



**PASSIV
HAUS
INSTITUT**

Arbeitskreis kostengünstige Passivhäuser

- Phase V -

2009 - 2012; Arbeitskreis 40 bis 48

**Strategien für Passivhaus-Nichtwohngebäude
Wirtschaftlichkeitsbewertung und Feldmessung
Erdwärmennutzung
Nachhaltigkeit**

Abschlussbericht zu AK 40 bis 48

Träger und Förderer des Arbeitskreises Phase V sind:

- DBU – Deutsche Bundesstiftung Umwelt
- Hessisches Ministerium für Umwelt, Energie, Landwirtschaft und Verbraucherschutz
- proKlima – der enercity-Fonds
- FAAG Technik GmbH

Darmstadt, im Juni 2013



**PASSIV
HAUS
INSTITUT**

Arbeitskreis kostengünstige Passivhäuser

- Phase V -

2009 - 2012; Arbeitskreis 40 bis 48

Abschlussbericht zu AK 40 bis 48

Autoren: Dr. Jürgen Schnieders, Univ.-Prof. Dr. Wolfgang Feist

unter Mitarbeit von:

Annette Bähr, Zeno Bastian, Torsten Bax, Franziska Bockelmann, Kristin Bräunlich, Peter Dorn, Dr. Witta Ebel, Marc Großklos, Jessica Grove-Smith, Klaus J. Hansen, Wolfgang Hasper, Dr. Stephan Heinrich, Michael Hörner, Anne Huse, Ueli Kasser, Dr. Berthold Kaufmann, Erwin Keck, Dr. Jens Knissel, Prof. Dr.-Ing. Roland Koenigsdorff, Dr.-Ing. Benjamin Krick, Prof. Dr.-Ing. Jörn Krimmling, Urs Lautner, Clemens Lehr, Laszlo Lepp, Gunter Lindemann, Lutz Löbel, Harald Malzer, Florian Meffert, Michael Nitze, Søren Peper, Dr. Rainer Pfluger, Wilfried Pohl, Tanja Schulz, Roland Schumacher, Klaus Schweitzer, Susanne Theumer, Michael Tribus, Alexandra Troi, Rainer Vallentin, Waldemar Wagner und Matthias Werner.

Darmstadt, im Juni 2013

Inhaltsverzeichnis

1	Vorwort	6
2	Stand der Passivhaus-Entwicklung zu Beginn der Phase V	8
3	Zielsetzungen des Arbeitskreises kostengünstige Passivhäuser Phase V	11
4	Vorgehen	12
5	Information der Öffentlichkeit	14
6	Passivhausforschung: Inhaltliche Schwerpunkte für Phase V: 2009 bis 2012 – wissenschaftliche Grundlagen für die Arbeitskreissitzungen	15
7	Arbeitskreissitzung und Protokollband Nr. 40 Passivhaus-Verkaufsstätten	30
	7.1 Inhalt des 40. Protokollbandes	32
	7.2 Ausgewählte Teile aus dem Inhalt von AK 40	33
8	Arbeitskreissitzung und Protokollband Nr. 41 Somerverhalten von Nichtwohngebäuden im Passivhausstandard; Projekterfahrungen und neue Erkenntnisse	40
	8.1 Inhalt des 41. Protokollbandes	42
	8.2 Ausgewählte Teile aus dem Inhalt von AK 41	43
9	Arbeitskreissitzung und Protokollband Nr. 42 Ökonomische Bewertung von Energieeffizienzmaßnahmen	59
	10.1 Inhalt des 42. Protokollbandes	61
	10.2 Ausgewählte Teile aus dem Inhalt von AK 42	62
11	Arbeitskreissitzung und Protokollband Nr. 43 Erdwärmeübertrager und Erdsonden im Passivhaus	69
	11.1 Inhalt des 43. Protokollbandes	70
	11.2 Ausgewählte Teile aus dem Inhalt von AK 43	71
12	Arbeitskreissitzung und Protokollband Nr. 44 Lüftung in Passivhaus-Nichtwohngebäuden	78
	12.1 Inhalt des 44. Protokollbandes	79
	12.2 Ausgewählte Teile aus dem Inhalt von AK 44	80
13	Arbeitskreissitzung und Protokollband Nr. 45 Richtig messen in Energiesparhäusern	89
	13.1 Inhalt des 45. Protokollbandes	90
	13.2 Ausgewählte Teile aus dem Inhalt von AK 45	91
14	Arbeitskreissitzung und Protokollband Nr. 46 Nachhaltige Energieversorgung mit Passivhäusern	97
	14.1 Inhalt des 46. Protokollbandes	98
	14.2 Ausgewählte Teile aus dem Inhalt von AK 46	99
15	Arbeitskreissitzung und Protokollband Nr. 47 Energieeffiziente Kantinen und Gewerbeküchen	107

Abschlussbericht zu AK 40 bis 48 – Phase V: 2009-2012

15.1	Inhalt des 47. Protokollbandes	108
15.2	Ausgewählte Teile aus dem Inhalt von AK 47	109
16	Arbeitskreissitzung und Protokollband Nr. 48 Einsatz von Passivhaustechnologien bei der Modernisierung von Nichtwohngebäuden	119
16.1	Inhalt des 48. Protokollbandes	121
16.2	Ausgewählte Teile aus dem Inhalt von AK 48	122
17	Literatur	132
18	Anhang: Fotogalerie	133

1 Vorwort

Abschluss der Phase V Arbeitskreis kostengünstige Passivhäuser

Seitdem der Arbeitskreis kostengünstige Passivhäuser 1996 gegründet wurde, schreibt er Erfolgsgeschichte. Das neue Konzept des kostengünstigen Passivhauses, im Arbeitskreis ursprünglich in einer geschlossenen Gruppe von Pionieren erforscht, diskutiert und umgesetzt, lockte bereits auf der ersten Passivhaustagung 200 fachkundig Interessierte an und wurde aufgrund der aktiven Informationspolitik des Arbeitskreises schnell verbreitet und vielfach umgesetzt.

Bereits aus der Umsetzungspraxis kamen Rückmeldungen, die in den folgenden Phasen des Arbeitskreises aufgenommen wurden. Zentrale Fragestellungen des energieeffizienten Bauens wurden seither für die Anwendungen aufgearbeitet. Jedes der ausgewählten Themen wird jeweils in einem Forschungsprojekt untersucht und anschließend in einer seit der Phase II des Arbeitskreises öffentlichen Veranstaltung präsentiert und mit dem interessierten Fachpublikum diskutiert. Die Ergebnisse wurden jeweils in bisher insgesamt 39 Protokollbänden veröffentlicht. Aus einer breiten Umsetzung der eingesetzten Techniken im Neu- und Altbau entsteht nicht nur eine bedeutende Entlastung der Umwelt, sondern auch eine hohe zusätzliche Wertschöpfung, die zu Mehrbeschäftigung auf allen Qualifikationsebenen führt.

In dieser Tradition steht auch die jetzt abgeschlossene Phase V des Arbeitskreises – die nicht minder aktuell war als die vorhergehenden Phasen.

Die Träger und Förderer des Arbeitskreises Phase V waren:

- DBU – Deutsche Bundesstiftung Umwelt
- Hessisches Ministerium für Wirtschaft, Verkehr und Landesentwicklung
- proKlima – der enercity-Fonds
- FAAG Technik GmbH

Die im Folgenden beschriebenen Schwerpunkte geben jeweils Schnappschüsse aus aktuellen Debatten der Forschung und Umsetzung des Passivhauskonzepts wieder.

Abschlussbericht zu AK 40 bis 48 – Phase V: 2009-2012

Der Arbeitskreis befasste sich mit den Themen:

- Passivhaus-Verkaufsstätten
- Somerverhalten von Nichtwohngebäuden im Passivhausstandard; Projekterfahrungen und neue Erkenntnisse
- Ökonomische Bewertung von Energieeffizienzmaßnahmen
- Erdwärmeübertrager und Erdsonden im Passivhaus
- Lüftung in Passivhaus-Nichtwohngebäuden
- Richtig messen in Energiesparhäusern
- Nachhaltige Energieversorgung mit Passivhäusern
- Energieeffiziente Kantinen und Gewerbeküchen
- Einsatz von Passivhaustechnologien bei der Modernisierung von Nichtwohngebäuden

Diese wurden jeweils wissenschaftlich bearbeitet und in einem anschließenden Arbeitskreis der Öffentlichkeit vorgestellt.

Der Arbeitskreis nimmt sich stets im Fokus der öffentlichen Debatte stehender Fragestellungen an und leistet durch deren Klärung einen zentralen Beitrag zur aktuellen Diskussion. Im Verlauf der Phase V waren eine verstärkte Internationalisierung des Passivhaus-Konzepts und eine weitere Intensivierung der Anwendung in Nichtwohngebäuden zu verzeichnen. Gleichzeitig bewegte sich die öffentliche Debatte verstärkt in Richtung von „Nearly zero energy buildings“, „Nullenergie-“ oder „Plus-Energie-Häusern“. Während die internationale Umsetzung des ursprünglich für deutsches Klima entwickelten Passivhaus-Gedankens in anderen Forschungsprojekten behandelt wurde, lag der Schwerpunkt der Phase V des Arbeitskreises auf dem Gebiet der Nichtwohngebäude. Eine eigene Arbeitskreissitzung widmete sich der nachhaltigen Energieversorgung mit Passivhäusern.

Die Arbeitskreise als Forschungsprojekt, Diskussionsplattform und Weiterbildungsveranstaltung und die hier erarbeiteten Forschungsergebnisse sind eine der wesentlichen Grundlagen für die Aus- und Weiterbildung der am Bau Beteiligten. Die Nachfrage nach dem Label „zertifizierter Passivhausplaner“ und der zugehörigen Qualifikation, die wesentlich auf den Inhalten der Arbeitskreise aufbaut, ist stetig gestiegen. Auch die neueren Fortbildungsangebote für das Handwerk stoßen auf reges Interesse. Die wichtige Funktion der Arbeitskreissitzungen, auch in der aktuellen Phase V, wird vor diesem Hintergrund offensichtlich.

2 Stand der Passivhaus-Entwicklung zu Beginn der Phase V

Nachdem die prinzipiellen Lösungsmöglichkeiten für den Bau von Wohngebäuden mit Passivhaus-Standard in der Phase I (1996-1998) und Phase II (1998-2000) aufgearbeitet wurden, ging es bei den Themen der Phase III (2002-2004 sowie 2004-2005) vor allem um die weitere Verbesserung der Wirtschaftlichkeit des Passivhaus-Konzeptes. Dies konnte insbesondere durch verfeinerte Projektierungsmethoden, Erschließung zusätzlicher Konstruktions- und haustechnischer Alternativen sowie durch weitergehende Standardisierung erfolgen.

Die Bemühungen um Standardisierung und *Verbesserung der Wirtschaftlichkeit* der Komponenten und Anlagen, nicht zuletzt im Rahmen des Arbeitskreises kostengünstige Passivhäuser (*Phase I-II*), haben den Passivhaus-Wohnungsneubau zu einem in sich schlüssigen und ausgereiften Baustandard weiterentwickelt.

Erste erfolgreiche Demonstrationsvorhaben zum Einsatz von Passivhaus-technologien bei der Altbau-Modernisierung zeigten bereits nach dem Abschluss der Phase II die nächsten Schritte auf. Insbesondere in der *Phase III* des Arbeitskreises konnten die Möglichkeiten für den Einsatz der Passivhaus-Technologie bei der *Modernisierung im Gebäudebestand* sowie dem Nichtwohnungsbau aufgezeigt werden. Zahlreiche Demonstrationsvorhaben haben die erfolgreiche Umsetzung in die Praxis bereits vollzogen.

In Phase III ging es primär um Verbreitung und Ausbau des Kenntnisstandes auch und gerade vor dem Hintergrund der zu dieser Zeit schwachen Baukonjunktur, eine Zielsetzung, die auch durch die Behandlung der Passivhaustechnologien in der Altbau-Modernisierung voll erfüllt wurde. In wissenschaftlicher Hinsicht mussten die Prinzipien und Technologien aus dem Neubau auf die Anwendung im Bestand übertragen werden. Im Bereich der Gebäudehülle waren bereits wertvolle Vorarbeiten geleistet worden, erste Umsetzungsbeispiele konnten bereits dokumentiert und veröffentlicht werden. Grundlegende Forschungsarbeiten waren jedoch zur Weiterentwicklung und Optimierung von Innendämmung erforderlich.

Die *Übertragung auf Nichtwohnbauten* verstärkte sich gegen Ende der Phase III, insbesondere mit der Thematik der energieeffizienten Raumkühlung, und setzte sich *in Phase IV* u.a. mit der Behandlung von Wärmebrücken in großen Gebäuden fort. Die Phase IV befasste sich außerdem mit jeweils aktuell kontrovers diskutierten Fragen wie dem Schallschutz beim Einsatz von Kompaktgeräten und der Heizung mit Biobrennstoffen, die für den Fortgang der Passivhausentwicklung von großer Bedeutung waren. Zudem wurden konkretisierte Handreichungen für die Altbau-Modernisierung geliefert, um die wirtschaftlich interessante und ökologisch

Abschlussbericht zu AK 40 bis 48 – Phase V: 2009-2012

entscheidend wichtige Strategie der *schrittweisen Sanierung* auszuarbeiten und in den Fokus der Diskussion zu rücken.

Folgende Themen wurden im Rahmen der Phasen I-IV bearbeitet und jeweils in Protokollbänden veröffentlicht:

Phase I:

- Fachdokumentation Nr. 1: Kostensparendes Bauen
- Fachdokumentation Nr. 2: Wärmebrücken, Wärmedämmung, Luftdichtheit
- Fachdokumentation Nr. 3: Superfenster im Passivhaus
- Protokollband Nr. 4: Lüftung im Passivhaus
- Protokollband Nr. 5: Energiebilanz und Temperaturverhalten
- Protokollband Nr. 6: Haustechnik im Passivhaus
- Protokollband Nr. 7: Stromsparen im Passivhaus
- Protokollband Nr. 8: Materialwahl, Ökologie und Raumlufthygiene
- Protokollband Nr. 9: Nutzverhalten
- Protokollband Nr. 10: Messtechnik und Messergebnisse
- Protokollband Nr. 11: Kostengünstige Passivhäuser
- Protokollband Nr. 12: Das Passivhaus - Baustandard der Zukunft?

Phase II:

- Protokollband Nr. 13: Energiebilanzen mit dem Passivhaus Projektierungs Paket
- Protokollband Nr. 14: Passivhaus-Fenster
- Protokollband Nr. 15: Passivhaus-Sommerfall
- Protokollband Nr. 16: Wärmebrückenfreies Konstruieren
- Protokollband Nr. 17: Dimensionierung von Lüftungsanlagen in Passivhäusern
- Protokollband Nr. 18: Qualitätssicherung beim Bau von Passivhäusern
- Protokollband Nr. 19: Stadtplanerische Instrumente zur Umsetzung von Passivhäusern
- Protokollband Nr. 20: Passivhaus-Versorgungstechnik

Phase III:

- Protokollband Nr. 21: Architekturbeispiele: Wohngebäude
- Protokollband Nr. 22: Lüftungsstrategien für den Sommer
- Protokollband Nr. 23: Einfluss der Lüftungsstrategie auf die Schadstoffkonzentration und -ausbreitung im Raum

Abschlussbericht zu AK 40 bis 48 – Phase V: 2009-2012

- Protokollband Nr. 24: Einsatz von Passivhaustechnologien bei der Altbau-Modernisierung
- Protokollband Nr. 25: Temperaturdifferenzierung in der Wohnung
- Protokollband Nr. 26: Neue Passivhaus-Gebäudetechnik mit Wärmepumpen
- Protokollband Nr. 27: Wärmeverluste durch das Erdreich
- Protokollband Nr. 28: Wärmeübergabe- und Verteilverluste im Passivhaus
- Protokollband Nr. 29: Hochwärmegedämmte Dachkonstruktionen
- Protokollband Nr. 30: Lüftung bei Bestandsanierung
- Protokollband Nr. 31: Energieeffiziente Raumkühlung
- Protokollband Nr. 32: Faktor 4 auch bei sensiblen Altbauten: Passivhauskomponenten + Innendämmung
- Protokollband Nr. 33: Passivhaus-Schulen

Phase IV:

- Protokollband Nr. 34: Schallschutz beim Einsatz von Wärmepumpen und Wärmepumpen-Kompaktgeräten im Passivhaus
- Protokollband Nr. 35: Wärmebrücken und Tragwerksplanung – die Grenzen des wärmebrückenfreien Konstruierens
- Protokollband Nr. 36: Heizung mit Biobrennstoffen für Passivhäuser
- Protokollband Nr. 37: Optimierungsstrategien für Fensterbauart und Solarapertur unter gleichzeitiger Berücksichtigung von Tageslicht, Solargewinnen und Sommerklima
- Protokollband Nr. 38: Heizsysteme im Passivhaus – Statistische Auswertung und Systemvergleich
- Protokollband Nr. 39: Schrittweise Modernisierung mit Passivhaus-Komponenten

Die Protokollbände können vom Passivhaus Institut bezogen werden.

Zu Beginn der Phase V hatte die Passivhausentwicklung damit einen Stand erreicht, der eine breite Umsetzung des Standards im Neu- und Altbau erlaubt, und zwar auch bei typischen Nichtwohngebäuden wie Büros oder Schulen. Zunehmendes Interesse war jedoch in der Anwendung bei spezielleren Nichtwohngebäuden wie Schwimmbädern und Supermärkten zu verzeichnen, und in fast allen Bereichen des Passivhaus-Nichtwohnbaus waren durch die bis dato realisierten Projekte neue, oft sehr kontrovers diskutierte Fragestellungen entstanden, deren Bearbeitung sich die Sitzungen der Phase V zum Ziel gesetzt hatten.

3 Zielsetzungen des Arbeitskreises kostengünstige Passivhäuser Phase V

Seit seiner Gründung versteht sich der Arbeitskreis kostengünstige Passivhäuser als Schnittstelle von Theorie und Praxis und Katalysator für die Umsetzung.

Nach den erfolgreichen Phasen I-IV ist insbesondere im Wohnungsbau eine breite Marktdurchdringung der Effizienztechnologie zu beobachten (vgl. vorheriger Abschnitt). Ziel und Aufgabe der Phase V des Arbeitskreises war schwerpunktmäßig die Übertragung der Grundgedanken des Passivhaus-Konzepts auf verschiedene Aspekte des Nichtwohnbaus.

Stets spielt bei den Forschungsarbeiten die Wirtschaftlichkeit und praktische Anwendbarkeit eine zentrale Rolle. Neuen, für Passivhaus-Neubau und Modernisierung sinnvollen und nützlichen Komponenten, welche bislang nur im Forschungsbereich und in Demonstrationsvorhaben erprobt wurden, soll der Einsatz in der Baupraxis erleichtert werden. Dabei wurden sowohl innovative Bauprodukte als auch neue Verfahren weiterentwickelt, bekannt gemacht und für die Baupraxis angepasst.

Der Arbeitskreis kostengünstige Passivhäuser wurde in der Phase V (2009 – 2012) in der bisher erfolgreich praktizierten Form fortgesetzt.

Spezielle Zielsetzungen der Phase V waren:

- Anwendung der Passivhaus-Strategien auf Nichtwohngebäude
- Bereitstellung von Instrumenten zur ökonomischen und messtechnischen Bewertung
- Nutzung der oberflächennahen Geothermie in Passivhäusern
- Einordnung und Optimierung des Passivhauses im Sinne der Nachhaltigkeit

Die Zielgruppe der Ergebnisse des Arbeitskreises sind alle Bereiche der Bauschaffenden und Baubeteiligten. Angesprochen wird das gesamte Fachpublikum der Baubranche, von Entscheidungsträgern und Wohnungsbaugesellschaften über Fachplaner und Architekten bis hin zu Herstellern und Entwicklern. Der Arbeitskreis stellt damit die Verbindung zwischen den zum Teil komplexen wissenschaftlichen Zusammenhängen und der praktischen Umsetzung des Passivhausstandards dar.

Um diese Brückenfunktion zwischen Forschung und Baupraxis erreichen zu können, wird jeweils nach einer intensiven Recherche und Forschungsphase zu einem speziellen Thema eine Arbeitskreissitzung organisiert. Dabei werden die Forschungsergebnisse der Fachöffentlichkeit vorgestellt und diskutiert. Die Ergebnisse werden in Form eines Protokollbandes dokumentiert und veröffentlicht. Über die begleitende Öffentlichkeitsarbeit (Internetpräsenz und Pressemitteilungen) werden die Inhalte

einer breiten Fachöffentlichkeit zugänglich. Spezialthemen werden darüber hinaus auch von der Fachpresse aufgegriffen.

Der Arbeitskreis informiert Baubeteiligte und Bauschaffende möglichst umfassend und unabhängig über aktuelle wissenschaftliche Forschungsergebnisse und neue Technologien aus dem Passivhausbereich. Um die Unabhängigkeit der Information gewährleisten zu können, wird der Arbeitskreis nicht in Kooperation mit einzelnen Firmen, sondern vom Passivhaus Institut inhaltlich eigenverantwortlich und unabhängig durchgeführt. Zu speziellen Fachthemen werden zum Teil auch externe Referenten für die Arbeitskreissitzungen eingeladen, aber auch dabei wird auf höchstmögliche Unabhängigkeit der Information geachtet, um einseitige Betrachtung partikulärer Firmeninteressen zu vermeiden. Die Kosten für die externen Referenten beschränken sich auf Vortragshonorare und Spesen. Die externen Referate werden durch den Bewilligungsempfänger sorgfältig koordiniert.

Die möglichst breite Umsetzung der Energieeffizienz in Neubau und Bestand ist die wichtigste Voraussetzung, um die Klimaschutzziele auf diesem Gebiet erreichen zu können. Die Passivhaustechnologie ermöglicht sowohl bei Wohngebäuden als auch im Nichtwohnbau drastische Einsparungen von über 75 % der Heizwärme gegenüber den gültigen Vorschriften (EnEV). Dass mit diesem Baustandard das Ziel der Nachhaltigkeit für den Gebäudesektor vom Grundsatz her erreicht ist, wurde im Arbeitskreis 46 zum Thema „Nachhaltige Energieversorgung mit Passivhäusern“ aufgearbeitet. Erst die drastischen Reduktionen auf der Bedarfsseite ermöglichen die weitgehende Umstellung auf eine regenerative Energieversorgung.

Die Umweltrelevanz der Arbeiten und Veröffentlichungen des Arbeitskreises lässt sich nicht unmittelbar quantifizieren, sicher ist jedoch, dass die fachgerechte und praxistaugliche Information von Entscheidungsträgern und Bauschaffenden zu einer Beschleunigung bei der Einführung und Umsetzung der Passivhaustechnologie beiträgt: Dies lässt sich z.B. an der Zahl der verfügbaren Passivhaus geeigneten Komponenten ablesen, die sich in den letzten Jahren weiter stark erhöht hat. Dieser Effekt ist angesichts der drängenden Notwendigkeiten des Klimaschutzes ein nicht zu unterschätzender Faktor.

4 Vorgehen

Die Phase V baute auf den Erfahrungen und dem bewährten Konzept der bereits durchgeführten Arbeitskreis-Phasen I bis IV auf.

Vor dem Hintergrund der bereits durchgeführten Forschungsarbeiten sowie der umfangreichen Praxiserfahrungen aus realisierten Gebäuden im Passivhaus-Neubau und im modernisierten Bestand, sowohl bei Wohn- als auch bei Nichtwohngebäuden, wurden Themen behandelt, die sich als aktuell drängend erwiesen hatten.

Abschlussbericht zu AK 40 bis 48 – Phase V: 2009-2012

Im Vordergrund stand die Anwendung der Passivhaus-Prinzipien in Nichtwohngebäuden. Die Erfahrungen aus dem Wohnungsbau konnten für diesen Bereich zumindest teilweise genutzt werden, mussten aber den jeweils veränderten Aufgabenstellungen angepasst werden. Gebiete, auf denen zusätzlicher Forschungsbedarf bestand, wurden wissenschaftlich bearbeitet. Dabei war stets die praktische Anwendbarkeit und die Rückkopplung aus realisierten Bauprojekten, die Erarbeitung von Planungshinweisen und die Berücksichtigung der Kosten von Bedeutung.

Methodische Fragestellungen standen in den Arbeitskreisen 42 zur Ökonomie und 45 zu Feldmessungen im Vordergrund. Hier wurden primär langjährige Erfahrungen zusammengetragen, aufbereitet und ergänzt, um den Anwendern das nötige Handwerkszeug zur Verfügung zu stellen.

Der Arbeitskreis 46 Nachhaltigkeit nimmt insofern eine Sonderstellung ein, als dort nicht Planungshinweise im Zentrum der Bearbeitung standen, sondern eine globale Thematik in Bezug zur Passivhaus-Technologie behandelt wurde.

Alle Forschungsschwerpunkte wurden am PHI bearbeitet. Die Ergebnisse zu jedem Schwerpunktthema wurden grundsätzlich in öffentlich angebotenen Arbeitskreissitzungen unmittelbar an die interessierte Fachwelt vermittelt. Zu diesen Sitzungen wurden auch externe Fachreferenten eingeladen. Der eingeführte und bewährte Ablauf wurde beibehalten:

- In der Vorbereitungsphase zur Arbeitskreissitzung wurden die erforderlichen Forschungsarbeiten durchgeführt. Die anstehenden Fragen wurden inhaltlich geklärt und für eine mündliche Präsentation aufbereitet.
- Die Sitzungen selbst boten eine ausgezeichnete Kontrolle der erreichten Qualität bei der Lösung der Forschungsaufgaben. Sie stellten die Ergebnisse unmittelbar der Fachwelt zur Diskussion; Einwände und zusätzliche Anregungen wurden aufgenommen.
- Nach Durchführung der Sitzung wurden die Ergebnisse in Schriftfassung fixiert, wobei zusätzliche Erkenntnisse aus der Diskussion im Arbeitskreis aufgenommen wurden.

Der vorliegende Abschlussbericht zu den Arbeitskreissitzungen 40 bis 48 der Phase V beinhaltet in Kurzfassung die wichtigsten Ergebnisse.

5 Information der Öffentlichkeit

Umfang und Konzept der Öffentlichkeitsarbeit für den Arbeitskreis umfasste die Pressemitteilungen zu den AK-Sitzungen, Artikel in elektronischen Medien und die Erstellung sowie den Druck eines Faltblatts zum Arbeitskreis.

Um die Ergebnisse des Arbeitskreises kostengünstige Passivhäuser der Öffentlichkeit zu vermitteln, wurden Pressemitteilungen für die Fach- und Tagespresse erstellt. In der Regel wurde zu den Arbeitskreissitzungen mit einer gezielten Pressemitteilung eingeladen. Jeweils zum Erscheinen der Protokollbände hat eine Pressemitteilung die Ergebnisse der Arbeitskreis-Sitzung zusammengefasst. Zum Abschluss des Arbeitskreises wird eine Pressemitteilung eine Bilanz der Arbeit ziehen. Die Texte der Pressemitteilungen wurden mit den Trägern (per E-Mail) abgestimmt.

Die Information über die Arbeitskreissitzungen und deren Ergebnisse wurde darüber hinaus auf der Homepage des Passivhaus Instituts, der IG Passivhaus sowie im IG-Rundbrief verbreitet.

Das Faltblatt „Arbeitskreis kostengünstige Passivhäuser, Phase V“ stellte den Arbeitskreis mit seiner Funktion, seinen Themen und seinen Trägern dar. Zielgruppe war das interessierte Fachpublikum, das für die Arbeitskreis-Sitzungen geworben werden sollte. Das Faltblatt enthielt ein Fax-Antwortformular zur Anmeldung zu den Arbeitskreis-Sitzungen und zur Bestellung von Protokollbänden.

6 Passivhausforschung: Inhaltliche Schwerpunkte für Phase V: 2009 bis 2012 – wissenschaftliche Grundlagen für die Arbeitskreissitzungen

Die folgenden Teilprojekte der Passivhausforschung wurden jeweils bearbeitet, in den Arbeitskreissitzungen vorgestellt und in den zugehörigen Protokollbänden vollständig dokumentiert.

AK 40: Passivhaus-Verkaufsstätten

Verkaufsstätten gehören zu den Nichtwohngebäuden mit dem stärksten Publikumsverkehr. Die Anforderungen an die Präsentation der Waren und das Erscheinungsbild der Gebäude sind entsprechend hoch. Auch der Energieverbrauch ist gewöhnlich sehr hoch, kann jedoch mit einfachen Mitteln drastisch reduziert werden. Da es sich bei Verkaufsstätten i.d.R. um sehr große Gebäude handelt, wird zunächst die Besonderheiten von großen Hallen hinsichtlich des Wärmeschutzes aufgezeigt. Dann wird speziell auf Verbrauchermärkte wie z.B. Möbelhäuser oder Kaufhäuser, insbesondere aber Supermärkte eingegangen. Die größten Energieverbraucher in einem Supermarkt sind die Kühltruhen, die Lüftung und die künstliche Beleuchtung. Deshalb können hier die wirksamsten Ansätze zur Effizienzsteigerung gefunden werden. Dabei wird auch auf die neuesten Entwicklungen für die Kühlung von Lebensmitteln eingegangen. Der für diese Nutzung typischerweise sehr hohe Stromverbrauch wird analysiert. Strategien zur Reduzierung des Primärenergiebedarfs werden vorgestellt. Außerdem wird der positive Einfluss einer hochwertigen Gebäudehülle im Passivhausstandard auf das Gesamtkonzept verdeutlicht.

Des Weiteren werden die Beleuchtungsanforderungen der unterschiedlichen Verkaufsstätten sowie deren energieeffiziente Erfüllung herausgearbeitet. Möglichkeiten des Einsatzes von Tageslicht werden ebenfalls aufgezeigt und Vor- und Nachteile abgewogen.

Darüber hinaus wird behandelt, wie mit internen Wärmegewinnen aus Back- und Kocheinrichtungen, Abwärme von Kühlgeräten, künstlicher Beleuchtung und Personenabwärme umgegangen werden sollte, um ein effizientes Gesamtsystem zu schaffen. Auch für den Sommerfall, wenn diese Wärmegewinne zu Wärmelasten werden, werden Strategien erarbeitet.

Kritische Bereiche werden vertieft behandelt, wie z.B. die Kühlzone sowie der Eingangsbereich. Es werden Empfehlungen für die Gestaltung der hochfrequentierten Eingangsbereiche, etwa die Anordnung von Luftschleiern, gegeben. Anhand von Beispielen werden verschiedene Varianten zur Energieeinsparung aufgezeigt und deren Einfluss auf den Warenumsatz untersucht.

Arbeitsschwerpunkte:

1. Besonderheiten bezüglich des Wärmeschutzes bei großen Hallen
2. Verbrauchermärkte
3. Kühlung für Lebensmittel
4. Möbelhäuser/Kaufhäuser
5. Beleuchtungsanforderungen und deren energieeffiziente Erfüllung, Tageslichtnutzung
6. Strategien bezüglich der hohen internen Lasten im Sommerfall
7. Luftschleier / Eingangsbereiche
8. Einfluss Warenumsatz

AK 41: Sommerverhalten von Nichtwohngebäuden im Passivhausstandard; Projekterfahrungen und neue Erkenntnisse

Bereits im Arbeitskreis 31 zum Thema „Energieeffiziente Raumkühlung“ wurden die grundlegenden Mechanismen, welche das sommerliche Verhalten von Nichtwohngebäuden beeinflussen, aufgearbeitet. Aufbauend darauf und unter Einbezug der zwischenzeitlich anhand einer größeren Zahl ausgeführter Gebäude gemachten Erfahrungen sollen nun die unterschiedlichen Strategien bewertet und hinsichtlich der praktischen Erfahrungen aufgearbeitet werden. Insbesondere sollen daraus Ratschläge zur Vereinfachung des Planungsprozesses abgeleitet werden.

Die *Minimierung interner Wärmelasten* ist der Ausgangspunkt für eine gute sommerliche Behaglichkeit, sie dient gleichzeitig der primärenergetisch besonders bedeutenden Einsparung elektrischer Energie und der Reduzierung der Betriebskosten (nicht zuletzt auch durch vermiedenen Kühlbedarf).

Der *Raumbeleuchtung* als wesentlichem Beitrag zum Energiebedarf von Nichtwohngebäuden wurde besonders Rechnung getragen: Durch möglichst weit reichende Tageslichtautonomie und optimierte Beleuchtungseinrichtungen können hier substanzielle Einsparpotenziale erschlossen werden. Einflussgrößen wurden identifiziert, geeignete und bewährte Strategien vorgestellt.

Eine gut zugängliche Speichermasse erweist sich regelmäßig als Schlüsselthema im Planungsprozess, insbesondere im Zusammenspiel mit anderen Anforderungen wie etwa der Raumakustik. Es sollte daher frühzeitig ein Konzept entwickelt werden, wie

Abschlussbericht zu AK 40 bis 48 – Phase V: 2009-2012

maximale Zugänglichkeit der Gebäudemassen (massive Wände und insbesondere Geschossdecken, evtl. mit Betonkerntemperierung) mit den Erfordernissen der Raumakustik sinnvoll verbunden werden kann. Geeignete Lösungsansätze wurden untersucht, Erfahrungen wurden in praxisgerechte Handlungsempfehlungen umgesetzt.

Eine konsequente Anwendung von temporären Sonnenschutzeinrichtungen in Wechselwirkung mit individuellen Nutzeranforderungen erfordert wirksame Steuerungs- und Regelungskonzepte. Ein Überblick über realisierte Konzepte, die Wechselwirkung mit Strategien der sommerlichen Entwärmung und deren Eigenschaften zeigt jeweilige Möglichkeiten und Grenzen auf.

Arbeitsschwerpunkte:

1. Tageslichtautonomie, visuelle Behaglichkeit, Verschattung: Anforderungen und Lösungsansätze
2. Anforderungen an effiziente Raumbelichtung, Darstellung verfügbarer Systeme
3. Erfordernisse der Raumakustik bei zugänglichen Speichermassen, Grundlagen, technische Ansätze, realisierte Lösungen
4. Effiziente Steuerung und Regelung von künstlicher Beleuchtung und Verschattungseinrichtungen im Zusammenspiel, Erfahrungen aus der Praxis
5. Praktische Aspekte der sommerliche Entwärmung großer Gebäude: Möglichkeiten und Grenzen der Nachtlüftung (Einbruchschutz, Brandschutz, Querschnitte, Regenschutz, Antrieb, Möglichkeiten der Querlüftung z.B. durch Öffnungen über den Türen...) und Erfahrungen aus realisierten Projekten
6. Zusammenstellung wichtiger Merkmale für die Planung eines Gesamtsystems aus Gebäude mit Betonkerntemperierung und Erdsondenfeldern zur ganzjährigen Konditionierung.
7. Umgang mit Serverräumen und anderen Orten besonders hoher Wärmebelastung (Leitzentralen, Callcenter etc.). Stand der Erfahrungen.
8. Reduktion des solaren Wärmeeintrags durch Pfosten/Riegelfassaden und ähnliche Konstruktionen

AK 42: Ökonomische Bewertung von Energieeffizienzmaßnahmen

Energieeinsparungen in Gebäuden sind in der Regel mit zusätzlichen Investitionen verbunden. Dies trifft vor allem für den Bestand zu, meistens auch noch für den Passivhaus-Neubau, nicht nur, weil der zusätzliche Zentimeter Dämmstoff Geld kostet, sondern auch weil passivhaustaugliche Produkte (bisher noch) in kleineren Serien gefertigt werden, weil die am Bau Beteiligten noch wenig Erfahrung mit dem Bau von Passivhäusern haben, und schließlich, weil diese oft bewusst als Häuser mit gehobenem Anspruch entwickelt und auch vermarktet werden – schließlich bieten Passivhäuser nicht nur geringe Energiekosten, sondern auch erhöhten Wohnkomfort und gesteigerten Gebäudewert. Aus der ökonomischen Sichtweise des Eigentümers wird eine zusätzliche Investition erforderlich, die sich aus späteren Rückflüssen, insbesondere (aber nicht notwendig nur) aus den eingesparten Energiekosten direkt oder indirekt bezahlt machen soll.

In diesem Arbeitskreis werden die betriebswirtschaftlichen Bewertungsmethoden vorgestellt, ihre Eignung für die Anwendung auf bauliche Energiesparinvestitionen sowie Ergebnisse für typische exemplarische Anwendungen. Neben der Wahl der Methode hat dabei die Wahl der Randbedingungen, insbesondere der für die ökonomische Bewertung angesetzte Anteil der Investitionskosten, der Betrachtungszeitraum (gewünschte Kapitalrückflusszeit, Lebenszyklus), der Restwert, der angenommene Kapitalzinssatz sowie die angenommene Energiepreissteigerung, einen entscheidenden Einfluss auf das betriebswirtschaftliche Ergebnis; diese Einflüsse werden daher explizit diskutiert. Als angemessener Ansatz hat sich dabei nach heutigem Diskussionsstand die Kapitalwertmethode über den Lebenszyklus erwiesen, die auch für die Bewertung der gängigsten Effizienzinvestitionen herangezogen wird.

Nachdem der frühere Vermietermarkt vielerorts zu einem Mietermarkt mutiert ist, werden vor allem von institutionellen Eigentümern Methoden aus der Investitions- und Finanzierungstheorie übernommen – Rendite und Risiko, DCF-Methode, Capital Asset Value, vollständige Finanzpläne, Portfolio-Management. Es wird ein Überblick gegeben über die heute üblichen Methoden, und zwar im Hinblick auf ihr Einsatzgebiet, Vorgehen, Zielsetzung und Zielgrößen sowie ihre Eignung für die Bewertung von Energieeffizienzinvestitionen, insbesondere bei Gebäuden.

Neben der Entscheidungsfindung bei Neubauprojekten ist die Frage des ökonomisch und energetisch optimalen Wärmeschutzstandards bei der Sanierung von Altbauten von besonderem Interesse. Für beide Anwendungsfälle wird daher im Rahmen des Arbeitskreises kostengünstige Passivhäuser die jeweils anzuwendende Methodik herausgearbeitet. Es wurden Software-Hilfsmittel erarbeitet, die eine rasche und sichere Erstellung von Wirtschaftlichkeitsberechnungen erlauben. Es werden Wege zur Ermittlung geeigneter Kostenansätze für passivhausspezifische Bauteile

Abschlussbericht zu AK 40 bis 48 – Phase V: 2009-2012

diskutiert und die Möglichkeit einer Datenübernahme aus der Energiebilanzrechnung nach Passivhaus Projektierungs Paket (PHPP) dokumentiert.

Energieverbrauch verursacht nicht nur Kosten beim Verbraucher, sondern zusätzlich externe Kosten, er hat daher Einfluss auf die gesamte Volkswirtschaft. Energieeffizienzinvestitionen ersetzen (Energieträger-)Konsum durch großteils regionale Wertschöpfung. Erhöhte Nachfrage nach Effizienzprodukten sorgt für preissenkende Lern- und Skaleneffekte, mehr Wettbewerb und Innovation. Deutschland wird seine gute Stellung in diesem internationalen Markt nur behalten und ausbauen können, wenn die Ansätze breitenwirksam umgesetzt werden können.

Außerdem vermindern Effizienzinvestitionen Folgekosten von Umwelt- und Klimaschäden. Neben dem direkten Einfluss durch Investitionen in Deutschland kommt dabei eine besondere Bedeutung der Übertragung auf andere Länder zu, die vor allem dann besonders wirksam ist, wenn die technischen Möglichkeiten in Deutschland erfolgreich umgesetzt werden und als positive Beispiele auf die weltweiten Wachstumsregionen ausstrahlen. Neben der qualitativen Beschreibung der volkswirtschaftlichen Dimension werden auch vorhandene quantitative Ansätze vorgestellt.

Arbeitsschwerpunkte

1. Grundlagen der wirtschaftlichen Bewertung im Baubereich/Lebenszyklusbetrachtung; inhaltliche Begründung und Abgrenzung zu anderen Verfahren
2. Methoden aus Finanzierung und Investitionstheorie und Bewertung im Hinblick auf Energieeffizienzinvestitionen im Baubereich
3. Leitfaden zur wirtschaftlichen Beurteilung von Baumaßnahmen
4. Erfahrungen aus der Planungspraxis, Hinweis auf wünschenswerte Hilfsmittel
5. Bewertung der Wirtschaftlichkeit in der Altbausanierung
6. Wirtschaftlichkeitsrechnung unter Nutzung von Daten aus der Energiebilanz nach PHPP
7. Volkswirtschaftliche Aspekte des energieeffizienten Bauens und Sanierens

AK 43: Erdwärmeübertrager und Erdsonden in Passivhäusern

Die thermische Nutzung der oberflächennahen Schichten des Erdreichs kann auf verschiedene Arten erfolgen. Besonders populär sind derzeit Luft-Erdwärmeübertrager, Sole-Erdwärmeübertrager und Erdsonden. Dabei werden Erdwärmeübertrager im Passivhaus vorwiegend für den Frostschutz der Lüftungswärmerückgewinnung eingesetzt; ihr Einfluss auf den Energiebedarf ist relativ gering. Inwieweit hier durch einen optimierten Betrieb, bei dem der Erdwärmeübertrager nur zu bestimmten Zeiten durchströmt wird, Verbesserungen erzielt werden können, ist eines der Themen dieser Arbeitskreissitzung.

Erdsonden mit einer Bohrtiefe von ca. 100 m werden eingesetzt, um das Erdreich als saisonalen Speicher zu nutzen. Besonders interessant ist diese Technologie in Verbindung mit Betonkerntemperierung in Passivhaus-Bürogebäuden; über dieses System kann das Gebäude sowohl geheizt als auch gekühlt werden. Dabei ist jedoch langfristig anzustreben, dass der Wärmein- und austrag im Erdreich balanciert sind. Dieses Ziel kann grundsätzlich erreicht werden; welche Spielräume hier im Rahmen des Haustechnikmanagements bestehen, wird im Rahmen des Arbeitskreises untersucht.

Arbeitsschwerpunkte:

1. Entwicklung eines Modells für Sole-Erdwärmeübertrager, Erstellung einer vereinfachten Beschreibung für die Verwendung in Energiebilanzverfahren
2. Ankopplung der Erdwärmeübertrager an die dynamische Gebäudesimulation
3. Optimierter Betrieb von Luft- und Sole-Erdwärmeübertragern im Winter und Sommer
4. Praxiserfahrungen, Messdaten
5. Saisonales Wärmemanagement bei Verwendung von Erdsonden
6. Erarbeitung von vereinfachten Vorplanungswerkzeugen für Erdsonden

AK 44: Lüftung in Passivhaus-Nichtwohngebäuden

In den vergangenen Jahren hat das Passivhauskonzept zunehmend im Nichtwohnbau Anwendung gefunden. Neben Schulen und Kindertagesstätten sind insbesondere Büro- und Verwaltungsgebäude (Gebäude bis ca. 10.000 m² wurden bereits realisiert) Gegenstand des Interesses. Der verbesserte Wärmeschutz lässt sich meist leicht realisieren. Den Schlüssel zu einem tragfähigen Konzept bilden kostengünstige, praktikable Lösungen für die hocheffiziente Lüftung mit Wärmerückgewinnung.

Zunächst ist in diesem Zusammenhang die Entscheidung zwischen zentraler und dezentraler Anordnung der Lüftungsgeräte von Bedeutung. Die Stromeffizienz großer Lüftungsgeräte (Förderleistung mehrere tausend Kubikmeter pro Stunde) ist aufgrund der größeren Lüftermotoren und der optimierten Ventilatorgeometrie meist deutlich besser als bei kleineren Geräten, selbst wenn die erforderlichen größeren Leitungslängen berücksichtigt werden. Auch der Wartungsaufwand reduziert sich, da die Zahl der zu wartenden Geräte kleiner wird. Andererseits entstehen bei zentralen Konzepten Nachteile beispielsweise durch den Platzbedarf großer Leitungsquerschnitte und zusätzlich erforderliche Brandschutzklappen.

Auch regelungstechnische Aspekte sind in der praktischen Anwendung zu berücksichtigen. Aus energetischen Gründen sollten beispielsweise jeweils nur die benötigten Luftmengen transportiert werden; gewöhnlich wird dies durch zonenweise Volumenstromregler bei konstantem Vordruck am Lüftungsgerät realisiert. Die Volumenstromregler können über Sensoren oder Zeitpläne angesteuert werden; beide Verfahren haben Vor- und Nachteile. Optimierungspotenzial ergibt sich auch durch die Anforderung, die geförderten Luftmengen in einem weiten Bereich variieren zu können. Bei Betrieb mit Volumenströmen weit unter dem Auslegungswert sinkt nämlich die Effizienz der Ventilatoren drastisch ab, zusätzlich wird der konstant gehaltene Vordruck unnötig groß, weil die Druckverluste in den Hauptleitungen geringer werden.

Als schwierige Aufgabe erweist sich auch die energetische Bewertung großer Lüftungsgeräte: Abgesehen von den hohen Kosten einer Effizienzmessung bei Großgeräten handelt es sich gewöhnlich um projektspezifisch angepasste Einzelstücke, so dass sich im Gegensatz zu kleinen Wohnungslüftungsgeräten eine Prüfstandsmessung für jeden Gerätetyp keine Lösung darstellt.

Derartige Gesichtspunkte werden im Rahmen des Arbeitskreises aufgearbeitet, um für die Planer eine bessere Grundlage für die Systemwahl und -optimierung zu schaffen.

Arbeitsschwerpunkte:

1. Lüftungskonzepte (zentral, semizentral, dezentral), Regelungsansätze zur Optimierung der Luftmengen, Behaglichkeitsaspekte (Luftfeuchte, Feuchterückgewinnung)
2. Strategien zum Umgang mit Wechselwirkungen von Lüftungssystem und Brandschutzerfordernissen (Brandschutzkonzept, Überströmung)
3. Umgang mit belasteter Abluft, verbesserte Lüftungsanlagen (interne Leckage)
4. Regelungsstrategien/Betriebsweisen von Lüftungsanlagen in großen Nichtwohngebäuden (sensorisch gesteuerte Volumenstromregler mit Rückmeldesignal, Präsenzmelder, Zeitpläne)
5. Energetische Bewertung von großen Lüftungsgeräten mit Wärmerückgewinnung (Teillastverhalten, sinnvoller Bereich der internen und externen Druckverluste)
6. Optimierung des Wartungsbedarfs
7. Vergleich wassergeführter bzw. luftgeführter Heizungssysteme (Flächenheizsysteme o. ä.)

AK 45: Richtig messen in Energiesparhäusern

Immer wieder werden in der Planung von Gebäuden nach dem Passivhauskonzept neue Bauaufgaben erschlossen und damit zwangsläufig auch neue, ungeklärte Fragen aufgeworfen. Diese bislang nicht untersuchten Sachverhalte lassen häufig eine messtechnische Untersuchung interessant erscheinen.

Erfreulicherweise besteht nicht selten die Möglichkeit, in gewissem Umfang Messungen vorzunehmen. Während sich der Arbeitskreis kostengünstige Passivhäuser bereits in seiner 10. Sitzung im Jahr 1997 unter anderem mit der Qualität verfügbarer Messgeräte und der damit gewonnenen Daten auseinandersetzen konnte, zeigt die Erfahrung, dass immer wieder Unsicherheiten bei der Gesamtkonzeption von Messkampagnen bestehen.

Im Arbeitskreis werden die Konzeption geeigneter Messkampagnen deshalb näher untersucht und dazu Hilfestellungen erarbeitet. Dies ist beispielhaft erfolgt: Zunächst steht die Herausarbeitung des jeweiligen Forschungsbedarfs im Vordergrund. Dann folgt eine eindeutige Festlegung der Systemgrenze, etwa der Gebäudehülle als

Abschlussbericht zu AK 40 bis 48 – Phase V: 2009-2012

allgemeine Bilanzgrenze der energetischen Betrachtung. Aus der präzisen Fragestellung ergibt sich weiter die erforderliche Dauer des Messprogramms, die geeignete zeitliche Auflösung der Datenerfassung und vieles mehr. Je nach Art der Fragestellung, den erforderlichen Sensoren, der Messdauer und zeitlichen Auflösung bieten sich verschiedene Systeme der Datenerfassung an. Diese reichen von manueller Zählerablesung über autonome Datenlogger bis hin zu komplexen Messnetzen mit Fernwartungsmöglichkeit.

Praktische Erfahrungen aus zahlreichen realisierten Messungen zu vermitteln und konkrete Hinweise zur Planung eines zweckdienlichen Messprogramms zu geben ist das Ziel des Arbeitskreises. Daher wird anhand von Beispielen aus der Praxis die Klärung der Fragestellung und der Systemgrenze, die Auswahl der Messtechnik, Betriebserfahrungen und Qualität der erhaltenen Daten aufgezeigt.

Für eine einfache, routinemäßige „Erfolgskontrolle“ einer planungsgemäßen Gebäudedefunktion insbesondere im Wohnungsbau, werden Hinweise auf erforderliche Messgrößen und -intervalle zusammengestellt. Die Auswertung der Messdaten im AkkP 38 sowie eine weitere Untersuchung der Verbräuche von realisierten Passivhäusern in Hamburg (2008) durch das Passivhaus Institut zeigt die Notwendigkeit einer Definition der notwendigen Zählerausstattung und -anordnung.

Insbesondere im Nichtwohnbau ergeben sich zusätzliche Möglichkeiten einer Routineanwendung/Verstetigung von Begleitmessungen mittels der eingesetzten Gebäudetechnik (GLT). Es werden dazu bestehende Hemmnisse und konzeptionelle Herausforderungen thematisiert. Hierfür werden Handlungsempfehlungen bzw. Anforderungen in Form eines „Pflichtenheftes GLT“ erstellt.

Arbeitsschwerpunkte

1. Je nach Art des Forschungszieles beispielhafte Bestimmung der Systemgrenze, Festlegung von erforderlichen Messstellen, Umfang und zeitlicher Auflösung eines Messprogramms.
2. Möglichkeiten der Datenerfassung (zentral/dezentral) und Zusammenhang mit dem Messkonzept bzw. Forschungsziel.
3. Praxisbeispiele: Fragestellung / Messkonzept / Betriebserfahrungen / Schlussfolgerungen.
4. Fehlerbetrachtung von Messungen.
5. Routinemäßige Messung elementarer Größen als Erfolgskontrolle von Passivhäusern (Schwerpunkt Wohnbau). Erforderlicher Umfang, Zählerausstattung und -anordnung, Chancen, Hemmnisse. Erfahrungen aus der Praxis.

6. Messungen mit der vorhandenen Gebäudeleittechnik im Nichtwohnbau: Anforderungen, Einschränkungen, automatisierte Auswertung, Fehlermeldung. Technische Entwicklungen und deren Potentiale.

AK 46: Nachhaltige Energieversorgung mit Passivhäusern

Nach Definition der Enquête-Kommission „Globalisierung der Weltwirtschaft“ beschreibt der Begriff Nachhaltigkeit die Nutzung regenerierbarer Systeme dergestalt, dass das System permanent, d.h. auch in allen nachfolgenden Generationen, in dieser Weise genutzt werden kann. Übertragen auf die Energieversorgung von Passivhäusern bedeutet diese Maxime zunächst, dass die Ressourcen, welche für die Energieversorgung eines Passivhauses aufgewendet werden müssen, auf eine Weise aus der bereitstellenden Quelle zu entnehmen sind, welche die Nutzbarkeit dieser Quelle auch langfristig sicherstellt.

In der aktuellen Diskussion wird Nachhaltigkeit verschiedentlich mit CO₂-Neutralität gleichgesetzt. Dies kann in der Tat z.B. bei Nutzung von Biomasse aus nachhaltiger Forstwirtschaft der Fall sein. Die Nutzung von Palmöl, für dessen Produktion Urwaldflächen gerodet wurden, oder die Verwendung von Bioethanol, dessen Herstellung eine Konkurrenzsituation zwischen dem Anbau von Energiepflanzen und Nahrungsmitteln induziert, ist hingegen sicher in größerem Umfang nicht nachhaltig.

Diese Diskussion zeigt, dass eine CO₂-Neutralität allein nicht ausreicht, um Nachhaltigkeit zu erreichen. Zwar versiegen regenerative Energiequellen, eine nachhaltige Nutzung vorausgesetzt, nicht, ihre Verfügbarkeit ist jedoch mengenmäßig und raumplanerisch begrenzt, oft gibt es auch Nutzungskonflikte. Für eine *nachhaltige Energieversorgung* steht demnach nur eine begrenzte Energiemenge zur Verfügung, deren unter ökonomischen Gesichtspunkten sinnvoll nutzbares Potential auch langfristig deutlich unter dem heutigen Bedarf liegt.

Dies macht die Notwendigkeit deutlich, Energiedienstleistungen mit niedrigerem Energieeinsatz zu erbringen, also eine Steigerung der Energieeffizienz anzustreben. Selbst das Passivhaus mit seinem Heizwärmebedarf von 15 kWh/(m²a) und dem Gesamt-Primärenergiebedarf von 120 kWh/(m²a) stellt noch nicht das Ende möglicher Verbesserungen im Energieverbrauch dar. Dies wurde bereits im ersten Passivhaus in Darmstadt-Kranichstein demonstriert, das nach Nachrüstung von Dämmflächen 2 Jahre lang komplett ohne Heizung betrieben wurde.

Die Kosten weiterer Effizienzverbesserungen wurden bisher jedoch im Allgemeinen als so hoch beurteilt, dass eine Umsetzung solcher weiter gehender Konzepte in der

Abschlussbericht zu AK 40 bis 48 – Phase V: 2009-2012

Breite nicht zu erwarten war. Andererseits hat Rainer Vallentin in seinem Beitrag zur 12. Passivhaus Tagung 2008 gezeigt, dass langfristig weitere Verbesserungen der Effizienz erforderlich sein werden. Im Rahmen der Arbeitskreissitzung werden u.a. solche Möglichkeiten der Effizienzsteigerung diskutiert.

Eine korrekte Bewertung von Effizienzverbesserungen muss neben der Nutzungsphase auch die Erstellung und den Rückbau des Gebäudes berücksichtigen. Im Gegensatz zu Altbauten kann beispielsweise die im Rohbau enthaltene graue Energie im Passivhaus einen nennenswerten Anteil am Lebenszyklusverbrauch ausmachen.

Arbeitsschwerpunkte:

1. Langfristige Potentiale nachhaltiger Versorgungskonzepte: Biomasse, dezentrale KWK, Fern-/Nahwärme, Wind- und Solarenergie
2. Diskussion des Primärenergiekennwertes für Passivhäuser und seiner Bedeutung für eine nachhaltige Entwicklung im Wohnbereich, Beurteilung erneuerbarer Energien wie PV, Biomasse, Biogas
3. Möglichkeiten zur weiteren Optimierung von Hülle und Haustechnik, unter Berücksichtigung der jeweiligen Kosten
4. Aktuelle Potenziale der Haushaltsstromeinsparung
5. Bedeutung von sonstigen Energieverbräuchen und Energiedienstleistungen, die in direktem Zusammenhang mit der Gebäudenutzung stehen, z.B. bezüglich Tageslichtnutzung, Außenanlagen und Mobilität
6. Ansätze zur Optimierung der Lebenszyklusbilanz einschließlich des Energieaufwands bei der Gebäudeherstellung
7. Ansätze zur regionalen nachhaltigen Energieversorgung auf der Basis von optimierten Gebäudekonzepten
8. Ökonomische Grenzkosten der diskutierten Technologien.

AK 47: Energieeffiziente Kantinen und Gewerbeküchen

Gewerbliche Küchen zählen zu den energieintensiveren Gebäudenutzungen. Die typischen Anwendungen wie Kochen, Braten und Backen ebenso wie das Geschirrspülen sind einerseits mit hohem Energieeinsatz verbunden und erzeugen andererseits hohe interne Wärme- und Feuchtelasten, die mit entsprechend dimensionierten Küchenlüftungen abgeführt werden müssen. Energieeffiziente Küchentechnik hat daher gleich mehrfach Vorteile.

- Sie spart Energie,
- verringert in der Regel die internen Lasten
- und kann somit zu kleiner dimensionierten Lüftungsanlagen führen.

Das Thema ist hochaktuell: Schulküchen und -kantinen treten durch den momentanen Ausbau der Ganztagsbetreuung verstärkt in den Fokus. Zur Zeit entstehen zahlreiche Erweiterungsgebäude mit Küchen- und Kantinen-Bereichen. Der Arbeitskreis wird sich über solche konkreten Beispiele hinaus mit grundsätzlichen Fragen zum Thema Energieeffizienz bei gewerblich genutzten Küchen beschäftigen.

Zunächst wird die Datengrundlage für die energetische Projektierung verbessert. Dies zielt vor allem darauf ab, realistische Ansätze für entstehende und energetisch nutzbare interne Lasten zu erarbeiten, da diese gerade für Niedrigstenergie- und Passivhäuser von besonderer Bedeutung sind. Weiterhin erlaubt eine umfassendere Kenntnis der vorhandenen Energieströme eine besser auf die konkrete Nutzung abgestimmte Gebäudetechnik.

Die praxisnahe Forschungsarbeit zielt ferner darauf ab, energieeffiziente Lösungen bei der Wahl der Geräte und Ausstattung sowie bei der Planung und Dimensionierung der Lüftungsanlagen zusammenzustellen. Die Wasserdampf-freisetzung in der Küche durch Geschirrspüler und Dampfgarer kann durch geeignete Küchengeräte bereits an der Quelle, also am Gerät, deutlich verringert werden. Effiziente Küchengeräte erlauben eine Reduzierung der durch die Wärme- und Feuchtelasten bestimmten Abluft-Volumenströme. Aus Gründen der Behaglichkeit kann die erforderliche Zuluft nicht kalt in den Raum eingebracht werden, Induktionshauben verringern jedoch zumindest die Luftmenge, die tatsächlich durch die Küche geführt werden muss. Mit Hilfe einer Wärmerückgewinnung kann die Zuluft passiv vorkonditioniert werden, jedoch sind hier technische Lösungen erforderlich, welche eine rasche Verunreinigung der Wärmeübertrager-Flächen verhindern.

Im Rahmen des für das Land Hessen erstellten „Leitfadens für energieeffiziente Bildungsgebäude im Neubau und bei der Modernisierung“ werden bereits

Abschlussbericht zu AK 40 bis 48 – Phase V: 2009-2012

Küchenlösungen für den Ganztagsbetrieb in Bildungseinrichtungen behandelt. Die dortige Darstellung musste sich jedoch im Wesentlichen darauf beschränken, realisierte Beispiele zu dokumentieren. Darauf baut der Arbeitskreis auf. Die Bandbreite an Küchenlösungen wird u.a. deutlich erweitert, die Überlegungen werden vertieft und systematisiert, und anhand von Simulationsrechnungen und ggf. messtechnischen Untersuchungen werden Einsparpotentiale und Planungsrandbedingungen ermittelt.

Arbeitsschwerpunkte:

1. Ableitung von Standardansätzen für die Bereitung von Essen (z.B. Energieaufwand je Mahlzeit) und zur Abschätzung der internen Gewinne.
2. Analyse der Wärmeströme durch Lüftungskanäle in Stillstandszeiten. Wie kann die In-/Exfiltration verringert werden und welche Transmissionswärmeverluste an kalte Kanäle sind zu erwarten? Darstellung von technischen Lösungen und Untersuchung der resultierenden Wärmeverluste.
3. Auswirkungen einer optimierten Küchenausstattung auf die sommerliche Behaglichkeit
4. Untersuchung der Nutzbarkeit der internen Gewinne. In Küchen treten die internen Gewinne in der Regel räumlich und zeitlich konzentriert auf. Abluftsysteme führen die Geräteabwärme quellennah ab. Weiterhin wird latente Wärme freigesetzt und Wärme mit dem Abwasser abgeführt. Anhand von systematischen Simulationen sollen die Nutzbarkeit dieser internen Gewinne untersucht und Planungsempfehlungen abgeleitet werden.
5. Erarbeitung von Vorschlägen für eine anwendungsbezogene technische Ausstattung und auf die Nutzung abgestimmte Lüftungskonzepte und -strategien
6. Identifikation der Energieeinsparpotentiale von küchentechnischen Geräten
7. Herausarbeiten des Zusammenhangs von (effizienter) Küchenausstattung und Küchenlüftung
8. Messtechnische Untersuchung des Energieverbrauchs und der Wärmequellen im Küchenbetrieb. Verbesserung der Datengrundlage über die elektrischen Aufnahmeleistungen von typischen Küchenanwendungen. Ermittlung der Laufzeiten. Ergänzung und Abgleich der messtechnischen Untersuchung mit Literaturwerten.

AK 48: Einsatz von Passivhaustechnologien bei der Modernisierung von Nichtwohngebäuden

Passivhaustechnik lässt sich mit gutem Erfolg auch bei der Modernisierung von Altbauten verwenden. Eine Verringerung des Heizwärmebedarfs um den Faktor 10 konnte für eine Reihe von untersuchten Gebäuden nachgewiesen werden. Wichtige Fragestellungen zur Modernisierung von Wohngebäuden mit Passivhaus-Komponenten sind inzwischen im Rahmen des Arbeitskreises kostengünstige Passivhäuser untersucht worden - von der Beschreibung der grundlegenden Prinzipien (AkkP 24) über die Integration von Lüftungsanlagen (AkkP 30) und die Modernisierung mit Innendämmung (AkkP 32) bis zur schrittweise durchgeführten Modernisierung (AkkP 39).

Viele Ergebnisse lassen sich auch auf Nichtwohngebäude wie Verwaltungsgebäude, Produktionsstätten oder Schulen übertragen. Allerdings treten hier auch spezifische Fragestellungen auf, die in diesem Arbeitskreis gesondert untersucht werden. Hierzu gehört die Vermeidung von sommerlicher Überhitzung, die Optimierung der Tageslichtnutzung, die Ausstattung mit energieeffizienten Geräten und Leuchten sowie die durch die Nutzung vorgegebenen Anforderungen an die Belüftung.

Ziel ist die spürbare Verbesserung der Behaglichkeit bei gleichzeitiger Minderung der Betriebskosten und der Umweltbelastung. Eine hohe Energieeffizienz schafft außerdem neue Freiräume zur Minimierung der Komplexität und der Kosten der Versorgungstechnik.

Arbeitsschwerpunkte:

1. Sanierung mit Passivhauskomponenten im Überblick
2. Besonderheiten bei Verwaltungsgebäuden: Sommerfall, nachträgliche Verbesserung der Tageslichtautonomie, effiziente Geräte und intelligente Belichtung
3. Umfassende Sanierungskonzepte
4. Lüftungslösungen für Bestandssanierung von Nichtwohngebäuden
5. Lüftungslösungen für die Bestandssanierung von Schulen: dezentrale Konzepte
6. Vergrößerung der thermischen Speicherfähigkeit und sommerliche Entwärmungsmöglichkeiten im Bestand
7. Nachträgliche Verbesserung des Wärmeschutzes der Bodenplatte
8. Neue Entwicklungen und Beispiele aus der Praxis

In den folgenden Übersichten werden die Arbeitskreissitzungen zusammenfassend dargestellt. Ausführlichere Informationen sind in den jeweiligen Protokollbänden vorhanden.

7 Arbeitskreissitzung und Protokollband Nr. 40 Passivhaus-Verkaufsstätten

Energie-Effizienz in Verkaufsstätten clever genutzt als Mittel zur Kostenreduktion und Kundenfreundlichkeit: Der Protokollband Nr. 40 befasst sich mit dem Thema „Einsatz von Passivhaus-Effizienz in Verkaufsstätten“, und zeigt neben enormen Potentialen zur Kosteneinsparung auch, wie einfach, aber gleichzeitig komfortabel und schön Energie-Einsparen sein kann.

Die Besonderheit von Verkaufsstätten liegt darin, dass sie deutlich höhere Energieverluste durch Warenkühlung, Beleuchtung und Lüftung als durch die Gebäudehülle aufweisen. Auf diese drei Themenfelder konzentriert sich daher der Protokollband, behandelt aber auch hoch frequentierte Eingangsbereiche und den Wärmeschutz bei großen Hallen. In diesem Zusammenhang wird auch die oft kontrovers diskutierte Frage beantwortet, wie weit man die Gebäudehülle in Verkaufsstätten überhaupt dämmen sollte.

Das Primärenergie-Kriterium ist das Entscheidende, wenn es um Passivhaus-Verkaufsstätten geht: Die bei Wohn- und Bürogebäuden eingeführten 120 kWh/(m²a) zu unterschreiten ist jedoch bei Verkaufsstätten mit Warenkühlung in der Regel nicht möglich - dazu sind die aufgabenspezifischen Energiebedarfswerte (Kühlen, Tiefkühlen, intensive Beleuchtung) zu hoch.

Für das Passivhaus müssen wir aber dabei bleiben, die gesamten Energiebedarfswerte zu berücksichtigen – nicht nur den Heizwärmebedarf oder einzelne Anwendungsbereiche. Das bedeutet konkret:

An einer Analyse und einer darauf aufbauenden Lösung für eine möglichst energieeffiziente Projektierung der *Energieströme der maßgeblichen Anwendungen* geht kein Weg vorbei. Jedes andere Vorgehen wäre unredlich.

Bei Verkaufsstätten mit Lebensmittelkühlung ist dies auch die maßgebliche Anwendung – mit weit höherer Bedeutung als die des Heizwärmebedarfs. Effizienzverbesserungen für die Lebensmittelkühlung sind in großem Umfang möglich – hierfür sind Pilotanlagen und Demonstrationsgebäude zu realisieren. Zum derzeitigen Zeitpunkt ist das Festlegen von Anforderungen hier noch nicht angemessen, aber es ist absehbar, dass gute Umsetzungen den Energiebedarf durchschnittlicher neuer Kühlregale um gut 50% unterschreiten können.

Bei allen Verkaufsstätten ist eine energieeffiziente Beleuchtung unverzichtbar. Hier geht es oft um spezifische Lösungen, die bisher übliche Präsentationsleuchten (oft auf Halogenlampen-Basis) durch effizientere Lichtquellen (das werden meist LED, OLED oder Metaldampflampen sein) ersetzen können, wobei die typischen

Abschlussbericht zu AK 40 bis 48 – Phase V: 2009-2012

spektralen Eigenschaften nicht verschlechtert werden. Einen weiteren Beitrag kann Regeltechnik leisten, mithin bis zum bewussten gerichteten Einsatz von Tageslicht.

Der insgesamt daraus resultierende Primärenergiekennwert für alle Anwendungen sollte so gering wie möglich ausfallen. Genaue Grenzwerte können zu diesem Zeitpunkt noch nicht gegeben werden, diese werden sich vielmehr auch zwischen unterschiedlichen Dienstleistungsaufgaben (Möbelhaus, Lebensmittelmarkt) unterscheiden. Es obliegt jedem Planer, durch die oben genannten Möglichkeiten der energieeffizienten Projektierung eine Optimierung des Entwurfs zu erreichen.

Zielführend ist es außerdem, neben dem Primärenergiekennwert auch Effizianzorderungen für einzelne Komponenten heranzuziehen. Wenn Monitoring-Daten der Pilotprojekte von Verkaufsstätten vorliegen, kann deren Auswertung Hinweise auf konkrete Grenzwerte geben.

15 kWh/(m²a) Heizwärmebedarf bleiben ein guter Anhaltswert auch für die Planung der Verkaufsstätten. Sie dienen der Gebäudehüllen-Optimierung und resultieren, wenn die übrige Planung sorgfältig durchgeführt wird, in Dämmstärken, wie sie bei Passivhaus-Wohngebäuden oder Büros üblich sind. Vereinfachungen treten bei sehr großen, hallenartigen Verkaufsstätten vor allem bei der Dämmung gegen das Erdreich auf, so dass die Umsetzung dann leichter und kostengünstiger realisiert werden kann.

Eine luftdichte Gebäudehülle bei Verkaufsstätten erfüllt mindestens einen n₅₀-Wert von 0,6 1/h, orientiert sich aber an einem sehr guten q₅₀-Wert. Ein Orientierungswert ist die Unterschreitung von 0,5 m/h für den q₅₀-Wert (vgl. dazu auch den Arbeitskreis kostengünstige Passivhäuser Nr. 29 „Hochwärmegedämmte Dachkonstruktionen“, bei dem ein solcher Wert als Sicherheit bzgl. der Wasserdampfkonvektion abgeleitet wurde).

In „Passivhaus-Verkaufsstätten“ werden des Weiteren die typischen Beispiele wie Möbel- und Geschäftshäuser vorgestellt, sowie auch ein Supermarkt, der bereits 2008 ein Pilot-Zertifikat vom Passivhaus Institut erhalten hat. Passivhaus-Technik ist eben nicht nur Theorie – sondern kann heute praxisreif angewendet werden und führt bei konsequenter Umsetzung zu Verbesserungen um Faktoren von 3 bis 10.

7.1 Inhalt des 40. Protokollbandes

Einführung: Verkaufsstätten als Passivhaus

10 Seiten

Dr. Jürgen Schnieders, Passivhaus Institut

Wärmeschutz und Lüftungskonzeption bei großen Hallen

20 Seiten

Oliver Kah, Susanne Theumer, Passivhaus Institut

Lebensmittelkühlung in Verkaufsstätten

26 Seiten

Dr. Jürgen Schnieders, Passivhaus Institut

Lüftung und Energiebilanz bei Verkaufsstätten im Passivhaus-Standard

24 Seiten

Wolfgang Hasper, Passivhaus Institut

Tages- und Kunstlicht

18 Seiten

Wilfried Pohl, Bartenbach Lichtlabor GmbH, Innsbruck, Österreich

Hochfrequentierte Eingangsbereiche

32 Seiten

Oliver Kah, Passivhaus Institut

Energetische und wirtschaftliche Bewertung der Passivhausbauweise auf der Basis eines Monitoringprojektes

14 Seiten

Prof. Dr.-Ing. Jörn Krimmling, Hochschule Zittau/ Görlitz

Pilotprojekt Passivhaus-Supermarkt Tesco Tramore, Irland

28 Seiten

Susanne Theumer, Passivhaus Institut

Möbelhaus Kohler im Passivenergiestandard

14 Seiten

Erwin Keck, Keck-Architekten, Ochsenhausen

Zusammenfassung: Passivhaus-Verkaufsstätten

7 Seiten

Prof. Dr. Wolfgang Feist, Passivhaus Institut

7.2 Ausgewählte Teile aus dem Inhalt von AK 40

Lebensmittelkühlung in Verkaufsstätten

In Deutschland werden etwa 14 % des gesamten Stromverbrauchs für die technische Erzeugung von Kälte verwendet. Zwei Drittel des dadurch induzierten Primärenergieverbrauchs werden für die Lebensmittelkühlung verwendet, und zwar hauptsächlich im Bereich der Nahrungsmittelerzeugung und in den privaten Haushalten. Auf den hier interessierenden Bereich, die Gewerbekälte, entfallen lediglich 12 % des Gesamt-Primärenergieverbrauchs für Kühlung. Die Kühlung von Lebensmitteln im Einzelhandel ist damit für ein bis zwei Prozent des gesamten deutschen Stromverbrauchs verantwortlich ([DKV 2002]). Ähnlich liegen die Verhältnisse in der Schweiz ([Ravel 1992]).

Bezogen auf den einzelnen Markt ist die Bedeutung der Lebensmittelkühlung weit beachtlicher: Man darf davon ausgehen, dass in einem deutschen Lebensmittelmarkt ein Anteil von 50 % des gesamten Stromverbrauchs auf diesen Bereich entfällt (vgl. z. B. [UBA 2008], [Schrapf 2005]). Jährliche Stromverbräuche für die Lebensmittelkühlung von 150 kWh pro Quadratmeter Nutzfläche sind nicht unüblich. Ähnlich bedeutend ist der Anteil der Lebensmittelkühlung übrigens in den USA, allerdings auf insgesamt noch deutlich höherem Niveau ([Faramarzi 2004]). Die Lebensmittelkühlung stellt damit den bedeutendsten Stromverbraucher im Einzelhandel dar und ist dementsprechend eine eingehendere Untersuchung wert.

Der vorliegende Beitrag befasst sich mit den theoretischen und praktischen Potenzialen zur Effizienzsteigerung in diesem Bereich. Bedeutende Verbesserungsmöglichkeiten ergeben sich bei der Bedienung und Wartung der Geräte, bei den Kühlmöbeln selbst, bei der Kälteerzeugung und schließlich auch in der Nutzung von Abwärme aus der Lebensmittelkühlung für Raumheizung und Warmwasserbereitung.

Kühlmöbel

Die wichtigsten Kriterien bei der Beschaffung eines Verkaufskühlmöbels hängen unmittelbar mit seiner Bestimmung zusammen: attraktive Warenpräsentation, gute Zugänglichkeit der angebotenen Waren für den Kunden, zuverlässige Einhaltung der Solltemperaturen. Erwünscht sind auch möglichst komfortable Bedingungen im Aufenthaltsbereich vor dem Möbel. Dort sind bis zu 9 K niedrigere Temperaturen als im Rest des Marktes gemessen worden, eine Situation, die sich auf die Aufenthaltsdauer der Kunden dort und die Wahrscheinlichkeit von Spontankäufen sicherlich negativ auswirken wird.

Daneben ist eine hohe Betriebssicherheit gefordert, denn ein Ausfall eines Kühlmöbels hat nicht nur den Verlust der darin enthaltenen Ware zur Folge, sondern führt auch zu verärgerten Kunden, die möglicherweise künftig anderswo einkaufen.

Schließlich sind gewöhnlich möglichst geringe Investitionskosten, eher noch als möglichst geringe Lebenszykluskosten, von Interesse, zumal in vielen Fällen Käufer und Betreiber eines Kühlmöbels nicht identisch sind.

Die gängigen Verkaufskühlmöbel im Bereich der Normalkühlung (über 0 °C) sehen ähnlich aus wie in Abbildung 1 dargestellt. Das hervorstechendste Merkmal des dargestellten Geräts ist die offene Displayfläche. Sie erlaubt den unmittelbaren Zugriff auf die Waren, führt aber auch zu starker thermischer Kopplung von Kühlmöbel und Raum. Um die so entstehenden Verluste zu minimieren, wird ein Kühlluftstrom durch das Möbel geführt, der an der Oberkante der Öffnung austritt und an der Unterkante wieder abgesaugt wird. Der so entstehende Kaltluftschleier reduziert – bei guter Konstruktion sehr effektiv – den konvektiven Wärmeeintrag. Weitere Verbesserungen lassen sich durch die heute meist installierten Nachtrollos erreichen, die den Luftaustausch mit der Umgebung außerhalb der Ladenöffnungszeiten fast vollständig unterbinden. Die Luftumwälzung mittels Ventilator sorgt gleichzeitig für einen guten Wärmeübergang zwischen Kälteerzeugung und Waren und erlaubt hohe Kühlleistungen bei kleinen Verdampferflächen.

Derartige offene Kühlregale werden für Listenpreise ab etwa 1500 € pro laufenden Meter (lfm) angeboten. Solche einfachen Geräte können leicht 10.000 kWh Strom pro lfm und Jahr verbrauchen, so dass der Anschaffungspreis bei 15 Ct/kWh innerhalb eines Jahres erneut in Form von Strom umgesetzt wird. Bessere Geräte kommen mit 2000 bis 3000 kWh/(lfma) aus.

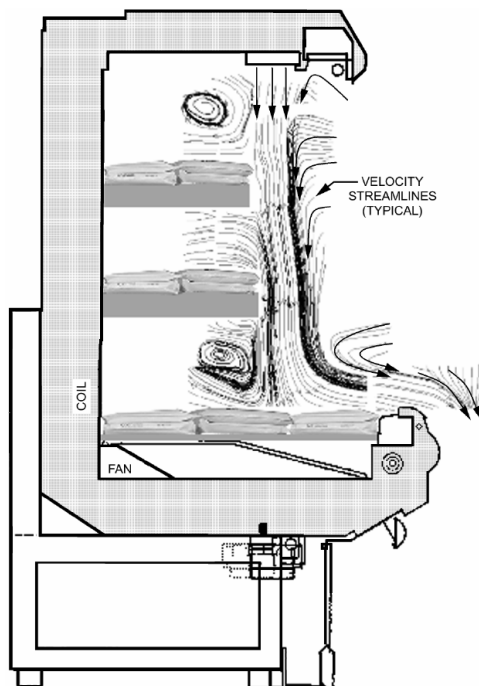


Abbildung 1:
Schnitt durch
ein offenes
Kühlmöbel.
Grafik: ASHRAE

Tiefkühlmöbel funktionieren grundsätzlich ähnlich. Aufgrund der größeren Temperaturdifferenzen besitzen sie jedoch in der Regel entweder Türen, oder es handelt sich um Truhen, mit der Öffnung nach oben und entsprechend reduzierten konvektiven Wärmeeinträgen.

Sowohl Normal- als auch Tiefkühlmöbel können als steckerfertige Geräte mit eigener Kälteerzeugung und Wärmeabfuhr, vom Prinzip ähnlich wie ein Haushaltskühlschrank, oder als Komponenten einer Verbundkälteanlage mit zentraler Kälteerzeugung und

Abschlussbericht zu AK 40 bis 48 – Phase V: 2009-2012

dezentralen Verdampfern ausgeführt werden. In Deutschland ist zumindest bei der Normalkühlung der Anschluss an die Verbundkälte üblich, allein schon, um die enormen Abwärmelasten von bis zu 50 W pro Quadratmeter Verkaufsfläche aus dem Gebäudeinneren abzuführen. Verbundkälteanlagen bieten auch den Vorteil, dass die Lärm erzeugenden Kompressoren nicht im Verkaufsraum aufgestellt sein müssen. Dieses Argument ist aber für moderne Kälteerzeuger kaum noch relevant.

Aus physikalischer Sicht besteht der Grund dafür, dass überhaupt Energie für die Kühlung aufgewendet werden muss, in den verschiedenen Arten von Wärmeeinträgen ins Kühlmöbel. Diese können wie folgt klassifiziert werden:

- Konvektion, d.h. Luftaustausch mit der Umgebung
- Wärmestrahlung, insbesondere infraroter Strahlungsaustausch durch die Entnahmeöffnungen des Geräts, aber auch Kunstlicht oder Solarstrahlung
- Wärmeleitung durch die geschlossenen Teile der Hülle
- Wärmeeintrag durch den Verdampfer-Ventilator
- Wärmeeintrag durch die Beleuchtung
- Wärmeeintrag durch die Abtauung
- Wärmeeintrag durch die Rahmenheizung. Um Kondensatbildung an den kalten Oberflächen, insbesondere am Rand der Öffnungen und an den Rahmen von Türen bzw. Abdeckungen zu vermeiden, werden diese Bereiche häufig elektrisch beheizt.

Wie sich die einzelnen Anteile an den Verlusten größenordnungsmäßig auf die genannten Pfade aufteilen, kann einer älteren Untersuchung aus den Niederlanden entnommen werden (vgl. Abbildung 2). Man sieht, dass zumindest zum damaligen Zeitpunkt die wesentlichen Verlustanteile die Wärmeleitung, Konvektion und Strahlung darstellten.

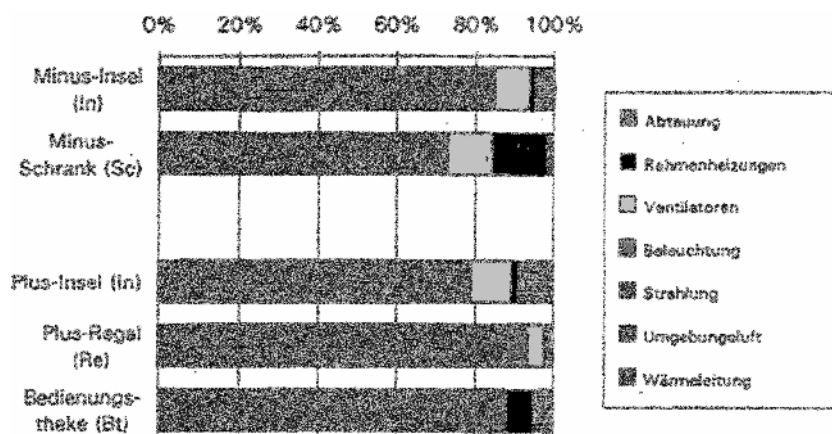


Abbildung 2:
Verlustanteile
verschiedener Arten von
Kühlmöbeln nach [van der
Sluis 1991]

Hochfrequentierte Eingangsbereiche

Eingangsbereiche von Selbstbedienungsmärkten (SB-Märkten), Einzelhandelsgeschäften, Hotels und auch Krankenhäusern sind in der Regel hochfrequentiert. Bei geöffneten Eingängen stellt sich in der Heizzeit ein erheblicher Infiltrationsluftwechsel ein. Dieser ist von der Temperaturdifferenz gegenüber außen und von den Windverhältnissen abhängig. Zudem spielen die Nutzungsintensität, also die absoluten Öffnungsdauern und die bauliche Lösung des Eingangs eine wichtige Rolle. Größere Eingangsbereiche, größere Temperaturunterschiede zwischen innen und außen oder längere Öffnungsdauern erhöhen den mit dem Öffnungsereignis verbundenen Luftaustausch.

Die kalte Luft im Eingangsbereich und Zugserscheinungen können die Behaglichkeit dort empfindlich stören. Je länger die Türen geöffnet sind, desto weiter dringt die kalte Luft im Winter in den Verkaufsbereich ein. Vor allem ist das Personal hierbei betroffen, da es sich dauerhaft in diesen Räumen aufhält und oftmals lediglich für Innenräume angemessen gekleidet ist. Kassen oder Schalter im Bereich der Eingänge sind besonders kritisch. Eine weitere Folge sind z.T. erhebliche Wärmeverluste über den Eingang im Winter. Im Sommer führt der Luftaustausch hingegen zu Wärme- und ggf. Feuchteinträgen, welche ebenfalls den Energiebedarf – im Sommer für Klimatisierung - erhöhen.

Durch die Gestaltung der Eingangslösung müssen ganz unterschiedliche und z.T. konträre Anforderungen erfüllt werden. Bei Verkaufsstätten hat der ungehinderte Kundenzugang eine zentrale Bedeutung. Ein möglichst offener, einladender Zugang soll möglichst viele Kunden anziehen. Zudem befinden sich in SB-Märkten oftmals die Kassen im Eingangsbereich. Die Sicherstellung der Behaglichkeit auch für hochfrequentierte Eingänge ist daher eine weitere wichtige Anforderung. Und schließlich sollten die Wärmeverluste und der damit verbundene Energiebedarf vor allem bei energieeffizienten Gebäuden gering gehalten werden.

Projekt-Vorstellung Passivhaus-Supermarkt Tesco Tramore

Der Lebensmittelmarkt Tesco Tramore entstand im Süden Irlands, in der direkt am Meer gelegenen Stadt Tramore im County Waterford. Das Klima in diesem Küstenstädtchen ist mild (60 kWh/a Heizgradstunden), aber windig, und es herrscht eine ganzjährig hohe Luftfeuchtigkeit. Über 50 % der Zeit ist der Himmel bedeckt.

Das Gebäude steht auf einem Hügel, seine Orientierung ist an dem vorgelagerten Kundenparkplatz ausgerichtet. Die verglaste Hauptfassade zeigt deshalb nach Norden (siehe Abbildung 3).

Abschlussbericht zu AK 40 bis 48 – Phase V: 2009-2012



Abbildung 3: Gesamtansicht Tesco Tramore, Co. Waterford, Irland. Foto: Joseph Doyle Architects, Dublin, Irland

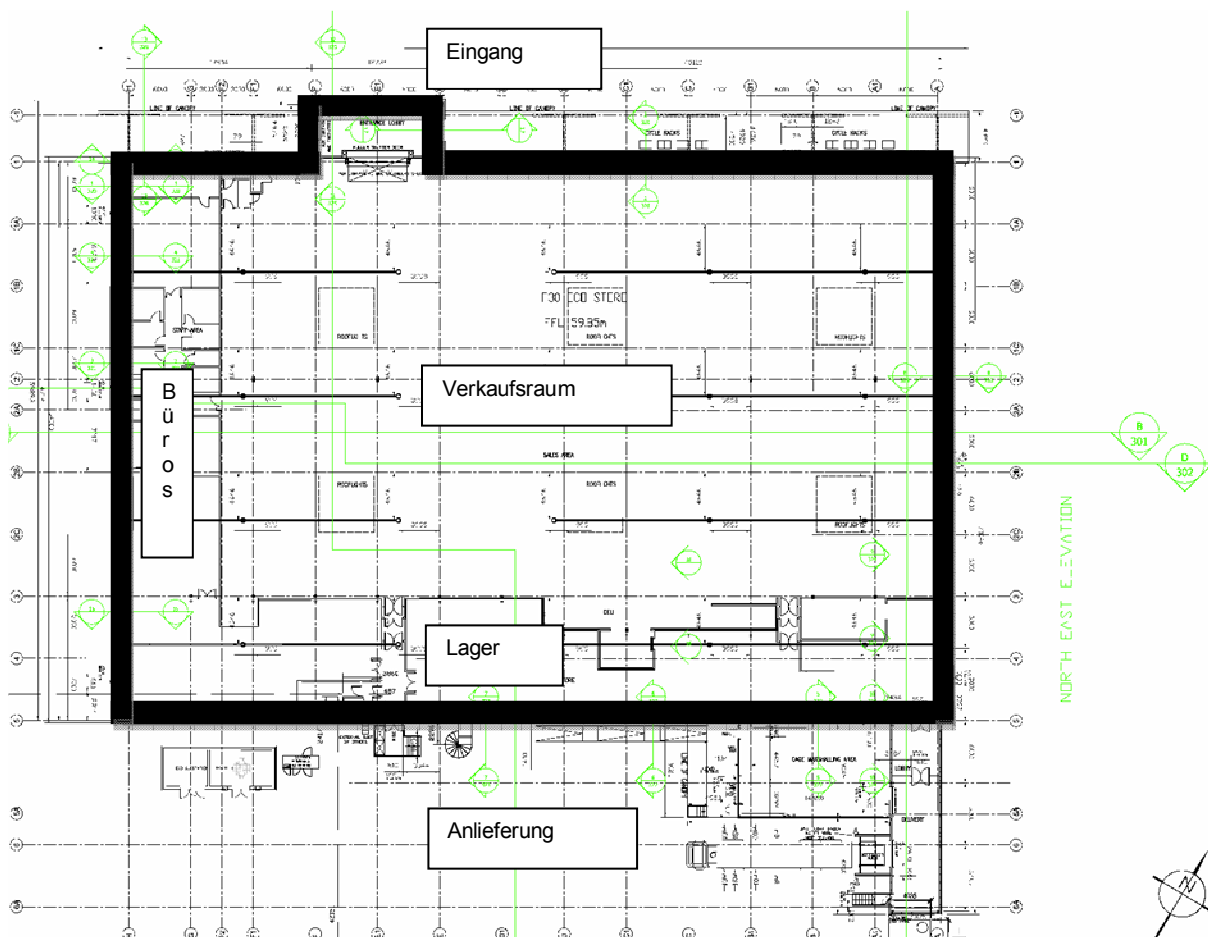


Abbildung 4: Grundriss: Die Energiebezugsfläche umfasst Eingangs-Lobby, Verkaufsfläche, Büros und Lager - Tesco Tramore. Zeichnung: Joseph Doyle Architects, Dublin, Irland

Die Verkaufsfläche beträgt 2757 m², die Energiebezugsfläche nach PHPP beträgt, unter Anrechnung von Lagerflächen, 3970 m². Die Planung startete 2007, Bauzeit war von März bis Oktober 2008. Der Markt wurde am 10.10.2008 mit einem Pilot-

Zertifikat eröffnet. Neben dem Verkaufsraum sind Verwaltung und Anlieferung angeordnet. Die Passivhaus-Hülle umfasst das gesamte Gebäude. Passivhaus-typisch ist, dass es eine durchgehende Dämmhülle sowie eine luftdichte Ebene gibt. Die Bilanzgrenze ist in Abbildung 4 dargestellt.

Notwendige bauliche Veränderungen konnten in ausreichendem Maße verwirklicht werden: So wurden Lobbies an beiden Haupteingängen eingebaut (Anlieferung und Kunden-Eingang). Diese sind ausreichend breit und mit Schiebetüren und Luftschleiern versehen. Da die Ausrichtung des Gebäudes durch die optimale Ausnutzung des Grundstücks vorgeben war, wurde die Glasfläche der normalerweise vollverglasten Hauptfassade links, rechts und im oberen Bereich verkleinert, um Wärmeverluste zu minimieren.

Eine der größten Änderungen war der Wechsel von einem reinen Stahlskelett zu einer Mischkonstruktion aus Leimbindern im Hauptgebäude und Stahlskelett-Konstruktion im Lagerbereich. Da sich auf dem Dach des Lagers die Technik befindet, verzichtete man aus statischen Gründen auf Holz. Um die ökologische Bauweise von außen ablesbar zu machen, wurden zusätzlich die Wandpaneele mit einer horizontalen Holzlattung versehen.

Alle Passivhaus-Kennwerte sind im folgenden aufgeführt sowie abrufbar unter Projekt-ID 1751 auf der Passivhaus-Projektdatenbank www.passivhausprojekte.de:

- Spezifischer Heizwärmebedarf: 15 kWh/(m²a) nach PHPP
- Spezifischer Primärenergiebedarf: 758 kWh/(m²a)
- Ergebnis des Drucktests: $n_{50} = 0,3 \text{ h}^{-1}$
- U-Wert Außenwand: 0,18 W/(m²K)
- U-Wert Dach: 0,15 W/(m²K)
- U-Werte Fensterrahmen und Verglasung: U_w -Wert = 1,08 W/(m²K),
 U_g -Wert = 0,6 W/(m²K), g-Wert = 43 %

Zu beachten: Die U-Werte sind für das irische, mildere Klima optimiert. In einem vergleichbaren deutschen Projekt gilt die Empfehlung, dass U-Werte von opaken Bauteilen zwischen 0,10 und 0,15 W/(m²K) liegen sollten.

Energieverbraucher

In einem Passivhaus kommt es maßgeblich darauf an, den gesamten Energieverbrauch wesentlich zu senken; dazu müssen zunächst die relevanten Energieverbraucher bekannt sein. Mit der „Green Tesco“-Studie gab es hierzu bereits eine Grundlage. Die Studie zeigt an einem Standard-Markt (3000 m² Verkaufsfläche) auf, welche Bereiche am energieintensivsten sind: Am meisten

Abschlussbericht zu AK 40 bis 48 – Phase V: 2009-2012

Energie verbrauchen die Kühltruhen (> 40 %) und die künstliche Beleuchtung (ca. 25 %). Weitere Verbraucher sind die Bäckereiofen und die Lüftung. Die Transmissions-Wärmeverluste durch die Gebäudehülle sind mit ca. 15 % dagegen gering.

Die bis dahin bekannten Passivhaus-Anforderungen lauteten, einen Heizwärmebedarf $\leq 15 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ zu erreichen, einen n_{50} -Wert von $\leq 0,6 \text{ 1/h}$ für die Luftdichtheit, und den Primärenergie-Kennwert so niedrig wie möglich zu halten.

8 Arbeitskreissitzung und Protokollband Nr. 41 Sommerverhalten von Nichtwohngebäuden im Passivhausstandard; Projekterfahrungen und neue Erkenntnisse

Die Minimierung interner Wärmelasten erwies sich einmal mehr als Ausgangspunkt für eine gute sommerliche Behaglichkeit in energieeffizienten Gebäuden. Auch aus Gründen der Primärenergieeinsparung und der Kosteneffizienz sollte hier immer ein Schwerpunkt bereits in einer frühen Planungsphase liegen. Betroffen sind insbesondere die Raumbelichtung, die ihrerseits über die erzielbare Tageslichtautonomie stark mit dem architektonischen Entwurf verwoben ist, und die eingesetzten Arbeitshilfen.

Daneben gilt es, hohe Solarlasten zu vermeiden, winterliche Solargewinne sind in typischen Passivhaus-Verwaltungsgebäuden jedoch weiterhin erwünscht. Vielfach sind steuerbare Verschattungselemente erforderlich. Aktivierte Verschattungen dürfen die Nutzung des Tageslichtes oder das Bedürfnis vieler Gebäudenutzer nach Ausblick nicht zu stark einschränken.

Für Gebäudekonzepte mit energieoptimierten Strategien für sommerliche Behaglichkeit ist die Nutzung der thermischen Speicherfähigkeit der Gebäudestruktur wesentlich. Durch integrale Planungsansätze können hier Zielkonflikte frühzeitig erkannt und aufgelöst werden, insbesondere hinsichtlich der Raumakustik. Einfache Werkzeuge zur Abschätzung der raumakustischen Verhältnisse in Büroräumen wurden entwickelt und stehen nun kostenfrei zur Verfügung. Im mitteleuropäischen Klima ist in den meisten Fällen eine ausreichende Entwärmung der Gebäudestruktur durch intensive Nachtlüftung möglich. Diese besonders energiesparende Vorgehensweise sollte prioritär verfolgt werden. Konkrete Hilfen zur Dimensionierung und Betätigung von Nachtlüftungsöffnungen stehen nun zur Verfügung, auch ihr Schutz vor Witterung, Tieren und Einbruch sowie Anforderungen der Versicherungswirtschaft konnten herausgearbeitet werden.

Für Fälle mit unvermeidlich besonders hohen Wärmelasten und Projekte, bei denen Nachtlüftungsöffnungen nicht realisierbar sind, stellt die Wärmeabfuhr durch Betonkerntemperierung (BKT) eine attraktive Möglichkeit dar. In Passivhäusern kann sie als alleiniges Heiz- und Kühlsystem mit stark vereinfachter Regelung ausgelegt werden, was preiswerte und energieeffiziente Systeme ermöglicht. Mehrjährige Betriebserfahrungen aus realisierten Gebäuden stützen die Ergebnisse der Untersuchungen mittels dynamischer Gebäudesimulation. Aufgrund der günstigen Medientemperaturen wird die Nutzung von natürlichen Wärmesenken, wie etwa Erdsonden, stark begünstigt; aber auch mechanische Kühlanlagen können bei

entsprechender Auslegung besonders effizient betrieben werden. Die Anforderungen an die Zonierung einer BKT im Passivhaus konnten klargestellt werden.

Die für Passivhäuser eingeführten Bewertungsverfahren (PHPP-Sommerblatt und Kühlalgorithmen) für den sommerlichen Komfort in nicht klimatisierten Gebäuden erwiesen sich auch für übliche Nichtwohngebäude als ausreichend genau. Kühlenergie und maximale tagesmittlere Kühllast werden gut abgebildet. Erst bei sehr hohen Lasten oder sehr hoher Dynamik liefert das Verfahren keine zuverlässigen Ergebnisse mehr, hier ist eine dynamische Simulation sinnvoll. Das Passivhaus Institut wird sich zukünftig um eine weitere Verbesserung der in EN 13790 vorgeschlagenen Algorithmen bemühen, um die Rechengenauigkeit für stark verglaste Gebäude noch weiter zu erhöhen.

8.1 Inhalt des 41. Protokollbandes

Sommerverhalten von Nichtwohngebäuden

2 Seiten

Prof. Dr. Wolfgang Feist, Universität Innsbruck und Passivhaus Institut

Solare Lasten – Sonnenschutz – Tageslicht – Interne Wärmequellen – Kunstlicht – EDV: Betriebserfahrungen Bürogebäude luteco

26 Seiten

Dr. Berthold Kaufmann, Dr. Jürgen Schnieders, Passivhaus Institut

Sonnenschutz – Tageslicht – Kunstlicht - EDV

18 Seiten

Dr. Berthold Kaufmann, Passivhaus Institut

Maßnahmen für akustischen Komfort in Räumen mit schallharter Decke

20 Seiten

Wolfgang Hasper, Passivhaus Institut

Wärmeabfuhr durch Nachtlüftung

12 Seiten

Dr.-Ing. Benjamin Krick, Passivhaus Institut

Versicherungsfragen bei Wärmeabfuhr durch Nachtlüftung

14 Seiten

Michael Hörner, Dr. Jens Knissel, Marc Großklos, Institut Wohnen und Umwelt (IWU)

Betonkerntemperierung im Passivhaus

32 Seiten

Wolfgang Hasper, Passivhaus Institut

Planungstools für den Sommerfall im Nichtwohngebäude

28 Seiten

Dr. Jürgen Schnieders, Passivhaus Institut

12 Jahre Passivbürohaus Cölbe. Langzeiterfahrungen der Nutzer. Konsequenzen für den Erweiterungsneubau

8 Seiten

Klaus Schweitzer, Wagner & Co. Solartechnik GmbH

Zusammenfassung: Sommerfall im mitteleuropäischen Klima auch bei Nichtwohngebäuden beherrschbar

5 Seiten

Prof. Dr. Wolfgang Feist, Universität Innsbruck und Passivhaus Institut

8.2 Ausgewählte Teile aus dem Inhalt von AK 41

Büroarbeitsplatz (Beispiel)

Bis vor kurzem hatte die Computer-Ausstattung eines typischen Arbeitsplatzes (PC plus Monitor) eine elektrische Leistung von etwa 300 W. Bei typischer Büro-Nutzung ergibt sich daraus ein jährlicher Stromverbrauch von etwa 2000 kWh/a.

Der typische Stromverbrauch effizienter Endgeräte ist inzwischen deutlich gesunken:

Laptop	20 W	42 kWh/a
Monitor	20 W	70 kWh/a
Drucker		100 kWh/a
Netzwerk-switch	10 ... 30 W ('idle port' option)	14 kWh/a
Beleuchtung		70 kWh/a
Summe	etwa 70 W / Arbeitsplatz (Standardbüro)	350 kWh/a

Das heißt, dass alleine durch die richtige Auswahl an Geräten der elektrische Energieverbrauch um etwa einen Faktor 5 sinken kann. Man beachte, dass der Anlass für die jeweilige Neuanschaffung in der Regel nicht die Energieeffizienz ist, sondern die vom Nutzer gewünschte bessere Performance des neuen Geräts. Bereits im 31. Arbeitskreis wurde in einer Wirtschaftlichkeitsberechnung die Neuanschaffung von Geräten mit geringerem Energieverbrauch monetarisch bewertet, indem neben den Anschaffungskosten für die verbesserten IT-Geräte die verminderten Kühllasten und die damit verringerten Energie- und Investitionskosten für die Klimatisierung miteinander verglichen wurden.

Wegen der genannten Effekte müssen heute höhere Anschaffungskosten der 'Green-IT' im Allgemeinen nicht mehr angesetzt werden, d.h. die Einsparung an elektrischer Energie ist praktisch zum Nulltarif möglich. Trotzdem bleiben die positiven Effekte auf die Raumklimatisierung und die in diesem Band und in Protokollband zur 31. Arbeitskreissitzung genannten, damit verbundenen wirtschaftlichen Vorteile weiterhin gültig. Der Einsatz energieeffizienter IT-Lösungen ist daher heute eine ökonomische Notwendigkeit.

Jalousie: Wärmebrückenfreie Befestigung und seitliche Führung

Die Kästen für Jalousien zur Verstaueung im gerafften Zustand werden in konventionellen Gebäude häufig mit sehr massiven Stahlwinkeln direkt am tragenden Mauerwerk befestigt. Inzwischen sind jedoch auch mehrere wärmebrückenfreie bzw. wärmebrückenarme Konstruktionen verfügbar. Das Prinzip ist ähnlich wie beim

wärmebrückenfreien Einbau des Fensters: Wenige (nur die statisch notwendigen) metallische Elemente tragen den Kasten. Zwischen Kasten und Mauerwerkswand bzw. Fensterrahmen muss eine Mindest-Dämmstärke vorhanden sein. In Abbildung 1 ist zusätzlich zwischen Kasten und Fensterrahmen ein Vakuum-Dämmpaneel angebracht.

Außenseitig wird eine Putzträgerplatte auf dem Kasten angeordnet und mit der Wanddämmung formschlüssig verbunden, die ein Überputzen erlaubt, ohne dass sich später unschöne Risse zwischen Kasten und Wanddämmung bilden.

Die seitliche Führung von Lamellen wird in der Regel mit metallischen Schienen realisiert, die vor dem Fensterrahmen in der Laibung angeordnet werden. Derartige Schienen sind für den wärmebrückenfreien Fenstereinbau problematisch, weil die Überdämmung des seitlichen Rahmenprofils damit unmöglich wird.

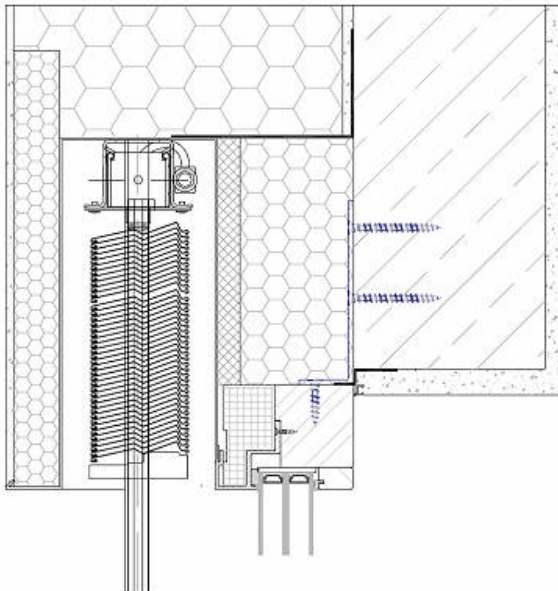


Abbildung 5: Fenstereinbau oben mit Jalousiekasten, wärmebrückenarm.

Folien und Lamellen im Scheibenzwischenraum

In besonders windreichen Gegenden oder bei Hochhäusern ist eine außen liegende Verschattung nicht möglich. Einen Ausweg bieten hierfür Lamellen und Folien im ersten Scheibenzwischenraum (SZR) der Dreischeibenverglasung von außen. Inzwischen werden weitgehend wartungsfreie Behänge angeboten, die mit der Verglasung fertig konfektioniert werden: Motor und Behang werden am Glasrandverbund befestigt und fest im SZR eingeklebt.

Vorerst bleibt anzumerken, dass bei den derzeit verfügbaren Produkten der verwendete Steg im Glasrandverbund leider noch aus Aluminium besteht und damit

Abschlussbericht zu AK 40 bis 48 – Phase V: 2009-2012

eine merkliche Wärmebrücke am Glasrand entsteht, die eigentlich vermeidbar wäre. Der Hersteller der genannten Beispiele hat jedoch versichert, dass dies kein technisches Problem sei, sondern dass mit steigender Nachfrage für Passivhäuser selbstverständlich auch ein thermisch getrennter Glasrand realisiert werden könnte.

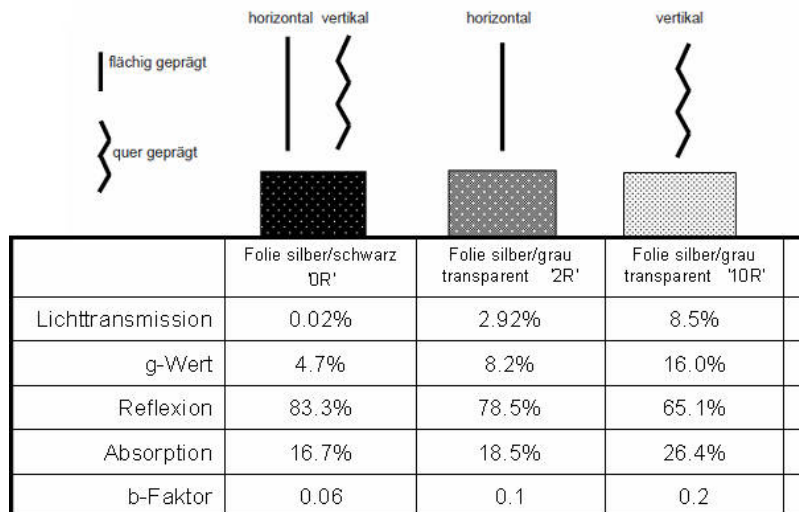


Abbildung 6:

Folien mit Metallbedampfung sind in verschiedenen Transparenzgraden verfügbar. Die beiden Graustufen erlauben eine gewisse Durchsicht auch bei geschlossenem Behang. Quelle: Glastec, Rosenheim

In Abbildung 2 sind die Eigenschaften von Folien mit unterschiedlicher Transparenz dargestellt. Die Folien sind Verbundmaterialien, mit mehreren Schichten Kunststoff und dazwischen liegender Metallbedampfung, ähnlich den Verbundfolien von Vakuumverpackungen. Über die Dichte der metallischen Bedampfung kann die Transparenz fast kontinuierlich eingestellt werden. Damit ist die oben erwähnte Durchsicht für den Nutzer auch im geschlossenen Zustand gegeben. Zusätzlich ist eine Perforierung und eine Prägung möglich.

Die Folie '2R' erlaubt in einem Paket mit 3fach WSV einen minimalen g-Wert im geschlossenen Zustand von 0,05 (Herstellerangabe). Im geöffneten Zustand bleibt der g-Wert des verwendeten Glases (im Beispiel $g = 0,5$) erhalten.

Die Mechanik für das Öffnen und Schließen des Behanges ist im oberen Bereich der Verglasung angeordnet und fest mit dem Glasrandsteg verbunden und zwischen den Glasscheiben eingeklebt. Da die Mechanik etwa 80 mm breit ist, ist die transparente Fläche der Verglasung um diesen Bereich kleiner. Im Sommer mag das durchaus gewünscht sein. Da im Passivhaus jedoch die winterlichen solaren Gewinne relevant sind, muss bei der Berechnung der solaren Gewinne im PHPP die Fläche der Mechanik von der ansonsten angesetzten Glasfläche abgezogen werden.

Abschlussbericht zu AK 40 bis 48 – Phase V: 2009-2012

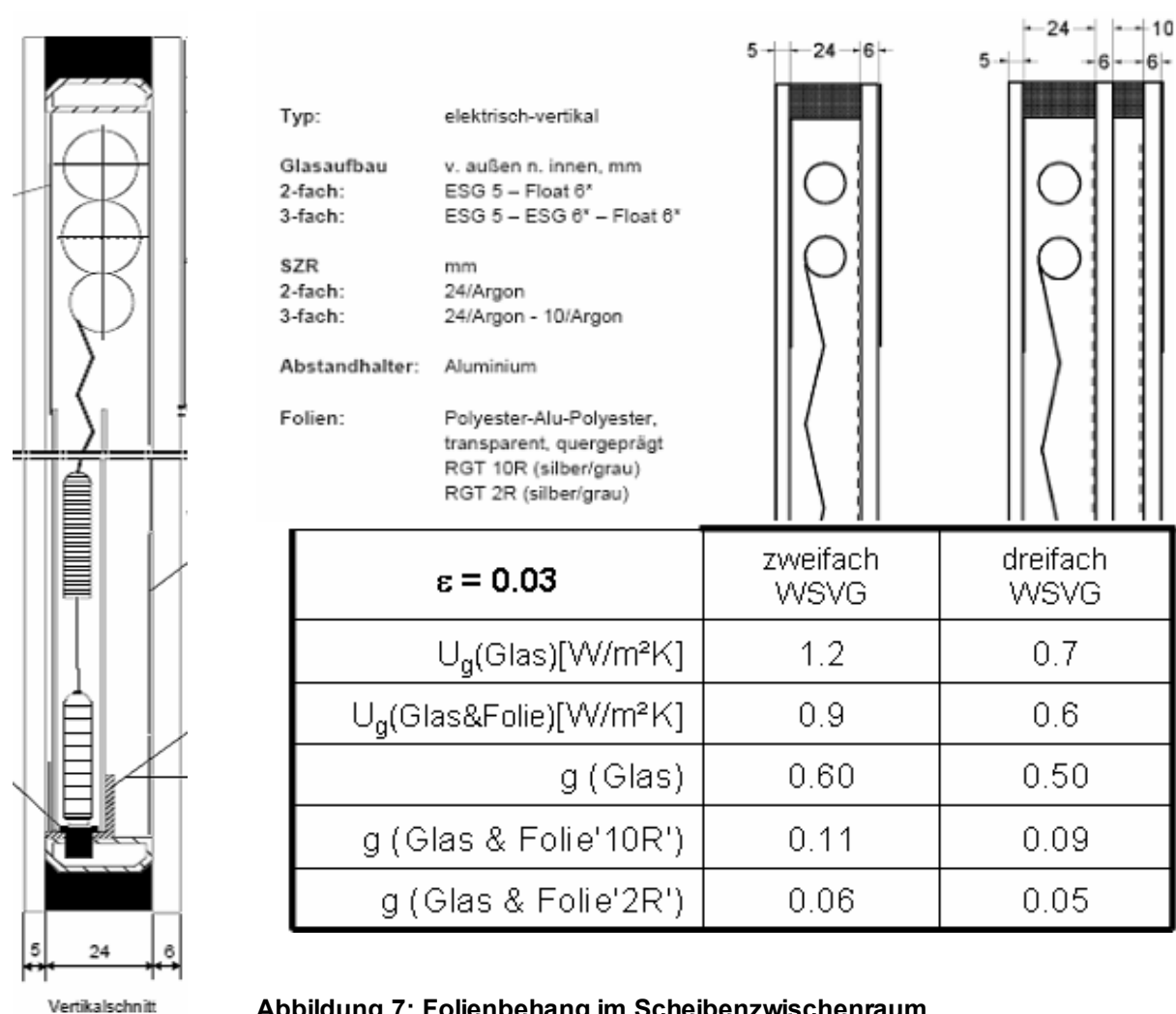


Abbildung 7: Folienbehang im Scheibenzwischenraum.

Quelle: Glastec, Rosenheim

Genauso wie die beschriebenen Folien sind auch Lamellen im SZR verfügbar, siehe Abbildung 3. Die Konstruktion und die erreichbaren minimalen g-Werte sind vergleichbar.

Beide Lösungen, Folien und Lamelle im SZR, sind außerdem auch für Schrägverglasungen verfügbar. Hierfür muss lediglich ein zweiter Antrieb im unteren Bereich der Verglasung angebracht werden. Dies wurde schon verschiedentlich für Atrien und ähnliche Situationen mit Überkopf-Verglasungen verlangt. Hier ist es besonders wichtig, einen niedrigen minimalen g-Wert zu erreichen, daher scheidet eine innen liegende Verschattung von vorneherein aus. Außen liegende Verschattungen sind jedoch sehr aufwendig und außerdem wegen Eis und Schnee sehr witterungsanfällig. Eine Verschattung im SZR ist für solche Anwendung also geradezu ideal.

Projektbeispiel mit Vergleich der Planungsdaten mit gemessenen Werten

Im Laufe des Jahres 2004 entschied die GAG Ludwigshafen als Bauherrin, ein neues Bürogebäude, das auf der 'Technologiemeile' südöstlich des Hauptbahnhofes in Ludwigshafen geplant war, als Passivhaus zu realisieren. Neben dem energetisch besonders anspruchsvollen Baustandard war jedoch von vorneherein klar, dass das Budget für die Investitionskosten begrenzt war, um später eine ortsübliche Miete von 9 €/m² realisieren zu können. Ein wesentliches Ziel war es daher, ein 'kostengünstiges' Passivhaus zu realisieren.



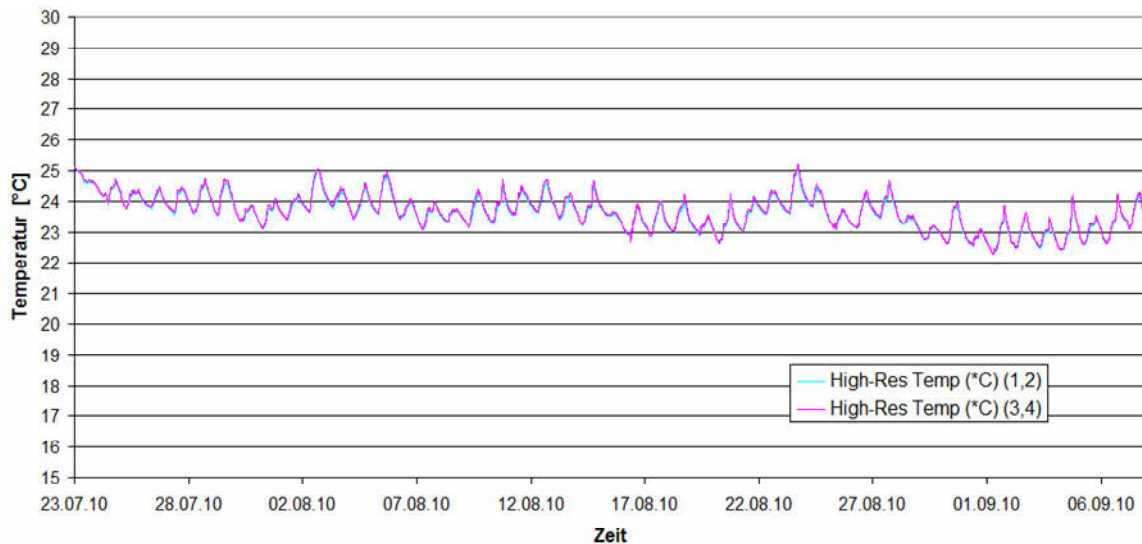
Abbildung 8: Bürogebäude lu-teco (lu-teco 1) Ansicht von Süd-West. Später wurde in direkter Nachbarschaft noch ein ähnliches Gebäude (lu-teco 2) als Passivhaus errichtet.

Das Passivhaus Institut war in diesem Projekt damit beauftragt, die Energiebilanz für das Gebäude mit etwa 10.000 m² Nutzfläche zu erstellen und die beteiligten Planer während der Planungs- und Ausführungsphase zu beraten. Diese Beratung bezog sich auf alle Belange der Passivhaus-Gebäudehülle: Wärmebrückenberechnung und luftdichte Anschlüsse und diesbezügliche Beratung bei der Detailplanung. Auch der Drucktest zur Überprüfung der Luftdichtheit wurde vom PHI durchgeführt.

Das Gebäude wurde vom Bauherrn mit 'lu-teco' bzw. später mit 'lu-teco 1' bezeichnet, weil in direkter Nachbarschaft noch ein weiteres Gebäude 'lu-teco 2' als Passivhaus errichtet wurde, siehe auch www.lu-teco.de. In diesem Beitrag wird einfach die Bezeichnung 'lu-teco' statt 'lu-teco 1' verwendet.

Abschlussbericht zu AK 40 bis 48 – Phase V: 2009-2012

Das Gebäude (Abbildung 4) wurde zur Beheizung im Winter und Kühlung im Sommer mit einer Betonkerntemperierung ausgestattet. Die Lüftung mit Wärmerückgewinnung hat nur die Aufgabe, die Räume mit ausreichender Luftqualität zu versorgen und kann in geringem Umfang im Bypassbetrieb zur Kühlung herangezogen werden.



**Abbildung 9: lu-teco 2.OG Süd-West, normale Büronutzung: Architekturbüro:
Geringe interne Wärmelasten, konsequente Verschattung - Messwerte**

Lösungsansätze für die Raumakustik

Die Reduzierung der Nachhallzeiten bedarf bei Gebäuden mit Betonkerntemperierung, d.h. ohne abgehängte Decken, besonderer Aufmerksamkeit. Verschiedene Möglichkeiten zur Ausführung und Anordnung schallabsorbierender Flächen in Räumen werden im Folgenden aufgezeigt.

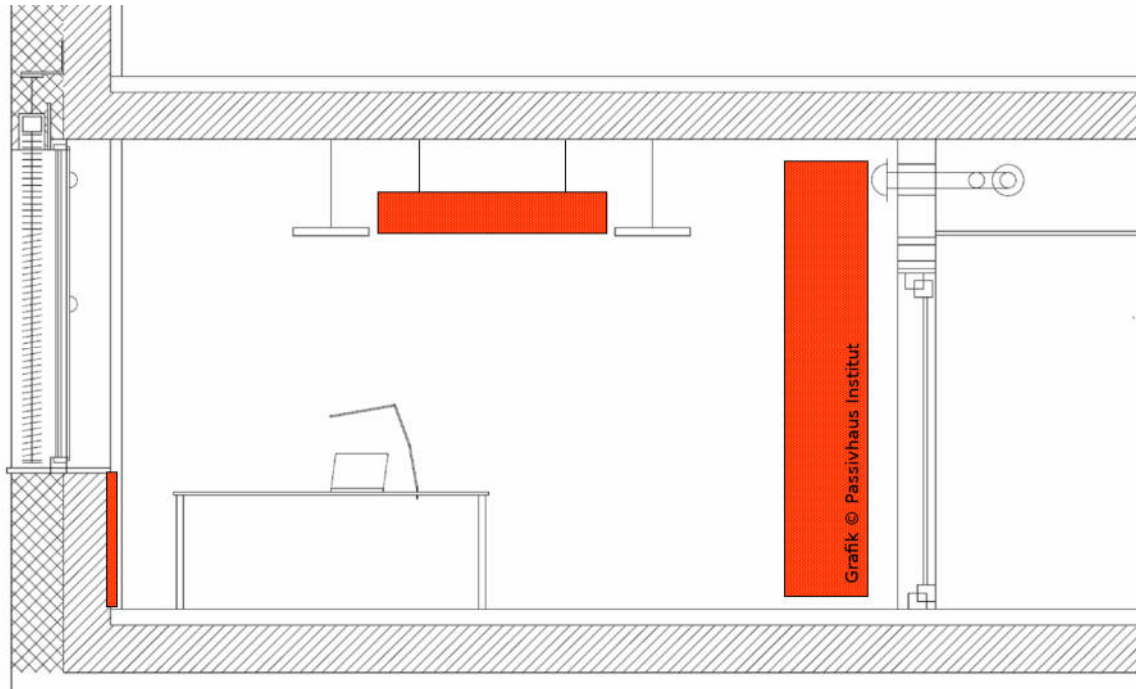


Abbildung 10: Brüstungselement, Wandabsorber und abgehängte Baffeln

Abbildung 6 zeigt ein akustisch wirksames Brüstungspaneel. Zusätzlich wurden abgehängte Baffeln angebracht, die orthogonal zur Fassade verlaufen, um die Tageslichtnutzung in der Raumtiefe nicht zu beeinträchtigen. Zur weiteren Schallabsorption ist ein Wandpaneel dargestellt. Dieses ist in der Abbildung das einzige Element, das mit nutzbarem Raum in Konkurrenz tritt.

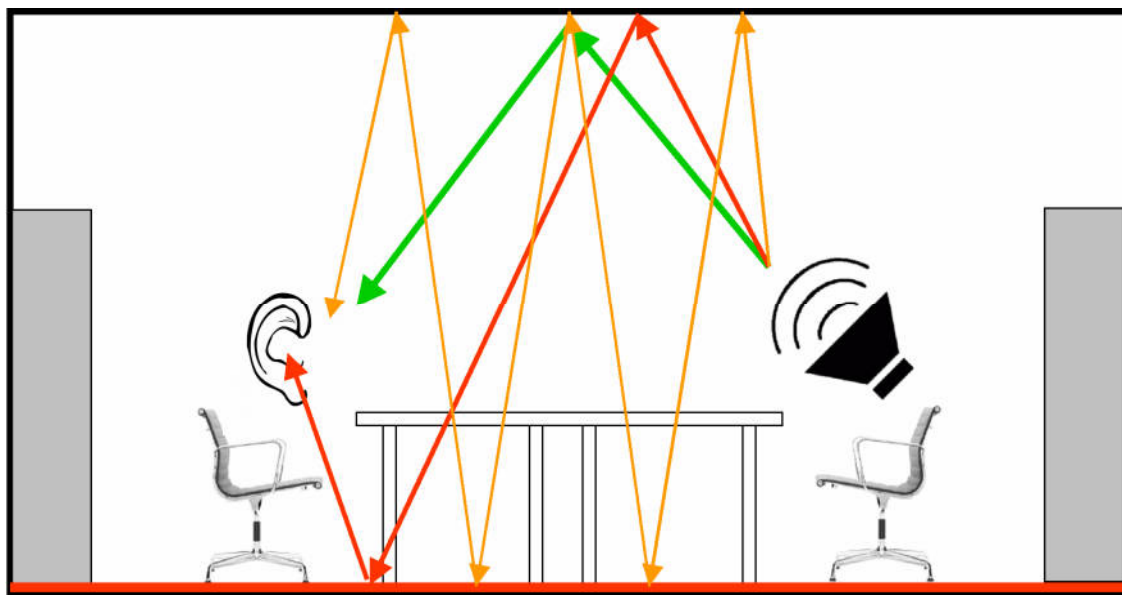


Abbildung 11: Absorbierender Bodenbelag, z.B. Teppichboden

Flatterechos durch Mehrfachreflexion zwischen Decke und einem ebenfalls schallharten Boden dürfen bei der Betrachtung nicht vergessen werden. Die Bodenbeschaffenheit ist von großer Bedeutung: In der Regel ist der gesamte Boden von gleichartiger Oberfläche und besitzt damit eine große wirksame Fläche. Da an Bodenbeläge ohnehin hohe und teilweise gegensätzliche Anforderungen gestellt werden müssen (Verschleißwiderstand, leichte Reinigung vs. poröse Oberfläche für Akustik, Toleranz für Flecken vs. helle Farben für effiziente Lichtnutzung, Preis...) ist die Auswahl nicht immer einfach. Der vielfach verwendete Nadelfilzboden stellt offenbar eine recht gute Synthese vieler Anforderungen dar und ist auch akustisch wirksam. Es werden daneben viele weitere Teppichprodukte für den Objektbereich angeboten, die akustisch noch wirksamer sind. Genaue Produktspezifikationen (Absorptionsgrad) sind jedoch leider nicht immer leicht zu erhalten, so dass Standardwerte verwendet werden müssen.

Grundsätzlich ist zu beachten, dass Teppichböden aufgrund ihrer geringen Dicke nahezu ausschließlich zur Absorption hoher Frequenzen geeignet sind. Zur Kontrolle tiefer und mittlerer Frequenzen sind daher immer zusätzliche Maßnahmen erforderlich.

Interne Trennwände/Stellwände können als schallabsorbierende Flächen herangezogen werden. In Schul- und Seminarräumen bieten sich absorbierende Pinnwände und Tafeln an.

Verminderung des Volumenstromes an Nachtlüftungsöffnungen durch Einbruch-, Eindring-, Witterungs- und Sonnenschutz

Bei den für die Nachtlüftung ausschlaggebenden geringen Strömungsgeschwindigkeiten kann beim vollständig geöffneten Drehflügel von einer Reduktion des Luftvolumenstromes proportional zur Reduktion des freien Öffnungsquerschnittes ausgegangen werden. Reduziert sich der freie Öffnungsquerschnitt beispielsweise durch Lamellen um 50 %, so reduziert sich der Luftvolumenstrom in gleichem Maße. Voraussetzung ist die gleichmäßige Verteilung der Lamellen über den Öffnungsquerschnitt in vertikaler Richtung. Überlagern sich z.B. Lamellen und ein Fliegengitter direkt, kann das gleiche Prinzip angewendet werden, vgl. Abbildung 8. Im PHPP-Blatt Sommluft kann die so berechnete Reduktion in der Zelle „Anteil Öffnungsdauer“ eingegeben werden, oder ein bereits vorhandener Reduktionsfaktor für die Öffnungsdauer mit dem Abminderungsfaktor für die Volumenstromreduktion multipliziert werden.

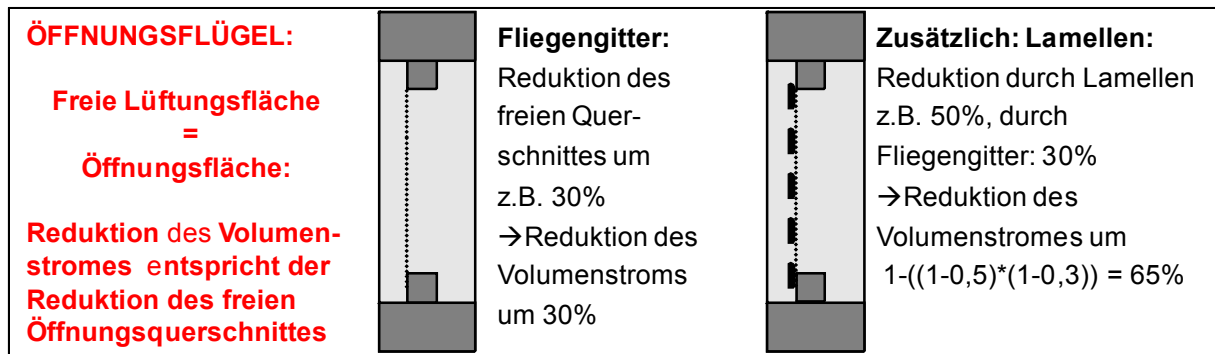


Abbildung 12: Reduktion des Volumenstromes bei vollständig geöffneten Fenstern

Bei gekippten Fenstern ist die freie Lüftungsfläche ungleich der Öffnungsfläche. Hier wirken das gekippte Fenster und z.B. ein Sonnenschutz oder ein Fliegengitter wie in Reihe geschaltete Widerstände. Gleiches gilt, wenn beispielsweise ein Fliegengitter und feststehende Lamellen mit einem Abstand hintereinander angeordnet sind.

Beispielhaft wurden Abminderungsfaktoren für den Volumenstrom durch Fenster unterschiedlicher Geometrie und unterschiedlicher Öffnungsweiten in Abhängigkeit vom freien Querschnitt des Fliegengitters ermittelt, indem die Kombination von Fliegengitter und Fenster als Reihenschaltung unabhängiger Strömungswiderstände betrachtet wurde. Das stellt insofern eine Näherung dar, als etwaige Wechselwirkungen zwischen Fliegengitter und Fenster aufgrund der spezifischen Strömungsmuster nicht berücksichtigt werden, es gilt also nur, wenn das Fliegengitter weit genug vom Fenster entfernt ist. Zu den Ergebnissen siehe Abbildung 10.

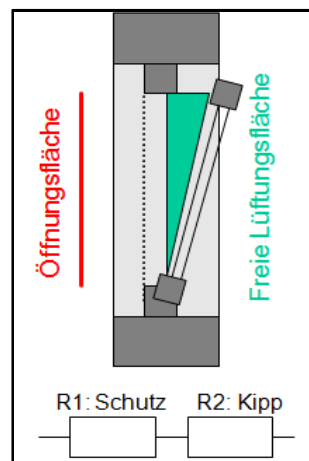


Abbildung 13: Bei gekippten Fenstern sind Öffnungsfläche und freie Lüftungsfläche ungleich.

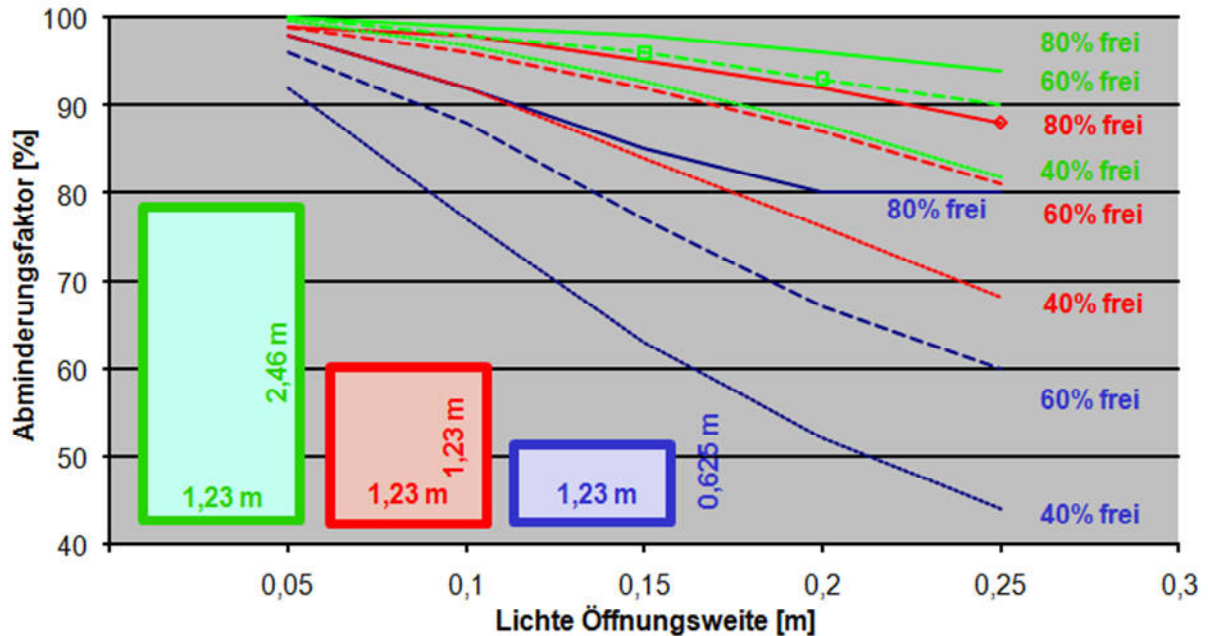


Abbildung 14: Abminderungsfaktoren für den Volumenstrom für Kippfenster bei vermindertem Lüftungsquerschnitt

Die Ideale Nachtlüftungsöffnung

Von einer Nachtlüftungsöffnung wird erwartet, dass über sie das Gebäude bei möglichst geringen Kosten über Nacht entwärmt werden kann. Zusätzlich soll sie einen Einbruch-eindring- und Witterungsschutz gewährleisten. Aus diesen Anforderungen und dem oben Erläuterten lässt sich folgend beschriebene Öffnung ableiten:

- Eine **verglaste Öffnung** ermöglicht solare Gewinne und Tageslichtnutzung.
- Gewählt wird ein **stehendes Format**, da dieses eine gute Nutzung der Thermik bietet.
- Eingesetzt wird ein **Drehflügel**, der bei gleicher Fläche einen höheren Volumenstrom zulässt als ein Kippflügel. Durch die Kombination Drehflügel und stehendes Format wird Größe und Anzahl der Nachtlüftungsöffnungen minimiert. Hierdurch lassen sich Kosten bei den Motoren und bei den Fenstern einsparen.
- Dieser Drehflügel ist **nach außen öffnend**. So steht er nicht in den Raum hinein, die Verletzungsgefahr wird reduziert. Nach außen öffnende Fenster gibt es in wachsender Zahl auch als Zertifizierte Passivhaus Komponente, vgl. www.passiv.de.

- Als **Eindringenschutz** wird ein **Gewebe oder Gitter innen** an den Rahmen angebracht. Den **Einbruchschutz** übernehmen **Stäbe**, ebenfalls auf der **Innenseite**. Durch diese Kombination wird eine Verletzungsgefahr von Personen innerhalb des Raumes durch automatisch schließende Flügel vermieden. Die Öffnung kann so auch für die Taglüftung verwendet werden. Zudem wird die Scheibe nicht verschattet, die Solargewinne sind in vollem Umfang nutzbar.
- Der **Witterungsschutz** geschieht durch automatisches Schließen in Verbindung mit der **Gebäudeleittechnik**.
- Der Sonnenschutz kann wie bei den übrigen Belichtungsöffnungen des Gebäudes z.B. außen angebracht werden. Im Fall der Taglüftung muss die GLT sicherstellen, dass keine Schäden durch die Überlagerung von Sonnenschutz und Lüftung entstehen können. Da die Lüftungsöffnungen durch den hohen möglichen Luftwechsel klein gehalten werden können, ist es möglicherweise auch denkbar, die Lüftungsöffnungen nicht zu verschatten.
- Als Fluchtweg kann eine so gestaltete Öffnung (wenn sie die entsprechende Größe hat) genutzt werden, wenn Eindring- und Einbruchschutz beweglich angeordnet werden.
- Von Nachteil ist sicher, dass die Scheibe bei diesem Aufbau nur von außen geputzt werden kann. Das Reinigen motorisch betriebener kippender Oberlichter ist aber ohnehin schwierig, auch wenn diese nach innen öffnen.

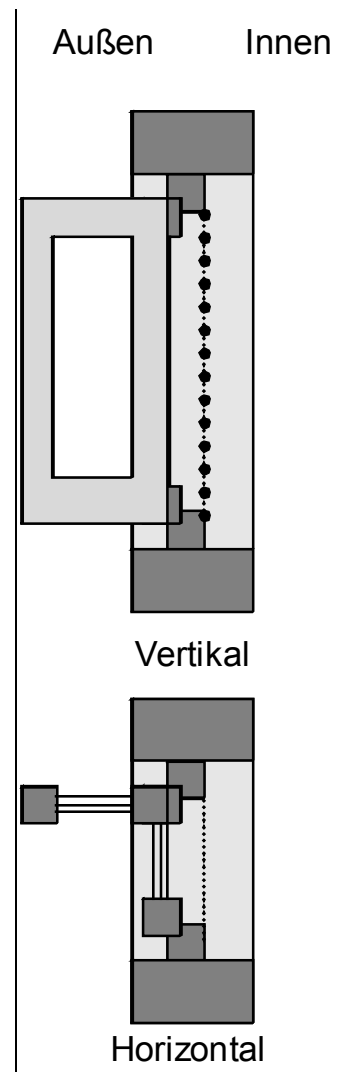


Abbildung 15: Die „ideale Nachtlüftungsöffnung“

Nachtlüftung und Einbruchschutz

Geht die sommerliche Nachtlüftungsstrategie davon aus, dass die Fenster in der Nacht und am Wochenende, also außerhalb der normalen Betriebszeit des Gebäudes, motorisch geöffnet werden und eine effektive, natürliche Lüftung ermöglichen, dann stellt sich die konkrete Frage hinsichtlich des Einbruchsschutzes: Wie kann man ein gekipptes Fenster (Widerstandsklasse WK0) so ausrüsten, dass es einen der Widerstandsklasse WK2 vergleichbaren Einbruchschutz erreicht? Die Beantwortung dieser Frage hängt von vielen Aspekten ab. Dazu wurde in einem

konkreten Projekt eine sicherheitstechnische Stellungnahme durch einen Sachverständigen der Einbruchdiebstahlversicherung eingeholt.

Für das Erdgeschoss sah der Gutachter wegen der geringen Höhe über dem Boden keine andere Möglichkeit, als dass dort die Fenster nachts verschlossen sein müssen. Zu groß ist die Gefahr, dass auch bei einer nachgerüsteten Sicherung ein fehlgeschlagener Einbruchsversuch Vandalismus nach sich zieht. Die Gefahr der sommerlichen Überhitzung ist im Erdgeschoss des Projekts geringer, bedingt durch äußere Verschattung und geringe interne Kühllasten, so dass diese Einschränkung im konkreten Fall des Projekts hingenommen werden kann. Zur Optimierung des Einbruchschutzes wurden einbruchhemmende Fenster der Widerstandsklasse WK2 empfohlen, aber nicht gefordert. Da die Fenster neben dem erhöhten Wärmeschutz auch Anforderungen an den erhöhten Schallschutz erfüllen müssen, wäre es schwierig geworden, die Verglasung auch noch einbruchhemmend auszuführen. Allerdings werden die Fenster abschließbar sein und rundum so genannte Pilzkopfverriegelungen haben.

Die Fenster des zweiten Obergeschosses können aufgrund der Höhe über dem Boden von ca. sieben Metern während der Nachtzeit in Kippstellung verbleiben, ohne dass eine zusätzliche Sicherung nötig ist.

Auch für die Fenster des ersten Obergeschosses lässt der Gutachter zu, die Fenster gekippt zu lassen, allerdings wird eine Sicherung gegen Aufdrücken gefordert. Als ausreichende Sicherung im Projekt wurde ein einfaches, nachrüstbares System anerkannt, das im Übrigen auch gut kombinierbar ist mit dem ausgewählten System der motorischen Öffnung: Eine auf der Innenseite des Fensters beidseitig in der Laibung befestigte Querstange (vgl. Abbildung 12). Produkte dieser Art können als fertig konfiguriertes, mit einem Schloss gesichertes Element bezogen werden. Es kann so angebracht werden, dass das Fenster gekippt werden kann. Zur Reinigung der Fenster wird es aufgeschlossen und herausgenommen, so dass das Fenster auch als Drehflügel geöffnet werden kann.



Abbildung 16: Sicherung eines Fensterflügels gegen Aufdrücken im gekippten Zustand durch eine beiderseitig in der Laibung befestigte Querstange (Quelle: ABUS)

Simulationen zur Betonkerntemperierung mit vereinfachter Regelung

Als Referenzfall wird eine typische Mittelbüro-Situation im Passivhaus vorgestellt, die 40 % Fensteranteil aufweist. Die Fenster werden, wie in Passivhaus-Verwaltungsgebäuden üblich, automatisch durch eine außenliegende Verschattung geschützt, wenn dies erforderlich ist (Raumtemperatur $> 23^{\circ}\text{C}$, Direktstrahlung auf das Fenster $> 100 \text{ W/m}^2$). Um Imperfektionen durch zeitweilige Übersteuerung der Automatik durch Nutzer mit abzubilden, wird die Verschattung jeweils nur zu 80 % geschlossen. Interne Wärmequellen werden, ausgehend von einem optimierten Passivhaus mit besonders effizienter Beleuchtungs-/Geräteausstattung ($2,3 \text{ W/m}^2$ im Mittel nach PHPP Konvention) variiert.

Die BKT wird aktiviert, wenn dort um 22:00 h eine Temperatur $\geq 22^{\circ}\text{C}$ (Sommer) bzw. $\leq 22^{\circ}\text{C}$ (Winter) besteht und läuft dann, bis diese Solltemperatur im Betonkern erreicht wird. Spätestens um 7:00 h wird sie jedoch immer abgeschaltet. Dieses Regime gilt für alle Wochentage, ohne Ausnahme am Wochenende. Der Regelansatz wird als „22_22_22“ bezeichnet. Jegliche Wärmeabfuhr erfolgt ausschließlich durch die BKT, der mindernde Einfluss geöffneter Fenster auf den Kühlbedarf wurde zur Klarheit des betrachteten Konzeptes nicht modelliert.

Abschlussbericht zu AK 40 bis 48 – Phase V: 2009-2012

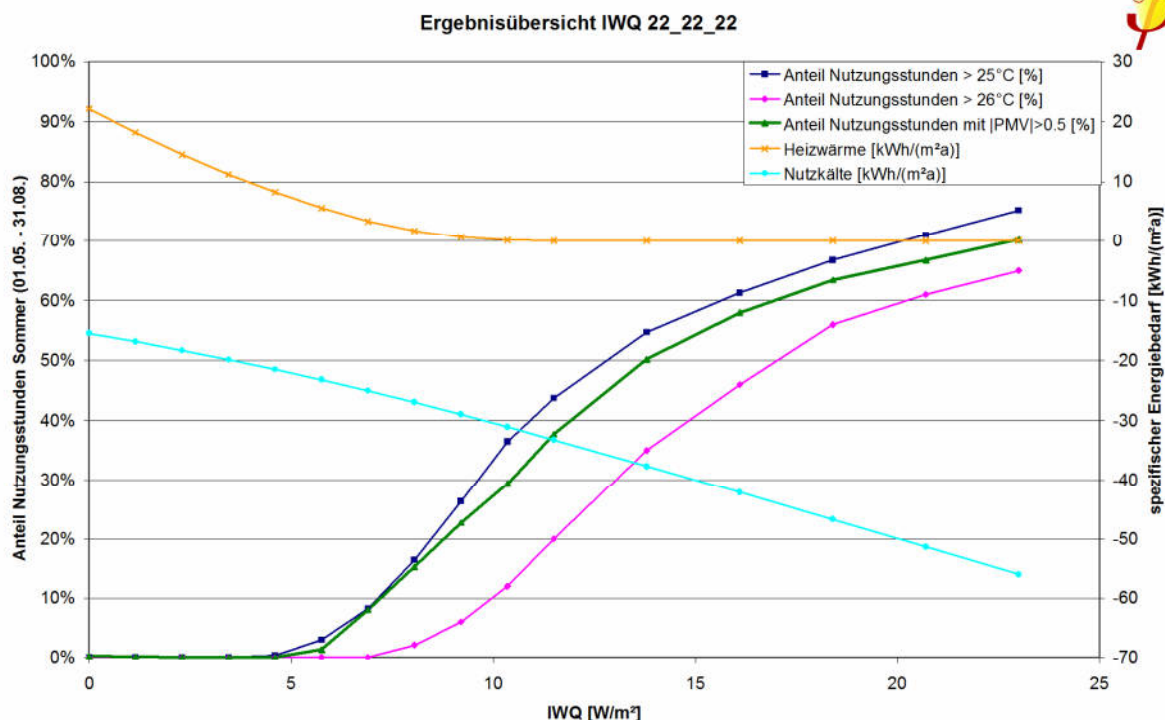


Abbildung 17: Energiebedarf und Behaglichkeit bei unterschiedlichen IWQ

Die Übersichtsgrafik in Abbildung 13 zeigt wie erwartet mit steigenden IWQ einen abnehmenden Heizwärmebedarf bei umgekehrt zunehmendem Kühlbedarf. Bei IWQ von bis zu 5 W/m^2 im Tagesmittel wird praktisch keine Überschreitung der Behaglichkeitsgrenzen ($PMV > 0,5$ nach ISO 7730) festgestellt. Bis hin zu 7 W/m^2 können noch akzeptable Bedingungen erwartet werden. Erst bei noch höheren Lasten wird die Wärmeabfuhr durch die hier nur rudimentär geregelte BKT nicht mehr bewältigt.

Hieraus folgt bereits, dass für Passivhaus-Verwaltungsbauten mit intermittierender Nutzung am Tage und typischen IWQ um $3,5 \text{ W/m}^2$ ein solcher Ansatz sehr vielversprechend ist (Zukünftige Effizienzsteigerungen im IT- und Beleuchtungsbereich lassen noch geringere IWQ erwarten). Voraussetzung ist, dass auch solare Lasten wirksam begrenzt werden. Am einfachsten und mit vielen weiteren positiven Nebenwirkungen (z.B. Baukosten, Wärmeschutz) gelingt dies mit einem maßvollen Fensteranteil um 40 % der Fassadenfläche. Ein wirksamer außenliegender Sonnenschutz mit der Möglichkeit der Tageslichtnutzung im aktivierten Zustand gehört ebenfalls zur Standardausstattung eines Passivhauses.

Anwendung des PHPP-Sommerversfahrens auf Nichtwohngebäude

Die Korrelation von Simulation und vereinfachter PHPP-Berechnung für die Anwendung in Nichtwohngebäuden bei mäßigen und hohen internen Lasten von 3 bzw. 9 W/m² zeigen Abbildung 14 und Abbildung 15. Es wurde jeweils eine einseitige Bandfassade angesetzt, da für vollverglaste Gebäude ohne außenliegende Verschattung eine passive Kühlung ohnehin nicht in Frage kommt.

Die Übertemperaturhäufigkeit hängt erwartungsgemäß stark vom Luftwechsel bei Sommerlüftung ab. Im Fall mit mäßigen internen Lasten von 3 W/m² entstehen Abweichungen vor allem bei geringen Luftwechseln und hohen Übertemperaturhäufigkeiten. In diesem Bereich ergibt sich der genaue Wert der Übertemperaturhäufigkeit aus Monatsmittelwerten der Randbedingungen, so dass eine gewisse Ungenauigkeit unvermeidlich ist. Hohe Präzision ist hier aber auch nicht gefragt, es genügen Richtungssicherheit und die Erkenntnis, dass das Gebäude unter diesen Bedingungen massiv unkomfortabel ist.

Für hohe Lasten von 9 W/m² ist die Tendenz ähnlich. Bei Luftwechseln oberhalb von 3 h⁻¹ liefert der Sommerlüftungsalgorithmus des PHPP allerdings zu pessimistische Werte: Während bei 5-fachem Sommerluftwechsel die Übertemperaturhäufigkeit laut Simulation schon im akzeptablen Bereich liegt, ist das laut PHPP nicht der Fall. Diese Abweichung ließ sich auf die verwendete Methode zur Berechnung der Wärmeabfuhr durch die Sommerlüftung zurückzuführen. Hier gibt es noch Möglichkeiten zur Optimierung des Rechenverfahrens, der PHPP-Algorithmus liegt aber zumindest auf der sicheren Seite.

Abschlussbericht zu AK 40 bis 48 – Phase V: 2009-2012

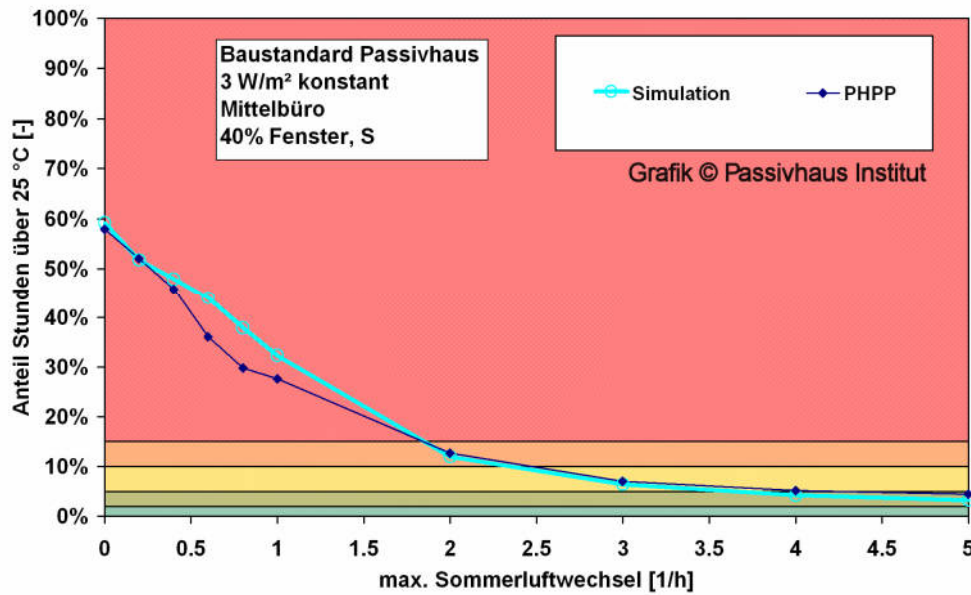


Abbildung 18: Beispiel für die Übertemperaturhäufigkeit als Funktion des Sommerluftwechsels für niedrige interne Lasten

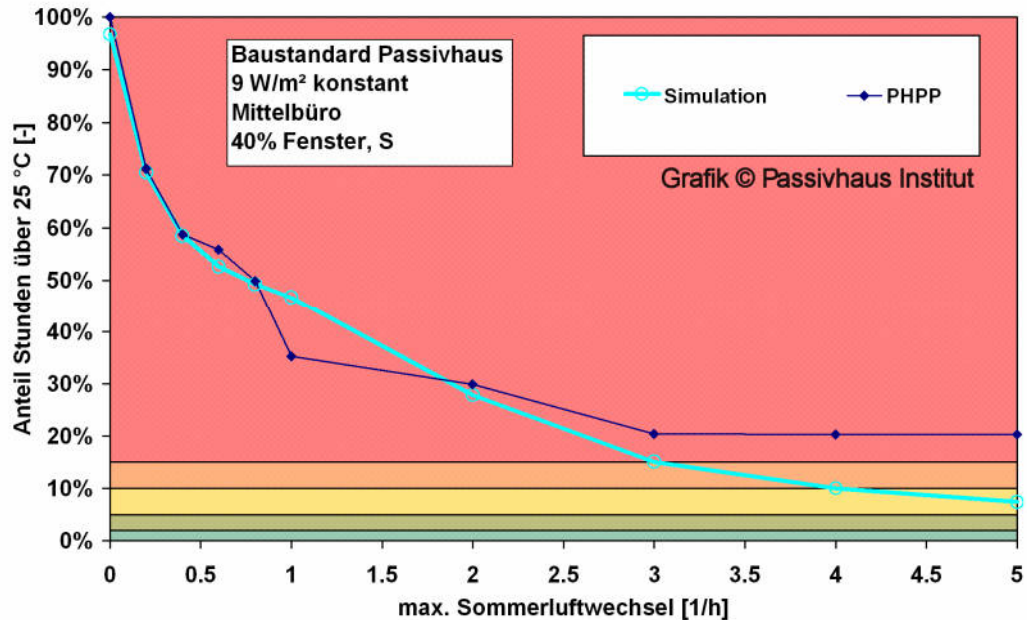


Abbildung 19: Beispiel für die Übertemperaturhäufigkeit als Funktion des Sommerluftwechsels für hohe interne Lasten

9 Arbeitskreissitzung und Protokollband Nr. 42 Ökonomische Bewertung von Energieeffizienzmaßnahmen

Ertrag, Risiko, Rendite: Wann rechnet sich die Investition in Energieeffizienz? Bei Gebäuden ist meist ein hoher Kapitaleinsatz erforderlich. Zusätzlicher Aufwand für Wärmeschutz entsteht durch passivhaustaugliche Produkte, die oft noch in kleineren Serien gefertigt werden und daher meist teurer sind, sowie durch Baubeteiligte, die z.T. noch wenig Erfahrung mit dem Bau von Passivhäusern oder Sanierungen mit Passivhaus-Komponenten haben. Andererseits werden diese Gebäude oft bewusst als Projekte für den gehobenen Anspruch entwickelt und vermarktet - schließlich bieten sie nicht nur geringe Energiekosten, sondern auch hohen Wohnkomfort und gesteigerten Gebäudewert..

In dieser Arbeitskreissitzung wurden die betriebswirtschaftlichen Bewertungsmethoden aus der Investitionstheorie vorgestellt, ihre Einsatzbereiche, Zielgrößen, Eignung für die Anwendung auf bauliche Energiesparinvestitionen sowie Ergebnisse für typische Anwendungen. Neben der Methode kommt es vor allem auf die Wahl der Randbedingungen an. Einen entscheidenden Einfluss auf das betriebswirtschaftliche Ergebnis haben insbesondere der für die ökonomische Bewertung angesetzte Anteil der Investitionskosten, der Betrachtungszeitraum und die Nutzungsdauern, der Ansatz für Restwerte, der Kapitalzinssatz, die geforderte Rendite unter Berücksichtigung des Risikos, sowie die unterstellte Energiepreissteigerung. Diese Auswirkungen wurden daher explizit diskutiert und transparent gemacht, ebenso wie die Frage, welche konkreten Hilfsmittel der Planer benötigt, um ökonomische Bewertungen durchzuführen und seine Planungen auf Energie- und Kosteneffizienz auszurichten. Exemplarisch wurden für mehrere konkrete Neubau- und Sanierungsprojekte aus dem Wohn- und Nichtwohnbau die Kosten und energetischen Auswirkungen der Maßnahmen erhoben und unter Einbeziehung von Alternativen und Varianten eingehend wirtschaftlich analysiert.

Bei der Entwicklung des Passivhaus-Konzepts war eine der wesentlichen Zielsetzungen die auf lange Sicht erreichbare Wirtschaftlichkeit. Nach diesem Vorbild verfolgt die EU mit der neuen Richtlinie über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden EPBD (Energy Performance of Buildings Directive) die gleiche Strategie. Gefordert wird mindestens das „kostenoptimale Niveau“ auf der Basis von Lebenszykluskosten. Vorgestellt wurden die wesentlichen Aspekte des „Nearly zero energy building“ und der Anforderungen an energetische Sanierungen im Gebäudebestand, ebenso wie das neue „EnerPHit“- Zertifikat des Passivhaus Instituts.

Energieeffizienz schont das Klima, sorgt aber auch für zusätzliche, vor allem regionale Wertschöpfung: daher werden solche Investitionen gefördert, von der KfW durch zinsgünstige Kredite und oft durch zusätzliche Zuschüsse von Ländern oder Gemeinden. Am Beispiel der Region Hannover zeigte die Ex-Post Analyse der ausgewerteten Fördermaßnahmen, die ausschließlich nur für höchste Energieeffizienz gewährt wurden, dass allein die kommunale Wertschöpfung dreimal so hoch ist wie die Summe der ausgezahlten Fördermittel. Die volkswirtschaftliche Bedeutung des energieeffizienten Bauens und Sanierens ist eine wesentliche Argumentationshilfe auf der global- und lokalpolitischen Ebene.

10.1 Inhalt des 42. Protokollbandes

Einführung: Ökonomische Bewertung von Energieeffizienzmaßnahmen

23 Seiten

Prof. Dr. Wolfgang Feist, Passivhaus Institut und Universität Innsbruck

Die Ökonomie der Energieeffizienz: Methoden der Investitionsrechnung, Zielgrößen und Anwendungsbereiche

40 Seiten

Dr. Witta Ebel und Dr. Wolfgang Feist, Passivhaus Institut

Wirtschaftliche Beurteilung energierelevanter Bauteile

36 Seiten

Oliver Kah, Passivhaus Institut

Passivhaus Nichtwohngebäude: rechnet sich das? Untersuchungen, Ergebnisse und Einflussgrößen bei zwei hessischen Bauprojekten

18 Seiten

Anne Huse und Cornelia Baumgärtner, Passivhaus Institut

Komfortlüftung mit Wärmerückgewinnung aus ökonomischer Sicht – Lebenszykluskosten und Einsparpotenziale

22 Seiten

Dr.-Ing. Rainer Pfluger, Universität Innsbruck, Arbeitsbereich energieeffizientes Bauen

Passivhaus Wohngebäude – Neubau und Sanierung: Wirtschaftlichkeitsanalyse anhand realisierter Projekte mit abgerechneten Kosten. Die neue EnerPHit Zertifizierung

70 Seiten

Dr. Berthold Kaufmann, Passivhaus Institut

Rendite, Risiko und Gewinn bei der Bewertung und Optimierung von Energieeffizienzmaßnahmen an Gebäuden

36 Seiten

Dr. Witta Ebel, Passivhaus Institut

Förderung von Energieeffizienzmaßnahmen: Der volkswirtschaftliche Nutzen, Ergebnisse aus der Region Hannover

16 Seiten

Anne Huse, proKlima – Der enercity Fonds

Zusammenfassung: Ökonomische Bewertung von Energieeffizienzmaßnahmen

42 Seiten

Dr. Wolfgang Feist, Passivhaus Institut und Universität Innsbruck

10.2 Ausgewählte Teile aus dem Inhalt von AK 42

Berechnungsgrundlagen - Methode

Für die Bewertung gibt es verschiedene methodische Ansätze – und auch bei gleicher Methode spielen die Randbedingungen eine große Rolle. Diese sind nie vollständig bekannt, und es sind zudem größtenteils Zukunftsprojektionen.

Grundlage der dynamischen Verfahren ist die Kapitalwertmethode. Davon abgeleitet sind die Annuitätenmethode und die interne Zinsfußmethode.

Die Diskontierung bewirkt, dass man alle Zahlungsströme aller Zahlungszeitpunkte monetär vergleichbar machen kann. Dies ist die Voraussetzung für die Berechnung von Lebenszykluskosten. Im Prinzip kann dazu jeder Zeitpunkt gewählt werden. Üblicherweise werden die Zahlungen auf den betrachteten Anfangszeitpunkt zurückgezinst (**Gegenwartswert**) oder zum **Endwert** aufaddiert. Für die Kalkulation am interessantesten ist der Gegenwartswert, der im Folgenden betrachtet werden soll. Ein so diskontierter Zahlungsstrom heißt **Barwert** (engl. present value).

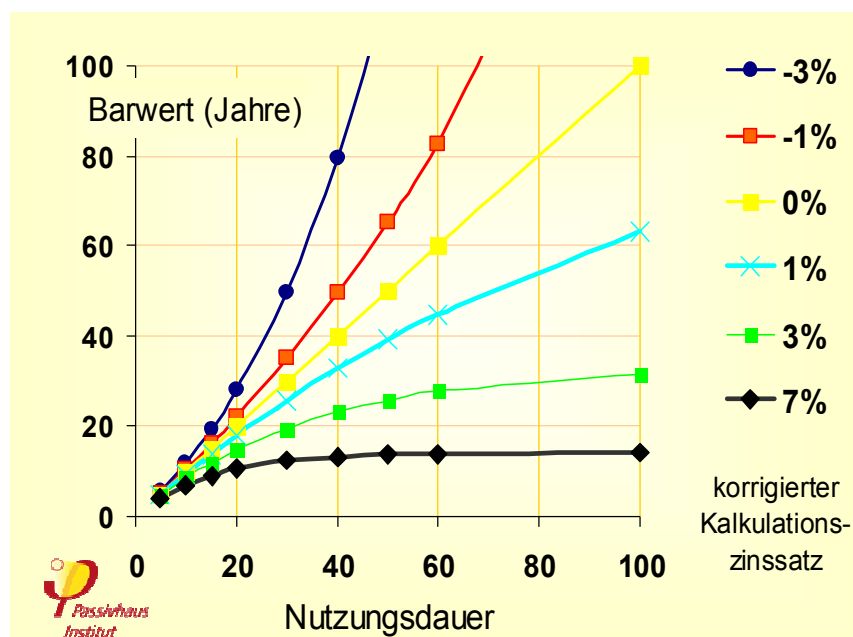


Abbildung 20: Barwertfaktor bei Steigerungen, in Abhängigkeit vom um die Preissteigerungsrate korrigierten Zinssatz

Abschlussbericht zu AK 40 bis 48 – Phase V: 2009-2012

Der Kapitalwert K_0 ist die Summe aller Barwerte. Alle Einnahmen und Ausgaben werden diskontiert und addiert, dabei sind Einnahmen positiv und Ausgaben negativ. Für Effizienzinvestitionen am Gebäude ist der Kapitalwert

$$K_0 = - \sum_{\text{Bauteile } k} I_k * (1 - r(p, n, N_k)) + \sum_{j=1}^n e(j) * (1+p)^{-j}$$

Mit: $(1+p)^{-j}$ = Diskontfaktor n = Kalkulationszeitraum

I_k = Mehr-Investition Bauteil k N_k = Nutzungsdauer Bauteil k

$r(p, n, N_k)$ = Restwertfaktor $e(j)$ = Erträge (Einsparungen)
im Jahr j

Dabei sind bei der Bewertung für die Investition nur die Mehrinvestitionen für die Energieeinsparung anzusetzen. Mit dem Restwertfaktor wird der Restwert der Investition am Ende des Kalkulationszeitraums berücksichtigt, wenn dieser kürzer ist als die Nutzungsdauer des Bauteils.

Der Ergebnis K_0 ist der Gewinn, berechnet als Gegenwartswert. Eine Investition oder Maßnahme ist wirtschaftlich, wenn der Kapitalwert aus allen ihr zuzurechnenden Zahlungsströmen nicht negativ ist. Wenn betriebswirtschaftlich gerechnet wird, dann muss dies auch richtig getan werden, d.h. es wird der Gesamtgewinn optimiert – und nicht andere Größen. Die Optimierung anderer Größen führt oft auf irreführende Ergebnisse.

DCF-Methoden und vollständige Finanzpläne

Cash Flow, freier Cash Flow und Discounted Cash Flow

Das Prinzip der Barwertmethode hat sich als sehr universell erwiesen und ist die Grundlage einer Vielzahl von Bewertungsmethoden. Je nach Fokus gibt es aber eine Reihe von Varianten. Bei der ökonomischen Bewertung, insbesondere wenn sie mit großen Kapitalstöcken zu tun hat und langfristig angelegt ist, steht eine wertorientierte Betrachtung im Vordergrund. In der Bilanz steht das Kapital, die wertbestimmenden Veränderungen sind Aufwand, Ertrag und Gewinn. Der Kapitalwert, Gewinn als Gegenwartswert (engl. Net present value) ist die Summe aller diskontierten Netto-Erträge, abzüglich der Investition.

"Cash Flows" bilden Zahlungsströme ab: Einzahlungen und Auszahlungen. Der Aufwand der Abschreibung verändert die Liquidität nicht und erscheint nicht als

Ausgabe, dafür aber der Kapitaldienst einschließlich der Tilgung, der für das Fremdkapital zu leisten ist, als eine Ausgabe, die die Netto-Einnahmen vermindert.

Die DCF-Methode hat die Perspektive des Eigentümers im Fokus und stammt aus der Unternehmensbewertung. Der Unternehmenswert bestimmt sich bei dieser Methode aus den Einnahmen, die es erzeugt, deren Kapitalwert (Summe diskontierter Zahlungsströme) entspricht dem Marktwert. Die Einnahme-Überschüsse (liquide Mittel) werden bewertet für den (begrenzten) Betrachtungs-Zeitraum; Restwerte sind Einnahmen (im Gegensatz zu manchen klassischen Ertragswertverfahren, die mit unbegrenztem Zeithorizont kapitalisieren, als ewige Rente). Der Gewinn ergibt sich aus dem Unternehmenswert abzüglich der Investition des Eigentümers. Aus der Perspektive des Investors wird die Art der Finanzierung, und auch seiner Besteuerung, mit einbezogen.

Energieeffiziente Komponenten - gestern und heute

Im Beitrag von Oliver Kah wird die Studie, die das PHI 2008 unter den damaligen Randbedingungen (es war dort mit 6,7 €Cent/kWh gerechnet worden) durchgeführt hat, zusammenfassend dargestellt. Unter den bei dieser Studie gegebenen Randbedingungen

- sind verfügbare Effizienzverbesserungen bei der konventionellen Heiztechnik (z. B. Brennwertkessel inkl. Abgasrohr, gute Dämmung von Armaturen, Einsatz von Wärmepumpen, günstige KWK-Systeme) schon wirtschaftlich gegenüber Ausgaben für Energie; nur die Zusatzinvestition für einen Erdreichabsorber bzw. eine Bohrung lag (knapp) über der damaligen Wirtschaftlichkeitsgrenze.
- ist der Einsatz eines Biomassekessels im EFH (inkl. aller Zusatzinvestitionen im Vergleich zur konventionellen Lösung) nur wenig teurer, während thermische Solaranlagen auch im günstigsten Fall noch zu deutlich höheren Kosten führen. Allerdings ist der Einsatz von Holzheizungen, insbesondere in Wohnungen, nur in Kombination mit einer thermischen Solaranlage zu empfehlen (vgl. [AkkP 46]).
- sind große Anlagen mit balancierter Lüftung und Wärmerückgewinnung wirtschaftlich.
- lohnen sich Wärmedämmmaßnahmen. Für diese wurden auf Grund der Vorgaben der Auftraggeber Ziel-U-Werte von 0,2 W/(m²K) betrachtet (alle Bauteile), und zwar für den Fall Altbausanierung. Rundum alle Wärmedämmmaßnahmen an der Gebäudehülle waren zu den Rahmenbedingungen 2006 auf diesem Niveau wirtschaftlich (gegenüber der Ohnehin-Sanierung). In den meisten Fällen wäre auch eine weitergehende Verbesserung (auf 0,15 W/(m²K) und damit EnerPHit-Niveau) auch schon zu den damaligen Bedingungen einzelwirtschaftlich lohnend gewesen.

Abschlussbericht zu AK 40 bis 48 – Phase V: 2009-2012

Mittlerweile (2013) sind die Energiepreise deutlich höher und die Zinsen sind gefallen. Bei den Baukomponenten ergibt sich ein uneinheitliches Bild: Preise am Bau sind allgemein gestiegen. Allerdings ist eine größere Vielzahl von energieeffizienten Bauprodukten heute am Markt verfügbar; die Differenzkosten zu den konventionellen Produkten verhalten sich uneinheitlich:

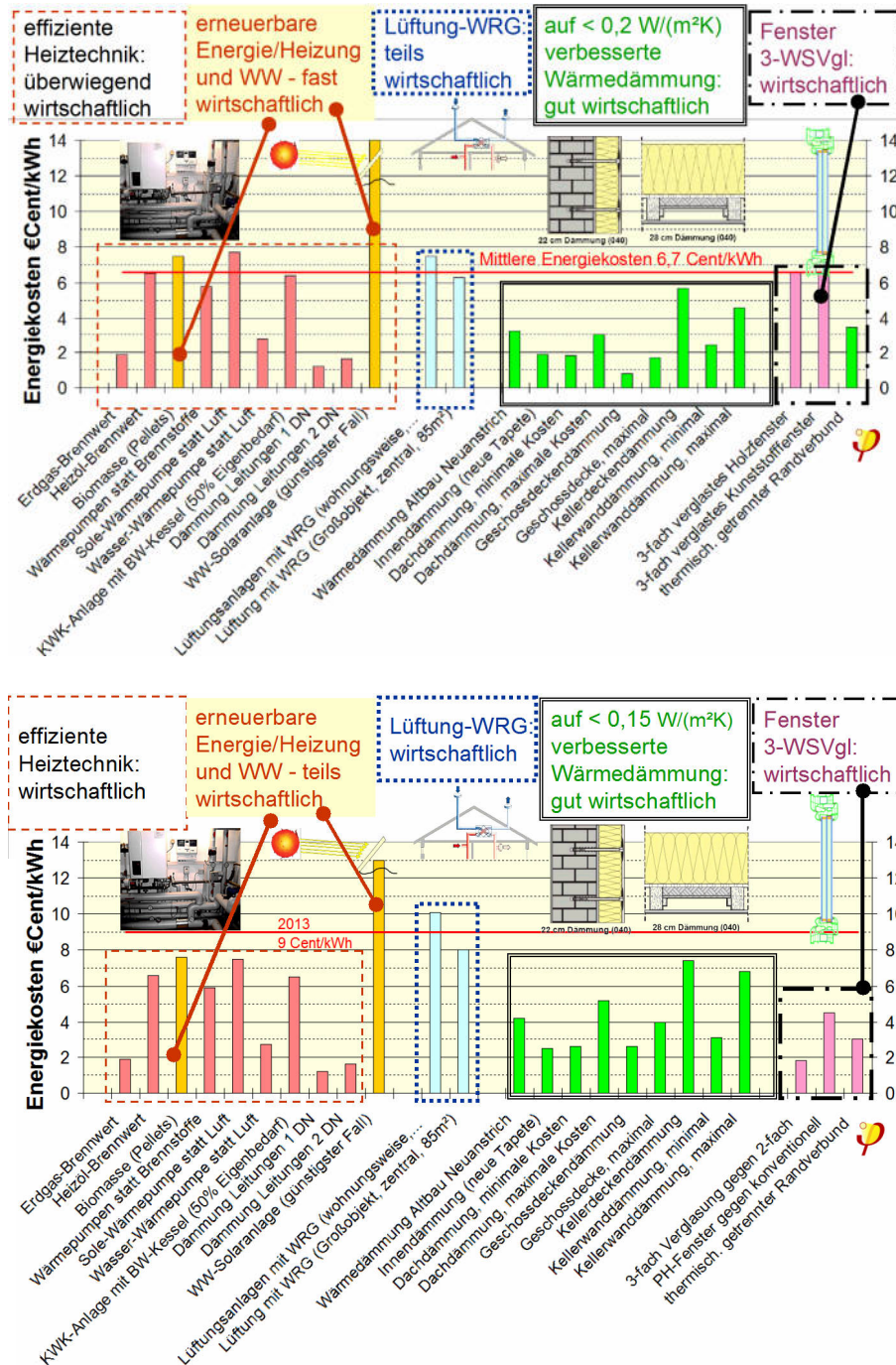


Abbildung 21: Untersuchung zu Effizienzmaßnahmen im Bestand. Oben: Preisbasis und Randbedingungen von 2006 nach [Kah 2008]. Unten: Energiepreise von 2012, erhöhte Dämmqualität bei Wärmeschutzmaßnahmen

Abschlussbericht zu AK 40 bis 48 – Phase V: 2009-2012

- Bei konventioneller Gebäudetechnik sind die Preise etwa einheitlich parallel zur Baukostensteigerung gestiegen. Das gilt daher auch für die Differenzkosten.
- Bei Lüftungsanlagen blieb die fällige Preisreduktion aus – erst in allerletzter Zeit scheint sich auch hier etwas zu tun.
- Bei den Verglasungen gab es einen Preissturz für die Dreischeiben-Wärmeschutzverglasung; durch das nun verfügbare große Angebot am Markt liegen die Differenzen jetzt nur noch bei um 10 €/m². Außerdem sind auch kostengünstigere Passivhaus geeignete Fensterrahmen verfügbar geworden

Mit dem heutigen Zinsniveau (real 2,5 %/a für ein Hypothekendarlehen) und Energiepreisen (9 €/Cent/kWh Endenergie Brennstoffe) und den eben dargestellten differenzierten Preisentwicklungen bei den Maßnahmen ergibt sich bzgl. der Wirtschaftlichkeit der Komponenten ein neues Bild.

Diese Daten zeigen, dass das für Passivhäuser typische Energieeffizienzniveau heute bei allen Bauteilen der Gebäudehülle einzelwirtschaftlich rentabel ist und, wie sich bei genauer Analyse zeigt, in der Nähe des ökonomischen Optimums liegt.

Beispielprojekte Neubau (Zusammenfassung Wohngebäude)

Am Beispiel eines *Passivhauses als Reihenhaus* wurde gezeigt, dass bei dem Neubau eines Reihenmittelhaus Mehrinvestitionen in Höhe von 82 €/m² (Wohnfläche, Kostenbezug 2006) vorlagen, wenn statt eines gewöhnlichen NEH ein Passivhaus gebaut wurde. Zum damaligen Zeitpunkt waren entscheidende Passivhaus-Komponenten noch deutlich teurer als sie es heute sind (z. B. die Fenster). Dennoch ergibt sich im Vergleich zur Ausführung als Niedrigenergiehaus sowohl beim Reihenmittel- als auch beim Reihenendhaus (= Doppelhaushälfte) jeweils ein Gewinn. Beim analysierten Projekt ist zu beachten, dass dort vom Architekten Baukosten (KG 300 + 400) als Passivhaus von 1144 €/m² PHPP-Bezugsfläche erreicht wurden.

Als weiteres Beispiel konnte das *Mehrfamilien-Wohnbauprojekt 'Sophienhof'* in Frankfurt am Main der ABG Frankfurt analysiert werden. Hier wurden insgesamt 149 Wohneinheiten auf 14733 m² PHPP-Bezugsfläche gebaut, alle im zertifizierten Passivhaus-Standard. Die Bauwerkskosten (KG 300 und 400) lagen laut Abrechnung bei 1763 €/m², in einem "normalen" Neubau des gleichen Baujahres bei 1691 €/m².¹ Die Kostendifferenz liegt bei 72 €/m² oder 4,3 % der reinen Baukosten. Diese niedrigen Mehrinvestitionen waren entscheidender Anlass für die ABG, beim Neubau konsequent nur noch auf Passivhaus-Standard zu setzen. Für heute umgesetzte Projekte sind noch bessere Ergebnisse zu erwarten: Im Neubau ist der Passivhaus-

¹ Hier fallen die (Frankfurt-typischen) deutlich höheren Baukosten als bei den Reihenhäusern auf. Die ABG stellt jedoch fest, dass im Vergleich zu den Folgejahren die Kosten dieser Projekte eher niedrig waren.

Standard bereits unter den heutigen (2013) Randbedingungen der ökonomisch attraktivste Standard.

Beispielprojekte Nichtwohngebäude

Bei der Betrachtung aller Kosten einheitlich als Jahreskosten (Annuitäten) wird ersichtlich, dass die Kapital-Mehrkosten für die Investition gegenüber den jährlichen Energiekosteneinsparungen nur halb so hoch sind.

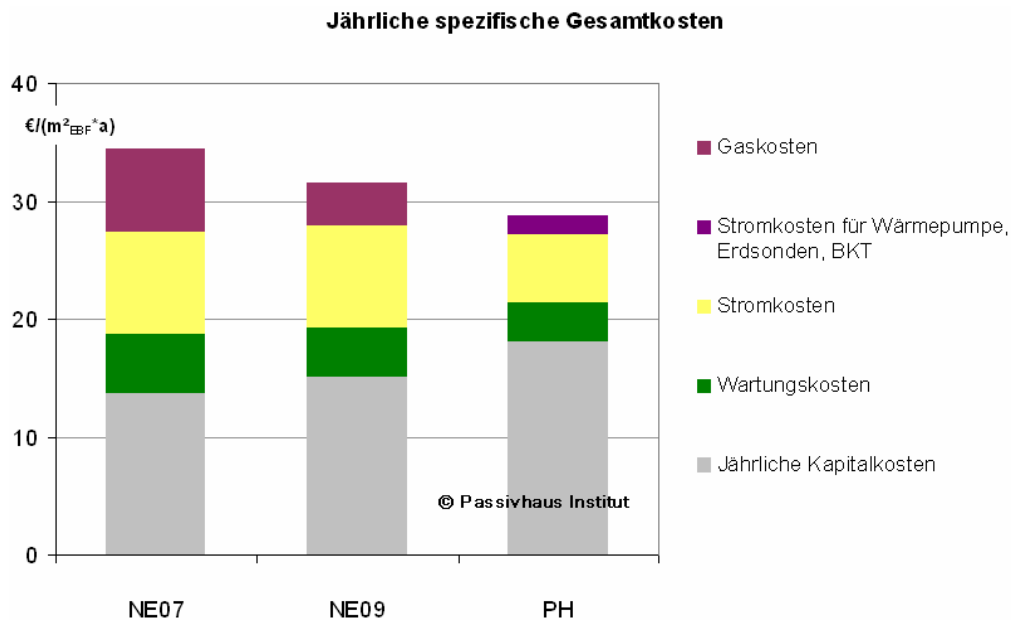


Abbildung 22: Spezifische Annuitäten der Investitions-, Energie- und Betriebskosten der drei untersuchten Gebäudevarianten im mittleren Parameterszenario

Beispielprojekte Altbau: EnerPHit Standard

Ein Beispiel für tatsächlich abgerechnete Kosten bei realisierten Sanierungen stellen die Prototyp-Sanierungen in Ludwigshafen dar.

Im Beispiel der Schlesierstraße wurde aus den Erfahrungen gelernt und eine weitere Reduktion der Kosten von 33 % gegenüber dem Altbauzustand erreicht. Hier wurde bei der Investition schon in Richtung EnerPHit-Standard gedacht. Es geht nämlich nicht darum, bei Bestandssanierungen den Neubau-Passivhaus-Standard um jeden Preis zu erreichen. Um auf die 15 kWh/(m²a) zu kommen, müssten im Altbau oft Maßnahmen ergriffen werden, die sich ökonomisch schlecht darstellen. Daher braucht man einen vernünftigen Standard für die Sanierung – und dieser wurde mit dem *EnerPHit-Ansatz* definiert. Meist erweist es sich als ökonomischer, im Bestand einen Bereich von 20 - 30 kWh/(m²a) umzusetzen. Das reicht auch aus, zusammen mit dem Passivhaus beim Neubau, um in Deutschland eine nachhaltige Entwicklung zu erreichen.

Abschlussbericht zu AK 40 bis 48 – Phase V: 2009-2012

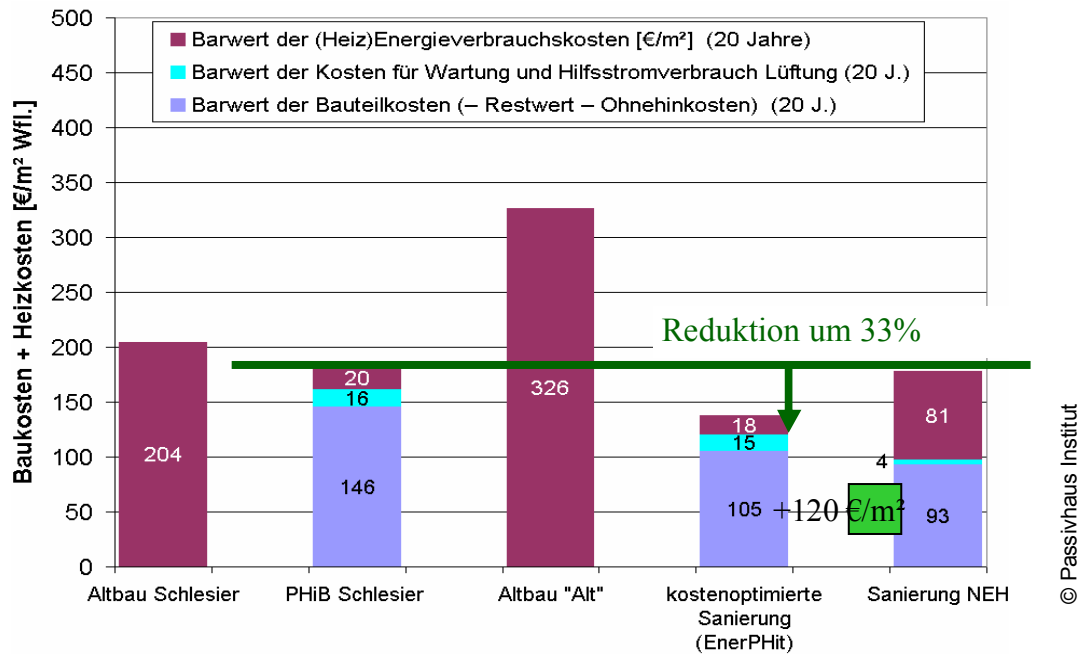


Abbildung 23: Kostenvergleich Altbausanierung Schlesierstraße EnerPHit

Literatur

- [AkkP 42] **Ökonomische Bewertung von Energieeffizienzmaßnahmen.** Protokollband zur 42. Sitzung des Arbeitskreises kostengünstige Passivhäuser. Darmstadt 2013
- [AkkP 46] W. Feist (Hrsg.): **Nachhaltige Energieversorgung mit Passivhäusern.** Autoren: W. Feist; B. Krick u. a., Protokollband zur 46. Sitzung des Arbeitskreises kostengünstige Passivhäuser. Darmstadt 2012
- [Kah/Feist 2008] O. Kah; W. Feist et al: **Bewertung energetischer Anforderungen im Lichte steigender Energiepreise für die EnEV und die KfW-Förderung.** Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) und des Bundesamtes für Bauwesen und Raumordnung, 421 S., ISSN 1863-8732, Bonn 2008
- [Pfluger 2004] R. Pfluger: **Integration von Lüftungsanlagen im Bestand - Planungsempfehlungen für Geräte, Anlagen und Systeme,** in Protokollband 30, Arbeitskreis kostengünstige Passivhäuser, Darmstadt 2004
- [Passipedia] **Passipedia – die Passivhaus Wissensdatenbank.** www.passipedia.de
- [PHPP 2013] **PHPP Passivhaus-Projektierungs-Paket 2013.** Programm und Handbuch, Passivhaus Institut, Darmstadt 2013

11 Arbeitskreissitzung und Protokollband Nr. 43 Erdwärmeübertrager und Erdsonden im Passivhaus

Unter oberflächennaher oder untiefer Geothermie versteht man die Nutzung der in den ersten 400 m der Erdkruste gespeicherte Energie. Dort herrschen in unserem Klima Temperaturen von bis zu 20 °C, die sich mittels Wärmepumpen gut für die Beheizung und oft direkt zur Kühlung von Gebäuden nutzen lassen. Feldmessungen an realisierten Wärmepumpenanlagen für Erdreich-Wärmepumpen ergeben regelmäßig Jahresarbeitszahlen, die um etwa 0,5 bis 1 höher liegen als bei Außenluft-Wärmepumpen, also z. B. 3,5 statt 2,5 betragen. Für die Gebäudekühlung kann man in Verbindung mit Flächenkühlungen sogar ohne Wärmepumpe auskommen. Es wird dann nur noch der Hilfsstrom, insbesondere für die Pumpen, benötigt, und die Jahresarbeitszahl für die Kühlung kann 20 und mehr betragen.

Es gibt eine Vielzahl verschiedener Methoden der Erdwärmennutzung. Die 43. Sitzung des Arbeitskreises konzentrierte sich auf drei Verfahren:

- Luft-Erdwärmeübertrager sind eine seit langem eingeführte Technik. Die Außenluft wird durch ein im Erdreich verlegtes Rohr geführt, bevor sie ins Gebäude gelangt, und auf diese Weise unmittelbar vorgewärmt bzw. vorgekühlt.
- Sole-Erdwärmeübertrager bestehen im Kern aus einer kostengünstig im Erdreich, z. B. im ohnehin ausgehobenen Arbeitsraum, verlegten Soleleitung und einem Heizregister, das mit der Sole die Außenluft vorwärmt bzw. vorkühlt.
- Erdsonden erlauben es, relativ große Energiemengen zu entziehen, auch auf kleinen Grundstücken. Typische Spitzenleistungen liegen zwischen 25 und 80 W pro Meter Sondenlänge. In Deutschland sind Bohrtiefen bis zu 100 m populär.

In der Arbeitskreissitzung wurden Grundlagen, Planungsmethoden, Optimierungspotenziale und Erfahrungen aus realisierten Projekten behandelt. Im Rahmen der wissenschaftlichen Vorarbeiten konnten zwei Tools für die Auslegung von Erdwärmesonden und von Sole-Erdwärmeübertragern bereitgestellt werden.

Die Arbeitskreissitzung hat gezeigt, dass oberflächennahe Geothermie auch im Passivhaus tatsächlich einen gewissen Beitrag zu einer hohen Effizienz zu leisten vermag, gerade wenn im Sommer ein gewisser Kühlbedarf zu decken ist. Als Voraussetzung für eine erfolgreiche praktische Realisierung erwies es sich, dass die Anlagensysteme möglichst einfach und robust gehalten werden.

11.1 Inhalt des 43. Protokollbandes

Einführung: Erdwärmeübertrager und Erdsonden im Passivhaus

6 Seiten

Univ.-Prof. Dr. Wolfgang Feist, Passivhaus Institut und Universität Innsbruck

Erdsonden und Bohrpfähle - Planung und Anwendung aus Sicht der Geotechnik

14 Seiten

Clemens Lehr, Geotechnik Lehr

Auslegungswerkzeuge für Erdwärmesonden

20 Seiten

Roland Schumacher, Passivhaus Institut

Sole-Erdwärmeübertrager: Erfahrungen und Auslegung

26 Seiten

Jessica Grove-Smith, Passivhaus Institut

Monitoring: Passivhaus mit saisonalem Solar-Speicher im Erdreich unter der Bodenplatte

14 Seiten

Søren Peper, Dr. Jürgen Schnieders, Passivhaus Institut, Dr. Fabian Ochs, Universität Innsbruck, Prof. Dr. Wolfgang Feist, Passivhaus Institut und Universität Innsbruck

Evaluierung von Fundamentabsorbem, Energiepfählen und Erdsonden in Bürogebäuden

18 Seiten

Dipl.-Ing. Franziska Bockelmann, TU Braunschweig

Optimierungsstrategien in der oberflächennahen Geothermie

22 Seiten

Dr. Jürgen Schnieders, Passivhaus Institut

Zusammenfassung: Erdwärmeübertrager und Erdsonden im Passivhaus

4 Seiten

Univ.-Prof. Dr. Wolfgang Feist, Passivhaus Institut und Universität Innsbruck

11.2 Ausgewählte Teile aus dem Inhalt von AK 43

Zwei für die Planung oberflächennaher Geothermiesysteme benötigte Auslegungswerkzeuge wurden entwickelt und verfügbar gemacht.

Zum einen sollte ein einfaches Erdwärmesonden-Vorplanungs-Werkzeug erstellt werden, welches sich später direkt oder indirekt mit dem PHPP verknüpfen lässt. Dem Passivhaus-Planer soll so ein Werkzeug an die Hand gegeben werden, welches es ermöglicht, eine Erdwärmesonde unter Berücksichtigung der Langzeiteffekte in die Bilanzierung mit dem PHPP zu integrieren. Die Anwendung soll möglichst wenig geologisches Fachwissen verlangen, einen Variantenvergleich einfach gestalten und kostenlos zur Verfügung stehen. Heiz- und Kühllasten sowie Klimadaten können aus dem PHPP bezogen werden.

PHews berechnet aus vorgegebenen Monatsmittelwerten der Entzugs- bzw. Eintrags-Leistungen die mittleren Soletemperaturen. Die Simulationsdauer des Basismodells ist fix und beträgt 100 Jahre. Das Basismodell verwendet eine Doppel-U-Rohr-Einzelsonde, weitere Sondentypen können berücksichtigt werden.

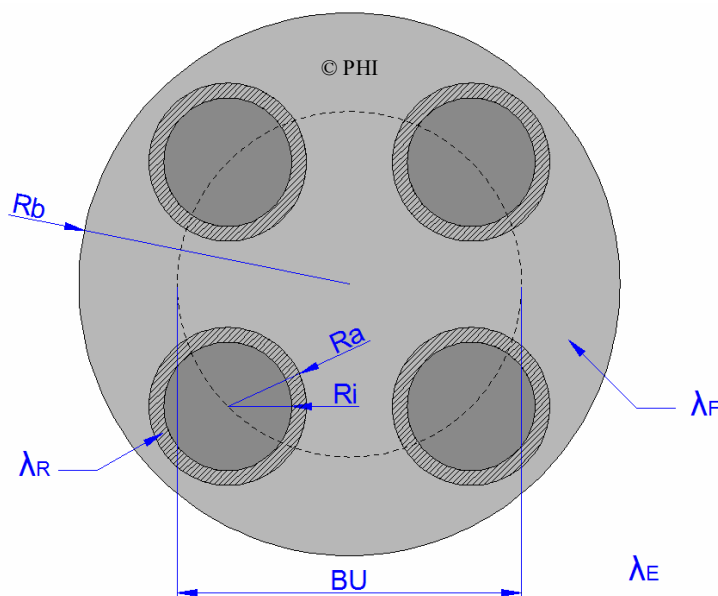


Abbildung 24: Querschnitt Doppel-U-Rohr-Sonde

Eine Bewertung des Modells erfolgt durch Vergleichsrechnungen mit dem kommerziellen Auslegungsprogramm EED (Version 3.0). Der Vergleich bietet sich aufgrund der ähnlichen Funktionsweise an.

Sämtliche Vorgaben für die Berechnung der einzelnen Vergleichsfälle sind in EED und *PHews* identisch gewählt: Sondengeometrie, Erdreich- und Soleeigenschaften sowie Lastprofile bzw. die prozentualen Anteile der einzelnen Monate am

Abschlussbericht zu AK 40 bis 48 – Phase V: 2009-2012

Jahresheiz- bzw. Kühlbedarf. Fall A beschreibt eine 100 m lange Doppel-U-Einzelsonde mit einem Jahresheiz- und -kühlbedarf, der dem eines Mehrfamilien-Passivhauses gleichen könnte. Abbildung 17 stellt die von beiden Programmen berechneten mittleren Soletemperaturen dar. In der Heizperiode liegt die berechnete Soletemperatur ca. 0,3 K unterhalb des Wertes von EED. Dieser Unterschied kann verschiedene Ursachen haben, die sich nicht eindeutig zuweisen lassen. Im Hinblick für eine Bilanzierung mit dem PHPP erscheint die Genauigkeit ausreichend, zumal die geringeren Temperaturen eine zu positive Bewertung der Sonde nicht zulassen.

Auch die übrigen untersuchten Fälle zeigen eine gute Übereinstimmung.

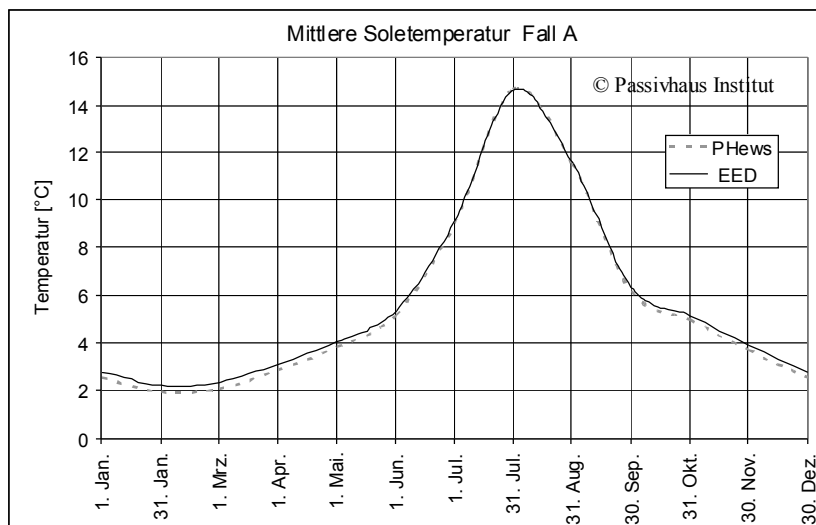


Abbildung 25: Ergebnisse des Modellvergleichs Fall A

Sole-Erdwärmeübertrager wurden zunächst anhand von Messdaten aus realisierten Objekten untersucht. Von besonderem Interesse ist dabei die Arbeitszahl. In Abbildung 18 ist das aus den Ergebnissen hervorgehende Verhältnis zwischen der stundenmittleren berechneten Pumpenleistung und der berechneten Wärmeleistung des EWU für alle betrachteten Messperioden aufgezeichnet. Dieses Verhältnis ist bei niedrigen Pumpenleistungen (und dementsprechend niedrigen Sole-Fördermengen) erheblich besser und pendelt sich bei hoher Leistung bei den untersuchten EWU auf einen Wert von ca. 20 ein. Diese Beobachtung ist auf den Anstieg der von der Umwälzpumpe zu überwindenden Druckverluste im Solekreislauf zurückzuführen: Der erforderliche Pumpenstrom wird dadurch stark erhöhet, deutlich mehr als der erzielbare Energiegewinn durch die erhöhete Soleförderung. Energetisch sinnvoller sind also längere Laufzeiten mit niedrigeren Leistungen anstelle eines Stobetriebs.

Abschlussbericht zu AK 40 bis 48 – Phase V: 2009-2012

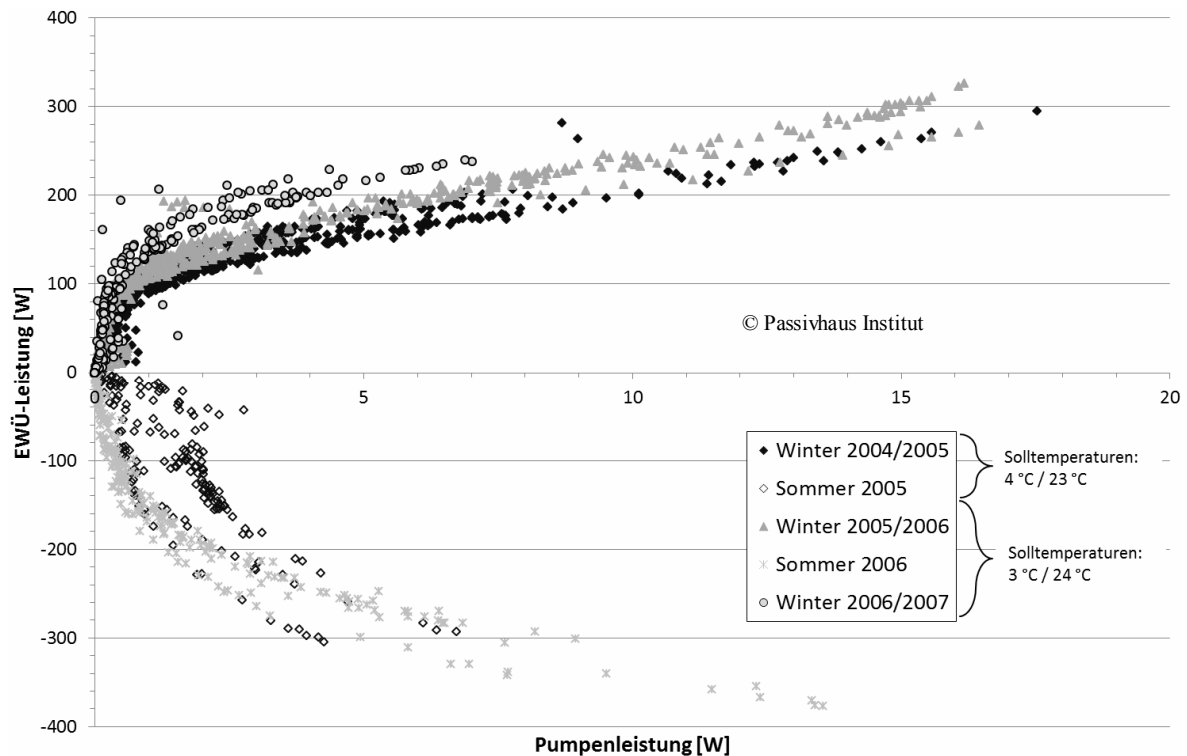


Abbildung 26: Verhältnis des berechneten stundenmittleren Pumpenstroms und der stundenmittleren entzogenen Erdwärme aus allen Messzeiträumen.

Das entwickelte Auslegungstool *PHerde* (zum Download verfügbar auf www.passiv.de) wurde anhand der Messdaten getestet. Anschließende Beispielrechnungen führten auf die folgenden allgemeinen Erkenntnisse.

- Ein temperatur geregelter Betrieb ist einem durchgängigen Betrieb vorzuziehen.
- Eine tiefere Verlegung ist zweckmäßiger als eine Verlängerung des EWÜ-Rohres.
- In Deutschland: Der Energiegewinn durch den Frostschutzbetrieb ist relativ gering und für die Energiebilanz fast vernachlässigbar. Der Nutzen eines Sole-EWÜ ist gegenüber dem erforderlichen Kosten- und Arbeitsaufwand, sowie den Vor- und Nachteilen alternativer Frostschutzstrategien ökonomisch und energetisch im Einzelfall zu prüfen.
- Soll das System auch im Sommer zur Luftkühlung eingesetzt werden, ergibt sich ein positiv zu bewertender Zusatznutzen.
- Der Hilfsstrom ist in vielen Fällen dominant. Ansätze, diesen zu reduzieren, bestehen im Einsatz von möglichst effizienten Komponenten und sinnvoll gewählten Betriebszeiten. Die Praxiserfahrung zeigt, dass es nicht von Vorteil ist, die Regelung außerhalb der Betriebszeiten gänzlich von der Stromversorgung

Abschlussbericht zu AK 40 bis 48 – Phase V: 2009-2012

abzuklemmen, da Umwälzpumpen bei langem Stillstand blockieren können. Regelmäßige kurzzeitige Soleförderung auf niedriger Pumpenstufe fällt in der Gesamtbilanz kaum ins Gewicht und kann aufwändige und teure Reparaturen vorbeugen. Umso wichtiger ist es, dass die Stromaufnahme im Bereitschaftsbetrieb nur sehr gering ist (unter 0,2 W ist heute ohne weiteres möglich).

- Sowohl im kalten Klima von Helsinki als auch im warmen Sevilla stoßen herkömmliche Sole-EWÜ nach Berechnungen mit PHErde an ihre Grenzen. Die Leistungen können ggf. jeweils durch den Einsatz eines vergrößerten Sole-Luft-Registers verbessert werden.
- Die Verwendung von Sole-EWÜ eignet sich besonders in Klimata mit sowohl Heiz- als auch Kühlbedarf, ohne extreme kalte oder heiße Perioden und mit einer mittleren Erdoberflächentemperatur um die 10 - 15 °C (kontinentales Klima). In diesen Fällen sind Sole-EWÜ eine Möglichkeit, energetisch effizienten Frostschutz zu realisieren und im Sommer zugleich zu kühlen.

Die Beiträge, in denen Messdaten aus Gebäuden mit Erdwärmennutzung präsentiert wurden, zeigten die prinzipielle Machbarkeit, machten jedoch auch deutlich, dass Energieeinsparungen nur zu erwarten sind, wenn die technischen Systeme sorgfältig ausgelegt und einreguliert werden.

Beispielhaft ist der Temperaturverlauf unter dem Gebäude während der gesamten Messzeit für zwei Messachsen (Süd 1 und 2) in Abbildung 19 dargestellt.

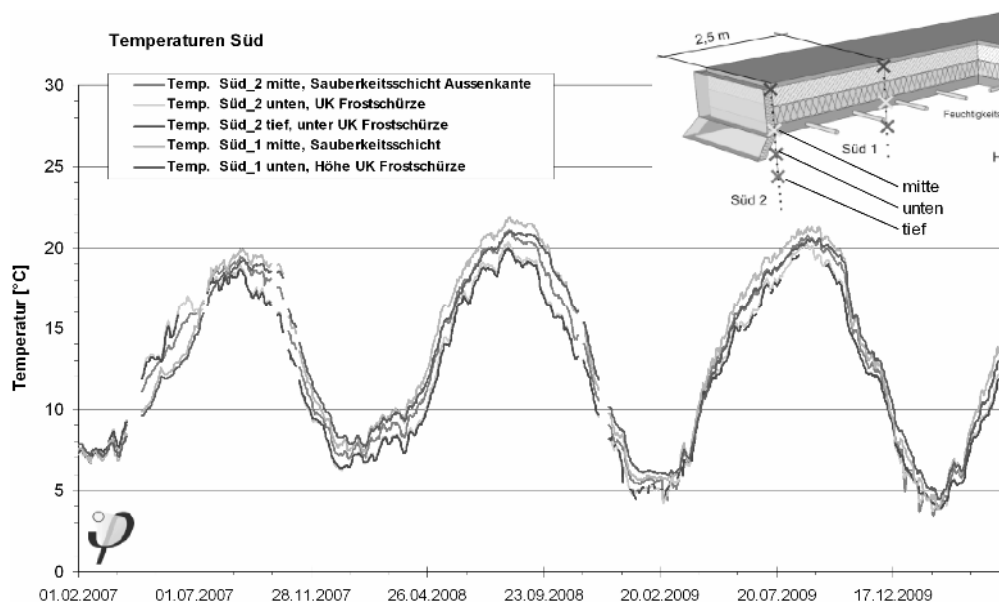


Abbildung 27: Verlauf der tagesmittleren Temperaturen der Messachsen Süd 1 und 2 in den unterschiedlichen Höhen während des gesamten Messzeitraums.

Abschlussbericht zu AK 40 bis 48 – Phase V: 2009-2012

Die *Wärmepumpe im Einfamilienhaus Houwen mit saisonalem Wärmespeicher* unter der Solplatte erreicht ohne Hilfsaggregate Jahresarbeitszahlen im Bereich von 3,1. Die Ursache für die nur durchschnittlich erscheinenden Werte sind insbesondere nicht optimal abgestimmte Einzelkomponenten, die im Verlauf des Winters relativ niedrige Quellentemperatur (Erdreich) sowie das Erreichen der Grenze der thermischen Erdreichleistung am Ende des Winters. Die Bewohner wurden dabei allerdings immer ausreichend mit Wärme versorgt. Die Nachheizung („Temperaturhub“) des Trinkwarmwassers erfolgte in dieser Zeit dann verstärkt direkt elektrisch.

Ähnliche Schlussfolgerungen ergeben sich aus den Messergebnissen für große Nichtwohngebäude. Im Rahmen des Forschungsprojekts WKSP wurden vom IGS Braunschweig fünf Gebäude mit Erdsondenspeichern, Energiepfahlanlagen oder Fundament- bzw. Bodenabsorbern genauer untersucht. Beim Großteil der untersuchten Anlagen besteht weiteres Optimierungspotential hinsichtlich des freien Kühlbetriebs. Infolge fehlerhafter Betriebsweise und / oder überwärmten Erdreichs sowie nicht auf die geringen Temperaturdifferenzen zwischen Wärmesenke und Gebäudekühlsystem abgestimmten Anlagenkomponenten konnte der freie Kühlbetrieb hier bisher nicht oder nur sehr eingeschränkt genutzt werden. Bei richtiger Dimensionierung und Betriebsweise sind im freien Kühlbetrieb in der Regel Jahresarbeitszahlen im Bereich von 20 bis 35 realisierbar. In der Summe aus Heiz- und Kühlbetrieb sollten daher je nach Anteil freier Kühlung Jahres-Systemarbeitszahlen von bis zu 10 möglich sein.

Der Energieertrag der Erdwärmespeicher ist von Objekt zu Objekt sehr unterschiedlich. Die entzogenen Wärmemengen entsprechen mit einzelnen Ausnahmen in etwa den Planungswerten. Der Wärmeeintrag weicht dagegen aufgrund von Betriebsfehlern sowie eines für den freien Kühlbetrieb zu hohen Temperaturniveaus im Erdreich zum Teil erheblich von den Planungswerten ab.

Abschlussbericht zu AK 40 bis 48 – Phase V: 2009-2012

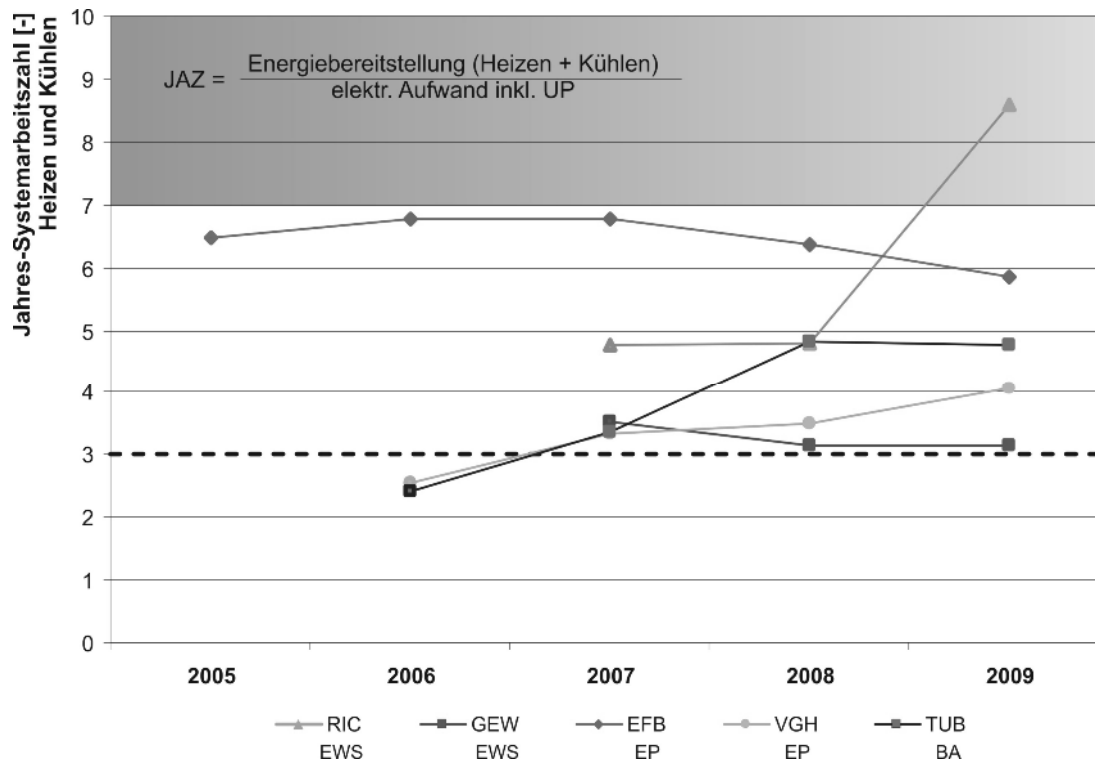


Abbildung 28: Jahres-Systemarbeitszahlen (2005 - 2009)

Im Rahmen des Arbeitskreises konnte nachgewiesen werden, dass Optimierungen von *Luft-Erdwärmeübertragern* hinsichtlich Betriebsweise und Position nur ein geringes Potenzial besitzen. Die Verlegung eines Luft-EWÜ sollte so erfolgen, dass die Außenlufttemperatur möglichst wenig Einfluss auf die Temperatur des Erdreichs in der Umgebung des EWÜ besitzt. Es bietet sich daher an, den Luft-EWÜ möglichst tief zu verlegen, der hintere Teil des EWÜ kann unter der Bodenplatte platziert werden (um Frosthebungen auszuschließen, sollte der vordere Teil nicht unter dem Bauwerk liegen). Wie sich unterschiedliche Verlegepositionen auf die Leistungsfähigkeit des EWÜ auswirken, zeigt Abbildung 21.

Die besten Ergebnisse erhält man in der Tat mit tief und unter der Bodenplatte verlegten EWÜs, die schlechtesten bei flacher Verlegung außerhalb des Gebäudegrundrisses. Bei Verlegung unter der Bodenplatte entstehen für das Gebäude zusätzliche Wärmeverluste aufgrund der Abkühlung des Erdreichs unter der Bodenplatte. Dies ist in der Grafik deutlich zu erkennen. Zumindest bei Passivhaus üblicher Dämmung der Bodenplatte überwiegen jedoch letztlich die Vorteile durch die zusätzliche Luftvorwärmung – trotz Lüftungswärmerückgewinnung. Insgesamt liegt die Heizwärmeeinsparung auch beim besten hier untersuchten EWÜ nicht bedeutend über 1 kWh/(m²a).

Auch beim Einsatz für den Frostschutz, bei dem die minimale Austrittstemperatur das relevante Ergebnis darstellt, wirkt sich eine Verlegung in größerer Tiefe bzw. unter der Bodenplatte spürbar positiv aus.

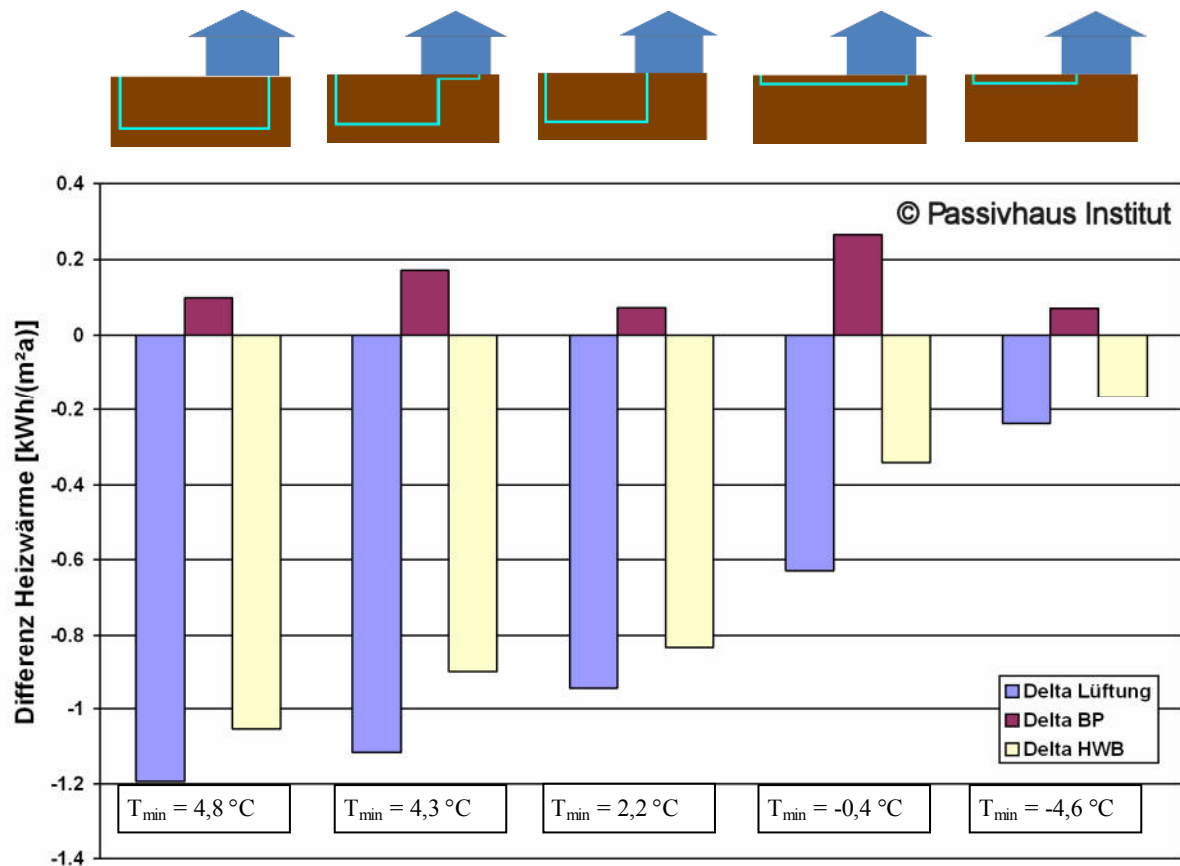


Abbildung 29: Energiebilanzen für unterschiedliche Anordnungen der Luft-Erdwärmeübertrager. Dargestellt sind die Änderungen der Lüftungswärmeverluste, der Wärmeverluste durch die Bodenplatte und des Heizwärmebedarfs, jeweils bezogen auf den Fall ohne Luft-EWÜ. Ferner ist für alle Konfigurationen die minimal auftretende Austrittstemperatur T_{\min} angegeben.

12 Arbeitskreissitzung und Protokollband Nr. 44 Lüftung in Passivhaus-Nichtwohngebäuden

In den vergangenen Jahren hat das Passivhauskonzept zunehmend im Nichtwohnbau Anwendung gefunden. Neben Schulen und Kindertagesstätten sind insbesondere Büro- und Verwaltungsgebäude Gegenstand des Interesses. Der verbesserte Wärmeschutz lässt sich meist leicht realisieren. Den Schlüssel zu einem tragfähigen Konzept aber bilden kostengünstige, praktikable Lösungen für die hocheffiziente Lüftung mit Wärmerückgewinnung.

In der Sitzung am 6.5.2011 in Hannover befasste sich der Arbeitskreis kostengünstige Passivhäuser im Schwerpunkt mit der Anwendung der Komfortlüftung in Bürogebäuden, Verwaltungsbauten, Schulen und Kindertagesstätten. Wie sinnvolle Lösungen im Detail aussehen können, wurde im Arbeitskreis behandelt.

Als ein zentrales Thema wurde untersucht, welche Antriebsenergie für eine Komfortlüftungsanlage wirklich notwendig ist und welche Optimierungspotentiale dabei bestehen. Eine Analyse von konventionellen Auslegungsgrundlagen zeigte, dass die zugrunde liegenden Annahmen z.T. viele Jahrzehnte alt sind. Weit bessere Ergebnisse können mit heutigen Methoden und Komponenten erzielt werden. In den meisten Fällen sind beispielsweise effiziente druckverlustarme Filter auch aus ökonomischer Sicht sinnvoll.

Ferner wurde der Einfluss der Betriebsweise und der Antriebsenergiebedarf im kritischen Teillastbetrieb untersucht. Einsparpotentiale von Vordruck-optimierten Ventilatorregelungskonzepten sind wesentlich vom betrachteten Teillastfall und der vorliegenden Netztopologie abhängig. Der Vorteil wird bei eher ungünstigen „langen“ Kanalnetzen und bei häufigem extremem Teillastbetrieb größer.

Die Gewährleistung einer guten Luftqualität ist der primäre Zweck einer Lüftung. Besonders kritisch hinsichtlich der Luftqualität ist die Situation in dicht belegten Räumen, wie z.B. in Klassenräumen. Anhand von Messergebnissen konnte auch für diese Bereiche gezeigt werden, dass die kontrollierte Lüftung selbst mit moderaten Luftmengen gute Luftqualität sicherstellt. Insbesondere in Innenstadtlagen kann mit Komfortlüftungsanlagen neben der Reduzierung der Lüftungswärmeverluste auch eine nennenswerte Reduktion des Feinstaubgehaltes erreicht werden.

Energieeffiziente Komfortlüftung auch in Nichtwohngebäuden wird durch die zunehmende Verfügbarkeit hochwertiger RLT-Geräte erst möglich. Erste Prüfstandsmessungen an Zentralgeräten mit hochwirksamen Wärmetauschern und energiesparenden Ventilatoren belegen die hohe Effizienz auch bei Luftleistungen jenseits der Wohnungslüftung.

12.1 Inhalt des 44. Protokollbandes

Einführung: Lüftung in Passivhaus-Nichtwohngebäuden

4 Seiten

Univ.-Prof. Dr. Wolfgang Feist, Passivhaus Institut und Universität Innsbruck

Nutzen von Komfortlüftung mit Wärmerückgewinnung in Nichtwohngebäuden

18 Seiten

Tanja Schulz, Passivhaus Institut

Empfehlungen zur Auslegung von Lüftungsnetzen

38 Seiten

Dr.-Ing. Rainer Pfluger, Universität Innsbruck, AB. Energieeffizientes Bauen

Regelung und Betrieb der Lüftungsanlage

20 Seiten

Oliver Kah, Passivhaus Institut

Planungsaspekte bei Lüftungsanlagen in Nichtwohngebäuden

32 Seiten

Oliver Kah, Passivhaus Institut

Einsatz von Lüftungsgeräten mit Rotationswärmetauschern

12 Seiten

Urs Lautner, Lautner Energiespartechnik GmbH

Lüftungsanlagen mit WRG für Nichtwohngebäude, Wirtschaftlichkeitsanalyse anhand abgerechneter Kosten

18 Seiten

Dr. Berthold Kaufmann, Cornelia Baumgärtner, Passivhaus Institut

Energetische Bewertung von Lüftungsgeräten im Leistungsbereich über 600 m³/h – erste Ergebnisse aus der Zertifizierung

14 Seiten

Oliver Kah, Kristin Bräunlich, Passivhaus Institut

Zusammenfassung: AkkP 44 Lüftung Nichtwohngebäude

11 Seiten

Univ.-Prof. Dr. Wolfgang Feist, Passivhaus Institut und Universität Innsbruck

12.2 Ausgewählte Teile aus dem Inhalt von AK 44

Nutzen von Komfortlüftung mit Wärmerückgewinnung in Nichtwohngebäuden

Messergebnisse an Schulen haben gezeigt, dass mit einer mechanischen Lüftung eine spürbare Verbesserung der Luftqualität erreicht wird. Volumenströmen von 15 bis 20 m³/(h Person) reichen dafür i.a. aus.

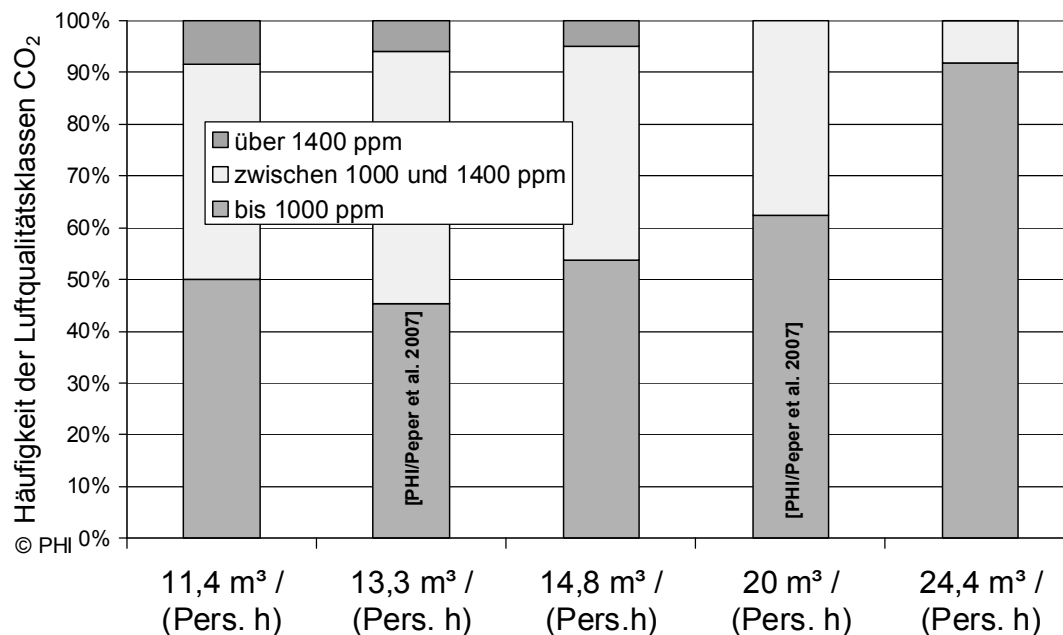


Abbildung 30: Häufigkeit von Luftqualitätsklassen bei kontrollierter Lüftung in zwei Grundschulen. Selbst mit 13,3 m³/(Person h) lag demnach die Luftqualität in der Grundschulklasse während 94 % der Unterrichtszeit bei mäßiger bis mittlerer Luftqualität. Die Messungen bestätigen die Auslegungsempfehlungen für Schulen zwischen 15 und 20 m³/(h Person). In weiterführenden Schulen sollten die Luftmengen mit 17,5 bis 20 m³/(h Person) etwas höher gewählt werden, Quelle: [Kah et al. 2010], [Peper et al. 2007].

Mit höheren Luftvolumenströmen kann man die Belastungen zwar noch weiter reduzieren, man kommt jedoch auch sehr schnell in Bereiche, in denen dann weitreichende Maßnahmen zur Sicherstellung eines vernünftigen Feuchtigkeitsniveaus im Winter erforderlich werden (denn mit größeren Luftmengen verringert sich zugleich die relative Feuchtigkeit in der Innenluft).

Weiterhin wurde festgestellt, dass mit Komfortlüftungsanlagen, insbesondere in Schulen, auch eine nennenswerte Reduktion des Feinstaubgehaltes erreicht wird. Mit einer Komfortlüftung wird demnach nicht nur eine Reduktion des Energieverbrauches, sondern auch eine Verbesserung der Gesundheits- und Komfortbedingungen im Innenraum erreicht. Dies hat insbesondere im Bürogebäude einen messbar positiven Einfluss auf die Arbeitsproduktivität, wie Untersuchungen gezeigt

haben. Dieser ökonomische Aspekt wurde bei unseren bisherigen Berechnungen nicht einbezogen, obwohl er sich sehr stark zugunsten der Komfortlüftung auswirkt.

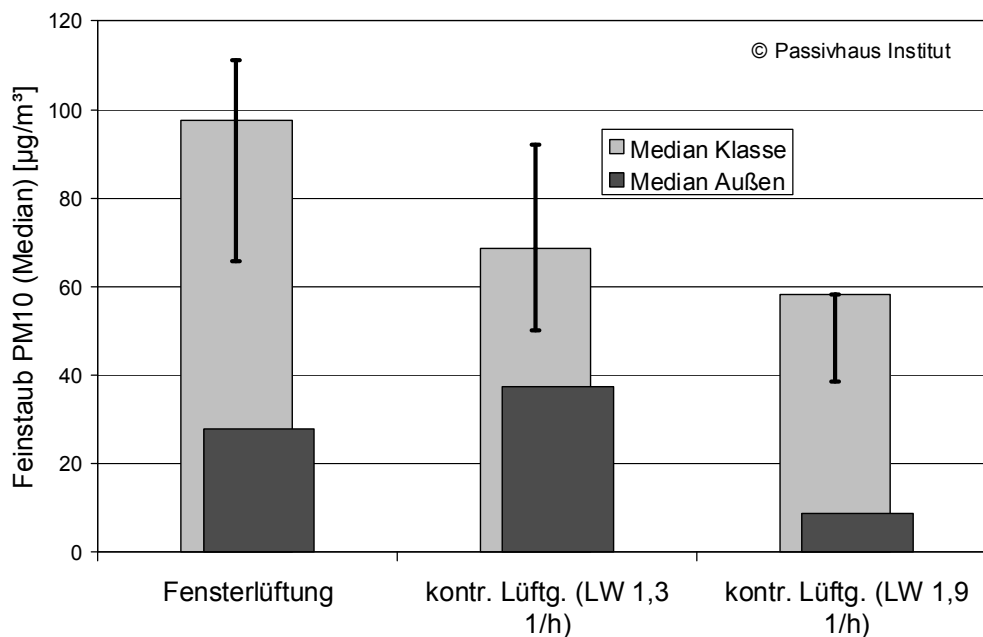


Abbildung 31: Feinstaubbelastung für verschiedene Lüftungsstrategien in einer Grundschulklasse. Die Tagesmediane deuten auf einen deutlichen Einfluss der Lüftungsstrategie auf die Feinstaubbelastung hin. Die mittleren Tagesmediane liegen bei kontrollierter Lüftung um 30 % (Luftwechsel 1,3 h⁻¹) bzw. 40 % (1,9 h⁻¹) unter dem mittleren Tagesmedian bei Fensterlüftung. Quelle: [Kah et al. 2010]

Empfehlungen zur Auslegung von Lüftungsnetzen

Im Beitrag von Rainer Pfluger werden die Parameter, die den Energieverbrauch eines Lüftungssystems bestimmen, herausgearbeitet, um diese im Folgenden zu optimieren. Eine Lebenszykluskosten-Betrachtung hilft auch bei der Filterauswahl.

Die Vergleichsrechnungen wurden für drei unterschiedliche Filterlösungen L1 bis L3 für die Außenluftfilter durchgeführt. Diese unterscheiden sich in ihrer Energieklasse und dem Filterpreis. Die Einbaugröße ist jeweils identisch, allerdings unterscheiden sich die Filterlösungen deutlich in der effektiven Medienfläche.

Die Wirtschaftlichkeit einer Filterlösung wird empfindlich von der Betriebsstundenzahl beeinflusst, wie in Abbildung 32 deutlich zu erkennen ist. Bei geringen Betriebsstundenzahlen, wie sie beispielsweise bei Schulgebäuden auftreten können, schließt die Filterlösung L3 noch besser ab als die hochpreisigeren Lösungen L1 und L2. Mit steigender Betriebsstundenzahl pro Jahr kehrt sich das Verhältnis jedoch um. In einem Bürogebäude mit z. B. 2740 h verursacht die Filterlösung L3 trotz geringerer Materialkosten deutlich höhere Gesamtkosten, hauptsächlich aufgrund der erhöhten Filterdruckdifferenz.

Abschlussbericht zu AK 40 bis 48 – Phase V: 2009-2012

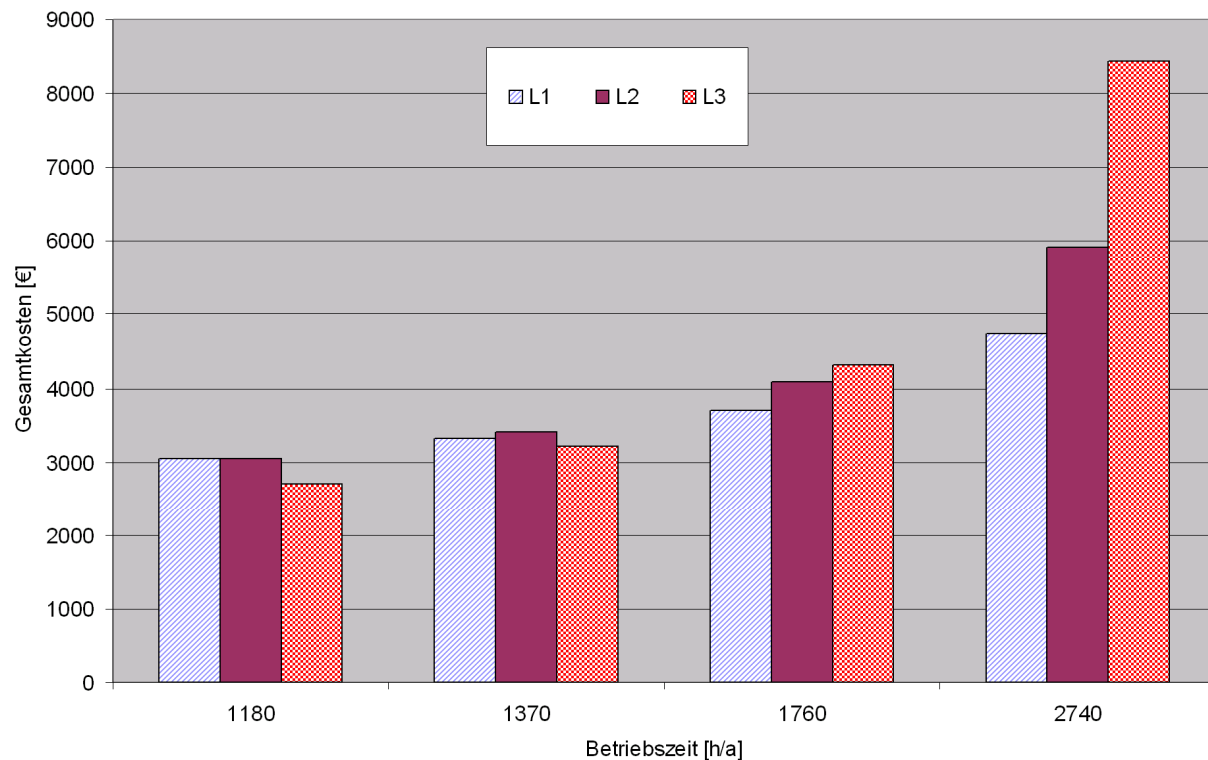


Abbildung 32: Vergleich der Gesamtkosten (Betrachtungszeitraum 20 a) für die Filterlösungen L1 bis L3 bei unterschiedlichen Betriebszeiten

Regelung und Betrieb der Lüftungsanlage

Die Bedeutung des Betriebs und von Regelungsstrategien der Lüftungsanlage in Nichtwohngebäuden verdeutlicht Oliver Kah in seinem Beitrag. Einsparpotentiale gegenüber der konventionellen "Konstant-Druck-Regelung" durch optimierte Lösungsansätze sind wesentlich vom betrachteten Teillastfall und der vorliegenden Netztopologie abhängig.

Wesentlichen Einfluss auf den energetischen Vorteil einer „druckoptimierten Regelung“ hat der Anteil des raumseitigen Druckverlusts Δp_1 an der erforderlichen Gesamtdruckerhöhung (vgl. Abbildung 33). Der relative Anteil von Δp_1 am insgesamt vom Ventilator zu überwindenden Druckverlust wurde hierfür im Bereich von 15 % bis 40 % variiert. Dargestellt sind die durchschnittlichen Ergebnisse. Wie zuvor hängt der tatsächliche Vorteil der "druckoptimierten Regelung" davon ab, an welcher Stelle im Kanalnetz versorgte Zonen liegen. Dieser Einfluss nimmt bei höherem raumseitigen Anteil der Druckverluste zudem zu. Für einen typischen Teillastbetrieb (70 % des Nennvolumenstroms) beträgt die durchschnittliche Einsparung im Vergleich zur Druck-Konstant-Regelung zwischen 11% (15 % raumseitiger Druckverlustanteil) und 28 % (40 % raumseitiger Druckverlustanteil).

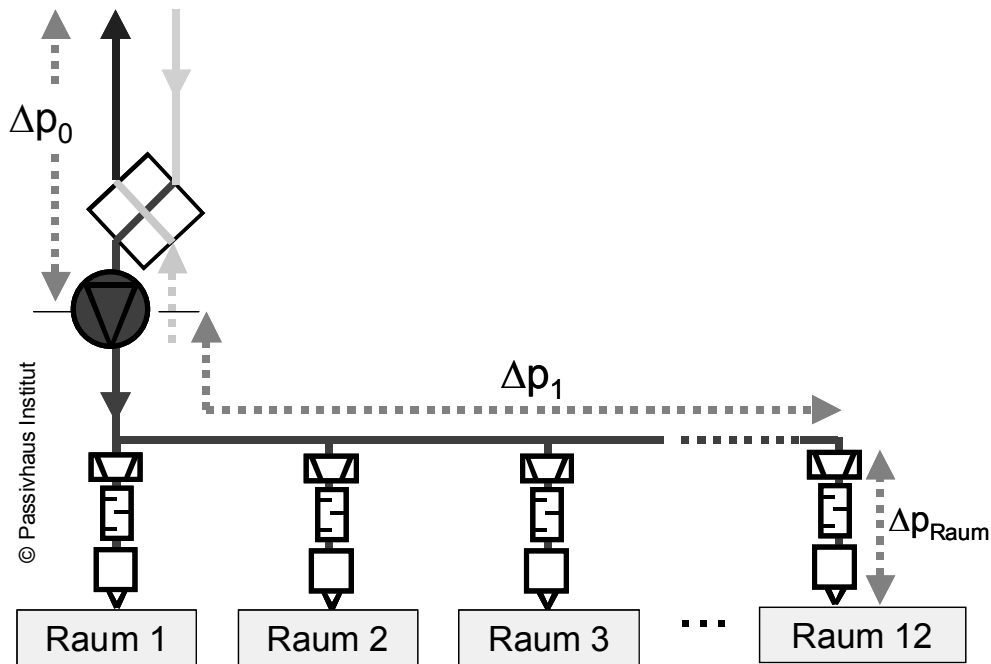


Abbildung 33: Lüftungsschema einer zentralen Lüftungsanlage zur Veranschaulichung der anteiligen Druckverluste. In der folgenden Abbildung wird der raumseitige Druckverlust Δp_1 variiert. (nur Darstellung des Zuluftstrangs)

Damit lässt sich die grobe Regel ableiten: Je kompakter und optimierter ein Lüftungsnetz geplant wird, desto geringer ist der erzielbare Vorteil mit einer „druckoptimierten Regelung“.

Optimierungsstrategien hinsichtlich der Druckregelung sind kein Ersatz für eine sachgerechte Lüftungsplanung. An erster Stelle muss immer die sorgfältige Lüftungsplanung stehen, letztere hat auch ein deutlich größeres Energieeinsparpotential.

Planungsaspekte bei Lüftungsanlagen in Nichtwohngebäuden

Durch die "doppelte" Nutzung der Zuluft reduzieren sich die erforderlichen Gesamtluftmengen. Wie hoch die Redzierung dabei ausfällt, hängt maßgeblich vom Verhältnis von Zuluft- zu Abluftbedarf ab. Das Potential für büroähnliche Nutzungen zeigt Abbildung 34. Dabei wird ein Zuluftbedarf von $30 \text{ m}^3/\text{h}$ je Person und eine Ausstattung mit Sanitäranlagen gemäß Arbeitsstättenrichtlinie angenommen. In einer weiteren Variante wird zusätzlich der Abluftbedarf einer Teeküche und eines Putzraumes berücksichtigt.

Mit der gerichteten Durchströmung kann der Gesamtaußenluftbedarf im Vergleich zur raumweisen Versorgung mit Zu- und Abluft um bis zu 50 % verringert werden (vgl. Abbildung 34). 50 % werden erreicht, wenn Zu- und Abluftbedarf gerade gleich groß sind. Mit zunehmender Anzahl an Beschäftigten wird das Potential etwas geringer, da im Verhältnis pro Mitarbeiter/in auch weniger Sanitäranlagen erforderlich sind.

Abschlussbericht zu AK 40 bis 48 – Phase V: 2009-2012

Analoge Untersuchungen wurden auch für Schulen und Sporthallen durchgeführt. Die Potentiale sind mit bis zu 35 % in Schulen und bis zu 50 % in Einfeld-Sporthallen (vgl. [Kah et al. 2010]) vergleichbar.

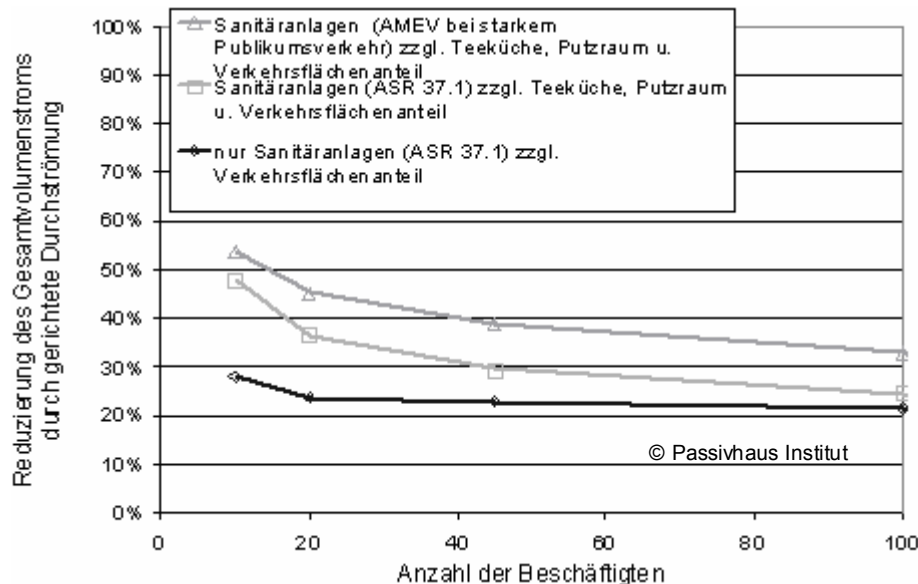


Abbildung 34: Potential des Konzepts der gerichteten Durchströmung bzgl. der Gesamtaußenluft-Reduzierung anhand einer büroähnlichen Nutzung in Abhängigkeit von der Beschäftigtenzahl.

Im Unterschied zum Wohnbau bestehen bei Nichtwohngebäuden zwischen Aufenthaltsräumen und Verkehrsflächen häufig Schallschutz- und z.T. auch Brandschutzanforderungen. Bei der Planung der Überströmauslässe müssen die projektspezifischen Anforderungen entsprechend beachtet werden. Außerdem müssen die Elemente ausreichend groß dimensioniert werden ($\Delta p \leq 5 \text{ Pa}$).

Einsatz von Lüftungsgeräten mit Rotationswärmetauschern

Rotationswärmetauscher, die Feuchte nur bei Kondensation innerhalb der rotierenden Speichermasse übertragen, nennt man Kondensationswärmetauscher. Daneben gibt es auch Rotationswärmetauscher mit einer Sorptionsbeschichtung. Diese können auch dann Feuchte übertragen, wenn es nicht zur Kondensation kommt, also auch dann, wenn die Abluft innerhalb der rotierenden Speichermasse nicht mehr so weit ausgekühlt wird, dass der Taupunkt innerhalb der rotierenden Speichermasse unterschritten wird.

Kondensationsrotoren können daher im Sommerfall keine Feuchte übertragen, da bei sommerlichen Temperaturen die Abluft nicht kondensieren kann. Zum besseren Verständnis: Wenn man auf einen warmen Spiegel haucht, entsteht kein Feuchtigkeitsfilm.

Die Einsatzgebiete von Kondensationsrotoren sind Lüftungsanlagen ohne konventionelle Kühlung und ohne Befeuchtung oder mit indirekter adiabater Verdunstungs-

Abschlussbericht zu AK 40 bis 48 – Phase V: 2009-2012

kühlung in der Abluft vor dem Rotationswärmetauscher, wobei für die indirekte adiabate Kühlung spezielle Kondensationsrotoren mit einer hydrophoben Kunststoffbeschichtung zum Einsatz kommen.

Sorptionswärmetauscher können auch im Sommer Feuchtigkeit übertragen. Im Sommer wird die Luft gekühlt und bei einer hohen Außenluftfeuchte auch entfeuchtet. Dies geschieht bei herkömmlichen Kälteanlagen, indem die Zuluft unter den Taupunkt gekühlt und auskondensiert wird und anschließend wieder auf Temperaturen im Behaglichkeitsfeld aufgewärmt wird. Sorptionsrotoren kühlen dann die Außenluft nicht nur, indem sie die Wärme von der wärmeren Außenluft auf die kältere Abluft übertragen, sondern sie übertragen dann auch die Feuchte von der Außenluft auf die Abluft. Die Außenluft wird im Sorptionsrotor also nicht nur vorgekühlt, sondern auch vorgetrocknet, so dass die Kältemaschine wesentlich weniger kühlen und auskondensieren muss. Die typischen Einsatzgebiete von Sorptionsrotoren sind Lüftungsanlagen, in denen gekühlt und/oder befeuchtet wird, zumeist in schwül-warmen Gegenden wie in den Tropen.

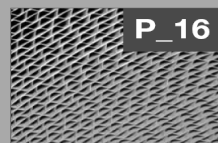








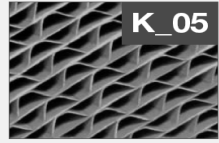
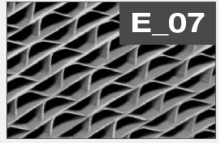

		Kondensationsrotor P korrosionsbeständige Rotorspeichermasse	Kondensationsrotor K kunststoffbeschichtete + antihyroskopische Rotorspeichermasse	Sorptionsrotor E (Enthalpierotor) hyroskopische Rotorspeichermasse	Sorptionsrotor S Sorbotherm® hochhydrophile + hochhyroskopische Rotorspeichermasse
Wirkungsgrad + Druckverlust	hoch	 P_16	 K_16	 E_18	 S_18
	optimal	 P_10	 K_10	 E_12	 S_12
	niedrig	 P_05	 K_05	 E_07	 S_07

Abbildung 35: Übersicht von verschiedenen rotierenden Speichermassetypen für Luftmengen von 150 m³/h bis 150.000 m³/h

Rückwärmzahl und Druckverluste ergeben sich bei Rotationswärmetauschern aus der Anströmgeschwindigkeit und dem Rotorprofil bzw. der Packungsdichte. Die Speichermassetypen in Abbildung 35 haben in der oberen Reihe eine hohe Packungsdichte, in der mittleren Reihe eine Druckverlust optimierte Packungsdichte und in der unteren eine niedrige Packungsdichte.

Abschlussbericht zu AK 40 bis 48 – Phase V: 2009-2012

Lüftungsanlagen mit WRG für Nichtwohngebäude, Wirtschaftlichkeitsanalyse anhand abgerechneter Kosten

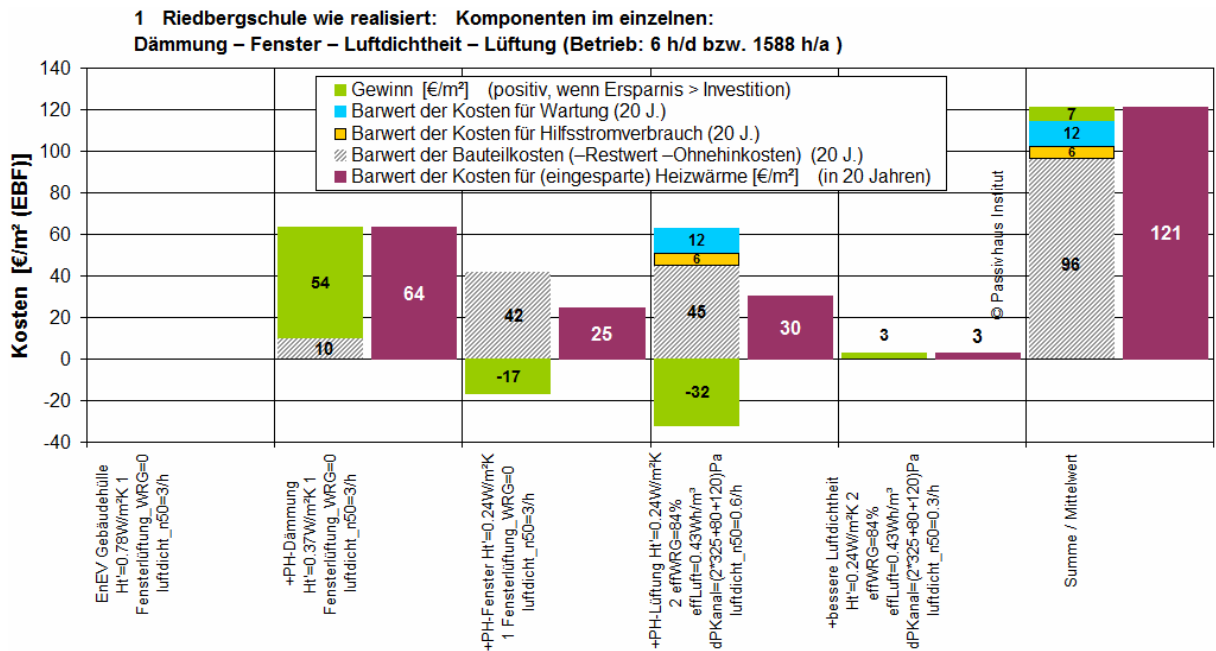
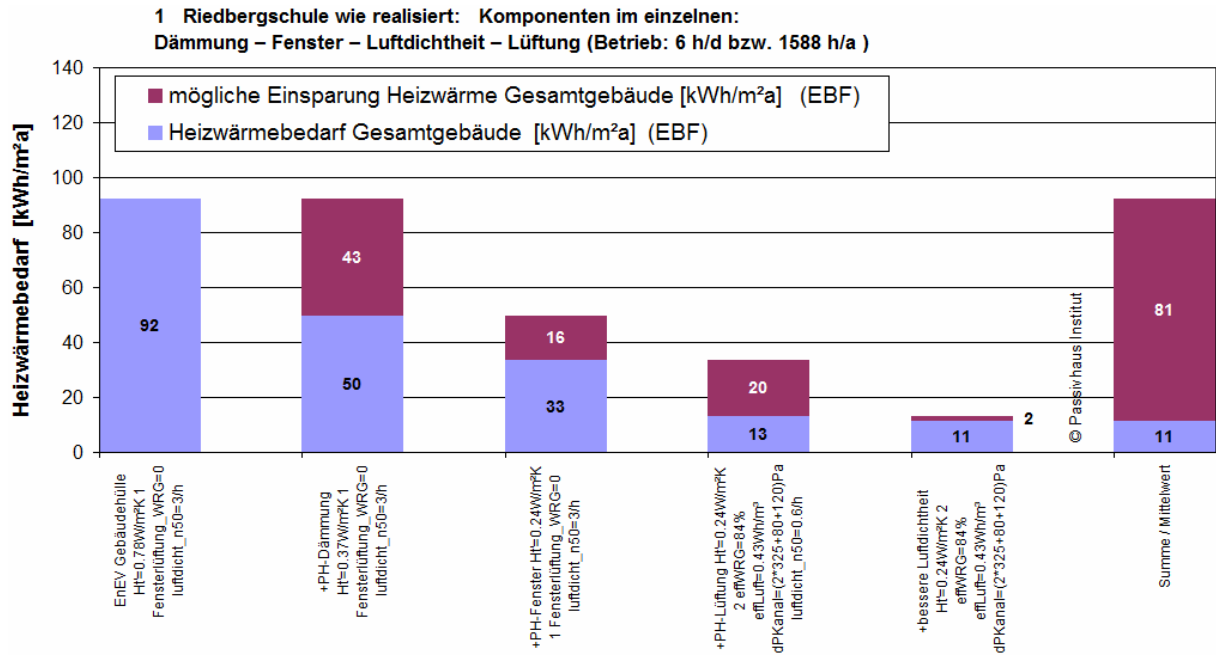


Abbildung 36: Riedbergschule als Halbtagschule: Nutzungszeit 6 h/d, 5 Tage pro Woche. Heizwärmeeinsparung und Zahlen zur Wirtschaftlichkeit für die verschiedenen Energie-Effizienz-Maßnahmen: Gebäudehülle (Wärmedämmung, Fenster, Luftdichtheit) und Lüftung mit WRG.

Abschlussbericht zu AK 40 bis 48 – Phase V: 2009-2012

In Abbildung 36 sind die Einsparpotentiale aller Maßnahmen für ein halbtags genutztes Schulgebäude im Vergleich dargestellt. Links ist jeweils der Heizwärmebedarf eines geometrisch identischen konventionellen Gebäudes angegeben. Davon ausgehend bringt die erhöhte Wärmedämmung, die besseren Fenster und erhöhte Luftdichtheit und nicht zuletzt die Lüftung mit Wärmerückgewinnung jeweils eine signifikante Einsparung.

Wichtig ist die Betrachtung des Kosten-Nutzen-Verhältnisses aller Maßnahmen als Übersicht bzw. in Summe (rechte Spalte in Abbildung 36): Die Mehrkosten der Gebäudehülle und Lüftungsanlage werden bereits bei einem mittleren Energiepreis in den nächsten 20 Jahren von 0.08 €/kWh (Holzpellets) von den Energieeinsparungen vollständig finanziert.

Im Protokollband werden verschiedene Optimierungsmaßnahmen und Betriebsmodi einer Lüftungsanlage in einem Schul- bzw. Bürogebäude im Detail analysiert. Dabei geht es einerseits um die Betriebszeiten bzw. die im Nichtwohngebäude möglichen Betriebsunterbrechungen. Andererseits kommen aber die Einsparpotentiale von optimierten Komponenten der Lüftungsanlage in den Blick: Verbesserte Ventilatoren, verringerte Druckverluste der Filter und die Komponenten des Kanalnetzes.

Energetische Bewertung von Lüftungsgeräten im Leistungsbereich über 600 m³/h – erste Ergebnisse aus der Zertifizierung

Hersteller von Lüftungskomponenten wie Wärmeübertrager und Ventilatoren etc. bieten Kennlinien und Auslegungssoftware an, mit deren Hilfe häufig auch energetische Kennwerte zum Gesamtgerät ermittelt werden.

Die Komponenten-Kennwerte werden dabei in der Regel isoliert ermittelt. Einflüsse, welche sich erst im eingebauten Zustand ergeben und deren grundsätzliche Abhängigkeiten, wie z. B. die Einbausituation des Ventilators, zusätzliche Schutzgitter am Ventilator, die tatsächliche Anströmung des Wärmeübertragers, Wärmeströme über das Gehäuse und Leckageströme finden i.d.R. keine Berücksichtigung. Entsprechend sind die genannten Einflüsse, die im zusammengesetzten Gerät auftreten, auch in der Herstellersoftware der RLT-Geräte häufig unberücksichtigt. Der Vergleich von Labormessungen an vollständigen Geräten mit Berechnungsergebnissen der Herstellersoftware zeigt, dass die Auslegungsberechnung den Wärmebereitstellungsgrad mehrheitlich zu hoch einschätzt. Der anhand von Messungen ermittelte Wärmebereitstellungsgrad liegt um bis zu 7 % unter dem Auslegungswert. Auch bei der Stromeffizienz zeigten sich deutliche Unterschiede: Hier lag der tatsächliche Wert sogar um bis zu 25 % über dem Auslegungswert. Dies sind noch positive Beispiele, vermutlich sind die Abweichungen bei vielen Geräten noch deutlich größer.

Abschlussbericht zu AK 40 bis 48 – Phase V: 2009-2012

Die Auswirkung der beobachteten geringeren Effizienz der Lüftungsgeräte auf den Energieverbrauch eines Gebäudes zeigt Abbildung 37. Bei gebräuchlichen Nutzungen erhöht die systematische Überbewertung den Primärenergiebedarf um 5 bis 10 kWh/(m²a) gegenüber den berechneten Angaben.

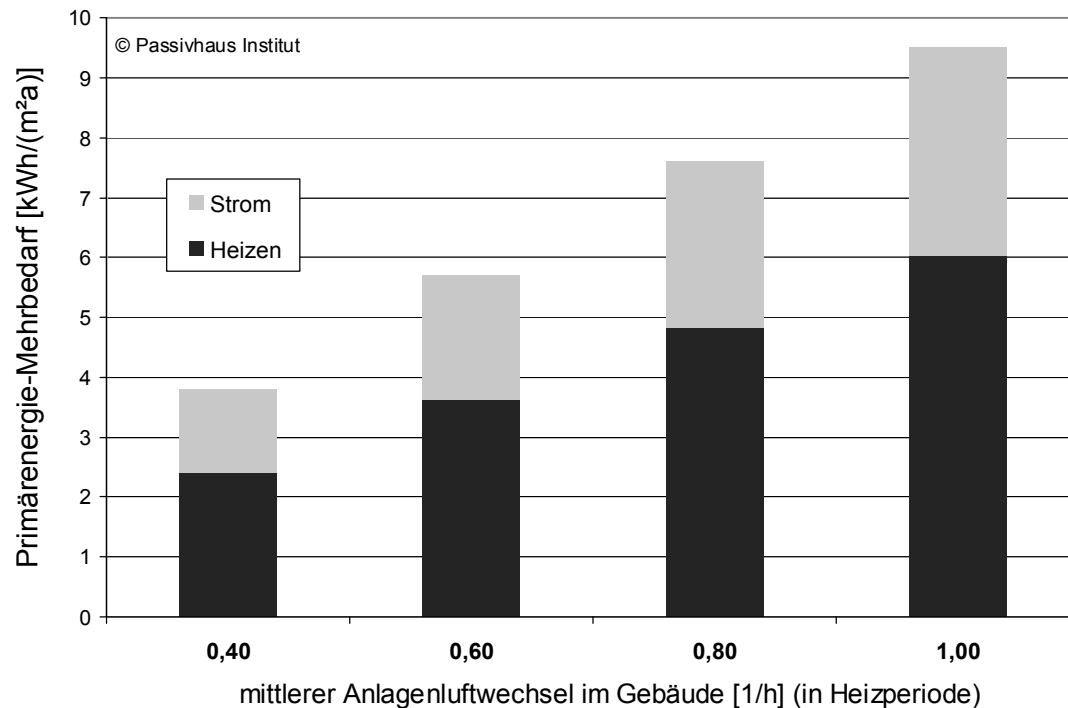


Abbildung 37: Einfluss der ermittelten geringeren Effizienz der Lüftungsgeräte auf den Primärenergiebedarf eines Gebäudes.

Literatur

- [AkkP 42] W. Feist (Hrsg.): **Ökonomische Bewertung von Energieeffizienzmaßnahmen**, Passivhaus Institut, Darmstadt, Arbeitskreis kostengünstige Passivhäuser, Protokollband Nr. 42, 1. Auflage 2013
- [AKKP 44] W. Feist (Hrsg.): **Lüftung in Passivhaus Nichtwohngebäuden**, Passivhaus Institut, Darmstadt, Arbeitskreis kostengünstige Passivhäuser, Protokollband Nr. 44, 1. Auflage 2012
- [Kah et al. 2010] O.Kah; et al.: **Leitfaden für energieeffiziente Bildungsgebäude**; Passivhausinstitut, Darmstadt 2010.
- [Labor-messungen] Prüfstandmessungen an Lüftungsgeräten mit Luftleistungen über 600 m³/h.
- [Peper et al. 2007] „**Passivhausschule Riedberg**“, Passivhaus Institut, Darmstadt 2007

13 Arbeitskreissitzung und Protokollband Nr. 45 Richtig messen in Energiesparhäusern

Durch die Erschließung immer neuer Bauaufgaben bei der Planung von energieeffizienten Gebäuden werden zwangsläufig auch neue, ungeklärte Fragen aufgeworfen. Diese bislang nicht untersuchten Sachverhalte lassen häufig eine messtechnische Untersuchung interessant erscheinen. Auch der Wunsch nach der Überprüfung der Planungsziele in der Realität macht häufig ein Monitoring eines Gebäudes notwendig.

Die Erfahrung zeigt, dass immer wieder Unsicherheiten bei der Gesamtkonzeption von Messkampagnen bestehen. Mit der Arbeitskreissitzung 45 wurden die Grundlagen für sinnvolle Konzeptionen geeigneter Messkampagnen deshalb näher untersucht. Es konnten Voraussetzungen, Randbedingungen und Kernpunkte herausgearbeitet werden, welche bei Monitoringprojekten an energieeffizienten Gebäuden generell zu berücksichtigen sind. Der Protokollband stellt eine Hilfestellungen zur Umsetzung von einfachen Messungen zur Erfolgskontrolle bis hin zu umfangreichen wissenschaftlichen Messungen dar.

Die wichtigsten Schritte bei der Abwicklung eines Messprojektes wurden behandelt: Herausarbeitung des jeweiligen Forschungsbedarfs; eindeutige Festlegung der Systemgrenze (z.B. der Gebäudehülle als Bilanzgrenze); Festlegung der erforderlichen Messdauer sowie der geeigneten zeitlichen Auflösung der Datenerfassung etc., je nach Fragestellung. Festlegung des Systems der Datenerfassung, der erforderlichen Sensoren, der Messdauer sowie der zeitlichen Auflösung (von manueller Zählerablesung über autonome Datenlogger bis hin zu komplexen Messnetzen mit Fernwartungsmöglichkeit). Im Anschluss erfolgen die Auswertung und die Analyse der Messdaten im Hinblick auf die entsprechenden Fragestellungen.

Praktische Erfahrungen aus zahlreichen realisierten Messungen zu vermitteln und konkrete Hinweise zur Planung eines zweckdienlichen Messprogramms zu geben war Ziel des Arbeitskreises. Daher wurde mit Beispielen aus der Praxis die Klärung der Fragestellung und der Systemgrenze, die Auswahl der Messtechnik, Betriebserfahrungen und Qualität der erhaltenen Daten aufgezeigt. Des Weiteren wurden auch die Möglichkeiten und Grenzen von Messungen mittels der eingesetzten Gebäudeleittechnik (GLT) sowie eines Minimalmonitorings behandelt. Abgerundet wurden die Themen durch die Möglichkeiten und Erfolge beim flächigen Energiecontrolling aller Liegenschaften einer Großstadt und dem auf die Praxis bezogenen Grundlagen zum Bereich der Messgenauigkeit und Fehlergrößen.

13.1 Inhalt des 45. Protokollbandes

Einführung

2 Seiten

Søren Peper, Passivhaus Institut

Univ.-Prof. Dr. Wolfgang Feist Universität Innsbruck/ Passivhaus Institut

Messkonzept, Störgrößen & adäquate Lösungen

38 Seiten

Søren Peper, Passivhaus Institut

Einfluss der inneren Wärmequellen

16 Seiten

Dr. Berthold Kaufmann, Passivhaus Institut

Messgenauigkeit und Fehlergrößen

24 Seiten

Dr. Jürgen Schnieders, Passivhaus Institut

Praxisbeispiele Monitoringprojekte

32 Seiten

Søren Peper, Passivhaus Institut

Monitoring Bürogebäude ENERGON Ulm

10 Seiten

Gunter Lindemann, Steinbeis-Transferzentrum Energietechnik Ulm

Erfahrung mit wissenschaftlichen Messungen mittels GLT

12 Seiten

Dr. Stephan Heinrich, Freier Mitarbeiter Hochschule Biberach

Prof. Dr.-Ing. Roland Koenigsdorff, Hochschule Biberach

Feldmessungen in Passivhäusern

14 Seiten

Waldemar Wagner, AEE Intec, Gleisdorf (Österreich)

Energiecontrolling der Stadt Frankfurt a. M.

10 Seiten

Peter Dorn, Stadt Frankfurt a.M. Hochbauamt-Energiemanagement

Feldmessung an Lüftungsanlagen

20 Seiten

Dr. Berthold Kaufmann, Passivhaus Institut

Messung zur Verbrauchskontrolle (Minimalmonitoring)

22 Seiten

Søren Peper, Passivhaus Institut

Richtig Messen – Zusammenfassung

12 Seiten

Univ.-Prof. Dr. Wolfgang Feist, Universität Innsbruck/ Passivhaus Institut

Anhang: Anforderungen an GLT-Anlagen für Gebäudemonitoring

4 Seiten

Søren Peper, Passivhaus Institut

13.2 Ausgewählte Teile aus dem Inhalt von AK 45

Vergleich mit der Gebäudeenergiebilanz

Gleiche Randbedingungen

Häufig soll mit Hilfe des Monitoring geprüft werden, ob die Vorab-Berechnung des Gebäudes (Heizwärmebedarf) in der Realität eingehalten wurde (Heizwärmeverbrauch). Dazu muss auf der einen Seite ein sehr gut nachgeführtes PHPP vorhanden sein: Die am Bau auftretenden energetisch relevanten Abweichungen (z.B. veränderte Wärmebrücken, tatsächliche Luftdichtheit, geänderte Verschattungen durch Nachbargebäude oder Bäume etc.) müssen im PHPP nachgeführt werden. Nur dann erhält man zum Vergleich geeignete, realitätsnahe Bedarfswerte. Auf der anderen Seite müssen die bekannten Abweichungen aus den Messwerten berücksichtigt werden. Dazu zählen insbesondere die beiden Größen „Wetter“ (Temperatur und Solarstrahlung) und die „Innentemperatur“.

Die PHPP-Berechnung erfolgen in der Planungszeit mit dem Standardklima des Standortes sowie mit der Standardinnentemperatur von 20 °C. Beispielhaft für das sanierte Gebäude „Tevesstraße Frankfurt a.M.“ wird hier die Anpassung zum Vergleich der Bedarfs- mit den Verbrauchsdaten dargestellt (zitiert mit Verkürzungen aus [Peper/Schnieders/ Feist 2011], siehe auch Abbildung 22):

„Das PHPP gibt für den 4er Block einen Heizwärmebedarf von 16,9 kWh/(m²a) bei Standardbedingungen aus. Werden anstelle des Standardklimas Frankfurt a.M. die gemessenen Außentemperaturen und Globalstrahlungswerte vom Zeitraum 2009/2010 im PHPP berücksichtigt, sinkt der Heizwärmebedarfswert auf 15,4 kWh/(m²a).

Berücksichtigt man im PHPP zusätzlich die im 4er Block gemessenen mittleren Innentemperaturen während des Winters von 22,4 °C, lassen diese den Heizwärmebedarf auf 20,5 kWh/(m²a) ansteigen. Der Messwert des Heizwärmeverbrauchs inkl. der nutzbaren Anteile der Wärmeverteilung liegt mit 23,6 kWh/(m²a) damit 3,1 kWh/(m²a) höher als der Rechenwert.

Im Rahmen der Messgenauigkeit und der möglichen Genauigkeit der Bilanzrechnung besteht auch hier eine gute Übereinstimmung der Ergebnisse. Dies bestätigt erneut die hohe Qualität des PHPP als Energiebilanzierungswerkzeug ebenso wie als Planungstool auch für die hochenergieeffiziente Sanierung.“

Die Gesamtgenauigkeit einer solchen Bilanzberechnung – ein realitätsnah ausgefülltes PHPP vorausgesetzt – liegt etwa bei 3 kWh/(m²a).

Es bleibt festzuhalten, dass die Änderung nur aufgrund der höheren Innentemperatur den Bedarfswert um 5,1 kWh/(m²a) ansteigen lässt. In Abbildung 22 wurde dieser

Abschlussbericht zu AK 40 bis 48 – Phase V: 2009-2012

Wert auf der linken Seite zum Bedarfswert bei 20 °C addiert. Auf der rechten Seite der Grafik wird der gleiche theoretisch ermittelte Wert verwendet, um den Messwert des Heizenergieverbrauchs auf die Normtemperatur von 20 °C umzurechnen. Ob nun die beiden Werte bei 20 °C oder die bei 22,4 °C verglichen werden, bleibt sich gleich. Wichtig ist die exakte Angabe, um welche Werte es sich handelt.

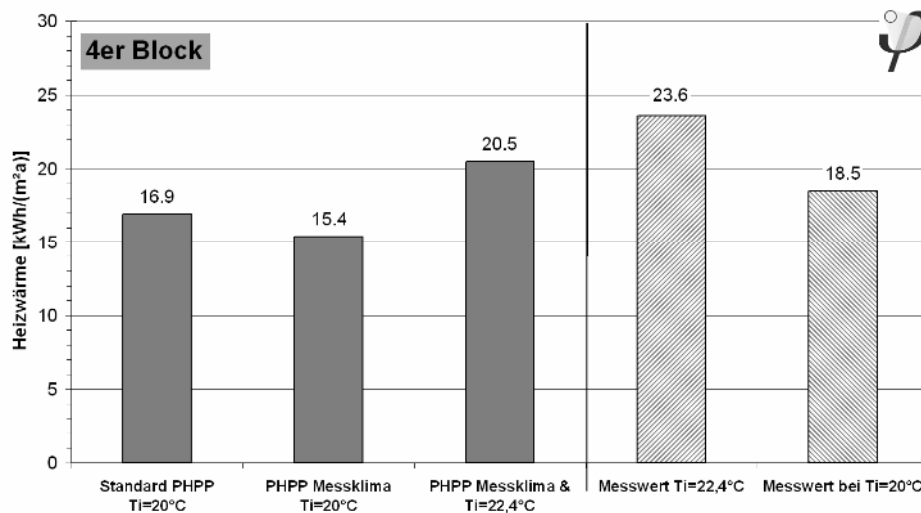


Abbildung 38: Heizwärmebedarf des Gebäudes „Tevesstraße“ nach den Ergebnissen der PHPP-Berechnung. Schrittweise sind die gemessene Außentemperatur und die Solarstrahlungswerte (01.05. 2009 bis 30.04.2010) sowie die mittlere Raumtemperatur im Winter ($T_i = 22,4$ °C) angepasst. Im Vergleich dargestellt sind die Messwerte des Heizwärmeverbrauchs inkl. der Energie der nutzbaren Heizwärmeverteilung und die Messwerte umgerechnet auf die Standardinnentemperatur von 20 °C. Nach: [Peper/Schnieders/Feist 2011].

In der Untersuchung [Peper 2008] sind die Rechenwerte nach PHPP im Vergleich mit den Messwerten von neun Monitoringprojekten dargestellt. In der Grafik aus dieser Untersuchung (Abbildung 23) sind die unterschiedlich guten Übereinstimmungen zu erkennen. Die Ursachen sind vielschichtig; zum Teil werden die Unterschiede durch nicht exakt nachgeführte Bilanzberechnungen entstanden sein oder durch die häufig begrenzten Möglichkeiten einer Messung. Bei der weiter oben erwähnten Messgenauigkeit sind die Werte allerdings überzeugend. Es wird auch deutlich, dass sich alles auf einem tatsächlich sehr niedrigen Verbrauchsniveau abspielt. Verglichen mit anderen Gebäudestandards sind die tatsächlich gemessenen Verbrauchswerte extrem niedrig.

Abschlussbericht zu AK 40 bis 48 – Phase V: 2009-2012

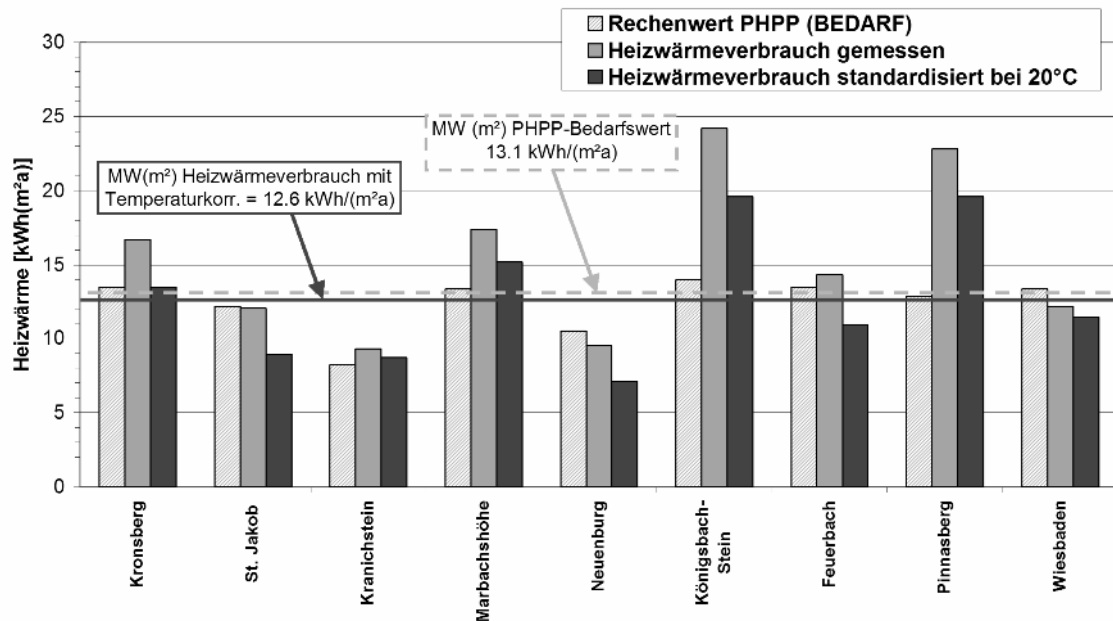


Abbildung 39: Heizwärmeverbrauch von messtechnisch untersuchten Projekten im Vergleich mit den Projektierungswerten nach PHPP [Peper 2008].

Ein weiteres Beispiel für die Abweichung zwischen Bedarfs- und Verbrauchswert außerhalb des Wohnungsbaus ist in [Peper/Kah/Pfluger/Schnieders 2007] nachzulesen: In dem Forschungsbericht zur Passivhausschule Frankfurt Riedberg wird den Gründen der Abweichung zwischen Bedarfs- und Messwert nachgegangen und diese aufgeklärt. Dabei sind insbesondere Unterschiede in der Belegung der Schule (deutlich geringere Personenzahl) und ein veränderter Luftwechsel zu nennen, was zur Abweichung der Mess- von den Bedarfswerten geführt hat. Aber auch bei den geänderten Randbedingungen und einem daraus resultierenden etwas höheren Verbrauchswert stellt sich dort eine immense Heizwärmereduktion von 88 bzw. 90 % gegenüber anderen Schulen ein (Vergleich mit 30 Bestandsschulen in Frankfurt bzw. 170 anderen Bestandsschulen). Auch bei etwas höheren Verbräuchen funktioniert das Gebäude gut, weil die eingesetzten Techniken sehr gutmütig sind.

Nutzerstreueung

Zum Vergleich des Heizwärmeverbrauchs mit z.B. Rechen- oder auch Anforderungswerten ist nach Möglichkeit eine statistisch ausreichend große Menge an Gebäuden notwendig. Belastbare Aussagen können nur getroffen werden, wenn sich die – sich durch die unterschiedliche Nutzung einstellenden – Abweichungen herausmitteln. Erst der Mittelwert zeigt einen belastbaren Vergleichswert. In Abbildung 24 ist dies erkennbar: Die Verbrauchswerte folgen im Regelfall einer Normalverteilung; Aussagen zum energetischen Niveau gibt nur der Mittelwert. Die Abbildung zeigt, dass die energetisch optimierten Passivhäuser gegenüber der Bestandssiedlung 90 % und gegenüber den Niedrigenergiehäusern 76 % Heizwärme real einsparen. Werden allerdings nur einzelne Häuser betrachtet, ist eine eindeutige Zuordnung zu der

Abschlussbericht zu AK 40 bis 48 – Phase V: 2009-2012

Verbrauchsgruppe nicht immer einfach: Die niedrigsten Verbrauchswerte der Bestandssiedlung in Kassel könnten genauso die höchsten Verbrauchswerte der Niedrigenergiehäuser sein. Wird nur ein einzelnes Gebäude messtechnisch untersucht, gibt es keine Aussagen dazu, wo der Messwert statistisch einzuordnen ist. Bei einer solchen Einzelmessung pauschale Aussagen zu Abweichungen vom theoretischen Bilanzwert machen zu wollen, ist daher unzulässig. Dazu müssten dann wieder die gemessenen Einflussfaktoren wie z.B. die Innentemperatur, interne Wärmequellen (Stromverbrauch) etc. bekannt sein (umfassende Datenerfassung).

Ausführungen zu der statistischen Auswertung von Messdaten des Heizwärmeverbrauchs finden sich im Protokollband zum Arbeitskreis 28.

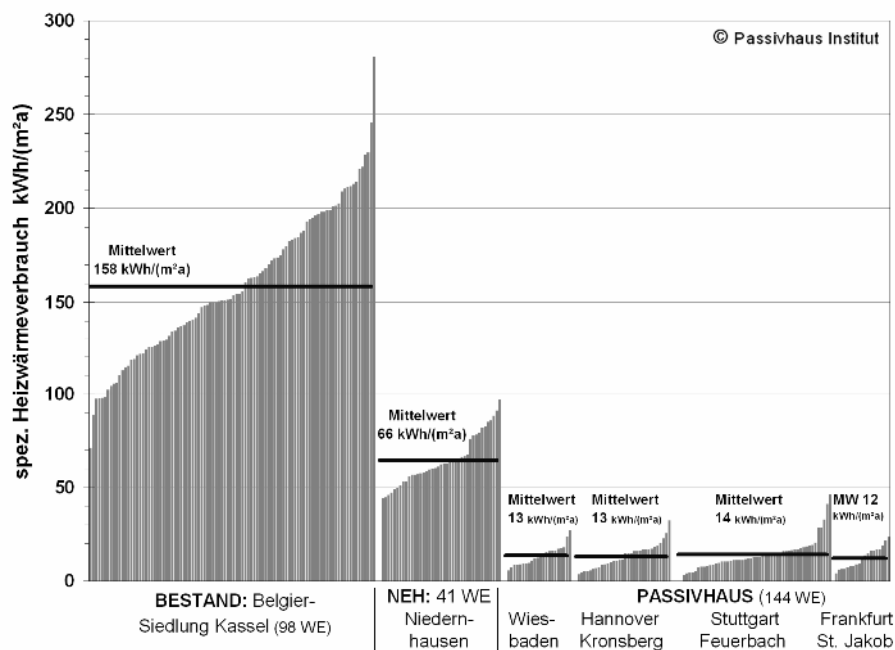


Abbildung 40: Vergleich der Verbrauchsstatistik für Gruppen jeweils baugleicher Reiheneinheiten; links: 98 Altbauten; in der Mitte 41 Niedrigenergiehäuser in Niedernhausen; rechts vier Passivhaussiedlungen mit insgesamt 144 Wohneinheiten. Die Verbrauchsmittelwerte betragen: 158 kWh/(m²a) bei den Altbauten, 66 kWh/(m²a) für die Niedrigenergiehäuser, und etwa 13 kWh/(m²a) für die Passivhäuser (ergänzt nach [Feist 2004]).

Die Nutzereinflüsse in einem richtig dimensionierten, energetisch optimierten Gebäude führen in keiner Weise zu Problemen im Betrieb. Dies ist ein häufig gehörtes, aber widerlegtes Vorurteil. Sowohl beim niedrigsten als auch beim höchsten Heizwärmeverbrauch sind die vom Nutzer gewünschten behaglichen Raumtemperaturen im Passivhaus vorhanden. Die zahlreichen Monitoringprojekte zeigen, dass sich die Gebäude auf Grund der hohen Zeitkonstanten thermisch „träge“ verhalten und sehr gutmütig auf unterschiedliches Nutzerverhalten reagieren.

Abschlussbericht zu AK 40 bis 48 – Phase V: 2009-2012

Aber natürlich hat das unterschiedliche Nutzerverhalten einen deutlichen Einfluss auf die Verbrauchswerte; dies zeigten bereits die Darstellungen in Abbildung 24. Dabei nur die Heizwärme zu betrachten, greift allerdings zu kurz. Es kann natürlich auch mit hohem elektrischem Verbrauch (z.B. mit ineffizienter Beleuchtung, wie leistungsstarken Deckenflutern) ein nennenswerter Beitrag zur Beheizung erreicht werden. Der Heizwärmeverbrauch geht dann ggf. deutlich zurück. Erst die Summen der drei Verbrauchsbereiche Strom, Heizung, Warmwasser zeigen das unterschiedliche Nutzerverhalten in seiner ganzen Breite.

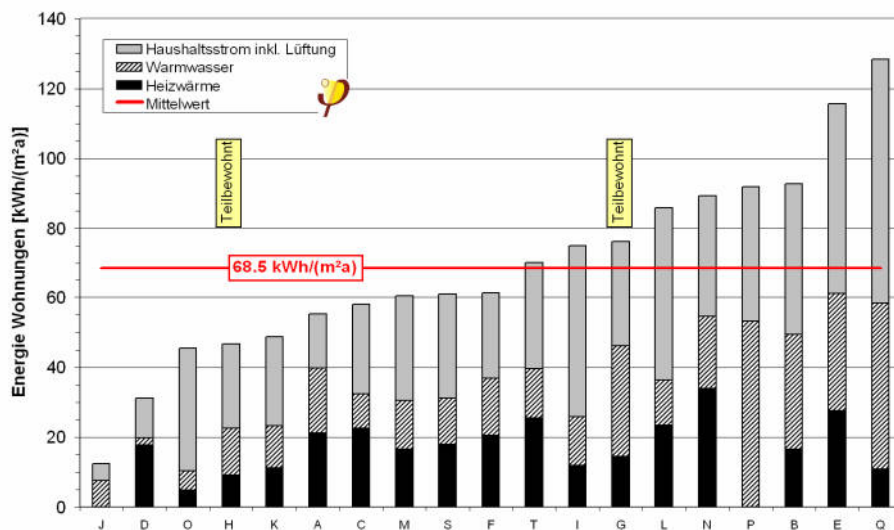


Abbildung 41: Gemessene Energieverbrauchswerte, getrennt für Strom, Heizung und Warmwasser in 19 zentralversorgten Wohnungen des Monitoringprojektes „Altbausanierung mit Passivhauskomponenten“ in der Tevesstraße in Frankfurt a.M. Die Verbräuche sind direkt in den Wohnungen gemessen, enthalten damit keine Verteilverluste etc. [Peper et al. 2009].

Im Monitoringprojekt in Frankfurt a.M. in der Tevesstraße („Sanierung mit Passivhauskomponenten“) wurde für einen Gebäudeblock die Auswertung getrennt dargestellt (aus [Peper et al. 2009]). Die in den 19 Wohnungen direkt gemessenen Verbräuche dieser drei Verbrauchsgruppen sind in Abbildung 25 aufgeführt. Die Messwerte liegen in der Summe zwischen 12,3 und 128,3 kWh/(m²a). Der flächengewichtete Mittelwert beträgt 68,5 kWh/(m²a). Dabei sind Haushalte zu finden, die sehr wenig bzw. gar nicht heizen aber deutlich höhere Verbrauchswerte beim elektrischen Verbrauch und / oder dem Warmwasserverbrauch aufweisen. Aber auch der umgekehrte Fall ist vertreten. Dies zeigt die Bandbreite der unterschiedlichen Nutzung der Wohnungen. Die Größe der Wohnungen beträgt zwischen 34 und 86 m² Energiebezugsfläche (Mittelwert 68,9 m³). Die Wohnungen wurden zur Bilanzzeit von einer bis drei Personen bewohnt.

Literatur

- [Feist 2004] Feist, W.: Wärmeübergabeverluste im Licht der Baupraxis. In: Wärmeübergabe- und Verteilverluste im Passivhaus. Protokollband Nr. 28 des Arbeitskreises kostengünstige Passivhäuser Phase III, Passivhaus Institut, Darmstadt 2004.
- [Peper 2008] Peper, S.: Passivhaus-Heizsysteme in der Praxis. Ergebnisse und Erfahrungen aus der Feldmessung. In: Protokollband 38 des Arbeitskreises kostengünstige Passivhäuser Phase IV; Passivhaus Institut; Darmstadt 2008
- [Peper/Kah/Pfluger/Schnieders 2007] Peper, S.; Kah, O.; Pfluger, R.; Schnieders, J.: Passivhausschule Frankfurt Riedberg. Messtechnische Untersuchung und Analyse. Passivhaus Institut, Darmstadt, Juli 2007
Download: www.passiv.de
- [Peper et al. 2009] Peper, S.; Grove-Smith, J.; Feist, W.: Sanierung mit Passivhauskomponenten. Messtechnische Untersuchung und Auswertung Tevesstraße Frankfurt a.M. Passivhaus Institut; Darmstadt Februar 2009.
Download: www.passiv.de
- [Peper/Schnieders/Feist 2011] Peper, S.; Schnieders, J.; Feist, W.: Langzeiterfahrung zur Funktion der Dämmschürze beim Projekt Passivhaus Grundschule Frankfurt-Riedberg. Passivhaus Institut, Darmstadt, Februar 2011; Download: www.passiv.de

14 Arbeitskreissitzung und Protokollband Nr. 46 Nachhaltige Energieversorgung mit Passivhäusern

„Nachhaltige Energieversorgung“ ist eines der wichtigsten Themen und eine der globalen Herausforderungen zum Erhalt einer lebenswerten Zukunft. Hier gab und gibt es auch in Zukunft hohen Diskussionsbedarf.

Im Rahmen der 46. Arbeitskreissitzung wurden die wesentlichen Themen mit Bezug auf den Gebäudesektor diskutiert. Nachhaltigkeit als eine Handlungsmaxime ist zunächst einfach definiert. In der konkreten Ausgestaltung zeigt sich jedoch die Komplexität des Themas, da Nachhaltigkeit nicht nur technische Systeme, sondern auch das soziale Gefüge, die Ökonomie und in erheblichem Ausmaß die Ökologie, also die Lehre vom Zusammenleben und -wirken aller Organismen des Planeten umfasst. In diesem Zusammenhang konnte identifiziert werden, dass ein möglichst geringer Energieverbrauch in besonderer Weise den Nachhaltigkeitskriterien entspricht, weil er liefernde Systeme wenig beansprucht. Dies unterstreicht die Relevanz hocheffizienter Energienutzung in Neubau und Bestand insbesondere in der Nutzungsphase. Hier konnten weitere, ökonomisch tragfähige Effizienzpotentiale über die Grenzwerte des Passivhausstandards hinaus gefunden werden. *Bau- und Sanierungsstandards mit geringeren Anforderungen als der Passivhaus- oder EnerPHit-Standard stellen sich als ökonomisch wie ökologisch unverantwortlich dar.* Es konnte gezeigt werden, dass der Energiebedarf in der Erstellungsphase (*Graue Energie*) auch beim Passivhaus gegenüber dem Energiebedarf in der Nutzungsphase *nachrangig* ist. Zudem birgt die Bilanzierung der Grauen Energie hohe Unsicherheiten bei einem großen Aufwand. An Stelle einer solchen wird ein Leitfaden zum optimierten Planen und Bauen bezüglich grauer Energie als sinnvoll erachtet.

Neben der effizienten Verwendung von Energie ist deren nachhaltige Bereitstellung entscheidend. *Biomasse* ist hier aufgrund bestehender Nutzungskonkurrenzen *nur sehr begrenzt verfügbar*. Ihr kommt jedoch als speicherbarer Energieform eine Schlüsselrolle bei der Überbrückung von Angebotslücken bei Sonnen- und Windenergie zu. Ein Teil der benötigten Energie sollte am Gebäude selbst erzeugt werden, ohne dieses zu einer bloßen Energieerzeugungsanlage zu degradieren. Bei Passivhausdoppel- oder Reihenhäusern kann schon eine Photovoltaikanlage, die einen Anteil von 30% der Dachfläche einnimmt, zur Deckung des kompletten Endenergiebedarfes im Jahresmittel ausreichen, während es nach heutigem Stand des Wissens nicht möglich ist, ein Gebäude nach der aktuellen Energieeinsparverordnung überhaupt nachhaltig mit Energie zu versorgen.

14.1 Inhalt des 46. Protokollbandes

Nachhaltige Energieversorgung mit Passivhäusern - Einführung

8 Seiten

Univ.Prof. Dr. Wolfgang Feist, Passivhaus Institut Darmstadt und Universität Innsbruck

Nachhaltige Energieversorgung: Lösungsansätze für den Sektor der privaten Haushalte in Deutschland bis 2050

90 Seiten

Rainer Vallentin, Vallentin+Reichmann Architekten, München

Bewertung leitungsgebundener Energieträger: Wärmeverteilverluste von Fern-/ Nahwärmenetzen, Szenarien für die optimierte Fernwärmenutzung aus KWK

32 Seiten

Dr. Berthold Kaufmann, Passivhaus Institut Darmstadt Wolfgang

Möglichkeiten zur weiteren Optimierung von Strombedarf, Hülle und Haustechnik

28 Seiten

Dr.-Ing. Benjamin Krick, Passivhaus Institut Darmstadt

Einfluss der Grauen Energie auf die Lebenszyklusbilanz

10 Seiten

Ueli Kasser, büro für umweltchemie, Zürich

Regionale Konzepte zur nachhaltigen Energieversorgung von Passivhäusern

15 Seiten

Wolfgang Hasper, Passivhaus Institut Darmstadt

Zur künftigen Bewertung des Energiebedarfes von Passivhäusern

32 Seiten

Dr.-Ing. Benjamin Krick, Passivhaus Institut Darmstadt

Nachhaltige Energieversorgung mit Passivhäusern – Zusammenfassung und Ausblick

9 Seiten

Univ.Prof. Dr. Wolfgang Feist, Passivhaus Institut Darmstadt und Universität Innsbruck

14.2 Ausgewählte Teile aus dem Inhalt von AK 46

Nachhaltige Energieversorgung: Dem Passivhaus gehört die Zukunft

Zum Thema Nachhaltige Energieversorgung gibt es künftig noch immer einen hohen Diskussionsbedarf. Es können jedoch bereits heute einige Punkte identifiziert werden, die unstrittig sein sollten:

- **Energieeffizienz wird in einer nachhaltigen Energieversorgung an erster Stelle stehen**, da die Menge nachhaltig verfügbarer und bezahlbarer Energie begrenzt ist (Nutzungskonkurrenz bei der Biomasse, konkurrierende Landschaftsnutzung bei Windenergieanlagen, Beeinträchtigung des Ortsbilds durch Kollektoren). Zudem erweisen sich *Energieeffizienzmaßnahmen als wirtschaftlich besonders attraktiv*. Das Passivhaus ist bei den Gebäuden der zielführende Standard in Bezug auf die Energieeffizienz. Er markiert eine erwiesenermaßen funktionierende, in der Breite ökonomisch anwendbare Lösung – die alle Anforderungen an die Nachhaltigkeit ohne bedeutende Hindernisse erfüllen kann.
- **Die primärenergetische Bewertung von Biomasse muss künftig auch den erneuerbaren Energieanteil einschließen**. Biomasse ist eine durch die begrenzte Ressource „Land“ grundsätzlich nicht in beliebigem Maß ausbaubare Energiequelle; sie kann und muss eine Rolle spielen – allerdings nur in einem nachhaltig vertretbaren Umfang; der primär durch die ökologischen Bedingungen einer nachhaltigen Land- und Forstwirtschaft bestimmt wird. Die in diesem Rahmen umwelt- und sozialverträglich gewinnbare Biomasse kann einen Teil der Energieversorgung übernehmen – wobei auch schon innerhalb der energetischen Nutzung Nutzungskonflikte auftreten (Biosprit versus Biogas versus Kraftwerkseinsatz versus Wärmeerzeugung - in welcher der letztgenannte Sektor die geringste Wertigkeit aufweist). Daher muss auch der Energierohstoff Biomasse effizient eingesetzt werden – und dem trägt eine Mitbewertung des erneuerbaren Energieanteils Rechnung.
- **Die zusätzliche Ausweisung eines CO₂-Äquivalents ist sinnvoll**, da der Klimawandel als die große Herausforderung unserer Zeit erkannt wurde und das CO₂-Äquivalent die Klimawirkung eines Gebäudes abbildet.
- **Zudem ist es sinnvoll, in Zukunft zusätzlich einen Primärenergiebedarf in Bezug auf eine künftige Versorgungsstruktur auszuweisen**, da Primärenergie- bzw. KEV-Faktoren und CO₂-Äquivalente mit der Fortentwicklung von Technologien und der Zusammensetzung von Energieträgern und Koppelprodukten einem permanenten Änderungsprozess unterworfen und somit dynamisch sind, vgl. Abbildung 26.

Abschlussbericht zu AK 40 bis 48 – Phase V: 2009-2012

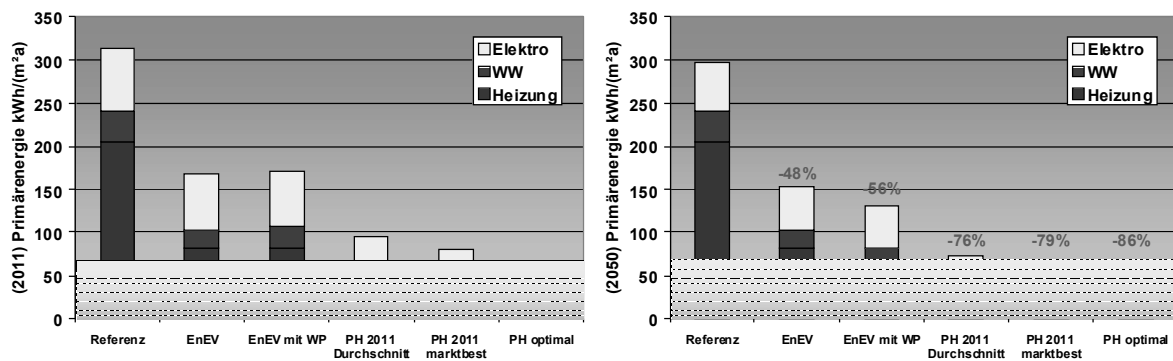


Abbildung 42: Unterschiedlicher Primärenergiebedarf gleicher Gebäude durch Änderung der Primärenergiefaktoren 2011 und 2030. Hellgrau abgesetzt ist die Nachhaltigkeitsgrenze

- Das **Passivhaus** stellt heute in fast allen Regionen der Erde **das wirtschaftliche Optimum** dar. Auch seine Versorgung mit nachhaltig verfügbarer Energie ist nach dem heutigen Stand der Technik überall möglich. Mit steigenden Energiepreisen und fortschreitender Technologie wird sich das ökonomische Optimum noch mehr in Richtung höherer Effizienz verschieben. Sollten in den Sektoren Verkehr und Gewerbe/Industrie geringere Effizienzsteigerungen realisierbar sein, könnten diese sogar partiell durch einen PH optimal noch höheren Beitrag im Gebäudesektor kompensiert werden (wobei das Potential allerdings wegen des ohnehin zukünftig sehr niedrigen Niveaus begrenzt ist). **Dies könnte in der Zukunft auch über den Passivhausstandard hinaus gehende Effizienzforderungen wirtschaftlich sinnvoll machen.** Um hier Anreize zu schaffen, wird das PHI „Energieklassen“ für Passivhäuser einführen.
- Jedes Gebäude nutzt eine entscheidende natürliche **Ressource: Das Land**, auf dem es gebaut wird. Die verfügbaren Flächen sind begrenzt – eine seit langem in der Stadt- und Regionalplanung bekannte Tatsache. Der Aufwand „in Anspruch genommene Grundfläche“ für den Nutzen „Nutzfläche im Gebäude“ muss sich in Grenzen halten; auch hier gibt es ernst zu nehmende Nutzungskonflikte. Andererseits ist in dem Fall, dass ein Areal ohnehin bebaut wird, die *zusätzliche Nutzung* der bebauten Fläche – in Form der entstehenden Dachfläche – für die auf dem Areal anfallende Solarenergie in aller Regel ohne größere Probleme möglich. In der Regel (und die Ausnahmen können in Diskussion aller Kriterien bestimmt werden – z.B. ein Dachgarten) ist daher die Gewinnung der zur Grundfläche gehörenden Solarenergie eine an den Neubau kopplungsfähige Anforderung. Die Menge der erzeugten erneuerbaren Energie muss dabei allerdings auf die in Anspruch genommene Grundfläche bezogen werden, denn die Grundfläche bestimmt das verfügbare solare Potential. Ggf. sind auch Abstandsflächen mit einzubeziehen, eine Diskussion über das adäquate Bezugsmaß kann dies weiter präzisieren. Definitiv ungeeignet ist die erstellte

Abschlussbericht zu AK 40 bis 48 – Phase V: 2009-2012

Nutzfläche als Bezugsfläche für die erzeugte solare Energie (die „Kraftwerksnutzung“ des Gebäudes). *{ Beweis: Ein Optimum der je Quadratmeter Nutzfläche erzeugbaren solaren Energie wird bei eingeschossigen Gebäuden erreicht (kleinstmögliche Nutzfläche je Grundfläche). Es kann aber kein Zweifel daran bestehen, dass z.B. ein zweigeschossiges Gebäude auf dem gleichen Grundriss ökologisch insgesamt zu einer geringeren Belastung führt (bessere Flächenausnutzung) – der Solarertrag je Nutzfläche geht dabei jedoch zurück. (QED)}* Vor diesem Hintergrund wird deutlich, warum die Konzeptionen von Netto-Null- und von Plusenergiehäusern als Optimierungsziele irreführend sind – sie erhöhen den Flächenaufwand für die gleiche Nutzung ganz erheblich. Sinnvoll hingegen ist, von einem neu errichteten Gebäude zu verlangen, dass es

- a) eine so hohe Effizienz aufweist, dass die angeforderte Energiemenge nachhaltig (d.h. aus erneuerbaren Quellen und dauerhaft) gedeckt werden kann – diese Anforderung wird z.B. von einem Passivhaus erfüllt,
 - b) einen angemessenen Teil der Solarenergie, die auf das in Anspruch genommene Grundstück auffällt, an öffentliche Energienetze liefert (gegen einen zu vereinbarenden angemessenen Preis).
- **Die Entwicklung hin zu einer nachhaltigen Versorgung muss gefördert werden.** Kernziel ist dabei, dass möglichst viel in die richtige Richtung passiert. Dabei muss auch erlaubt sein, einmal geschaffene Instrumente zu korrigieren, wenn sie nicht die beabsichtigte Wirkung erzeugen.

Weitere Verbesserung der Energieeffizienz: Wirtschaftlich sinnvolle Potentiale nutzen

Über die Mindestanforderungen des Passivhausstandards hinaus sind durchaus noch weitere Effizienzpotentiale wirtschaftlich sinnvoll erschließbar. Dies liegt zum einen an dem stärker als in vorangegangenen Studien des PHI prognostiziert gestiegenen Energiepreisen, zum anderen an der voranschreitenden technologischen Entwicklung und den sinkenden Preisen für Passivhaus geeignete Komponenten und andere hoch energieeffiziente Produkte.

Nach Einschätzung des Autors ist es durchaus möglich, dass eine künftige Energiepreissteigerung geringer ausfällt als bisher, oder dass es sogar kurzfristig zu Reduktionen beim Energiepreis kommt. Die weltpolitische Lage und die künftige Entwicklung der Kosten für Erneuerbare und fossile Energien sind nur schwer prognostizierbar. Im Mittel eines längeren Zeitraums (ab ca. 12 Jahren), und das ist der relevante Zeithorizont bei Entscheidungen über Investitionen an Gebäuden, werden die Energiepreise aber nicht unter den heutigen (2012) liegen, sofern es nicht zu katastrophalen Entwicklungen kommt.

Abschlussbericht zu AK 40 bis 48 – Phase V: 2009-2012

Dies bedeutet, dass die Investition in hohe Energieeffizienz ein besonders geringes Risiko darstellt und ökonomisch, ökologisch und sozial-ethisch sehr vorteilhaft ist.² Hieraus leitet sich die Entscheidungsmaxime zugunsten höchster Energieeffizienz ab. Forderungen nach beispielsweise mittelmäßigen Effizienzstandards bei Neubauten und Sanierungen auf nur geringem Niveau sind vor diesem Hintergrund unverantwortlich. Natürlich sind die Investitionskosten für Passivhäuser höher als die konventioneller Gebäude. Diese Investitionsmittel fließen zu einem großen Teil an regionale Unternehmen (nämlich das Bauhandwerk). So wird

- einerseits die regionale Wertschöpfung gestärkt
- und andererseits der Kapitalabfluss in energieexportierende, oft instabile Regionen der Erde ebenso wie die Abhängigkeit von selbigen reduziert.

Wie in Protokollband zur 42. Arbeitskreissitzung gezeigt wurde, rechnen sich die Investitionen für den Investor durch dauerhaft rückfließende Einsparungen – aktuell liegen diese etwa auf einem Niveau von 4 bis 10% internem Zinsfuß. Derart hohe Renditen sind heute mit (sicheren!) Geldanlagen ansonsten kaum zu erreichen – und vor allem nicht steuerfrei.

Eine gute Illustration liefert die Untersuchung zu den Lebenszykluskosten von Passivhaus-Fenstern, die mittlerweile oft in der Investition nicht teurer sind als 2-fach verglaste Standardfenster. Diese Verbesserung wurde durch die systematische Forschungs- und Entwicklungsarbeit erreicht, nun kann sie vergleichsweise bequem in der Breite umgesetzt werden. Ein weiteres Beispiel zeigt sich im Bereich der Warmwasser-Nutzung. In den Niederlanden ist die Wärmerückgewinnung aus Duschwamwasser bereits in größerem Umfang verbreitet – es ist eine kostengünstige Maßnahme, die im Neubau und auch in vielen Altbauten umgesetzt werden kann.

Eine besondere Rolle spielt – auch und gerade im Passivhaus – die **Elektroeffizienz**. Neue Technologien stehen an der Schwelle zur breiten Anwendung, so dass hier ein besonders hohes Effizienzpotential besteht. Beispiele sind die Beleuchtung mit LEDs, die inzwischen wirtschaftlich auch Halogenlampen verdrängen können, die deutlichen Verbesserungen im IT-Bereich und der Einsatz von Vakuumdämmung in Kühl- und Gefrierschränken. Trotzdem stieg der Haushaltsstrombedarf in der EU in den vergangenen Jahren um 0,7% p.a. Diese Mehrverbrauchstendenz kann durch konsequenten Einsatz der Effizienztechnik umgekehrt werden. Die Wichtigkeit des Themas Elektroeffizienz wurde vom PHI schon in der Anfangsphase der Passivhausentwicklung erkannt und soll in Zukunft noch stärker in den Fokus kommen.

² In dem im vorausgehenden Abschnitt erwähnten Fall, dass durch katastrophale ökonomische Verwerfungen Energiepreise im Mittel fallen sollten, bleibt die Investition in Energieeffizienz-Technologie dennoch im Vorteil: Sie sichert die Versorgung auf Naturalbasis, bleibt somit auch in Krisenzeiten voll nutzbar.

Herstellungsenergieaufwand von Gebäuden: Die Nutzungsphase überwiegt

Es war uns auch wichtig, noch einmal die Frage des Herstellungsenergieaufwandes, der „Grauen Energie“, zu diskutieren. Mit Ueli Kasser wurde dieses Thema von einem anerkannten Schweizer Experten präsentiert. Es zeigte sich, dass der Energieaufwand in der Nutzungsphase auch bei Passivhäusern immer noch deutlich überwiegt und dass die Lebenszyklusenergiebilanz eines Passivhauses durch die Wahl der Baustoffe eher wenig beeinflusst werden kann. Der Bilanzierungsaufwand bleibt jedoch vergleichsweise hoch und ist mit großen, auch systematischen Unsicherheiten (z.B. Systemgrenze, Ansatz verbauter Biomasse) behaftet. Einige spezielle Aussagen und Empfehlungen sind aber möglich: Als besonders energieintensiv sind z.B. Metalle erkannt. In Zukunft scheint ein Leitfaden zum Bauen mit wenig Herstellungsenergieaufwand, der Grundlegendes erläutert und Handlungsempfehlungen gibt, praktikabler und sinnvoller zu sein als eine detaillierte stoffliche Bilanzierung bei jedem Bauvorhaben.

Ganz entscheidend bei der Bilanzierung der „Grauen Energie“ ist der Ansatz der Nutzungsdauer. Die Politik beschwert sich, dass die Sanierungsraten zu gering sind. Diese sind so gering, weil die Nutzungsdauer der Systeme höher ist, als sie bisher oft angesetzt wurden. Aus ökologischer Sicht ist das begrüßenswert! ($2\%a^{-1}$ Sanierungsrate bedeutet z.B. eine Nutzungsdauer der betroffenen Komponente von 50 Jahren)

Weitere Verbesserungen können erreicht werden, wenn ein Bauteil mit geringerem Herstellungsenergieaufwand zudem auch noch länger hält. In Bezug auf diese Bilanzierungen bestehen aber weit größere Unsicherheiten als bei der Energiebilanzierung. Bei der Energiebilanzierung kann vergleichsweise einfach nachgemessen werden, wohingegen in diesem Bereich die Validierung aufwendig ist, da die Vorketten viel weiter verzweigt sind – und vom Anwender kaum vollständig verfolgt werden können.

Perspektiven: Die Photovoltaik und das Winterloch

Photovoltaik wird als mögliche Perspektive viel diskutiert. Die Preise sind in den letzten Jahren dramatisch gefallen. Auf der anderen Seite stieg der Strompreis. Auf diese Weise ist mit heutigen Photovoltaikanlagen die Netzparität nicht nur erreichbar, die Produktion von PV-Strom ist für Besitzer von PV-Anlagen preiswerter als der Bezug von Netzstrom. So kann ohne weiteres empfohlen werden, Photovoltaikanlagen bei Neubau oder Sanierung, wo immer das möglich ist, einzusetzen.

Energiewirtschaftlich führt uns der PV-Einsatz unmittelbar zur Problematik des Winterloches. Anfangs beschränkte sich das Interesse auf die Stromerzeugung im ganzen Jahr. Nun wird die Verteilung der solaren Stromernte immer wichtiger, da im Sommer teilweise mehr Strom erzeugt als verbraucht wird, für den Winter jedoch teuer andere Kraftwerkskapazitäten bereitgestellt werden müssen.

Betrachtet man einen Altbau (durchschnittliches deutsches Gebäude) und bringt dort eine optimale Photovoltaik-Anlage auf dem kompletten Dach an, so können bei einer PV-Fläche von 78 m² und 16% Zellenwirkungsgrad 80 kWh/m² Energiebezugsfläche und Jahr geerntet werden. Eine zeitaufgelöste Bilanz zeigt, dass die Energieerzeugung im Sommer deutlich über dem Bedarf, im Winter deutlich darunter liegt. Es entsteht ein **Winterloch**, welches beim Altbau auch unter Heranziehung der in Deutschland nachhaltig verfügbaren Biomasse nicht geschlossen werden kann, vgl. Abbildung 27.

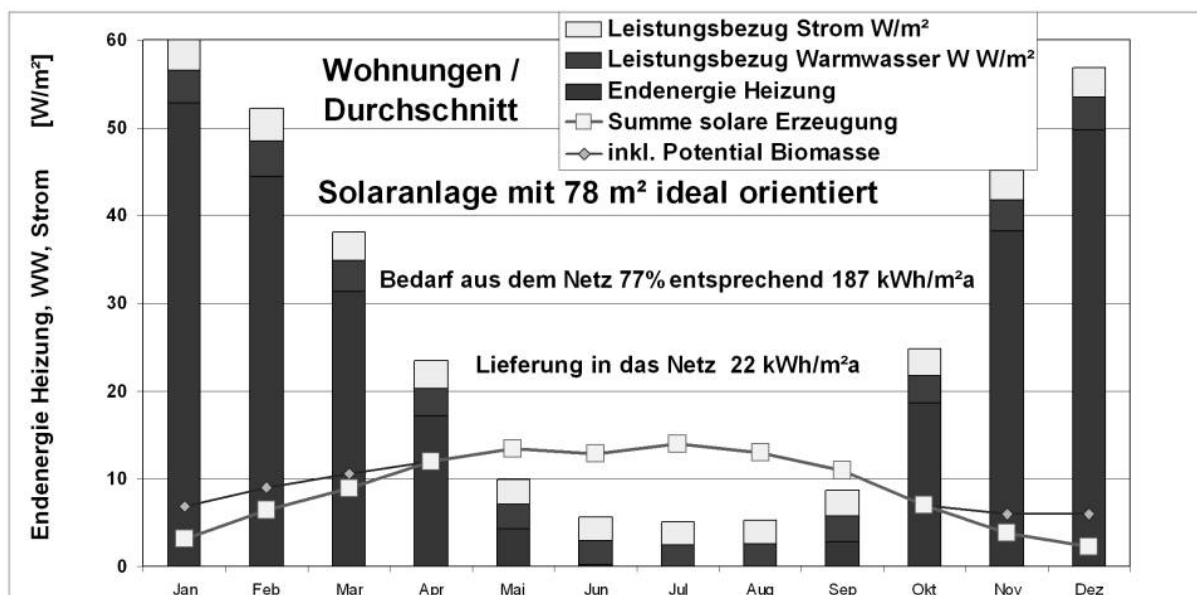


Abbildung 43: Energiebedarf und solare Erzeugung im Altbau; Winterlücke von 29 MWh/a

Es verbleibt bei Altbaustandard eine winterliche Deckungslücke von 29 MWh/a, entsprechend einem Jahres-Heizölbedarf von 3 m³, einem Heizwasserspeicher von

Abschlussbericht zu AK 40 bis 48 – Phase V: 2009-2012

243 m³ (!!)) oder einer Lithium-Ionen-Batterie von 71 m³ (!!)). Mit einem solchen Energiestandard ist eine nachhaltige Energieversorgung nicht möglich und vor allem nicht bezahlbar.

Bei einer Sanierung „mittlerer Qualität“ (in etwa nach der bestehenden Energie-Einspar-Verordnung) verringert sich das Winterloch um einen Faktor 3: 10 MWh/a, entsprechend einem Öltank von 1000 l, einem Heizwasserspeicher von 64 m³ oder einer Lithium-Ionen Batterie von 11 m³. Dabei entsprechen die solaren Überschüsse im Sommer etwa dem Bedarf aus dem Netz im Winter, vgl. Abbildung 28. Es handelt sich nach verbreiteter (aber unangemessener) Terminologie um ein "Netto-Nullenergiehaus". Da der sommerliche Stromüberschuss nur unter nennenswerten Verlusten und zu indiskutabel hohen Kosten in den Winter transferiert werden kann, ist auch diese mittlere Gebäudequalität nicht nachhaltig mit Energie versorgbar. (Häufig wird in diesem Zusammenhang über die Notwendigkeit der Entwicklung weiter verbesserter Speichertechnologien diskutiert - den Möglichkeiten in diesem Bereich setzt allerdings die Physik Grenzen; jahreszeitliche Energiespeicherung wird auf absehbare Zeit immer eine sehr teure Komponente bleiben - die allerdings für einen nur geringen Energiebedarf schließlich leistbar werden kann, vgl. nächster Abschnitt.)

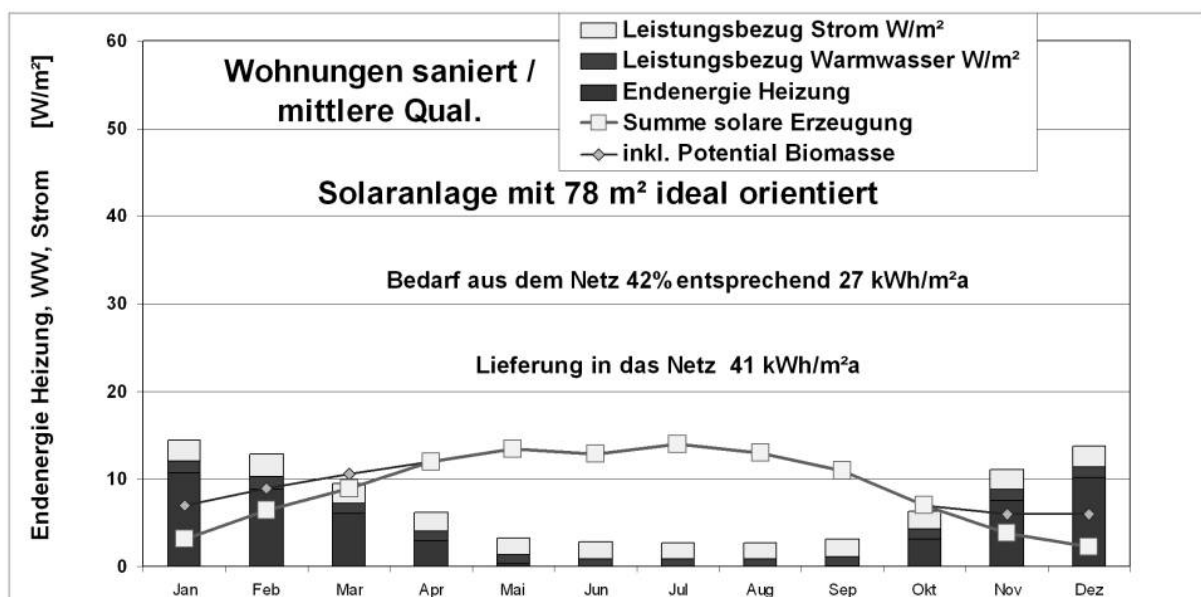


Abbildung 44: Energiebedarf und solare Erzeugung in einem Gebäude mittlerer Qualität; Winterlücke 10 MWh/a

Bereits heute kann der Energiebedarf eines Gebäudes jedoch mit vertretbarem Aufwand weiter reduziert werden, wenn nicht die EnEV, sondern der EnerPHit-Standard als Maßstab angewendet wird, bei dem Passivhaustechnologie zur Anwendung kommt. In diesem Fall wird das Winterloch so gering, dass regionale,

Abschlussbericht zu AK 40 bis 48 – Phase V: 2009-2012

nachhaltig nutzbare Biomassepotentiale ausreichen³, um das Winterloch zu decken, siehe dazu Abbildung 29. Wichtig für die künftige Bewertung ist damit auch die Einbeziehung der Verteilung von Energiebedarf und -Erzeugung im Jahreszyklus.

Aus den dargestellten Gründen wäre es fatal, die Sanierungsraten bei mittlerer Qualität zu erhöhen. Dies würde sich stark kontraproduktiv auswirken. Der richtige Weg ist, grundsätzlich in jedem Einzelfall mit höchstmöglicher Effizienz zu sanieren. Dann und nur dann lässt sich die nachhaltige Energieversorgung im Gebäudesektor innerhalb der zur Verfügung stehenden Zeitspanne in die Praxis umsetzen.

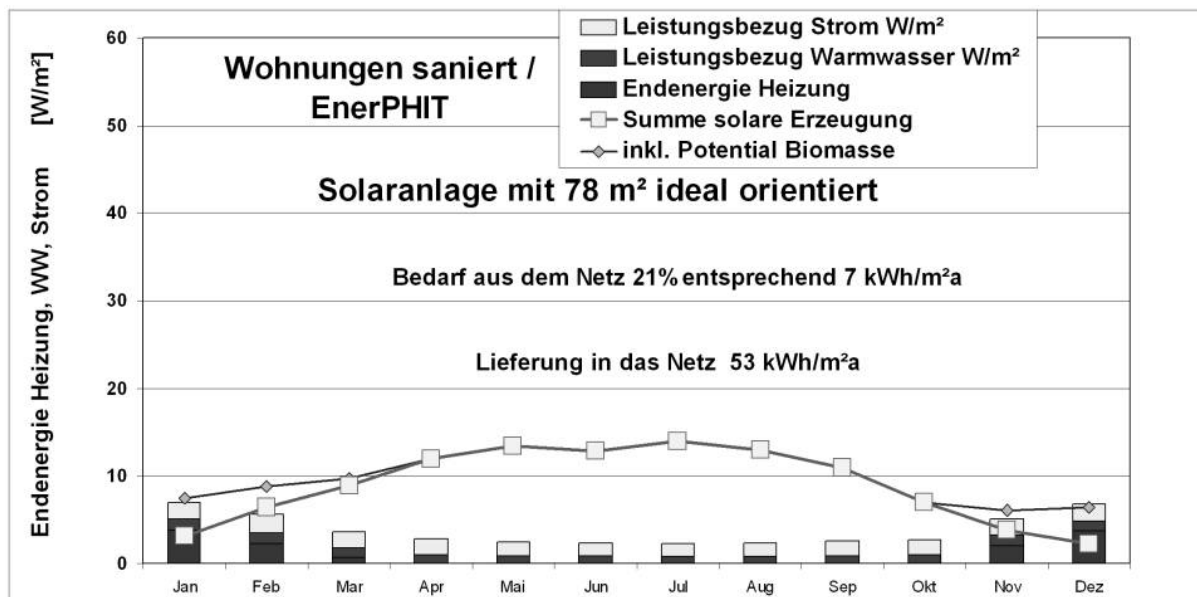


Abbildung 45: Energiebedarf und solare Erzeugung in einem EnerPHit-Gebäude; die "Winterlücke" von 2,4 MWh wäre mit heute verfügbarer Speichertechnik zu vertretbaren Kosten überbrückbar - allerdings ist es ebenso vertretbar, den sehr geringen Restbedarf aus Biomasse zu decken (die in diesem geringen Ausmaß für alle Nutzer verfügbar ist)

Eine nachhaltige Lösung ist mit dem Passivhaus/EnerPHit und Erneuerbaren Energien erreicht - und dies zu bereits heute ökonomisch attraktiven Bedingungen. Die Lösung beweist, dass sich das Passivhauskonzept und Erneuerbare Energien optimal ergänzen können. Leider scheinen viele Vertreter der Erneuerbare-Energien-Branche das Passivhaus als Konkurrenz anzusehen. Dieses Vorurteil muss überwunden werden, um der nachhaltigen, intelligenten und zielführenden Kombination aus Energieeffizienz und nachhaltiger Energieerzeugung zum Durchbruch zu verhelfen.

³ Und zwar auch dann ausreichen, wenn "alle" den Anspruch auf eine Biomasseversorgung in diesem Umfang hätten.

15 Arbeitskreissitzung und Protokollband Nr. 47 Energieeffiziente Kantinen und Gewerbeküchen

Die typischen Anwendungen wie Kochen oder Braten ebenso wie das Geschirrspülen sind einerseits mit hohem Energieeinsatz verbunden und erzeugen andererseits hohe interne Wärme- und Feuchtelasten, die mit entsprechend dimensionierten Küchenlüftungen abgeführt werden müssen. Energieeffiziente Küchentechnik hat daher gleich mehrfach Vorteile, sie spart Energie, verringert in der Regel die internen Lasten und kann somit zu kleiner dimensionierten Lüftungsanlagen führen. Das Thema ist hochaktuell, denn Schulküchen und -kantinen treten durch den Ausbau der Ganztagsbetreuung verstärkt in den Fokus.

Im Rahmen der 47. Arbeitskreissitzung wurden grundlegende Zusammenhänge und Effizienzpotentiale anhand von exemplarischen Küchengeräten und erhobenen Verbrauchswerten vorgestellt. Aus den Energieverbrauchswerten wurden Energiekennzahlen und die Verbrauchsstruktur abgeleitet. Ferner wurde die Frage behandelt, wie es um die thermische Behaglichkeit in Küchen steht und wie diese beeinflusst werden kann. Die energetische Projektierung mit dem PHPP und wie Küchenanwendungen berücksichtigt werden können, war ebenfalls Thema.

Nur ein Bruchteil der aufgewendeten Energie beim eigentlichen Kochen geht tatsächlich in das Lebensmittel und dient dem Garprozess; der Rest ist letztlich nur in den Raum freigesetzte Wärme. Solange man mit großen Mengen an Abwärmern, Wrasen etc. zu tun hat, braucht man enorme Mengen an Abluft und ggf. weiterer Hilfsmittel, um es in der Küche einigermaßen erträglich zu halten. D.h. die Basismaßnahme, um in der Küche überhaupt auf vernünftige Ergebnisse zu kommen, ist eine geeignete Auswahl an entsprechend effizienten Geräten für den eigentlichen Zubereitungsprozess.

Durch geeignete Wahl des Garprozesses und Optimierungen des Gargeräts kann der Energiebedarf auf nur noch ein Drittel im Vergleich zu konventionellen Zubereitungsweisen verringert werden. Energiekennzahlen für Gargeräte sollten zudem auf konkrete Speisen bezogen werden, wesentliche Einflüsse bleiben ansonsten unberücksichtigt. Auf Basis heute verfügbarer Techniken sind Einsparungen in der Summe aller Küchenanwendungen von 60 % erzielbar.

Eine interessante Synergie von Energiespartechnologien tritt ein, wenn neben der Energieverbrauchssenkung gleichzeitig die Raumlufbelastung durch Wrasen und Abwärme verringert wird. Einige Küchengeräte bieten bereits Ansätze einer "Lösung im Gerät", welche gleichzeitig den Abluftbedarf stark verringert. Eine Weiterentwicklung derartiger Lösungen in Küchengeräten erscheint wesentlich für zukünftige effiziente Gewerbeküchen.

15.1 Inhalt des 47. Protokollbandes

Einführung

3 Seiten

Prof. Dr. Wolfgang Feist, Universität Innsbruck / Passivhaus Institut

Grundlagen: Behaglichkeit, Energieströme in Küchen

28 Seiten

Oliver Kah, Passivhaus Institut

Effiziente Küchengeräte

20 Seiten

Lutz Löbel u. Florian Meffert, Passivhaus Institut

Lüftung in gewerblichen Küchen – Konzepte, Komponenten, Luftführung

20 Seiten

Kristin Bräunlich u. Roland Schumacher, Passivhaus Institut

Küchenplanung mit energiesparenden Geräten – Planungsbeispiele

14 Seiten

Torsten Bax, Lacher Großküchen GmbH

Lüftungsgeräte mit Wärmerückgewinnung in gewerblich genutzten Küchen

8 Seiten

Klaus J. Hansen, Menerga GmbH

Erste Berichte aus Planung, Betrieb und Messung von Schulmensen der Stadt Frankfurt

14 Seiten

Michael Nitze, Stadt Frankfurt

Optimierungspotentiale in gewerblichen Küchen – Kennwerte für die energetische Projektierung

32 Seiten

Oliver Kah, Passivhaus Institut

Zusammenfassung

8 Seiten

Prof. Dr. Wolfgang Feist, Universität Innsbruck / Passivhaus Institut

15.2 Ausgewählte Teile aus dem Inhalt von AK 47

Hinsichtlich des Energiebedarfs beim Kochen spielt neben dem thermischen Zubereitungsgerät auch die konkrete Speise eine entscheidende Rolle. Grundsätzlich sollten die heißen Komponenten der thermischen Geräte eine geringe Wärmekapazität aufweisen und die Konstruktionsweise sollte Wärmeverluste weitgehend vermeiden. Es gibt vielfältige Zubereitungsmethoden. Die gewählte Methode, die Wärmekapazität des Nahrungsmittels, die mögliche Effizienz der Wärmeübertragung auf das Nahrungsmittel (mit zunehmendem Oberflächen zu Volumenverhältnis, verbessert sich der Wärmeübertrag), der Masseverlust durch die Zubereitung und das erforderliche Temperaturniveau wirken sich außerdem auf den Energieverbrauch aus.

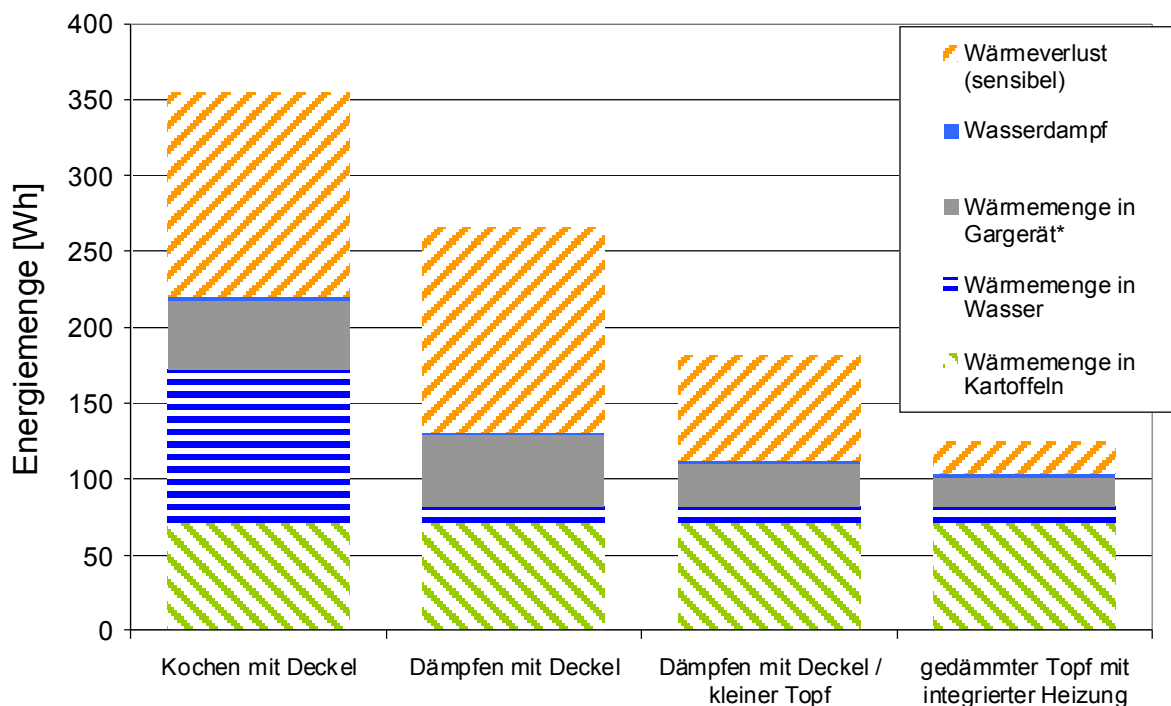


Abbildung 46: Energiebedarf zum Kochen von 1 kg Kartoffeln. Die ersten drei Beispiele zeigen den Bedarf mit konventionellem Kochtopf und zusätzlich mit dem thermisch optimierten Kochtopf mit integrierter Beheizung ("EffiCooker") nach [Schjær-Jacobsen 2009].

*Wärmemenge im Gargerät: Topfdeckel, Topf, Glaskeramikfeld, Heizwendel.

Nachfolgend die wesentlichen Gesichtspunkte, welche sich aus der Untersuchung der thermischen Zubereitungsgeräte ergeben:

- Geschlossene Behältnisse zur thermischen Zubereitung wählen: Möglichst immer im geschlossenen Garraum zubereiten (z.B. mit Topfdeckel). Dies verringert konvektive Wärmeverluste und reduziert ggf. unerwünschte Masseverluste.
- Beladung / Auslastung: Zubereitungsgeräte möglichst vollständig beladen. Teilbeladung von Kochtöpfen, Öfen etc. erhöht den Energiebedarf je Portion erheblich, da die Wärmeverluste über die Oberfläche und die Erwärmung der heißen Bestandteile des Geräts (Wärmekapazität) immer anfallen. Durch die Zubereitung von mehreren Chargen in Folge verliert der Energiebedarf der Aufheizung (z.B. eines Ofens) an Bedeutung.
- Zubereitungsmethode: Erhebliches Potential liegt auch in der Wahl des Garprozesses. Durch Dünsten z.B. von Kartoffeln in wenig Wasser kann gegenüber dem Kochen in Wasser der Energiebedarf verringert werden.
- Schließlich bietet das Zubereitungsgerät selbst weiteres Potential: gedämmte Konstruktionen, geringe Wärmekapazität der heißen Bestandteile (Garraum, etc.), Integration und Leistungsreglung der Beheizung. In Ansätzen bieten moderne Großküchengeräte bereits diese Funktionen.

In Küchen kann es heiß werden, das besagt schon eine bekannte Redewendung. Doch was verursacht die Wärmebelastung und wie kann die Behaglichkeit in Gewerbeküchen verbessert werden?

Maßgeblichen Einfluss auf den thermischen Komfort bzw. den Hitzestress haben die Raumluft- und die Strahlungstemperatur. Das Foto und die Wärmebildaufnahme in Tabelle 1 zeigt eine ausgewählte Arbeitssituation in einer Menü-Küche. Die Strahlungstemperatur der Umgebung ist eine geometriebezogene Größe. Eine heiße Umgebungsoberfläche wirkt sich umso stärker auf die Strahlungstemperatur an einem Punkt im Raum aus, je größer der Sichtfaktor auf das heiße Flächenelement ist. D.h. ist diese Fläche groß oder der Abstand zur Fläche klein, dann nimmt der Einfluss auf die Strahlungstemperatur zu. Heiße Herdplatten oder Grillplatten haben vor allem durch den geringen Abstand zum Personal wesentlichen Einfluss auf die Behaglichkeit. Bei einem Arbeitsabstand von 40 cm beträgt die Strahlungstemperatur aus dem Halbraum des Küchengeräts für die dokumentierte Grillplatte etwa 50°C. Die Bewertung nach ISO 7730 zeigt trotz moderater Raumlufttemperatur eine mehrheitliche Unzufriedenheit mit dieser Situation.

Die Wärmestrahlung hat, wie auch das Beispiel zeigt, großen Einfluss auf den thermischen Komfort in Küchen. Selbst bei komfortablen Raumlufttemperaturen

Abschlussbericht zu AK 40 bis 48 – Phase V: 2009-2012

schränkt die Abstrahlung heißer Küchengeräte die thermische Behaglichkeit stark ein. Soll die thermische Behaglichkeit verbessert werden, müssen auch Maßnahmen, welche die Wärmestrahlung verringern, angegangen werden.


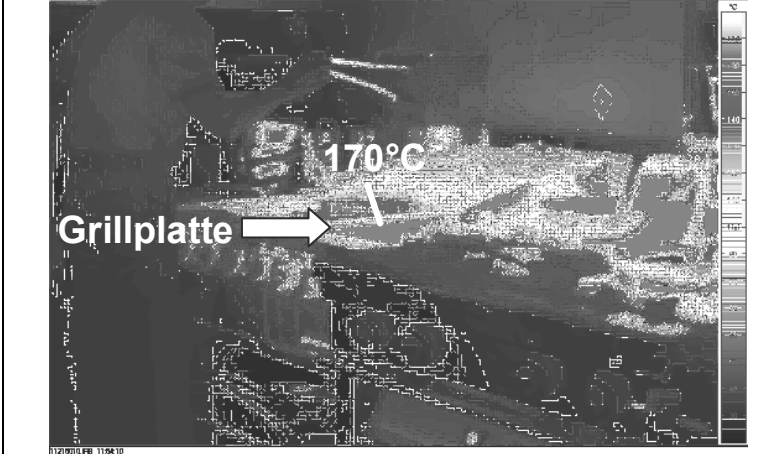
	
Abstand zur Grillplatte	40 cm
Strahlungstemperatur aus Halbraum	ca. 50°C
Raumlufttemperatur	ca. 22°C
Thermischer Komfort [ISO7730]	53% Unzufriedene
Wärmebeanspruchung nach [EN ISO 7933] (Arbeitsschutz) max. zulässige Expositionsdauer	8 h (durchschnittl. Person) 5 h (geschwächte Pers., 95%-Perzentil)

Tabelle 1: Thermische Bewertung beim Braten an der Grillplatte. Die Grillplatte wird dauerhaft auf Temperatur gehalten, aber aktuell nicht genutzt. Der thermische Komfort nach [ISO 7730] wird mehrheitlich als ungenügend empfunden. Durchschnittlich konstituierte Personen können nach [EN ISO 7933] eine komplette Arbeitsschicht an der Grillplatte arbeiten.

Bei der Recherche zu effizienten Küchengeräten ist deutlich geworden, welche großen Potentiale zu Energieeinsparungen es allein bezüglich der Geräte gibt. Bis auf einzelne Hersteller, die das Thema Energiesparen für sich als Wettbewerbsvorteil entdeckt haben, ist das Thema sowohl bei den Betreibern der Küchen als auch bei den Herstellern noch nicht im vollen Umfang angekommen. Bei weiter steigenden Energiepreisen werden sich aber sicherlich Kaufentscheidungen und Benutzerverhalten in naher Zukunft deutlich ändern. Wichtig ist dabei, dass es auch für gewerbliche Geräte zukünftig objektiv ermittelte und vergleichbare Energieverbrauchsangaben geben muss. Vorbildlich ist die Arbeit des FSTC in Kalifornien und deren Veröffentlichungen von Messwerten. Es macht zunächst einmal bewusst, dass es Unterschiede bei den am Markt angebotenen Geräten und deren Energieverbräuchen gibt.

Die genauere Untersuchung der Energieverbräuche durch die Küchenlüftung ergab, gerade im Zusammenhang mit energieeffizienten Küchengeräten, weitere nennenswerte Energieeinsparpotentiale. Die Aufgabe der Küchenlüftung ist zunächst einmal die Abfuhr von Lasten (Wärme, Feuchtigkeit und Aerosole), die bei Koch- und Spülvorgängen emittiert werden, um erträgliche Arbeitsbedingungen für das Küchenpersonal zu realisieren. Hält man sich nun noch einmal vor Augen, dass in Küchen bis zu 40% des Gesamtenergiebedarfes auf die Lüftung entfallen, so lohnt sich in jedem Fall ein genauerer Blick auf die Einsparpotentiale:

- **Reduktion der Druckverluste:** Da bei Küchenlüftungssystemen vergleichsweise hohe Luftmengen bewegt werden müssen, wirken sich Druckverlusteinsparungen deutlich auf die Reduktion des Ventilatorstromes aus. Einige Küchenlüftungskomponenten wie Aerosolabscheider verursachen sehr hohe Druckverluste, im Beitrag wurden unterschiedliche Varianten vorgestellt.
- **Reduktion des Abluftbedarfes und damit auch Reduktion des Zuluftvolumenstromes:** Die Volumenstromreduzierenden Maßnahmen haben den wohl signifikantesten Einfluss auf das Energieeinsparpotential, denn auf diese Weise wird nicht nur der Ventilatorstrom reduziert, sondern auch die Energie, die für die Beheizung der Zuluft notwendig ist.
- **Wärmerückgewinnung:** Wärmerückgewinnungssysteme werden in der Küchenlüftung leider auch heute noch nur sehr zögerlich eingesetzt. Zu groß sind die Bedenken hinsichtlich Hygiene und Brandgefahr. In der Küche gibt es in der Tat einige Besonderheiten, die den Einsatz einer Wärmerückgewinnung zumindest erschweren. Im Beitrag wird kurz auf einige Anforderungen in Bezug auf WRG-Systeme in Küchen eingegangen.

Abschlussbericht zu AK 40 bis 48 – Phase V: 2009-2012

Generell gilt es, die Lüftung optimal an die Küchennutzung und die Arbeitsabläufe anzupassen. Entscheidend hierfür ist die Abstimmung aller Beteiligten (Architekt, Haustechnikplaner, Küchenplaner und Betreiber) von Beginn der Planungsphase an, nur so können eine Überdimensionierung der Küchenlüftungsanlage und damit dauerhaft erhöhte Betriebskosten vermieden werden.

Ein wichtiger Punkt beim Betrieb einer Küchenlüftung ist die Einhaltung der Wartungsvorschriften der VDI 2052 bzw. VDI 6022.

Es sind tägliche Wartungen der Küchenablufthauben vorgeschrieben, monatliche Wartungen von Lüftungsdecken, Komponenten und des dazugehörigen Deckenhohlraums und halbjährliche Wartungen des ganzen Abluftsystems, der Brandschutzeinrichtungen und des RLT-Geräts durchzuführen. Diese Wartungen sind gemäß der VDMA 24184-0 und -1 durchzuführen und zu protokollieren.

Aufgrund der belasteten Abluft aus dem Küchenbereich ist besonders die Anlagenwartung ein wichtiger Punkt für den hygienisch korrekten Betrieb einer Küche/Lüftungsanlage. Bei Einhaltung der vorgeschriebenen Wartungsvorschriften ist der Betrieb einer Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung ohne Probleme möglich.

Allzu häufig sind der Küchenbetreiber oder die Küchenausstattung erst nach Fertigstellung der Baumaßnahme bekannt. Im Rahmen der Ganztagsbetreuung entstanden des Öfteren Küchen, ohne genauere Kenntnis, ob später tatsächlich gekocht wird oder ob warm angeliefert wird. Für die Küchenanlagentechnik ist dies hingegen durchaus relevant.

Der Schlüssel liegt wie so oft in der integralen Planung. Werden frühzeitig die wesentlichen Akteure – also auch der spätere Küchenbetreiber samt Küchenplaner – in den Planungsprozess einbezogen, kann dies Investitionskosten und Energie sparen.

Weiterhin ist es unerlässlich, das Bedienpersonal bestmöglich in die neuen Geräte und deren Anwendung einzuweisen. Eine Energieeinsparung kann nur gelingen, wenn die Bediener der Geräte den Nutzen erkannt haben.

Die geltenden Vorschriften und Richtlinien sind zu beachten! Alle Planungen sollten mit den zuständigen Behörden (am besten im Vorfeld) abgestimmt und bestätigt werden.

Im Februar 2012 sind in Frankfurt nunmehr 45 Passivhausprojekte in Betrieb und weitere 65 in Planung bzw. Bau. Die Bandbreite reicht dabei von Feuerwachen, Jugendhäusern, Kindertagesstätten zu Schulen bzw. Schulerweiterungen, Sportfunktionsgebäuden und Turnhallen und eben auch Schulmensen. Die Anzahl der Mensen liegt bei 21 bezogen auf alle 110 Projekte.



Abbildung 47: Neubau „Cafeteria“ mit Mensa im EG , Klassenräume im OG (Frankfurt / Main)

Die Schulmensen mit Vollküche sind durch ihre technischen Einbauten nur innerhalb einer integralen Planung effizient realisierbar. Grundlage sind Nutzungsfestlegungen, die in Zielvereinbarungen formuliert werden müssen. Gesamtkostenberechnung und Energiebilanzierung sind dabei wichtige Hilfsmittel der Planung und sollten nicht nur nachträgliche Berechnung eines fachbeteiligten Planers sein. Wirtschaftliches Bauen wird wesentlich durch eine sorgfältige, abgestimmte Planung erreicht.

Die variierende Anzahl der warmen Mahlzeiten ist ebenso zu Planungsbeginn zu betrachten wie die Vorbereitung der Integration in ein Lastmanagementsystem (Einbau von Steuerkabeln und Platzvorhaltung für das E-Max-Gerät in der Unterverteilung Küche).

Für die Nutzer sind ein „Szenario-Bedientableau“ (Vorbereiten, Kochen, Essensausgabe, Spülen, Reinigen, „Nachtbetrieb“) ebenso zu planen wie die Erstellung eines Gebäudebetriebsorders mit wesentlichen Bedienungsanleitungen und Parametern.

Das Einrichten von Verbrauchszählern sowie ein Monitoring nach 2 Betriebsjahren runden die integrale Planung ab und sichern das notwendige Qualitätsmanagement.

Für Kommunen empfiehlt sich zudem eine stadtteilbezogene Planung, die eine Vollküche mit Warmlieferung an Satellitenküchen als eine Einheit abbildet. So kann die mehrfache energieintensive Tiefkühlbevorratung entfallen und die Skalierbarkeit erhöht werden.

Abschlussbericht zu AK 40 bis 48 – Phase V: 2009-2012

Dynamische Effekte und Temperaturverläufe lassen sich mit Hilfe der thermischen Gebäudesimulation untersuchen. Das erprobte Verfahren erlaubt mit vertretbarem Aufwand den Einfluss von Nutzungsbedingungen oder Gebäudeeigenschaften systematisch zu analysieren.

Bei der Beispielküche handelt es sich um die Mischküche einer Passivhaus-Grundschule. Bauherr ist die Stadt Frankfurt am Main. Die Küche, in welcher etwa 500 Essen täglich zubereitet werden, ist ausschließlich mit elektrischen Küchengeräten ausgestattet. Die Gesamtanschlussleistung der Geräte beträgt rund 100 kW. Die Küchenlüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung ist gemäß der eingeführten Richtlinien (vgl. [VDI 2052]) ausgelegt. Der Abluftvolumenstrom des gesamten Küchenbereichs liegt bei 5.600 m³/h, davon entfallen 1.100 m³/h auf die Spülküche. Während der mehrwöchigen Messkampagnen im Rahmen dieses Arbeitskreises wurden in der Küche die Abläufe erfasst und Stromverbräuche gemessen. Die größeren elektrischen Verbraucher wurden getrennt erfasst.

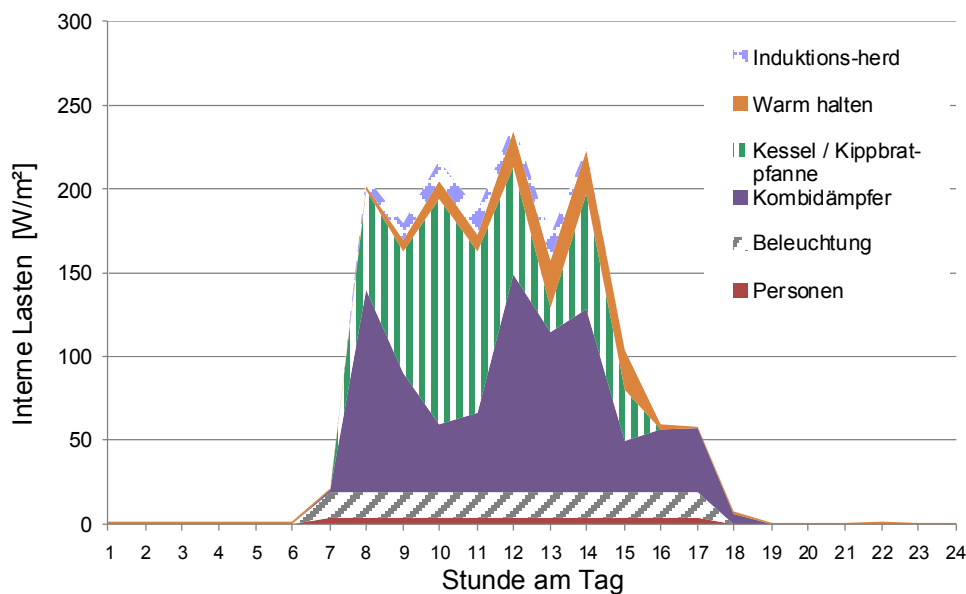


Abbildung 48: Zeitverlauf der sensiblen Wärmeabgabe in der Kochküche. Anhand der Belegungszeiten und von Stromverbrauchsmessungen wurde ein mittleres Zeitprofil bestimmt.

Abbildung 49 zeigt den mit Hilfe der dynamischen Simulation in Parameterstudien ermittelten Heizwärmebedarf in Abhängigkeit des Wärmebereitstellungsgrades. Ohne Wärmerückgewinnung nimmt der Heizwärmebedarf aufgrund der Lüftungsverluste - trotz der internen Lasten - sehr hohe Werte an. Die Lüftungswärmeverluste, welche eine normgemäß ausgelegte Küchenlüftung in der Heizperiode bewirkt, sind demnach deutlich höher als die Wärmelasten in der betrachteten Küche.

Abschlussbericht zu AK 40 bis 48 – Phase V: 2009-2012

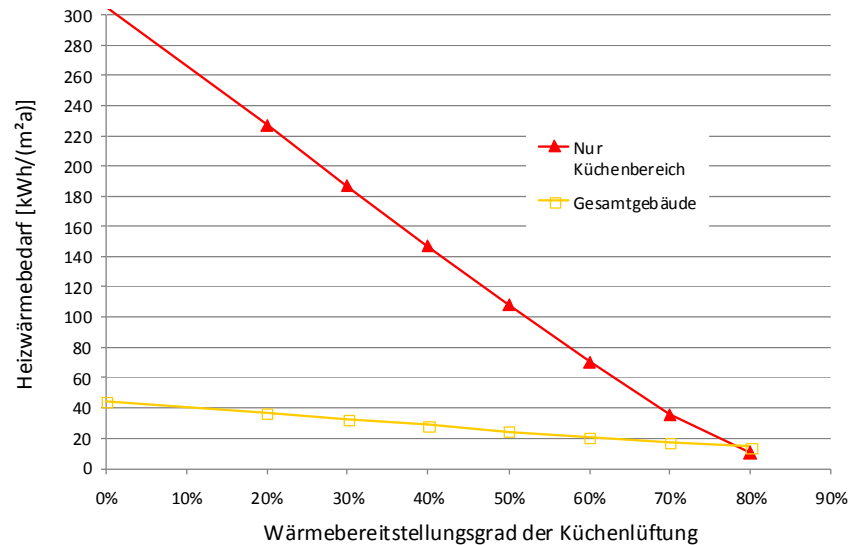


Abbildung 49: Einfluss des Wärmebereitstellungsgrades der Küchenlüftung auf den simulierten Heizwärmebedarf des Küchenbereichs und des Gesamtgebäudes. Würde in der untersuchten Küche, welche normgemäß ausgelegte Abluftvolumenströme aufweist, auf eine Wärmerückgewinnung verzichtet, hätte dies drastische Auswirkungen auf den Heizwärmebedarf. Die internen Lasten decken nicht entfernt die mit der Küchenlüftung verbundenen Lüftungswärmeverluste. Mit zunehmender Wärmerückgewinnung nimmt der Heizwärmebedarf maßgeblich ab.

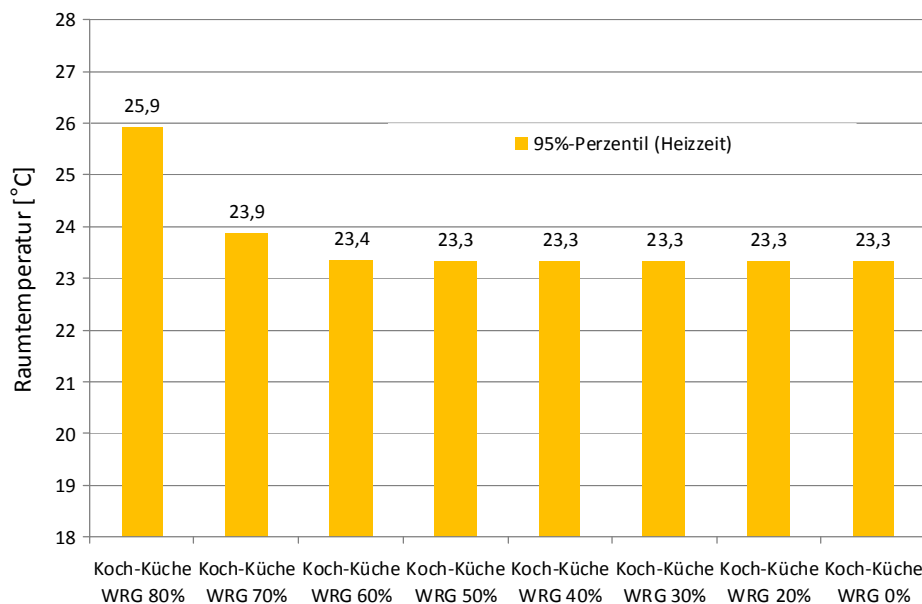


Abbildung 50: Thermischer Komfort in der Kochküche während der Heizperiode (Kernheizzeit vom 1.11. bis 31.3.) in Abhängigkeit von der Wärmerückgewinnung der Küchenlüftung. 95%-Perzentil - nur jeweils 5% der Nutzungsstunden liegen oberhalb der ausgewiesenen Werte. Der thermische Komfort bleibt bis etwa 70% Wärmerückgewinnung nahezu identisch.

Abschlussbericht zu AK 40 bis 48 – Phase V: 2009-2012

Effizienz bei Küchengeräten bedeutet auch, dass durch zweckmäßige Prozessführung sekundäre Prozesse vermieden werden bzw. letztere auf ein Mindestmaß verringert werden. Energiespartechnologien wie verbesserte Gehäusedämmung, in abgeschlossenen Gefäßen garen, Wärmerückgewinnung aus dem Wrasen senkt den Energiebedarf und verringert gleichzeitig die Raumlufbelastung durch Wrasen und Abwärme.

Einige Küchengeräte können durch diese "Lösungen im Gerät" den Abluftbedarf stark verringern oder sogar eine eigenständige Küchenabluft vermeiden. Derartige "geräteintegrierten" Abluftbedarfslösungen bieten ferner den Vorteil, dass zielgenau (z.B. direkt in der Spülmaschine) und zum richtigen Zeitpunkt (z.B. bei Öffnung des Heißluftdämpfers) der Abluftbedarf gedeckt werden kann.

Zudem bringen "Lösungen im Gerät" mehr Flexibilität bei der Erneuerung oder Änderung, da Probleme hinsichtlich der Raumlufbelastung überwiegend mit dem Gerät gelöst sind und auf größere Änderungen an der Küchenlüftung verzichtet werden kann.

Zwei Küchengerätetypen, die Gewerbespülmaschine und der Heißluftdämpfer, bieten in dieser Hinsicht beispielhafte Ansätze, die in diesem Protokollband diskutiert wurden. "Lösungen im Gerät" sind ein vorbildlicher Ansatz für die grundsätzlichen Probleme in Küchen. Für die Zukunft wären ähnliche Entwicklungen für weitere Küchengeräte wertvoll.

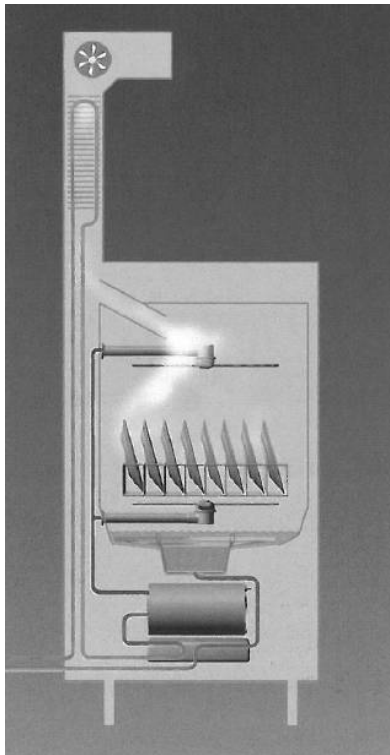


Abbildung 51 Gewerbliche Spülmaschine mit Wärmerückgewinnung aus der Abluft. Im Schema links ist der Wärmeübertrager zur Kondensation des Wrasens aus dem Haubenraum dargestellt (Quelle: Winterhalter).

Abschlussbericht zu AK 40 bis 48 – Phase V: 2009-2012

Wie in den Beiträgen deutlich wurde, tragen eine Vielzahl von Anwendungen zum Energieverbrauch in gewerblichen Küchen bei. Dabei ist die Voraussetzung für alle weiteren Schritte die Verbesserung der Effizienz des Kernprozesses. Solange man mit großen Mengen an Abwärmern, Wrasen, etc. zu tun hat, braucht man enorme Mengen an Abluft und ggf. weiterer Hilfsmittel, um es in der Küche einigermaßen erträglich zu halten. D.h. die Basismaßnahme, um in der Küche überhaupt auf vernünftige Ergebnisse zu kommen, ist eine vernünftige Auswahl an entsprechenden Geräten.

Ausgehend von einem typischen Energieverbrauch je Mahlzeit, zeigt Abbildung 52 die unterschiedlichen Energieeffizienzpotentiale vom Trinkwarmwasserbedarf bis zur thermischen Zubereitung. Auf Basis heute verfügbarer Techniken sind Einsparungen am Gesamtprimärenergiebedarf von 60% erzielbar. Nennenswerte Einsparungen um den Faktor 2 sind demnach auch in diesem Energiedienstleistungsbereich möglich.

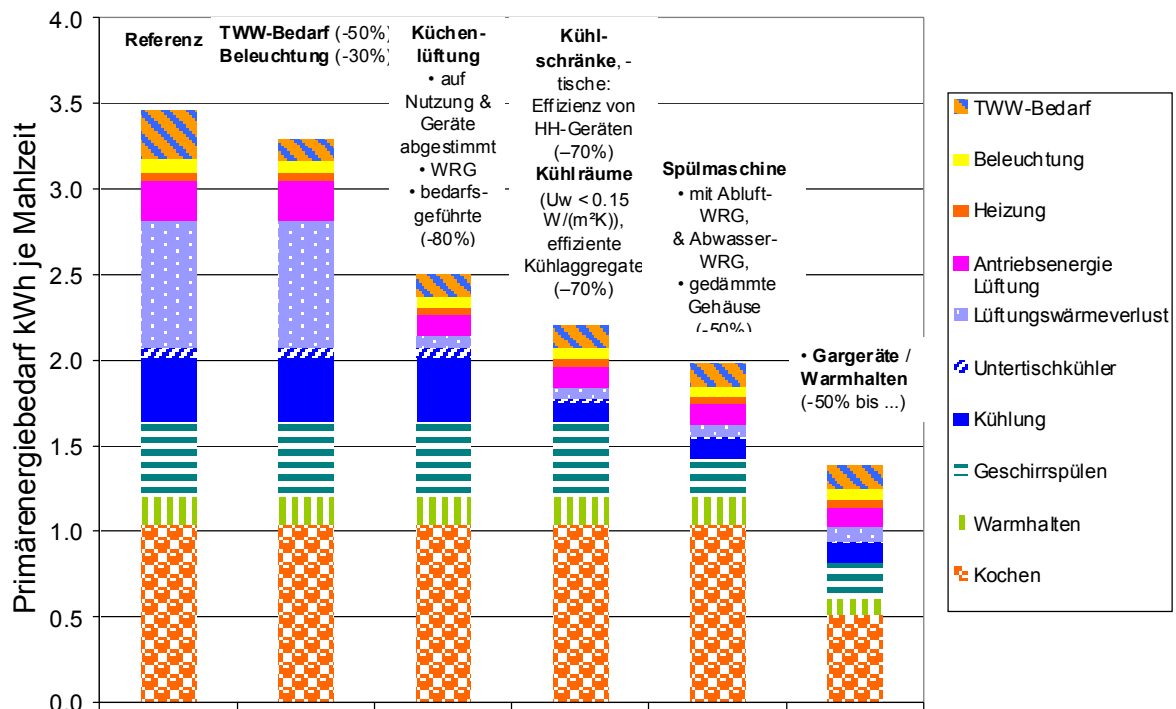


Abbildung 52 Energieeffizienzpotential in gewerblichen Küchen auf Basis des Primärenergiebedarfs

[Schjær-Jacobsen 2009]

Jørgen Schjær-Jacobsen, Energy efficient cooking - The EffiCooker, Report (R-215), Department of Civil Engineering, DTU 2009.

16 Arbeitskreissitzung und Protokollband Nr. 48 Einsatz von Passivhaustechnologien bei der Modernisierung von Nichtwohngebäuden

Passivhaustechnik lässt sich mit gutem Erfolg auch bei der Modernisierung von Altbauten verwenden. Eine Verringerung des Heizwärmebedarfs um den Faktor 10 konnte für eine Reihe von untersuchten Gebäuden nachgewiesen werden. Wichtige Fragestellungen zur Modernisierung von Wohngebäuden mit Passivhaus-Komponenten sind inzwischen im Rahmen des Arbeitskreises kostengünstige Passivhäuser untersucht worden – von der Beschreibung der grundlegenden Prinzipien in der 24. Sitzung über die Integration von Lüftungsanlagen in der 30. Sitzung und die Modernisierung mit Innendämmung in der 32. Sitzung bis zur schrittweise durchgeführten Modernisierung in der 39. Sitzung. Viele Ergebnisse lassen sich auch auf Nichtwohngebäude wie Verwaltungsgebäude, Produktionsstätten oder Schulen übertragen. Allerdings treten hier auch spezifische Fragestellungen auf, die gesondert untersucht werden müssen. Hierzu gehört die Vermeidung von sommerlicher Überhitzung, die Optimierung der Tageslichtnutzung, die Ausstattung mit energieeffizienten Geräten und Leuchten sowie die durch die Nutzung vorgegebenen Anforderungen an die Belüftung. Ziel ist die spürbare Verbesserung der Behaglichkeit bei gleichzeitiger Minderung der Betriebskosten und der Umweltbelastung. Eine hohe Energieeffizienz schafft außerdem neue Freiräume zur Minimierung der Versorgungstechnik.

Im Rahmen der wissenschaftlichen Vorarbeiten für die 48. Arbeitskreissitzung konnten umfangreiche Planungshinweise zu diesen Fragestellungen erarbeitet werden. Lösungen für eine alle Anforderungen hinsichtlich Komfort, Schimmelfreiheit, Energieeffizienz und Wirtschaftlichkeit erfüllende Wärmedämmung zum Erdreich bei großen Gebäuden wurden vorgestellt. Kostengünstige Brandschutzlösungen für die Nachrüstung von Lüftungsanlagen in Altbauten sowie die denkmalverträgliche Integration der kontrollierten Lüftung wurden gezeigt. Möglichkeiten für große Effizienzsteigerungen bei der Belichtung wurden vorgestellt. Dabei wurde auch aufgezeigt, wie sich eine durch Wärmeschutzmaßnahmen verursachte Verschlechterung der Tageslichtversorgung verhindern lässt. Wer solche und andere Effizienzmaßnahmen umsetzt, kann dann mit einem optimierten Wärmeschutz auch einen sehr guten Sommerkomfort erreichen, wie durch dynamische Gebäudesimulationen belegt wurde.

Mit dem Universitätsgebäude in Innsbruck sowie der Expost in Bozen wurden zwei Leuchtturmprojekte für die kosten- und energieeffizienz-optimierte Modernisierung von Verwaltungsgebäuden detailliert vorgestellt.

Abschlussbericht zu AK 40 bis 48 – Phase V: 2009-2012

Aber auch Überlegungen zu sinnvollen Energieeffizienzstandards für Nichtwohngebäude-Modernisierungen wurden zur Diskussion gestellt. Für Gebäude, die keine besonderen Sanierungs-Erschwernisse aufweisen, ist häufig sogar der Passivhausstandard sinnvoll und auch wirtschaftlich umsetzbar. Dies gilt sogar für Bürogebäude mit vergleichsweise hohen internen Wärmequellen. Dies konnte durch Parameterstudien mit dem PHPP gezeigt werden.

16.1 Inhalt des 48. Protokollbandes

Einführung

8 Seiten

Prof. Dr. Wolfgang Feist, Universität Innsbruck / Passivhaus Institut

EnerPHit-Modernisierung für Nichtwohngebäude, insbesondere der Einfluss innerer Wärmequellen

32 Seiten

Zeno Bastian, Passivhaus Institut

Wärmeverluste zum Erdreich

38 Seiten

Tanja Schulz und Esther Gollwitzer, Passivhaus Institut

Nachträgliche Integration hocheffizienter Lüftung in Nichtwohngebäuden

20 Seiten

Dr.-Ing. Rainer Pfluger, Universität Innsbruck

Möglichkeiten optimierter Tageslichtnutzung und Kunstlichtsysteme bei der Modernisierung von Nichtwohngebäuden

16 Seiten

Matthias Werner, Universität Innsbruck

Sommerfall in sanierten Nichtwohngebäuden

22 Seiten

Jessica Grove-Smith, Passivhaus Institut

Integrale Planung einer thermischen Sanierung eines Universitätsgebäudes nach EnerPHit-Standard

44 Seiten

Harald Malzer und Laszlo Lepp, Passivhaus Institut Innsbruck

Verwaltungsgebäude Expost Bozen – Erfahrungen aus der Modernisierung und aus dem Betrieb

26 Seiten

Michael Tribus, Michael Tribus architecture Bozen und

Alexandra Troi, EURAC Bozen

Zusammenfassung

6 Seiten

Prof. Dr. Wolfgang Feist, Universität Innsbruck / Passivhaus Institut

16.2 Ausgewählte Teile aus dem Inhalt von AK 48

Es stellt sich die Frage, ob bei Gebäuden mit sehr hohen IWQ die Verbesserung des Wärmeschutzes überhaupt noch den gewünschten Einspareffekt bringen kann. Da die Wirtschaftlichkeit von Wärmeschutzmaßnahmen naturgemäß direkt von der erzielten Einsparung abhängt, stellt sich auch in dieser Hinsicht die Frage, ob Wärmeschutzmaßnahmen bei hohen IWQ noch sinnvoll sind.

Der jährliche Gewinn von Wärmeschutzmaßnahmen ergibt sich aus der in einem Jahr eingesparten Heizenergie abzüglich der jährlichen Kosten für Zinsen und Tilgung (es wurde eine Kreditfinanzierung angenommen). Es wurde, wie auch in anderen Publikationen des PHI, eine dynamische Wirtschaftlichkeitsberechnung nach der Kapitalwertmethode über den Lebenszyklus des Bauteils auf Basis aller relevanten Kosten abzüglich Ohnehin-Kosten durchgeführt. Der Restwert des Bauteils nach Ablauf der Kalkulationsdauer wurde mit berücksichtigt. Die ermittelten Einsparungen beziehen sich ausschließlich auf die Heizperiode.

Das Ergebnis zeigt Abbildung 37. Bei IWQ von $3,5 \text{ W/m}^2$ wird ein jährlicher Gewinn pro Quadratmeter nach EnerPHit-Anforderung gedämmter Fassade von knapp 9 € erzielt. Das ergibt für die gesamte Außenwand immerhin einen Reingewinn von 7 500 €/a oder 150 000 € über den Kalkulationszeitraum von 20 Jahren. Der Gewinn der EnEV09-Dämmung ist mit $7,40 \text{ €/m}^2/\text{a}$ geringer. Erst bei IWQ von 12 W/m^2 würde die EnEV-Variante geringfügig wirtschaftlicher. Selbst in diesem Fall spricht aber viel für die EnerPHit-Dämmdicke, da so bei fast gleichem und mit $4 \text{ €/m}^2/\text{a}$ immer noch beträchtlichem Gewinn eine größere Unabhängigkeit von Energiepreisschwankungen und ein verbesserter Klimaschutz möglich wird. Bei Gebäuden mit ungünstigeren Gegebenheiten (z.B. hohe unvermeidbare Wärmebrückenverluste) ist die EnerPHit-Wärmedämmung auch bei IWQ von 12 W/m^2 und mehr wirtschaftlicher als die EnEV09-Variante (nicht im Diagramm). Grund ist die dann wieder bessere Ausnutzung der Wärmegewinne, da höhere Verluste kompensiert werden müssen.

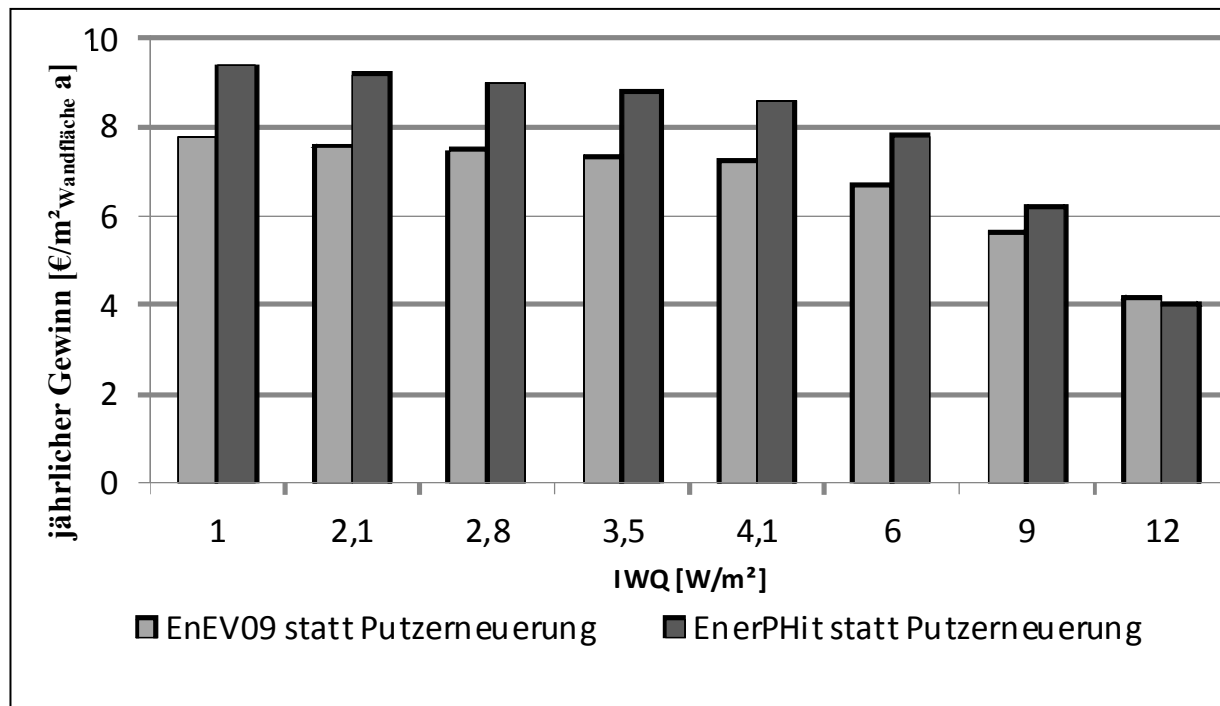


Abbildung 53: Jährlicher Gewinn durch 1 Quadratmeter Außenwanddämmung (statt ohnehin anstehender Putzerneuerung) in unterschiedlicher Dämmdicke

Im Beitrag von Tanja Schulz wurden Lösungsmöglichkeiten zur Einbindung des Kellers bzw. der Bodenplatte in das energetische Sanierungskonzept vorgestellt. Die Varianten wurden hinsichtlich des Energieeinsparpotentials, der Bauschadensfreiheit und der EnerPHit-Behaglichkeitsanforderungen bewertet. Die Ergebnisse lassen sich in folgenden Empfehlungen zusammenfassen:

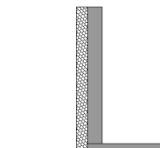
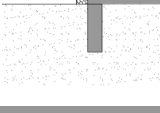
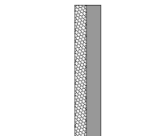

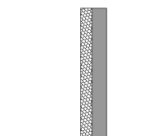
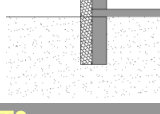
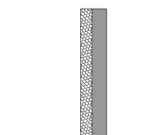

Zur Sicherstellung der bauphysikalischen Unbedenklichkeit sind Maßnahmen am Sockel, bzw. der Kelleraußenwand erforderlich. Lösungen, die keine Sanierung des Sockels oder des Kellers vorsehen (B0 für das Verwaltungsgebäude und T0 für die Turnhalle) führen zu kritischen Ecktemperaturen und stellen eine Bauschadensgefahr dar. Werden durch eine Dämmmaßnahme Stellen mit hoher Wärmestromdichte erzeugt, sinken die zugehörigen Innenoberflächentemperaturen. Dies betrifft vor allem die Kanten- und Ecktemperaturen bei Lösungen mit Bodenplattendämmung. Hier muss immer eine Begleitdämmung ausgeführt werden.

Es zeigte sich, dass Sanierungsvarianten, die nur Sockeldämmmaßnahmen (Dämmschürzen) bzw. Kellerwanddämmung beinhalten, hinsichtlich Bauschadensgefahr sowie Behaglichkeit unbedenklich sind. Hinsichtlich des Energieeinsparpotentials stellt die zusätzliche Bodenplattendämmung eine deutliche Verbesserung dar. Sowohl für das Verwaltungsgebäude als auch für die Turnhalle kann als Faustwert eine Verdopplung der Energieeinsparung pro Laufmeter Perimeter durch die zusätzliche Bodenplattendämmung festgestellt werden.

Abschlussbericht zu AK 40 bis 48 – Phase V: 2009-2012

Die Einsparpotentiale der Dämmschürzenvarianten der Turnhalle liegen sehr dicht zusammen, sodass die Entscheidung für eine Variante sinnvollerweise nach den anderen genannten Kriterien erfolgen sollte (technische Machbarkeit bzw. Platzbedarf, Ohnehinmaßnahme).

Tabelle 2: Vergleich der Ergebnisse der Erdreichwärmeverluste und Bewertung hinsichtlich Bauschadensgefahr und Behaglichkeit - Turnhalle

		Wärmeverluste durch Erdreich (Heizperiode) pro m Perimeter		Einsparung gegenüber T0 pro m Perimeter	Q _H Gebäude [kWh/(m ² a)]	Ecktemperatur	Behaglichkeit
T0							
	T0 unsanierte BP	100%	179 kWh/(ma)	0 kWh/(ma)	45	zu niedrig	-
	T0+ WD auf BP	48%	85 kWh/(ma)	94 kWh/(ma)	35	ok	ok
T2							
	T2 hor. DS 1 m	74%	132 kWh/(ma)	47 kWh/(ma)	40	ok	ok
	T2+ hor. DS 1 m + WD auf BP	41%	73 kWh/(ma)	106 kWh/(ma)	34	ok	ok
T1							
	T1 vert. DS 1 m	70%	125 kWh/(ma)	54 kWh/(ma)	39	ok	ok
	T1+ vert. DS 1 m + WD auf BP	40%	71 kWh/(ma)	108 kWh/(ma)	34	ok	ok
T3							
	T3 hor. DS 2 m	67%	120 kWh/(ma)	59 kWh/(ma)	39	ok	ok
	T3+ hor. DS 2 m + WD auf BP	39%	69 kWh/(ma)	110 kWh/(ma)	34	ok	ok
Achtung! Randbedingungen beachten:		<ul style="list-style-type: none"> - kein fließendes Grundwasser - keine aufsteigende Feuchte im Mauerwerk - Dämmung auf Bodenplatte immer mit 50cm Begleitdämmung 					
Gebäudemaß: 41 x 46 m; Perimeterlänge: 174 m; 1 Keller- + 4 Obergeschosse; DS = Dämmschürze, BP = Bodenplatte							

Abschlussbericht zu AK 40 bis 48 – Phase V: 2009-2012

Das denkmalgeschützte Schulgebäude Neue Mittelschule (ehem. Hauptschule) Hötting, Innsbruck (A) aus dem Jahre 1929/31 von Arch. Franz Baumann und Theodor Prachenzky wurde um 1950 im Ostflügel um zwei Stockwerke ergänzt. Ansonsten ist es bis auf Änderungen (Öffnung der oberen Fensterflügel nach innen) sowie Ersatz von Fenstern (insbesondere im Treppenhaus sowie der Turnhalle) im Originalzustand erhalten und steht unter Denkmalschutz.

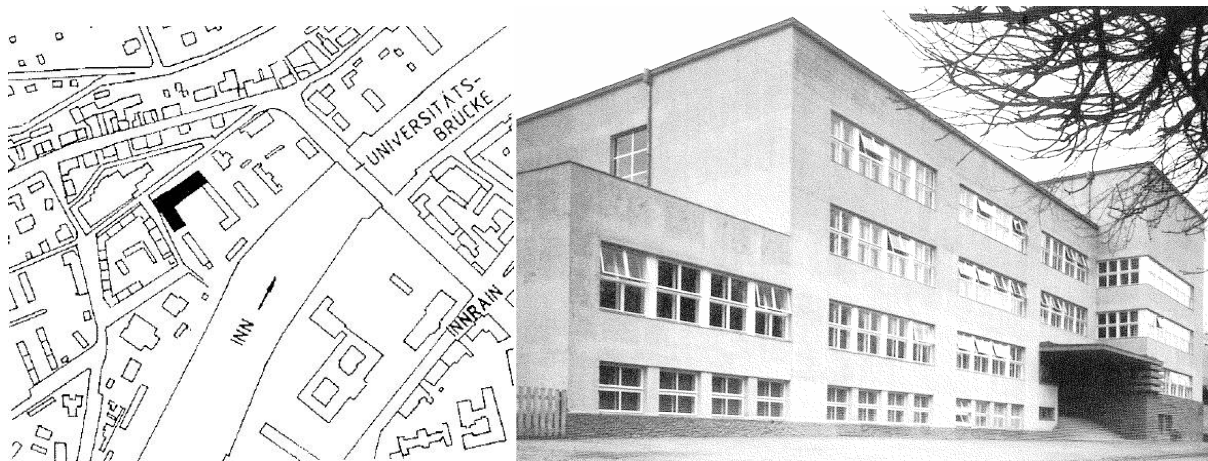


Abbildung 54: Lageplan und historische Aufnahme (Ansicht von Nord)

Um die Eingriffe in die Außenwand (Wanddurchbrüche, Kanäle) zu vermeiden, wurde das Konzept der sogenannten „aktiven Überströmung“, welches bereits aus der Sanierung von Wohnbauten bekannt ist, auf die Klassenraumlüftung übertragen. Das Prinzip besteht darin, dass die Zuluft in das Treppenhaus von Wärmerückgewinnungsgeräten auf dem Dach eingebracht wird und von dort in die Flure überströmt. Von dort wird sie von Einzelventilatoren mit Schalldämpfer angesaugt und über Textilschläuche im Klassenraum eingebracht. Die verbrauchte Luft wird dann (ebenfalls wieder mittels Ventilator) aus dem Klassenraum in den Flur abtransportiert. Der Luftschallschutz vom Klassenraum zum Flur wird mittels Schalldämpfern erreicht. Von dort wird die Luft über Überströmöffnungen in die WC- und Garderobenräume abgesaugt und mittels Steigsträngen zum Zentralgerät zurückgeführt. Die Eingriffe in die Bausubstanz beschränken sich dabei auf lediglich zwei Kernlochbohrungen jeweils vom Klassenraum in den Flur sowie die Steigstränge in den Ablufträumen. Auf horizontalen Querverzug in den Fluren und Außenwanddurchbrüche kann vollständig verzichtet werden.

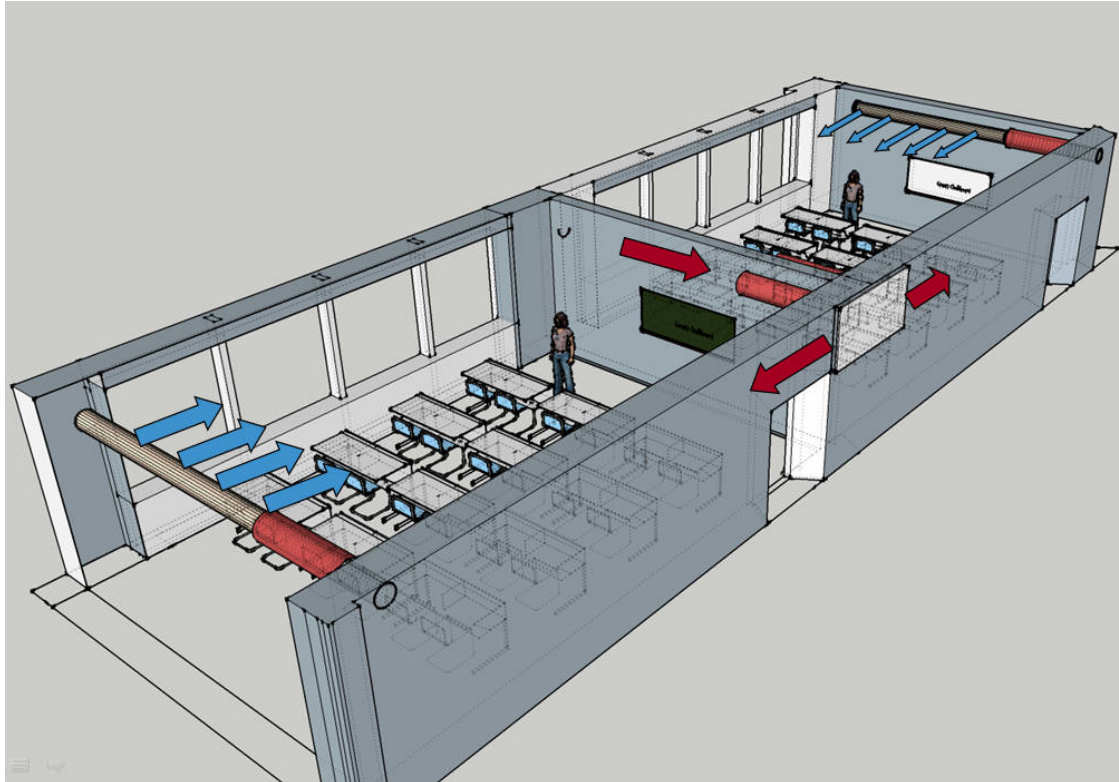


Abbildung 55: Klassenraum mit Belüftung über aktive Überströmelemente vom Flur; Zuluftverteilung über Textilschläuche zur zugfreien Lufteinbringung; schallgeschützter Luftauslass vom Klassenraum zum Flur hinter der Schallabsorberplatte

Über eine Parameterstudie wurde der Einfluss verschiedener Sanierungsvarianten gezeigt. So ist es trotz bauphysikalischer Sanierungsmaßnahmen, die den Tageslichteintrag zunächst vermindern (Außendämmung, Mehrscheibenverglasung) möglich, einen geringen Kunstlichtbedarf zu erzielen, wenn auf die richtige Wahl der Komponenten geachtet wird. Mit einer effizienten Kunstlichtanlage und tageslichtabhängiger Dimmung ist sogar eine Reduktion von 78% des Kunstlichtbedarfes möglich.

Tabelle 3 – Randbedingungen der Kunstlichtenergiebedarfsberechnung

<u>Randbedingungen</u>	<u>Wert</u>
Himmelsmodell	Diffuse Strahlung (Wetterdatensatz Innsbruck)
Raubbreite	5m
Raubtiefe	5m
Raubhöhe	3m
Fensterbreite (zentriert)	4.5m
Fensterhöhe (sturzfrei)	2m
Reflexionsgrad Laibung	50%
Reflexionsgrad Umgebungsboden	20%

Abschlussbericht zu AK 40 bis 48 – Phase V: 2009-2012

	Referenz		1. Variante		2. Variante		3. Variante		4. Variante		5. Variante		Legende	
	niedrig/nein	hoch/ja	niedrig/nein	hoch/ja	niedrig/nein	hoch/ja	niedrig/nein	hoch/ja	niedrig/nein	hoch/ja	niedrig/nein	hoch/ja	niedrig/nein	hoch/ja
Transmission d. Scheibe													0,6	0,8
Glasanteil													0,7	0,9
Dämmung														30cm
Effizienz der Kunstlichtanlage													20	8
Reflexionsgrad Wand/Decke/Boden													40/60/20	50/80/30
Kunstlicht gedimmt (Tageslichtsensor)														
Energiebedarf	100%		178%		121%		88%		35%		22%			

Abbildung 56: Darstellung der Sanierungsvarianten und der Energiebedarfsänderung für Kunstlicht

Die sommerliche Behaglichkeit in Verwaltungsgebäuden lässt sich mit einer umfassenden Sanierung erheblich gegenüber dem Bestandsfall verbessern. Je nach Gebäudenutzung und Randbedingung wird es möglich sein, nach der Sanierung problemlos allein mit passiven Maßnahmen die Häufigkeit der Stunden über 25 °C auf sehr gute Werte zu begrenzen oder, im Falle von aktiver Kühlung, den Nutzkältebedarf um bis zu ca. 80 % zu reduzieren. Der Wärmeschutz spielt hierbei eine bedeutende Rolle, das volle Einsparpotential kann nur in Kombination mit einem Sommerlüftungskonzept, geregelter außenliegender Verschattung und optimierten internen Wärmegewinnen erreicht werden. Es ist auf jeden Fall notwendig, in der Planungsphase das Gebäude nicht nur hinsichtlich des Heizwärmebedarfs zu optimieren, sondern auch auf den Sommerfall zu achten. Insbesondere bei einer schrittweisen Sanierung, in der zunächst nur die Fassade nach EnerPHit-Kriterien erneuert wird, sind ggf. temporäre zusätzliche Maßnahmen erforderlich, um die internen Lasten abzuführen. Das PHPP eignet sich grundsätzlich als Planungstool zur Einschätzung des Sommerkomforts (siehe den Beitrag von J. Schnieders im Protokollband zur 41. Arbeitskreissitzung), bei kritischen Räumen bzw. Bereichen wird jedoch eine dynamische Simulation empfohlen.

Die Erkenntnisse wurden aus einer Parameterstudie eines beispielhaften Verwaltungsgebäudes abgeleitet, sind aber auch auf andere Gebäudetypen ähnlicher Nutzung übertragbar, so z.B. Schulen. In Nichtwohngebäuden treten häufig zeitlich und räumlich geballte interne Lasten auf. Das Zeitprofil ist jeweils ein etwas anderes und das Lüftungskonzept zur Auskühlung im Sommer muss entsprechend angepasst werden.

Abschlussbericht zu AK 40 bis 48 – Phase V: 2009-2012

Hitzewoche nach EnerPHit Sanierung

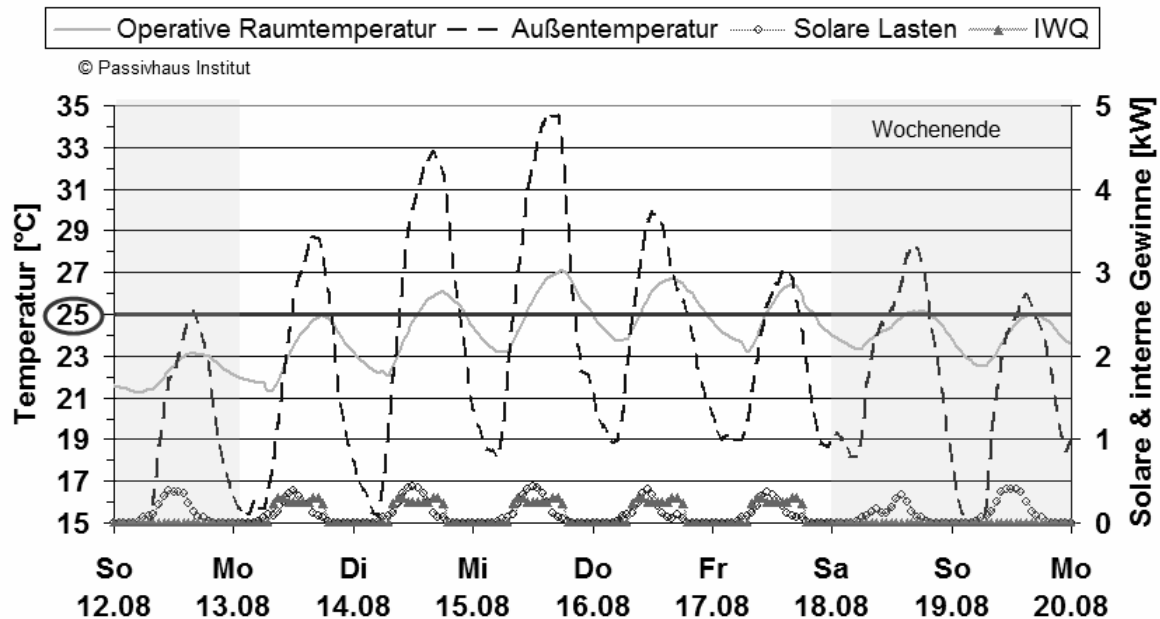


Abbildung 57: Temperaturverlauf in der heißesten Sommerwoche in einem EnerPHit sanierten Gebäude. Zusätzlich zur Fassadensanierung wurde hier eine Lüftungsanlage, eine automatisierte Verschattungsregelung, Nachtlüftung sowie effiziente Geräteausstattung nachgerüstet. Mit diesen Maßnahmen wird mit einer Über-temperaturhäufigkeit unter 5% ein sehr hohes Maß an Behaglichkeit erreicht.

Die Sanierung der technischen Fakultät der Universität Innsbruck war nicht ursprünglich mit dem Passivhaus-Gedanken geplant. Erst die intensive Zusammenarbeit der Projektpartner sowie das Hinzuziehen des Passivhaus Institutes für den Gesamtbereich der Bauphysik ermöglichte es, das Energiekonzept der Sanierung über die ursprünglichen Wünsche des Bauherrn hinaus weiter zu entwickeln und gemeinsam mit ihm ein Vorzeigeprojekt zu entwickeln.

Die integrale Zusammenarbeit der beteiligten Partner wird durch eine weitgehend gleichberechtigte Stellung unter den Projektbeteiligten genauso wie das Bemühen, den Projektpartner und seine Sicht der Dinge verstehen zu wollen, stark mitbestimmt.

Wie eigentlich fast immer im Bauwesen erwies sich der integrale Planungsansatz auch bei diesem Sanierungsprojekt als sehr nützlich, um unter anderem rasch konkrete Lösungen für konkrete Probleme in der Umsetzung zu finden. Nur so war es möglich, in der kurzen Zeit ein gutes, energie- und kostensparendes Konzept für die Sanierung zu finden und ganz nebenbei auch noch einige Bauteile neu zu entwickeln.

Abschlussbericht zu AK 40 bis 48 – Phase V: 2009-2012

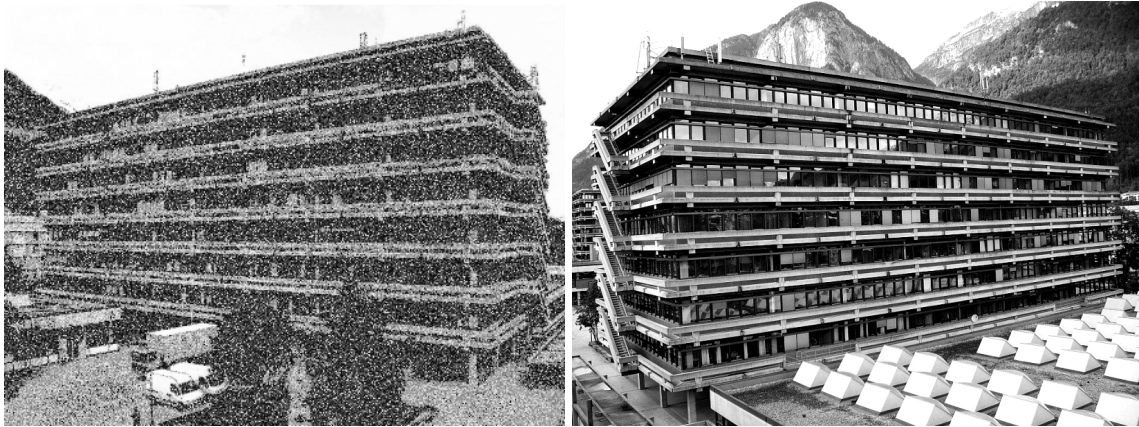


Abbildung 58: Technische Fakultät der Universität Innsbruck,

Foto 1: li. Westansicht mit Haupteingang

Foto 2: re. Ostansicht mit den Hörsälen davor - Quelle: H.K. Malzer

Ein Ziel war es, ein Fenster zu entwickeln, welches in allen Belangen der Ästhetik, der Architektur und in Qualität wie auch Funktionalität den hohen Anforderungen des Bauherrn der Bundesimmobiliengesellschaft entspricht. Als Öffnungsart wurde das Senk-Klappfenster gewählt, welches vor allem für das angedachte Kühlkonzept größtmögliche Luftvolumenströme bei gleichzeitig bestmöglichem unbeaufsichtigtem, automatisiertem Betrieb zulässt. Da kein adäquates Fenster, welches alle hier geforderten Funktionen und Qualitäten vereint, am Markt gefunden werden konnte, musste auf die langjährige Erfahrung des PHI zurückgegriffen werden. Es wurde in einem sehr raschen Entwicklungszyklus gemeinsam mit dem Generalplaner ATP und dem dafür extra an Bord geholten Fassadenplaner gbd aus Vorarlberg ein 3+1-Scheiben-Senk-Klapp-Flügel Fenster mit erhöhtem Luftwechsel pro Fenster für sehr gute sommerliche Nachtauskühlung des Gebäudes bei Fensternachtlüftung und integrierten, automatisierten Sonnenschutzlamellen im äußeren Scheibenzwischenraum entwickelt, simuliert, mehrere Musterfenster gebaut und am Fenster- & Fassadenprüfstand der gbd positiv dem CE-Prüfsiegel-Test unterzogen.

Abschlussbericht zu AK 40 bis 48 – Phase V: 2009-2012

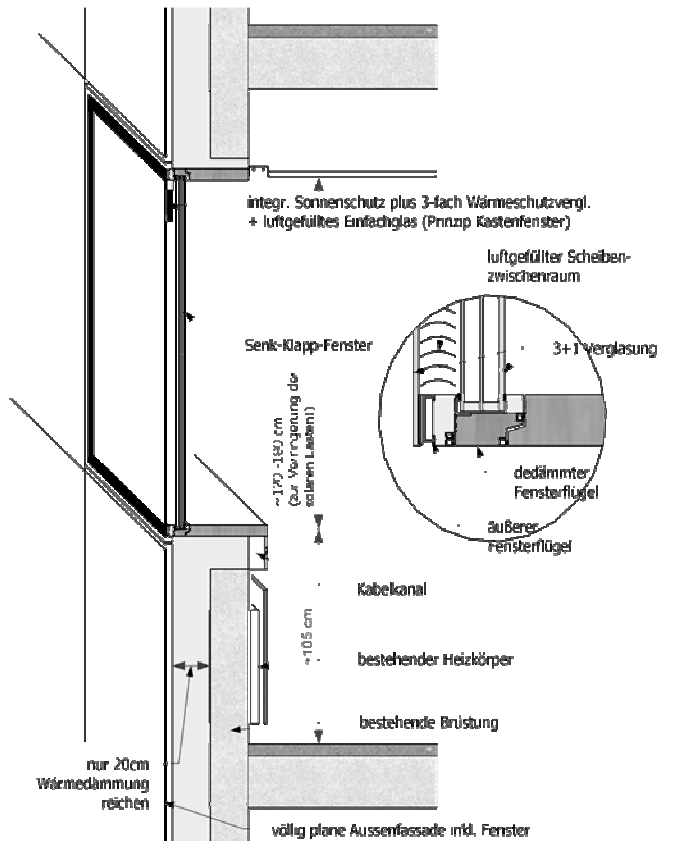


Abbildung 59: Schematischer Fassadenschnitt mit Senk-Klapp-Fenster und Detail zur Fensterrahmenausbildung bei 3+1 Verglasung - Quelle: PHI, H.K. Malzer

Die in den Jahren von Herbst 2004 bis Frühling 2006 erfolgte Sanierung des ehemaligen Postgebäudes aus den Fünfzigern in Bozen zu einem zertifizierten Passivhaus zählt bis heute zu den wichtigsten Beiträgen energieeffizienten Bauens südlich der Alpen. Die Aufstockung des dreigeschossigen Bestandes um weitere 2 Regelgeschosse beruft sich auf eine Fortführung der darunter liegenden Prinzipien in Bezug auf die Statik, auf die Geschosshöhe, sowie auf die Regelmäßigkeit der Lochfassade mit seinen relativ kleinen Fensteröffnungen. Genau diese Fenstergrößen haben den Architekten nach einer Lösung für „mehr Lichteinfall“ suchen lassen, was schließlich zu der besonderen Charakteristik des Gebäudes mit seinen verspielten Fensterlaibungen geführt hat. Dieses Konzept hat wesentlich zu den solaren Gewinnen für das Gebäude beigetragen und ihm den Titel „orthogonaler Hundertwasser“ eingebracht.

Abschlussbericht zu AK 40 bis 48 – Phase V: 2009-2012



Abbildung 60: Expost Bozen -Straßenansicht vor und nach der Sanierung

17 Literatur

AKkP 40: „Passivhaus-Verkaufsstätten“, Protokollband des Arbeitskreises kostengünstige Passivhäuser Nr. 40. Passivhaus Institut, Darmstadt 2012.

AKkP 41: „Sommerverhalten von Nichtwohngebäuden im Passivhausstandard; Projekterfahrungen und neue Erkenntnisse“, Protokollband des Arbeitskreises kostengünstige Passivhäuser Nr. 41. Passivhaus Institut, Darmstadt 2012.

AKkP 42: „Ökonomische Bewertung von Energieeffizienzmaßnahmen“, Protokollband des Arbeitskreises kostengünstige Passivhäuser Nr. 42. Passivhaus Institut, Darmstadt 2012.

AKkP 43: „Erdwärmeübertrager und Erdsonden im Passivhaus“, Protokollband des Arbeitskreises kostengünstige Passivhäuser Nr. 43. Passivhaus Institut, Darmstadt 2012.

AKkP 44: „Lüftung in Passivhaus-Nichtwohngebäuden“, Protokollband des Arbeitskreises kostengünstige Passivhäuser Nr. 44. Passivhaus Institut, Darmstadt 2012.

AKkP 45: „Richtig messen in Energiesparhäusern“, Protokollband des Arbeitskreises kostengünstige Passivhäuser Nr. 45. Passivhaus Institut, Darmstadt 2012.

AKkP 46: „Nachhaltige Energieversorgung mit Passivhäusern“, Protokollband des Arbeitskreises kostengünstige Passivhäuser Nr. 46. Passivhaus Institut, Darmstadt 2012.

AKkP 47: „Energieeffiziente Kantinen und Gewerbeküchen“, Protokollband des Arbeitskreises kostengünstige Passivhäuser Nr. 47. Passivhaus Institut, Darmstadt 2012.

AKkP 48: „Einsatz von Passivhaustechnologien bei der Modernisierung von Nichtwohngebäuden“, Protokollband des Arbeitskreises kostengünstige Passivhäuser Nr. 48. Passivhaus Institut, Darmstadt 2012.

18 Anhang: Fotogalerie





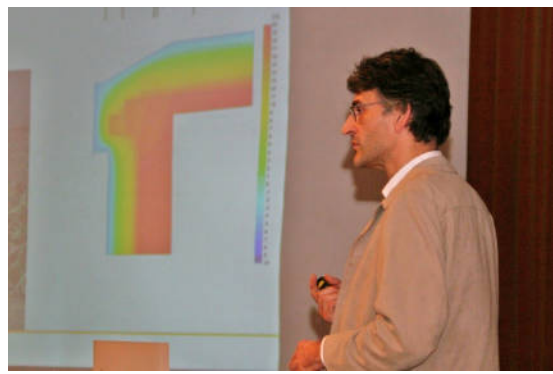
Abschlussbericht zu AK 40 bis 48 – Phase V: 2009-2012



Abschlussbericht zu AK 40 bis 48 – Phase V: 2009-2012



Abschlussbericht zu AK 40 bis 48 – Phase V: 2009-2012



Abschlussbericht zu AK 40 bis 48 – Phase V: 2009-2012



Abschlussbericht zu AK 40 bis 48 – Phase V: 2009-2012



Abschlussbericht zu AK 40 bis 48 – Phase V: 2009-2012



Abschlussbericht zu AK 40 bis 48 – Phase V: 2009-2012



Abschlussbericht zu AK 40 bis 48 – Phase V: 2009-2012



Abschlussbericht zu AK 40 bis 48 – Phase V: 2009-2012



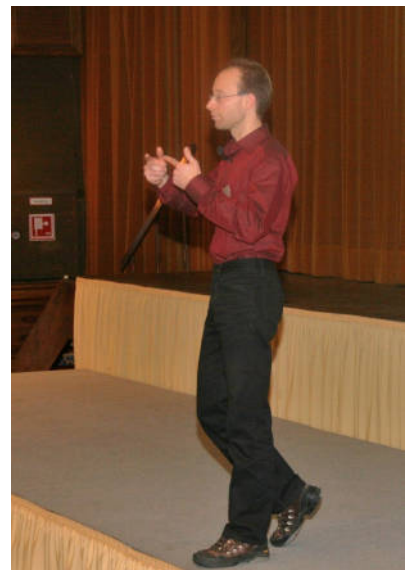
Abschlussbericht zu AK 40 bis 48 – Phase V: 2009-2012



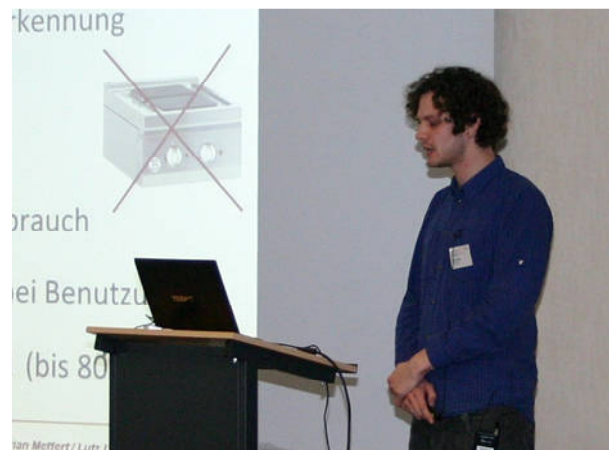
Abschlussbericht zu AK 40 bis 48 – Phase V: 2009-2012



Abschlussbericht zu AK 40 bis 48 – Phase V: 2009-2012



Abschlussbericht zu AK 40 bis 48 – Phase V: 2009-2012



Abschlussbericht zu AK 40 bis 48 – Phase V: 2009-2012



Abschlussbericht zu AK 40 bis 48 – Phase V: 2009-2012



Abschlussbericht zu AK 40 bis 48 – Phase V: 2009-2012

