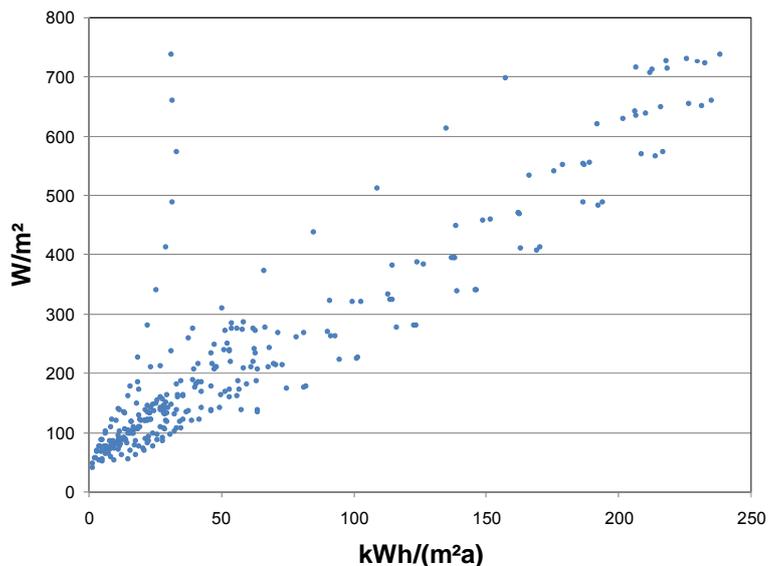


Abbildung 3-56 – Kühllast und Kühlbedarf für Peking

Die Abbildung 3-56 zeigt, dass durch die systematische Variation teilweise sehr hohe Kühllasten für das Pekinger Klima entstanden sind. Dadurch würden bei einer praktischen Festsetzung der Teilsicherheitsbeiwerte für Peking, viele der berechneten Faktoren aufgrund des Ausschlusskriteriums wegfallen. Die Berücksichtigung der Beleuchtungsabwärme würde die Rechengenauigkeiten für den Kühlbedarf auch verschieben.

Die Teilsicherheitsfaktoren für Peking ergeben sich in Bezug auf den Kühlbedarf wie folgt.

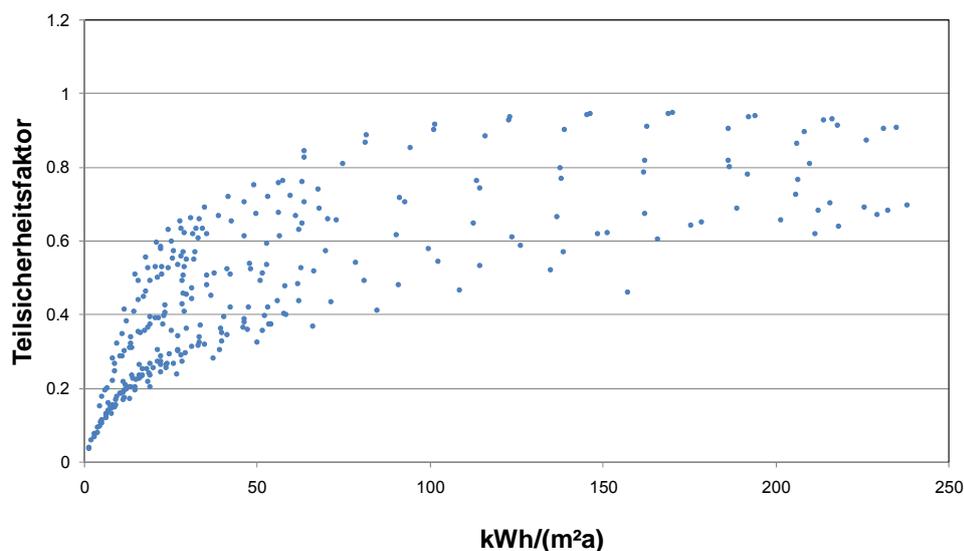


Abbildung 3-57 - Teilsicherheitsfaktor für Einzonenbilanz bezogen auf den Kühlbedarf für Peking

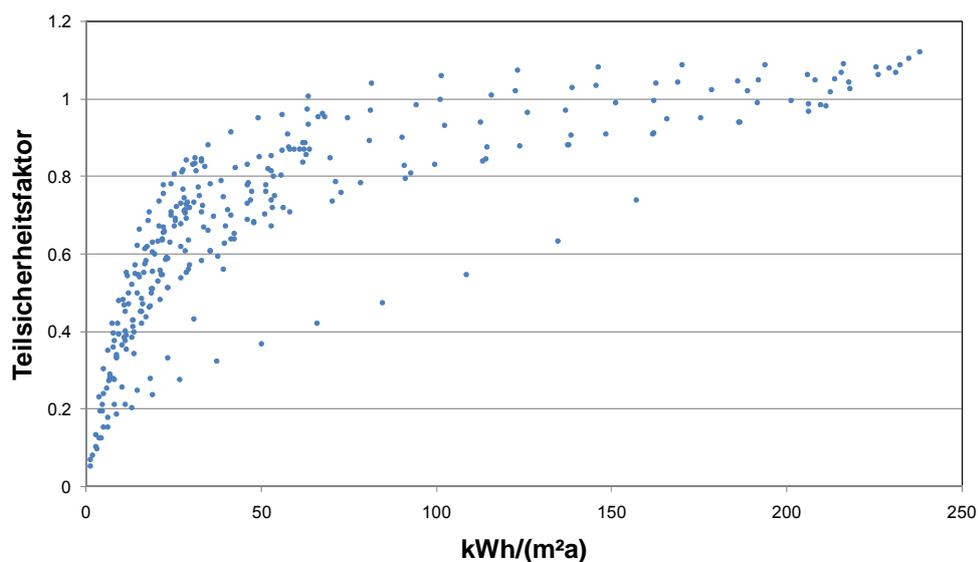


Abbildung 3-58 - Teilsicherheitsfaktor für Mehrzonenbilanz bezogen auf den Kühlbedarf für Peking

Für Peking ergibt sich für die Mehrzonenbilanz ein Faktor über eins und für die Einzonenbilanz bleibt der Teilsicherheitsbeiwert für das gewählte Büromodell und die ausgesuchten Nutzungsvarianten immer kleiner eins. Sowohl bei der Einzonenbilanz als auch bei der Mehrzonenbilanz steigt die Rechenungenauigkeit mit zu nehmenden Kühlbedarf. Die größere Rechenungenauigkeit der Mehrzonenbilanz könnte mit dem Einfluss des Klimadatensatzes auf die Unschärfe des vereinfachten Verfahrens zu tun haben.

## **4 ANHANG 4**

### **Historische Entwicklung des Wärmeschutzes in Österreich**

#### **4.1 Historische Entwicklung des Wärmeschutzes in Österreich in der zweiten Republik anhand der ÖNORMEN-Reihe B 8110**

In der vorliegenden Arbeit ist in Kapitel drei die historische Entwicklung des Wärmeschutzes in Österreich in der zweiten Republik zusammengefasst. Dabei wurde festgehalten, dass die ÖNORMen-Reihe B 8110 einer Entwicklung unterlag, die von verschiedenen Einflüssen geprägt war. In diesem Anhang wird auf die einzelnen Inhalte der verschiedenen Ausgaben dieser Reihe eingegangen. Zu Beginn werden die Erscheinungszeitpunkte der Wärmeschutznorm aufgelistet und dann wird auf die erwähnenswerten Reglementierungen eingegangen.

Die ÖNORM B 8110 – Wärmeschutz und Wärmebedarf im Hochbau [OEN50] ist erstmals im Jahr 1950 in der zweiten Republik in Österreich erschienen. Letztmals dann im Jahr 2008, diese Version [OEN08] stellt die derzeit gültige ÖNORM B 8110 Teil 1 dar.

Aus der folgenden Auflistung ist zu erkennen, dass ab dem Jahr 1983 eine Aufteilung der ÖNORMen-Reihe B 8110 vorgesehen war und davor im Jahr 1974 erschien erstmals ein Beiblatt zu dieser Reihe.

Das Erscheinen der ÖNORM B 8110 hatte in der Geschichte von Österreich seit dem zweiten Weltkrieg den in der Tabelle 4-1 angegebenen Verlauf.

Nr.	Datum	ÖNORM	Titel	Art	Zurückziehung
1	22.02.1950	ÖNORM B 8110	Hochbau – Wärmeschutz und Wärmebedarf	Norm	22.08.1952
2	22.08.1952	ÖNORM B 8110	Hochbau – Wärmeschutz und Wärmebedarf	Norm	27.04.1959
3	27.04.1959	ÖNORM B 8110	Hochbau – Wärmeschutz	Norm	01.07.1978
4	01.12.1974	ÖNORM B 8110	Beiblatt Erläuterungen zu Abschnitt 6 der ÖNORM B 8110, Hochbau- Wärmeschutz	Norm	01.07.1978
5	01.07.1978	ÖNORM B 8110	Hochbau – Wärmeschutz	Norm	01.09.1978
6	01.08.1978	ÖNORM B 8110	Beiblatt Klimakarten für die Anwendung der ÖNORM B 8110 Hochbau- Wärmeschutz	Norm	01.02.1983
7	01.09.1978	ÖNORM B 8110	Hochbau – Wärmeschutz	Norm	01.02.1983
8	01.02.1983	ÖNORM B 8110-1	Wärmeschutz im Hochbau - Anforderungen an die Wärmedämmung	Vornorm	01.06.1998
9	01.11.1986	ÖNORM B 8110-2	Wärmeschutz im Hochbau, Wasserdampfdiffusion und Kondensationsschutz	Normenentwurf	01.05.1991
10	01.11.1986	ÖNORM B 8110-2 Beiblatt 1	Wärmeschutz im Hochbau; Wasserdampfdiffusion und Kondensationsschutz; Formblatt für die Berechnung	Normenentwurf	01.05.1991
11	01.05.1987	ÖNORM B 8110-3	Wärmeschutz im Hochbau, Wärmespeicherung und Sonneneinflüsse	Entwurf zur	01.03.1989
12	01.03.1989	ÖNORM B 8110-3	Wärmeschutz im Hochbau, Wärmespeicherung und Sonneneinflüsse	Vornorm	01.12.1999
13	01.05.1991	ÖNORM B 8110-2 Beiblatt 1	Wärmeschutz im Hochbau - Wasserdampfkondensation - Formblatt für die Berechnung	Normenentwurf	
14	01.05.1991	ÖNORM B 8110-2	Beiblatt 2 Wärmeschutz im Hochbau - Wasserdampfkondensation - Massive Baukonstruktionen	Entwurf zur	01.04.1997
15	01.12.1995	ÖNORM B 8110-2	Wärmeschutz im Hochbau, Wasserdampfdiffusion und Kondensationsschutz	Vornorm	01.07.2003
16	01.12.1995	ÖNORM B 8110-2	Beiblatt 1 Wärmeschutz im Hochbau - Wasserdampfdiffusion und Kondensationsschutz - Formblatt für die Berechnung	Vornorm	01.07.2003
17	01.04.1997	ÖNORM B 8110-2	Beiblatt 2 Wärmeschutz im Hochbau - Massive Baukonstruktionen - Beispiele zur Vermeidung von Oberflächenkondensation	Vornorm	
18	01.11.1997	ÖNORM B 8110-4	Wärmeschutz im Hochbau - Betriebswirtschaftliche Optimierung des Wärmeschutzes	Entwurf zur	01.09.1998
19	01.02.1998	ÖNORM B 8110-3	Wärmeschutz im Hochbau, Wärmespeicherung und Sonneneinflüsse	Normenentwurf	01.12.1999
20	01.06.1998	ÖNORM B 8110-1	Wärmeschutz im Hochbau - Anforderungen an den Wärmeschutz und Nachweisverfahren	Vornorm	01.09.2000
21	01.09.1998	ÖNORM B 8110-4	Wärmeschutz im Hochbau - Betriebswirtschaftliche Optimierung des Wärmeschutzes	Vornorm	
22	01.12.1998	ÖNORM B 8110-3	Wärmeschutz im Hochbau, Wärmespeicherung und Sonneneinflüsse	Norm	
23	01.09.2000	ÖNORM B 8110-1	Wärmeschutz im Hochbau - Anforderungen an den Wärmeschutz und Nachweisverfahren	Vornorm	01.12.2004
24	01.06.2001	ÖNORM B 8110-3/AC1	Wärmeschutz im Hochbau, Wärmespeicherung und Sonneneinflüsse (Berichtigung)	Norm	
25	01.09.2002	ÖNORM B 8110-5	Wärmeschutz im Hochbau - Niedrig- und Niedrigstenergie-Gebäude - Teil 5: Anforderungen und	Entwurf zur	01.12.2002
26	01.11.2002	ÖNORM B 8110-1 Beiblatt 1	Wärmeschutz im Hochbau - Teil 1: Anforderungen an den Wärmeschutz und Nachweisverfahren - Rechenbeispiele		01.04.2003
27	01.12.2002	ÖNORM B 8110-2	Wärmeschutz im Hochbau - Wasserdampfdiffusion und Kondensationsschutz	Normenentwurf	01.07.2003
28	01.12.2002	ÖNORM B 8110-5	Wärmeschutz im Hochbau - Niedrig- und Niedrigstenergie-Gebäude - Teil 5: Anforderungen und Nachweisverfahren	Vornorm	01.08.2007
29	01.01.2003	ÖNORM B 8110-2 Beiblatt 1	Wärmeschutz im Hochbau - Wasserdampfdiffusion und Kondensationsschutz - Formblatt für die Temperatur- und Wasserdampfdiffusions-Berechnung	Normenentwurf	01.07.2003
30	01.03.2003	ÖNORM B 8110-2 Beiblatt 3	Wärmeschutz im Hochbau - Teil 2: Wasserdampfdiffusion und Kondensationsschutz - Leichte Baukonstruktionen - Beispiele zur Vermeidung von Oberflächenkondensation		01.09.2003
31	01.04.2003	ÖNORM B 8110-1	Beiblatt1 Wärmeschutz im Hochbau - Teil 1: Anforderungen an den Wärmeschutz und Nachweisverfahren - Rechenbeispiele	Norm	01.08.2008
32	01.06.2003	ÖNORM B 8110-2 Beiblatt 4	Wärmeschutz im Hochbau - Teil 2: Wasserdampfdiffusion und Kondensationsschutz - Beiblatt 4: Hinweise zur Vermeidung von Feuchtigkeitsschäden durch raumklimatische Einflüsse	Normenentwurf	01.09.2003
33	01.07.2003	ÖNORM B 8110-2	Wärmeschutz im Hochbau - Teil 2: Wasserdampfdiffusion und Kondensationsschutz	Norm	
34	01.07.2003	ÖNORM B 8110-2 Beiblatt 1	Wärmeschutz im Hochbau - Teil 2: Wasserdampfdiffusion und Kondensationsschutz - Formblatt für die Temperatur- und Wasserdampfdiffusions-Berechnung	Norm	
35	01.09.2003	ÖNORM B 8110-2 Beiblatt 3	Wärmeschutz im Hochbau - Teil 2: Wasserdampfdiffusion und Kondensationsschutz - Leichte Baukonstruktionen - Beispiele zur Vermeidung von Oberflächenkondensation	Norm	01.06.2004
36	01.09.2003	ÖNORM B 8110-2 Beiblatt 4	Wärmeschutz im Hochbau - Teil 2: Wasserdampfdiffusion und Kondensationsschutz - Hinweise zur Vermeidung von Feuchtigkeitsschäden durch raumklimatische Einflüsse	Norm	
37	01.06.2004	ÖNORM B 8110-2 Beiblatt 3	Wärmeschutz im Hochbau - Teil 2: Wasserdampfdiffusion und Kondensationsschutz - Leichte Baukonstruktionen - Beispiele zur Vermeidung von Oberflächenkondensation	Norm	
38	01.07.2004	ÖNORM B 8110-1	Wärmeschutz im Hochbau - Teil 1: Anforderungen an den Wärmeschutz und Deklaration des Wärmeschutzes von Gebäuden/Gebäudeteilen	Normenentwurf	01.12.2004
39	01.12.2004	ÖNORM B 8110-1	Wärmeschutz im Hochbau - Teil 1: Anforderungen an den Wärmeschutz und Deklaration des Wärmeschutzes von Gebäuden/Gebäudeteilen	Norm	01.08.2007
40	01.07.2004	ÖNORM B 8110-6	Wärmeschutz im Hochbau - Teil 6: Grundlagen und Nachweisverfahren	Normenentwurf	01.12.2004
41	01.12.2004	ÖNORM B 8110-6	Wärmeschutz im Hochbau - Teil 6: Grundlagen und Nachweisverfahren	Norm	01.08.2007
42	01.04.2007	ÖNORM B 8110-5	Wärmeschutz im Hochbau - Teil 5: Klimamodell und Nutzungsprofile	Normenentwurf	01.08.2007
43	01.04.2007	ÖNORM B 8110-6	Wärmeschutz im Hochbau - Teil 6: Grundlagen und Nachweisverfahren - Heizwärmebedarf und Kühlbedarf	Normenentwurf	01.08.2007
44	01.05.2007	ÖNORM B 8110-1	Wärmeschutz im Hochbau - Teil 1: Anforderungen an den Wärmeschutz und Deklaration des Wärmeschutzes von Gebäuden/Gebäudeteilen - Heizwärmebedarf und Kühlbedarf	Normenentwurf	01.08.2007
45	01.08.2007	ÖNORM B 8110-1	Wärmeschutz im Hochbau - Teil 1: Anforderungen an den Wärmeschutz und Deklaration des Wärmeschutzes von Gebäuden/Gebäudeteilen - Heizwärmebedarf und Kühlbedarf	Norm	01.01.2008
46	01.08.2007	ÖNORM B 8110-5	Wärmeschutz im Hochbau - Teil 5: Klimamodell und Nutzungsprofile	Norm	
47	01.08.2007	ÖNORM B 8110-6	Wärmeschutz im Hochbau - Teil 6: Grundlagen und Nachweisverfahren - Heizwärmebedarf und Kühlbedarf		
48	01.01.2008	ÖNORM B 8110-1	Wärmeschutz im Hochbau - Teil 1: Anforderungen an den Wärmeschutz und Deklaration des Wärmeschutzes von Gebäuden/Gebäudeteilen - Heizwärmebedarf und Kühlbedarf	Norm	
49	01.04.2008	ÖNORM B 8110-6 Beiblatt 1	Wärmeschutz im Hochbau - Teil 6: Grundlagen und Nachweisverfahren - Heizwärmebedarf und Kühlbedarf - Beiblatt 1: Einfamilienhaus - Validierungsbeispiele für den Heizwärmebedarf	Normenentwurf	01.08.2008
50	01.04.2008	ÖNORM B 8110-6 Beiblatt 2	Wärmeschutz im Hochbau - Teil 6: Grundlagen und Nachweisverfahren - Heizwärmebedarf und Kühlbedarf - Beiblatt 2: Mehrfamilienhaus - Validierungsbeispiele für den Heizwärmebedarf	Normenentwurf	01.08.2008
51	01.05.2008	ÖNORM B 8110-6 Beiblatt 3	Wärmeschutz im Hochbau - Teil 6: Grundlagen und Nachweisverfahren - Heizwärmebedarf und Kühlbedarf - Beiblatt 3: Nicht-Wohngebäude - Validierungsbeispiele für den Heizwärmebedarf und	Normenentwurf	01.08.2008
52	01.08.2008	ÖNORM B 8110-6 Beiblatt 1	Wärmeschutz im Hochbau - Teil 6: Grundlagen und Nachweisverfahren - Heizwärmebedarf und Kühlbedarf - Beiblatt 1: Einfamilienhaus - Validierungsbeispiele für den Heizwärmebedarf	Norm	
53	01.08.2008	ÖNORM B 8110-6 Beiblatt 2	Wärmeschutz im Hochbau - Teil 6: Grundlagen und Nachweisverfahren - Heizwärmebedarf und Kühlbedarf - Beiblatt 2: Mehrfamilienhaus - Validierungsbeispiele für den Heizwärmebedarf	Norm	
54	01.08.2008	ÖNORM B 8110-6 Beiblatt 3	Wärmeschutz im Hochbau - Teil 6: Grundlagen und Nachweisverfahren - Heizwärmebedarf und Kühlbedarf - Beiblatt 3: Nicht-Wohngebäude - Validierungsbeispiele für den Heizwärmebedarf und	Norm	

Tabelle 4-1 – Erscheinungszeitpunkte der ÖNORMEN-Reihe B 8110

Diese 54 ÖNORMen stellen in ihrer Gesamtheit die historische Entwicklung des Wärmeschutzes aus normativer Sicht im Hochbau in Österreich dar. Im Folgenden wird nun auf die einzelnen Inhalte der ÖNORMen B 8110 bis 1983 und danach auf die Inhalte der ÖNORMen B 8110 Teil 1 eingegangen.

#### 4.1.1 ÖNORM B 8110 vom 22. Februar 1950

Diese Norm erschien erstmals 1950 und trug den Titel „Hochbau – Wärmeschutz und Wärmebedarf“, sie legte den Wärmeschutzstandard für die Gebäude in Österreich fest, in dem sie eine obere Grenze für die Wärmedurchgangszahl von Außenbauteile angab. Das bedeutet, der Wärmeschutz wurde punktuell also bauteilbezogen gewährleistet. Die maximalen Wärmedurchgangszahlen der Bauteile wurden auf Decken und Wände bezogen. Die Anforderung an Wände und Decken wurde in Abhängigkeit des durchschnittlichen Jahresminimums der Temperatur angegeben. In der Tabelle 4-2 ist die Auflistung der Grenzwertentwicklung für die maximal zulässigen Wärmedurchgangskoeffizienten angegeben.

Gebiet mit durchschnittlichem Minimum in °C	Wärmedurchgangszahl k höchstens in kcal/(m <sup>2</sup> h°C)
-15	1.31
-18	1.21
-21	1.11
-24	1.04
-27	0.96
-30	0.91

Tabelle 4-2 – Angabe der maximalen Wärmedurchgangszahlen aus [OEN50]

Eine Wärmebedarfsberechnung war bereits angegeben, dabei wurde für alle Begrenzungsflächen eines Raumes der zuschlagsfreie Wärmeverlust wie folgt berechnet.

$$q_o = k_l \cdot F_l \cdot (t_i - t_a)$$

$q_o$             zuschlagsfreier Wärmeverlust eines Raumbegrenzungsteiles in kcal/h

$k_l$             Wärmedurchgangszahl des Bauteils in kcal/(m<sup>2</sup>h°C)

$F_l$             Fläche eines Bauteils in m<sup>2</sup>

$t_i$             Lufttemperatur in dem zu berechnenden Raum in °C

$t_a$             Lufttemperatur im Freien

Durch Summation der einzelnen Wärmeverluste  $q_o$  der Begrenzungsteile erhielt man den zuschlagsfreien Wärmeverlust  $Q_o$  des Raumes. Eine Beschränkung des Wärmeverlustes war in dieser ÖNORM nicht angegeben, das hielt erst später Einzug.

Um die formulierte Anforderung in Tabelle 4-2 nachzuweisen wurde angegeben wie die Wärmedurchgangszahl  $k_l$  zu ermitteln ist.

$$\frac{1}{k} = \frac{1}{\alpha_i} + \frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2}{\lambda_2} + \dots + \frac{d_n}{\lambda_n} + \frac{1}{\alpha_e}$$

$k$  Wärmedurchgangszahl des Teiles in kcal/(m<sup>2</sup>h°C)

$\alpha_i, \alpha_e$  innere und äußere Wärmeübergangszahlen in kcal/(m<sup>2</sup>h°C)

$d_1, \dots, d_n$  Schichtdicken der im Wärmestrom hintereinander liegenden Baustoffschichten in m

$\lambda_1, \dots, \lambda_n$  Wärmeleitfähigkeit der Baustoffschichten in kcal/(mh°C)

Die Zuordnung der tiefsten Außentemperatur erfolgte über das Gebiet. Mit dem „durchschnittlichen Jahresminimum der Temperatur“ war ein Wert gemeint, der etwa alle 20 Jahre als Temperaturmittel für fünf aufeinanderfolgende Tage auftrat.

Dabei galt für Lagen unter 1500 m Seehöhe die folgende Gebietseinteilung:

- 1) Durchschnittliches Minimum -15 °C (vergleichsweise warme Lage)
- 2) Durchschnittliches Minimum -18 °C (Normallagen)
- 3) Durchschnittliches Minimum -21 °C (vergleichsweise kalte Lagen)
- 4) Durchschnittliches Minimum -24 °C (sehr kalte Lagen)

Zu vergleichsweise warmen Lagen zählte das Wiener Gebiet (außer den Wienerwaldtälern), die Wachau, die Süd- und die Oststeiermark, das Ufergebiet der Salzkammergutseen, das obere Inntal und die Vorarlberger Niederungen zwischen Feldkirch und Bregenz.

Zu den Normallagen wurden alle Standorte gezählt die nicht genannt wurden. Zu den vergleichsweise kalten Lagen zählten das Mühl- und das Waldviertel, das Klagenfurter Becken, alpine Kessellagen wie Mariazell, Zell am See, Spital a. Pyhrn und St. Anton am Arlberg. Zu den sehr kalten Lagen wurden Kessellagen im Waldviertel wie Zwettl, das Ennstal zwischen Admont und Steinach-Irdning, sowie das oberste Murtal gezählt.

Aber nicht nur die Lage spielte eine Rolle, sondern auch die Höhenlage des Standortes. So wurden folgende Minima für verschiedene Seehöhen festgelegt:

Seehöhe 1500-2000 m: -21 °C

Seehöhe 2000-2500 m: -24 °C

Seehöhe über 2500 m: -27 °C

Bei Gebieten die als besonders windstark galten, waren die Standorte dem nächstkälteren Minimum zuzuordnen.

Neben der Begrenzung des Wärmedurchgangskoeffizienten wurde auch die Mindestschichtdicke einer gleich dämmenden Ziegelwand einschließlich Putz angegeben. Die gleichdämmende Ziegeldicke  $d_z(0.65)$  wurde für die einzelnen Bauteilschichten nach der folgenden Gleichung bestimmt.

$$d_z(0.65) = \frac{d}{\lambda} \cdot 65$$

$d_z(0.65)$  gleichdämmende Ziegeldicke in cm bei einer Vergleichswärmeleitfähigkeit des Vollziegelaußenmauerwerks von 0.65 kcal/(mh°C)

$d$  Dicke der Baustoffschicht in m

$\lambda$  Wärmeleitfähigkeit der Baustoffschicht in kcal/(mh°C)

Die Mindestschichtdicke war, wie in der Tabelle 4-3 angegeben, einzuhalten.

Gebiet mit durchschnittlichem Minimum in °C	Gleichdämmende Ziegeldicke $d_z(0.65)$ einschl. Putz in cm
-15	37
-18	41
-21	46
-24	50
-27	55
-30	59

Tabelle 4-3 – Angabe der Mindestmauerdicke aus [OEN50]

Die Raumtemperaturen für beheizte Räume wurden bereits angeführt. Räume für den dauernden Aufenthalt von Menschen bei leichter körperlicher Arbeit, wie Wohnräume, Badezimmer, Küchen, Geschäfts- und Büroräume, Läden, Gaststätten, Schulzimmer, Amtsräume, Flure und Treppen in Verwaltungsgebäuden waren für eine Raumtemperatur mit +20 °C auszulegen. Nebenräume, wie Vorräume, Sammlungsräume, Flure in Wohngebäuden und Aborte mit +15 °C, Treppenhäuser in Wohngebäuden waren mit +10 °C auszulegen. Für verschiedene Bauteile wie Fenster, Türen und Dächer waren Wärmedurchgangszahlen in kcal/(m²h°C) angegeben.

Dies stellte den Wärmeschutzstandard von 1950 bis 1952 dar, wobei im August 1952 dann eine neue Version der ÖNORM B 8110 erschien.

#### 4.1.2 ÖNORM B 8110 vom 22. August 1952

Die ÖNORM aus dem Jahre 1952 trug weiterhin den Titel „Hochbau – Wärmeschutz und Wärmebedarf“, die Veränderungen zu dem Jahr 1950 waren relativ gering. Der Mindestwärmeschutz von Wänden und Decken war identisch mit den in Tabelle 4-2 angeführten Maximalwerten. Hinzu kamen lediglich Grenzen für Trennwände und Decken die in Tabelle 4-4 angeführt sind.

Tabelle 4-4 – Mindestwärmeschutz von Wänden und Decken aus [OEN52]

Die Wärmebedarfsberechnung war weiterhin so vorzunehmen wie in [OEN50] angeführt. Das bedeutet der Wärmeschutz hatte sich normativ durch das Erscheinen der ÖNORM [OEN52] nicht wesentlich verändert, nur eine Ergänzung für Trennwände und Decken wurde hinzugefügt. Im Gegensatz dazu wurden 1959 mehrere inhaltliche Veränderungen den Wärmeschutz betreffend eingeführt.

### 4.1.3 ÖNORM B 8110 vom 27. April 1959

Diese ÖNORM brachte einige Neuerungen im Vergleich zu 1950 und 1952 mit sich. Angefangen mit der Namensgebung der Norm, sie hieß „Hochbau – Wärmeschutz“. Der Begriff Wärmebedarf wurde aus dem Titel eliminiert. Die bautechnischen Maßnahmen, durch die der Wärmeschutz eines Raumes erhöht werden sollte, waren durch die Erhöhung der Wärmedurchlasswiderstände der umschließenden Bauteile zu gewährleisten. Außerdem war noch der Hinweis auf die Erhöhung der Wärmespeicherfähigkeit und der Verhinderung der Durchfeuchtung der Bauteile als bautechnische Maßnahmen zur Erhöhung des Wärmeschutzes eines Raumes angegeben. Das erforderliche Ausmaß für den Wärmeschutz eines Gebäudes oder eines Gebäudeteils ergab sich maßgeblich durch die Außentemperatur, die Windstärke am Standort, die örtliche Lage und die Innenlufttemperatur des zu schützenden Raumes [OEN59].

Die Veränderungen zu 1952 betrafen auch die Anforderungen an den Mindestwärmeschutz von Bauteilen. Zu der Tafel mit den Angaben für den Mindestwärmeschutz von Wänden und Decken, kam die Trennung nach der Nutzung hinzu. Es wurde für Außenwände zwischen Wohnräumen, Bädern und Küchen unterschieden. Die Angaben des Mindestwärmeschutzes für verschiedene Bauteile in Abhängigkeit der Bemessungstemperatur sind in den Tabellen Tabelle 4-5, Tabelle 4-6, Tabelle 4-7 und Tabelle 4-8 angeführt.

Bemessungstemperatur in °C	Wärmedurchgangszahl k höchstens in kcal/(m <sup>2</sup> h°C)	
	Außenwände in Wohnräumen	Außenwände in Bädern und Küchen
-15	1.31	0.96
-18	1.21	0.88
-21	1.12	0.82
-24	1.04	0.76
-27	0.98	0.71
-30	0.92	0.67

Tabelle 4-5 – Mindestwärmeschutz von Außenwänden aus [OEN59]

Bemessungstemperatur in °C	Wärmedurchgangszahl k höchstens in kcal/(m <sup>2</sup> h°C)	
	Trennwände gegen unbeh. Räume	Trennwände gegen beheizte Räume
-15	1.29	1.71
-18	1.18	1.71
-21	1.10	1.71
-24	1.03	1.71
-27	0.96	1.71
-30	0.91	1.71

Tabelle 4-6 – Mindestwärmeschutz von Trennwänden aus [OEN59]

Bemessungstemperatur in °C	Wärmedurchgangszahl k höchstens in kcal/(m <sup>2</sup> h°C)	
	Flachdach	Flachdach über
-15	0.78	0.53
-18	0.72	0.49
-21	0.67	0.45
-24	0.62	0.42
-27	0.58	0.39
-30	0.55	0.37

Tabelle 4-7 – Mindestwärmeschutz von Flachdächern aus [OEN59]

Bemessungstemperatur in °C	Wärmedurchgangszahl k höchstens in kcal/(m <sup>2</sup> h°C)		
	Geschoßdecken zw. beheizten Räumen	Geschoßdecken über Keller	zwischen Wohnungen und Dachraum, Gang, Stiegenhaus, geschlossene Hauslaube, Erdboden
-15	1.18	0.91	0.73
-18	1.18	0.84	0.67
-21	1.18	0.78	0.62
-24	1.18	0.72	0.58
-27	1.18	0.67	0.54
-30	1.18	0.64	0.51

Tabelle 4-8 – Mindestwärmeschutz von Geschoßdecken aus [OEN59]

Der Wärmebedarf wurde identisch ermittelt wie in der Ausgabe von 1950. In dieser Ausgabe sind bereits höchstzulässige Wärmebedarfswerte angegeben. Der Wärmebedarf eines Raumverbandes, der zum dauernden oder zeitweiligen Aufenthalt von Menschen diente, durfte die Werte nach Tabelle 4-9 nicht überschreiten. Diese Werte wurden aus der normgemäßen

Wärmebedarfsberechnung unter Einsetzen des durchschnittlichen Jahresminimums der Temperatur und einer 10-stündigen Heizunterbrechung ermittelt [OEN59],

	Höchstzulässiger Wärmebedarf (kcal/m <sup>3</sup> h) bei Heizgradtagzahl		
	3200 - 3600	3600 - 4000	über 4000
Einfamilien- und Siedlungshäuser	50	45	39
Sonstige Gebäude			
Geschoß unter Dach	35	32	27
Geschoß über Keller	30	27	23
Mittelgeschoß	25	23	20

Tabelle 4-9 – Höchstzulässiger Wärmebedarf aus [OEN59]

Zum ersten Mal taucht hier der Begriff der Heizgradtagzahl auf und wurde wie folgt definiert.

Heizgradtage HGT sind Heizgradsummen bei denen an allen Tagen, sofern die Außenlufttemperatur 12°C erreichte oder unterschritt, die Temperaturdifferenz zwischen 20°C Raumtemperatur und der jeweiligen Außentemperatur (Tagesmittelwert) gebildet und über die Heizperiode (Oktober bis April) summiert wurde [OEN59].

Eine höchstzulässige in den Fußboden abgeleitete Wärmemenge wurde angegeben. Fußböden in Wohnräumen durften maximal 70 kcal innerhalb 10 Minuten und Fußböden in Betrieben durften maximal 95 kcal innerhalb 10 Minuten ableiten.

Der Nachweis des Wärmebedarfs eines Raumverbandes konnte entfallen, wenn die Außenfenster- und die Außentürfläche in den einzelnen Räumen des Raumverbandes höchstens 20% der Innenfläche der Außenwände betrug und die Mindestwärmeschutzwerte eingehalten wurden. Auch wenn die Außenfenster- und die Außentürfläche höchstens 30% der Innenfläche der Außenwände betrug und der Wärmeschutz der Wände um 100%, der der Decken um 50% über die angegebenen Mindestwerte erhöht wurden.

Für den erhöhten Wärmeschutz gab es bereits vier Wärmeschutzgruppen. Die Wärmeschutzgruppe I-IV gab innerhalb der verschiedenen Gruppen die Wärmedurchlasswiderstände für verschiedene Bauteile des erhöhten Wärmeschutz an.

#### 4.1.4 ÖNORM B 8110 vom 01. Juli 1978

Diese ÖNORM trug weiterhin den Namen „Hochbau – Wärmeschutz“ und löste die Ausgabe von 1959 ab, die somit fast 20 Jahre Gültigkeit hatte. Die Ausgabe von 1959 besaß bislang die längste Gültigkeitsdauer, denn die Anforderungen die 1959 an den Wärmeschutz gestellt wurden, galten bisweilen am längsten in der zweiten Republik.

Die größte Neuerung in der Ausgabe Juli 1978 war das Beiblatt 1 (ÖNORM B 8110 – Beiblatt 1, 1. August 1978), eine Karte der jährlichen Zahl der Heizgradtage für ganz Österreich. Die Anforderungen an den Mindestwärmeschutz und die Anforderung an den höchstzulässigen Wärmeschutz sind identisch zu den Werten der Ausgabe von 1959. Der Nachweis des Wärmebedarfs eines Raumverbandes konnte entfallen wenn die Bedingungen aus der Version

von 1959 erfüllt waren. Die vier Wärmeschutzklassen für den erhöhten Wärmeschutz wurden auch beibehalten.

#### 4.1.5 ÖNORM B 8110 vom 01. September 1978

Im Jahre 1978 erschienen zwei Ausgaben der Wärmeschutznorm, eine im Juli und eine Ausgabe im September. Auch die Ausgabe September 1978 trug den Namen „Hochbau – Wärmeschutz“. Die höchstzulässigen mittleren Wärmedurchgangszahlen  $k_{m,max}$  für Außenbauteile wurden in  $W/(m^2\text{°C})$  angegeben. Die Einheit  $kcal/(m^2\text{°C})$  durfte nicht mehr verwendet werden, da das Eichgesetz die Verwendung neuer Einheiten vorschrieb. In der Tabelle 4-10 sind die höchstzulässigen mittleren Wärmedurchgangszahlen angeführt.

Bemessungstemperatur in °C	Höchstzulässige mittlere Wärmedurchgangszahl $k_{m,max}$ in $W/(m^2\text{°C})$
-15	1.87
-18	1.79
-21	1.69
-24	1.62
-27	1.55
-30	1.50

Tabelle 4-10 – Höchstzulässige mittlere Wärmedurchgangszahlen aus [OEN78\_09]

Aber nicht nur die höchstzulässigen Wärmedurchgangszahlen wurden angeführt, auch der höchstzulässige Wärmebedarf wurde in der neuen Einheit  $W/m^3$  für verschiedene Heizgradtage angegeben. In der Tabelle 4-11 sind die höchstzulässigen Werte zusammengefasst.

	Höchstzulässiger Wärmebedarf $W/m^3$ bei einer Heizgradtagzahl von		
	3200 - 3600	3600 - 4000	über 4000
Einfamilien- und Siedlungshäuser	58	52	45
Sonstige Gebäude			
Geschoß unter Dach	41	37	31
Geschoß über Keller	35	31	27
Mittelgeschoß	29	27	23

Tabelle 4-11 – Höchstzulässiger Wärmebedarf aus [OEN78\_09]

Der Nachweis des höchstzulässigen Wärmebedarfs konnte entfallen, wenn die Bedingungen mit den Fensterflächenanteilen aus [OEN59] erfüllt waren. Auch die vier Wärmeschutzklassen waren durch den Wärmedurchlasswiderstand  $D$  in  $m^2\text{°C}/W$  definiert und nicht mehr in  $m^2\text{h°C}/kcal$  angegeben. Der Mindestwärmeschutz für Bauteile wurde auch erstmals in  $W/(m^2\text{°C})$ , wie in Tabelle 4-12 aufgelistet, angegeben.

Bemessungstemperatur in °C	Höchstzulässige Wärmedurchgangszahl in W/(m <sup>2</sup> °C)	
	Außenwände von Wohnräumen	Außenwände von Küchen und Bädern
-15	1.52	1.12
-18	1.41	1.02
-21	1.30	0.95
-24	1.21	0.88
-27	1.14	0.83
-30	1.07	0.78

Bemessungstemperatur in °C	Höchstzulässige Wärmedurchgangszahl in W/(m <sup>2</sup> °C)	
	Trennwände gegen unbeh. Räume	Trennwände gegen beheizte Räume
-15	1.50	1.99
-18	1.37	1.99
-21	1.28	1.99
-24	1.20	1.99
-27	1.12	1.99
-30	1.06	1.99

Bemessungstemperatur in °C	Höchstzulässige Wärmedurchgangszahl in W/(m <sup>2</sup> °C)	
	Außendecken	
	Flachdach	Decken über Durchfahrten
-15	0.91	0.62
-18	0.84	0.57
-21	0.78	0.52
-24	0.72	0.49
-27	0.68	0.45
-30	0.64	0.43

Bemessungstemperatur in °C	Höchstzulässige Wärmedurchgangszahl in W/(m <sup>2</sup> °C)		
	Geschoßdecken zw. beheizten Räumen	Geschoßdecken über Keller und gegen Geschäftsräume	zwischen Wohnungen und Dachraum, Gang, Stiegenhaus, geschlossene Hauslaube oder Erdboden
-15	1.37	1.06	0.85
-18	1.37	0.98	0.78
-21	1.37	0.91	0.72
-24	1.37	0.84	0.68
-27	1.37	0.78	0.63
-30	1.37	0.74	0.59

Tabelle 4-12 – Mindestwärmeschutz von Wänden und Decken aus [OEN78\_09]

Für die Berechnung und den Nachweis der Anforderung an die Wärmedurchgangszahl waren Wärmeübergangszahlen notwendig. Diese wurden in  $W/(m^2\text{°C})$ , wie in Tabelle 4-13 aufgelistet, angegeben.

	Oberfläche und Durchgangsrichtung	Wärmeübergangszahl in $W/(m^2\text{°C})$
innen	bei geschlossenen Räumen und natürlicher Luftbewegung:	
	Wandflächen und Innenfenster	8.14
	Außenfenster	11.63
	Decken bei Wärmeübergang von unten nach oben	8.14
	Decken bei Wärmeübergang von oben nach unten	5.82
außen	bei einer mittleren Windgeschwindigkeit von etwa 2 m/s	23.26

Tabelle 4-13 – Wärmeübergangszahlen aus [OEN78\_09]

Die Fußböden durften zur Sicherung ausreichender Fußwärme eine bestimmte höchstzulässige Wärmeableitung nicht überschreiten. Für den Nachweis der abgeleiteten Wärmemenge wurde ein Versuch notwendig, dabei durfte die abgeleitete Wärmemenge die Werte aus Tabelle 4-14 nicht überschreiten. Es wurde zehn Minuten nach Versuchsbeginn die aus dem Messfuß (15 cm Bodendurchmesser) abgeleitete Wärmemenge gemessen, wobei die Temperaturen des Messfuß etwa  $33\text{ °C}$  und die des Fußbodens etwa  $18\text{ °C}$  betragen, was einer anfänglichen Übertemperatur von  $15\text{ °C}$  entsprach.

Fußböden in	Höchstzulässige, innerhalb 10 min abgeleitete Wärmemenge in $\text{kJ}/\text{m}^2$
Wohnräumen	293
Betrieben	398

Tabelle 4-14 – Höchstzulässige in den Fußboden abgeleitete Wärmemenge aus [OEN78\_09]

Die vier erwähnten Wärmeschutzklassen aus [OEN59] wurden in [OEN78\_09] genauer definiert und die folgende Definition angegeben.

Durch Erhöhung des baulichen Wärmeschutzes konnte der Energieaufwand für Heizzwecke und damit die Menge des durch kalorische Energieerzeugung und häusliche Feuerstätten in die Atmosphäre gelangenden Rauchgases und dergleichen vermindert werden. Die Anwendung eines erhöhten Wärmeschutzes kann demnach auch als im Interesse des Umweltschutzes liegend betrachtet werden [OEN78\_09].

Typ 1: Gebäude oder Gebäudeteile, die höchstens kurz beheizbar sein sollen (z.B: Lagerhäuser, Garagen) oder Werkstätten die wärmeabgebende Betriebseinrichtungen besitzen.

Typ 2: Aufenthaltsräume samt zugehörigen Nebenräumen in Wohn-, Büro- und Betriebsgebäuden.

Typ 3: Schulen, Kranken- und Pflegeanstalten, Altersheime sowie Aufenthaltsräume nach Typ 2 in exponierter Lage. Außenwandbauteile mit einer flächenbezogenen Masse von 150 kg/m<sup>2</sup> bis 300 kg/m<sup>2</sup>.

Typ 4: Gebäude oder Gebäudeteile nach Typ 2 oder 3 mit besonders hohen Wärmeschutzansprüchen oder in extremer Lage. Außenwandbauteile mit einer flächenbezogenen Masse unter 150 kg/m<sup>2</sup>, z.B. Holzfertighäuser, Fassadenelemente [OEN78\_09].

Das waren im Wesentlichen die Inhalte der Wärmeschutznorm aus dem Jahr 1978. Von 1950 an wurde die ÖNORM B 8110 sukzessive erweitert und die Erkenntnisse hinsichtlich des Wärmeschutzes wurden zu definieren versucht. Als große Veränderung stellte sich dann die ÖNORM aus 1983 heraus, die viele Neuerungen für den Wärmeschutz brachte.

#### **4.1.6 ÖNORM B 8110 - Teil 1 vom 01. Februar 1983**

Im Jahr 1983 wurde die Ausgabe von 1978 abgelöst, die [OEN83] trägt den Namen „Wärmeschutz im Hochbau – Anforderung an die Wärmedämmung“. Eine neue Titulierung der wurde also eingeführt, aber nicht nur der Name wurde verändert und erweitert, eine Aufteilung der Inhalte in mehrere Teile fand auch statt. Die Ausgabe von 1983 war eine Vornorm und der Hinweis dazu in der [OEN83] lautete wie folgt.

„Diese ÖNORM wurde als VORNORM herausgegeben, weil die Entwicklung auf diesem Fachgebiet noch im Fluss ist und weitere praktische Erfahrungen abgewartet werden sollten. Es wurde gebeten, Erfahrungen und Vorschläge schriftlich dem Österreichischen Normungsinstitut mitzuteilen“ [OEN83].

Zur besseren Übersicht wurde im Jahre 1983 eine Teilung vorgenommen, die folgendermaßen vorgesehen wurde.

- Teil 1 Anforderung an die Wärmedämmung
- Teil 2 Wasserdampfdiffusion und Kondensationsschutz (in Vorbereitung)
- Teil 3 Wärmespeicherung und Sonneneinflüsse (in Vorbereitung)
- Teil 4 Betriebswirtschaftliche Optimierung des Wärmeschutzes (in Vorbereitung)

Im Jahre 1983 wurden die Maßeinheiten für die wärmetechnischen Begriffe neu definiert, die Angaben sind Tabelle 4-15 aufgelistet.

Benennung	Symbol	Maßeinheit
Wärmeleitfähigkeit	$\lambda$	W/(mK)
Wärmedurchlaßkoeffizient	L	W/(m <sup>2</sup> K)
Wärmedurchlaßwiderstand	$D = 1/L$	(m <sup>2</sup> K)/W
Wärmeübergangskoeffizient	a	W/(m <sup>2</sup> K)
Wärmeübergangswiderstand	1/a	(m <sup>2</sup> K)/W
Wärmedurchgangskoeffizient	k	W/(m <sup>2</sup> K)
Mittlerer Wärmedurchgangskoeffizient	$k_m$	W/(m <sup>2</sup> K)
Wärmedurchgangswiderstand	1/k	(m <sup>2</sup> K)/W
Luftdurchlaßkoeffizient (oder Fenster- oder Türfugen)	a	m <sup>3</sup> /(smPa <sup>2/3</sup> )
Heizgradtage	HGT	Kd
Rechnerischer spezifischer Wärmeleistungsbedarf (Wärmeverlust in der Zeiteinheit = Heizlast)	$P_i$	W/(m <sup>2</sup> K)

Tabelle 4-15 – Wärmetechnische Begriffe und Maßeinheiten aus [OEN83]

Die Mindestwärmedämmung von Bauteilen wurde auch neu angegeben. Die Trennung der zulässigen Wärmedurchgangszahlen nach Minimaltemperaturen wurde nicht mehr vorgenommen, sondern die Maximalwerte der Wärmedurchgangszahlen galten ab diesem Zeitpunkt für ganz Österreich, unabhängig von der Temperatur. Die höchstzulässigen Wärmedurchgangskoeffizienten sind der Tabelle 4-16 zu entnehmen.

Bauteil	höchstzulässiger Wärmedurchgangskoeffizient $k_{\max}$
Außenwände sowie freistehende Feuermauern	0.70
Wände gegen Dachräume	0.70
Feuermauern an angrenzenden Gebäuden oder Gebäudeteilen	0.90
Fenster und Fenstertüren	2.50
Außentüren ohne Verglasung	1.70
Wohnungseingangstüren oder Türen gegen unbeheizbare Räume	1.70
Trennwände gegen unbeheizbare Räume (z.B. gegen Stiegenhäuser, Gänge)	0.90
Trennwände und Trenndecken zwischen Wohnungen oder vergleichbaren Raumverbänden	0.90
Warmdächer (z.B. Flachdächer, erdüberdeckte Decken)	0.30
Decken über offenen Bereichen (z.B. Durchfahrten) unter hinterlüfteten Kaltdächern	0.30
Geschoßdecken unter Dachraum oder über ausgebauten Dachgeschoßen u.dgl.	0.30
Geschoßdecken zwischen beheizbaren und unbeheizbaren Räumen	0.60
erdberührte Wände	0.80
erdberührte Fußböden	0.80

Tabelle 4-16 – Mindestwärmeeindämmungen von Bauteilen aus [OEN83]

Die höchstzulässigen Wärmedurchgangskoeffizienten waren dann bis 1998 gültig und stellten den damaligen Wärmedammstandard dar. In der Zeit bis 1998 hatten die Bundesländer in den Bauordnungen die höchstzulässigen Wärmedurchgangskoeffizienten niedriger reglementiert als das die gültige ÖNORM [OEN83] vorsah. Der Wärmeschutz wurde bis 1998 in den zuständigen Ländern strikter reglementiert als auf der Ebene der nationalen Normung.

Aber nicht nur die Bauteile mussten Anforderungen erfüllen, auch der Gesamtenergieverbrauch der Gebäude wurde begrenzt. Es wurden Anforderungen an den rechnerischen spezifischen Wärmeleistungsbedarf  $P_1$  in  $W/(m^2K)$  und an den rechnerischen spezifischen Wärmeverlust  $Q$  in  $MJ/(m^2a)$  gestellt. Die Berechnung von  $P_1$  war gemäß ÖNORM B 8135 (Vereinfachte Berechnung des zeitbezogenen Wärmeverlusts [Heizlast] von Gebäuden) durchzuführen. Die

Anforderung an den spezifischen Wärmeleistungsbedarf und an den spezifischen Wärmeverlust sind in der Tabelle 4-17 angegeben.

	Heizgradtage $HGT_{20/12}$		
	$\leq 3400$	3401-3800	$> 3800$
$P_1$ in $W/(m^2K)$	0.68	0.66	0.63
$Q$ in $MJ/m^3a$	200	215	230
$Q$ in $kWh/m^3a$	55.6	59.7	63.9
$Q = 0.024 \cdot P_1 \cdot HGT_{20/12}$ in $kWh/(m^3a)$ $Q = 86,40 \cdot P_1 \cdot HGT_{20/12}$ in $kJ/(m^3a)$			

Tabelle 4-17 – Höchstzulässiger rechnerischer spezifischer Wärmeleistungsbedarf  $P_1$  aus [OEN83]

Die Begrenzung des spezifischen Wärmeleistungsbedarfs und des spezifischen Wärmeverlusts wurde in Abhängigkeit der Heizgradtage definiert. Dieser Kennwert für einen Standort in Österreich hatte folgende Definition.

Die Heizgradtage  $HGT_{20/12}$  sind die Summen der Differenzen zwischen der mittleren Raumtemperatur von  $20^\circ C$  und dem Tagesmittel der Außentemperatur  $t_{a,m,i}$  über alle Heiztage  $z$  der Heizzeit (vom 1. Oktober bis 30. April) bei einer Heizgrenztemperatur von  $12^\circ C$  mittlerer Außentemperatur [OEN83]. Die Maßeinheit der Heizgradtrage war Kelvin mal Tag (K.d). Die Berechnungsformel für die Heizgradtage hatte folgende Gestalt.

$$HGT = \sum_{i=1}^z (20 - t_{a,m,i})$$

HGT Heizgradtage in Kelvin mal Tag

20  $20^\circ C$  Raumtemperatur

$t_{a,m,i}$  Tagesmittel der Außentemperatur für jeden Tag der Heizzeit in  $^\circ C$

Des Weiteren waren die höchstzulässigen Wärmedurchgangskoeffizienten  $k$  der Teile einer nichttransparenten Außenwand in Abhängigkeit der Heizgradtage und des Verhältnisses von Volumen zu Fassadenfläche ( $V/A_{AW}$ ), des Fensteranteils und der thermischen Qualität der Fenster (mit Wärmedurchgangskoeffizienten 1.50, 2.00 und  $2.50 W/(m^2K)$ ) angegeben. Unterschieden wurde dabei zwischen:

- a. Ein- und Mehrfamilienhäuser mit großzügigem Raumangebot
- b. Für den sozialen Wohnbau, für übliche Bürobauten ohne wesentlichen Parteienverkehr

Für Objekte der Kategorie a war ein 0,5facher Luftwechsel pro Stunde anzunehmen. Für Objekte der Kategorie b war ein 0.75facher Luftwechsel pro Stunde heranzuziehen. Im Anhang der [OEN83] war ein Berechnungsbeispiel angefügt, wie man den maximalen Wärmedurchgangskoeffizienten  $k_{max}$  für die nichttransparenten Teile der Außenwand bestimmte.

Wie die Ausführungen erkennen lassen, hatte sich zum Jahr 1978 in der Definition des Wärmeschutzes einiges verändert. Die Neureglementierung des Wärmeschutzes hatte viele Einflüsse aus der Wirtschaft und vor allen Dingen war die Neudefinition aus Umweltschutzbe-

langen begründbar. Die Version aus 1983 war gültig bis 1998 als sie von einer neuen Ausgabe des ersten Teils der Wärmeschutznormenreihe abgelöst wurde.

#### 4.1.7 ÖNORM B 8110 – Teil 1 vom 01. Juni 1998

Die Ausgabe von 1998 löste die [OEN83] ab und trug den Namen „Wärmeschutz im Hochbau – Anforderung an den Wärmeschutz und Nachweisverfahren“. Es wurde abermals ein neuer Name für den ersten Teil der Wärmeschutznorm gefunden. Die Vornorm aus dem Jahre 1998 war Teil der ÖNORMen-Reihe B 8110 „Wärmeschutz im Hochbau“ die folgende Teile umfasste.

Teil 1	Anforderungen an den Wärmeschutz und Nachweisverfahren
Teil 2	Wasserdampfdiffusion und Kondensationsschutz
Teil 3	Wärmespeicherung und Sonneneinflüsse
Teil 4	Betriebswirtschaftliche Optimierung des Wärmeschutzes

Es wurde auch der Hinweis gegeben, dass unter Wärmeschutz im Hochbau alle baulichen Maßnahmen zu verstehen sind, die zur Herstellung und Aufrechterhaltung des angestrebten Raumklimas mit einem geringstmöglichen Aufwand an Herstellungs- und Folgekosten dienen. Die ÖNORM B 8110 aus dem Jahr 1998 ist in Bedachtnahme auf die Erfüllung der Richtlinie des Rates vom 21. Dezember 1988 zur Angleichung der Rechts- und Verwaltungsvorschriften der Mitgliedsstaaten über Bauprodukte [EWG\_89] (Anhang I, Pkt. 6 – ENERGIEEINSPARUNG UND WÄRMESCHUTZ) bei der Planung und Errichtung aller Gebäude oder Räume zur Sicherstellung von deren Gebrauchstauglichkeit erstellt worden.

Bezüglich der Anforderung an Einzelbauteile wurde in der [OEN98\_06] kein Hinweis gemacht. Die Wärmedurchgangskoeffizienten der Einzelbauteile wurden nicht begrenzt, sondern der Wärmeschutz wurde gesamtheitlich betrachtet. Dazu wurden neue Kriterien eingeführt, die Linien Europäischer Kriterien (LEK) wurden in der [OEN98\_06] definiert. Das sogenannte LEK-Verfahren sollte der gesamtheitlichen Betrachtungsweise gerecht werden. Die Anforderung zur Begrenzung der Transmissions-Wärmeverluste von Gebäuden oder Gebäudeteilen wurde durch LEK-Linien beschrieben. Diese stellten den Kennwert für den Wärmeschutz der Gebäudehülle dar. Die höchstzulässige LEK-Linie wurde durch Klima, Gebäudewidmung und Gebäudenutzung gewählt. Die LEK-Linie ist eine Funktion des mittleren U-Wertes  $U_m$  und der Kompaktheit des Gebäudes. Die Berechnungsformel für diesen Kennwert wurde in der [OEN98\_06] angeführt und ist im folgenden Abschnitt angeführt.

##### 4.1.7.1 Definition der Parameter zur Formulierung der Anforderungen an den baulichen Wärmeschutz aus [OEN98\_06]

In diesem Abschnitt sind die Berechnungsformeln für die Parameter, die zum Nachweis des baulichen Wärmeschutzes ab 1998 notwendig waren, angegeben.

Die Definition der LEK-Linien wird am besten durch Angabe der Berechnungsformeln angeführt. Die Ermittlung des LEK-Wertes erfolgte nach folgender Beziehung.

$$\text{LEK} = 300 \cdot \frac{U_m}{(2 + I_c)}$$

LEK	LEK-Wert als Kennwert für den Wärmeschutz der Gebäudehülle unter Bedachnahme der Geometrie. Von der Einheit wurde kein Gebrauch gemacht.
$U_m$	mittlerer U-Wert der Gebäudehülle in Watt pro Quadratmeter und Kelvin
$l_c$	charakteristische Länge des Gebäudes in Meter

Die einzelnen Komponenten zur Bestimmung des LEK-Wertes waren wie folgt zu berechnen.

Der mittlere U-Wert der Gebäudehülle wurde mit folgender Formel angeführt.

$$U_m = \frac{L_T}{A_B}$$

$L_T$  Transmissionsleitwert der Gebäudehülle in Watt je Kelvin

$A_B$  Fläche der Gebäudehülle die das beheizte Gebäudevolumen umschließen, in Quadratmeter

Die charakteristische Länge wurde als Verhältnis von beheiztem Gebäudevolumen und der Fläche der Gebäudehülle, die das beheizte Gebäudevolumen umschließen, berechnet.

$$l_c = \frac{V_B}{A_B}$$

$V_B$  Volumen der beheizten Gebäudehülle in Kubikmeter

Die Anforderung an den Wärmeschutz konnte auch durch den volumenbezogenen Transmissionsleitwert nachgewiesen werden. Für die Berechnung des neu eingeführten Begriffs war in [OEN98\_06] folgende Formel angegeben.

$$P_{T,V} = \frac{L_T}{V_B}$$

$P_{T,V}$  volumenbezogener Transmissionsleitwert in Watt pro Kubikmeter und Kelvin

Aus dem LEK-Wert konnte der volumenbezogene Transmissionsleitwert  $P_{T,V}$  berechnet werden. Dazu war die folgende Berechnungsformel in [OEN98\_06] angegeben.

$$P_{T,V} = \frac{LEK \cdot (2 + l_c)}{300 \cdot l_c}$$

Diese Parameter wurden für die Anforderung an den Wärmeschutz und das Nachweisverfahren eingeführt. Abschließend werden noch die Berechnungsformeln für den Transmissionsleitwert angegeben. Der Transmissionsleitwert  $L_T$  eines Gebäudes wurde nach der folgenden Beziehung errechnet.

$$L_T = L_e + L_u + L_g + L_v + L_\chi \text{ in W/K}$$

- $L_e$  thermischer Leitwert aller Bauteile, die den geheizten Innenraum und die Außenluft thermisch verbinden in Watt pro Kelvin
- $L_u$  thermischer Leitwert für Bauteile, die den geheizten Innenraum über unbeheizte Räume mit der Außenluft verbinden in Watt pro Kelvin
- $L_g$  thermischer Leitwert für Bauteile, die den geheizten Innenraum über den Boden mit dem Außenraum thermisch verbinden in Watt pro Kelvin
- $L_\psi$  Leitwertzuschlag für 2-dimensionale Wärmebrücken in Watt pro Kelvin
- $L_x$  Leitwertzuschlag für 3-dimensionale Wärmebrücken in Watt pro Kelvin

Die einzelnen Leitwerte und Zuschläge wurden nach den folgenden Beziehungen ermittelt.

Der thermische Leitwert aller Bauteile, also der Leitwert der Gebäudehülle, wurde über die U-Werte und die Einzelflächen der Bauteile berechnet. Demnach war der Leitwert für alle Bauteile wie folgt definiert.

$$L_e = \sum_{k=1}^n (A_k \cdot U_k)$$

$A_k$  Flächeninhalte der Einzelflächen k in Quadratmeter

$U_k$  Wärmedurchgangskoeffizient der Einzelbauteile k in Watt pro Quadratmeter und Kelvin

Die Wärmedurchgangskoeffizienten, die in der angeführten Gleichung verwendet wurden, waren gemäß ÖNORM EN ISO 6946 oder gemäß ÖNORM ISO 8990 zu ermitteln.

Über unbeheizte Räume war der Leitwert und somit der Wärmeverlust wie folgt zu berechnen.

$$L_u = L_{i,u} \cdot \frac{(L_{u,e} + L_{v,u,e})}{(L_{i,u} + L_{u,e} + L_{v,u,e})}$$

$L_u$  Leitwert über unbeheizte Räume in Watt pro Kelvin

$L_{i,u}$  Leitwert von der beheizten Zone an die unbeheizte Zone angrenzenden Bauteile in Watt pro Kelvin

$L_{u,e}$  Leitwert von der unbeheizten Zone an die Außenluft angrenzenden Bauteile in Watt pro Kelvin

$L_{v,u,e}$  Lüftungsleitwert der unbeheizten Zone in Watt pro Kelvin

Der Lüftungsleitwert konnte gemäß der folgenden Beziehung berechnet werden.

$$L_{v,u,e} = 0.33 \cdot n_{L,u} \cdot V_{f,u}$$

$n_{L,u}$  Luftwechsel zwischen dem unbeheizten Raum und dem Außenraum; bei keinen genauen Angaben war für  $n_{L,u} = 0.50 \text{ h}^{-1}$  einzusetzen.

$V_{f,u}$  freies Luftvolumen des unbeheizten Raumes

Mit dem Wert 0.33 in der Gleichung für den Lüftungsleitwert war die Wärmekapazität der Luft gemeint. Die Wärmekapazität der Luft in Wattstunden wurde wie folgt definiert.

$$\frac{\rho \cdot c}{3600} = \frac{1.20 \cdot 1000}{3600} = 0.33 \text{ Wh}$$

Die restlichen Leitwerte der oben angeführten Gleichung, der Leitwert der unbeheizten Zone zur Außenluft und der Leitwert von der beheizten Zone an die unbeheizte Zone, konnten wie folgt ermittelt werden.

$$L_{i,u} = \sum A_{i,u} \cdot U_{i,u} + \sum l_{\psi,i,u} \cdot \psi_{i,u} + \sum L_{\chi,i,u}$$

$$L_{u,e} = \sum A_{u,e} \cdot U_{u,e} + \sum l_{\psi,u,e} \cdot \psi_{u,e} + \sum L_{\chi,u,e}$$

- $A_{i,u}$  Fläche der die beheizte Zone begrenzenden Bauteile, die unmittelbar an die unbeheizte Zone anschließen in Quadratmeter
- $U_{i,u}$  Wärmedurchgangskoeffizient der die beheizte Zone begrenzenden Bauteile, die unmittelbar an die unbeheizte Zone anschließen in Watt je Quadratmeter und Kelvin
- $l_{\psi,i,u}$  Länge der die beheizte Zone begrenzenden Bauteile, die unmittelbar an die unbeheizte Zone anschließen in Meter
- $\psi_{i,u}$  Längenbezogener Wärmebrückenfaktor der die beheizte Zone begrenzenden Bauteile, die unmittelbar an die unbeheizte Zone anschließen in Watt pro Meter und Kelvin
- $L_{\chi,i,u}$  Punktbezogener Wärmebrückenleitwertzuschlag der die beheizte Zone begrenzenden Bauteile, die unmittelbar an die unbeheizte Zone anschließen in Watt pro Kelvin
- $A_{u,e}$  Fläche der die unbeheizte Zone begrenzenden Bauteile, die unmittelbar an die Außenluft anschließen in Quadratmeter
- $U_{u,e}$  Wärmedurchgangskoeffizient der die unbeheizte Zone begrenzenden Bauteile, die unmittelbar an die Außenluft anschließen in Watt je Quadratmeter und Kelvin
- $l_{\psi,u,e}$  Länge der die unbeheizte Zone begrenzenden Bauteile, die unmittelbar an die Außenluft anschließen in Meter
- $\psi_{u,e}$  Längenbezogener Wärmebrückenfaktor der die unbeheizte Zone begrenzenden Bauteile, die unmittelbar an die Außenluft anschließen in Watt pro Meter und Kelvin
- $L_{\chi,u,e}$  Punktbezogener Wärmebrückenleitwertzuschlag der die unbeheizte Zone begrenzenden Bauteile, die unmittelbar an die Außenluft anschließen in Watt pro Meter

Die nächste Größe in der Gleichung für den Transmissionsleitwert war der Leitwert für Bauteile, die den geheizten Innenraum über den Boden mit dem Außenraum thermisch verbunden haben. Wärmeverluste über den Boden wurden damals gemäß ÖNORM EN ISO 1190 berechnet.

Für frühe Planungsstadien wurde bereits eine grobe Abschätzung für  $L_g$  angegeben. Folgende Gleichung konnte dafür verwendet werden.

$$L_g = A \cdot \left( 0.23 + \frac{0.30}{R_f} \right)$$

- A Fläche der Bodenplatte oder der Decke über dem Kriechkeller oder Decke über unbeheiztem Keller in Quadratmeter
- $R_f$  Wärmedurchlasswiderstand der Bodenplatte oder der Decke über dem Kriechkeller oder Decke über unbeheiztem Keller in Quadratmeter und Kelvin je Watt

Die Abschätzung des Wärmedurchlasswiderstandes der Fundierungsausbildung  $R_f$  ließ es zu den Leitwert für die Fundierung und somit die Verluste gegen den Erdboden abzuschätzen.

Nach ÖNORM EN 1190 wurde zwischen folgenden Fundierungen unterschieden.

1. Bodenplatte
2. Bodenplatte mit Randdämmung
3. Kriechkeller
4. Decke über unbeheizten Keller
5. Beheizter Keller

Die Zweidimensionalen Wärmebrücken waren nach folgender Formel zu berücksichtigen:

$$L_\psi = \sum_{j=1}^J l_j \cdot \psi_j$$

$l_j$  die Länge der längenbezogenen Wärmebrücke  $j$  in Meter

$\psi_j$  Korrekturkoeffizient der längenbezogenen Wärmebrücke  $j$  in Watt pro Meter und Kelvin

Der Leitwertzuschlag ist also über die Länge der Wärmebrücke zu ermitteln gewesen.

Des Weiteren wurde der Hinweis gegeben, dass Wärmebrücken mit Hilfe der EN ISO 10211 Teil 2 berechnet oder aus Wärmebrückenkatalogen entnommen werden konnten. Sofern die Abschätzung der Wärmebrücken beschleunigt werden sollte, konnte auch auf eine Tabelle, die in die [OEN98\_06] inkludiert wurde, zurückgegriffen werden. Dabei wurde unterschieden zwischen  $\psi_j$ -Werten die nach ÖNORM B 8110 Teil 2, Beiblatt 2, nachgewiesen wurden und Konstruktionen ohne Nachweis. Wurde kein Nachweis gegen Kondensat geführt, fiel der Leitwertzuschlag höher aus.

Für frühe Planungsstadien, bei denen noch keine Konstruktionsdetails vorlagen, konnte der Leitwertzuschlag wie folgt abgeschätzt werden.

$$L_\psi + L_\chi = 0.10 \cdot L_e \text{ in W/K}$$

Das bedeutet 10% des Leitwerts der Außenbauteile, waren für Wärmebrücken aufzuschlagen.

Die punktbezogenen Wärmebrücken, also der Leitwertzuschlag  $L_\chi$  erfolgte durch Summierung der Korrekturkoeffizienten für dreidimensionale Wärmebrücken.

$$L_\chi = \sum_{k=1}^K \chi_k \text{ in W/K}$$

$\chi_k$  Korrekturkoeffizient der punktbezogenen Wärmebrücke  $k$  in Watt pro Kelvin

Auch hier wurde der Hinweis auf die ÖNORM EN ISO 10211 Teil 2 gegeben, auch Wärmebrückenkataloge konnten zur Bestimmung des Leitwertzuschlages herangezogen werden.

#### 4.1.7.2 Anforderungen an den baulichen Wärmeschutz aus [OEN98\_06]

Mit den definierten Parametern wurden die Mindestanforderungen an den baulichen Wärmeschutz formuliert. Die Mindestanforderung wurde über die LEK-Linie und über Heizgradtaganzahl von 3400 Kelvintage angegeben. Sofern die Heizgradtage von 3400 Kelvintage abweichen musste die LEK-Linie wie folgt angepasst werden.

$$LEK_{zul} = LEK_{3400} \cdot \frac{3400}{HGT_{STANDORT}} \geq 20$$

$LEK_{zul}$  zulässiger LEK-Wert

$LEK_{3400}$  LEK-Wert bei einer Heizgradtaganzahl von 3400 Kelvintagen

$HGT_{STANDORT}$  Heizgradtagzahl des betrachteten Standorts

Die zulässigen Werte wurden für unterschiedliche Nutzungen von Gebäuden definiert. Die damals angegebenen höchstzulässigen LEK-Linien sind der Tabelle 4-18 zu entnehmen.

GEBÄUDE-WIDMUNG	LEK <sub>3400</sub> -Linien
Ein- und Zweifamilienhäuser Reihenhäuser	50
Mehrfamilienhäuser Krankenhäuser Pflegeheime	44
Kindergärten Schulen	55
Gebäude mit niedriger Innentemperatur 12°C - 18°C	60

Tabelle 4-18 – Höchstzulässige LEK-Linien aus [OEN98\_06]

Der Nachweis wurde in der Weise erbracht, dass zur Erfüllung der Mindestanforderung an den Wärmeschutz der LEK-Wert des Gebäudes die zutreffende  $LEK_{zul}$ -Linie nicht überschreiten durfte.

Bei erhöhten Anforderungen an den Wärmeschutz von Gebäuden ist eine entsprechend niedrigere LEK-Linie zu wählen gewesen. Die Absenkung um einen LEK-Punkt hatte eine Verringerung der jährlichen Transmissions-Wärmeverluste von zwei Prozent zur Folge. Die Transmissions-Wärmeverluste in  $kWh/m^2_{BGF}$  wurden damals zunehmend begrenzt und zwar in der Weise, dass das Voranschreiten der LEK-Linien im Abstand von drei LEK-Punkten gewählt

wurde. Auch ein höchstzulässiger energieäquivalenter LEK-Wert  $LEK_{eq}$  wurde angegeben. Dieser konnte nach der folgenden Formel berechnet werden.

$$LEK_{eq} = 100 \cdot HWB_{BGF} \cdot \frac{I_c}{(0,024 \cdot HGT_{STANDORT} \cdot (2 + I_c))}$$

$HWB_{BGF}$  Heizwärmebedarf bezogen auf die Bruttogeschosßfläche

$HGT_{STANDORT}$  Jahres-Heizgradtage des Standortes in Kelvin-Tage.

Mit diesem energieäquivalenten LEK-Wert wurde über bauliche Maßnahmen hinaus auch die Standortbedingungen und die Wirkung von inneren Wärmequellen, infolge von Sonneneinstrahlung, sowie durch Wärmerückgewinnung in Lüftungsanlagen oder die Wirkung der Verminderung von Transmissionsverlusten infolge von Steuerungsmaßnahmen der Wärmebereitstellungssysteme, berücksichtigt.

Zum Nachweis der Begrenzung der Transmissionsverluste eines Gebäudes konnte auch der volumenbezogene Transmissions-Leitwert  $P_{T,V}$  ermittelt werden. Dieser Wert wurde als Alternative zum LEK-Wert angegeben. Auch hier wurde eine Begrenzung der Transmissionswärmeverluste eines Gebäudes vorgesehen. Der Nachweis war folgendermaßen zu erbringen.

$$P_{T,V} \leq P_{T,V,max}$$

$P_{T,V}$  Volumenbezogener Transmissionsleitwert in Watt pro Kubikmeter und Kelvin

$P_{T,V,max}$  Höchstzulässiger volumenbezogener Transmissionsleitwert in Watt pro Kubikmeter und Kelvin

Der  $P_{T,V,max}$ -Wert, also der höchstzulässige Transmissions-Leitwert, konnte aus den LEK-Linien ermittelt werden. Und zwar nach folgender Beziehung.

$$P_{T,V,max} = \frac{LEK_{zul} \cdot (2 + I_c)}{300 \cdot I_c}$$

Der volumenbezogene Transmissionsleitwert, der  $P_{T,V}$ -Wert eines Gebäudes, konnte mit Hilfe des Leitwertes und des Volumens des Gebäudes errechnet werden.

$$P_{T,V} = \frac{L_T}{V_B}$$

In Wien wurde der volumenbezogene Transmissionsleitwert sehr lange angewendet und als Begrenzung für den Transmissionswärmeverlust in der Wiener Bauordnung angegeben.

In der [OEN98\_06] sind Größen zur Festlegung der Anforderungen an den Heizwärmebedarf angegeben.

Definiert wurde der Heizwärmebedarf folgendermaßen:

„Der rechnerische Heizwärmebedarf ist jene durch Berechnung ermittelte Wärmemenge, die im langjährigen Mittel während einer Heizsaison den Räumen des Gebäudes zugeführt werden muss, um die Einhaltung einer vorgegebenen Soll-Temperatur während der Betriebszeit zu gewährleisten [ÖEN98\_06].“

Die Berechnung erfolgte damals nach der ÖNORM EN 832, die eine Vorgängernorm der EN ISO 13790 darstellt. In der EN 832 wurde bereits das Bilanzverfahren verwendet, nach Monaten oder nach Perioden.

Die weiteren Angaben in der ÖNORM 8110 – Teil1 zur Berechnung des Heizwärmebedarfs waren:

„Es ist davon auszugehen, dass

- die Klimadaten sind gemäß dem österreichischen Klimadatenkatalog und der Widmung der betreffenden Aufenthaltsräume,
- der Innenraumtemperatur der beheizten Räume von 20 °C und
- einer nächtlichen Temperaturabsenkung zwischen 24 Uhr und 6 Uhr“ [ÖEN98\_06]

Für die Rechenwerte der Lüftung von Innenräumen wurde zwischen wohnhygienischem und arbeitshygienischen Luftwechsel unterschieden. Der wohnhygienische Luftwechsel wurde mit  $0,40 \text{ h}^{-1}$  angegeben oder mit  $30 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{Person})$  falls dies zu einem höheren Luftwechsel als  $0,40 \text{ h}^{-1}$  führte. Der arbeitshygienische Luftwechsel wurde von Vornherein mit  $30 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{Person})$  angegeben. Bei anderen Nutzungen wurde noch der Hinweis auf die ÖNORM H 6000-3 gegeben.

Für die inneren Wärmelasten wurde für Beleuchtung und Haushaltsgeräte  $3 \text{ W/m}^2$  Wohnnutzfläche angegeben und für Bürobeleuchtung und Bürogeräte wurden  $5 \text{ W/m}^2$  angegeben. Die Personenwärme mit  $90 \text{ W/Person}$ . Eine Beschränkung der Wärmegewinne wurde auch angegeben, der jährliche Beitrag von  $15 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$  durfte nicht überschreiten werden, ansonsten musste eine Begründung angegeben werden.

Die Berechnung des Heizwärmebedarfs konnte entweder mit der Jahresmethode oder nach dem Monatsbilanzverfahren berechnet werden. Der ermittelte Energiebedarf für das Heizen in Kilowattstunden für ein Jahr war auf die Bruttogeschoßfläche zu beziehen.

Für die Berechnung der U-Werte, der  $\psi$ -Werte, bzw. der  $\chi$ -Werte, war der Hinweis gegeben, dass im Falle einer Einzonenberechnung die gleiche Vorgangsweise wie bei der Bestimmung der LEK-Werte zu wählen war. Zur Bestimmung des Wärmedurchgangskoeffizienten  $U_w$  des Fensters war der Hinweis auf die ÖNORM EN ISO 10077 Teil 1 gegeben.

Die Nutzungsdaten zur Bestimmung des Heizwärmebedarfs sind in der ÖNORM B 8110 – Teil 1 von 1998 wie folgt zu bestimmen gewesen:

Für die Wohnnutzung wurde auf ein Kapitel in ÖNORM verwiesen, für Nutzungen wie Bürogebäude, Schulen, Kindergärten sowie anderer Gebäude wurde auf Fachliteratur verwiesen.

Für die Begrenzung des Heizwärmebedarfs von Gebäuden waren höchstzulässige HWB-Werte oder HWB-Linien festzulegen.

In der ÖNORM wurden zwei Angaben gemacht, zum Einen wurden Mindestanforderungen als höchstzulässige HWB-Linien angegeben und zum Anderen wurden erhöhte Anforderungen in Form von HWB-Werten.

Die Mindestanforderungen die damals an den Heizwärmebedarf gestellt wurden sind der Tabelle 4-19 zu entnehmen.

Gebäudewidmung	HWB <sub>max</sub> -Wert-Linien	LEK-Wert
Ein- und Zweifamilienhäuser Reihenhäuser	40,8.(1+(2/l <sub>c</sub> ))	50
Mehrfamilienhäuser Krankenhäuser Pflegeheime	35,9.(1+(2/l <sub>c</sub> ))	44
Kindergärten Schulen	44,9.(1+(2/l <sub>c</sub> ))	55
Gebäude mit niedriger Innentemperatur 16°C - 19°C	49.(1+(2/l <sub>c</sub> ))	60

Tabelle 4-19 – Höchstzulässige HWB-Wert-Linien zur Erfüllung der Mindestanforderung an die Begrenzung des HWB-Wertes aus [OEN98\_06]

Es wurde die Minimalanforderung an den Heizwärmebedarf mit der Kompaktheit des Gebäudes definiert. Die Maximalwerte für den Heizwärmebedarf galten für eine Bruttogeschöshöhe von drei Metern. Sollte die Geschöshöhe erheblich von 3 Metern abweichen so wurde folgende Umrechnung angegeben.

$$HWB_{\max, \text{Gebäude}} = HWB_{\text{BGF, max}} \cdot \frac{V_B}{3}$$

HWB<sub>max, Gebäude</sub> höchstzulässiger Heizwärmebedarf des Gebäudes mit einer Bruttogeschöshöhe die von drei Metern erheblich abweicht

HWB<sub>BGF, max</sub> höchstzulässiger Heizwärmebedarf des Gebäudes mit einer Bruttogeschöshöhe von drei Metern

Das bedeutet, die Korrektur für den maximal zulässigen HWB<sub>max</sub>-Wert, wenn die Gebäudehöhe von 3 Metern erheblich abwich, erfolgte über das beheizte Bruttovolumen.

Für erhöhte Anforderungen an den Wärmeschutz wurde Tabelle 4-20 angeführt.

HWB-Wert in kWh/m <sup>2</sup>											
LEK-Wert	Kompaktheit des Gebäudes I <sub>c</sub> in m										
	0,7	0,8	1,0	1,25	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0
60	189	172	147	127	98	88	82	77	74	71	69
55	173	157	135	117	90	81	75	71	67	65	63
50	157	143	122	106	82	73	68	64	61	59	57
47	148	134	115	100	77	69	64	60	58	55	54
44	138	126	108	93	72	65	60	56	54	52	50
41	129	117	100	87	67	60	56	53	50	48	47
38	120	109	93	81	62	56	52	49	47	45	43
35	110	100	86	74	57	51	48	45	43	41	40
32	101	91	78	68	52	47	44	41	39	38	37

Tabelle 4-20 – Grenzwerte für erhöhte Anforderungen an den flächenbezogenen jährlichen Heizwärmebedarf aus [OEN98\_06]

Den Nachweis zur Erfüllung der Anforderungen wurde wie folgt erbracht.

Für die Mindestanforderung über die höchstzulässige HWB-Wert-Linie

$$\text{HWB - Wert}_{\text{EN832}} \leq \text{HWB - Wert - Grenzlinie}$$

HWB-Wert<sub>EN832</sub> Heizwärmebedarf gemäß der [OEN98] in Kilowattstunden je Quadratmetern und Jahr

HWB-Wert-Grenzlinie höchstzulässiger Heizwärmebedarf in Kilowattstunden je Quadratmetern und Jahr

Die ÖNORM enthielt im Anhang F die Anforderung an Programme zur Berechnung des Heizwärmebedarfs und ein Validierungsverfahren. Im Anhang G wurde dann ein Beispiel zur Berechnung des LEK-, LEK<sub>eq</sub>- und des HWB<sub>BGF</sub>-Wertes, sowie der Wärmebrückenwirkung, angegeben.

#### 4.1.8 ÖNORM B 8110 - Teil 1 vom 01. September 2000

Nachdem im Jahr 1998 sehr viele neue Parameter Eingang in die Wärmeschutznorm fanden, wurde diese Ausgabe bereits nach zwei Jahren überarbeitet. Im Jahr 2000 erschien dann die ÖNORM B 8110 Teil 1 mit dem Titel „Wärmeschutz im Hochbau - Anforderungen an den Wärmeschutz und Nachweisverfahren“ [OEN00\_01]. Im Jahre 2000 umfasste die ÖNORMen Reihe 8110 „Wärmeschutz im Hochbau“ weiterhin vier Teile:

- Teil 1 Anforderungen an den Wärmeschutz und Nachweisverfahren
- Teil 2 Wasserdampfdiffusion und Kondensationsschutz
- Teil 3 Wärmespeicherung und Sonneneinflüsse
- Teil 4 Betriebswirtschaftliche Optimierung des Wärmeschutzes

Der Bezug zur EG-Richtlinie aus dem Jahr 1988 wurde auch wieder angeführt.

Die ÖNORM B 8110 aus dem Jahr 2000 ist in Bedachtnahme auf die Erfüllung der Richtlinie des Rates vom 21. Dezember 1988 zur Angleichung der Rechts- und Verwaltungsvorschriften der Mitgliedsstaaten über Bauprodukte (Anhang I, Pkt. 6 – ENERGIEEINSPARUNG UND

WÄRMESCHUTZ) bei der Planung und Errichtung aller Gebäude oder Räume zur Sicherstellung von deren Gebrauchstauglichkeit erstellt worden [OEN00\_01].

Die [OEN00\_01] enthielt weiterhin die LEK-Linien und den LEK-Wert als Festlegungsmittel der Anforderungen an den baulichen Wärmeschutz der Gebäudehülle. Die Definition der LEK-Werte blieb zu der Version von 1998, genauso wie die Berechnung der Leitwerte gleich. Die LEK-Werte wurden weiterhin über den mittleren U-Wert und die Kompaktheit des Gebäudes errechnet. Der volumenbezogene Transmissionsleitwert wurde gleich wie in der Version von 1998 definiert. Die Ermittlung des Transmissionsleitwertes eines Gebäudes änderte sich zu 1998 auch nicht, ebenso wie die Leitwertzuschläge  $L_{\psi}$  und  $L_{\chi}$  für zwei- und dreidimensionale Wärmebrücken. Die Anforderungen an den Wärmeschutz der Gebäudehülle, in Mindestanforderungen und erhöhte Anforderungen geteilt wichen von 1998 nicht ab. Die Mindestanforderung wurde weiterhin über die LEK-Linie und über Heizgradtaganzahl von 3400 K.d angegeben.

Die Mindestanforderungen an den Wärmeschutz waren weiterhin gemäß der Tabelle 4-19 einzuhalten.

Für den höchstzulässigen energieäquivalenten LEK-Wert,  $LEK_{eq}$ , wurde eine neue Berechnungsweise angeführt.

$$LEK_{eq} = LEK \cdot \left( 1 - \frac{\eta \cdot (Q_s + Q_i) - Q_v}{Q_T} \right) = LEK \cdot \frac{HWB}{Q_T}$$

$\eta$	Ausnutzungsgrad für den Wärmegewinn gemäß EN832
$Q_s$	solarer Wärmegewinn in Kilowattstunden
$Q_i$	interner Wärmegewinn in Kilowattstunden
$Q_v$	Lüftungswärmeverlust in Kilowattstunden
$Q_T$	Transmissionswärmeverlust in Kilowattstunden
HWB	Heizwärmebedarf in Kilowattstunden

Der Hinweis der Berechnung des Heizwärmebedarfs von Gebäuden wich zur Version von 1998 ab. Für die Begrenzung des Heizwärmebedarfs von Gebäuden waren höchstzulässige HWB-Werte oder HWB-Linien festgelegt. Dabei wurden in der [OEN00\_01] zwei Angaben gemacht, zum Einen wurden Mindestanforderungen als höchstzulässige HWB-Linien angegeben und zum Anderen wurden erhöhte Anforderungen in Form von HWB-Werten angeführt. Die Mindestanforderungen an den Heizwärmebedarf waren weiterhin gemäß Tabelle 4-20 einzuhalten.

Die Änderungen im Jahr 2000 zur Version von 1998 waren kaum inhaltlicher Natur. Im Gegensatz dazu wurden im Jahr 2004 einige neue Festlegungen getroffen.

#### 4.1.9 ÖNORM B 8110 – Teil 1 vom 01. Dezember 2004

Im Jahr 2004 wurde die ÖNORM B 8110 Teil 1 [OEN04] abermals mit einem neuen Namen ausgestattet: „Wärmeschutz im Hochbau - Teil 1: Anforderungen an den Wärmeschutz und Deklaration des Wärmeschutzes von Gebäuden/Gebäudeteilen“. Aus dem Nachweisverfahren

wurde eine Deklaration des Wärmeschutzes. Die Aufteilung der ÖNORMen-Reihe B 8110 wurde ausgeweitet. In der Ausgabe von 2004 wurde die bisherige Vornorm B 8110 Teil 1 überarbeitet und die Reihe der 8110 ÖNORMen sollte erweitert werden. Die ÖNORMen-Serie B 8110 „Wärmeschutz im Hochbau“ umfasste damals folgende acht Teile.

Teil 1	Anforderungen an den Wärmeschutz und Deklaration des Wärmeschutzes von Gebäuden/Gebäudeteilen
Teil 2	Wasserdampfdiffusion und Kondensationsschutz
Teil 3	Wärmespeicherung und Sonneneinflüsse
Teil 4	Betriebswirtschaftliche Optimierung des Wärmeschutzes
Teil 5	Niedrig- und Niedrigstenergiegebäude
Teil 6	Grundlagen und Nachweisverfahren

Weiters waren zur Herausgabe vorgesehen:

Teil 7	Baufeuchtigkeit
Teil 8	Kühlwärmebedarf

Diese Aufteilung der Wärmeschutznorm wurde nur zum Teil umgesetzt, die Benennung der einzelnen Bestandteile der ÖNORMen-Reihe stellt sich heute ein wenig anders dar. An dieser Stelle taucht zum ersten Mal in der Wärmeschutznorm der Begriff „Kühlwärmebedarf“ auf. Bis dahin fehlte dieser Begriff und die Beurteilung beziehungsweise die Anforderung an den Kühlbedarf war in der Wärmeschutznorm nicht berücksichtigt. Wie in Kapitel drei dieser Arbeit beschrieben, ist dieser Umstand aus Gründen die die Berechnungsmethodik für den Kühlbedarf betreffen, zurückzuführen.

Die Kenngrößen zur Deklaration des Wärmeschutzes waren in Abhängigkeit der Klimalage des Standortes und der Gebäudegeometrie jedenfalls:

- 1) Der jährliche Heizwärmebedarf bezogen auf die beheizte Brutto-Geschoßfläche unter Angabe der charakteristischen Länge  $HWB_{BGF}/l_c$

und gegebenenfalls

- 2) der LEK-Wert

oder der

- 3)  $P_{T,V}$ -Wert/ $l_c$

Die Grundlagen und das Nachweisverfahren dieser thermischen Kenngrößen wurden in der ÖNORM B 8110 Teil 6 festgehalten. Die Anforderungen an die Begrenzung des Heizwärmebedarfs von Gebäuden und Gebäudeteilen wurde durch  $HWB_{BGF}$ -Linien als Zielwerte der Anforderungen vorgeschrieben. Ohne Vorschreibung höchstzulässiger Wärmedurchgangskoeffizienten einzelner Bauteile und ohne Vorschreibung von Lagefaktoren. Die Anforderungslinien für  $HWB_{BGF}$  (auf die beheizte Brutto-Geschoßfläche bezogener jährlicher Heizwärmebedarf in  $kWh/m^2$ ) standen in Abhängigkeit der Kompaktheit ( $1/l_c$ ) und dem Standort. Zwischen den  $HWB_{BGF}$ -Linien und den  $LEK_{3400}$ -Linien wurde folgender Zusammenhang angegeben.

$$HWB_{BGF} = 0,816 \cdot \left(1 + \frac{2}{l_c}\right) \cdot LEK_{3400}$$

Die höchstzulässigen  $HWB_{BGF}$ -Linien wurden unterteilt in zwei Wärmeschutzklassen, dem Basis-Wärmeschutz und dem erhöhten Wärmeschutz. Dies stellte sicher die größte Neuerung im Vergleich zu den Ausgaben von 1998 und 2000 dar. In der Tabelle 4-21 sind diese Wärmeschutzklassen und die Anforderungen angegeben.

Wärmeschutzklasse	HW $B_{BGF}$ -Linie	Deklaration HW $B_{BGF}/l_c$
Basis-Wärmeschutz	33 x (1+2/ $l_c$ )	99/1... 50/4
Erhöhter Wärmeschutz	24 x (1+2/ $l_c$ )	72/1... 36/4

Tabelle 4-21 – Höchstzulässige  $HWB_{BGF}$ -Linien für Gebäude/Gebäudeteile mit Aufenthaltsräumen aus [OEN04]

Diese höchstzulässigen  $HWB_{BGF}$ -Linien galten für Gebäude oder Gebäudeteile mit einer Innentemperatur von 20 °C, wenn bei Gebäuden die Innentemperatur von 20 °C abwichen waren die Werte in der Tabelle unter Zugrundelegung einer Innentemperatur von 20 °C jedenfalls zu erfüllen. Die Bemessung, beziehungsweise die Berechnung, des Heizwärmebedarfs hatte gemäß ÖNORM EN 832, bzw. ÖNORM EN ISO 13790, nach dem vorgesehenen Nutzungsprofil zu erfolgen. Für die Anforderungen an Niedrig- und Niedrigstenergie-Gebäude wurde auf die zu Herausgabe geplante ÖNORM B 8110 Teil 5 verwiesen. Die Anforderung galt als erfüllt wenn folgender Bedingung genüge geleistet wurde.

$$HWB_{BGF} \text{ (berechnet nach EN 832 oder EN ISO 13790)} \leq HWB_{BGF,zul}$$

$HWB_{BGF}$  Heizwärmebedarf nach EN ISO 13790 oder nach [OEN98] berechnet in Kilowattstunden pro Quadratmeter und Kelvin

$HWB_{BGF,zul}$  zulässiger Heizwärmebedarf gemäß Tabelle 4-21 in Kilowattstunden pro Quadratmeter und Kelvin

Bezüglich der Anforderungen der thermischen Qualität der Gebäudehülle war der Nachweis der Begrenzung der Transmissions-Wärmeverluste eines Gebäudes oder eines Gebäudeteils zu erbringen, entsprechend der Klimalage, der Lebensgewohnheiten und der widmungsgemäßen Nutzung. Der Nachweis für die beiden Wärmeschutzklassen „Basis-Wärmeschutz“ und „Erhöhter Wärmeschutz“ konnte anhand der höchstzulässigen LEK-Linien oder mit dem daraus abgeleiteten höchstzulässigen Transmissions-Leitwert  $P_{T,V}$  wie folgt erbracht werden.

Die höchstzulässigen LEK-Linien für Standorte mit 3400 Kelvintagen (also mit einer Jahres-Heizgradtagzahl von 3400 Kelvintagen) beschrieben die thermische Qualität der Gebäudehülle. Für Standorte mit einer Jahres-Heizgradtagzahl die von 3400 abwichen war die LEK-Linie wie folgt zu ermitteln:

$$LEK_{zul,Standort} = LEK_{zul,3400} \cdot \frac{3400}{HGT_{Standort}}$$

Die in dieser Beziehung vorkommenden Parameter wurden im Vorangegangenen bereits definiert. In der Tabelle 4-22 sind die höchstzulässigen LEK-Linien für die beiden Wärmeschutzklassen angeführt.

Wärmeschutzklasse	LEK-Linie
Basis-Wärmeschutz	40
Erhöhter Wärmeschutz	30

Tabelle 4-22 – Höchstzulässige  $LEK_{3400}$ -Linien für Gebäude/Gebäudeteile mit Aufenthaltsräumen aus [OEN04]

Für die Begrenzung des Transmissions-Wärmeverlusts eines Gebäudes oder eines Gebäudeteils konnte der auf das beheizte Brutto-Volumen bezogene Transmissions-Leitwert  $P_{T,V,zul}$  aus der  $LEK_{zul,3400}$ -Linie aus der folgenden Beziehung berechnet werden.

$$P_{T,V,zul} = \frac{LEK_{zul,3400} \cdot (2 + I_c)}{300 \cdot I_c}$$

Diese Umrechnung wurde 1998 erstmals in die ÖNORM aufgenommen und im Jahr 2004 wieder angeführt.

Im Anhang A der [OEN04] wurde bezüglich der Deklaration von Gebäuden und Gebäudeteilen in Abhängigkeit der charakteristischen Länge und der zugehörigen Referenzlinie für  $HWB_{BGF}$  eine verbale Beurteilung des Wärmeschutzes angegeben. Dabei wurden folgende Beurteilungen eingeführt:

- Völlig unzureichender Wärmeschutz: Bauhygienisch bedenklich, nicht mehr wirtschaftlich beheizbar (typisch für ländliche Gebäude, Bauten aus der frühen Gründerzeit oder Bauten aus 1945 bis 1970)
- Unzureichender Wärmeschutz: hohe Priorität bezüglich thermischer Verbesserung der Gebäudehülle
- Mangelhafter Wärmeschutz: thermische Sanierung sehr lohnend (typisch für den Wohnbau der 50er bis 70er Jahre)
- Deutlich verbesserter Wärmeschutz: gegenüber dem Wärmeschutz gemäß Mindestvorschriften
- Energiespar-Gebäude
- Niedrigenergie-Gebäude
- Niedrigstenergie-Gebäude: als wesentlicher Parameter des Anforderungsprofils von Passivhäusern [OEN04]

Diese verbale Beurteilung zielte auf eine Klassifizierung der Gebäude in wärmetechnischer Sicht ab. Die EU-Gebäuderichtlinie [EGL\_02] war damals schon herausgegeben worden und es war geplant die Klassifikation der Neubauten und des gesamten Gebäudebestandes zu ermöglichen. Der österreichische Energieausweis war das Ergebnis dieser Entwicklung. Die angeführte Einteilung wurde auch zahlenmäßig festgehalten und ist in der Tabelle 4-23 angeführt.

für HWB <sub>BGF</sub> HGT = 3400	HWB <sub>BGF</sub> in kWh/m <sup>2</sup> a bei charakteristischer Länge					Verbale Beurteilung
	1 m	1,5 m	2 m	3 m	4 m	
>82(1+2/l <sub>c</sub> )	>245	>190	>163	>136	>122	völlig unzureichender Wärmeschutz
82(1+2/l <sub>c</sub> )	245	190	163	136	122	unzureichender Wärmeschutz
73(1+2/l <sub>c</sub> )	220	171	147	122	110	
65(1+2/l <sub>c</sub> )	196	152	131	109	98	
61(1+2/l <sub>c</sub> )	184	143	122	102	92	mangelhafter Wärmeschutz
53(1+2/l <sub>c</sub> )	159	124	106	88	80	
45(1+2/l <sub>c</sub> )	135	105	90	75	67	
41(1+2/l <sub>c</sub> )	123	96	82	68	62	Wärmeschutz gemäß Mindestvorschrift
39(1+2/l <sub>c</sub> )	117	91	78	65	59	
38(1+2/l <sub>c</sub> )	114	89	76	63	57	
36(1+2/l <sub>c</sub> )	108	84	72	60	54	
34(1+2/l <sub>c</sub> )	102	79	68	57	51	
33(1+2/l <sub>c</sub> )	98	76	65	54	49	deutlich verbesserter Wärmeschutz
31(1+2/l <sub>c</sub> )	93	72	62	52	47	
29(1+2/l <sub>c</sub> )	88	69	59	49	44	
28(1+2/l <sub>c</sub> )	83	65	55	46	42	
26(1+2/l <sub>c</sub> )	78	61	52	44	39	
24(1+2/l <sub>c</sub> )	73	57	49	41	37	Energiespar-Gebäude
23(1+2/l <sub>c</sub> )	69	54	46	38	34	
21(1+2/l <sub>c</sub> )	63	49	42	35	32	
20(1+2/l <sub>c</sub> )	60	47	40	33	30	
18(1+2/l <sub>c</sub> )	54	42	36	30	27	
16(1+2/l <sub>c</sub> )	48	37	32	27	24	Niedrigenergiespar-Gebäude
14(1+2/l <sub>c</sub> )	42	33	28	23	21	
12(1+2/l <sub>c</sub> )	36	28	24	20	18	
10(1+2/l <sub>c</sub> )	30	23	20	17	15	
8(1+2/l <sub>c</sub> )	24	19	16	13	12	Niedrigstenergie-Gebäude
7(1+2/l <sub>c</sub> )	21	16	14	11	10	
6(1+2/l <sub>c</sub> )	18	14	12	10	9	
5(1+2/l <sub>c</sub> )	15	12	10	8	7	

Tabelle 4-23 – HWB<sub>BGF</sub>-Wert als Beurteilungshilfe für die thermische Qualität des Gebäudes oder Gebäudeteils aus [OEN04]

Für den LEK<sub>eq</sub>-Wert wurde die gleiche Einteilung mit der Angabe von Grenzwerten für LEK<sub>eq</sub> vollzogen, in der Tabelle 4-24 ist diese Einteilung aufgelistet.

LEK <sub>eq</sub> -Wert	Beurteilungshinweise
100 < LEK <sub>eq</sub>	völlig unzureichender Wärmeschutz
75 < LEK <sub>eq</sub> ≤ 100	unzureichender Wärmeschutz
50 < LEK <sub>eq</sub> ≤ 75	mangelhafter Wärmeschutz
40 < LEK <sub>eq</sub> ≤ 50	Wärmeschutz gemäß Mindestvorschrift
30 < LEK <sub>eq</sub> ≤ 40	deutlich verbesserter Wärmeschutz
20 < LEK <sub>eq</sub> ≤ 30	Energiespar-Gebäude
10 < LEK <sub>eq</sub> ≤ 20	Niedrigenergiespar-Gebäude
LEK <sub>eq</sub> ≤ 10	Niedrigstenergie-Gebäude

Tabelle 4-24 – LEK<sub>eq</sub>-Wert für HGT=3400 K.d als Beurteilungshilfe für die thermische Qualität des Gebäudes oder Gebäudeteils aus [OEN04]

Die Ausgabe [OEN04] legte die Anforderungen an den Heizwärmebedarf und die Kategorisierung des Wärmeschutzes neu fest. Diese Ausgabe wurde dann im Jahr 2007 von einer neuen Version abgelöst.

#### 4.1.10 ÖNORM B 8110 – Teil 1 vom 01. August 2007

Im Jahr 2007 wurde die Ausgabe von 2004 abgelöst, die Norm erschien im August und trug den Namen „Wärmeschutz im Hochbau - Teil 1: Anforderungen an den Wärmeschutz und Deklaration des Wärmeschutzes von Gebäuden/Gebäudeteilen - Heizwärmebedarf und Kühlbedarf“ [OEN07\_01]. Der Titel der ÖNORM B 8110 wurde im Laufe der Geschichte immer länger, als neuer Begriff wurde der Kühlbedarf in den Namen der ÖNORM aufgenommen. Der geplante Teil 7 (Baufeuchtigkeit) und der Teil 8 (Kühlwärmebedarf) aus dem Jahr 2004 wurden gestrichen, beziehungsweise nicht realisiert. Der Kühlbedarf wurde erstmals in Österreich normativ begrenzt, indem man ihn in den Teil 1 und in den Teil 6 der ÖNORMen-Reihe B 8110 aufgenommen hat.

Die ÖNORMen-Serie B 8110 „Wärmeschutz im Hochbau“ umfasste folgende Teile:

- Teil 1 Anforderungen an den Wärmeschutz und Deklaration des Wärmeschutzes von Gebäuden/Gebäudeteilen
- Teil 2 Wasserdampfdiffusion und Kondensationsschutz
- Teil 3 Wärmespeicherung und Sonneneinflüsse
- Teil 4 Betriebswirtschaftliche Optimierung des Wärmeschutzes
- Teil 5 Klimamodell und Nutzungsprofile

## Teil 6 Grundlagen und Nachweisverfahren – Heizwärmebedarf und Kühlbedarf

Die Umsetzung der Richtlinie „Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden“ der Europäischen Union vom 16. Dezember 2002 (Richtlinie 2002/91/EG des Europäischen Parlaments und des Rates [EGL\_02]) erforderte einige Änderungen in den Normen. So wurde die Umsetzung des Energieausweises für Gebäude in Österreich einerseits durch die ÖNORMen-Reihe B 8110, andererseits durch die Herausgabe von Haustechniknormen die in der ÖNORM B 8110-1 von 2007 angeführt wurden, verwirklicht. Diese sind:

ÖNORM H 5055, VORNORM Energieausweis für Gebäude – Raumheizung und Wassererwärmung

ÖNORM H 5056, VORNORM Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden – Heiztechnikenergiebedarf

ÖNORM H 5057, VORNORM Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden - Raumlufttechnikenergiebedarf für Wohn- und Nichtwohngebäude

ÖNORM H 5058, VORNORM Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden – Kühltechnikenergiebedarf

ÖNORM H 5059, VORNORM Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden – Beleuchtungsenergiebedarf

Mit diesen Normen wurde die Erstellung von Energieausweisen für Gebäude möglich, so wie es die EU-Gebäuderichtlinie vorsah.

### 4.1.10.1 Begriffsdefinition

Einige Begriffe wurden neu, beziehungsweise erstmals, definiert. Alle Begriffsbestimmungen sind der [OEN07] entnommen.

#### **Gebäudehülle**

Gesamte aus den Außenabmessungen berechnete Oberfläche eines Gebäudes/Gebäudeteils, die das festgelegte konditionierte Brutto-Volumen umschließt, über das eine Wärmebilanz mit einer bestimmten Raumtemperatur erstellt wird, einschließlich aller Räume, die unmittelbar oder über einen Raumverbund konditioniert werden.

Auch ein Hinweis auf die Zonierung findet sich:

Wenn die Temperaturdifferenz zwischen unbeheizten Räumen und beheizten oder teilbeheizten Räumen im Raumverbund 4 K unterschreitet, gelten Räume als beheizt.

Die Temperaturdifferenz von 4 K wurde in Übereinstimmung mit der ÖNORM EN 832 festgelegt.

#### **Konditionierung**

Beheizung, Kühlung, Be- und Entlüftung und Befeuchtung eines Gebäudes oder Gebäudeteils

#### **Konditionierte Gebäude**

Gebäude, deren Innenraumklima unter Einsatz von Energie konditioniert wird. Als konditionierte Gebäude können Gebäude als Ganzes oder Teile des Gebäudes, die als eigene Nutzungseinheiten konzipiert oder umgebaut wurden, bezeichnet werden.

### **Neubau**

Herstellung von neuerrichteten Gebäuden sowie von Gebäuden bei denen nach Abtragung bestehender baulicher Anlagen alte Fundamente ganz oder teilweise benützt werden.

### **Umfassende Sanierung**

Zeitlich zusammenhängende Renovierungsarbeiten an Gebäuden, wenn deren Gesamtbaukosten (Bauwerkskosten, Honorare und Nebenkosten) 25 % des Bauwertes (ohne Berücksichtigung des Bodenwertes und der Außenanlagen) übersteigen, oder wenn zumindest 25 % der Gebäudehülle (gemäß ÖNORM B 8110-6) einer Renovierung unterzogen werden, oder wenn zumindest drei der folgenden Teile der Gebäudehülle und haustechnischen Gewerke gemeinsam erneuert oder zum überwiegenden Teil instand gesetzt werden (Fensterflächen, Dach oder oberste Geschoßdecke, Fassadenfläche, Haustechniksystem).

Der Bauwert ist die Summe der Werte der baulichen Anlagen. Bei seiner Ermittlung ist in der Regel von den Gesamtbaukosten auszugehen und von diesen die technische und wirtschaftliche Wertminderung abzuziehen. Sonstige Wertänderungen und wertbeeinflussende Umstände, wie etwa die Lage der Liegenschaft, baurechtliche oder andere öffentlich-rechtliche Beschränkungen sowie erhebliche Abweichungen von den üblichen Baukosten sind nicht zu berücksichtigen.

### **Heizwärmebedarf (HWB)**

Wärmemenge, die den konditionierten Räumen zugeführt werden muss, um deren vorgegebene Solltemperatur einzuhalten.

### **Heizwärmebedarf für Nicht-Wohngebäude unter Wohngebäudebedingungen (HWB\*)**

Wärmemenge, die den konditionierten Räumen zugeführt werden muss, um deren Solltemperatur einzuhalten, wobei für die Luftwechselrate, die inneren Wärmelasten (ohne Berücksichtigung der Beleuchtung) die Bestimmungen für Wohngebäude herangezogen werden.

### **Kühlbedarf (KB)**

Wärmemenge, die den konditionierten Räumen entzogen werden muss, um deren vorgegebene Solltemperatur einzuhalten.

### **Außeninduzierter Kühlbedarf (KB\*)**

Wärmemenge, die den konditionierten Räumen entzogen werden muss, um deren vorgegebene Solltemperatur, bei deren Berechnung die inneren Wärmelasten gleich null zu setzen sind und als Luftwechselrate ausschließlich Infiltration angenommen wird.

### **Konditionierte Bruttogeschosßfläche (BGF)**

Summe der Grundflächen aller Grundrissebenen eines Gebäudes, die konditioniert sind.

### **Konditioniertes Brutto-Volumen (V)**

Rauminhalt des Gebäudes, der von den äußeren Begrenzungsflächen und nach unten von der Unterfläche der konstruktiven Gebäudesohle umschlossen wird, der konditioniert ist.

### **Wohngebäude**

Gebäude, die ganz oder überwiegend zum Wohnen genutzt werden.

### **Nicht-Wohngebäude**

Gebäude, die nicht überwiegend zum Wohnen genutzt werden.

### **Sonstige konditionierte Gebäude**

Gebäude, die nicht ganz oder überwiegend zum Wohnen genutzt werden und nicht als Bürogebäude, Kindergarten und Pflichtschulen, Höhere Schulen und Hochschulen, Krankenhäuser, Pflegeheime, Pensionen, Hotels, Gaststätten, Veranstaltungsstätten, Sportstätten und Verkaufsstätten genutzt werden. [OEN07]

Es ist erkennbar, dass die eindeutige Definition und Trennung von Wohngebäuden und Nichtwohngebäuden für die Betrachtung des Wärmeschutzes in diese Ausgabe der ÖNORM aufgenommen wurde.

Der „Basis-Wärmeschutz“ und der „erhöhte Wärmeschutz“ wurden in der ÖNORM für drei Kategorien von Gebäuden festgelegt:

- Wohngebäude ( $HWB_{BGF}$ )
- Nicht-Wohngebäude ( $HWB^*_V$  und  $KB^*_V$ )
- Sonstige konditionierte Gebäude

Folgende Anforderungen und Rechenverfahren galt es dabei zu beachten:

- Vermeidung von schädlicher Kondensation
- Vermeidung von sommerlicher Überwärmung
- Vermeidung wirtschaftlich unververtretbaren Luftaustausches durch die Gebäudehülle
- Betriebs- und Energiewirtschaftlichkeit der Baumaßnahmen

#### **4.1.10.2 Formelzeichen, Einheiten und Benennungen**

Die Formelzeichen, Einheiten und die Benennungen dazu sind in Tabelle 4-25 zusammengefasst.

Formelzeichen	Einheit	Benennung
BGF	m <sup>2</sup>	konditionierte Brutto-Geschoßfläche des Gebäudes/Gebäudeteils
V	m <sup>3</sup>	konditioniertes Brutto-Volumen des Gebäudes/Gebäudeteils
HWB	kWh/m <sup>2</sup>	jährlicher Heizwärmebedarf
HWB <sub>BGF</sub>	kWh/m <sup>2</sup>	jährlicher Heizwärmebedarf, bezogen auf die konditionierte Brutto-Grundfläche
HWB <sub>BGF,WG,Ref</sub>	kWh/m <sup>2</sup>	jährlicher Heizwärmebedarf für Wohngebäude - Neubau, bezogen auf die konditionierte Brutto-Grundfläche und das Referenzklima
HWB <sub>BGF,WG,Ref,max</sub>	kWh/m <sup>2</sup>	maximaler jährlicher Heizwärmebedarf für Wohngebäude - Neubau, bezogen auf die konditionierte Brutto-Grundfläche und das Referenzklima
HWB <sub>BGF,WGsan,Ref</sub>	kWh/m <sup>2</sup>	jährlicher Heizwärmebedarf für Wohngebäude - umfassende Sanierung, bezogen auf die konditionierte Brutto-Grundfläche und das Referenzklima
HWB <sub>BGF,WGsan,Ref,max</sub>	kWh/m <sup>2</sup>	maximaler jährlicher Heizwärmebedarf für Wohngebäude - umfassende Sanierung, bezogen auf die konditionierte Brutto-Grundfläche und das Referenzklima
HWB <sub>BGF,nE-WG,Ref</sub>	kWh/m <sup>2</sup>	jährlicher Heizwärmebedarf für Niedrigenergie-Wohngebäude - Neubau, bezogen auf die konditionierte Brutto-Grundfläche und das Referenzklima
HWB <sup>*</sup> <sub>V,nE-NWG,Ref</sub>	kWh/m <sup>3</sup>	jährlicher Heizwärmebedarf für Niedrigenergie-Nicht-Wohngebäude - Neubau, bezogen auf das konditionierte Brutto-Volumen und das Referenzklima
HWB <sub>BGF,nstE-WG,Ref</sub>	kWh/m <sup>2</sup>	jährlicher Heizwärmebedarf für Niedrigstenergie-Wohngebäude - Neubau, bezogen auf die konditionierte Brutto-Grundfläche und das Referenzklima
HWB <sup>*</sup> <sub>V,nstE-NWG,Ref</sub>	kWh/m <sup>3</sup>	jährlicher Heizwärmebedarf für Niedrigstenergie-Nicht-Wohngebäude - Neubau, bezogen auf das konditionierte Brutto-Volumen und das Referenzklima
HWB <sup>*</sup> <sub>V</sub>	kWh/m <sup>3</sup>	jährlicher Heizwärmebedarf, bezogen auf das konditionierte Brutto-Volumen
HWB <sup>*</sup> <sub>V,NWG,Ref</sub>	kWh/m <sup>3</sup>	jährlicher Heizwärmebedarf für Nicht-Wohngebäude - Neubau, bezogen auf das konditionierte Brutto-Volumen und das Referenzklima
HWB <sup>*</sup> <sub>V,NWG,Ref,max</sub>	kWh/m <sup>3</sup>	maximaler jährlicher Heizwärmebedarf für Nicht-Wohngebäude - Neubau, bezogen auf das konditionierte Brutto-Volumen und das Referenzklima
HWB <sup>*</sup> <sub>V,NWGsan,Ref</sub>	kWh/m <sup>3</sup>	jährlicher Heizwärmebedarf für Nicht-Wohngebäude - umfassende Sanierung, bezogen auf das konditionierte Brutto-Volumen und das Referenzklima
HWB <sup>*</sup> <sub>V,NWGsan,Ref,max</sub>	kWh/m <sup>3</sup>	maximaler jährlicher Heizwärmebedarf für Nicht-Wohngebäude - umfassende Sanierung, bezogen auf das konditionierte Brutto-Volumen und das Referenzklima
KB <sup>*</sup> <sub>V,NWG,max</sub>	kWh/m <sup>3</sup>	maximaler jährlicher außeninduzierter Kühlbedarf für Nicht-Wohngebäude - Neubau, bezogen auf das konditionierte Brutto-Volumen
KB <sup>*</sup> <sub>V,NWGsan,max</sub>	kWh/m <sup>3</sup>	maximaler jährlicher außeninduzierter Kühlbedarf für Nicht-Wohngebäude - umfassende Sanierung, bezogen auf das konditionierte Brutto-Volumen
l <sub>c</sub>	m	charakteristische Länge
P <sub>T,V</sub>	W/(m <sup>3</sup> K)	volumenbezogener Transmissionsleitwert
LEK-Wert	-	Kennwert/Kennlinie für den Wärmeschutz der Gebäudehülle
HWB <sub>NGF,Ref</sub>	kWh/m <sup>2</sup>	auf die konditionierte Netto-Grundfläche bezogener jährlicher Heizwärmebedarf bezogen auf das Referenzklima
P <sub>H,NGF</sub>	W/m <sup>2</sup>	auf die konditionierte Netto-Grundfläche bezogene Heizlast
n <sub>50</sub>	1/h	Luftwechselzahl gemessen bei 50 Pa Druckdifferenz zwischen Innen und Außen
U-Wert	W/(m <sup>2</sup> K)	Wärmedurchgangskoeffizient

Tabelle 4-25 – Formelzeichen, Einheiten und Benennungen aus [OEN07\_01]

#### 4.1.10.3 Energiekennzahlen von Gebäuden/Gebäudeteilen

Durch die Richtlinie des Rates vom 21. Dezember 1988 zur Angleichung der Rechts- und Verwaltungsvorschriften der Mitgliedsstaaten über Bauprodukte, Anhang I – ENREGIEEINSPARUNG UND WÄRMESCHUTZ [EWG\_89] – ist die Festlegung von Anforderungen an den Wärmeschutz in folgender Weise möglich:

- Festlegung von höchstzulässigen Wärmedurchgangskoeffizienten (U-Werte der Einzelbauteile)
- Festlegung von höchstzulässigen volumenbezogenen Transmissionsleitwerten  $P_{T,V}$  in  $W/(m^3K)$  der gesamten Gebäudehülle

Die Festlegung von höchstzulässigen volumenbezogenen Transmissionsleitwerten war nicht Bestandteil dieser Norm.

Weiters wurde die Festlegung der Anforderungen an den Wärmeschutz von Gebäuden und Gebäudeteilen nach der Richtlinie des Rates vom 16. Dezember 2002 über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden [EGL\_02] wie folgt angegeben:

- Festlegung des höchstzulässigen, jährlichen Heizwärmebedarfes HWB
- Festlegung des höchstzulässigen, jährlichen Gesamtenergiebedarfes der Gebäude/Gebäudeteile

Auch die Festlegung des höchstzulässigen, jährlichen Gesamtenergiebedarfes der Gebäude/Gebäudeteile wurde nicht in dieser Norm definiert.

Folgende Anforderungen und Rechenverfahren wurden normativ angeführt:

- Vermeidung von schädlicher Kondensation gemäß ÖNORM B 8110 Teil 2
- Vermeidung sommerlicher Überwärmung gemäß ÖNORM B 8110 Teil 3
- betriebs- bzw. energiewirtschaftliche Bedingungen gemäß ÖNORM B 8110 Teil 4
- Grundlagen und Nachweisverfahren zur Erfüllung der Anforderungen gemäß ÖNORM B 8110 Teil 6

Die Grundlagen zur Bestimmung der thermischen Kenngrößen „Heizwärmebedarf-HWB“, „ $P_{T,V}$ -Wert“ und des „LEK-Wertes“ wurden in der ÖNORM B 8110 Teil 6 behandelt.

#### **Energiekennzahlen für die Anforderungen an den Wärmeschutz**

Folgende Kenngrößen wurden als Energiekennzahlen mit dem Prädikat maßgebend definiert:

1. Für den Heizwärmebedarf von Wohngebäuden: der Heizwärmebedarf  $HWB_{BGF}$  unter Beachtung der Kompaktheit des Gebäudes/Gebäudeteils
2. Für den Heizwärmebedarf von Nichtwohngebäuden: der Heizwärmebedarf  $HWB^*_V$  unter Beachtung der Kompaktheit des Gebäudes/Gebäudeteils

#### **Kenngrößen zur Deklaration**

Folgende Energiekennzahlen waren unter Berücksichtigung der Gebäudegeometrie (Kompaktheit) und der Klimelage des Standortes heranzuziehen:

- a) der auf die beheizte Brutto-Geschoßfläche bezogene jährliche Heizwärmebedarf unter Angabe der charakteristischen Länge  $HWB_{BGF}/l_c$  und gegebenenfalls

- b) der auf das beheizte Brutto-Volumen bezogene jährliche Heizwärmebedarf unter Angabe der charakteristischen Länge  $HWB^*_V/l_c$ .

#### 4.1.10.4 Anforderungen zur Begrenzung des Heizwärmebedarfs und des Kühlbedarfs

Zur Begrenzung des Heizwärmebedarfs wurden für Wohngebäude höchstzulässige  $HWB_{BGF}$ -Werte in Abhängigkeit der charakteristischen Länge  $l_c$  festgelegt. Für Nichtwohngebäude (oder Teilen davon) wurden höchstzulässige  $HWB^*_V$ -Werte in Abhängigkeit von der charakteristischen Länge  $l_c$  zur Begrenzung des Heizwärmebedarfs als Zielwerte der Anforderung festgelegt.

Es wurde festgelegt, dass die Anforderungen für  $HWB_{BGF}$  und  $HWB^*_V$  in Abhängigkeit von  $1/l_c$  für den Heizwärmebedarf berechnet nach ÖNORM B 8110 Teil 6 gelten, wobei das Referenzklima nach ÖNORM B 8110 Teil 5 zu Grunde zu legen war.

Zur Begrenzung des Kühlbedarfs von Nicht-Wohngebäuden (oder Teilen davon) wurden  $KB_V$ -Maximalwerte als Zielwerte der Anforderungen festgelegt. Bei der Berechnung mussten die inneren Wärmelasten und die Luftwechselrate gleich Null gesetzt werden. Die Infiltration  $n_x$  war mit  $0.15 \text{ h}^{-1}$  anzusetzen.

Gemäß ÖNORM B 8110 Teil 5 wurden sämtliche Gebäude in drei grundsätzliche Kategorien eingeteilt:

- Wohngebäude
- Nichtwohngebäude
- Sonstige konditionierte Gebäude

Zur Ermittlung des Heizwärmebedarfs wurde die Innentemperatur mit  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ , für die Ermittlung des Kühlbedarfs wurde eine Innentemperatur von  $26 \text{ }^\circ\text{C}$  zu Grunde gelegt.

#### 4.1.10.5 Anforderungen an Wohngebäude

Für Gebäude deren Innentemperatur von  $20 \text{ }^\circ\text{C}$  abweicht, wurde festgehalten, dass die Anforderungen für den Heizwärmebedarf unter Zugrundelegung einer Innentemperatur von  $20 \text{ }^\circ\text{C}$  jedenfalls zu erfüllen ist.

#### 4.1.10.6 Anforderungen an den Heizwärmebedarf für den Neubau

Die höchstzulässigen  $HWB_{BGF}$ -Werte in Abhängigkeit von der charakteristischen Länge  $l_c$  und Maximalwerte für den Neubau von Wohngebäuden waren gemäß der Tabelle 4-26 einzuhalten.

Wärmeschutzklasse	$HWB_{BGF, WG, Ref}$ -Linie	Maximalwert $HWB_{BGF, WG, Ref, max}$
Basis-Wärmeschutz	$26 \times (1+2/l_c)$	$78,0 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$
Erhöhter Wärmeschutz	$19 \times (1+2,5/l_c)$	$66,5 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$

Tabelle 4-26 – Höchstzulässige  $HWB_{BGF, WG, Ref}$ -Werte und Maximalwerte für Wohngebäude – Neubau aus [OEN07\_01]

#### 4.1.10.6.1.1 Anforderungen an den Heizwärmebedarf nach umfassender Sanierung

Die höchstzulässigen  $HWB_{BGF}$ -Werte in Abhängigkeit von der charakteristischen Länge  $l_c$  und Maximalwerte für die umfassende Sanierung von Wohngebäuden waren gemäß der Tabelle 4-27 einzuhalten.

Wärmeschutzklasse	$HWB_{BGF, WG_{san}, Ref}$ -Linie	Maximalwert $HWB_{BGF, WG, Ref, max}$
Basis-Wärmeschutz	$34 \times (1+2/l_c)$	102,0 kWh/(m <sup>2</sup> .a)
Erhöhter Wärmeschutz	$25 \times (1+2,5/l_c)$	87,5 kWh/(m <sup>2</sup> .a)

Tabelle 4-27 – Höchstzulässige  $HWB_{BGF, WG_{san}, Ref}$ -Werte und Maximalwerte für Wohngebäude – umfassende Sanierung aus [OEN07\_01]

#### 4.1.10.6.1.2 Zusätzliche Anforderungen für Wohngebäude

Bei Wohngebäuden mit einer Wohnraum-Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung reduzierte sich der höchstzulässige jährliche Heizwärmebedarf pro m<sup>2</sup> konditionierter Bruttogeschoßfläche, bezogen auf das Referenzklima gemäß ÖNORM B 8110 -5, um 8 kWh/(m<sup>2</sup>.a).

#### 4.1.10.7 Anforderungen an Nicht-Wohngebäude

#### 4.1.10.8 Anforderungen an den Heizwärmebedarf für den Neubau

Die höchstzulässigen  $HWB^*_V$ -Werte in Abhängigkeit von der charakteristischen Länge  $l_c$  und Maximalwerte, jeweils berechnet mit dem Nutzungsprofil des Wohngebäudes gemäß ÖNORM B 8110-5, waren gemäß der Tabelle 4-28 einzuhalten.

Wärmeschutzklasse	$HWB^*_{V, NWG, Ref}$ -Werte	Maximalwert $HWB^*_{V, NWG, Ref, max}$
Basis-Wärmeschutz	$9,0 \times (1+2/l_c)$	27,00 kWh/(m <sup>3</sup> .a)
Erhöhter Wärmeschutz	$6,5 \times (1+2,5/l_c)$	22,75 kWh/(m <sup>3</sup> .a)

Tabelle 4-28 – Höchstzulässige  $HWB^*_{V, NWG, Ref}$ -Werte und Maximalwerte für Nicht-Wohngebäude – Neubau aus [OEN07\_01]

#### 4.1.10.8.1.1 Anforderungen an den außeninduzierten Kühlbedarf für den Neubau

Für Nicht-Wohngebäude war entweder die Vermeidung der sommerlichen Überwärmung gemäß ÖNORM B 8110 Teil 3 einzuhalten, wobei die tatsächlichen inneren Lasten zu berücksichtigen waren, oder der maximal zulässige außeninduzierte Kühlbedarf  $KB^*_{V, NWG, max}$  (Nutzungsprofil Wohngebäude, Infiltration  $n_x = 0,15 \text{ h}^{-1}$ ) pro m<sup>3</sup> Bruttovolumen von einer kWh/(m<sup>3</sup>.a) einzuhalten war.

#### 4.1.10.8.1.2 Anforderungen an den Heizwärmebedarf nach umfassender Sanierung

Die höchstzulässigen  $HWB^*_{V,NWGSan,Ref}$ -Werte, in Abhängigkeit von der charakteristischen Länge  $l_c$  und Maximalwerte, jeweils berechnet mit dem Nutzungsprofil des Wohngebäudes gemäß ÖNORM B 8110 Teil 5, waren gemäß der Tabelle 4-29 einzuhalten.

Wärmeschutzklasse	$HWB^*_{V,NWGSan,Ref}$ -Werte	Maximalwert
		$HWB^*_{V,NWGSan,Ref,max}$
Basis-Wärmeschutz	$11,0 \times (1+2/l_c)$	33,00 kWh/(m <sup>3</sup> .a)
Erhöhter Wärmeschutz	$8,5 \times (1+2,5/l_c)$	30,00 kWh/(m <sup>3</sup> .a)

Tabelle 4-29 - Höchstzulässige  $HWB^*_{V,NWGSan,Ref}$ -Werte und Maximalwerte für Nicht-Wohngebäude – umfassende Sanierung aus [OEN07\_01]

#### 4.1.10.8.1.3 Anforderungen an den außeninduzierten Kühlbedarf nach umfassender Sanierung

Für Nicht-Wohngebäude war entweder die sommerliche Überwärmung gemäß ÖNORM B 8110 Teil 3 einzuhalten, wobei die tatsächlichen inneren Lasten zu berücksichtigen waren, oder der maximal zulässige außeninduzierte Kühlbedarf  $KB^*_{V,NWG,max}$  (Nutzungsprofil Wohngebäude, Infiltration  $n_x = 0,15 \text{ h}^{-1}$ ) pro m<sup>3</sup> Bruttovolumen von zwei kWh/(m<sup>3</sup>.a) einzuhalten war.

#### 4.1.10.8.1.4 Zusätzliche Anforderungen an den Heizwärmebedarf für Nicht-Wohngebäude

Bei Nicht-Wohngebäuden mit einer raumluftechnischen Anlage mit Wärmerückgewinnung reduzierte sich der höchstzulässige jährliche Heizwärmebedarf pro m<sup>3</sup> Bruttovolumen, bezogen auf das Referenzklima gemäß [OEN07\_03], um zwei kWh/(m<sup>3</sup>a) oder wenn nicht mehr als die Hälfte der Nutzfläche durch eine raumluftechnische Anlage mit Wärmerückgewinnung versorgt wurde, um ein kWh/(m<sup>3</sup>a).

#### 4.1.10.9 Anforderungen an sonstige konditionierte Gebäude

Die Erfüllung der Anforderungen bestand bei der Einhaltung der höchstzulässigen U-Werte der Einzelbauteile gemäß Tabelle 4-30.

#### 4.1.10.10 Allgemeine Anforderungen an wärmeübertragende Bauteile

Zusätzlich zu den Bestimmungen der höchstzulässigen Energiewerte für das Heizen und Kühlen, durften die Wärmedurchgangskoeffizienten (U-Werte) betreffender Bauteile von konditionierten Gebäudezonen gemäß Tabelle 4-30 nicht überschritten werden.

Höchstzulässige Wärmedurchgangskoeffizienten	
Bauteil	U-Wert
	W/(m <sup>2</sup> ·K)
WÄNDE gegen Außenluft	0,35
Kleinflächige WÄNDE gegen Außenluft (z.B. bei Gaupen), die 2% der Wandfläche des gesamten Gebäudes gegen Außenluft nicht überschreiten, sofern die ÖNORM B8110-2 (Kondensatfreiheit) eingehalten wird	0,70
TRENNWÄNDE zwischen Wohn- und Betriebseinheiten	0,90
WÄNDE gegen unbeheizte, frostfrei zu haltende Gebäudeteile (ausgenommen Dachräume)	0,60
WÄNDE gegen unbeheizte oder nicht ausgebaute Dachräume	0,35
WÄNDE gegen andere Bauwerke an Grundstücksgrenzen	0,50
ERDBERÜHRTE WÄNDE und FUSSBÖDEN	0,40
FENSTER, FENSTERTÜREN, VERGLASTE oder UNVERGLASTE TÜREN (bezogen auf Prüfnormmaß) und sonstige vertikale transparente Bauteile gegen unbeheizte Gebäudeteile	2,50
FENSTER, FENSTERTÜREN in Wohngebäuden gegen Außenluft (bezogen auf das Prüfnormmaß) und sonstige vertikale transparente Bauteile gegen unbeheizte Gebäudeteile	1,40
FENSTER und sonstige vertikale transparente Bauteile gegen Außenluft, FENSTERTÜREN, VERGLASTE und UNVERGLASTE AUSSENTÜREN (bezogen auf das Prüfnormmaß)	1,70
DACHFLÄCHENFENSTER gegen Außenluft	1,70
Sonstige transparente Bauteile horizontal oder in Schrägen gegen Außenluft	2,00
DECKEN gegen Außenluft, gegen Dachräume (durchlüftet oder ungedämmt) und über Durchfahrten sowie DACHSCHRÄGEN <sup>a</sup> gegen Außenluft	0,20
INNENDECKEN gegen unbeheizte Gebäudeteile	0,40
INNENDECKEN gegen getrennte Wohn- und Betriebseinheiten	0,90
a	Für Dachschrägen mit einer Neigung von mehr als 60° gegenüber der Horizontalen gelten die jeweiligen Anforderungen für Wände

Tabelle 4-30 – Höchstzulässige Wärmedurchgangskoeffizienten aus [OEN07\_01]

#### 4.1.10.11 Sonstige Anforderungen an wärmeübertragende Bauteile

Bei Wand-, Fußboden- und Deckenheizungen musste der Anforderung bezüglich der höchstzulässigen Wärmedurchgangskoeffizienten der Wärmedurchlasswiderstand  $R$  der Bauteilschichten zwischen der Heizfläche und der Außenluft mindestens  $4.0 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$ , zwischen der Heizfläche und dem Erdreich oder dem unbeheizten Bauteil mindestens  $3.5 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$  betragen.

Wurden Heizkörper vor außen liegenden transparenten Bauteilen angeordnet, durfte der U-Wert des Glases  $0.7 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$  nicht überschreiten, es sei den, es wurden zur Verringerung der Wärmeverluste zwischen Heizkörper und transparenten Bauteil geeignete, nicht demontierbare oder integrierte Abdeckungen mit einem Wärmedurchlasswiderstand  $R$  von mindestens  $1 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$  angebracht.

#### 4.1.10.12 Vermeidung von Wärmebrücken

Bei Neubau und umfassender Sanierung von Gebäuden waren die Verluste von Wärmebrücken zu minimieren, die Planung und Ausführung hatte entsprechend zu erfolgen. Im Falle von zwei- und dreidimensionalen Wärmebrücken war jedenfalls die ÖNORM B 8110 Teil 2 [OEN03] einzuhalten.

#### 4.1.10.13 Vermeidung von sommerlicher Überwärmung

Die sommerliche Überwärmung von Gebäuden galt es zu vermeiden. Die ÖNORM B 8110 Teil 3 [OEN99] war bei Neubau oder umfassender Sanierung von Wohngebäuden auf jeden Fall einzuhalten.

#### 4.1.10.14 Luft- und Winddichtheit

Die Gebäudehülle bei einem Neubau musste dauerhaft ausreichend luft- und winddicht ausgeführt sein.

Die Luftwechselrate zur Bestimmung der Luftdichtheit des Gebäudes  $n_{50}$  – gemessen bei 50 Pascal Druckdifferenz zwischen Innen und Außen, gemittelt über Unter- und Überdruck und bei geschlossenen Ab- und Zuluftöffnungen (bzw. nach Verfahren A der ÖNORM EN 13829: 2001) – durfte den Wert drei pro Stunde nicht überschreiten. Wurde eine mechanisch betriebene Lüftungsanlage mit oder ohne Wärmerückgewinnung eingebaut, durfte die Luftwechselrate  $n_{50}$  den Wert 1,50 pro Stunde nicht überschreiten. Bei Einfamilien-, Doppel- bzw. Reihenhäusern war dieser Wert für jedes Haus, bei Mehrfamilienhäusern für jede Wohneinheit einzuhalten. Ein Mitteln der einzelnen Wohnungen war nicht zulässig. Bei Nicht-Wohngebäuden bezog sich die Anforderung auf die gesamte Gebäudehülle. Bei der Anwendung eines Prüfverfahrens war die Luftwechselrate  $n_{50}$  gemäß ÖNORM EN 13829 zu ermitteln. Eine ausreichende Winddichtheit war jedenfalls dann hergestellt, wenn die Stöße und Durchdringungen der winddichten Ebene sowie deren Anschlüsse an aufgehende oder flankierende Bauteile dauerhaft dicht ausgeführt wurden. Die Ausführung der winddichten Schicht erfolgte dabei analog zu Anschlüssen der luftdichten Schicht.

#### 4.1.10.15 Hinweise auf den hygienisch richtigen Betrieb eines Niedrig- und Niedrigstenergie-Gebäudes, sowie eines Passivhauses

Es wurde der Hinweis gegeben, dass zur Erleichterung des richtigen Betriebes eines Gebäudes den Benutzern eine leicht nachvollziehbare Betriebsanleitung beizustellen ist.

Die Betriebsanleitung sollte insbesondere folgende Hinweise enthalten:

- Problemgerechtes (Lüftungs-)Verhalten während allfällig vorhandener Baufeuchte
- Hygienisches Lüftungsverhalten während der Nutzungsphase des Gebäudes
- Die hygienische und technisch erforderliche Wartung der Raumheizungs- und Lüftungssysteme sowie sonstiger haustechnischer Einrichtungen

#### 4.1.10.16 Deklaration von Niedrig- und Niedrigstenergie-Gebäuden

##### **Niedrigenergie-Gebäude**

Gebäude, bei denen der gemäß ÖNORM B 8110 Teil 6 [OEN07\_02] ermittelte Heizwärmebedarf in Abhängigkeit von der charakteristischen Länge  $l_c$  gemäß der Tabelle 4-31 erreichte, beziehungsweise unterschritten wurde, durften als Niedrigenergie-Gebäude bezeichnet werden.

Wärmeschutzklasse	HWB <sub>BGF,nE-WG,Ref</sub> -Werte	HWB* <sub>V,nE-NWG,Ref</sub> -Werte
Niedrigenergie-Gebäude	$\leq 17,0 \times (1+2,5/l_c)$	$\leq 5,67 \times (1+2,5/l_c)$
Wenn die charakteristische Länge $l_c < 1,0$ ist, so ist der höchstzulässige Wert mit $l_c = 1,0$ zu rechnen.		

Tabelle 4-31 – Höchstzulässige HWB<sub>BGF,nE-WG,Ref</sub>-Werte und HWB\*<sub>V,nE-NWG,Ref</sub>-Werte für Niedrigenergie-Gebäude aus [OEN07\_01]

### Niedrigstenergie-Gebäude

Gebäude, bei denen der gemäß ÖNORM B 8110-6 ermittelte Heizwärmebedarf in Abhängigkeit von der charakteristischen Länge  $l_c$  gemäß der Tabelle 4-32 erreichte, beziehungsweise unterschritten wurde, durften als Niedrigstenergie-Gebäude bezeichnet werden.

Wärmeschutzklasse	HWB <sub>BGF,nstE-WG,Ref</sub> -Werte	HWB* <sub>V,nstE-NWG,Ref</sub> -Werte
Niedrigstenergie-Gebäude	$\leq 10 \times (1+2,5/l_c)$	$\leq 3,33 \times (1+2,5/l_c)$
Wenn die charakteristische Länge $l_c < 1,0$ ist, so ist der höchstzulässige Wert mit $l_c = 1,0$ zu rechnen.		

Tabelle 4-32 – Höchstzulässige HWB<sub>BGF,nstE-WG,Ref</sub>-Werte und HWB\*<sub>V,nstE-NWG,Ref</sub>-Werte für Niedrigstenergie-Gebäude aus [OEN07\_01]

Die folgende Deklaration von Passivhäusern wurde erstmals in die [OEN07\_01] aufgenommen. Damit war zum erstmals in Österreich der Begriff „Passivhaus“ normativ festgehalten.

#### 4.1.10.17 Deklaration von Passivhäusern

Das Passivhaus wurde im Bereich der Niedrigstenergie-Gebäude angesiedelt, allerdings wurde dabei der Entfall eines Hauptheizsystems angestrebt. In der Regel war dabei ein HWB<sub>BGF-Ref</sub>-Wert von zehn kWh/(m<sup>2</sup>a) zu unterschreiten. Die tatsächliche Passivhausqualität war mit den geeigneten Methoden nachzuweisen. Der  $n_{50}$ -Wert war kleiner als 0.6 h<sup>-1</sup> zu halten.

An dieser Stelle wurde in der [OEN07\_01] der Hinweis gegeben, dass ein Heizwärmebedarf von 15 kWh/(m<sup>2</sup>a), bezogen auf die Netto-Grundfläche einem Heizwärmebedarf von 12.75 kWh/(m<sup>2</sup>a), bezogen auf die Brutto-Grundfläche entspricht. Sollte ein Heizwärmebedarf von 15 kWh/(m<sup>2</sup>a), bezogen auf die Netto-Grundfläche, unterschritten werden, so war mit gesonderten Nachweisprogrammen für Passivhäuser der Qualitätsnachweis zu erbringen.

Nach einer allfälligen Nutzungsunterbrechung (z.B. Winterurlaub) war sicherzustellen, dass die Aufenthaltsräume innerhalb einer angegebenen Anheizzeit wieder auf die Vorzugstemperatur (z.B. 20 °C) gebracht werden konnten. Damit Zugluft im Aufenthaltsbereich vermieden wurde, war bei der Auslegung der Luftströmung besondere Bedachtnahme erforderlich (z.B. gemäß ÖNORM EN ISO 7730). Sofern die Restheizung durch Luftheizung erfolgte, musste die Luftbehandlung im Lüftungssystem den anerkannten Regeln der Technik entsprechen. Um

störenden Kaltluftabfall bei den Fenstern zu vermeiden, wurde der höchstzulässige U-Wert der gesamten Fensterkonstruktion  $U_w$  mit  $0.80 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$  begrenzt. In anderen Fällen musste der Nachweis des thermischen Komforts nach ÖNORM EN ISO 7730 erbracht werden.

#### 4.1.10.18 Anhang A der ÖNORM B 8110 Teil 1 aus 2007

Im Anhang A der [OEN07\_01] wurde eine Beurteilungshilfe für die thermische Qualität von Gebäuden und Gebäudeteilen entsprechend des  $HWB_{BGF}$ -Werts angegeben. In der Tabelle 4-33 ist diese Beurteilung zusammengefasst.

Tabelle 4-33 -  $HWB_{BGF}$ -Werte als Beurteilungshilfe der thermischen Qualität von Gebäuden/Gebäudeteilen aus [OEN07\_01]

#### 4.1.11 ÖNORM B 8110 – Teil 1 vom 01. Jänner 2008

Diese ÖNORM B 8110 Teil 1 [OEN08] ist die derzeit gültige Version des ersten Teils der Wärmeschutznorm. Die Ausgabe dieses Teils war keine inhaltliche Änderung zu der Version von 2007 sondern eine formelle Korrektur. Die Norm trägt weiterhin den Titel „Wärmeschutz im Hochbau - Teil 1: Anforderungen an den Wärmeschutz und Deklaration des Wärmeschutzes von Gebäuden/Gebäudeteilen - Heizwärmebedarf und Kühlbedarf“. Die derzeit gültige Version der [OEN08] unterscheidet sich nur marginal von der Ausgabe vom 1. August 2007. Folgende Korrekturen gegenüber der vorher gültigen Ausgabe sind angeführt.

##### Korrektur der ÖNORM B 8110-1, Ausgabe 1. August 2007

Die Herausgabe dieser Ausgabe der ÖNORM B 8110 erfolgte ohne formelles Verfahren und stellt eine in der Tabellenüberschrift der Tabelle 8 (Abschnitt 9.2) und im Anhang A „Deklaration von Gebäuden/Gebäudeteilen“ berichtigte Ausgabe der ÖNORM B 8110: 2007-08-01 dar [OEN08].

Die Tabellenüberschrift der Tabelle 8 (Abschnitt 9.2) lautet richtig:

Höchstzulässige  $HWB_{BGF, \text{nstE-WG, Ref.}}$ -Werte und  $HWB^*_{V, \text{nstE-NWG, Ref.}}$ -Werte für Niedrigstenergie-Gebäude

In der Tabelle A.1 des Anhanges A wurden die  $HWB_{BGF}$ -Werte der Spalte 2 korrespondierend mit den Formeln der Spalte 1 (Referenzlinie für  $HWB_{BGF}$ ) richtig gestellt [OEN08].

Soweit die Korrekturen zur vorher gültigen Ausgabe, es werden weiters die gesamten Werke der ÖNORMEN-Reihe B 8110 angeführt.

Die ÖNORMEN-Serie B 8110 „Wärmeschutz im Hochbau“ umfasst folgende Teile:

Teil 1	Anforderungen an den Wärmeschutz und Deklaration des Wärmeschutzes von Gebäuden/Gebäudeteilen
Teil 2	Wasserdampfdiffusion und Kondensationsschutz
Teil 3	Wärmespeicherung und Sonneneinflüsse
Teil 4	Betriebswirtschaftliche Optimierung des Wärmeschutzes

Teil 5	Klimamodell und Nutzungsprofile
Teil 6	Grundlagen und Nachweisverfahren – Heizwärmebedarf und Kühlbedarf [OEN08]

Der Anwendungsbereich der ÖNORM wird wie folgt definiert:

In dieser ÖNORM werden Mindestanforderungen hinsichtlich des Niveaus „Basis-Wärmeschutz“ und des Niveaus „Erhöhter Wärmeschutz“ an Gebäude/Gebäudeteile von Wohngebäuden und Nicht-Wohngebäuden, die Deklaration von Niedrig- und Niedrigstenergie-Gebäude von Wohngebäuden und Mindestanforderungen an Passivhäuser von Wohngebäuden formuliert. Weiters werden Anforderungen an außeninduzierten Kühlbedarf in den beiden Niveaus gestellt. Die Ergebnisse können der Befüllung des Energieausweises gemäß VORNORM ÖNORM H 5055, bzw. einschlägiger landesrechtlicher Bestimmungen, dienen [OEN08].

Die in der ÖNORM B 8110 Teil 1 [OEN08] vom 01. Jänner 2008 folgenden Definitionen unterscheiden sich von der Ausgabe vom 1. August 2007 in keiner Weise, deshalb wird auf die nochmalige Anführung der derzeit gültigen Festlegungen verzichtet.

Zu Beginn der Norm wurde auf die Korrekturen zur Ausgabe aus 2007 hingewiesen, bei der Tabelle 8 hat sich die Überschrift der Tabelle in korrigierter Form verändert. Die Deklaration von Niedrigstenergie-Gebäuden lautet wie folgt.

### Deklaration von Niedrigstenergie-Gebäuden

Gebäude, bei denen der gemäß ÖNORM B 8110-6 ermittelte Heizwärmebedarf in Abhängigkeit von der charakteristischen Länge  $l_c$  gemäß der folgenden Tabelle erreichte bzw. unterschritten wurde, durften als Niedrigstenergie-Gebäude bezeichnet werden.

Wärmeschutzklasse	$HWB_{BGF, nstE-WG, Ref}$ -Werte	$HWB^*_{V, nstE-NWG, Ref}$ -Werte
Niedrigstenergie-Gebäude	$\leq 10 \times (1+2,5/l_c)$	$\leq 3,33 \times (1+2,5/l_c)$
Wenn die charakteristische Länge $l_c < 1,0$ ist, so ist der höchstzulässige Wert mit $l_c = 1,0$ zu rechnen.		

Tabelle 4-34 – Höchstzulässige  $HWB_{BGF, nstE-WG, Ref}$ -Werte und  $HWB^*_{V, nstE-NWG, Ref}$ -Werte für Niedrigstenergie-Gebäude aus [OEN08]

Die Tabelle im Anhang A wurde berichtigt und ist in Tabelle 4-35 angeführt.

Referenzlinie für $HWB_{BGF}$  $HGT = 3400 \text{ K.d}$	$HWB_{BGF}$ in kWh/m <sup>2</sup> bei charakteristischer Länge <sup>a</sup>					Verbale Beurteilung
	1 m	1,5 m	2 m	3 m	4 m	
$> 82(1+2/l_c)$	>246	>191	>164	>137	>123	<b>Völlig unzureichender Wärmeschutz</b> bauhygienisch bedenklich, nicht mehr wirtschaftlich beheizbar <sup>b</sup>
$82(1+2/l_c)$	246	191	164	137	123	<b>unzureichender Wärmeschutz</b> hohe Priorität bezüglich thermischer Verbesserung der Gebäudehülle
$61(1+2/l_c)$	183	142	122	102	92	<b>mangelhafter Wärmeschutz</b> thermische Sanierung sehr lohnend <sup>c</sup>
$41(1+2/l_c)$	123	96	82	68	62	<b>Wärmeschutz gemäß Mindestvorschriften</b> zur Wahrung der Bauhygiene
$33(1+2/l_c)$	98	77	66	55	50	<b>deutlich verbesserter Wärmeschutz</b> gegenüber dem Wärmeschutz gemäß Mindestvorschriften
$26(1+2/l_c)$	78	61	52	43	39	<b>Energiespar-Gebäude</b>
$17(1+2/l_c)$	60	45	38	31	28	<b>Niedrigenergie-Gebäude</b>
$10(1+2/l_c)$	35	27	23	18	16	<b>Niedristenergie-Gebäude</b>

<sup>a</sup> Werte gerundet  
<sup>b</sup> typisch für ländliche Gebäude oder Gebäude aus der frühen Gründerzeit  
<sup>c</sup> typisch für den Wohnbau der 50er bis 70er Jahre

Tabelle 4-35 -  $HWB_{BGF}$ -Werte als Beurteilungshilfe der thermischen Qualität von Gebäuden/Gebäudeteilen aus [OEN08]

Das waren alle ÖNORMEN B 8110 von 1950 bis 1983 und ÖNORMEN B 8110 Teil 1 1983 bis heute im Detail. In den folgenden beiden Kapiteln wird noch auf die ÖNORM B 8110 Teil 3 [OEN99] und ÖNORM B 8110 Teil 4 [OEN98\_09] eingegangen.

### 4.1.12 ÖNORM B 8110 – Teil 3 vom 01. März 1989

Diese ÖNORM aus dem Jahr 1989 trägt den Namen „Wärmeschutz im Hochbau – Wärmespeicherung und Sonneneinflüsse“. Sie setzt sich mit der Vermeidung der sommerlichen Überwärmung in Gebäuden auseinander. So wurde erstmals sichergestellt, dass bereits in der Planung darauf bedacht genommen wird, dass die Temperaturen in den Sommermonaten 27 °C nicht zu sehr überschreiten. Die Auseinandersetzung mit dem Inhalt dieser ÖNORM wird in diesem Kapitel ausgelassen und es wird auf die ÖNORM [OEN99] verwiesen.

Im nächsten Kapitel wird die ÖNORM B 8110 – Teil 4 beleuchtet, die den Wärmeschutz unter betriebswirtschaftlichen Gesichtspunkten sieht. Diese ÖNORM aus dem Jahr 1997 fällt in der ÖNORMEN Reihe 8110 ein wenig aus der Reihe, da diese Norm den Wärmeschutz unter einem völlig anderen Gesichtspunkt, nämlich der betriebswirtschaftlichen Optimierung, betrachtet, im Vergleich zu den anderen Teilen der ÖNORMEN Reihe 8110.

### 4.1.13 ÖNORM B 8110 – Teil 4 vom März 1997

Der vierte Teil der Wärmeschutznorm erschien im März 1997 als Vornorm und trägt den Titel „Wärmeschutz im Hochbau – Betriebswirtschaftliche Optimierung des Wärmeschutzes“. Sie ist bis heute gültig, wobei man dabei den Hinweis geben muss, dass die dort angegebenen Preise noch in österreichischen Schilling angegeben sind (der Umrechnungsfaktor in ist 1 Euro = 13.7603 Schilling). Diese Vornorm enthält die Grundlagen für die betriebswirtschaftliche Bewertung des Wärmeschutzes wärmeabgebender Bauteile. Sofern Gebäude beheizt sind und deren Wärmeschutz betriebswirtschaftlichen Anforderungen unterworfen ist, unterliegen sie dieser Vornorm. In der Vornorm ist eine Methode zur Ermittlung der zeitabhängigen Kostenentwicklung für die wärmedämmenden Maßnahmen eines Gebäudes angegeben, eine dynamische Wirtschaftlichkeitsrechnung nach der Barwertmethode.

#### 4.1.13.1 Barwertberechnung

Für jeden Bauteil  $j$  jedes Bausystem ist der Barwert der Gesamtkosten ( $B$ ) aus der Summe des Barwertes der kapitalgebundenen Kosten ( $BKK$ ), des Barwertes der verbrauchsgebundenen Baunutzungskosten ( $BVK$ ) und des Barwertes der nicht verbrauchsgebundenen Baunutzungskosten ( $BNVK$ ) zu ermitteln. Für diese Methode sind also Eingabedaten über kapitalgebundene, verbrauchsgebundene und nicht verbrauchsgebundene Baunutzungskosten anzugeben, sowie ein Kalkulationszinsfuß ist festzulegen. Der Barwert ergibt aus der Summation der kapitalgebundenen Kosten, der verbrauchsgebundenen Baunutzungskosten und der nicht verbrauchsgebundenen Baunutzungskosten.

$$B = BKK + BVK + BNVK$$

Wobei die kapitalgebundenen Kosten aus den Baukosten weniger dem Restwert unter Berücksichtigung der Wertsteigerung berechnet werden. In der [OEN98\_09] ist dafür die folgende Beziehung angegeben.

$$BKK = BK - RW \cdot \left( \frac{S}{Q} \right)^n$$

RW	Restwert
S	Faktor für die Wertsteigerung des Restwerts
Q	Verzinsungsfaktor
BK	Baukosten
n	Betrachtungszeitraum in Jahren

Für die verbrauchsgebundenen Baunutzungskosten ist unter Berücksichtigung der Kostensteigerung folgende Beziehung angegeben.

$$BVK = \sum_{j=1}^n VK \cdot \left(\frac{A}{Q}\right)^j$$

VK	verbrauchsgebundene Baunutzungskosten
A	Faktor der Kostensteigerung der verbrauchsgebundene Baunutzungskosten
Q	Verzinsungsfaktor
n	Betrachtungszeitraum in Jahren

Da zum Investitionszeitpunkt die verbrauchsgebundenen Baunutzungskosten VK als konstanter Wert pro Jahr in Ansatz gebracht werden kann, ergeben sich noch die beiden Gleichungen.

$$BVK = VK \cdot v_{VK}$$

$$BNVK = \sum_{j=1}^n NVK_j \cdot \left(\frac{P}{Q}\right)^j$$

$v_{VK}$	Verzinsungsfaktor für die verbrauchsgebundenen Baunutzungskosten (infolge der Energiekostensteigerung)
$NVK_j$	nicht verbrauchsgebundene Baunutzungskosten im Jahr j in ATS
Q	Verzinsungsfaktor
P	Faktor für die Kostensteigerung der $NVK_j$
n	Betrachtungszeitraum in Jahren

In den angegebenen Beziehungen kommt der Faktor für die Wertsteigerung des Restwertes vor. Für ihn ist die folgende Berechnungsformel in der Vornorm angeführt.

$$S = 1 + \frac{s}{100}$$

s	Wertsteigerung des RW in %
---	----------------------------

Der Verzinsungsfaktor zur Ermittlung der verbrauchsgebundenen Baunutzungskosten und der nicht verbrauchsgebundenen Baunutzungskosten wird nach der folgenden Gleichung berechnet.

$$Q = 1 + \frac{q}{100}$$

q kalkulatorischer Zinssatz in Prozent

Der Faktor der Kostensteigerung der verbrauchsgebundene Baunutzungskosten wird aus der prozentuellen Kostensteigerung berechnet.

$$A = 1 + \frac{a}{100}$$

a Kostensteigerung der VK in Prozent

Der Verzinsungsfaktor für die verbrauchsgebundenen Baunutzungskosten, infolge der Energiekostensteigerung wird als Verhältnis von dem Faktor der Kostensteigerung der verbrauchsgebundene Baunutzungskosten und dem Verzinsungsfaktor errechnet.

$$v_{VK} = \frac{A \left( \frac{A}{Q} \right)^n - 1}{\frac{A}{Q} - 1}$$

Für den Verzinsungsfaktor sind in der ÖNORM B 8110 Teil 4 im Anhang E Tabellen angegeben, aus denen der Wert auch entnommen werden kann. Der Faktor der nicht verbrauchsgebundene Baunutzungskosten in einem Jahr, wird durch die Kostensteigerung der nicht verbrauchsgebundenen Kosten berechnet.

$$P = 1 + \frac{p}{100}$$

p Kostensteigerung der NVK<sub>j</sub> in Prozent

Die Barwerte können für Einzelbauteile oder für mehrere Einzelbauteile aber auch für ganze Bausysteme berechnet werden und sind dann miteinander zu vergleichen.

#### 4.1.13.2 Vergleich der Barwerte von Bauteilen und Bausystemen

Aufgrund der Ergebnisse aus der Berechnung der Barwerte B von zwei oder mehreren Bauteilen oder Bausystemen ist eine Aussage über die Kostengünstigkeit der Bauteile oder Bausysteme zu treffen. Dabei ist zu überprüfen, ob die Konstruktionen auch den bauhygienischen Mindestanforderungen an den Wärmeschutz entsprechen. Die Ausführbarkeit gemäß den technischen Normen ist selbstverständlich einzuhalten [OEN98\_09].

#### 4.1.13.3 Optimierung des Wärmeschutzes von Einzelbauteilen

Ein- oder mehrschichtige Einzelbauteile, deren dämmwirksame Schichten grundsätzlich veränderbar sind, sind durch geeignete Wahl der Dicke oder der Anzahl der dämmwirkenden

Schichten wärmetechnisch zu optimieren. Das betriebswirtschaftliche Optimum der Konstruktion eines einzelnen Bauteils ist gefunden, wenn der Barwert der Gesamtkosten (B) für den Betrachtungszeitraum ein Minimum darstellt [OEN98\_09].

### Optimierung der Dicke/Anzahl von oberflächenparallelen dämmwirksamen Baustoffschichten

#### Opake Bauteile

Sofern mit der Änderung der Dämmstoffdicke des Ausgangsbauteiles oder Ausgangsausystems keine Verringerung des Nutzungsvolumens eintritt, gilt für die betriebswirtschaftlich optimale Dämmstoffdicke  $d_{\text{Vopt}}$  folgende Formel.

$$d_{\text{Vopt}} = \lambda_{\text{n,v}} \cdot \left[ \sqrt{\frac{\text{HGT}_{12/20} \cdot 24 \cdot 3600 \cdot \text{PGJ} \cdot v_{\text{VK}}}{\lambda_{\text{n,v}} \cdot 10^9 \cdot \text{PVW}}} - (R_{\text{s,i}} + R_{\text{s,e}} + R_{\text{R}}) \right] \text{ in m}$$

$\lambda_{\text{n,v}}$	Nennwert der Wärmeleitfähigkeit des Stoffes der (grundsätzlich variabel dicken) Wärmedämmschicht des Bauteils in W/(m.K)
$\text{HGT}_{12/20}$	Heizgradtage in K.d der zutreffenden Beobachtungssituation gemäß ÖNORM B 8135 VORNORM
PGJ	Energiepreis für die Nutzungsenergie in ATS/GJ; er ist aus dem Einstandspreis für die Endenergie EPGJ durch Division durch den Jahreswirkungsgrad $\eta_{\text{n}}$ des Heizsystems zu ermitteln
PVW	Preis des dickenvariablen Dämmstoffs in ATS/m <sup>3</sup>
$R_{\text{s,i}}, R_{\text{s,e}}$	Wärmeübergangswiderstand in m <sup>2</sup> .K/W
$R_{\text{R}}$	Wärmedurchlasswiderstand der restlichen Baustoffschichten des Bauteils in m <sup>2</sup> .K/W

Der Energiepreis für die Nutzungsenergie ergibt nach der Definition folgende Beziehung.

$$\text{PGJ} = \frac{\text{EPG}}{\eta_{\text{n}}}$$

$\eta_{\text{n}}$  Jahreswirkungsgrad des Heizsystems

Sofern mit der Änderung der Dämmstoffdicke eine Verringerung des Nutzvolumens auftritt, ist die Variable PVW bei Neubauten um den Barwert des m<sup>3</sup> umbauten Raumes (BN), bei bestehenden Gebäuden um den wirtschaftlichen Wert des m<sup>3</sup> umbauten Raumes (BB) zu vergrößern [OEN98\_09].

$$\text{PVW}_i = \text{PVW} + \text{BN} \text{ bzw. } \text{PVW}_i = \text{PVW} + \text{BB}$$

$\text{PVW}_i$  erhöhter Preis des dickenvariablen Dämmstoffes bei Verringerung des Nutzraumes durch zunehmende Dicke der Dämmung in ATS/m<sup>3</sup>

#### Transparente Bauteile

Der betriebswirtschaftlich relativ günstige transparente Bauteil (Fenster, Fenstertüre, Dachfenster, u.dgl.) ist jener, für dessen Bauart (Art und Anordnung der transparenten Schichten und Art der Rahmenkonstruktion) der Barwert den kleinsten Wert annimmt.

Dazu ist der Einfluss der Bauteilkonstruktion auf den Heizwärmebedarf gemäß ÖNORM VORNORM B 8110–1 zu ermitteln und der dem Betrachtungszeitraum entsprechende Heizwärmeverbrauch zum Barwert für die verbrauchsgebundenen Nutzungskosten umzurechnen [OEN98\_09].

#### **4.1.13.4 Optimierung des Wärmeschutzes von Einzelbauteilen**

Der betriebswirtschaftlich beste Wärmeschutz einer Gebäudehülle ist gewährleistet, wenn die geometrisch vorgegebene Gebäudehülle ausschließlich aus Bauteilen (Dach-, Außenwand-, Fenster-, Kellerdecken-Konstruktionen, u.dgl.) zusammengesetzt wird, die jeweils als die betriebswirtschaftlich günstigsten befunden wurden [OEN98\_09].

## 4.2 Die Vorschriften des Österreichischen Instituts für Bautechnik (OIB)

Zusätzlich zur ÖNORMen-Reihe B 8110 sind nun noch die Vorschriften des Österreichischen Instituts für Bautechnik beschrieben, da diese den Harmonisierungsprozess des Wärmeschutzes in Österreich darstellen. Die Harmonisierung der Wärmeschutzvorschriften in Österreich wurde im Wesentlichen durch die einheitlichen OIB-Richtlinien umgesetzt. Am 25. April 2007 wurden in der Generalversammlung des Österreichischen Instituts für Bautechnik folgende OIB-Richtlinien verabschiedet:

- RICHTLINIE 1: Mechanische Festigkeit und Standsicherheit
- RICHTLINIE 2: Brandschutz
- RICHTLINIE 2.1: Brandschutz bei Betriebsbauten
- RICHTLINIE 2.2: Brandschutz bei Garagen
- RICHTLINIE 3: Hygiene, Gesundheit und Umweltschutz
- RICHTLINIE 4: Nutzungssicherheit und Barrierefreiheit
- RICHTLINIE 5: Schallschutz
- RICHTLINIE 6: Energieeinsparung und Wärmeschutz

Als Ergänzung zur Richtlinie 6 wurde auch ein Leitfaden über das Energetische Verhalten von Gebäuden verabschiedet.

### 4.2.1 Anforderungen an den Wärmeschutz des Österreichischen Instituts für Bautechnik (OIB)

Die Richtlinie 6 des Österreichischen Instituts für Bautechnik gibt Grenzwerte für den Heizwärme- und Kühlbedarf vor (entnommen aus [OIB07]). Für den Neubau von Wohngebäuden ist in der Richtlinie folgende Anforderung an den Heizwärmebedarf angeführt.

Bis 31.12.2009:
$HWB_{BGF,WG,max,Ref} = 26 \cdot (1 + 2.0/l_c)$ kWh/m <sup>2</sup> a höchstens 78.0 kWh/m <sup>2</sup> a
Ab 01.01.2010:
$HWB_{BGF,WG,max,Ref} = 19 \cdot (1 + 2.5/l_c)$ kWh/m <sup>2</sup> a höchstens 66.5 kWh/m <sup>2</sup> a

Tabelle 4-36 Anforderungen an den Heizwärmebedarf beim Neubau von Wohngebäuden aus [OIB07]

Bei Gebäuden mit einer Wohnraumlüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung reduziert sich der maximal zulässige jährliche Heizwärmebedarf  $HWB_{BGF,WG,max,Ref}$  um 8 kWh/(m<sup>2</sup>a).

Für den Neubau von Nichtwohngebäuden ist in der Richtlinie folgende Anforderung an den Heizwärmebedarf angeführt.

Bis 31.12.2009:
$HWB_{V,NWG,max,Ref}^* = 9 \cdot (1 + 2.0/l_c)$ kWh/m <sup>2</sup> a höchstens 27.00 kWh/m <sup>2</sup> a
Ab 01.01.2010:
$HWB_{V,NWG,max,Ref}^* = 6.5 \cdot (1 + 2.5/l_c)$ kWh/m <sup>2</sup> a höchstens 22.75 kWh/m <sup>2</sup> a

Tabelle 4-37 Anforderungen an den Heizwärme- und Kühlbedarf beim Neubau von Nichtwohngebäuden aus [OIB07]

Bei Gebäuden mit einer raumluftechnischen Anlage mit Wärmerückgewinnung reduziert sich der maximal zulässige jährliche Heizwärmebedarf  $HWB_{V,NW,G,max,Ref}^*$  um 2 kWh/m<sup>3</sup>a oder um 1 kWh/(m<sup>3</sup>a), wenn nicht mehr als die Hälfte der Nutzfläche durch eine raumluftechnische Anlage mit Wärmerückgewinnung versorgt wird.

Für Nicht-Wohngebäude ist entweder die sommerliche Überwärmung gemäß ÖNORM B 8110-3 einzuhalten, wobei die tatsächlichen inneren Lasten zu berücksichtigen sind, oder der maximal zulässige außeninduzierte Kühlbedarf  $KB_{V,NW,G,max}^*$  mit einer Wohnnutzung und einer Infiltrationsluftwechselrate  $n_x = 0.15 \text{ h}^{-1}$  von 1.0 kWh/(m<sup>3</sup>a) einzuhalten.

Für die umfassende Sanierung von Wohngebäuden, die Definition der umfassenden Sanierung ist in der ÖNORM B 8110 Teil 1 angeführt, sind folgende Anforderungen formuliert.

Bis 31.12.2009:
$HWB_{BGF,WGsan,max,Ref} = 34 \cdot (1+2.0/lc) \text{ kWh/m}^2\text{a}$ höchstens 102.0 kWh/m <sup>2</sup> a
Ab 01.01.2010:
$HWB_{BGF,WGsan,max,Ref} = 25 \cdot (1+2.5/lc) \text{ kWh/m}^2\text{a}$ höchstens 87.5 kWh/m <sup>2</sup> a

Tabelle 4-38 Anforderung für den Heizwärmebedarf bei einer umfassenden Sanierung von Wohngebäuden aus [OIB07]

Für die umfassende Sanierung von Nichtwohngebäuden sind folgende Anforderungen definiert.

Bis 31.12.2009:
$HWB_{V,NW,Gsan,max,Ref}^* = 11 \cdot (1+2.0/lc) \text{ kWh/m}^3\text{a}$ höchstens 33.00 kWh/m <sup>3</sup> a
Ab 01.01.2010:
$HWB_{V,NW,G,max,Ref}^* = 8.5 \cdot (1+2.5/lc) \text{ kWh/m}^3\text{a}$ höchstens 30.00 kWh/m <sup>3</sup> a

Tabelle 4-39 Anforderung für den Heizwärmebedarf bei einer umfassenden Sanierung von Nichtwohngebäuden aus [OIB07]

Bei Gebäuden mit einer raumluftechnischen Anlage mit Wärmerückgewinnung reduziert sich der maximal zulässige jährliche Heizwärmebedarf  $HWB_{V,NW,Gsan,max,Ref}^*$  um 2 kWh/m<sup>3</sup>a oder um 1 kWh/m<sup>3</sup>a, wenn nicht mehr als die Hälfte der Nutzfläche durch eine raumluftechnische Anlage mit Wärmerückgewinnung versorgt wird.

Für Nicht-Wohngebäude ist entweder die sommerliche Überwärmung gemäß ÖNORM B 8110-3 einzuhalten, wobei die tatsächlichen inneren Lasten zu berücksichtigen sind, oder der maximal zulässige außeninduzierte Kühlbedarf  $KB_{V,NW,Gsan,max}^*$  mit einer Wohnnutzung und einer Infiltrationsluftwechselrate  $n_x = 0.15 \text{ h}^{-1}$  von 2.0 kWh/m<sup>3</sup>a einzuhalten.

Bei sonstigen Änderungen an Gebäuden sind die U-Werte gemäß der Tabelle in der ÖNORM B 8110 Teil 1 einzuhalten.

Für die Bewertung von bestehenden Gebäuden sind Default-U-Werte angeführt, die eine Berechnung des Energiebedarfs ermöglichen sollen (entnommen aus [LEI07]). Diese Default-U-Werte für die Gebäudehülle sind dann heranzuziehen, wenn die Bauteilaufbauten von Bestandsbauten nicht bekannt sind. Diese Werte sind in Abhängigkeit des Baujahres der

Gebäude angegeben und stellen eine Abschätzung für die thermische Qualität der Bauteile, entsprechend ihrem Alter, dar.

Epoche/Gebäudetyp	KD	OD	AW	DF	FE	g	AT
vor 1900 EFH	1.25	0.75	1.55	1.30	2.50	0.67	2.50
vor 1900 MFH	1.25	0.75	1.55	1.30	2.50	0.67	2.50
ab 1900 EFH	1.20	1.20	2.00	0.60	2.50	0.67	2.50
ab 1900 MFH	1.20	1.20	1.50	0.60	2.50	0.67	2.50
ab 1945 EFH	1.95	1.35	1.75	1.30	2.50	0.67	2.50
ab 1945 MFH	1.10	1.35	1.30	1.30	2.50	0.67	2.50
ab 1960 EFH	1.35	0.55	1.20	0.55	3.00	0.67	2.50
ab 1960 MFH	1.35	0.55	1.20	0.55	3.00	0.67	2.50
Systembauweise	1.10	1.05	1.15	0.45	2.50	0.67	2.50
Montagebauweise	0.85	1.00	0.70	0.45	3.00	0.67	2.50

Tabelle 4-40 Default Werte der Wärmedurchgangskoeffizienten gemäß [LEI07]

Die Abkürzungen in der Tabelle haben folgende Bedeutungen.

KD	Kellerdecke
OD	Oberste Geschoßdecke
AW	Außenwand
DF	Dachfläche
FE	Fenster
g	Gesamtenergiedurchlassgrad
AT	Außentüren
EFH	Einfamilienhaus
MFH	Mehrfamilienhaus

Systembauweise = Bauweise basierend auf systematisierter Mauerwerksbauweise o.Ä.

Montagebauweise = Bauweise basierend auf Fertigteilen aus Beton mit zwischenliegender Wärmedämmung

Für alle Bundesländer, das Baurecht ist Sache der Länder, sind Default-U-Werte angegeben. Diese Tabelle stellt im Hinblick auf die historische Entwicklung des Wärmeschutzes in Österreich einen wichtigen Beitrag dar. (Tabelle aus [LEI07] entnommen)

<b>Burgenland</b>	<b>KD</b>	<b>OD</b>	<b>AW</b>	<b>DF</b>	<b>FE</b>	<b>g</b>	<b>AT</b>
ab 01.01.1988	0.60	0.60	0.70	0.30	2.50	0.67	2.50
ab 02.02.1998	0.40	0.40	0.45	0.25	1.70	0.67	1.70
ab 02.04.2002	0.35	0.35	0.38	0.20	1.70	0.67	1.70
<b>Kärnten</b>	<b>KD</b>	<b>OD</b>	<b>AW</b>	<b>DF</b>	<b>FE</b>	<b>g</b>	<b>AT</b>
ab 01.10.1980	0.60	0.30	0.70	0.30	2.50	0.67	2.50
ab 01.10.1993	0.50	0.30	0.50	0.30	2.50	0.67	2.50
ab 21.03.1997	0.40	0.25	0.40	0.25	1.80	0.67	1.80
ab 01.01.1981 WBF	0.50	0.30	0.60	0.30	2.50	0.67	2.50
ab 01.01.1983 WBF	0.50	0.30	0.57	0.30	2.50	0.67	2.50
ab 13.03.1985 WBF	0.50	0.30	0.60	0.30	2.50	0.67	2.50
<b>Niederösterreich</b>	<b>KD</b>	<b>OD</b>	<b>AW</b>	<b>DF</b>	<b>FE</b>	<b>g</b>	<b>AT</b>
ab 1976	0.56	0.44	0.60	0.35	2.50	0.67	2.30
ab 01.1982	0.80	0.30	0.70	0.30	2.50	0.67	2.50
ab 01.1988	0.70	0.25	0.50	0.25	2.50	0.67	2.50
ab 03.1996	0.50	0.22	0.40	0.22	1.80	0.67	1.80
<b>Oberösterreich</b>	<b>KD</b>	<b>OD</b>	<b>AW</b>	<b>DF</b>	<b>FE</b>	<b>g</b>	<b>AT</b>
ab 1976	0.83	0.65	1.02	0.69	2.60	0.67	2.60
ab 1981	0.60	0.30	0.70	0.30	2.50	0.67	2.50
ab 01.02.1983	0.60	0.30	0.70	0.30	2.50	0.67	2.50
ab 1985	0.50	0.30	0.50	0.30	2.50	0.67	2.50
ab 1994	0.45	0.25	0.50	0.25	1.90	0.67	1.90
ab 1999	0.45	0.25	0.50	0.25	1.90	0.67	1.90
<b>Salzburg</b>	<b>KD</b>	<b>OD</b>	<b>AW</b>	<b>DF</b>	<b>FE</b>	<b>g</b>	<b>AT</b>
1982 - 31.05.2003	0.47	0.30	0.56	0.30	2.50	0.67	2.50
ab 01.06.2003	0.40	0.20	0.35	0.20	1.70	0.67	1.70
<b>Steiermark</b>	<b>KD</b>	<b>OD</b>	<b>AW</b>	<b>DF</b>	<b>FE</b>	<b>g</b>	<b>AT</b>
ab 1983 EFH	0.60	0.30	0.70	0.30	2.50	0.67	2.50
ab 1983 MFH	0.60	0.30	0.70	0.30	2.50	0.67	2.50
ab 1990 EFH	0.45	0.30	0.50	0.30	2.50	0.67	2.50
ab 1990 MFH	0.45	0.30	0.50	0.30	2.50	0.67	2.50
ab 1997 EFH	0.40	0.20	0.40	0.20	1.90	0.67	1.90
ab 1997 MFH	0.40	0.20	0.50	0.20	1.90	0.67	1.90
1984-1990 MFH bei WBF	0.60	0.27	0.63	0.27	2.50	0.67	2.50
<b>Tirol</b>	<b>KD</b>	<b>OD</b>	<b>AW</b>	<b>DF</b>	<b>FE</b>	<b>g</b>	<b>AT</b>
ab 01.05.1981	0.50	0.30	0.50	0.30	2.50	0.67	2.50
ab 01.11.1985	0.50	0.30	0.50	0.30	2.50	0.67	2.50
ab 12.10.1998	0.40	0.20	0.35	0.20	1.70	0.67	1.70
ab 01.01.1998 bei Zusatzförderung für NEH	0.35	0.20	0.27	0.20	1.50	0.67	1.50
ab 01.01.1999 bei Zusatzförderung für NEH	0.35	0.18	0.27	0.18	1.50	0.67	1.50
ab 01.10.2003 bei WBF	0.35	0.18	0.27	0.18	1.50	0.67	1.50
<b>Vorarlberg</b>	<b>KD</b>	<b>OD</b>	<b>AW</b>	<b>DF</b>	<b>FE</b>	<b>g</b>	<b>AT</b>
ab 01.01.1983	0.70	0.30	0.50	0.50	2.50	0.67	2.50
ab 01.01.1997	0.50	0.25	0.35	0.35	1.80	0.67	1.90
<b>Wien</b>	<b>KD</b>	<b>OD</b>	<b>AW</b>	<b>DF</b>	<b>FE</b>	<b>g</b>	<b>AT</b>
ab 15.11.1976	0.85	0.71	1.00	0.71	2.50	0.67	2.50
ab 01.10.1993	0.40	0.20	0.50	0.20	1.90	0.67	1.90
ab 26.10.2001	0.45	0.25	0.50	0.25	1.90	0.67	1.90

Tabelle 4-41 – Default U-Werte der österreichischen Bundesländer aus [LEI07]

Die angeführte Tabelle stellt nicht nur für die historische Entwicklung des Wärmeschutzes in Österreich einen wichtigen Beitrag dar, sondern diese Tabelle dient auch zur vereinfachten Ermittlung des Energiebedarfs von Gebäuden für bestehende Bauten. Das sogenannte „vereinfachte Verfahren“ darf nur für bestehende Gebäude angewendet werden. Vereinfachungen werden dabei bei der Erfassung der Gebäudegeometrie, der Bauphysik und der Haustechnik vorgenommen. [BAU07]

## 4.2.2 Vereinfachtes Verfahren zur Ermittlung des Energieverbrauches von bestehenden Gebäuden

Im vereinfachten Verfahren ist die Gebäudegeometrie zumindest wie folgt zu erfassen [BAU07]:

- Dem Gebäude ist ein volumengleicher Quader (Grundfläche entweder rechteckig, L-förmig, T-förmig, U-förmig oder O-förmig) einzuschreiben, wobei Vorsprünge (z.B. Erker) oder Einsprünge (z.B. Loggien) vorerst vernachlässigt werden können. Allfälligen konditionierten Dachräumen sind in analoger Weise ein entsprechendes Volumen, die zugehörige Grundfläche, die zugehörigen Außenbauteilflächen und die Flächenanteile von Dachflächenfenstern einschließlich der jeweiligen Orientierung zuzuordnen. Dabei ist im Detail wie folgt vorzugehen:
  - Auffinden der flächengleichen Grundfläche unter Berücksichtigung der oben erwähnten Vereinfachungen
  - Festlegung der Geschoßanzahl (nur konditionierte Geschoße)
  - Festlegung der durchschnittlichen Brutto-Geschoßhöhe
  - Festlegung der durchschnittlichen Netto-Geschoßhöhe
  - Ermittlung des Grundvolumens der konditionierten Geschoße und deren Oberfläche nach der vereinfachten Geometrie
  - Abschätzung des Anteils der Fensterflächen an den Fassadenflächen und geeignete Zuordnung zu den Himmelsrichtungen
- Die Erfassung der folgenden Elemente, wobei Vor- bzw. Einsprünge und Dacheinschnitte oder Dachaufbauten von nicht mehr als 0,50 m unberücksichtigt bleiben:
  - Horizontale Vor- oder Einsprünge (z.B. Treppenhäuser)
  - Vertikale Vor- oder Einsprünge (z.B. Erker, Loggien)
  - Dacheinschnitte oder –aufbauten (z.B. Terrassen, Gaupen)
  - Modifikation der Oberfläche durch Multiplikation der Fassaden- bzw. Dachfläche, je nach Anzahl der Vor- bzw. Einsprünge und Dacheinschnitte oder Dachaufbauten mit  $1.05^n$ . Dabei ist  $n$  die Anzahl der horizontalen und/oder vertikalen Vor- bzw. Einsprünge, Dacheinschnitte oder Dachaufbauten.

Folgende häufig vorkommende Beispiele können dabei angeführt werden:

- Vorgesetztes Stiegenhaus (konditioniert):  $1.05^1$  ( $n=1$ ),
- Erker auf einer Fassadenfläche:  $1.05^2$  ( $n=2$ , da vertikal und horizontal),
- Loggien auf zwei Fassadenflächen entlang einer Fensterachse:  $1.05^2$  ( $n=2$ )
- Dachgaupen auf zwei Dachflächen  $1.05^2$  ( $n=2$ ).

Durch die Modifikation wird die Fassadenfläche vergrößert. Die Brutto-Grundfläche BGF bleibt von dieser Modifikation unberührt.

Zur Vereinfachung der bauphysikalischen Parameter ist die Erfassung der Wärmedurchgangskoeffizienten durch sogenannte Default-Werte oder durch von den Bundesländern festgelegte Standardwerte möglich. Die Tabelle auf Seite 289 und die Tabelle auf Seite 290, die Default-U-Werte in Abhängigkeit von Epoche und Gebäudetyp bzw. die Default-U-Werte der Bundesländer beinhalten sind, sofern es für Außenbauteile keine konkreten U-Werte gibt, heranzuziehen.

Für die Haustechnik ist in [BAU07] Folgendes angeführt:

Für das vereinfachte Verfahren kann in Abhängigkeit vom Energieträger und der Wärmebereitstellung für Raumheizung und Warmwasser das Haustechniksystem aus acht Default-Systemen ausgewählt werden, mit denen die Berechnung gemäß ÖNORM B 5056 durchzuführen ist. Bildet keine der Default-Varianten die tatsächliche Ausführung ab, ist jedenfalls das Haustechniksystem in der Berechnung genau zu erfassen. Dies gilt jedenfalls für Anlagen zur Kühlung, Luftaufbereitung und Beleuchtung bei Nicht-Wohngebäuden. [BAU07]

Folgende acht Systeme können beim vereinfachten Verfahren herangezogen werden:

System 1: Standardheizkessel (Systemtemperatur 90°C/70°C)

System 2: Niedertemperaturkessel (Systemtemperatur 70°C/55°C)

System 3: Brennwertkessel (Systemtemperatur 40°C/30°C)

System 4: Gaskombitherme (Systemtemperatur 70°C/55°C)

System 5: Fernwärme (Systemtemperaturen 70°C/55°C)

System 6: Einzelofen

System 7: thermische Solaranlage (nur für Einfamilienhäuser)

System 8: Wärmepumpe (Systemtemperaturen 40°C/30°C)

### 4.2.3 Gebäudestatistik für Österreich

Abschließend wird nun noch auf die Gebäudestatistik in Österreich eingegangen, da die Anzahl der bestehenden Gebäude und die Zahl der Neubauten in einem Jahr Auskunft darüber gibt wie viele Energieausweise erstellt werden müssen. Das Einsparungspotential und der derzeitige Energieverbrauch für das Heizen und Kühlen von Gebäuden kann mit den folgenden Zahlen abgeschätzt werden.

Der Gebäudebestand von 1951 bis 2001 ist in der Tabelle 4-42 angeführt.

Bundesland	1951	1961	1971	1981	1991	2001
Wien	72 948	79 034	88 169	134 321	153 693	168 167
Vorarlberg	32 293	40 680	52 487	64 628	75 831	89 236
Tirol	58 193	72 000	94 192	116 875	138 537	161 261
Steiermark	150 087	176 329	211 615	257 046	288 802	325 822
Salzburg	44 683	55 867	70 624	87 259	102 691	119 818
Oberösterreich	150 518	180 788	216 880	269 652	307 850	352 326
Niederösterreich	259 037	293 843	346 328	437 073	494 198	553 604
Kärnten	69 767	84 795	102 991	126 574	143 929	162 075
Burgenland	58 504	66 617	76 247	93 413	103 529	114 403
<b>Österreich</b>	<b>896 030</b>	<b>1 049 953</b>	<b>1 259 533</b>	<b>1 586 841</b>	<b>1 809 060</b>	<b>2 046 712</b>

Tabelle 4-42 – Gebäudebestand für Österreich von 1951 bis 2001 aus [BAU07]

Der Wohnungsbestand von 1951 bis 2001 ist in der Tabelle 4-43 angeführt.

Bundesland	1951	1961	1971	1981	1991	2001
Wien	614 225	675 774	781 511	821 175	853 091	910 745
Vorarlberg	52 986	58 034	77 290	101 210	123 211	148 591
Tirol	113 650	121 072	160 162	203 762	249 774	303 632
Steiermark	304 824	318 270	372 029	425 076	469 527	532 470
Salzburg	96 452	96 384	129 694	168 971	200 860	238 480
Oberösterreich	312 315	324 923	383 483	451 122	513 150	604 299
Niederösterreich	443 733	450 735	515 949	591 162	648 471	738 235
Kärnten	127 224	127 281	160 698	189 603	223 267	260 541
Burgenland	72 592	76 205	85 126	99 956	110 920	126 269
<b>Österreich</b>	<b>2 138 001</b>	<b>2 248 678</b>	<b>2 665 942</b>	<b>3 052 037</b>	<b>3 392 271</b>	<b>3 863 262</b>

Tabelle 4-43 – Wohnungsbestand für Österreich von 1951 bis 2001 aus [BAU07]

In den beiden vorhergehenden Tabellen ist die Zuwachsrate an neuen Gebäuden und des Wohnungsbestandes in Österreich von 1951 bis 2001 im langjährigen Mittel ablesbar.

<b>Veränderung des Gebäudebestandes von 1951 bis 2001</b>					
Zeitraum	1951-1961	1961-1971	1971-1981	1981-1991	1991-2001
Neubau	153 923	209 580	327 308	222 219	237 652
10 Jahresmitttelwert	15 392	20 958	32 731	22 222	23 765
Längjähriges Mittel	<b>23 014</b>				

Tabelle 4-44 – Veränderung des Gebäudebestandes von 1951 bis 2001 aus [BAU07]

<b>Veränderung des Wohnungsbestandes von 1951 bis 2001</b>					
Zeitraum	1951-1961	1961-1971	1971-1981	1981-1991	1991-2001
Neubau	110 677	417 264	386 095	340 234	470 991
10 Jahresmitttelwert	11 068	41 726	38 610	34 023	47 099
Längjähriges Mittel	<b>34 505</b>				

Tabelle 4-45 – Veränderung des Wohnungsbestandes von 1951 bis 2001 aus [BAU07]

Das langjährige Mittel an Neubauten in Österreich beträgt somit ca. 23 000 Gebäude pro Jahr, für Wohnungen ca. 34 500. Mit der Anzahl des Bestandes und der Zuwachsrate ist ablesbar wie viele Energieausweise derzeit ungefähr ausgestellt werden müssen.

## **5 ANHANG 5**

### **5.1 Artikel aus der Zeitschrift Bauphysik 3/2007**

Analyse der Genauigkeit des Monatsbilanzverfahrens zur Ermittlung  
des Kühlbedarfs von Nichtwohngebäuden

Zeitschrift Bauphysik 3/2007

Verlag: Ernst&Sohn

Berlin, 2007

Sofic, Bednar

## Fachthemen

Mario Sofic  
Thomas Bednar

DOI: 10.1002/bapi.200710028

## Analyse der Genauigkeit des Monatsbilanzverfahrens zur Ermittlung des Kühlbedarfs von Nichtwohngebäuden

Am 16. Dezember 2002 hat die EU die Richtlinie 2002/91/EG des Europäischen Parlaments und des Rates über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden erlassen. Die Mitgliedsstaaten der EU hatten zum 4. Januar 2006 Zeit, diese Richtlinie umzusetzen. Es sollen für bestehende Gebäude als auch für alle Neubauten Energieausweise erstellt werden. Für die Ermittlung der Energiekennzahlen von Gebäuden wird sehr oft das Monatsbilanzverfahren verwendet. Dieses Bilanzverfahren wurde deshalb in der vorliegenden Arbeit einer genaueren Untersuchung unterzogen. Dazu wurde für ein Zonenmodell mit Büronutzung der Kühlbedarf simuliert und nach dem Monatsbilanzverfahren ermittelt. Der Vergleich der bilanzierten mit den simulierten Werten für den Kühlbedarf, hat ergeben, dass in einigen Fällen der Kühlbedarf der sich aus einer Simulationsrechnung ergibt mit dem Bilanzverfahren unterschätzt wird. Daher soll ein Korrekturfaktor für den bilanzierten Kühlbedarf eingeführt werden. Weiterhin haben die Untersuchungen ergeben, dass die Kopplung von Zonen im Bilanzverfahren nicht korrekt berücksichtigt wird.

**Analysis of the monthly method for cooling energy demand calculation in office buildings.** On 16<sup>th</sup> December of 2002 the European Union passed the directive 2002/91/EU regarding the „Energy Performance of Buildings“. The individual member states had to implement this directive until 4<sup>th</sup> January 2006. For new and for existing buildings energy certifications must be issued. To calculate energy ratios of buildings the monthly method is often used. The monthly method is analysed in this paper. Therefore the cooling demand for an office zone model was calculated by the monthly method and by a simulation. The comparison of the calculated value of the cooling demand by the monthly method and the simulation shows that the balanced value is sometimes smaller than the simulated value. To get realistic values for the cooling demand it is imperative to use correction-factors for the balanced cooling demand. Coupled zones are accounted incorrect by calculation of cooling demand with the monthly method.

### 1 Bilanzverfahren - Zonierung

Nach [1] ist der Kühlbedarf nach der alternativen Formulierung wie folgt definiert:

$$Q_{NC} = (1 - \eta_{GC}) \cdot Q_{GC}$$

mit:

$Q_{NC}$  Kühlbedarf des Gebäudes

$\eta_{GC}$  dimensionsloser Ausnutzungsgrad der Gewinne bei Kühlbetrieb

$Q_{GC}$  Wärmequellen für den Kühlbetrieb.

Die Bilanzgleichung kann nunmehr für ein Gebäude für verschiedene Zonierungsvarianten gelöst werden, das bilanzierte Gebäude kann als:

- Einzonenmodell (das gesamte Gebäude wird nur als eine Zone betrachtet, d. h. die Bilanzgleichung wird nur für eine Zone gelöst),
- Mehrzonenmodell (die Bilanzgleichung wird für einzelne Gebäudebereiche gelöst und die bilanzierten Kühlbedarfe werden aufsummiert),
- Modell mit jedem Raum als einzelne Zone (der Kühlbedarf wird für jeden einzelnen Raum nach der Bilanzgleichung ermittelt und danach wird durch Summenbildung der Kühlbedarf für das gesamte Gebäude ermittelt) betrachtet werden.

Im Rahmen dieser Arbeit wird der Einfluss der unterschiedlichen Zonierungsvarianten insbesondere bei Nachtlüftungskonzepten, die eine Erhöhung der Luftwechselrate für einzelne Gebäudebereiche bedeuten, untersucht. Um die Genauigkeit des Monatsbilanzverfahrens zu überprüfen, wurden zu den Berechnungen nach dem Bilanzverfahren vergleichende Simulationsrechnungen für den Kühlbedarf durchgeführt.

### 2 Beschreibung des Modells

Für die Analyse der Genauigkeit des Monatsbilanzverfahrens wurde ein 14-Zonenmodell mit Büronutzung herangezogen. Zwölf Zonen sollen Büronutzeinheiten sein, die restlichen zwei Zonen sollen Gänge (Gangnutzeinheiten) darstellen. Drei verschiedene Fassadenformen (Lochfassade, Lichtbandfassade, Ganzglasfassade) wurden untersucht, sowohl in leichter als auch in massiver Bauweise (Bild 1).

Weiterhin wurde eine Mischform der drei Fassadentypen untersucht. Als Drahtgittermodell weist dieses Boxmodell die Gestalt nach Bild 2 auf.



Bild 1. Lochfassade – Lichtbandfassade – Ganzglasfassade  
Fig. 1. Façade with single windows – façade with light-band glazing façade

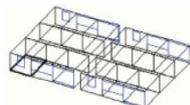


Bild 2. 14 Zonenmodell - Mischform  
Fig. 2. 14-zone model, mixed model

Die Abmessung einer Zelle beträgt 3,0 m Breite, 4,0 m Länge und 2,60 m Höhe. Die Breite der Gänge beträgt 4,0 m. Somit ergeben sich für eine Gebäudebox eine Breite von 9,0 m und eine Länge von 12,0 m.

Die Einzelfenster weisen Abmessungen von 1,0 m Breite und 1,40 m Höhe auf, die Fensterbänder sind 3,0 m breit und 1,40 m hoch. Die Glasfassade wurde dadurch erzeugt, indem die Glasfläche mit 3,0 m Breite, also gleich groß der Zonenbreite, und die Höhe mit 2,20 m angesetzt wurden, also nicht der ganzen Gebäudehöhe entsprechend, da ein gewisser Rahmenanteil der Glasfassade berücksichtigt wurde. Die Verglasung der Fenster weist einen U-Wert von 1,60 W/m<sup>2</sup>K und einen Gesamtenergiedurchlassgrad des Glases von 0,70 auf. Der Rahmenanteil der Fenster hat einen U-Wert von 1,95 W/m<sup>2</sup>K.

Die Aufbauten der Außenhülle und die dazugehörigen Wärmedurchgangskoeffizienten wurden gemäß Tabellen 1 und 2 festgelegt.

Die Nutzung wurde mit einer Büronutzung festgelegt, die inneren Lasten und die Luftwechselraten wurden dabei variiert.

Als Abminderungsfaktor z für den Sonnenschutz wurde für alle drei Fensterarten der Wert 0,25 angesetzt. Ab einer Sonneneinstrahlung von 300 W/m<sup>2</sup> wird dieser Abminderungsfaktor für die Fenster aktiviert.

Die Bilanzrechnung wurde zum Teil nach ISO EN 13790 durchgeführt, folgende Faktoren wurden abweichend ermittelt:

- 1) Berechnung der Wärmekapazität des Gebäudes nach ISO EN 13786,
- 2) die Verschattungsfaktoren wurden monatsweise ermittelt,
- 3) der Sonnenschutz und seine Aktivierungszeiten wurden monatsweise berechnet.

Tabelle 1. Aufbauten massive Bauweise  
Table 1. Superstructural parts heavy construction

Leicht	Aufbau		U-Wert
Bauteil	Material	Schichtdicke in cm	W/m <sup>2</sup> K
Außenwand	EPS	20	0.19
	Beton	20	
Trennwand	Beton	20	0.66
	EPS	5	
	Beton	20	
Decke	Estrich	5	0.65
	EPS	5	
	Beton	20	
Boden	Beton	5	0.65
	EPS	5	
	Beton	20	

Tabelle 2. Aufbauten leichte Bauweise  
Table 2. Superstructural parts light construction

Leicht	Aufbau		U-Wert
Bauteil	Material	Schichtdicke in cm	W/m <sup>2</sup> K
Außenwand	Spanplatte	2	0.18
	Mineralwolle	20	
	Spanplatte	2	
Trennwand	Spanplatte	2	0.33
	Mineralwolle	10	
	Spanplatte	2	
Decke	Estrich	5	0.23
	Trittschalldämmung	5	
	Spanplatte	2	
	Mineralwolle	10	
	Spanplatte	2	
Boden	Estrich	5	0.53
	Mineralwolle	5	
	Spanplatte	2	
	Beton	10	
	Spanplatte	2	

### 3 Untersuchte Szenarien

Für den Grundfall und die drei angeführten Fassadentypen wurde für 19 verschiedene Szenarien der Kühlbedarf ermittelt. Verändert wurden dabei für beide Nutzeneinheiten:

- die Orientierung,
- die inneren Lasten,
- der Luftwechsel,
- der Sonnenschutz,
- der U-Wert der Trennwände (bei den Szenarien die gekoppelt berechnet wurden).

Alle Szenarien bis auf das Szenario 2 wurden mit Nord/Südorientierung, das Szenario 2 wurde mit Ost/Westorientierung berechnet. Die Gangnutzeinheiten wurden in allen untersuchten Szenarien ohne innere Lasten betrachtet, die Büronutzeinheiten wurden mit 8,0 W/m<sup>2</sup> und 0.0 W/m<sup>2</sup> innere Lasten berechnet. Die inneren Lasten wurden weiterhin über den Tag hinweg variiert. Dabei wurden eine Betriebszeit von 6 bis 18 Uhr mit inneren Lasten und eine Restzeit mit unbesetzten Büros von 18 bis 6 Uhr definiert.

Die Luftwechselrate wurde in den Gangnutzeinheiten mit 0,00 h<sup>-1</sup>, 0,10 h<sup>-1</sup> und 2,00 h<sup>-1</sup>, in den Büronutzeinheiten wurde die Luftwechselrate mit 0,10 h<sup>-1</sup>, 0,50 h<sup>-1</sup> und 1,66 h<sup>-1</sup> angesetzt. Auch die Luftwechselraten wurden wie die inneren Lasten bei einigen Szenarien über den Tag hinweg unterschiedlich angesetzt.

Die Szenarien 3, 4, 5, 11 und 12 wurden mit deaktiviertem Sonnenschutz berechnet, die restlichen Szenarien mit aktivem Sonnenschutz.

Die Berechnung der Szenarien 1 bis 14 erfolgte gekoppelt, d. h. dass nur die Außenfassade mit dem Außenklima in Kontakt steht und zwischen den Zonen kein Wärmeaustausch stattfindet. Die Szenarien 16, 17, 18 und 19 wurden gekoppelt berechnet, d. h. dass ein Wärmeaustausch zwischen den Zonen stattfindet.

Die Berechnung des Kühlbedarfs erfolgte für die Vergleichsrechnung mit der Simulation nach einem Einzo-

M. Sofic/Th. Bednar - Analyse der Genauigkeit des Monatsbilanzverfahrens zur Ermittlung des Kühlbedarfs von Nichtwohngebäuden

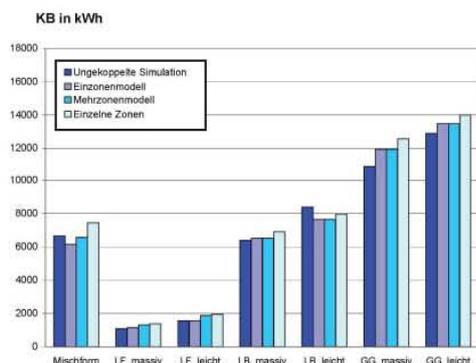


Bild 3. Vergleich der Zonierungsmodelle Szenario 11  
Fig. 3. Different zone models compared scenario 11

nenmodell, d. h. die Bilanzgleichung wurde nur für das gesamte 14-Zonenmodell gelöst. Vergleicht man die Ergebnisse der verschiedenen Zonierungsmodelle so stellt sich Ergebnis wie in Bild 3 dargestellt ein.

Durch den Vergleich der Zonierungsmodelle wird ersichtlich, dass das Einzonenmodell den niedrigsten Wert für den Kühlbedarf der Zonierungsvarianten liefert. Deshalb ist der im Folgenden beschriebene Korrekturfaktor für ein Einzonenmodell ermittelt worden.

#### 4 Korrekturfaktor für den Kühlbedarf bei Einzonenmodellen

Für alle 19 Szenarien wurde jeweils der Kühlbedarf simuliert und bilanziert. Zusätzlich zu den Ergebnissen des 14-Zonenmodells sind weiterhin die Verhältnisse von Simulation zu Bilanz eines realen Objekts (St. Pölten) angegeben, um den Vergleich mit der Praxis herzustellen.

Das Verhältnis von Simulation zu Bilanz wurde in Abhängigkeit der Gebäudezeitkonstante dargestellt. Die Wärmebilanz eines Gebäudes ist zum einen vom Gewinn/Verlustverhältnis abhängig, zum anderen von der

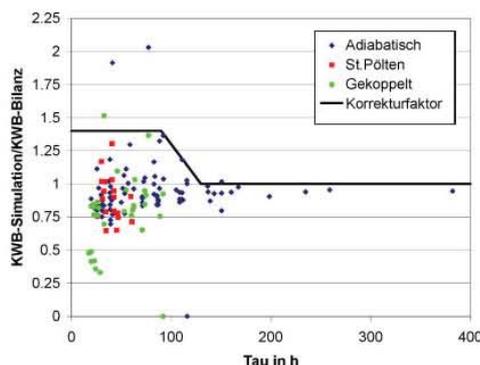


Bild 4. Ergebnisse und Korrekturfaktor für die Bilanzrechnung  
Fig. 4. Results and correction factor for monthly balanced method

204 Bauphysik 29 (2007), Heft 3

Gebäudezeitkonstanten. Diese beiden Parameter sind für die Gebäudebilanz entscheidend.

Bild 4 zeigt, dass die Berechnung des Kühlbedarfs nach dem Monatsbilanzverfahren den tatsächlichen Kühlbedarf in den meisten Fällen überschätzt. Es gibt allerdings auch Szenarien (ca. 21 % der untersuchten Fälle), bei denen der Kühlbedarf nach dem Bilanzverfahren unterschätzt wird. Um sicherzustellen, dass die Bilanzrechnung den tatsächlichen Kühlbedarf in den meisten Fällen nicht unterschätzt, muss der in Bild 4 eingetragene Korrekturfaktor eingeführt werden.

Der Korrekturfaktor wurde wie folgt festgelegt:

$$KB_{eff} = KB \cdot a_{KB} \tag{1}$$

mit:

- $KB_{eff}$  vergrößerter Kühlbedarf
- $KB$  berechneter Kühlbedarf nach dem Monatsbilanzverfahren
- $a_{KB}$  Korrekturfaktor für den Kühlbedarf
  - $a_{KB} = 1,40$  für  $\tau = 0$  bis 90 h
  - $a_{KB} = 2,30 - 0,01\tau$  für  $\tau = 90$  bis 130 h
  - $a_{KB} = 1,00$  für  $\tau > 130$  h

Die drei Szenarien, die durch den Korrekturfaktor nicht berücksichtigt werden, weisen folgendes Verhältnis von Simulation zu Bilanz auf:

- 1)  $\frac{KWB_{Simulation}}{KWB_{Bilanz}} = 1,51$  (adiabatisch)
- 2)  $\frac{KWB_{Simulation}}{KWB_{Bilanz}} = 1,91$  (gekoppelt)
- 3)  $\frac{KWB_{Simulation}}{KWB_{Bilanz}} = 2,03$  (adiabatisch)

Fall 1 und Fall 2 ergeben sich durch Szenarien, bei denen die inneren Lasten vernachlässigt wurden. Diese Szenarien sind für die Ermittlung eines Korrekturfaktors notwendig, für die Praxis allerdings eher vernachlässigbar. Deshalb können diese beiden Szenarien unberücksichtigt bleiben. Der dritte Fall ergibt sich für das Szenario 13 (erhöhter Luftwechsel am Gang). Alle möglichen Szenarien, bei denen der Kühlbedarf im Bilanzverfahren unterschätzt wird, können auch durch einen Korrekturfaktor nicht abgedeckt werden. Die Untersuchungen haben gezeigt, dass die Mehrzahl der Fälle, bei denen der tatsächliche Kühlbedarf unterschätzt wird, durch den eingeführten Faktor korrigiert wird. Weiterhin sollte bedacht werden, dass der Kühlbedarf auch bei den Fällen erhöht wird, bei denen eine Korrektur nicht notwendig wäre.

## 5 Ergebnisse

### 5.1 Einfluss der Kopplung auf das Bilanzverfahren bei Mehrzonenmodellen

Aufgrund des Wärmeaustauschs zwischen unterschiedlichen Zonen kann der Kühlbedarf beeinflusst werden. Durch Gegenüberstellung von Bilanz und Simulation im gekoppelten gegenüber dem adiabatischen Zustand mit

M. Sofic/Th. Bednar - Analyse der Genauigkeit des Monatsbilanzverfahrens zur Ermittlung des Kühlbedarfs von Nichtwohngebäuden

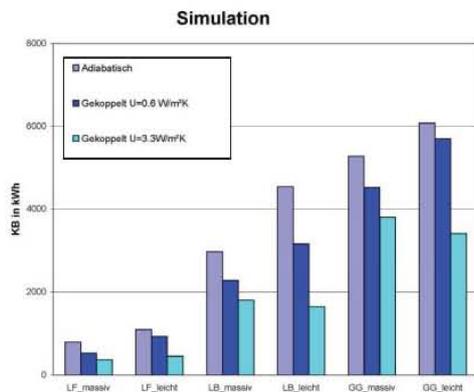


Bild 5. Ergebnis Simulation Szenario 13, 15 und 16, Luftwechsel konstant  
Fig. 5. Simulation result scenarios 13, 15 and 16, constant air change

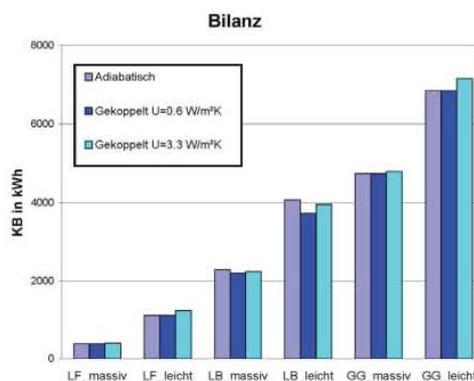


Bild 6. Ergebnis Bilanz Szenario 13, 15 und 16, Luftwechsel konstant  
Fig. 6. Simulation result scenarios 13, 15 and 16, constant air change

verschiedenen U-Werten lässt sich dieser Einfluss darstellen.

Dargestellt sind in den Bildern 5 und 6 die Szenarien 13, 15 und 16. Diese Szenarien weisen einen erhöhten Luftwechsel von  $n = 2,0 \text{ h}^{-1}$  am Gang auf.

## 5.2 Bewertung der Ergebnisse

Zu beobachten ist, dass die adiabatische Berechnung und die Bilanz gut übereinstimmen. Auch bei schwacher Kopplung der Zonen mit einem U-Wert von ungefähr  $0,60 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  bildet das Bilanzverfahren die Simulation noch befriedigend ab. Die Simulation gibt jedoch durchwegs einen geringeren Kühlbedarf als bei nicht gekoppelter Berechnung für alle Szenarien wieder. Die Reduktion des Kühlbedarfs im schwach gekoppelten Zustand wird in der Bilanz nur teilweise wiedergegeben.

Bei starker Kopplung der Zonen mit einem U-Wert von ungefähr  $3,0 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  wird der Einfluss der Kopplung im Bilanzverfahren unterschätzt. Das bedeutet, dass die Berechnung nach dem Bilanzverfahren den Kühlbedarf, der nach der Simulation ermittelt wurde, überschätzt. Die Kopplung der Zonen wird für den Kühlbedarf im Bilanzverfahren nicht richtig wiedergegeben.

## 5.3 Ausgewähltes Ergebnis

In Bild 7 ist das Szenario 11 dargestellt (Nord/Südorientierung), innere Lasten in den Büros von 6 bis 18 Uhr  $8 \text{ W}/\text{m}^2$ . Die Luftwechselrate ist mit  $1,66 \text{ h}^{-1}$  von 18 bis 6 Uhr und von 6 bis 18 Uhr mit  $0,50 \text{ h}^{-1}$  in den Büros festgelegt. Die Luftwechselrate am Gang ist mit  $0,10 \text{ h}^{-1}$  angesetzt worden. Der Sonnenschutz wurde vernachlässigt. Der bilanzierte Kühlbedarf wurde bereits mit dem angeführten Faktor korrigiert.

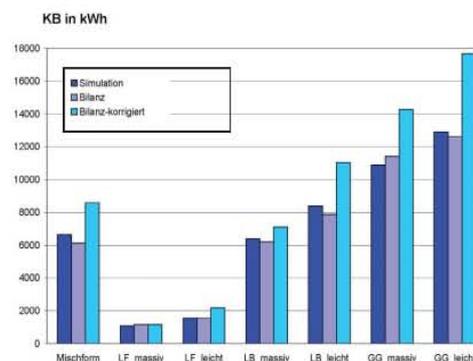


Bild 7. Kühlbedarf für verschiedene Fassadentypen – Szenario 11  
Fig. 7. Cooling demand of various façade types, scenario 11

## 5.4 Reales Bürogebäude

Im Sommer 2006 wurde vom Zentrum für Bauphysik und Bauakustik der TU Wien ein Bürogebäude mit Atriumslüftung untersucht. Unter Atriumslüftung ist im gegebenen Fall, d. h. beim bestehenden Gebäude, folgendes zu verstehen:

Außerhalb der Betriebszeit, also in der Nacht, kann der Eingangsbereich des Gebäudes als Einströmöffnung für die kühlere Außenluft verwendet werden. Mit dem Stiegenhaus ist ein Atrium verbunden, durch welches die Nachtluft strömt, wenn am Dach des Atriums die Brandrauchentlüftungsklappen geöffnet werden. Das bedeutet, die Brandrauchentlüftung wird in diesem Fall als Ausströmöffnung für eine Nachtlüftung verwendet. Bei einer Einströmgeschwindigkeit von  $1,20 \text{ m/s}$ , diese ist maßgeblich von der Temperaturdifferenz zwischen außen und innen und von der Windgeschwindigkeit der Umgebung abhängig, ergibt sich ein Luftvolumenstrom von ca.  $10.000 \text{ m}^3/\text{h}$ . Dieser Luftvolumenstrom bedeutet für das Atrium und die angeschlossenen Gänge eine Luftwechselrate von  $2,40 \text{ h}^{-1}$ . Diese Luftwechselrate wurde nun im Folgenden für die Atriumslüftung an-

M. Sofic/Th. Bednar - Analyse der Genauigkeit des Monatsbilanzverfahrens zur Ermittlung des Kühlbedarfs von Nichtwohngebäuden

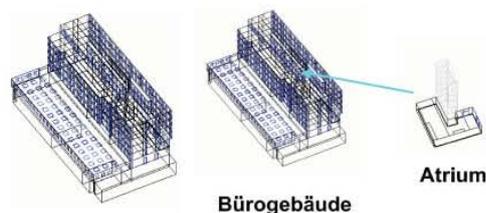


Bild 8. 40-Zonenmodell des Realen Bürogebäudes  
Fig. 8. 40-zone model of a real office building

genommen, wobei der Luftwechsel über 24 Stunden in der Berechnung angesetzt wurde.

Das Bürogebäude wurde als 40-Zonenmodell in ein Simulationsprogramm eingegeben (Bild 8). Der Kühlbedarf des Gebäudes wurde nun durch eine Simulationsrechnung und durch eine Bilanzrechnung nach dem Monatsbilanzverfahren ermittelt. Der Keller wurde als un-konditioniert betrachtet.

Die Inneren Lasten des Gebäudes wurden durch eine Bestandsaufnahme der Bürobesetzung und der technischen Geräte in den Büros für die Berechnung festgelegt. Die Bestandsaufnahme ergab eine innere Last von  $25 \text{ W/m}^2$  für die Büros, diese Last wurde von 6 bis 18 Uhr in der Berechnung angesetzt.

Hinsichtlich der Luftwechselraten für alle Büros und Gangbereiche wurden folgende Szenarios angesetzt:

- 1) Tag:  $n = 1,5 \text{ h}^{-1}$ ; Nacht:  $n = 0,1 \text{ h}^{-1}$  – ohne Atriumslüftung
- 2) Tag:  $n = 1,5 \text{ h}^{-1}$ ; Nacht:  $n = 0,1 \text{ h}^{-1}$  – mit Atriumslüftung
- 3) Tag:  $n = 1,5 \text{ h}^{-1}$ ; Nacht:  $n = 1,5 \text{ h}^{-1}$  – ohne Atriumslüftung
- 4) Tag:  $n = 1,5 \text{ h}^{-1}$ ; Nacht:  $n = 1,5 \text{ h}^{-1}$  – mit Atriumslüftung
- 5) Tag:  $n = 1,5 \text{ h}^{-1}$ ; Nacht:  $n = 1,5 \text{ h}^{-1}$  – mit Atriumslüftung, und erhöhter U-Wert von  $U = 3 \text{ W/m}^2\text{K}$  zwischen den Gangzonen und den Büros
- 6) Tag:  $n = 1,5 \text{ h}^{-1}$ ; Nacht:  $n = 0,1 \text{ h}^{-1}$  und Atriumslüftung, und ein einfacher Luftwechsel (in Bezug auf das Volumen der Büros) zwischen Bürozonen und Gangzonen
- 7) Tag:  $n = 1,5 \text{ h}^{-1}$ ; Nacht:  $n = 0,1 \text{ h}^{-1}$  und Atriumslüftung, und ein einfacher Luftwechsel zwischen Büro und Gang, sowie erhöhter Luftwechsel zwischen Gang und Atrium, Volumenstrom  $5.000 \text{ m}^3/\text{h}$ .

Die Szenarien 1, 2, 6 und 7 weisen in der Nacht nur einen Luftwechsel von  $0,1 \text{ h}^{-1}$  auf. Die Szenarien 3, 4 und 5 weisen in der Nacht einen Luftwechsel von  $1,5 \text{ h}^{-1}$  auf. Deshalb sind in den folgenden Diagrammen die Szenarien hinsichtlich Nachtlüftung aufgeteilt. Bei der Simulationsrechnung stellten sich die Ergebnisse für den Kühlbedarf gemäß Bild 9 ein.

Aus diesen errechneten Werten für den Kühlbedarf ist ersichtlich, dass eine Atriumslüftung allein den Kühlbe-

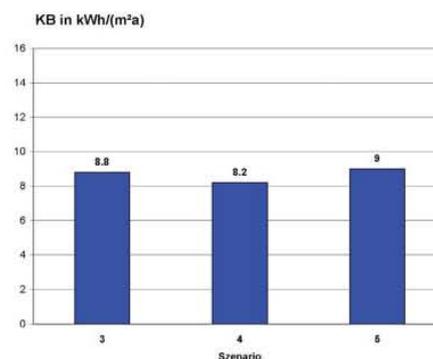
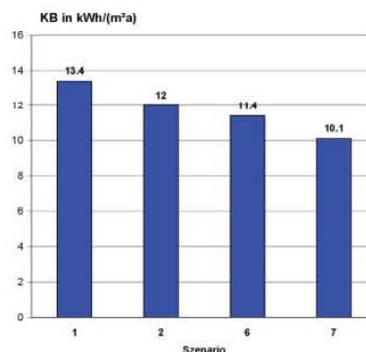


Bild 9. Simulationsergebnisse für den Kühlbedarf  
Fig. 9. Simulated cooling demand

darf nur marginal senkt. Erst durch eine Kopplung der Zonen (Szenario 6 und 7) kann der Kühlbedarf gesenkt werden. Die effektivste Form der Senkung des Kühlbedarfs ist durch eine direkte Steigerung der Luftwechselraten über die Nacht gegeben. Eine Kopplung der Zonen erwirkt hier eine Steigerung des Kühlbedarfs.

Die Bilanzrechnung für den Kühlbedarf wurde nun mit einem Einzonenmodell, d. h. das gesamte Gebäude wurde als eine Zone betrachtet, als Zweizonenmodell, hier wurde das Gebäude in zwei Bürozonen (Bürobereich 1 – EG und Bürobereich 2 – 2. bis 5. OG, Bild 10) geteilt und mit einem Mehrzonenmodell (Bild 11), hier wurden alle 40 Zonen einzeln bilanziert und dann aufsummiert, durchgeführt. Die Ergebnisse für den Kühlbedarf sind in Bild 12 dargestellt.

Das Bilanzverfahren liefert, je feiner die Zonierung gewählt wird, immer höhere Werte für den Kühlbedarf. Ein Mehrzonenmodell überschätzt eher den tatsächlich auftretenden Kühlbedarf. Das Einzonenmodell ergibt für die untersuchten Szenarios eher den realen Kühlbedarf des Gebäudes. Der Einfluss der Atriumslüftung auf den Kühlbedarf wird im vorliegenden Fall bei einem Einzonenmodell überschätzt. Lässt man bei dem realen Büro-bau den Teil des Erdgeschosses mit den vielen Oberlichtern – dieser Teil des Gebäudes hat einen großen Einfluss

M. Sofic/Th. Bednar - Analyse der Genauigkeit des Monatsbilanzverfahrens zur Ermittlung des Kühlbedarfs von Nichtwohngebäuden

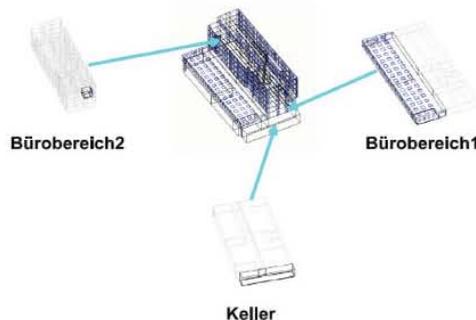


Bild 10. Zweizonenmodell: Bürobereich 1 und 2  
Fig. 10. 2-zone model: office area 1 and 2

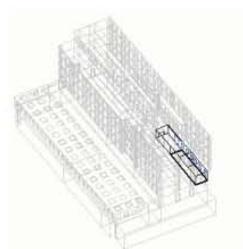


Bild 11. Mehrzonenmodell 40 Einzelzonen  
Fig. 11. 40-zone model

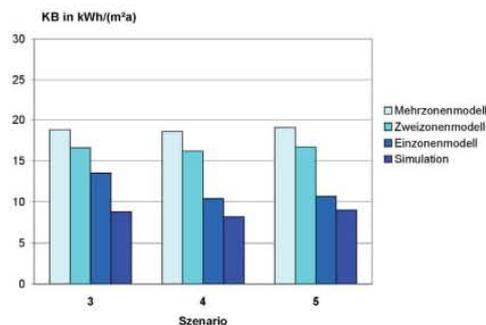
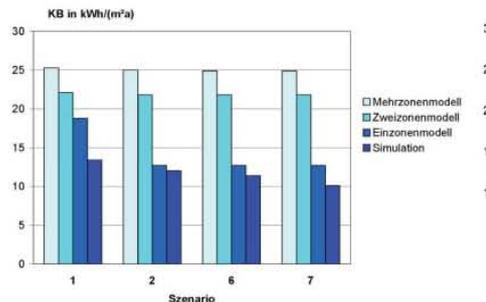


Bild 12. Ergebnis Kühlbedarf für verschiedene Zonierungen  
Fig. 12. Results for different zone models

auf den Kühlbedarf - weg, dann unterschreitet das Einzonenmodell den tatsächlich auftretenden Kühlbedarf und die Korrektur des nach dem Einzonenmodell ermittelten Kühlbedarfs wäre notwendig.

**6 Schlussbemerkungen**

Eine Korrektur des bilanzierten Kühlbedarfs erscheint für ein Einzonenmodell durch die angestellten Untersuchungen notwendig. Durch die Kopplung von Zonen wird der Kühlbedarf gesenkt. Dieser Aspekt kann im Bilanzverfahren nicht eindeutig abgebildet werden. In solchen Fällen

ist der Kühlbedarf mittels eines am Modell validierten Simulationsprogramms zu ermitteln.

**Literatur**

[1] DRAFT ISO/DIS 15790 Thermal performance of buildings - Calculation of energy use for space heating and cooling, 2005.

**Autoren dieses Beitrages:**

Dipl. Ing. Mario Sofic, Ao.Univ.Prof. Dipl. Ing. Dr. techn. Thomas Bednar, beide: Zentrum für Bauphysik und Bauakustik, Institut für Hochbau und Technologie, Fakultät für Bauingenieurwesen, TU Wien, Karlsplatz 13/2062, 1040 Wien

## **6 ANHANG 6**

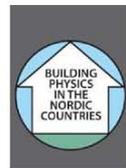
### **6.1 Beitrag zum Nordic Symposium on Building Physics 2008**

8th Nordic Symposium on Building Physics 2008

Copenhagen, June 16-18, 2008

Strategic optimization of non-residential buildings

Sofic, Bednar



**NSB2008**  
Nordic Symposium on Building Physics 2008

**Proceedings of the 8<sup>th</sup>  
Symposium on Building Physics  
in the Nordic Countries**

**Volume 1  
Monday, June 16**

**Copenhagen, June 16-18, 2008**

**Carsten Rode, editor**

Department of Civil Engineering  
Technical University of Denmark

The Danish Society of Engineers  
Society for Building Physics

Danish Building Research Institute  
Aalborg University

## Strategic optimization of non-residential buildings

*Sofic Mario, Dipl.Ing.,  
Vienna University of Technology;  
[mario.sofic@tuwien.ac.at](mailto:mario.sofic@tuwien.ac.at) and <http://www.bph.tuwien.ac.at/>*

*Bednar Thomas, Ao.Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn.,  
Vienna University of Technology;  
[thomas.bednar@tuwien.ac.at](mailto:thomas.bednar@tuwien.ac.at) and <http://www.bph.tuwien.ac.at/>*

**KEYWORDS:** *optimization, non-residential building, office buildings key, heating energy demand, cooling energy demand*

### **SUMMARY:**

*The paper compares the Monthly Balance Method (DRAFT ISO/DIS 13790) with whole building simulations and shows the effects of night ventilation and coupling of zones in office buildings.*

*A model of a typical office building is used (40x13x8 meters, with north and south orientated windows). In the first part the energy demand for heating and cooling for different climates with whole building simulations and monthly zone methods is compared. To create a coupled and an uncoupled model the U-value of the intermediate wall is varied and the effects of coupling are presented.*

*In the second part a systematic variation of the model to get a strategy for an optimization of office buildings is performed. The location is in Vienna, the climate is a typical European continental climate. Three parameters Gamma, Tau and C (storage capacity) are important values for optimization of buildings. The reduction of the parameter K is the first step to minimize the energy demand of buildings. The next step is the intelligent choose of window part because if the window part of a building is high the parameter G is big. And the energy demand for cooling increases with the G-value. The next important point is the storage capacity of the building materials. Walls and Slabs storages energy and a good storage characteristic of a building reduce the energy demand for heating and cooling.*

*In diagrams the difference between whole building simulations and monthly zone methods for different Gamma and Tau values is shown. Furthermore the effects of coupling and night ventilation to reduce the energy demand for cooling and heating are presented.*

## **1. Introduction**

The DRAFT ISO/DIS 13790 (Thermal performance of buildings – Calculation of energy use for space heating and cooling, 2005) describes the so called Monthly Balance Method to calculate the heating and cooling demand [1] for the European energy certificate and will be used very often to optimize buildings. Due to a lot of assumptions in the method the paper compares the Monthly Balance Method with whole building simulations.

The energy demand for heating and cooling will be calculated by a systematic variation of building properties (like gain/loss ratio and time constant) and outdoor climate.

Part of the variation is using of Night Ventilation Concept to decrease cooling energy demand. Especially for this strategy the coupling between different zones (staircase, offices etc.,) is very important.

Out of the large number of results recommendations for adaption and the limits for the Monthly Balance are presented.

## **2. Model**

### **2.1 Geometry and Orientation**

The model is a six zone model with four office zones and two corridors. The size of one office zones is: width = 40 meters, length = 5 meters and height = 4 meters. The size of one corridor is: width = 40 meters, length = 3 meters and height = 4 meters.

The model has two floors and the geometry of the model should be a typical office building.

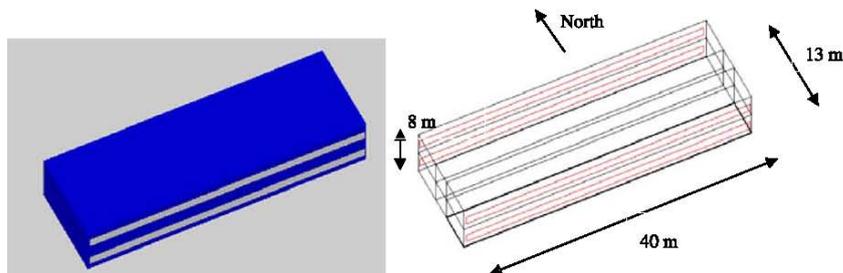


FIG.1 – Office and corridors model

The office zones have windows on the north and on the south facade, the corridor and the east and west facade are simulated without any windows. The orientation of the model is north/south.

The construction elements are simulated with following components and U-values:

Floor		Intermediate Slab	
marking	thickness in cm	marking	thickness in cm
cementscreed	4	cementscreed	4
EPS	20	EPS	3
reinforced concrete	20	reinforced concrete	20
U = 0.19 W/m <sup>2</sup> K		U = 0.94 W/m <sup>2</sup> K	

External Slab		Intermediate wall	
marking	thickness in cm	marking	thickness in cm
EPS	25	Vertically perforated brick	5
reinforced concrete	20	ultra heat insulation	5
U = 0.15 W/m <sup>2</sup> K		Vertically perforated brick	5
		U = variable	

External wall	
marking	thickness in cm
EPS	20
vertically perforated brick	20
U = 0.16 W/m <sup>2</sup> K	

FIG.2 U-values of the construction elements

The different U-values of the intermediate walls are:

1. Coupled model:

$$U = 4.96 \text{ W/m}^2\text{K}$$

The coefficient of thermal conductivity of the vertically perforated brick and the ultra heat insulation is 100 W/mK

2. Not coupled model:

$$U = 0.002 \text{ W/m}^2\text{K}$$

The coefficient of thermal conductivity of the vertically perforated brick is 0.2 W/mK and coefficient for the ultra heat insulation is 0.0001 W/mK

Only the intermediate wall has different U-values, the intermediate slab has always an U-Value of 0.94 W/m<sup>2</sup>K. The difference between the ground floor and the first floor is not very big. The variation of the material parameters is only used for the intermediate wall.

## 2.2 Windows

U-value = 0.85 W/m<sup>2</sup>K, Solar heat gain coefficient: g-value = 0.50, shading reduction factor:  $F_{sh,g} = 0.80$  [1], Orientation: North and South. The size of the windows is length = 39.50 meters and height = 1.50 meters. (typical light-band facade). The sunscreen is activated by radiation above 300 W/m<sup>2</sup>K or an operative room temperature above 23 °C.

## 2.3 Use

The use of the building is simulated as a typical office. The use of the corridors is different to the use of the offices.

Temperature for heating = 20 °C

Temperature for cooling = 26 °C

The air change rate for each time step is defined with the following decision:

If  $T_{op} > T_{decision}$  and  $T_c < T_{air}$  the maximum of the air change rate is used. In every other case the minimum of the air change rate is used for each time step.

$T_{op}$            operative temperature of the room  
 $T_{decision}$      aim temperature for the room for the air change rate  
 $T_c$             temperature of the external environment  
 $T_{air}$           air temperature in the room

### 2.3.1 Internal gains and air change rate for simulation

Internal heat gains from 9:00 a.m. to 7:00 p.m. 16 W/m<sup>2</sup> in the offices and 0 W/m<sup>2</sup> for the corridors. The air change rates are between a minimum and a maximum value

office air change rate in h <sup>-1</sup>			corridor air change rate in h <sup>-1</sup>		
hours	minimum	maximum	hours	minimum	maximum
0:00 - 1:00	0.1	2	0:00 - 1:00	0.1	5
1:00 - 2:00	0.1	2	1:00 - 2:00	0.1	5
2:00 - 3:00	0.1	2	2:00 - 3:00	0.1	5
3:00 - 4:00	0.1	2	3:00 - 4:00	0.1	5
4:00 - 5:00	0.1	2	4:00 - 5:00	0.1	5
5:00 - 6:00	0.1	2	5:00 - 6:00	0.1	5
6:00 - 7:00	0.1	2	6:00 - 7:00	0.1	5
7:00 - 8:00	0.1	2	7:00 - 8:00	0.1	5
8:00 - 9:00	0.4	0.4	8:00 - 9:00	0.4	0.4
9:00 - 10:00	0.4	0.4	9:00 - 10:00	0.4	0.4
10:00 - 11:00	0.4	0.4	10:00 - 11:00	0.4	0.4
11:00 - 12:00	0.4	0.4	11:00 - 12:00	0.4	0.4
12:00 - 13:00	0.4	0.4	12:00 - 13:00	0.4	0.4
13:00 - 14:00	0.4	0.4	13:00 - 14:00	0.4	0.4
14:00 - 15:00	0.4	0.4	14:00 - 15:00	0.4	0.4
15:00 - 16:00	0.4	0.4	15:00 - 16:00	0.4	0.4
16:00 - 17:00	0.4	0.4	16:00 - 17:00	0.4	0.4
17:00 - 18:00	0.4	0.4	17:00 - 18:00	0.4	0.4
18:00 - 19:00	0.4	0.1	18:00 - 19:00	0.1	0.1
19:00 - 20:00	0.1	0.1	19:00 - 20:00	0.1	0.1
20:00 - 21:00	0.1	0.1	20:00 - 21:00	0.1	0.1
21:00 - 22:00	0.1	2	21:00 - 22:00	0.1	5
22:00 - 23:00	0.1	2	22:00 - 23:00	0.1	5
23:00 - 24:00	0.1	2	23:00 - 24:00	0.1	5

FIG.3 Maximum and Minimum of air change rate for the offices and the corridors

### 2.3.2 Internal gains and air change rate for monthly balance method

For the monthly method the values for the air change rate and the internal gains which used in the simulation must be the average value of 24 hours.

The average for the internal gains is for the offices: 6.66 W/m<sup>2</sup> and for the corridor it is 0 W/m<sup>2</sup>.

The air change rate for the offices to calculate the heating energy demand is the average of the minimum it is 0.225 h<sup>-1</sup>, to calculate the cooling energy demand the average of the maximum is 1.1 h<sup>-1</sup>.

The air change rate for the corridors to calculate the heating energy demand is the average of the minimum it is  $0.225 \text{ h}^{-1}$ , the same value as for the offices, to calculate the cooling energy demand the average of the maximum is  $2.47 \text{ h}^{-1}$ .

### 3. Results for different climates

The simulation program (buidopt) was designed by the Center for Building Physics and Building Acoustics in Vienna, the program has been validated by using data from the ANNEX 41. [2]

To change the climate, different locations for the model were chosen. The following locations are used:

Vienna (European continental climate), Beijing (Asiatic continental climate), Palermo (mediterranean climate), Moscow (winter cold climate).

The aim temperature for the air change rate in the following results is  $23 \text{ }^\circ\text{C}$ .

#### 3.1 Heating and cooling demand

The results for heating and cooling demand:

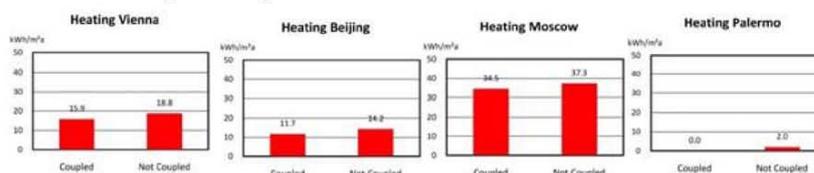


FIG.4 Heating demand for office and corridors model

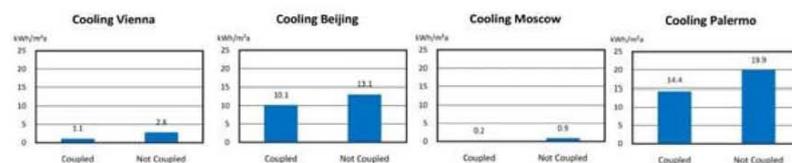


FIG.5 Cooling demand for office and corridors model

The effects of coupling reduce the energy demand for heating and cooling. Furthermore is a coupled model a realistic model, coupling effects (transmission) are very important for the cooling demand to reduce the maximum cooling loads. The U-value of an intermediate wall in real is between  $0.2$  and around  $1.0 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

#### 3.2 Comparison of simulation with monthly method

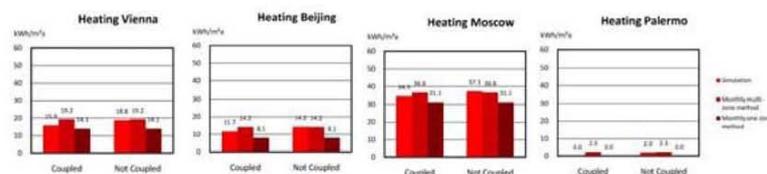


FIG.6 Heating demand for office and corridors model – monthly method and simulation

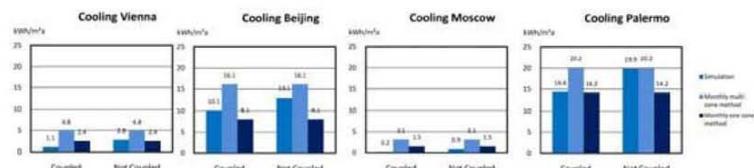


FIG.7 Cooling demand for office and corridors model – monthly method and simulation

For each location the results of the monthly one zone method is not so big as the results of the simulation. For the location Vienna the monthly one zone method is not correct for not coupled models.

#### 4. Results of systematic variation

To get a systematic variation of the gain loss ratio and the time constant the parameters Gamma and Tau must be varied for the office and corridors model.

To get a variation of gain loss ratio the size of the windows for each orientation was varied (a model without any windows to a full glazing facade model). The variation of the time constant was realized by the variation of the storage capacity for each material.

The following results are calculated with a coupled model but not only with transmission between the offices and the corridors also with airflow of 800 m³/h airflow between the corridor and the offices for better coupling.

Three parameters Gamma, Tau and C (storage capacity) are important for the following diagrams:

$$G = \frac{1}{A_{\text{ges}}} \sum_i A_{g,i} \cdot g_i \quad (1)$$

$$K = \frac{1}{A_{\text{ges}}} \left( \sum_i A_{e,i} \cdot U_i + 0.33 \cdot \sum_k V_k \cdot n_k \right) \quad (2)$$

$$C = \frac{1}{A_{\text{ges}}} \sum_i A_i \cdot \sum_m c_m \cdot \rho_m \cdot d_m \quad (3)$$

$$\text{Gamma} = \frac{G}{K} \text{ in } \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}} \quad (4)$$

$$\text{Tau} = \log \left( \frac{C}{K} \right) \text{ in hours} \quad (5)$$

G	Total energy transmission value
K	Heat transition value in W/m²K
C	Storage capacity in J/m²K
A <sub>ges</sub>	Outer surface of the building in m²
A <sub>g,i</sub>	Area of transparent construction element in m²
g <sub>i</sub>	Total energy transmission value for one construction element
A <sub>e,j</sub>	Outer surface of one construction element in m²
U <sub>j</sub>	U-value of one in construction element W/m²K
V <sub>k</sub>	Volume of the building in m³
n <sub>k</sub>	Necessary minimum effective air change rate in h <sup>-1</sup>
A <sub>i</sub>	Area of one construction element in m²
c <sub>m</sub>	Specific storage capacity in J/kgK
ρ <sub>m</sub>	Density in kg/m³
d <sub>m</sub>	Thickness in m

### 4.1 Air change rate for simulation and monthly balance method

The aim temperature for the air change rate in the following results is 23 °C during the summer period (summer is the period between 01<sup>st</sup> May and 30<sup>th</sup> September) and 20 °C during the winter period (winter is the period between 01<sup>st</sup> October to 30<sup>th</sup> April) for the offices. The aim temperature for the air change rate in the following results is 23 °C during the summer period (summer is the period between 01<sup>st</sup> May and 30<sup>th</sup> September) and 15 °C during the winter period (winter is the period between 01<sup>st</sup> October to 30<sup>th</sup> April) for the corridors.

The location for the calculation is Vienna.

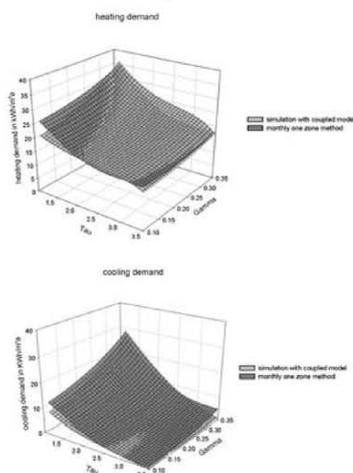
office air change rate in h <sup>-1</sup>				corridor air change rate in h <sup>-1</sup>			
hours	minimum	maximum		hours	minimum	maximum	
0:00 - 1:00	0.1	2		0:00 - 1:00	0.1	5	
1:00 - 2:00	0.1	2		1:00 - 2:00	0.1	5	
2:00 - 3:00	0.1	2		2:00 - 3:00	0.1	5	
3:00 - 4:00	0.1	2		3:00 - 4:00	0.1	5	
4:00 - 5:00	0.1	2		4:00 - 5:00	0.1	5	
5:00 - 6:00	0.1	2		5:00 - 6:00	0.1	5	
6:00 - 7:00	0.1	2		6:00 - 7:00	0.1	5	
7:00 - 8:00	0.1	2		7:00 - 8:00	0.1	5	
8:00 - 9:00	0.1	2		8:00 - 9:00	0.1	5	
9:00 - 10:00	0.4	2		9:00 - 10:00	0.1	5	
10:00 - 11:00	0.4	2		10:00 - 11:00	0.1	5	
11:00 - 12:00	0.4	2		11:00 - 12:00	0.1	5	
12:00 - 13:00	0.4	2		12:00 - 13:00	0.1	5	
13:00 - 14:00	0.4	2		13:00 - 14:00	0.1	5	
14:00 - 15:00	0.4	2		14:00 - 15:00	0.1	5	
15:00 - 16:00	0.4	2		15:00 - 16:00	0.1	5	
16:00 - 17:00	0.4	2		16:00 - 17:00	0.1	5	
17:00 - 18:00	0.4	2		17:00 - 18:00	0.1	5	
18:00 - 19:00	0.4	2		18:00 - 19:00	0.1	5	
19:00 - 20:00	0.1	2		19:00 - 20:00	0.1	5	
20:00 - 21:00	0.1	2		20:00 - 21:00	0.1	5	
21:00 - 22:00	0.1	2		21:00 - 22:00	0.1	5	
22:00 - 23:00	0.1	2		22:00 - 23:00	0.1	5	
23:00 - 24:00	0.1	2		23:00 - 24:00	0.1	5	

FIG.8 Maximum and Minimum of air change rate for the offices and the corridors

For the monthly one zone model the following air change rates are used:

The air change rate for the offices to calculate the heating energy demand is the average of the minimum it is 0.225 h<sup>-1</sup>, to calculate the cooling energy demand the average of the maximum is 0.86 h<sup>-1</sup>. The air change rate for the corridors to calculate the heating energy demand is the average of the minimum it is 0.10 h<sup>-1</sup>. To calculate the cooling energy demand the average of the maximum is 0.73 h<sup>-1</sup>.

### 4.2 Comparison of simulation and monthly one zone method

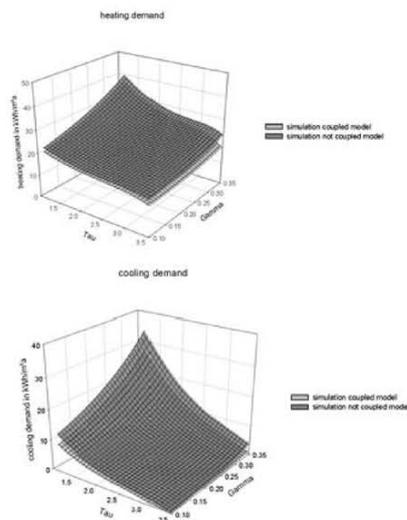


**FIG.9 Heating and cooling demand for the office and corridors model with different Gamma and Tau/simulation and monthly one zone method**

For Vienna the cooling demand with the monthly one zone method for real office buildings ( $\tau < 1.50$ ,  $\gamma 0.20 - 0.35 \text{ m}^2\text{K/W}$ ) is bigger than the simulated results. The heating demands calculated with the monthly one zone method for real office buildings under values the simulated results.

The next diagram is the comparison of coupled and not coupled models. The coupled model has an intermediate wall with an U-value of  $4.96 \text{ W/m}^2\text{K}$  and  $800 \text{ m}^3/\text{h}$  airflow between the corridor and the offices.

#### 4.3 Effect of coupling



**FIG.10 Heating and cooling demand for the office and corridors model with different Gamma and Tau/coupled and not coupled**

The energy demand for a coupled model is smaller than the energy demand for a not coupled model. The difference between an energy demand calculated by the monthly one zone method and a not coupled model simulation cannot be unconsidered.

#### 4.4 Effect of night ventilation

For the results without night ventilation the air change rates are, for the corridors:  $0.10 \text{ h}^{-1}$  all the time and for the offices  $0.40 \text{ h}^{-1}$  from 8:00 a.m. to 7:00 p.m. otherwise  $0.10 \text{ h}^{-1}$ . The aim temperature for the results without night ventilation is for the offices the aim temperature without night ventilation is  $23 \text{ }^\circ\text{C}$  the whole year, for the corridor it is  $23 \text{ }^\circ\text{C}$  during the winter period and  $20 \text{ }^\circ\text{C}$  during the summer period.

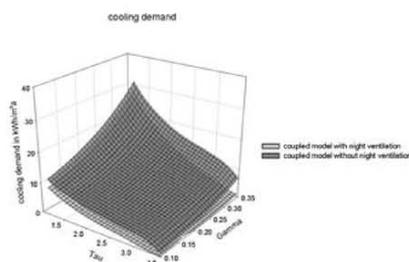


FIG.11 Cooling demand for the office and corridors model with different Gamma and Tau/coupled model with night ventilation and without night ventilation

## 5. Conclusions

The so called Monthly Balance Method calculates the heating and cooling demand for Vienna in a realistic way. The comparison of the simulation and the monthly method demonstrates that the monthly multi-zone method most of the time overvalues the real energy demand, not only for Vienna also for different climates. This method even overvalues the simulations of ventilation concepts and coupling effects. The one zone method undervalues coupling effects but for Vienna the difference between the results of the simulation and the monthly one zone method is not very big even for realistic buildings. For other locations the monthly one zone method is not adequate. For Beijing and Palermo the real energy demand is higher than the result of the monthly one zone method.

The comparison of simulation and monthly one zone method for different Tau and Gamma values leads to the conclusion that the monthly one zone method for Vienna calculates realistic values, if the building has coupling effects. The effect of coupling is shown and with coupling effects the energy demand for heating and cooling can be reduced. The influence of night ventilation for the cooling demand in Vienna is for buildings with many windows very high. The cooling demand can be reduced to halve if the storage capacity is very high. ( $\tau$  higher than about 300 hours)

## 6. References

- [1] DRAFT ISO/DIS 13790 (2007). Energy performance of buildings – Calculation of energy use for space heating and cooling, *International Standard ISO/FDIS 13790: 2007(E)*
- [2] Final report of IEA ANNEX 41 (in preparation) 2008

## 7 ANHANG 7

### 7.1 Klimaflächen

In der Arbeit von Dr. Burmeister und Prof. Bruno Keller [Bur96] wurde ein Weg aufgezeigt wie ein Gebäude durch eine 3D-Fläche in seinem Energieverbrauch für Heizen und Kühlen charakterisiert werden kann.

Die folgenden Überlegungen sind aus [Bur96] und [Kel97] entnommen.

Dazu ist es notwendig eine dynamische Raumbilanz aufzustellen.

Die Leistungsbilanz eines Raumes stellt sich wie folgt dar, wenn alle Parameter auf 1 m<sup>2</sup> Außenfläche bezogen werden.

$$K \cdot [\vartheta_i(t) - \vartheta_a(t)] = \psi \cdot I(t) + \frac{dQ(t)}{dt} + P_{\text{heiz/kühl}}(t) + P_{\text{int}}(t)$$

K verallgemeinerter, auf die Außenfläche bezogener Verlustfaktor

$\vartheta_i$  Raumtemperatur

$\vartheta_a$  Außenlufttemperatur

$\psi$  Bezogene Gesamtenergie-Transmission der Sonneneinstrahlung durch transparente Wandelemente

I Einstrahlende Sonnenintensität durch Globalstrahlung

Q momentan gespeicherte Wärmemenge in den Innenwänden, Böden und Decken

$P_{\text{heiz/kühl}}$  Heiz- oder Kühlleistungen

$P_{\text{int}}$  andere innere Wärmeleistungen (abgegebene Wärme von Menschen, Geräten etc.)

Der betrachtete Raum erfährt durch seine Hülle eine Wechselwirkung mit dem Aussenklima. Die Hülle eines Gebäudes oder Raumes definiert sich durch ihre wärmedämmenden Eigenschaften und ihre Transmissionseigenschaften für die Sonnenstrahlung. Die Raumtemperatur ist einer der entscheidenden Parameter für den Zustand eines Raumes.

Ein Raum ist durch seine Innen und Außenfläche bestimmt, er steht unter dem Einfluss von Wettergrößen und inneren Wärmelasten.

teilweise

Der Parameter K beschreibt die Transmission durch die Außenfläche und den Wärmeaustausch der durch den Luftwechsel hervorgerufen wird.

$$K = \frac{1}{A_{\text{Aussen}}} \cdot \left[ \sum_i (A_i \cdot U_i + n_L \cdot V \cdot c_L \cdot \rho_L) \right]$$

$A_{\text{Aussen}}$  Außenfläche des Raumes

$A_i$  Fläche einer Außenfläche

$U_i$	Wärmedurchgangskoeffizient einer Außenfläche
$n_L$	Luftwechselrate des Raumes
$V$	Volumen des Raumes
$c_L$	Spezifische Wärmekapazität der Luft
$\rho_L$	Dichte der Luft

Für den Heizfall gibt also der Parameter  $K$  alle Verluste wieder, bzw. sind in  $K$  alle Verluste durch Wärmetransmission zusammengefasst.  $K$  ist ein Maß für die thermische Qualität der Gebäudehülle.

Der Parameter  $G$  beschreibt die auf den  $m^2$  der Außenfläche bezogene Gesamtenergie- transmission der Sonneneinstrahlung durch die transparenten Wandelemente.

$$G = \frac{1}{A_{\text{ausßen}}} \cdot \sum_i (A_j \cdot g_j)$$

$A_{\text{Aussen}}$	Außenfläche des Raumes
$A_j$	Fläche einer transparenten Außenfläche
$g_j$	Gesamtenergiedurchlassgrad einer transparenten Außenfläche

Die transparenten Flächen können für eine Fassadenrichtung zusammengefasst werden und zu einer auf die gesamte Außenfläche  $A_a$  bezogene Apertur  $\psi_i$  für jede Richtung  $i$  angegeben werden:

$$\psi_i = \frac{1}{A_a} \cdot \sum_k A_{\text{tr-k}} \cdot g_k$$

$A_a$	Außenfläche einer Fassadenseite
$A_{\text{tr-k}}$	Fläche einer transparenten Außenfläche
$g_k$	Gesamtenergiedurchlassgrad einer transparenten Außenfläche

Zur späteren Darstellung wird auch noch ein sogenanntes Gewinn-zu-Verlustverhältnis  $\gamma$  benötigt, es bildet sich aus  $\psi$  und  $K$ .

$$\gamma = \frac{\psi}{K}$$

Löst man diese Differentialgleichung für eine Speicherschicht, so erhält man die Leerlaufinnentemperatur. Mit Leerlaufinnentemperatur ist jene Temperatur zu verstehen, die

ohne den Einsatz von haustechnischen Geräten (Heiz- oder Kühlgeräte) entsteht. Setzen wir also  $P_{\text{heiz/kühl}}$  und  $P_{\text{int}}$  gleich Null, so ergibt sich für die Rauminnentemperatur folgende Lösung.

$$\vartheta_i(t) = \sum_{k=1}^{\infty} \frac{2 \cdot \beta}{1 + \beta + (\beta \cdot \mu_k)^2} \cdot \frac{1}{\tau_k} \cdot \int_{-\infty}^t e^{-\frac{(t-t')}{\tau_k}} \cdot \left[ \vartheta_a(t') + \frac{\psi}{K} \cdot I(t') \right] dt'$$

Für den Verlauf der Außentemperatur  $\vartheta_a(t)$ :

$$\vartheta_a(t) = \overline{\vartheta_a} + \Delta \vartheta_a \cdot \cos(\omega \cdot t + \varphi)$$

Wobei für  $\omega$  gilt:

$$\omega = \frac{2 \cdot \pi}{T}$$

und  $\varphi$  ist die Phasenverschiebung der Außentemperatur gegenüber dem Sonnenuntergang. Setzt man die Einstrahlung wie folgt an,

$$I(t) = I_{\text{max}} \cdot \left[ \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} a_n \cdot \cos\left(n \cdot \frac{2 \cdot \pi}{T} \cdot t\right) \right]$$

ergibt sich folgende Lösung:

$$\begin{aligned} \vartheta_i(t) = & \left[ \overline{\vartheta_a} + \frac{\psi}{K} \cdot I_{\text{max}} \cdot \frac{a_0}{2} \right] \cdot \sum_{k=1}^{\infty} \frac{2 \cdot \beta}{1 + \beta + (\beta \cdot \mu_k)^2} + 2 \cdot \beta \cdot \Delta \vartheta_a \cdot \cos(\omega \cdot t + \varphi^I) \cdot \\ & \cdot \sqrt{\left[ \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{(1 + \beta + (\beta \cdot \mu_n)^2) \cdot (1 + \omega^2 \cdot \tau_n^2)} \right]^2 + \left[ \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\omega \cdot \tau_n}{(1 + \beta + (\beta \cdot \mu_n)^2) \cdot (1 + \omega^2 \cdot \tau_n^2)} \right]^2} + \\ & + \frac{\psi}{K} \cdot I_{\text{max}} \cdot \sum_{n=1}^{\infty} \sum_{m=1}^{\infty} \left[ \frac{2 \cdot \beta \cdot a_m \cdot \cos(m \cdot \omega \cdot t + \varphi_{mn}^I)}{(1 + \beta + (\beta \cdot \mu_n)^2) \cdot \sqrt{1 + m^2 \cdot \omega^2 \cdot \tau_n^2}} \right] \end{aligned}$$

Mit  $\varphi^I$  und  $\varphi^{II}$  als:

$$\varphi^I = \varphi - \arctan \left( \frac{\sum_{n=1}^{\infty} \frac{\omega \cdot \tau_n}{(1 + \beta + (\beta \cdot \mu_n)^2) \cdot (1 + \omega^2 \cdot \tau_n^2)}}{\sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{(1 + \beta + (\beta \cdot \mu_n)^2) \cdot (1 + \omega^2 \cdot \tau_n^2)}} \right)$$

$$\varphi^I = - \arctan (m \cdot \omega \cdot \tau_n)$$

Die angegebenen Gleichungen stellen eine Lösung der Wärmeleitungsgleichung dar.

$\beta$  ist der Kopplungsfaktor von der Innenoberfläche bis zum Außenraum. Der Kopplungsfaktor ist der Reziprokwert der Biot-Zahl  $B_i$ . Damit werden alle Eigenwerte und somit alle Eigenfunktionen bestimmt.

Für die Eigenwerte  $\mu_n$  gilt grundsätzlich:

- bei beidseitig gleichen Randbedingungen:

$$\mu_n = n \cdot \pi$$

- bei unterschiedlichen Randbedingungen:

$$\mu_n = \frac{2 \cdot n - 1}{2} \cdot \pi$$

- Gemischte Randbedingungen:

$$\tan \mu_n = \frac{\mu_n \cdot \beta}{\mu_n^2 \cdot \beta - 1}$$

Die Zeitkonstanten  $\tau_n$  sind für einen allgemeinen Schichtaufbau wie folgt definiert.

$$\tau_n = \frac{R \cdot C}{\mu_n^2}$$

Hier tritt also eine sogenannte Eigenzeitkonstante auf.

Die effektive notwendige Leistung, die für das Heizen und Kühlen aufgewendet werden muss, erhält man aus einer Temperaturkorrektur durch Multiplikation mit  $K$ .

$$P_{\text{Kühlen}} = K \cdot (\vartheta_i(t) - \vartheta_{\text{max}})$$

$$P_{\text{Heizen}} = K \cdot (\vartheta_{\text{min}}(t) - \vartheta_i(t))$$

Zur Gebäudeoptimierung ist es notwendig den Verlauf der Leerlauftemperatur möglichst nahe an das Komfortband (ein Temperaturbereich bei dem sich die größte Anzahl von Menschen wohlfühlen) zu bringen, sowohl für die Heizperiode als auch für die Kühlperiode. Durch die Wahl einer genügend großen Zeitkonstanten verhindert man das Überschreiten des Komfortbandes.

In [KEL97] werden folgende Maßnahmen zur Gebäudeoptimierung vorgeschlagen:

1. Der Verlustfaktor  $K$  sollte möglichst gering sein

Die Apertur  $\psi$  sollte so gewählt werden, dass das Gewinn-zu-Verlustverhältnis  $\gamma$  die Leerlauftemperatur  $\vartheta_i$  möglichst nahe am Komfortband heranbringt, ein Anhaltspunkt dafür ist

$$\psi = \frac{K}{T} \cdot (\vartheta_i - \overline{\vartheta_a})$$

2. Die Zeitkonstante  $T$  muss genügend groß gewählt werden, aber gleichzeitig muss die Amplitude der Zeitkonstante hinreichend beschränkt werden
3. Wäre eine zu große Zeitkonstante notwendig, hier sind natürlich Beschränkungen durch die Praxis gegeben, dann muss die Apertur reduziert werden. Dies muss solange vollzogen werden bis ein akzeptabler Kompromiss gefunden ist. Man führt somit eine sogenannte Optimierungsschleife ein.

Wertet man die angegebenen Gleichungen für stündliche Klimadaten aus und stellt die Ergebnisse in Funktion zu den Gebäudeparametern dar, so erhält man eine dreidimensionale Fläche, die als Klimafläche bezeichnet wird.

Man trägt die Gebäudezeitkonstante  $\tau$  und das Gewinn-zu-Verlustverhältnis  $\psi$  auf und trägt dazu eine Art Heizgradtage auf.

Die notwendige Leistung lässt sich wie folgt definieren.

$$\frac{P_{\text{Heiz}}(t)}{K} = |\vartheta_{\text{min}} - \vartheta_i(t)| \text{ für } \vartheta_i(t) < \vartheta_{\text{min}}$$

$$\frac{P_{\text{Kühl}}(t)}{K} = |\vartheta_i(t) - \vartheta_{\text{max}}| \text{ für } \vartheta_i(t) > \vartheta_{\text{max}}$$

Die Integration dieser Werte über die Zeit, d.h. über ein Jahr, ergibt somit

$$\Omega_{\text{heiz/kühl}}(\tau_{\text{eff}}, \gamma) = \frac{1}{K} \int_{t_1}^{t_2} P_{\text{heiz/kühl}}(t') dt'$$

eine Zahl mit der Einheit Ks oder Heizgradtag, wobei ein Heizgradtag 86400 Ks entspricht.

Man spricht hier von verallgemeinerten Heizgradtagen, die nur von den beiden Raumparametern  $\gamma$  und  $\tau_{\text{eff}}$  abhängen.

## 7.2 Klimaflächen - Beispiele

Trägt man die verallgemeinerten Heizgradtage als Funktion von  $\gamma$  und  $\tau_{\text{eff}}$  auf, so erhält man eine sogenannte Klimafläche.

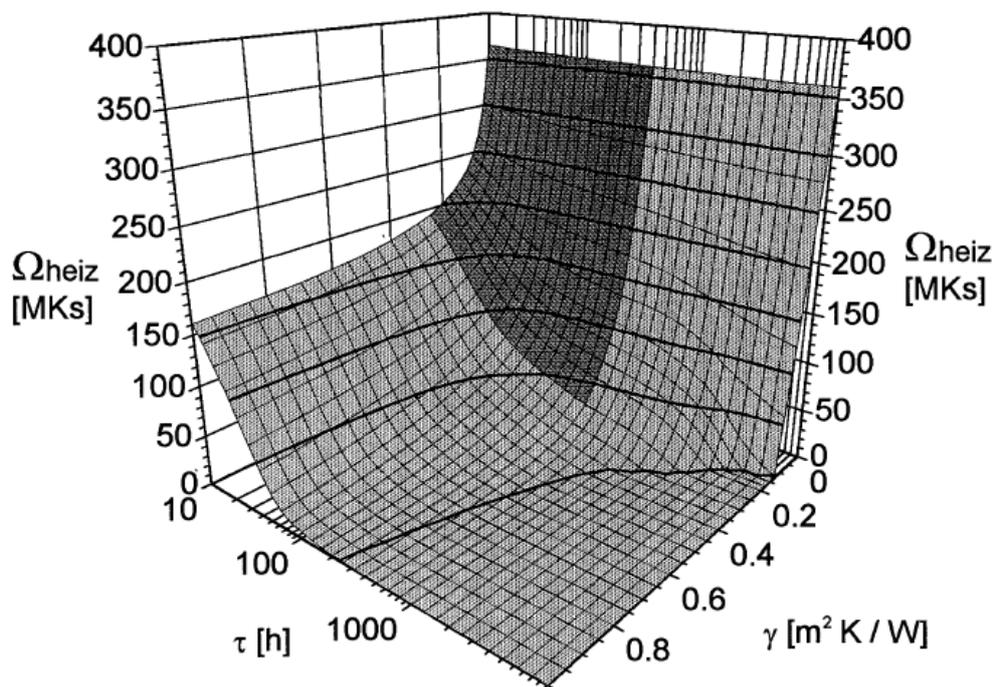


Abbildung 7-1 – Abbildung aus [Kel97], Klimafläche für Zürich:  $\Omega_{\text{heiz}}(T_{\text{eff}}, \gamma)$  für  $20 \leq \vartheta_i \leq 26 \text{ }^\circ\text{C}$ , Südseite, mit Sonnenschutz und Nachtabenkung bis  $16 \text{ }^\circ\text{C}$ .

In [Kel97] ist weiters angegeben, dass der dunkel schraffierte Bereich die heute realisierbaren Gebäude darstellt. Dabei ist die Gebäudekonstante von Null Stunden bis 400 Stunden begrenzt, der Wert  $\gamma$  von  $0 \text{ m}^2\text{K/W}$  bis  $0,25 \text{ m}^2\text{K/W}$  begrenzt. Die Gebäudezeitkonstante hängt von der Speicherkapazität des Gebäudes ab und von den Transmissions- und Lüftungsverlusten des Gebäudes. Bei Gebäuden mit hohem Dämmniveau, entsprechender Gebäudedichtheit, einer Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung und massiver Bauweise wird die Zeitkonstante höher als 400 Stunden. Der Wert  $\gamma$  ist ein Maß für den Fensteranteil und somit kann dieser bei hochverglasten Außenfassaden größer als  $0,25 \text{ m}^2\text{K/W}$  werden. Diese Heizklimafläche zeigt welchen Weg man bei der Gebäudeoptimierung beschreiten muss. Es wird ersichtlich wo eine Veränderung von  $\gamma$  oder  $\tau$  keine Auswirkung auf den Energiebedarf für das Heizen hat.

Die Klimaflächen können auch noch in anderer Weise verwendet werden. Verwendet man die Leerlauftemperaturen zu bestimmten Extremwerten, sowohl für das Heizen als auch für das Kühlen, so kann man daraus die maximal auftretenden Leistungsbedürfnisse während eines Jahres erhalten.

$$\Pi_{\text{heiz}}(\tau_{\text{eff}}, \gamma) = \text{Max} (\vartheta_{\text{min}} - \vartheta_i(t))$$

$$\Pi_{\text{kühl}}(\tau_{\text{eff}}, \gamma) = \text{Max} (\vartheta_i(t) - \vartheta_{\text{max}})$$

Diese beiden Werte können in Kelvin angegeben werden und sind für haustechnische Anlagen entscheidende Bemessungsgrößen.

In [Kel97] werden diese Flächen als Auslegungstemperaturdifferenzflächen bezeichnet.

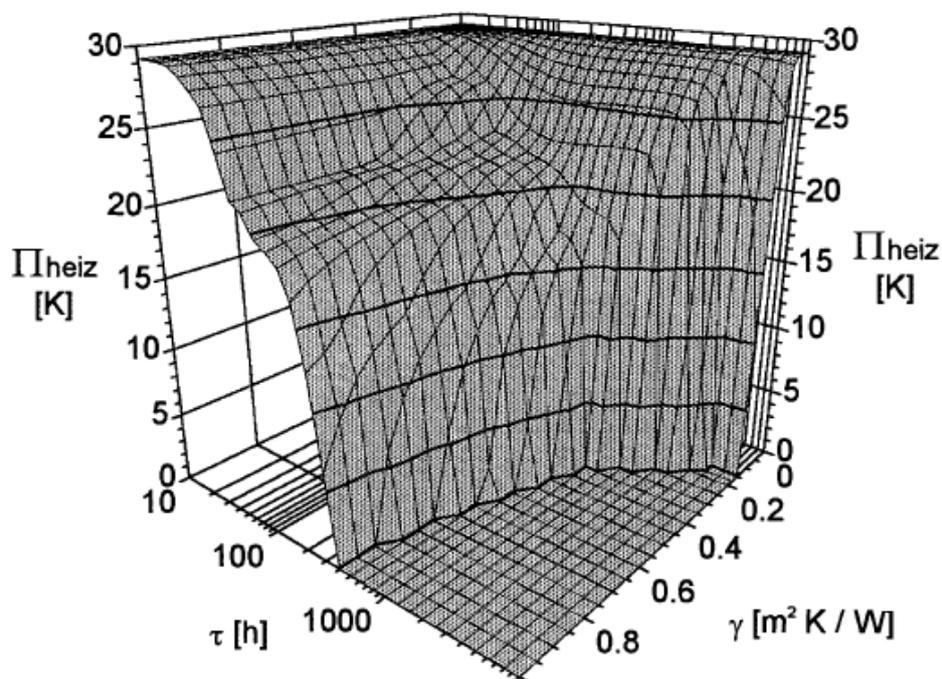


Abbildung 7-2 – Abbildung aus [Kel97], Auslegungstemperaturdifferenzfläche  $\Pi_{\text{heat max}}(T, \gamma)$  für  $\vartheta_{\text{min}} = 20$  °C,  $\vartheta_{\text{max}} = 26$  °C) für Zürich 1984, Südseite

### 7.3 Beurteilung der Klimaflächen

Der Vorteil bei den Klimaflächen ist die veranschaulichte Methode, dass die Optimierung eines Gebäudes im Wesentlichen nur von drei Parametern abhängt.

Der Nachteil ist, dass die Klimafläche immer nur für eine Orientierung, das bedeutet für eine Orientierung der Fassadenfläche gilt. Diese Gegebenheit macht die Gebäudeoptimierung mit Klimaflächen umständlich.

Die Optimierung und Betrachtung der Heizklimaflächen und Kühlklimaflächen ergeht auf Raumniveau, dies ist für die Gesamtbeurteilung der Gebäudeperformance hinsichtlich des Energieverbrauchs nur bedingt befriedigend.

Die Klimaflächen stellen eine wesentliche und wichtige Arbeit für die systematische Gebäudeoptimierung dar. Die Reduktion eines Gebäudes auf drei entscheidende Parameter C, K und G ist ein sinnvoller Schritt. Die Darstellung der notwendigen Energie für das Heizen und Kühlen eines Gebäudes, in Abhängigkeit dieser drei Parameter in Flächen, erlaubt eine systematische Optimierung, wenn auch nur für eine Orientierung.