

Messergebnisse aus dem PH-Bürogebäude

Dipl. Phys. Thomas Kirtschig, Dipl. Phys. J. Werner u. Dipl. Phys. G. Lude, ebök Planung u. Entwicklung GmbH, www.eboek.de, Prof. Ursula Eicker, Hochschule f. Technik, Stuttgart

1 Das Gebäudekonzept

Das Gebäude aus den 50ern Jahren wurde 2002/2003 zu einem Passivhaus mit einer Energiebezugsfläche von 833 m² saniert. Die energierelevanten Merkmale werden nachfolgend kurz zusammengefasst. Die energetische Planung wurde unter anderem mit Hilfe des [PHPP 2003] und des [LEE 2000] durchgeführt. Eine ausführlichere Beschreibung des Gebäudes erfolgte bereits auf der Passivhaustagung 2005 in Ludwigshafen [Werner, Rochard 2005] und kann auf unserer Homepage heruntergeladen werden.

Wärmeschutzkonzept Winter

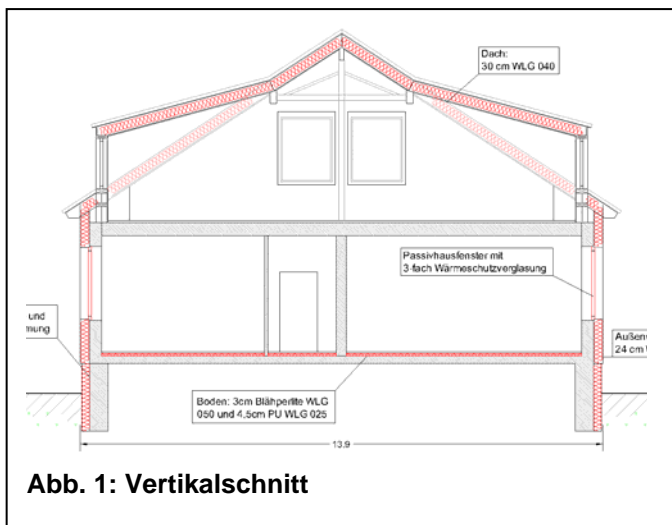


Abb. 1: Vertikalschnitt

- Gebäudehülle mit Passivhauskomponenten und sehr guter luftdichter Ausführung ($n_{50}=0,20$ 1/h). Eine Besonderheit ist die nur ca. 7,5cm dicke Bodendämmung ($u=0,35$ W/m²K) in Kombination mit einer ca. 1,5 m hohen Schürzendämmung im Perimeterbereich aus 20cm EPS.
- Hocheffiziente Lüftungsanlage (effektiver WBG 80%; spezifischer Stromverbrauch im Nennbetrieb von 0,15 Wh/m³) mit einem sehr großen

Regelbereich in 4 Stufen von 250 m³/h (für Grundlüftung im Winter nachts) bis 4000 m³/h (für die Sommernachtlüftung). Die Luft wird über einen ca. 550 m langen Sole-EWT im Winter vorerwärmt und tagsüber im Sommer angekühlt.

- Wärmeversorgung über eine Gas-Brennwerttherme mit Heizwärmeverteilung über Heizkörper an den Außenwänden.

Sommerliches Wärmeschutzkonzept

- Zur Senkung der Wärmelasten: Moderater Fensterflächenanteil (23% bezogen auf EBF), Beleuchtung mit Tageslichtregelung und Präsenzkontrolle, einfacher innenliegender Sonnenschutz, Verwendung von stromsparenden Bürogeräten bei Neuanschaffungen.
- Mechanische Lüftung tagsüber: Mit Vorkühlung über den Sole – EWT bei einem ca. 1-fachen Luftwechsel in den Büroräumen.

- Mechanische Lüftung nachts: Erhöhte Nachtlüftung (ohne Sole-EWT) mit Bypass am Gegenstromwärmetauscher in Verbindung mit massiver Bauweise im EG und Leichtbauweise mit PCM-belegten Decken (und teilweise Innenwänden) im DG. Gussasphaltestrich im EG und DG als zusätzliche Speicherkapazität. In den Büroräumen wird die Zuluft über Weitwurfdüsen unter der Decke mit einem ca. 2 bis 2,5 - fachen Luftwechsel eingeblasen (Luftwechsel im Gesamtgebäude ca. 1,8-fach). Die vorhandenen Speicherkapazitäten sind dabei weitgehend zugänglich. Die notwendige raumakustische Bedämpfung von Foyer und Besprechungsräumen wurde ohne großflächige Abhängung der Decken gelöst. Außerdem spielt die geringe elektrische Leistungsaufnahme der Ventilatoren (0,28 Wh/m³ bei Nachtlüftung) eine wesentliche Rolle.

Anfangs bestand nicht das Ziel, das Bürogebäude unbedingt zum Passivhausstandard zu sanieren (Sanierungen mit Passivhauszertifikat gab es bis dahin noch nicht.) Es hat sich erst im Laufe der Planung herausgestellt, dass die Rahmenbedingungen (z.B. bezüglich der Wärmeverluste zum Erdreich: günstige Grundwasserverhältnisse und ohnehin notwendige Abgrabungen um das Gebäude) so günstig sind, dass eine energetische Optimierung hin zum Passivhausstandard wirtschaftlich möglich ist.

Im September 2003 wurde das Gebäude bezogen. In den Jahren 2005 und 2006 wurde von der Hochschule für Technik (Stuttgart) in Zusammenarbeit mit dem Ing.-Büro ebök im Rahmen des EnSan- Programms eine messtechnische Untersuchung durchgeführt (FKZ 0329750T, www.ensan.de, [ENSAN 2007]. Wesentliche Punkte waren: Differenzierung des Energieeinsatzes auf verschiedene Anwendungen; Untersuchung von mechanischer Lüftung und Sole-Erdwärmetauscher; Untersuchung des Wärmeabflusses zum Erdreich und Vergleich mit Planungsverfahren; sommerliches Klima in Räumen mit Massiv- bzw. Leichtbaudecken mit PCM.

2 Messergebnisse

Energiebilanzen

Die Energiebilanzen aus Planung und Messung sind in Tabelle 1 zusammengefasst. Planungs- und Messwerte in den Rubriken Strom und Gas stimmen gut überein, ebenso der Kennwert für den Gesamtverbrauch. Der etwas höhere Gasverbrauch resultiert aus einer höheren mittleren Raumtemperatur, Abweichungen der Klimadaten von den Planungsrandbedingungen und vermutlich von geringeren internen Wärmequellen. Der höhere, aber trotzdem sehr niedrige Haustechnikstromverbrauch resultiert im wesentlichen aus einer fehlenden optimierenden Regelung bei der sommerlichen Lüftung, die zu unnötig langen Betriebszeiten führt. Zum geringeren Verbrauch an Beleuchtungsstrom trägt bei, dass in den Fluren in der Kernzone des Gebäudes der Tageslichteinfall aus den Büros weitgehend ausreicht und die Beleuchtung von einem Teil der Nutzer in den Büros unter dem rechnerischen Auslegefall betrieben wird.

EBF _{PHPP} = 833 m ² PE-Faktor _{Gas} = 1,07 PE-Faktor _{Strom} = 2,97	Planung PhPP		Messung 2005		Messung 2006	
	EndE	PE	EndE	PE	EndE	PE
	kWh/(m ² _{EBFa})	kWh/(m ² _{EBFa})	kWh/(m ² _{EBFa})	kWh/(m ² _{EBFa})	kWh/(m ² _{EBFa})	kWh/(m ² _{EBFa})
Strom						
Haustechnik	1,3	3,8	2,8	8,4	2,7	8,1
EDV	18,4	54,5	20,3	60,2	21,3	63,2
Licht	5,9	17,5	2,3	6,9	3,4	10,1
sonst (Küche usw.)	2,2	6,5	2,2	6,6	2,2	6,6
Summe Strom	27,7	82,3	27,6	82,1	29,6	88,0
Gas						
Heizwärme	19,0	20,4	22,9	24,6	24,8	26,5
Warmwasser	3,4	3,6	0,5	0,6	0,6	0,7
Kochgas	0,4	0,4				
Summe Gas	22,8	24,3	23,4	25,2	25,4	27,2
Summe gesamt	50,5	106,6	51,0	107,3	55,0	115,2

Tab. 1: Energiebilanzen nach PHPP-Berechnung und Messungen

Um einen Vergleich mit den Berechnungen nach der aktuellen EnEV entsprechend DIN 18599 zu ziehen, müssen die Bezugsfläche und die PE-Faktoren angepasst werden (gegenüber 2003 haben sich die PE-Faktoren für Strom von 2,97 auf jetzt 2,7 geändert, für

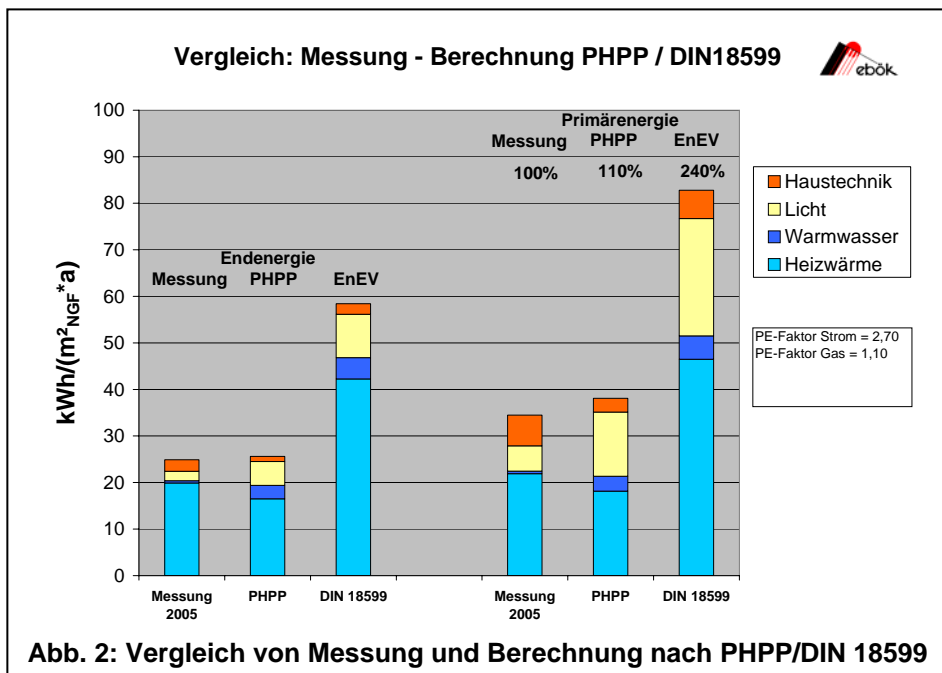


Abb. 2: Vergleich von Messung und Berechnung nach PHPP/DIN 18599

Gas von 1,07 auf 1,1). Strom für Arbeitshilfen (EDV,..) wird In der EnEV nicht mitbilanziert. Der PE-Bedarf nach DIN18599 liegt gegenüber der Messung um den Faktor 2,4 zu hoch (s. Abb.2). Dies weist darauf hin, dass das Verfahren dem gegenwärtigen Standard hoch-effizienter Gebäude nicht angemessen ist.

Sommerliches Raumklima

Die aus den Messungen ermittelten Übertemperaturhäufigkeiten (bezogen auf eine Arbeitszeit von 10 h/d an 250 d/a) zu einer Grenztemperatur von 26°C liegen im Mittel über die gemessenen Räume im Jahr 2005 bei 4,2% mit Maximalwerten bis 7,7% und im Jahr 2006 im Mittel bei 10,6% mit Maximalwerten bis 16,6% (s. Tab. 2). Dabei muss berücksichtigt werden, dass die gemessenen monatsmittleren Außentemperaturen 2005 mit 19,8°C im Juni um 4,1 K und 2006 mit 23,5 °C im Juli um 5,8 K deutlich über den Werten der Wetterregion 11 nach DIN 4108-6 lagen (s. Tab. 3; die Solarstrahlungsdaten weichen nur unwesentlich voneinander ab). Bei monatsmittleren Außentemperaturen über 18°C gilt

nach DIN 4108-2 eine Region als „sommerheiß“. Als Grenzwert der Innentemperatur, die zu nicht mehr als 10% überschritten werden soll, gilt in sommerheißen Regionen 27°C. Im Mittel wird dieser Wert in beiden Jahren mit 1,8% (2005) bzw. 5,8% (2006) deutlich unterschritten. Lediglich in 2 OG-Räumen liegen im sehr heißen Sommer 2006 die Übertemperaturhäufigkeiten noch über 10%.

Bezugsstunden	T >26°C		T >27°C	
	2005	2006	2005	2006
2500				
EG Ost Sekr.	1,9%	6,2%	0,7%	0,5%
EG Ost Raum 2	7,7%	12,8%	3,1%	7,4%
EG Ost Raum 3	5,7%	11,9%	2,2%	6,6%
EG West Raum 6	3,0%	6,8%	1,4%	2,6%
EG West Bespr.	1,7%	3,9%	0,7%	0,5%
OG Süd-Ost Raum 2	2,2%	6,6%	0,8%	2,4%
OG Ost Raum 4	7,0%	16,1%	3,4%	10,6%
OG Ost gr. Raum		14,6%		9,6%
OG Ost Raum 3		16,6%		12,0%
Mittelwert	4,2%	10,6%	1,8%	5,8%

Tab. 2: Gemessene Übertemperaturhäufigkeiten

	DIN 4108-6 Region 11	Messung	
		2005	2006
Jan	-0,4	1,8	-1,9
Feb	0,8	0,3	0,9
Mrz	4,2	5,6	3,8
Apr	8,0	12,1	9,1
Mai	12,5	14,9	15,2
Jun	15,7	19,8	18,8
Jul	17,7	19,5	23,5
Aug	17,0	17,5	16,1
Sep	13,7	16,1	18,1
Okt	9,0	11,8	13,0
Nov	3,9	4,7	7,4
Dez	0,6	1,2	3,9

Tab 3: Monatsmitteltemperaturen

Der Sole-Erdwärmetauscher erreichte während der Betriebszeiten zur Außenluftankühlung tagsüber eine Arbeitszahl um $34 \text{ kWh}_{\text{Kälte}}/\text{kWh}_{\text{Pumpe}}$, unter Einbezug der Antriebsarbeit der Lüftungsanlage ergibt sich eine Arbeitszahl von $6,3 \text{ kWh}_{\text{Kälte}}/\text{kWh}_{\text{elek}}$.

Die mechanische Nachtlüftung erreicht eine mittlere Arbeitszahl von $6,0 \text{ kWh}_{\text{Kälte}}/\text{kWh}_{\text{el}}$.

Der Wärmeabfluss in das Erdreich wirkt nach den Messungen in Hitzeperioden mit $2 \text{ W}/\text{m}^2$ bis $3 \text{ W}/\text{m}^2$ im 24h-Mittel ebenfalls als Wärmesenke. Die in der Planung durchgeführten Simulationsberechnungen [Lude, Werner, Kirtschig 2003] wurden durch die Messungen in ausreichender Genauigkeit bestätigt.

Die PCM-haltigen Gipskartonplatten erwiesen sich als wirksame Verbesserung gegenüber den Referenzplatten ohne PCM. Allerdings kann eine Phasenumwandlung bei 26 bis 28°C, wie auch zu erwarten war, die Raumtemperatur nicht bei 26°C stabilisieren.

Die latente Speicherkapazität der eingesetzten PCM-Platten liegt bei ca. $80 \text{ Wh}/\text{m}^2$. Bei vollbelegter Decke und optimaler Ausnutzung des PCMs (komplette Aufschmelzung in allen Bereichen tagsüber und Aushärtung nachts) kann damit z.B. bei Wärmelasten von $15\text{-}20 \text{ W}/\text{m}^2$ im 24h-Mittel (das ist an einem heißen Sommertag und einem dicht belegten Büro kein besonders hoher Wert) die Wärme von 4-5 Stunden zwischengespeichert werden. Es ist offensichtlich, dass für die übrigen 19-20 Stunden weitere Wärmesenken (je nach tolerierbarem Temperaturanstieg) vorgesehen werden müssen.

Insgesamt ist die sommerliche Situation gut, könnte aber weiter verbessert werden durch: weitere Umrüstung der EDV-Bildschirme auf TFT- Technik, eine optimierende Regelung für die mechanische Sommernachtlüftung, den Einsatz eines effektiveren Sonnenschutzes, und dem Einsatz von PCM-Materialien im DG mit geringer Schmelztemperatur (24°C).

3 Vergleich verschiedener Baustandards

In Abb. 3 ist der Primärenergiebedarf verschiedener Baustandards mit und ohne Energieoptimierung gegenübergestellt. Der gemessene PE-Einsatz für Heizung, Lüftung, Warmwasser und Beleuchtung liegt um 85% unter dem Grenzwert der EnEV 2007 für Neubauten, der Grenzwert des Solarbauprogramms für neu erbaute effiziente Bürogebäude wird um mehr als 50% unterschritten. Der Vergleich zeigt, dass die Energieeinsparpotentiale in Bürogebäuden wesentlich größer sein können, als bestehenden Anforderungen verlangen.

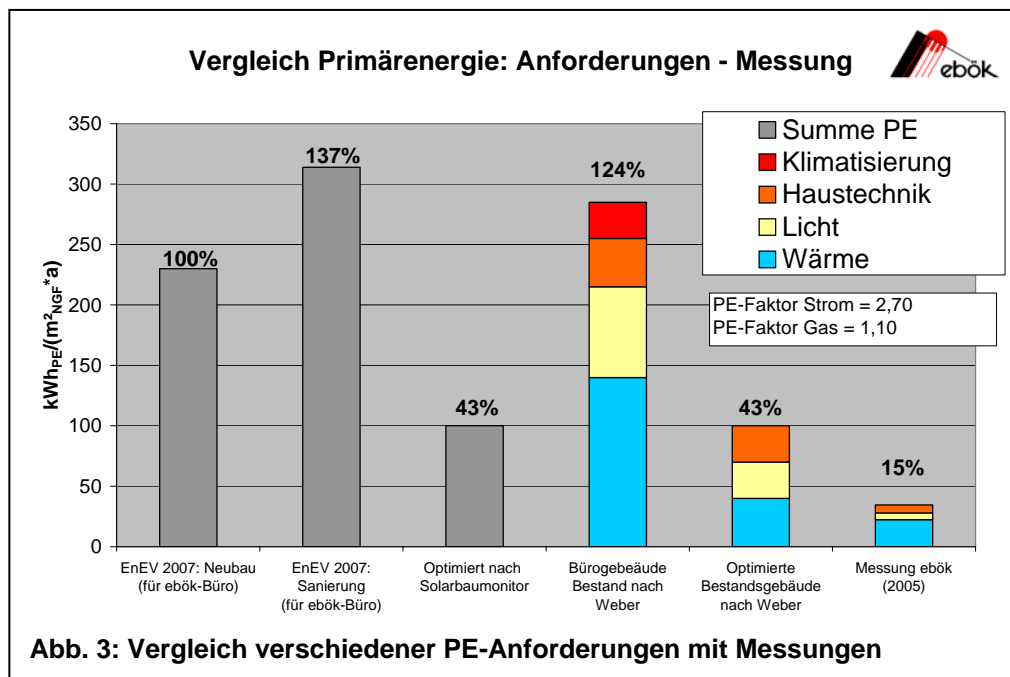


Abb. 3: Vergleich verschiedener PE-Anforderungen mit Messungen

Wirtschaftlichkeit

In [Werner 2005] wurde eine Wirtschaftlichkeitsberechnungen vorgestellt (Abb. 4). Danach lagen die Mehrinvestitionen für die verbesserte energetische und raumklimatische Qualität mit 75EUR/m² unter 10% der Sanierungsaufwendungen (KG 300+400). Die Rückzahlzeit der Mehrinvestition lag damals schon bei sehr niedrigen Preissteigerungsannahmen für Energie (3 % p.a.) bei rund 6 Jahren

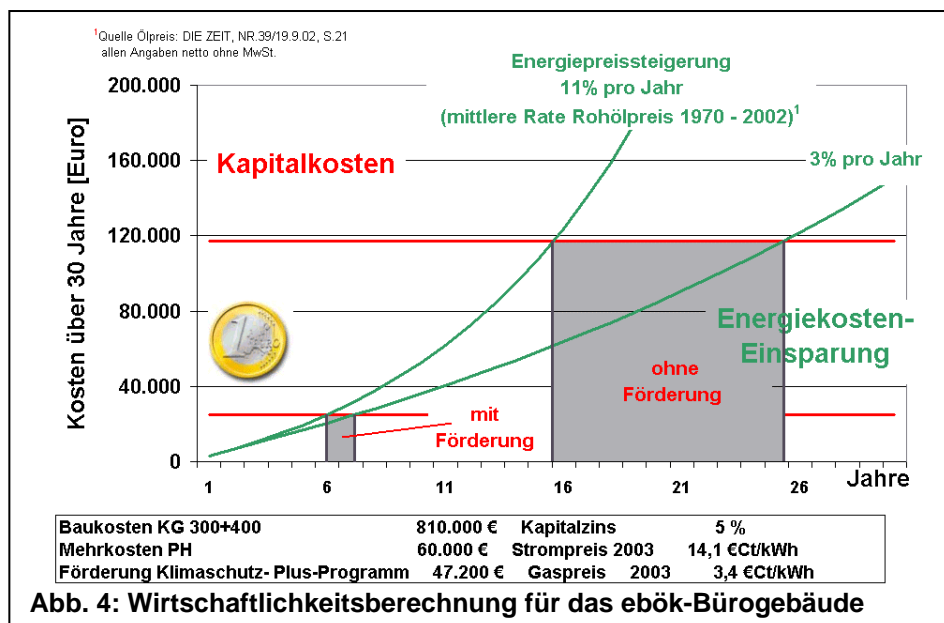


Abb. 4: Wirtschaftlichkeitsberechnung für das ebök-Bürogebäude

(unter Berücksichtigung der Förderung für den verbesserten energetischen Standard). Mit den derzeit stark ansteigenden Energiepreisen (in den letzten 7 Jahren ca. 10% jährliche Energiepreissteigerung!) und den vorhandenen Förderangeboten stellen Passivhaus-

komponenten in Neubau wie Sanierung nicht nur ökologisch sondern auch ökonomisch einen attraktiven Standard dar.

4 Fazit

Die Messungen bestätigen im wesentlichen die Kennwerte der Planung nach [PHPP 2003] und [LEE 2000]. Das Gebäude erfüllt auch in der Praxis die Anforderungen des Passivhauszertifikats. Das PHPP erweist sich einmal mehr als gutes Planungsinstrument, um Energiebilanzen energieeffizienter Gebäude realistisch abzubilden.

Der nach dem Rechenverfahren der EnEV 2007 ermittelte PE-Kennwert liegt um 240% über dem gemessenen Wert. Zur Optimierung, Bewertung und Verbrauchsabschätzung zumindest hocheffizienter Gebäude scheint uns dieses Verfahren nicht angemessen.

Die Maßnahmen zur Verbesserung des thermischen Raumklimas sind im Winter und auch im Sommer wirksam. Aufgrund der Messungen konnten Erkenntnisse für ein weiter verbessertes Systemverhalten gewonnen werden.

Im Vergleich zum durchschnittlichen PE-Verbrauch von Bestands-, Neubaugebäuden und zu geforderten Energiestandards hebt sich das Passivhausbürogebäude ebök bei gleichzeitig wirtschaftlich und raumklimatisch guten Ergebnissen stark ab.

Kein Wunder, dass das Gebäude bereits viele Auszeichnungen erhalten hat:

Prom des Jahres 2008: Auszeichnung für energetisch richtungsweisende Energiekonzepte (2. Platz) , Sonderpreis für „**vorbildliche Bestandssanierung**“ des **Keep Cool** Projektes des Instituts für ZukunftsEnergieSysteme (izes) 2006, **KfW-Energieeffizienzpreis** 2006 (2. Platz) und das **Passivhauszertifikat** des PHI als erste Sanierung zum Passivhaus 2003. Weitere Informationen zum Gebäude sind unter www.eboek.de zu finden.

Die messtechnischen Untersuchungen wurden zusätzlich gefördert durch: AEREX Haustechnik, Eisdorf - Ensinger GmbH, NL Ravensburg, Thermix - Fenster Striegel GmbH, Saulgau - Knauf Gips KG, Iphofen - Marmorit GmbH, Bollschweil - NIBE Systemtechnik, Celle.

[ENSAN 2007] Prof. U. Eicker, Schlussbericht: Evaluierung eines im Passivhausstandard sanierten Bürogebäudes hinsichtlich des energetischen u. raumklimatischen Verhaltens, Hochschule f. Technik Stuttgart 2007.

[LEE 2000] Elektrische Energie im Hochbau: Leitfaden Elektrische Energie, IWU 2000

[PHPP 2003] Passivhausprojektierungspaket 2003, Passivhausinstitut Darmstadt

[Werner, Rochard 2005] J Werner, U. Rochard: Das Passivhaus im Thiepvalareal, Tagungsband der 9. Internationalen Passivhaustagung 29.-30.4. 2005 in Ludwigshafen.

[Lude, Werner, Kirtschig 2003] G. Lude, J. Werner, Th. Kirtschig: Wärmebrücken am Fuß des Gebäudes – Neue Lösungsmöglichkeiten für Sockelanschluss und erdberührte Flächen bei Neubau und Sanierung. Tagungsband der 7. Internationalen Passivhaustagung, 21.-22. Februar 2003, Hamburg.

[Weber 2002] Weber, L: Energie in Bürogebäuden; Hochschulverlag ETH Zürich 2002