

Manfred Hegger, Michael Keller, Tobias Kern,
Andreas Kern

**Forschungsprojekt energy:label
– Ganzheitliche Bewertung
eines Plusenergiehauses
Solar Decathlon 2007**



F 2721

Bei dieser Veröffentlichung handelt es sich um die Kopie des Abschlußberichtes einer vom Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung -BMVBS- im Rahmen der Forschungsinitiative »Zukunft Bau« geförderten Forschungsarbeit. Die in dieser Forschungsarbeit enthaltenen Darstellungen und Empfehlungen geben die fachlichen Auffassungen der Verfasser wieder. Diese werden hier unverändert wiedergegeben, sie geben nicht unbedingt die Meinung des Zuwendungsgebers oder des Herausgebers wieder.

Dieser Forschungsbericht wurde mit modernsten Hochleistungskopierern auf Einzelanfrage hergestellt.

Die Originalmanuskripte wurden reprototechnisch, jedoch nicht inhaltlich überarbeitet. Die Druckqualität hängt von der reprototechnischen Eignung des Originalmanuskriptes ab, das uns vom Autor bzw. von der Forschungsstelle zur Verfügung gestellt wurde.

© by Fraunhofer IRB Verlag

2009

ISBN 978-3-8167-8201-8

Vervielfältigung, auch auszugsweise,
nur mit ausdrücklicher Zustimmung des Verlages.

Fraunhofer IRB Verlag

Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau

Postfach 80 04 69

70504 Stuttgart

Nobelstraße 12

70569 Stuttgart

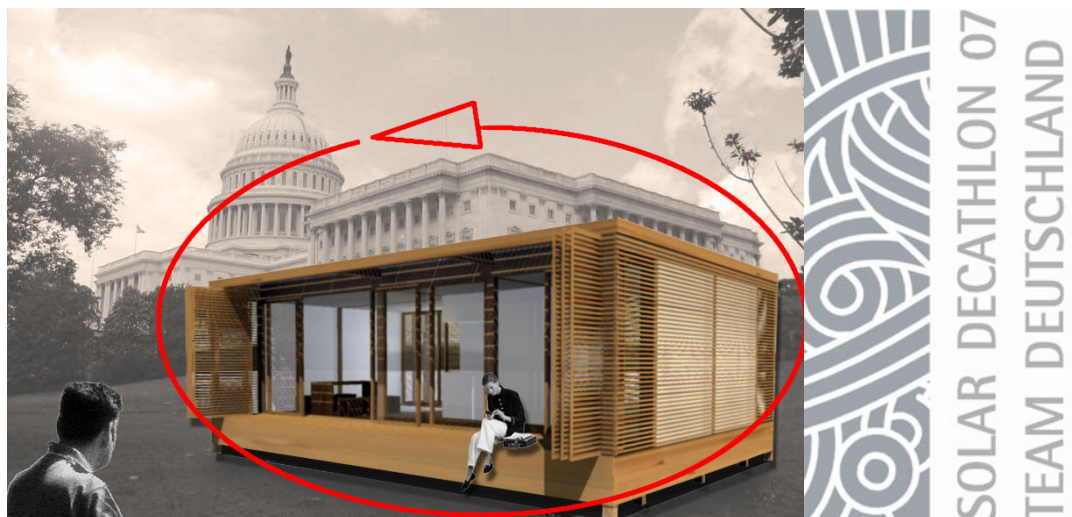
Telefon 07 11 9 70 - 25 00

Telefax 07 11 9 70 - 25 08

E-Mail irb@irb.fraunhofer.de

www.baufachinformation.de

www.irb.fraunhofer.de/tauforschung



Forschungsprojekt energy:label

Ganzheitliche Bewertung eines Plusenergiehauses

Abschlussbericht

Forschungsinitiative ZukunftBau

Im Rahmen der Forschungsinitiative ZukunftBAU des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) und des Bundesamtes für Bauwesen und Raumordnung (BBR) und anlässlich der Teilnahme des Fachgebiets Entwerfen und Energieeffizientes Bauen (ee), Fachbereich Architektur der Technischen Universität Darmstadt (TUD) am internationalen Studenten-Wettbewerb Solar Decathlon 2007.

Abschlussbericht

Der Forschungsbericht wurde mit Mitteln des Bundesamtes für Bauwesen und Raumordnung (BBR) gefördert.

(Aktenzeichen Z 6 – 10.08.18.7 – 06.11/ II 2 – F20-06-017)

Die Verantwortung für den Inhalt des Berichtes liegt beim Autor.

Verfasser

Technische Universität Darmstadt /
Fachbereich Architektur /
Fachgebiet Entwerfen und
Energieeffizientes Bauen

KERN ingenieurkonzepte

El-Lissitzky-Straße 1
64287 Darmstadt

Hagelberger Straße 17
10965 Berlin

Fon +49 (0)6151 - 16 2046

Fon +49 (0)30 - 78 95 67 80

Fax +49 (0)6151 - 16 5247

Fax +49 (0)30 - 78 95 67 81

www.ee.tu-darmstadt.de

www.bauphysik-software.de

Bearbeitung

Bearbeitung

Prof. Dipl.-Ing. M. Sc. Econ. Manfred Hegger

Dipl.-Ing. Andreas Kern

Dipl.-Ing. Michael Keller

Cand. Arch. Tobias Kern

Forschungsgruppe energy:projekte am Fachgebiet ee

Das Fachgebiet Entwerfen und Energieeffizientes Bauen beschäftigt sich seit seiner Gründung im Jahr 2002 mit Fragen des nachhaltigen, energiesparenden und energieeffizienten Bauens. Das Institut wird geleitet von Prof. Manfred Hegger, der neben seiner Lehrtätigkeit an der Technischen Universität Darmstadt Mitbegründer und Partner von HHS Planer + Architekten mit Sitz in Kassel ist.

Die Erarbeitung des Forschungsprojektes energy:label erfolgt im Verbund von drei Forschungsprojekten am Fachgebiet ee. Der Bearbeitungszeitraum der Projekte läuft von Februar 2007 bis Ende März 2008.

- **energy:base**
Theoretische und konzeptionelle Entwicklung einer gebäudetechnischen Plattform für Gebäude mit extrem niedrigem Energieverbrauch
- **energy:shell**
Leitfaden zur Integration energiegewinnender Systeme in die Gebäudehülle
- **energy:label**
Ganzheitliche Bewertung eines Plusenergiehauses und Prüfung der DIN 18599 anhand der Planung und des Betriebes

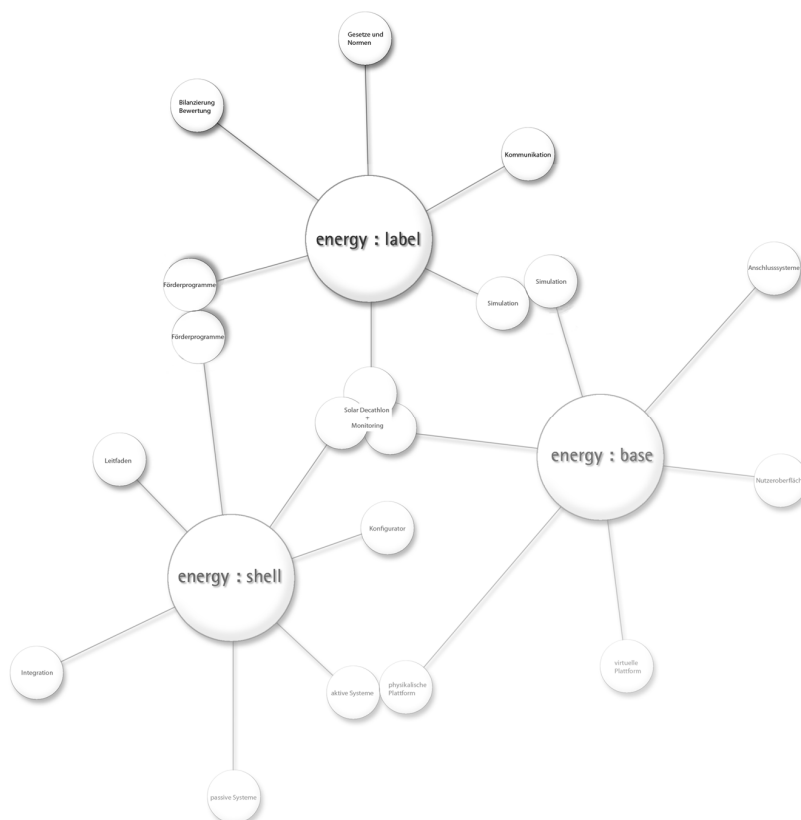


Abb. 1 Vernetzung der drei Forschungsprojekte, Quelle: FG. ee

Inhaltsverzeichnis

Forschungsinitiative ZukunftBau	3
Forschungsauftrag Energy:Label	6
Forschungsprojekt Energy:Label	8
<hr/>	
Der Solar Decathlon Wettbewerb	10
Das Solar Decathlon Haus	16
Prototyp Wohnen 2015 ?	29
<hr/>	
Der Energieverbrauch von Wohngebäuden	32
Der Aufbau von Energiebilanzen	39
Bilanzmethoden im Wohnungsbau	48
<hr/>	
Bilanzierung nach Passivhaus-Projektierungspaket (PHPP)	62
Bilanzierung nach DIN 4108-6 und DIN 4701-10	73
Bilanzierung nach DIN 18599	98
<hr/>	
Bewertung der Bilanzmethodik nach DIN V 18599	133
Vorschlag für einen Plusenergieausweis	140
Schlusswort	148
<hr/>	
Quellennachweis	149
Abbildungsnachweis	150
<hr/>	
Anhang 1 - Rechenblätter zum PHPP	152
Anhang 2 - Rechenblätter zur DIN 4108-6 / DIN 4710-10	152
Anhang 3 - Rechenblätter zur DIN V 18599	152
Anhang 4 - Analyse Haushaltsstrombedarf	152
Anhang 5 - Forschungsprojekt energy:monitoring	152
Anhang 6 - Normbezüge	153

Forschungsauftrag Energy:Label

Ganzheitliche Bewertung eines Plusenergiehauses

Prüfung der Bilanzierungsmethodik der DIN V 18599 anhand der Planung und des Betriebes eines kleinen Wohngebäudes im Plusenergie-Standard.

Ausgangslage

Mit der Entwicklung der DIN 18599 zur Energetischen Bewertung von Gebäuden hat Deutschland es in kurzer Zeit geschafft, gemäß den EU-Richtlinien eine ganzheitliche Methode zur Gesamtenergie-Effizienz von Gebäuden zu entwickeln.

DIN 18599

Die Anwendung der kompletten Norm ist zunächst für den Nichtwohnungsbau vorgesehen, sie bietet aber auch ein hohes Potential im Bereich des hocheffizienten Wohnungsbaus. Optimierungshinweise durch Energiebilanzen können aber nur dann in den Entwurf zurückfließen, wenn die Berechnung den Planungsprozess von Anfang an begleitet und stetig aufschlussreiche Zwischenergebnisse liefert.

Wohnungsbau

Ziele

Der Beitrag der TU Darmstadt zum Solar Decathlon 2007 wird als zukunftsweisende Wohntypologie in Form eines Plusenergiehauses betrachtet und ausgewertet. Insbesondere energetisch hochoptimierte und damit komplexe Gebäudetypen wie Passiv-, Null- oder Plusenergiehäuser liegen im Blickfeld des Forschungsprojektes.

Plusenergie

Die gemessen an der bisherigen Bilanzierungsmethodik für Wohngebäude zahlreichen positiven Neuerungen des ganzheitlichen und iterativen Ansatzes der DIN 18599 werden am Beispiel dieses konkreten Projektes auf Zuverlässigkeit, Handhabung und Einsatz bei einem kleinen, aber hochoptimierten Bauwerk getestet.

Im Zusammenhang mit den aktuellen Entwicklungen im Wohnungsbau sind Prüfungs- und Rückkopplungsschritte im Bereich von Gebäuden mit niedrigem Energieverbrauch von hoher Bedeutung, um die Bewertungsmethodik zukünftiger Gebäudegenerationen weiter zu optimieren.

Rückkopplung

Inhalte

Durch eine Anwendung der DIN 18599 am Beispiel des SolarDecathlon Hauses wird geprüft, welche bilanztechnischen Probleme bei der Eingabe der Konstruktion und der anlagentechnischen Merkmale des Gebäudes auftreten. Unzureichende Eingabemöglichkeiten werden festgestellt und Lösungsansätze vorgeschlagen.

Parameterstudie

Darüber hinaus soll eine Parameterstudie der Simulation des Wohngebäudes mit der DIN 18599 ergeben, welche Kenngrößen pauschal oder vereinfacht angenommen werden können, und welche Eingaben explizit vorzunehmen sind.

In einem weiteren Schritt wird recherchiert, welche Nutzenergieleistungen (Wärme, Kälte, Strom) in einem Privathaushalt heutzutage anzutreffen sind und welchen End- sowie Primärenergiebedarf sie auslösen. Die gegenwärtige Verteilung wird dabei analysiert und der Versuch unternommen, die zukünftige Entwicklung des Energiebedarfs einzuschätzen und fortzuschreiben.

Strom- u. Wärmebedarf

Anschließend wird geprüft, ob unter den gegebenen Bedingungen die bilanztechnischen Randbedingungen für die Berechnung von Gebäuden mit extrem niedrigem Energieverbrauch bis hin zum Energieplus gewährleistet sind und zu stichhaltigen Ergebnissen führen. Als Referenz wird eine Berechnung des Gebäudes mit dem Passivhaus-Projektierungs-Paket (PHPP) herangezogen und den Ergebnissen der DIN 4701/4108 und der DIN 18599 gegenübergestellt.

Randbedingungen

Im Anschluss an die Bilanzierung wird ein eigenständiger „Plusenergieausweis“ als Gebäudeinformationssystem entworfen und zur Öffentlichkeitsarbeit empfohlen. Verschiedene Berechnungs- und Darstellungsstrukturen werden geprüft und hinsichtlich ihrer Informationsdichte bewertet. Der „Plusenergieausweis“ soll dabei nicht in Konkurrenz zum bestehenden Energieausweis nach EnEV 2007 stehen. Stattdessen wird die qualitative und quantitative Abbildung der gesamten Betriebsenergie von Gebäuden angestrebt, deren Spektrum von hocheffizient über selbst versorgend bis hin zu Überschüsse erwirtschaftend reicht.

Plusenergieausweis

Neben dem Beitrag der TU Darmstadt werden auch die Wettbewerbsbeiträge der 19 anderen Universitäten analysiert und ihre Konzepte in Bezug auf eine nachhaltige Architektur für das 21. Jahrhundert bewertet.

Fertigstellung

Die Laufzeit dieses Forschungsprojektes endet im April 2008.

Forschungsprojekt Energy:Label

Struktur und Organisation des Forschungsprojektes im Rahmen des Beitrags der Technischen Universität Darmstadt zum Solar Decathlon 2007.

Fachgebiet ee

Das Forschungsprojekt wird über seine gesamte Laufzeit von 13 Monaten am Fachgebiet von Prof. Hegger von einem Wissenschaftlichen Mitarbeiter und einer studentischen Hilfskraft aus dem Solar Decathlon Team betreut.

Dipl. Ing. Michael Keller arbeitete zuvor freiberuflich als Energieberater und ist seit September 2006 Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Fachgebiet ee.

Cand. Arch. Tobias Kern studiert am Fachbereich Architektur der TU Darmstadt und ist Mitglied des studentischen SolarDecathlon Teams 2007.

Projektpartner KERN Ingenieurkonzepte

Dämmwerk

Für das Forschungsprojekt Energy:Label konnte mit KERN Ingenieurkonzepte, dem Entwickler des Programms „Dämmwerk“, ein Kooperationspartner und zugleich renommierter Hersteller von Software zur Berechnung der Energiebilanz von Gebäuden gewonnen werden.

Die angewandte Software erlaubt die Bilanzierung des Solar Decathlon Hauses sowohl nach den Methoden der neuen DIN V 18599 als auch nach den bekannten und im Wohnungsbau erprobten Normen DIN 4108-6 und DIN 4701-10. Für beide Bilanzmethoden gilt: Gerade im Bereich hochoptimierter Gebäude können einige für das Konzept und die Systemstabilität vitale konstruktive und anlagentechnische Komponenten nicht eingegeben werden, da keine geeigneten Rechenansätze vorliegen. Hierfür versuchen die beiden Projektpartner erste Verbesserungsvorschläge zu entwickeln.

Solar Decathlon Haus

Nach 2002 und 2005 wurde zum dritten Mal vom U.S. Energieministerium der internationale Hochschulwettbewerb „Solar Decathlon“ ausgeschrieben.

Solar Decathlon

Der Beitrag zum Solar Decathlon bietet durch seinen Plusenergiehausstandard ein gutes Beispielobjekt für das hier durchgeführte Forschungsprojekt.

Die TU Darmstadt hat mit dem Fachgebiet Entwerfen und Energieeffizientes Bauen um Prof. Manfred Hegger als einzige deutsche Hochschule teilgenommen und ist siegreich aus dem Wettbewerb hervorgegangen.

Das in diesem Rahmen in Washington präsentierte Gebäude ist damit als „Schaufenster“ für den Stand des energiesparenden Bauens in Deutschland anzusehen, dass sich auf einer internationalen Plattform erfolgreich bewiesen hat.

Das Haus ist der konkrete Untersuchungsgegenstand des Forschungsprojektes, in dem eine Auseinandersetzung mit seinen Eigenschaften, Bauteilen, Anlagen und deren Abbildung und Bilanzierung mit der DIN 18599 erfolgt.

Untersuchungsgegenstand

Weiterführende Arbeiten

In der Folge der Forschungsprojekte schließt ein mehrjähriges Monitoring des Solar-Decathlon Hauses an. Dieses Projekt steht im Rahmen des Förderkonzeptes Energieoptimiertes Bauen (EnOB) des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie (BMWi).

Betriebsoptimierung

- **energy:monitoring**

Monitoring und Betriebsoptimierung des SolarDecathlon Hauses

Für dieses Projekt wird das Gebäude im Sommer 2008 auf einem Grundstück der Technischen Universität Darmstadt wieder errichtet und einer Nutzung als Wohn- und Bürogebäude zugeführt.

Der Solar Decathlon Wettbewerb

Der Solar Decathlon ist ein vom U.S. Department of Energy ausgeschriebener internationaler Hochschulwettbewerb, in dessen Rahmen 20 Teams mit ihren über zwei Jahre entwickelten, energieautarken Solarhäusern während einer Bauausstellung auf der National Mall in Washington D.C. in einen „solaren Zehnkampf“ treten und die Tauglichkeit ihrer Objekte vor einer breiten Öffentlichkeit unter Beweis stellen.

Energieautarkie

Aufgabe der nach 2002 und 2005 zum dritten Mal stattfindenden Veranstaltung ist die Entwicklung eines „year 2015 prototype home“, die öffentlichkeitswirksame Präsentation solarer Energiesysteme und ihre Integration in den Wohnungsbau sowie die Förderung von Innovationen und Kostensenkung auf dem Gebiet der Gebäudeintegration von solaren Technologien. Im Frühjahr 2006 wurde unter Federführung des FG ee mit einem Team aus Studierenden und wissenschaftlichen Mitarbeitern an der Planung des Wettbewerbsbeitrags begonnen.

Prototyp 2015

In 10 Disziplinen muss während der Wettbewerbszeit bewiesen werden, dass mit einem rein über Solarenergie betriebenen Haus alle energierelevanten Anforderungen an Komfort und Lebensstandard, bis hin zum privaten Transport durch den Betrieb eines Elektroautos, erfüllt werden können.

Die 10 einzelnen Disziplinen lauten:

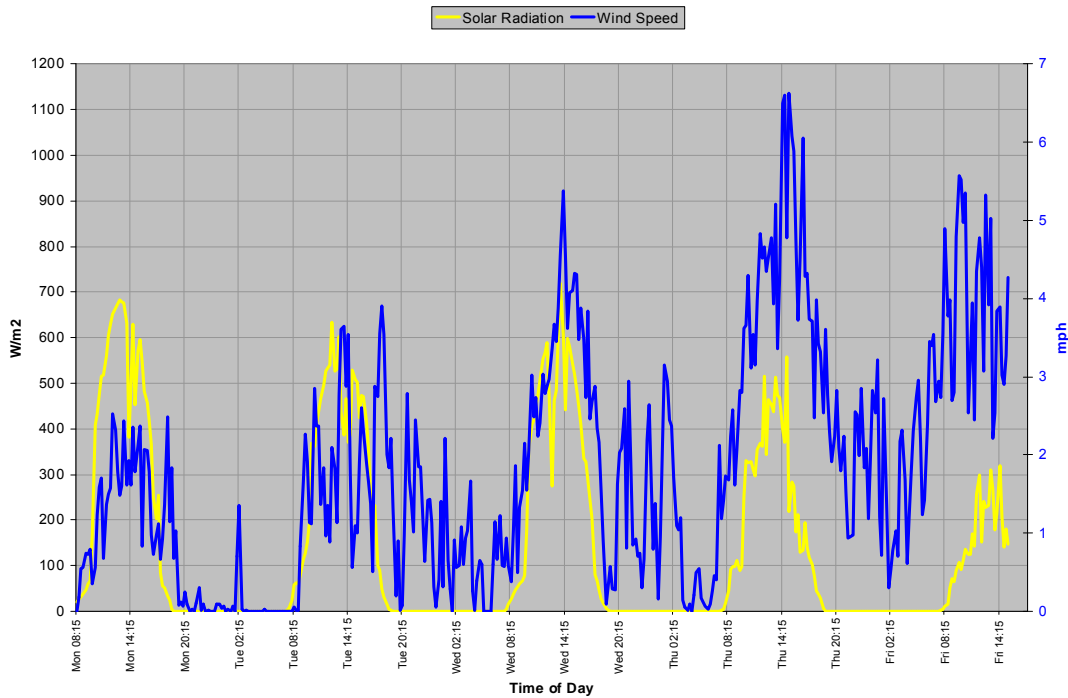
- [1] Architecture [Architektonisches Konzept und Umsetzung]
- [2] Engineering [Technisches Konzept und Umsetzung]
- [3] Market Viability [Marktgängigkeit]
- [4] Communications [Öffentlichkeitsarbeit]
- [5] Lighting [Lichtkonzept]
- [6] Appliances [Haushaltgeräte]
- [7] Hot Water [Trinkwarmwasser]
- [8] Comfort Zone [Behaglichkeit]
- [9] Energy Balance [Ausgeglichene Energiebilanz]
- [10] Getting Around [Mobilität]

Die Disziplinen werden über Fachjuries (1-5) und differenzierte Messverfahren (6-10) bewertet. Hierfür werden in allen Häusern Sensoren integriert und per Funk alle 15 Minuten ausgelesen. Die Daten werden anschließend automatisiert in eine Excel-

Datenbank geschrieben und stehen allen Teams für eine detaillierte Analyse sowohl im Wettbewerb als auch danach frei zur Verfügung.

In der Folge sieben aus diesen Daten erstellte Diagramme. Zwei zu den Umgebungsbedingungen, zwei zu der im Innenraum erzielten Behaglichkeit, zwei zur Energiebilanz aller 20 Wettstreiter und eine abschließende zur Punkteverteilung.

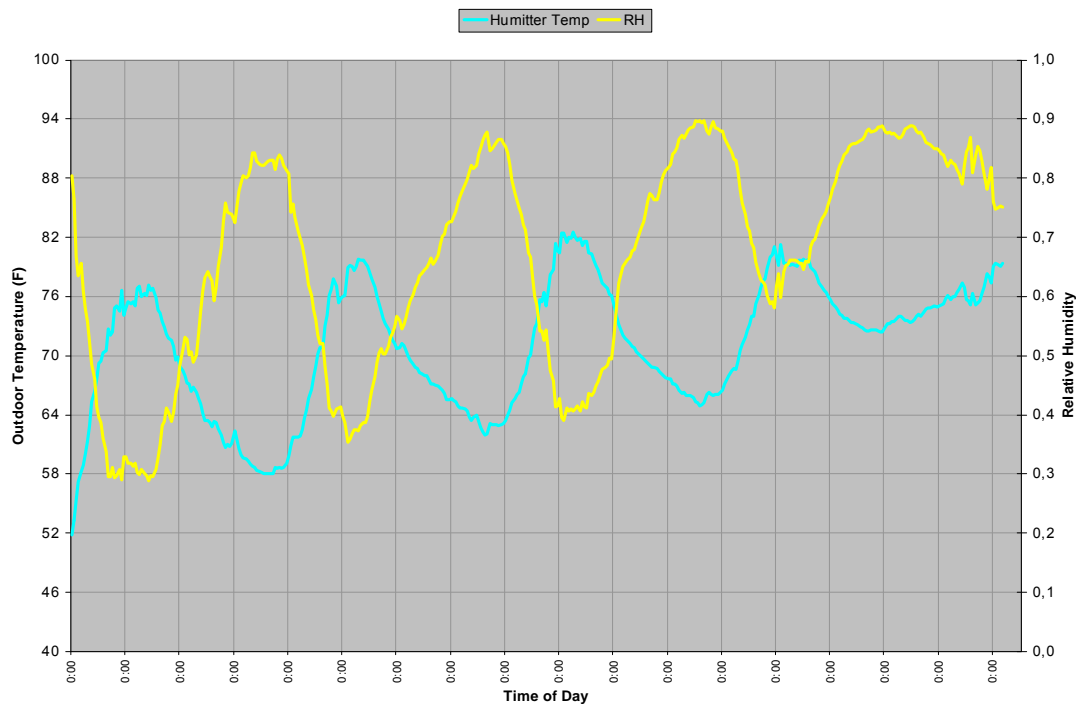
Global Horizontal Insolation & Wind Speed



In allen Diagrammen abzu-lesen sind die fünf Tage im Wettbewerbszeitraum, an denen Messungen durchgeführt und dementsprechend Punkte vergeben wurden.

Gut zu erkennen sind die Tagesgänge der jeweiligen Graphen. Die Sonneneinstrahlung erreicht zur Mittagszeit ihr Maximum zwischen 600 und 700 W/m², dieser Wert ist die ersten vier Tage recht konstant. Am fünften und damit letzten Tag des Wettbewerbs herrscht Wetter mit bedecktem Himmel, die Sonneneinstrahlung ist stark vermindert und damit auch der Ertrag der Photovoltaik.

Outdoor Temperature and Humidity



Die Außentemperatur folgt der Sonneneinstrahlung zeitlich leicht verschoben. Über den Wettbewerbszeitraum nehmen sowohl die Außentemperatur als auch die relative Luftfeuchte zu.

[Anmerkung: Umrechnung von Grad Fahrenheit in Celsius: $T_c = (T_f - 32) / 1,8$]

Indoor Temperature

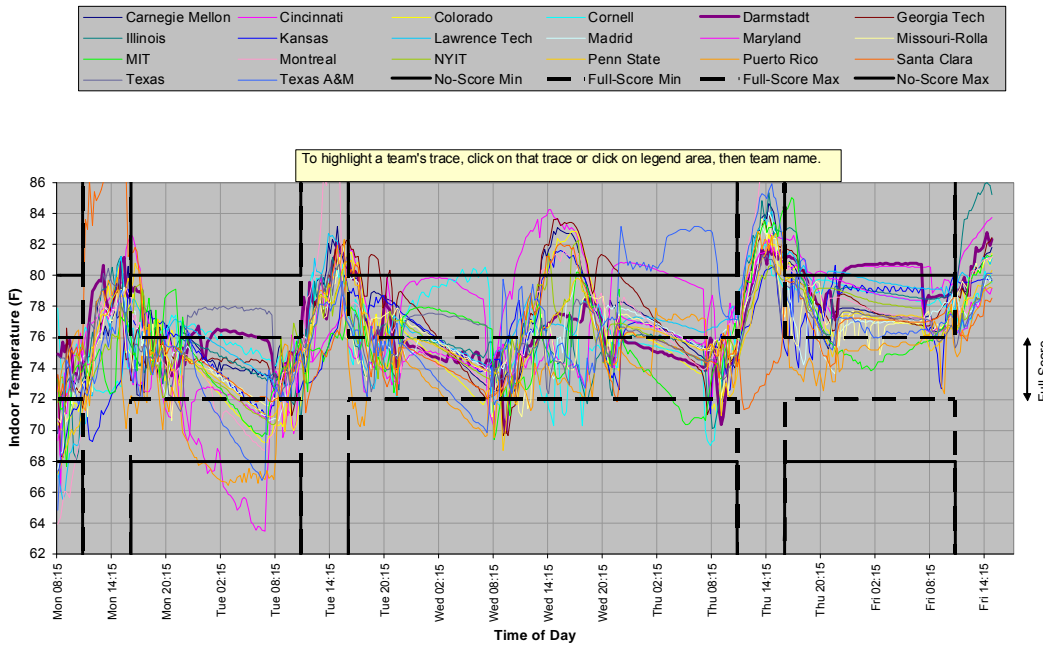


Abb. 2 Innenraumtemperatur und Behaglichkeitsbereich, Quelle: www.solardecathlon.org

In den beiden Diagrammen sind die zwei wichtigsten Behaglichkeitskriterien für den Menschen wiedergegeben, die Innenraumtemperatur und die relative Raumluftfeuchte. Ziel ist hier, den mittleren Korridor und damit die maximale Punktzahl zu erreichen, markiert durch den Pfeil rechts.

[Das SolarDecathlon Haus der TU Darmstadt ist durch den stärkeren lila Graphen dargestellt]

Indoor Relative Humidity

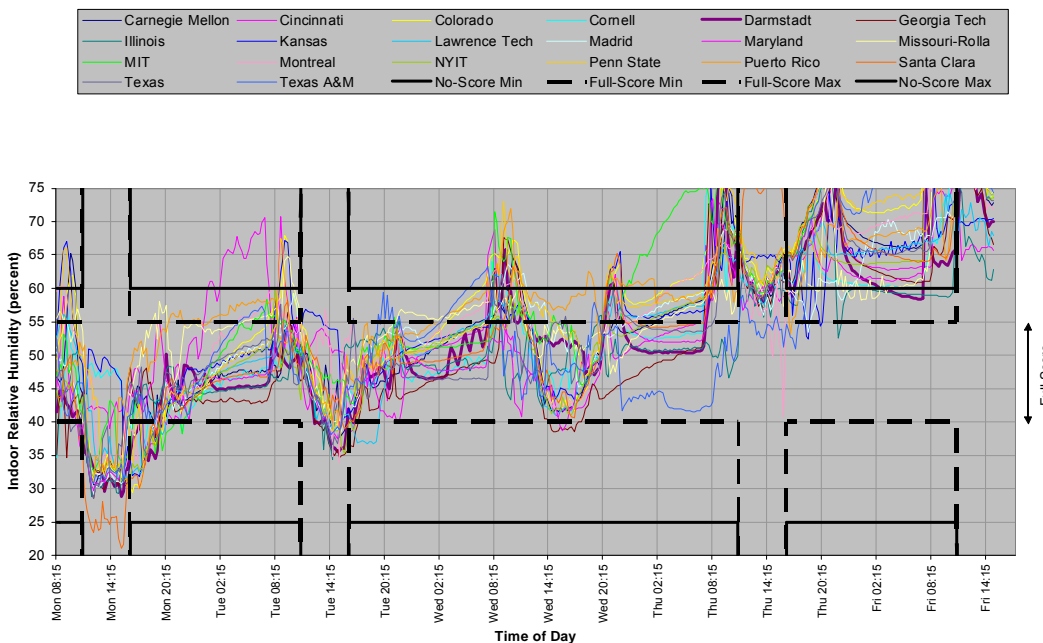


Abb. 3 Relative Luftfeuchte und Behaglichkeitsbereich, Quelle: www.solardecathlon.org

Einen behaglichen Innenraum bereit zu stellen war besonders am fünften Tag kaum zu leisten, schwül-warmes Wetter verschlechterte die Außenbedingungen und verminderte gleichzeitig die Stromerträge.

Aktives Entgegenwirken durch die Anlagentechnik war aus Gründen der Energiebilanz kaum möglich.

Energy Balance

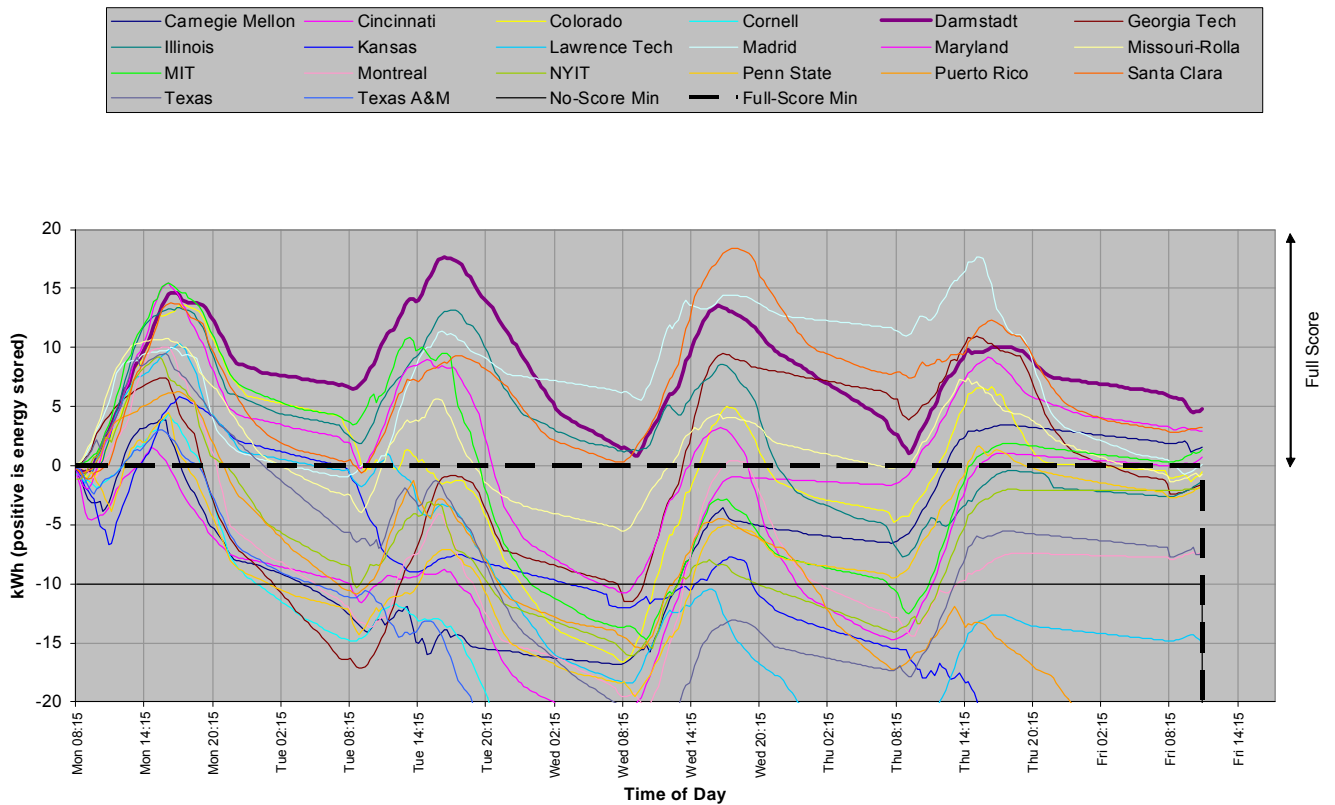
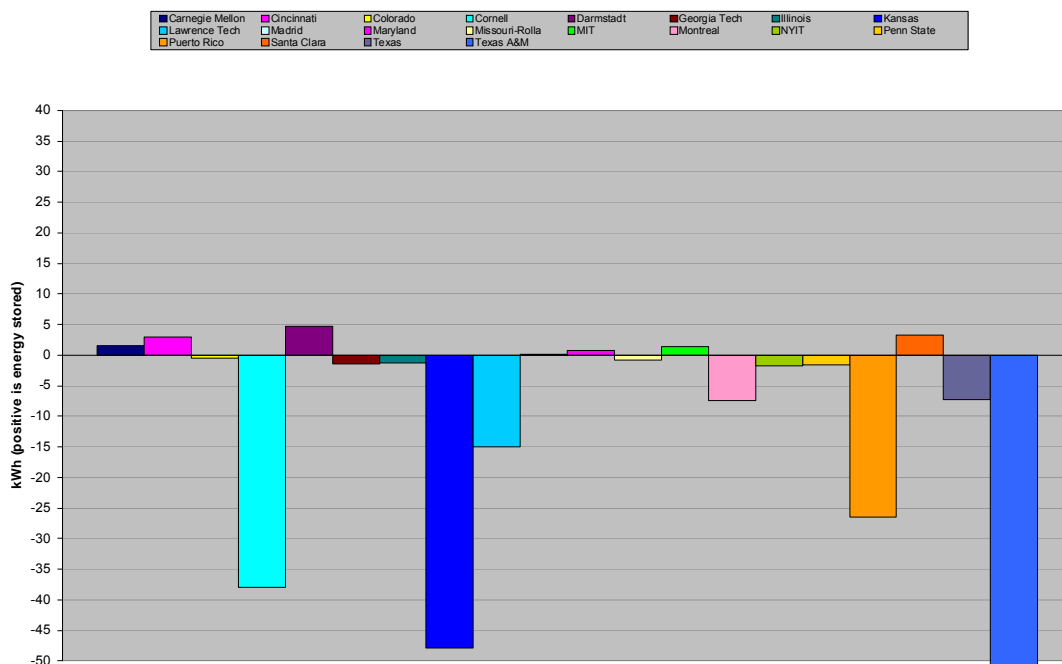


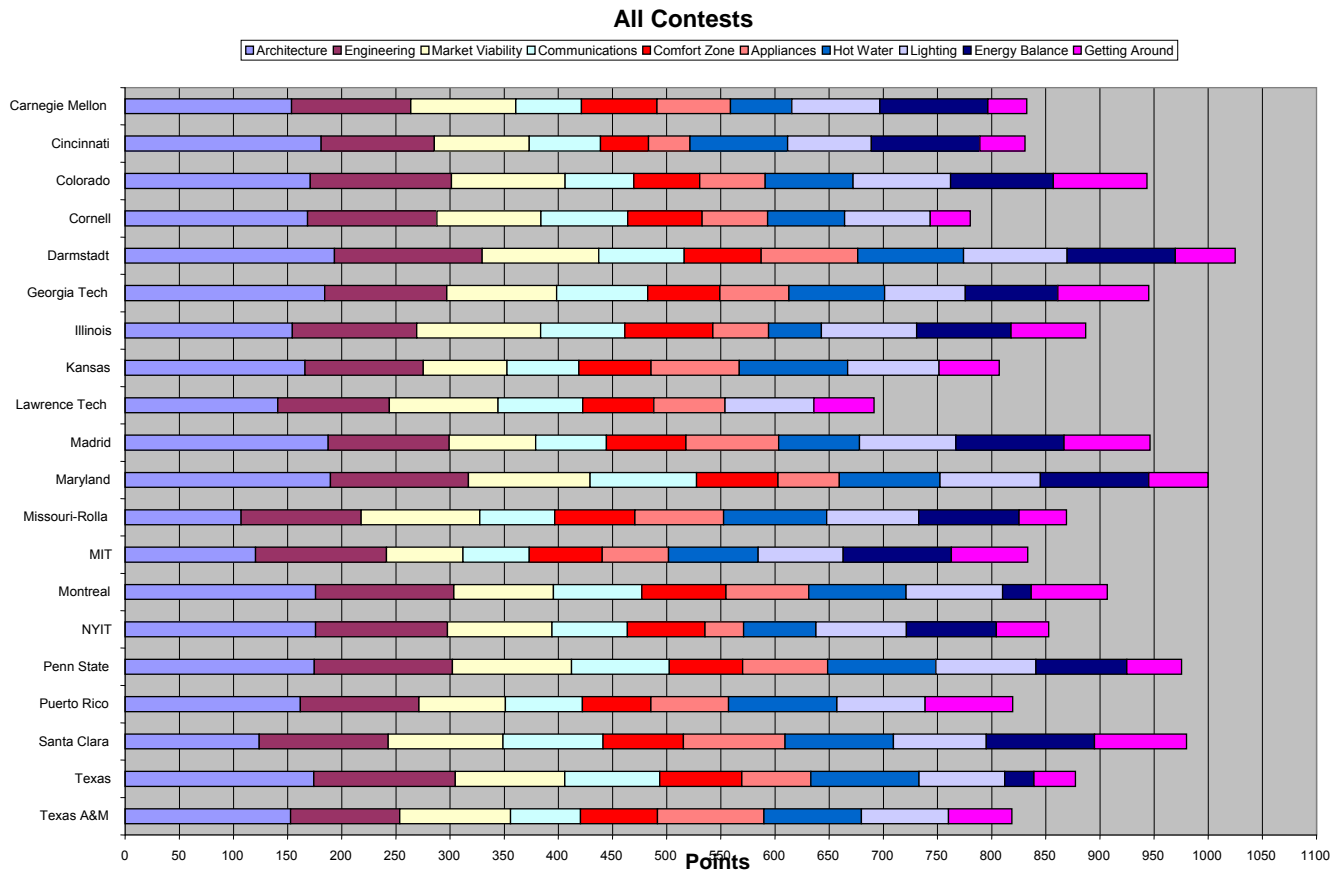
Abb. 4 Entwicklung der Energiebilanz der Wettbewerber, Quelle: www.solardecathlon.org



Alle Häuser, die eine ausgeglichene Energiebilanz aufweisen konnten, bekamen dafür 100 Punkte als Wertung. Überschüsse wurden nicht weiter angerechnet. Jede kWh zuwenig gab 5 Strafpunkte.

Sechs der 20 Teams bekamen die volle Punktzahl, darunter auch die TUD, die als einziges Team zu jedem Zeitpunkt im positiven Bereich der Energiebilanz blieb.

Abb. 5 Abschließende Energiebilanz der Wettbewerber, Quelle: www.solardecathlon.org



Das Wettbewerbsergebnis

Die guten Jury-Wertungen bescheinigen dem SolarDecathlon Haus die gelungene Konzeption und Integration der Solar- und Anlagentechnik in die Architektur. Die weitgehende Erfüllung der Behaglichkeitskriterien und die ausgeglichene Energiebilanz wiederum bestätigen das Zusammenspiel der einzelnen Komponenten und die Effizienz der Anlagentechnik.

Nachnutzung

Die Stärkung sogenannter passiver energetischer Eigenschaften hat sich dabei als sinnvoller Ansatz herausgestellt, das „System Haus“ zu stabilisieren und die direkte Abhängigkeit von den äußeren Witterungsbedingungen zu verringern. Dieser Ansatz beruht auch auf den erweiterten Projektzielen über den Wettbewerb hinaus, die die ganzjährige Nachnutzung in Deutschland gewährleisten sollen.

Erweiterte Projektziele des Solar Decathlon Team Deutschland

Zu Beginn der Arbeit fand ein Abgleich der Wettbewerbsanforderungen mit den eigenen Arbeitszielen des Teams statt, gerade vor dem Hintergrund der aktuellen gesellschaftlichen, politischen und wirtschaftlichen Situation in Deutschland und in Europa. In diesem Prozess wurde deutlich, dass die Projektziele weit über die Wettbewerbsanforderungen hinausgehen und dies im Sinne einer nachhaltigen, zukunftssträchtigen Entwicklung des Wohnungsbaus erforderlich scheint.

Projektziel

Im Einzelnen geht es um:

- Entwicklung eines Architektur- und Gebäudetechnikkonzeptes, das unter dem Begriff „year 2015 prototype home“ sowohl Ansprüche an Funktion und Komfort als auch an Ästhetik nicht nur verbindet, sondern integriert
- Entwicklung eines Energiekonzepts unter Bevorzugung passiver energetischer Maßnahmen bei gleichzeitiger Integration aktiver Technologien zur Energiegewinnung
- Verbindung eines Plusenergiehauses mit minimalem Energieverbrauch für Warmwasser, Heizung und Kühlung bei gleichzeitig minimierten Abmessungen der dazu benötigten Haustechnik
- Entwurf eines Gebäudes, das nicht nur für den Wettbewerb modular gebaut ist, sondern auch in einer Serienfertigung als modular erweiterbares Plusenergiehaus funktionieren würde
- Verbindung von Lehre, Forschung und Praxis; interdisziplinäre Kooperation zwischen Fachbereichen, Universitäten, Forschungseinrichtungen, Öffentlicher Hand, Wirtschaft und Handwerk
- Solares Bauen Made in Germany: Als einziger Repräsentant des Landes mit der höchsten installierten Photovoltaik-Leistung weltweit wurden bevorzugt deutsche Technologien und Produkte eingesetzt, um die Innovationskraft Deutschlands im In- und Ausland zu präsentieren.

Funktion,
Komfort,
Ästhetik

Passive Maßnahmen

Minimierter
Energieverbrauch

Modular

Interdisziplinär

Aushängeschild

Das Solar Decathlon Haus

Architekturkonzept

Der Entwurf für das Solar Decathlon Haus der TU Darmstadt basiert auf drei Grundprinzipien, die eine pur und ruhig anmutende Architektur erzeugen, eine flexible Bespielung für Wettbewerb- und Nachnutzung erlauben und ein integratives Energiekonzept ermöglichen:

Mehrschichtigkeit

Dies ist zum ersten das Prinzip der Zonierung durch Schichtung. Schichten mit unterschiedlicher Funktion legen sich nach dem Zwiebelprinzip um einen inneren Kern: Außen eine Lamellenschicht, die der Verschattung und dem Sichtschutz dient. Als zweite Schicht die thermische Hülle, im Süden und Norden weitgehend transparent, im Osten und Westen opak und hochdämmend ausgeführt. Ein zentraler Kern nimmt Installationen sowie Küche und Bad auf. Durch bewegliche Ausführung kann sich der Kern für die unterschiedliche Nutzung (Bad, Kochen) vergrößern oder verkleinern. Die unterschiedlich temperierten und flexibel offenbaren Schichten erlauben eine differenzierte Bespielung des Grundrisses je nach Jahres- (Sommer- und Winterhaus) und Tageszeit.

Zwiebelprinzip,
zentraler Kern

Integration

Das zweite Grundprinzip stellt die Ausbildung einer Plattform für Möbel und Technik dar. In Form eines doppelten Bodens soll diese alle haustechnischen Komponenten enthalten, die über ein einfaches Plug-In-Prinzip zu einem Gesamtsystem gefügt werden.

Plattform

Flexibilität

Das dritte Prinzip zeigt sich im flexiblen, offenen Grundriss. Diese Idee ist mit dem Prinzip der Plattform verbunden, da durch die Möglichkeit des Verstauens der Möbel im Boden der Raum flexibel genutzt und offen wahrgenommen werden kann.

Flexibler Grundriss

Energiekonzept

Das Energiekonzept setzt die Priorität auf die Nutzung „Passiver Systeme“, um weitestgehend ohne Zuführung von Fremdenergie hohen Komfort zu ermöglichen. Alle relevanten Daten zur versorgenden Anlagentechnik und deren Effizienz werden im Anschluss als „Aktive Systeme“ beschrieben. Hier kann zwischen wärme- und stromerzeugenden Anlagen unterschieden werden.

Passive Systeme und architektonische Umsetzung

Die folgende Aufzählung gibt die bearbeiteten Themen und Prinzipien einer passiven Strategie wieder und benennt die Systeme und Bauteile zu deren Umsetzung.

Zonierung

Das architektonische Konzept erlaubt eine flexible Bespielung des Grundrisses. Für den Wettbewerb wurden jedoch Zonierungen vorgenommen, die sich an einem typischen Tagesablauf orientieren: Die Wohnnutzungen (Essen, Couch-Bereich) sowie die Küche befinden sich im Süden mit direktem Zugang zur überdachten Loggia, der Schlafbereich befindet sich in der Nordost-Ecke, der Arbeitsbereich ist im Nordwesten, zur Nordfassade hin orientiert.

Integrierter Sonnenschutz/Solare Wärmegevinne

Dachüberstand und flexible Lamellenschicht erlauben die Verschattung im Sommer und Solare Wärmegevinne im Winter. Zu Gunsten solarer Gewinne im Winter ist für die Verglasung im Süden ein g-Wert von 0,48 bei einem U-Wert von 0,49 vorgesehen.

Lamellenschicht

Natürliche Lüftung

Obwohl der Passivhausstandard zugunsten der Wärmerückgewinnung bei stark abweichenden Außentemperaturen in Bezug zur angestrebten Innentemperatur eine mechanische Lüftung vorsieht, kann das Gebäude über Öffnungsflügel natürlich belüftet werden. Die vorgesezte Lamellenfassade bietet dabei Sicherheit und Sichtschutz und ermöglicht so z.B. die Nachtauskühlung oder das Lüften auch bei Abwesenheit der Bewohner.

Hochdämmende Hülle

Die opaken Bauteile sind zu Gunsten einer größeren Nutzfläche möglichst dünn mit Vakuum-Dämmpaneelen gedämmt. Die Südfassade ist vollständig, die Nordfassade in Großteilen verglast, um die Hauptansichtsseiten und das Haus möglichst einladend wirken zu lassen. Um dennoch einen hohen Dämmstandard einzuhalten, wird die Fassade im Norden mit Vierfachverglasung, die Südfassade mit Dreifachverglasung und jeweils hoch dämmenden Rahmen ausgeführt.

Vakuum-Dämmpaneel (VIP)

Thermische Speichermassen

Speichermassen tragen erheblich zu einem behaglichen Raumklima bei. Um dies trotz der Leichtbauweise zu ermöglichen, werden dafür PCM (Phase-Change-Materials) in Decken und opaken Wänden eingesetzt.

Phase Change Material (PCM)

Passive Kühlung

Durch Bauteilaktivierung über in Decken und Wände eingelegte Kapillarrohrmatten wird eine passive Kühlung des Gebäudes ermöglicht. Während der Nacht wird Wasser auf der Dachhaut versprüht und dabei atmosphärisch gekühlt. Das Wasser wird in einem Tank unter dem Gebäude gesammelt und steht tagsüber als Wärmesenke für das aus den Kapillarrohrmatten zurückströmende, erwärmte Wasser zur Verfügung.

Bauteilaktivierung

Umsetzung der Prinzipien

Der Beitrag der Technischen Universität Darmstadt zum Solar Decathlon 2007 folgt einem einfachen Ansatz: Dem Entwurf und dem Bau eines einfachen und schlichten Baukörpers, der möglichst viele passive Mittel nutzt, um ohne großen Energieeinsatz ein behagliches Wohnklima zu generieren.

Eine den Entwurfsprozess begleitende Simulation der Energie- und Wärmeströme innerhalb des Gebäudes und zwischen dem Gebäude und seiner Umwelt lieferte vitale Informationen für die konkrete Umsetzung der Ideen und die Abstimmung der Komponenten aufeinander. Erst wenn konzeptionell unumgänglich greift das Gebäude auf aktive Systeme zurück. Auch hier lautet das Ziel, diese Technologien bestmöglich in die Architektur zu integrieren und dem Nutzer zu erschließen.

Die kompakte Bauweise ohne Versprünge führt trotz der geringen Gebäudegröße zu einem vertretbaren Verhältnis zwischen Hüllfläche und beheiztem Volumen. Der Wärmeverlust durch die Hüllfläche wird schon von der Kubatur aus minimiert. Um die unumgänglichen „Energiewanderungen“ durch die Wände und Fenster zu reduzieren, sind die opaken sowie die transparenten Bauteile höchstmöglich wärmegeämmt.

Der zweite große Anteil an Wärmeverlusten entsteht bei normalen Wohngebäuden über die Lüftung. Daher wird beim SolarDecathlon Haus eine mechanische Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung verwendet. Diese sorgt für angenehm frische Luft im Haus und nutzt dabei die Abwärme für die Vorerwärmung der Zuluft.

Mechanische
Lüftungsanlage

Die Lüftungsanlage fördert einen konstanten Volumenstrom in das Gebäude, der durch den hygienisch notwendigen Luftwechsel bestimmt ist. Über die Nacherwärmung der Zuluft wird auch ein Großteil des Raumwärmebedarfs zugeführt.

In der Übergangszeit kann die Lüftungsanlage abgeschaltet werden und eine rein natürliche Lüftung über die Fenster ist möglich. Querlüftung optimiert dabei den hygienischen Luftaustausch.

Eine hohe Luftdichtheit und Dämmung vorausgesetzt, werden die internen sowie die solaren Gewinne immer wichtiger. Um letztere an kalten Wintertagen möglichst zu maximieren, besteht die gesamte Südfassade teils aus festen, teils aus offenen Fensterelementen. Um der Gefahr der Überhitzung entgegenzutreten, sind in der Ost- und Westwand keine Fenster eingebaut, stattdessen sind diese beiden Wandflächen solar aktiviert.

Solare Gewinne

Oberhalb der fast vollständig geöffneten Südfassade ist eine feststehende, horizontale Dachauskragung installiert, vertikal davor befinden sich verschiebbliche Lamellenläden. Die Nordfassade setzt sich sowohl aus feststehenden und opaken als auch aus offenen und transparenten Elementen zusammen. Hier liegt der Fokus auf der Optimierung der Tageslichtintensität und -qualität im Raum.

Dachauskragung,
Tageslichtnutzung

Die gesamte Technik und der Sanitärbereich sind in einem Kern installiert, der mittig im beheizten Volumen steht und soweit möglich von der Außenfassade abgelöst ist. Das Prinzip der Mehrschaligkeit findet seine Fortsetzung auch in der Gebäudehülle. Im Süden sind die thermische Hülle und der äußere Abschluss nicht eins. Die Lamellenstruktur ist hier von der Hülle abgelöst und im lichten Abstand von 1,25 m vorgestellt. Überdeckt ist dieser Freibereich durch einen semitransparenten Dachüberstand, der die Südfassade vor der steilen Sommersonne schützt.

Daten zum SolarDecathlon Haus

Die für die Eingabe in Simulationstools benötigten Daten unterteilen sich in die Hüllflächen und die Bauteilaufbauten. Die aktiven Systeme wie die Stromerzeugung über Photovoltaikmodule oder die solarthermischen Kollektoren ergeben einen dritten Teil.

Hüllfläche

Die Hüllfläche unterteilt sich in die West-, Nord-, Ost-, Süd-, Dach- und Bodenfläche.

Nord-/ Südfassade:

$$(H \times L) \quad 3,6 \text{ m} \times 9,7 \text{ m} \quad A = 34,92 \text{ m}^2 \quad (x2)$$

West-/ Ostfassade:

$$(H \times B) \quad 3,6 \text{ m} \times 5,75 \text{ m} \quad A = 20,70 \text{ m}^2 \quad (x2)$$

Boden-/ Dachfassade:

$$(B \times L) \quad 5,75 \text{ m} \times 9,7 \text{ m} \quad A = 55,78 \text{ m}^2 \quad (x2)$$

Bauteilaufbauten

Alle Bauteile der Gebäudehülle sind hochwärmegedämmt, um auch in unseren Breiten eine ganzjährige Nachnutzung bei hoher Behaglichkeit und minimalem Energieverbrauch zu gewährleisten. Für den Wettbewerbszeitraum im Oktober allein ist der umgesetzte Dämmstandard nicht unbedingt notwendig.

Als Dämmung kamen eigens konfektionierte Vakuum-Isolationspaneele (VIP) mit einer Stärke von 3 cm zum Einsatz. Durch einen doppelagigen Einbau konnten Wärmebrücken an den Paneelrändern gemindert werden.

VIP

Wand

Die opaken Wände haben folgenden Bauteilquerschnitt (von Innen nach Außen).

01 Gipskartonplatte PCM	15 mm
02 Träger / Luftschicht	100 mm
03 OSB Platte	18 mm
04 Dampfsperre	0,25 mm
05 VIP / Lattung	30 mm
06 VIP / Konterlattung	30 mm
07 Winddichtung	0,6 mm
08 Lattung / Luftschicht	30 mm
09 Eternitplatte	12 mm

Gesamtdicke 23,5 cm, U-Wert < 0,10 W/m²K

Dach

Das Flachdach verfügt über eine Gefälledämmung, die pro Modul zu einer Dachentwässerung und einem separaten Notfallüberlauf führt.

01 Gipskartonplatte	15 mm
02 Träger / Luftschicht	16 mm
03 Living Board	18 mm
04 Dampfsperre	0,25 mm
05 VIP/ Lattung	30 mm
06 VIP/ Konterlattung	30 mm
07 Duripanel	12 mm
08 Gefälledämmung	70 mm
09 Bitumenbahn	0,25 mm
10 Tectofin RV 2,5	0,25 mm

Gesamtdicke 19,2 cm, U-Wert < 0,10 W/m²K

Boden

Beim Bodenaufbau handelt es sich um einen doppelten Boden. Zwischen dem begehbaren Fertigfußboden und dem gedämmten Boden befindet sich ein 40 cm hoher Luftraum. Diese Plattform beinhaltet sowohl Teile der Gebäudetechnik als auch die Wohnmöbel.

Für den Wärmeschutznachweis wird der „untere“, d.h. der gedämmte äußere Boden herangezogen, der das beheizte Volumen gegen den Außenraum abschließt.

01 BFU	40 mm
02 BFU / Styrodur	40 mm
03 VIP / Lattung	30 mm
04 VIP / Konterlattung	30 mm
05 Siebdruck	20 mm

Gesamtdicke 18,0 cm, U-Wert 0,10 W/m²K

Fenster

Die Fensterflächen werden von den zu Beginn berechneten Hüllflächen abgezogen. Die genauen Maße befinden sich im Steckbrief des Hauses bzw. in der Anlage zu den Eingaben in das PHPP bzw. Dämmwerk.

Um möglichst geringe Transmissionswärmeverluste über die großen Glasflächen der Nordfassade ausgleichen zu müssen, bestehen die transparenten Anteile der Nordfassade aus einer Vierfachverglasung. In der Summe ergibt sich ein U_w Wert von 0,37 W/m²K. Dadurch wird jedoch auch der Gesamtenergiedurchlassgrad ($g = 38\%$) in dieser Himmelsrichtung sehr klein.

Vierfachverglasung

Um die Ausnutzung des solaren Wärmeangebots zu erhöhen, wird in der im Winterhalbjahr besonnten Südfassade eine Dreifachverglasung verbaut, deren Gesamtenergiedurchlassgrad g bei immerhin 48% liegt. Auch hier haben Simulationen ergeben, dass die Summe der dadurch mehr gewonnenen Energie im Vergleich zu einer Vierfachverglasung die größeren Transmissionswärmeverluste der Dreifachverglasung wieder ausgleichen und sogar übertreffen kann.

Dreifachverglasung

Auch hinsichtlich des Schutzes vor sommerlicher Überhitzung bietet sich die Öffnung der Südfassade an, Lastspitzen können durch bewegliche Sonnenschutzrichtungen abgefangen werden. Die problematischen Ost- und Westfassaden sind hingegen vollständig opak und zudem durch die hinterlüftete, vertikale Lamellenebenen geschützt.

Aktive Systeme - Photovoltaik

Für die Stromgewinnung werden verschiedene Arten von Photovoltaik verwendet. Die „einfachste“ besteht in der Nutzung von opaken Fertig-Modulen auf dem Dach.

Fertig-Module

Das stromerzeugende Dach besteht aus 40 monokristallinen Sunpower Modulen (SPR 215), die über einen Rückseitenkontakt miteinander verbunden sind. Dies führt zu einer Vergrößerung der wirksamen Zellfläche. Die Module besitzen zusammen eine Spitzenleistung von 8,4 kWp (Kilowatt-Peak).

Für die architektonische Integration der Module in die Gebäudehülle wurden verschiedene Varianten sowohl auf ihre Ästhetik als auch auf die Erträge überprüft. Die Vorgabe war dadurch ein fast horizontaler Einbau, um die Photovoltaik-Module bestmöglich in das Flachdach zu integrieren. Simulationen mit der Software „INSEL“ ergaben dabei für den Wettbewerbszeitraum eine um 10% geringere Energieausbeute als für im optimalen Winkel aufgeständerte und von der Dachhaut abgelöste Module. Dies wurde durch Vergrößerung der Aperturfläche kompensiert.

Glas-Glas-Module

Die Solarmodule der horizontalen Auskrugung nach Süden, die den außenliegenden Terrassenbereich zwischen der den Warmraum abschließenden Südverglasung und der äußeren Lamellenebene überdachen, sind eine Spezialanfertigung. Die Hauptaufgabe besteht dabei in der Verschattung der Südfassade vor der steil stehenden Sommersonne. Diese ist für den sommerlichen Wärmeschutz eine Grundvoraussetzung, um die Behaglichkeit gewährleisten zu können.

Ein Synergieeffekt liegt in der Art der Auskrugung. Hierbei handelt es sich um ein Glas-Glas-Modul, welches aus zwei Scheiben mit dazwischen auf Abstand gesetzten Photovoltaikzellen aufgebaut ist. Diese opaken Anteile des Moduls hindern die steil einfallende Sommersonne am Eintreten in das Gebäude und erzeugen dabei gleichzeitig Strom, ohne das Tageslicht völlig auszublenden.

Eine gute Hinterlüftung garantiert einen möglichst hohen Wirkungsgrad der Zellen. Die Zellen bestehen aus monokristallinem Silizium und weisen eine Lochstruktur auf. Diese verringert zwar den Ertrag, führt aber zu einem weichen Lichteinfall mit Licht- und Schattenspiel. Die Spitzenleistung beträgt immerhin 1,0 kWp.

Photovoltaik (PV)

Alle aktiven Solarsysteme, die Hersteller und Modelle, die Flächen und Leistungen sowie die Einbindung in die sonstige Anlagentechnik sind in einem Steckbrief zusammengefasst, der dem Abschlussbericht beiliegt.

Integration,
Energieausbeute

Verschattung

Hinterlüftung

Fassaden-Lamelle

Um die komplette thermische Hülle fügt sich eine weitere Lamellenebene. Diese befindet sich je nach Orientierung in näherem bzw. in weiterem Abstand zur thermischen Hülle. Dadurch entsteht im Süden eine überdachte Terrasse, ein beschatteter und geschützter Freiraum, der dem Wohnraum im Sommer zugeschlagen werden kann und im Winter durch das Schließen der Fenster den zu beheizenden Wohnraum minimiert.

Geschützter Freiraum

Die Lamellen befinden sich in dreh- und verschiebbaren Läden, die auf Schienen gelagert sind. Je nach Bedarf kann sich die „Lamellenwand“ öffnen oder schließen. Zusätzlich sind die einzelnen Lamellen in ihren Läden einachsiger gelagert. Von einem Motor angetrieben können sie, entweder vom Nutzer individuell bedient oder automatisiert und vordefiniert, dem Sonnenverlauf folgen und sorgen so für einen optimalen Kompromiss zwischen Tageslichtnutzung, Verschattung und Energiegewinnung.

Verschiebbare Läden,
Sonnenverlauf

Dieser Gedanke führte zu der Überlegung, die Lamellen im Osten, Westen sowie Süden photovoltaisch zu aktivieren. Da die Lamellen dem Sonnenverlauf folgen, können sie auch für einen optimalen Ertrag sorgen. Besonders in den Wintermonaten kann die Fassadenaktivierung zu einem deutlichen Beitrag führen. Die aktive Energieerzeugung ist jedoch immer mit der Primärfunktion von Fenstern, Tageslicht herein zu lassen und Ausblick zu gewähren, abzustimmen.

Bei den Photovoltaikzellen handelt es sich um 1020 Dünnschichtzellen der Firma Schott (ASI 3 Oo 15x2/576/054 FA). Davon befinden sich je 300 auf der Ost- sowie Westfassade und 420 auf der Südfassade. Die Spitzenleistung aller Fassadenmodule ergibt knapp 2,0 kWp. Durch die Orientierung sowie die Verschaltung mit den Wechselrichtern werden jedoch nicht alle Zellen gleichzeitig Strom einspeisen können. Die Ost- bzw. die Westmodule werden tageszeitabhängig zu den Südmodulen zugeschaltet. Dadurch werden für die Fassade nur 2 Wechselrichter benötigt (SMA SB 1100 LV).

In der Summe aller am Gebäude verbauten Photovoltaik-Module und unter Beachtung der Verschaltung mit den Wechselrichtern ergibt sich eine Gesamtleistung von ca. 11 kWp. Dafür wurden mehr als 50% der thermischen Gebäudehülle photovoltaisch aktiviert, insgesamt 99,98 m² PV-Elemente verbaut und ein durchschnittlicher Wirkungsgrad von 11,5% erzielt. Bei einem Ertrag von 900 kWh/a*kWp (Standort Darmstadt) ergibt sich eine Strommenge von ca. 10.000 kWh/a oder knapp 170 kWh/m²a Nutzfläche. Diese werden vollständig eingespeist, der eigene Strombedarf wiederum aus dem Stromnetz gedeckt. Aufgrund der hohen Installationsdichte von PV am Haus ergibt sich ein beträchtlicher Netto-Energieüberschuss in der Jahresbilanz.

Aktive Systeme - Solarthermie

Für die Trinkwarmwassererzeugung werden Solarthermie-Kollektoren verwendet. Dabei handelt es sich um Flachkollektoren, die nach Wunschmaß gefertigt und somit in das Modulraster der Photovoltaik eingesetzt werden konnten. Dadurch ergibt sich eine optimale Flächenausnutzung des Daches, Restflächen wurden vermieden.

Um auch die Leitungswege möglichst kurz zu halten, befinden sich die Kollektoren direkt über dem 180 Liter fassenden Warmwasserspeicher im Kompaktlüftungsgerät. Im Warmwasserspeicher befindet sich ein Solarwendel, das mit den Kollektoren auf dem Dach verbunden ist. Als zusätzliche Option besteht die Möglichkeit, das Wasser aus dem Warmwasserspeicher nicht nur durch die Kollektoren, sondern auch durch die Fußbodenheizung im Bad zu leiten. Dies dient der zusätzlichen Komfortsteigerung.

Die beiden Kollektoren der Firma Buderus weisen insgesamt eine Fläche von 2,3 m² auf. Die Flachkollektoren besitzen einen Wirkungsgrad von 65 bis 70 %, bezogen auf den Standort Darmstadt ergibt sich ein Gesamtwärmeertrag von etwa 1.700 kWh/a. Welcher Anteil von diesem technisch möglichen Ertrag auch genutzt wird, ist stark von der Nutzung und Auslastung des Gebäudes abhängig und wird über den Nutzungsgrad beschrieben. Rechnerisch ergibt sich nach EnEV bei 12,5 kWh/m²a ein Wärmebedarf für Trinkwarmwasser von ca. 900 kWh/a. Da Angebot und Nachfrage nicht parallel laufen, ergibt sich ein Gesamtnutzungsgrad von 40 bis 50%.

Im Winter liefern die horizontal liegenden solarthermischen Kollektoren kaum Beitrag zur Wärmebereitstellung, weder zur Warmwassererzeugung noch zur Deckung des Heizwärmebedarfs. Hier wären vertikal in der Fassade eingebaute Kollektoren von Vorteil, allerdings zu Lasten der PV-Fläche. Allein in der Übergangszeit, damit allerdings auch genau für den Wettbewerbszeitraum, scheint die direkte Wärmeerzeugung über dachintegrierte Solarthermie von Vorteil zu sein, da für die Solarwärme kaum Strom bzw. Hilfsenergie aufgewendet werden muss.

Der Einbau von Solarkollektoren zur Warmwasserbereitung folgt dem Ansatz, ein breites Spektrum von Technologien in die Architektur zu integrieren und zu prüfen. Der Flächenbedarf für die Flachkollektoren geht aber zu Lasten der Integration weiterer Photovoltaik-Module. Der Wirkungsgrad der eingesetzten Dachmodule liegt in etwa 3 bis 4x niedriger als derjenige der Flachkollektoren. Ein gänzlich anderer Ansatz wäre die Betrachtung des Wärmebedarfs für Warmwasser im Sommer als willkommene Wärmesenke, um über einen Wärmetauschprozess überschüssige Energie aus der Raumluft in den Trinkwarmwasserspeicher zu übertragen.

Der erzeugte Strom wird allerdings nicht direkt in Wärme umgewandelt, sondern zur Aktivierung von Umweltwärme genutzt durch eine Wärmepumpe. Wärmepumpen erreichen Leistungszahlen zwischen 3,0 und 4,0 und können den Leistungsnachteil von Photovoltaik im Vergleich zu Solarthermie wärmenmengenbezogen ausgleichen.

Aktive Systeme – Kompaktlüftungsgerät

Als Kompaktgerät wurde mit einem modifizierten Modell der Nilan VP 18-10P ein erprobtes Lüftungsgerät mit Wärmerückgewinnung und kombinierter passiver und aktiver Wärmerückgewinnung eingebaut. Die Nilan VP 18-10P besteht aus einem Wärmepumpen-Kältekreislauf, zwei stromsparenden, 4-stufig geregelten EC-Ventilatoren, einem 180l Warmwasserspeicher, zwei Luftfiltern G3 und einer elektronischen Steuerung CTS 600.

Alle weiteren Daten zum Kompaktlüftungsgerät können den Datenblättern des Herstellers entnommen werden.

Die Abluft wird als erstes durch einen passiven Gegenstrom-Wärmetauscher geleitet und damit die Außenluft (Frischlufte) vorerwärmt. Nachgeschaltet ist eine Wärmepumpe, die der Abluft die restliche Wärme entzieht, damit einen Warmwasserspeicher erwärmt und die Nacherwärmung der Zuluft sicherstellt. Der erste Kondensator des Kältekreislaufs der Wärmepumpe liegt im Warmwasserspeicher, der zweiten Kondensator nach dem Kreuzgegenstromwärmetauscher an der Zuluft.

Mit dem Lüftungsgerät kann im Sommer die Frischluft auch abgekühlt werden. Der Kältekreislauf wird im Sommer umgekehrt und die Frischluft abgekühlt. Die Abwärme wird zur Brauchwasserbereitung genutzt. Dadurch kann eine Vorkühlung der Zuluft erreicht werden, das Gerät aber keine vollwertige Klimaanlage ersetzen.

Die Luftleistung des Kompaktgerätes beträgt maximal 280 m³/h. Der Volumenstrom kann in 4 verschiedenen Stufen in ein Wochenprogramm eingefügt werden. Außerdem kann eine Solltemperatur mit Hysterese bestimmt werden, laut Planung sind 23°C als Solltemperatur mit einer Hysterese von 3 K vorgegeben.

Der hygienische Luftwechsel wird manuell programmiert/gesteuert, es gibt keinen CO₂- oder Feuchtesensor, der über einen Soll-Ist-Vergleich das System nachregelt. Nur die Heiz- und Kühlfunktion des Kompaktgerätes wird durch einen Innentemperaturfühler automatisch geregelt. Erst wenn der gewünschte Energieumsatz zu extremen Zulufttemperaturen führen würde, wird der Volumenstrom automatisch erhöht.

Über die Steuerung können Wochenprogramme, Nachtabsenkungen, freie oder aktive Kühlung und viele andere benutzerabhängige Einstellungen programmiert werden. Vorgenommen sind folgende Einstellungen: Bei Abwesenheit LW von 10 bis 20 m³/h, bei 2 Personen LW 60 m³/h (LWZ ca. 0,5) und im Partymodus das Maximum von 280 m³/h. Für die Bilanzierung kann der kontrollierte (Außenluft-)Volumenstrom über das Kompaktgerät EnEV-konform als konstant mit 0,4/h * V angenommen werden.

Steckbrief

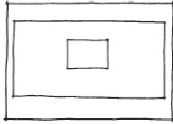
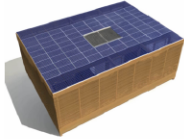
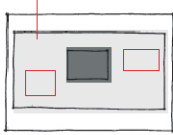
Alle Daten des SolarDecathlon Hauses der TU Darmstadt sind in einem vierseitigen Steckbrief zusammengefasst, der neben Kennwerten für die numerische Abbildung von Plusenergiehäusern auch Aussagen zur Konzeption liefert.

Der Steckbrief wurde für alle 20 Teilnehmer am Solar Decathlon Wettbewerb 2007 bearbeitet und mit allen frei zur Verfügung stehenden Daten gefüllt. Der Steckbrief des deutschen SolarDecathlon Hauses liegt als Anlage bei.

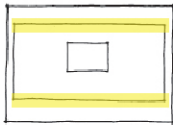
The image shows four pages of a technical 'Steckbrief' (fact sheet) for a building project. Each page is numbered 1 through 4 and contains detailed technical data, diagrams, and small photographs of the building. The pages are arranged in a 2x2 grid.

- Page 1:** 'Konzept' (Concept) and 'Baukörper' (Building Body). It lists architectural details like 'Klare Form', 'Einfachheit', and 'Passivität'. It also provides volume and area data for the building envelope and orientation details.
- Page 2:** 'Gebäudehülle' (Building Envelope). It details U-values, window-to-wall ratios, and insulation specifications for the facade and roof.
- Page 3:** 'Heizen' (Heating) and 'Kühlen' (Cooling). It describes the heating system (Fischbalken) and the cooling system (Kompressions-Wärmepumpe).
- Page 4:** 'Lüftung' (Ventilation) and 'Klimatisierung' (Climate Control). It details the mechanical ventilation system and its energy efficiency.

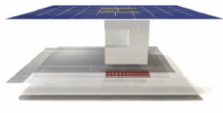
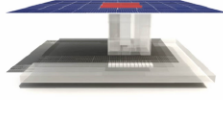
Abb. 6 Übersicht Steckbrief eines Plusenergiehauses, Quelle: fg-ee

Steckbrief		Technische Universität Darmstadt SD07	power:house
Konzept		Architektur	
<i>Schichten</i>	<i>klare Form Einfachheit Purismus</i>		
Baukörper			
Hülle Gesamtbaukörper: 277,62 m ² Volumen Gesamtbaukörper: 278,92 m ³ Hülle beheizter Raum (A): 209,57 m ² beheiztes Volumen (Ve): 182,385 m ³ beheiztes Luftvolumen (V=0,76 x Ve): 138,61m ³	Gebäudenutzfläche (A _N =0,32 x Ve): = 58,36 m ² Kompaktheit (A/Ve): 1,15 m ² /m ³ zul. Höchstwerte (lt. EnEV): - zul.Ht' = 0,44 W/m ² K - zul.Qp' = 146,4 kWh/m ² a		
Grundriss			
Gesamtfläche: 72,31 m ² beheizte Fläche: 50,49 m ² Bewohnerzahl: 2 (Paar) Flexibilität: ein offener Raum, mehrere Szenarien	Zonierung und Orientierung: <i>Das Gebäude wird von Norden erschlossen und orientiert sich nach Süden. Zonierung der Bereiche Wohnen, Schlafen, Küche und Bad geschieht durch einen zentralen Kernbereich, der den offenen Raum teilt.</i>		

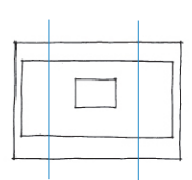
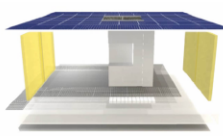
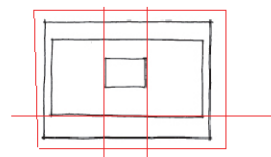
1

Steckbrief		Technische Universität Darmstadt SD07	power:house
Gebäudehülle			
U-Wert: (Wand) < 0,1 Verschattung: durch Lamellen Wandaufbau: (innen nach aussen) <i>Gipskaton mit PCM, Holzständerkonstruktion, 2xVIP, Eternitfassade, Lamellen</i>	Schwachstellen/ Skizze: <i>Modultöße Ecken Wärmebrücken durch VIP Pannel Stösse</i>		
Fenster			
U-Wert: 3SVG max.0,5; 4SVG max.0,3 (w/mK) G-Wert: 3SVG mind.60%; 4SVG mind.35% Verschattung: Dachüberstand, Lamellen Fläche: 35,55 m ² Flächenanteil: $\frac{35,55 \text{ m}^2 \text{ Fenster}}{108,54 \text{ m}^2 \text{ Fassade}} = 0,33$ (33%)	Orientierung Norden: 4 Scheibenverglasung 14,6 m ² (43%) Orientierung Süden: 3 Scheibenverglasung 20,95 m ² (62%) Orientierung Osten: - Orientierung Westen: -		
Energiekonzept			
Passive Massnahmen: <i>Wärme: kompakte Bauweise, hohe Wärmedämmung, Speichermasse PCM, Orientierung Süd-solare Wärmeinträge Kühlen: Sonnenschutz, Querlüftung, Kühldecke Strom: Energiesparende Geräte</i>	Aktive Massnahmen: <i>Strom: Photovoltaik Wärme: Wärmepumpe Kompaktgerät Kühlen: Wärmepumpe Kompaktgerät Lüftungsanlage Warmwasser: Solarthermie Lüftung: Ventilation Kompaktgerät</i>	Zusammenfassung: <i>Energie sparen! Passive Systeme, aktiv unterstützt.</i>	

2

Steckbrief		Technische Universität Darmstadt SD07	power:house
Photovoltaik			
Typ: <i>monokristallin (Dach), amorph (Porch)</i> <i>Dünnschicht (Lamellen)</i> Bezeichnung/Leistung: 40 x Sunpower SPR 215 /215W /8,4 kWp(Dach) 1020 x Schott / 2kWp insgesamt (Lamellen) 6 x Sunways/ 1kWp insgesamt (Porch) Orientierung: 3°Süd, Lamellen nachführbar	Leistung: 9,4 kWp (Dach) 11,4 kWp (insgesamt) Flächenanteil und Integration: Dachfläche: 49,7qm/53qm=0,93(93%) Fassadenfläche: 50,28qm/117,39qm =0,43(43%) Insgesamt Hülle:99,98qm/191.57qm=0,52(52%)		
Solarthermie			
Typ: <i>Flachkollektor</i> Bezeichnung: <i>Bosch Vakuumröhrenkollektor</i> Fläche/Anzahl: 2qm, 2 Orientierung: <i>Flachkollektoren 3° Süd</i>	Flächenanteil und Integration: Dachfläche: 2qm/53qm =0,037 (3,7%) Fassadenfläche: - Insgesamt Hülle: 2qm/191,57 = 0,01 (1%)		
Heizen		Warmwasser	
Art: <i>Kompressions- Wärmepumpe (Kompaktgerät)</i> Heizleistung: 1,8 Kw	Art: <i>Solarthermie Kompressions- Wärmepumpe (Kompaktgerät)</i> Warmwasserspeicher: 180 Liter		

3

Steckbrief		Technische Universität Darmstadt SD07	power:house
Lüftung		Klimatisierung	
Konzept: <i>natürliche Querlüftung/mechanische Lüftung (Kompaktgerät) bei Bedarf</i> Luftwechselrate: 0,6 Luftvolumen/h Geräte: <i>Kompaktgerät Lüftungsgerät</i> Wärmerückgewinnungsgrad: > 80%	Art: <i>Kompressions- Wärmepumpe (Kompaktgerät)</i> Kühlleistung: 0,8 KW		
Materialität		Nachhaltigkeit	
<i>Holzkonstruktion</i> Holzlamellen Innenausbau Holz Plexiglas Eternit Fassade Einschätzung Speichermasse: schwer	<i>Nachwachsende Rohstoffe aus der Umgebung (Eichenholz)</i> Sinnvoller Umgang zum Witterungsschutz und damit Langlebigkeit der Fassade.		
Transport		Bewertung:	
Modularisierung: drei Hauptteile, drei Porchmodule, Lamellen, PV Transportart: Tieflader, Schiff, Tieflader Aufbau: per Kran	eine nötige Verbesserung wäre die Minimierung der Moduleile (insgesamt 6), auch die Fassade.		

4

Prototyp Wohnen 2015 ?

Angesichts des Klimawandels und der zu seiner Bewältigung notwendigen Reduktion des Energieverbrauchs und der steigenden Brisanz des Themas Energiesicherheit ist die wissenschaftliche Untersuchung von Alternativen mit dem Ziel der industriellen bzw. seriellen Anwendung dringend geboten.

Klimawandel

In Deutschland sind in den letzten Jahren einige annähernd oder vollständig selbstversorgende Solarhäuser oder Solarsiedlungen entstanden. Das Solar Decathlon Haus unterscheidet sich von diesen Projekten (z.B. Solarsiedlung Freiburg, Architekt Rolf Disch) in wesentlichen Punkten.

Die Eigenheiten des Solar Decathlon Wettbewerbes werden in der Folge diskutiert, um bei der Übertragung der Konzepte, aber auch der Ergebnisse, keiner Fehleinschätzung der realen Situation zu unterliegen. Gleichzeitig bietet die Auseinandersetzung in einem klar definierten Wettbewerb auch die Chance, konzentriert und fokussiert an einem Projekt zu arbeiten, dass als „Prototyp Wohnen 2015“ viele Elemente zukünftiger Bautechnologien aufgreift und zu einem leistungsfähigen Gesamtsystem kombiniert.

Klimatisierung des Gebäudes

Die Wettbewerbsregularien fordern die konstante Einhaltung einer Raumtemperatur von 22,2 bis 24,4 °C bei 40 bis 55 % relativer Luftfeuchte. Die deutschen Ansprüche an die Behaglichkeit erlauben dem gegenüber höhere, von Jahres- und Tageszeit abhängige Abweichungen.

Behaglichkeit

Gleichzeitig ist jedoch vorauszusehen, dass angesichts der globalen Erwärmung zukünftig auch in unseren Breiten eine Klimatisierung im Bereich des Wohnungsbaus diskutiert werden wird. Angesichts des mit den althergebrachten Klimaanlageanlagen verbundenen Energieverbrauchs müssen hierfür alternative, auf der Nutzung regenerativer oder passiver Methoden basierende Lösungen angeboten werden.

Klimatisierung

Die im Solar Decathlon Haus der TU Darmstadt eingebaute Kombination von passiven und innovativen aktiven Komponenten (Wasserkühlung, mechanische Lüftung mit Vorkonditionierung, Kompaktgerät mit reversibler Wärmepumpe) stellt eine vergleichsweise einfache Lösung dar. Die Simulation des Systems, soweit die Komponenten abbildbar waren, hat jedoch gezeigt, dass zu einer optimalen Funktion präzise Abstimmung und Zusammenspiel erforderlich sind.

Verschattung,
Querlüftung,
Nachtlüftung,
PCM

Energieeinsparung und Effizienz

Der Solar Decathlon Wettbewerb fordert Lösungen ein, wie bis zum Jahr 2015 durch Gebäudeintegration die Kosten für Strom aus Photovoltaik auf die dann durchschnittlichen Energiekosten gesenkt werden können. Das Solar Decathlon Team der TU Darmstadt ging davon aus, dass die günstigste Kilowattstunde diejenige ist, die nicht verbraucht wird. Deshalb wurde das Gebäude so konfiguriert, dass es möglichst wenig Energie für Klimatisierung und Brauchwarmwasser benötigt. Hier zu wurde als zusätzliches Projektziel das Erreichen des Passivhausstandards formuliert.

Passivhausstandard

Modularität und Transportierbarkeit

Passivhäuser müssen hohe Anforderungen hinsichtlich ihrer Luftdichtheit erfüllen. Im Zusammenhang mit dem modularen, zerlegbaren und transportierbaren Gebäude stellt dies hohe Anforderungen an die Planung und Bauausführung. Das Monitoring bietet die Möglichkeit, die Dichtigkeit und Bauausführung auch auf Dauerhaftigkeit zu überprüfen. Daraus können Erkenntnisse bezüglich einer zukünftigen seriellen Fertigung von modularen Passivhaus-Gebäudekomponenten gewonnen werden.

Luftdichtheit

Prototypen und innovativen Materialien

Im Gebäude werden innovative Materialien und prototypische Bauteile eingesetzt: Vakuum-Dämmpaneele, PCM sowie neue Baustoffe aus Recyclingmaterialien. In der Nutzungsphase in Deutschland kann einerseits die Leistungsfähigkeit dieser Bauteile überprüft werden, andererseits kann zukünftig eine Kalibrierung bzw. Erweiterung der Bilanzierungsregeln und Rechenansätze erfolgen.

Materialinnovationen

Architekturintegration der Photovoltaik

Dem selbstgestellten Ziel der vollständigen Gebäudeintegration solarer Energiesysteme wird entsprochen durch die Flachdachintegration der Photovoltaik (PV) und Solarthermie sowie durch die Kombination von PV und flexiblem Sonnenschutz im Bereich der Fassade. Innovation findet insbesondere in der Verbindung der PV-Module mit den Holzlamellenläden und der automatisierten Nachführung statt.

energy:shell

Lastmanagement/Alternative Energiespeicher

Die Erforschung alternativer Energiespeicher im Zusammenhang mit einem intelligenten Lastmanagement bietet deswegen ein besonderes Potential, da sie niedrigere Energieverbräuche, minimierten Ressourceneinsatz, eine Minderung der CO₂-Emissionen und ggf. sogar verminderten Investitionsbedarf für neue Kraftwerke ermöglicht. Ansätze dazu werden im Forschungsprojekt energy:base erarbeitet.

energy:base

Autarkie und Netzanschluss

Der Solar Decathlon Wettbewerb verlangt autarke Gebäude. Es geht also weder um eine ausgeglichene Jahresbilanz, noch kann der Anschluss an ein Stromnetz als nahezu unbegrenzt aufnahmefähiger und praktisch verlustloser Speicher angesehen werden. Die Problematik der Speicherung wird nicht dem Netz auferlegt (siehe Lastmanagement), sondern muss lokal gelöst werden.

energy:monitoring

Autarkie und die damit verbundenen Problemstellungen der Speicherung von Energie werden in der Nachnutzung des Gebäudes kein Kernthema mehr sein, auch wenn im Rahmen des Forschungsprojektes energy:monitoring ein lokales Lastmanagement untersucht werden soll. Hierzu wird das SDH im August 2008 auf dem Campus Lichtwiese der TU Darmstadt fest installiert und mehrere Jahre betrieben.

Im Zuge des Projektes energy:monitoring werden Energiedienstleistungen danach unterschieden, ob sie zeitkritisch sind oder nicht. Im Dauerbetrieb nicht zeitkritische Anwendungen wie bspw. die Spül- und Waschmaschine werden dann gestartet, wenn gleichzeitig die größten Energieerträge vorliegen (oder prognostiziert werden). Lastspitzen, die entweder aus einem lokalen Energiespeicher oder aus dem Netz gedeckt werden müssen, können so durch Zeitmanagement ganz vermieden oder reduziert werden.

Neben dem Anschluss an das öffentliche Stromnetz werden weitere Veränderungen beim finalen Aufbau in Darmstadt getroffen. Ein Erdregister als Erdreichwärmeübertrager (EWÜ) wird der Vorkonditionierung der Frischluft noch vor Eintritt in das Haus dienen. Hierdurch kann die Effizienz der Wärmepumpe gesteigert und die Gefahr der Vereisung des Wärmetauschers verringert werden.

Der Energieverbrauch von Wohngebäuden

Die Minimierung des Energiebedarfs für die Raumheizung von Gebäuden besitzt in Deutschland eine lange Tradition. Unterstützt wird sie durch gesetzliche Vorschriften (von den Wärmeschutzverordnungen WSchV 1978|84|95 zu den Energieeinsparverordnungen EnEV 2002|04|07), die Vergabe von Fördermitteln (KfW-Gebäudesanierungskredit, BAFA-Energie-sparberatung-vor-Ort), aber auch durch den technischen Fortschritt und die Entwicklung von Gebäudeenergiestandards (Niedrigenergiehaus, Passivhaus, Plusenergiehaus).

Wird die isolierte Betrachtung des Energiebedarfs für die Wärmeversorgung auf den Gesamtprimärenergiebedarf eines Privathaushalts ausgedehnt, fällt die zunehmende Relevanz des Strombedarfs auf. Hierfür ist eine Analyse des gegenwärtigen End- und Primärenergiebedarfs aller Verbraucher im Haushalt und eine Fortschreibung in die Zukunft nötig. Schon heute ist bei der Betrachtung des gesamten End- und Primärenergieverbrauchs eines Haushalts auffällig, dass prozentual und absolut der Stromverbrauch steigt, im Gegensatz dazu sinkt der Heizwärmebedarf stetig weiter ab.

In Deutschland verbrauchen die Wohnhaushalte etwa ein Drittel des gesamten Endenergiebedarfs (ohne Treibstoffverbrauch im Verkehrssektor). Angesichts der ungenutzten Potentiale im Bestand beim Heizenergie- und Stromverbrauch für Haustechnik, Haushaltsgeräte und Beleuchtung eignet sich der Haushaltssektor sehr gut dazu, eine deutliche Effizienzsteigerung der Energienutzung in Deutschland zu erzielen.¹

Die Entwicklungen der letzten Jahre haben gezeigt, dass die Bilanzierung des Haushaltsstromverbrauchs immer wichtiger wird. Allein in den Jahren zwischen 1993 bis 2003 kam es zu einem Anstieg des Stromverbrauchs um 17 %.²

Beim folgenden Vergleich der Zusammensetzung des Energiebedarfs verschiedener Gebäudeenergiestandards ist zu beachten, dass das SDH mit seiner Energiebezugsfläche $A_N = 58 \text{ m}^2$ Gebäuden von 150 m^2 gegenübergestellt wird. Die flächenbezogenen Werte für Raumwärme und Warmwasser sind dadurch erhöht, die absoluten Werte hingegen niedrig. Die Ausstattungsdichte mit Elektrogeräten ist beim SDH ebenfalls sehr hoch, auch sehr effiziente Haushaltsgeräte können nicht ausgleichen, dass deren Anteil am Energiebedarf überproportional steigt.

¹ Quelle: Rebhan (Hrsg): "Handbuch Energie", Heidelberg, 2001

² Quelle: 2001ifeu-Institut Heidelberg; Effiziente Beratungsbausteine zur Minderung des Stromverbrauchs in privaten Haushalten

Endenergetischer Vergleich der Gebäudeenergiestandards

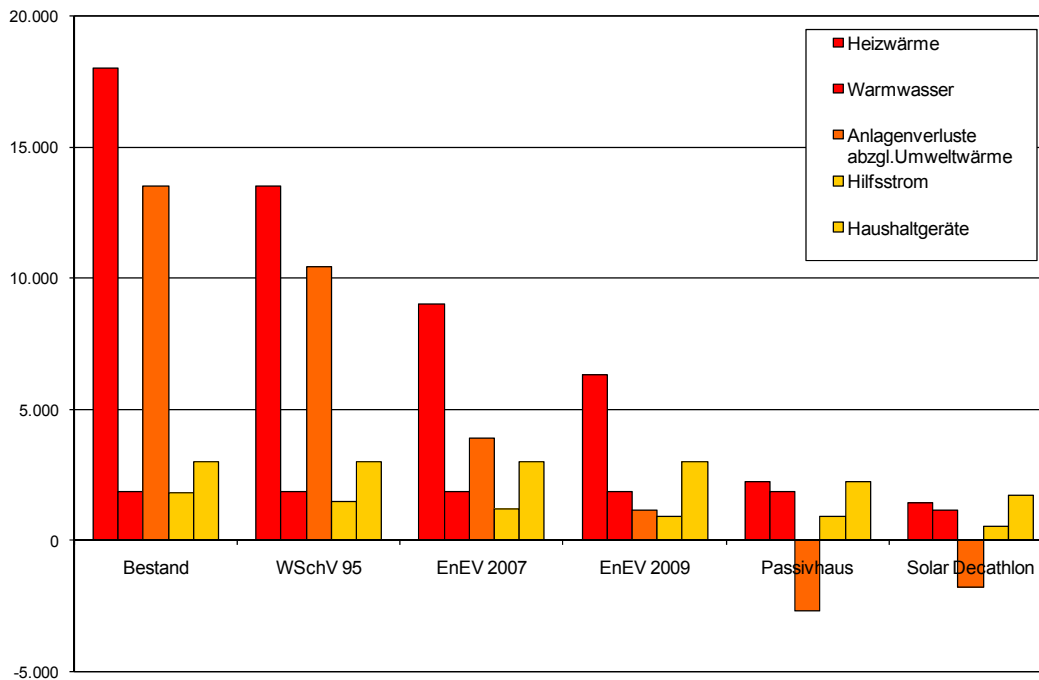


Abb. 7 Endenergiebedarf nach Gebäudeenergiestandard, Quelle: fg-ee

Die stetige Verschärfung der Anforderungen an den Wärmeschutz von Gebäuden und die Fortentwicklung der Bautechnik wird durch die immense Minderung des Energiebedarfs verdeutlicht. Bei Gebäuden nach Passivhausstandard zieht der Haushaltsstrom bereits endenergetisch mit dem Heizwärmebedarf gleich.

	Baualter	Gesamtwärmebedarf				Anlagenaufwand		Strombedarf				Endenergie		
		Bezugsfläche		Heizwärme		Warmwasser		Anlagenverluste abzgl. Umweltwärme		Hilfsstrom		Haushaltgeräte		Summe
		An = 150 m²	kWh/m²a	f _p	kWh/m²a	f _p	kWh/m²a	e	kWh/m²a	f _p	kWh/m²a	f _p	kWh/m²a	
01	Bestand	120,0	-	12,5	-	90,1	1,68	12,0	-	20,0	-	254,6	-	
		18.000 kWh		1.875 kWh		13.515 kWh		1.800 kWh		3.000 kWh		38.190 kWh		
		47,1%		4,9%		35,4%		4,7%		7,9%		100,0%		
02	WSchV 95	90,0	-	12,5	-	69,7	1,68	10,0	-	20,0	-	202,2	-	
		13.500 kWh		1.875 kWh		10.455 kWh		1.500 kWh		3.000 kWh		30.330 kWh		
		44,5%		6,2%		34,5%		4,9%		9,9%		100,0%		
03	EnEV 2007	60,0	-	12,5	-	26,1	1,36	8,0	-	20,0	-	126,6	-	
		9.000 kWh		1.875 kWh		3.915 kWh		1.200 kWh		3.000 kWh		18.990 kWh		
		47,4%		9,9%		20,6%		6,3%		15,8%		100,0%		
04	EnEV 2009	42,0	-	12,5	-	7,6	1,14	6,0	-	20,0	-	88,1	-	
		6.300 kWh		1.875 kWh		1.145 kWh		900 kWh		3.000 kWh		13.220 kWh		
		47,7%		14,2%		8,7%		6,8%		22,7%		100,0%		
	(H _T ⁺ - 30%)													
05	Passivhaus	15,0	-	12,5	-	-17,9	0,35	6,0	-	15,0	-	30,6	-	
		2.250 kWh		1.875 kWh		-2.681 kWh		900 kWh		2.250 kWh		4.594 kWh		
		49,0%		40,8%		-58,4%		19,6%		49,0%		100,0%		
	(A/V _e = 1,16)													
06	Solar Decathlon	25,0	-	20,0	-	-30,6	0,32	9,0	-	30,0	-	53,4	-	
		1.450 kWh		1.160 kWh		-1.775 kWh		522 kWh		1.740 kWh		3.097 kWh		
		46,8%		37,5%		-57,3%		16,9%		56,2%		100,0%		
	(An = 58 m²)													

Werte für den Gesamtwärmebedarf und die Anlagenverluste aus: RWE-Bauhandbuch 2004, Kap. 2/29, z.T. aktualisiert
 01 + 02: Niedertemperaturkessel; 03: Brennwertkessel; 04: BW-Kessel + Solarkollektoren;
 05: (Erd-)Wärmepumpe + Mech.Lüftung mit WRG; 06: Kompaktgerät (Abluft-Wärmepumpe, WRG, Solarkollektor)

Tab. 1 Endenergiebedarf nach Gebäudeenergiestandard, Quelle: fg-ee

Primärenergetischer Vergleich der Gebäudeenergiestandards

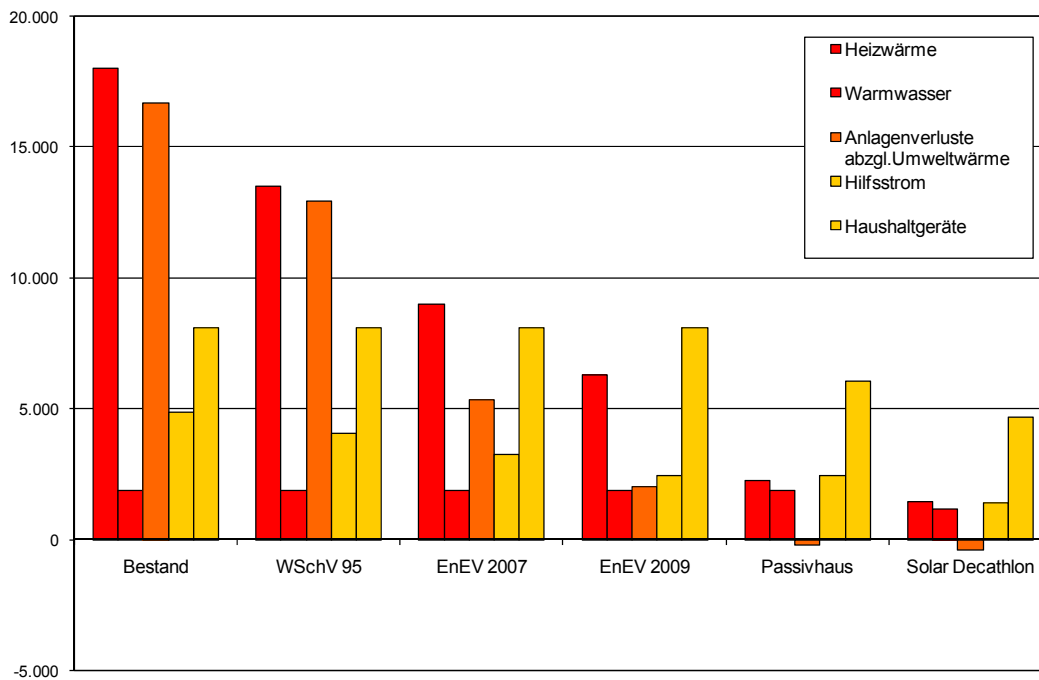


Abb. 8 Primärenergiebedarf nach Gebäudeenergiestandard, Quelle: fg-ee

Primärenergetisch wird der Haushaltsstrom bereits nach einer evtl. Verschärfung des Wärmeschutzes durch die EnEV 2009 der größte einzelne Energiebedarfssektor. Beim Solar Decathlon Haus entfallen ca. 56 % der Primärenergie allein auf den Haushaltsstrom. Primärenergetisch betrachtet kann die Wärmepumpe des Kompaktgerätes nur wenig mehr Umweltwärme aktivieren als für den Strombezug eingesetzt wird.

	Baualter	Gesamtwärmebedarf				Anlagenaufwand		Strombedarf				Primärenergie
		Heizwärme		Warmwasser		Anlagenverluste abzgl. Umweltwärme		Hilfsstrom		Haushaltgeräte		Summe
	Bezugsfläche	kWh/m²a	f _p	kWh/m²a	f _p	kWh/m²a	e _p	kWh/m²a	f _p	kWh/m²a	f _p	kWh/m²a
	An = 150 m²											
01	Bestand	120,0 18.000 kWh 36,3%	-	12,5 1.875 kWh 3,8%	-	111,3 16.695 kWh 33,7%	1,84	12,0 4.860 kWh 9,8%	2,7	20,0 8.100 kWh 16,4%	2,7	330,2 49.530 kWh 100,0%
02	WSchV 95	90,0 13.500 kWh 33,4%	-	12,5 1.875 kWh 4,6%	-	86,1 12.915 kWh 31,9%	1,84	10,0 4.050 kWh 10,0%	2,7	20,0 8.100 kWh 20,0%	2,7	269,6 40.440 kWh 100,0%
03	EnEV 2007	60,0 9.000 kWh 32,7%	-	12,5 1.875 kWh 6,8%	-	35,5 5.329 kWh 19,3%	1,49	8,0 3.240 kWh 11,8%	2,7	20,0 8.100 kWh 29,4%	2,7	183,6 27.544 kWh 100,0%
04	EnEV 2009 (H _t ' - 30%)	42,0 6.300 kWh 30,4%	-	12,5 1.875 kWh 9,0%	-	13,6 2.044 kWh 9,8%	1,25	6,0 2.430 kWh 11,7%	2,7	20,0 8.100 kWh 39,0%	2,7	138,3 20.749 kWh 100,0%
05	Passivhaus	15,0 2.250 kWh 18,1%	-	12,5 1.875 kWh 15,1%	-	-1,4 -206 kWh -1,7%	0,95	6,0 2.430 kWh 19,6%	2,7	15,0 6.075 kWh 48,9%	2,7	82,8 12.424 kWh 100,0%
06	Solar Decathlon (A/Ve = 1,16) (An = 58 m²)	25,0 1.450 kWh 17,4%	-	20,0 1.160 kWh 13,9%	-	-6,8 -392 kWh -4,7%	0,85	9,0 1.409 kWh 16,9%	2,7	30,0 4.698 kWh 56,4%	2,7	143,6 8.326 kWh 100,0%

Werte für den Gesamtwärmebedarf und die Anlagenverluste aus: RW E-Bauhandbuch 2004, Kap. 2/29, z.T. aktualisiert
 01 + 02: Niedertemperaturkessel; 03: Brennwertkessel; 04: BW-Kessel + Solarkollektoren;
 05: (Erd-)Wärmepumpe + Mech.Lüftung mit WRG; 06: Kompaktgerät (Abluft-Wärmepumpe, WRG, Solarkollektor)

Tab. 2 Primärenergiebedarf nach Gebäudeenergiestandard, Quelle: fg-ee

Der Vergleich eines Passivhauses mit dem durchschnittlichen Gebäudebestand zeigt, dass der Endenergieverbrauch für Strom und der für Wärme bereits annähernd gleichbedeutend sind:

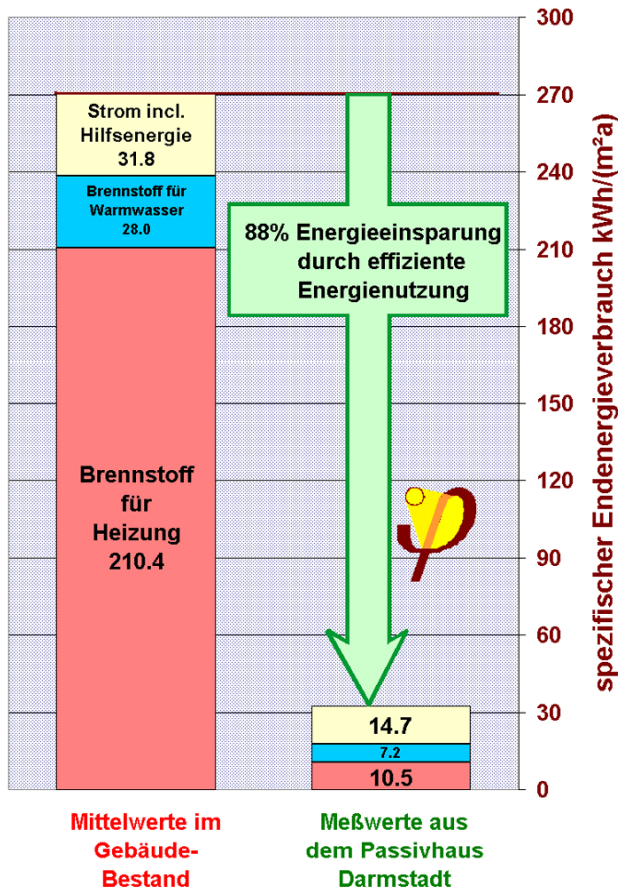


Abb. 9 Bedeutung des Stromverbrauchs gegenüber der Heizenergie, Quelle: Passivhaus-Institut

Wird derselbe Vergleich primärenergetisch betrachtet, sind also die Primärenergiefaktoren für Strom (deutscher Strommix laut EnEV $f_p = 2,7$) und für den Energieträger des Wärmeerzeugers ($f_{p, \text{fossil}} = 1,1$ oder $f_{p, \text{regenerativ}} = 0,2$) eingerechnet, macht der Haushaltsstrom knapp 2/3 des Gesamtprimärenergiebedarfs aus.

Faktoren, die zu diesem erhöhten Bedarf an Haushaltsstrom geführt haben, sind zum einen die deutlich ansteigende Anzahl an Elektrogeräten pro Haushalt und pro Person. Zudem zeigen die aktuellen demographischen Veränderungen innerhalb der Bevölkerung einen deutlichen Anstieg an Ein- und Zwei-Personen-Haushalten. Diese Entwicklung lässt den Strombedarf überproportional wachsen, wie auch an der Bilanz des SDH abgelesen werden kann.

Es ist davon auszugehen, dass ein Teil des Anstieges hierin begründet liegt, denn jeder neu gegründete Haushalt besitzt eine weitgehend identische Mindestausstattung an Elektrogeräten:³

Haushaltsgröße	Durchschnittlicher Jahresstromverbrauch je Haushalt	Durchschnittlicher Jahresstromverbrauch je Haushaltsmitglied
1 Person	1790 kWh	1790 kWh
2 Personen	3030 kWh	1515 kWh
3 Personen	3880 kWh	1290 kWh
4 Personen	4430 kWh	1110 kWh

Der Verbrauch einer einzelnen Person innerhalb eines Vier-Personen-Haushalts gegenüber einem Single-Haushalt reduziert sich somit um 680 kWh/a.

Tab. 3 Abhängigkeit Haushaltsgröße und dem Stromverbrauch je Haushaltsmitglied, Quelle: ifeu-Institut Heidelberg



Strombedarf in Deutschland:

2006 = 540,0 Mrd. kWh; Die Zunahme beträgt ggü. 2005 = 3,74 %.
 2005 = 519,8 Mrd. kWh; Die Zunahme beträgt ggü. 2004 = 0,70 %.
 2004 = 516,2 Mrd. (keine vorherigen Daten vorhanden)

[laut Verband der Elektrizitätswirtschaft (VDEW), veröffentlicht Mitte März 2007.]

Verteilung des Gesamtstromverbrauchs

Elektrizität stellt die energetisch wertvollste Energieform dar und sollte so effizient wie möglich eingesetzt werden. Untersuchungen in Deutschland zum anteiligen Stromverbrauch haben ergeben, dass im Durchschnitt Einsparpotentiale von 30 % im Wohnungsbau ohne Komfortverluste realistisch sind. Obwohl viele dieser energieeffizienten Systeme bereits entwickelt sind, scheitert ihre Anwendung an zu kurzfristig angelegten Amortisationsvorstellungen der Investoren.

Strom effizient nutzen heißt, den maximalen, aber auch absoluten Verbrauch über die verminderte Leistungsaufnahme und kürzeren Betriebszeiten der Geräte zu mindern und zusätzlich - wo immer möglich - den Verbrauch an Primärenergie durch den Austausch des Energieträgers zu senken.

Der durchschnittliche Energieverbrauch eines Vier-Personen-Haushalts beträgt knapp über 4.000 kWh pro Jahr. Der absolute Stromverbrauch im Bestand hat sich für diese Haushaltsgröße in den vergangenen 20 Jahren nur wenig verändert.

³ Quelle: 2001 ifeu-Institut Heidelberg; Effiziente Beratungsbausteine zur Minderung des Stromverbrauchs in privaten Haushalten

In deutschen Privathaushalten setzt sich der Strombedarf in der Regel anteilig aus den folgenden Dienstleistungen zusammen⁴:

Gerät	[%]*	[kWh]*	[Euro]**
Beleuchtung	8,1	324	55,08
Haushaltsgeräte	38,5	1.540	261,8
Unterhaltungselektronik	7,4	296	50,53
Sonstige Elektrokleingeräte	25,3	1.012	172,04
Haustechnik	20,7	828	140,76
Gesamtverbrauch	100	4.000	640,50
Mechanische Lüftung***	+ 5,0	+ 200	+34,00
Raumklimagerät ****	+ 14,1	+ 565	+ 96,05

* bezogen auf einen durchschnittlichen 4 Personen Haushalt/4000kWh Stromverbrauch pro Jahr

** Strompreis pro kWh 0,17 Euro

*** Annahmen: Mechanische Lüftungsanlage, Viessmann VITOVENT 300, geeignet für Wohneinheiten bis 180m³, 3-Stufenregulierung: 10-120 kWh, 2 Geräte

**** Annahmen: Mobiles Raumklimagerät mit einer Kühlleistung von 2.400 Watt, Leistungsaufnahme 1.130 Watt, Energieeffizienzklasse C, 500 Stunden pro Jahr.

Tab. 4 Anteiliger Stromverbrauch, Quelle: fg-ee (Datengrundlage: DENA)

Während der Stromverbrauch von Haushaltsgeräten und haustechnischer Anlagen sinkt (allerdings auf hohem Niveau, zusammen annähernd 60 %), nimmt der Verbrauch von Elektrokleingeräten inkl. Kommunikationsgeräten und von Unterhaltungselektronik stetig zu (zusammen über 30 %). Die Beleuchtung macht trotz immer noch hoher Verbreitung von Glühlampen unter 10 % des Gesamtstromverbrauchs aus. Die Einführung energiesparender Leuchtmittel wird diesen Anteil weiter sinken lassen.



Im Gegensatz zum Wohnungsbau wird im Bereich des Nichtwohnungsbaus über 60 % des Strombedarfs für Beleuchtung und mechanische Lüftung eingesetzt. Aus diesem Grund sind diese beiden Bereiche explizit nach der neuen DIN18599 nachzuweisen. Analog müssten im Wohnungsbau neben der teilweise bereits bilanzierten Haustechnik (Hilfsstrom) auch die Haushaltsgeräte erfasst werden.

⁴ Quelle: DENA

Die Einführung von mechanischen Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung, aber ohne Klimatisierung, führt gemäß Tab. 4 nur zu einer Zunahme des Strombedarfs in Höhe von 5 %, bei positiven Effekten auf die Lufthygiene und die Wärmebilanz.

Der Einbau von Raumklimageräten stellt hingegen einen relevanten Mehrverbrauch dar. Da sich eine Tendenz zu immer mehr Komfort wie im Automobilbau feststellen lässt, sollte der Sommerliche Wärmeschutz stärker in den Fokus genommen werden.

Anhang Haushaltsstrombedarf

Eine Vertiefung der Analyse der in Wohnhaushalten eingesetzten Elektrogeräten, d.h. die Ausstattung und der Verbrauch im Bestand, die zukünftige Entwicklung des Strombedarfs einzelner Geräte und des gesamten Haushalts, aber auch die gegenwärtigen Einsparpotentiale werden in einem eigenen Anhang „Stromverbrauch in Privathaushalten“ behandelt. Weitergehende Themen sind hier:

- Beleuchtung
- Haushaltsgeräte
- Unterhaltungselektronik
- Kommunikationselektronik
- Elektrokleingeräte

Der Aufbau von Energiebilanzen

Die Primärfunktion von Gebäuden ist es, dem Bewohner oder Nutzer unabhängig von den außenklimatischen Randbedingungen einen als behaglich empfundenen Lebensraum zur Verfügung zu stellen. Hierfür ist im Betrieb Energieeinsatz notwendig, dessen Umfang stark vom Gebäudeenergiestandard sowie vom Nutzungsprofil abhängig ist.

Die Versorgung mit Wärme ist in unseren Breitengraden dabei als Dienstleistung zu verstehen, für die eine bestimmte Menge an Energie aufgewendet werden muss. In Energiebilanzen wird daher der Begriff „Wärme“ oft für die Abgrenzung des energetischen Nutzens (was kommt im Raum an) gegenüber dem Gesamtaufwand (was stecke ich in die Anlage) verwendet, der dann als „Energie“ bezeichnet wird.⁵

Zielsetzung

Ziel von Energiebilanzen ist die Bestimmung der dem Haus von außen zuzuführenden Energiemenge. Dabei liegt der Fokus in der Regel auf dem Anteil fossiler Energie, für dessen Bereitstellung ein Primärenergieträger (und damit ein nach menschlichen Maßstäben endlicher Rohstoff) verbraucht wird.⁶ Der Umfang der regenerativen Energienutzung wird nur indirekt bilanziert. Bei einem rein über Solarstrahlung versorgten Gebäude führt dieser Ansatz zu Problemen, die in der Folge diskutiert werden.

Die verschiedenen Ebenen einer Energiebilanzierung

Grundsätzlich können zwei Arten der Energiebilanzierung unterschieden werden,

- die Verbrauchsmessung an einem bestehenden Gebäude und infolge einer konkreten Nutzung,
- die Bedarfsberechnung, zumeist unter Normbedingungen, um eine Vergleichbarkeit der Ergebnisse zu gewährleisten.

⁵ Jagnow, S.38, Kapitel 3.2 Energiekennwerte im Detail

⁶ Jagnow, S.37, Kapitel 3.1 Allgemeine Energiebilanzansätze: „Für ein Gebäude lassen sich hinein und hinaus fließende Energieströme (Input und Output) bilanzieren. Dabei spielt es keine Rolle, ob der Input oder Output bilanziert wird, aufgrund der Energieerhaltung sind beide Ströme gleich groß. In den üblichen Energiebedarfsbilanzen werden [...] unter Voraussetzung einer bestimmten Nutzung, der Beschaffenheit des Baukörpers und der Anlagentechnik die Verluste des Gebäudes (Output) bestimmt. Mit Hilfe aller dem Gebäude zugeführten regenerativen Energien, die sowieso anfallen [z.B. Fremdwärme] oder die keinen endlichen Rohstoff verbrauchen [z.B. Holz] wird der zwangsläufig notwendige nicht regenerative Restanteil des Inputs über Differenzbildung bestimmt.“

Die Aufnahme und Analyse von Messgrößen und Verbrauchswerten wird oft verwendet, um den Betrieb eines Gebäudes zu optimieren und die Funktionsfähigkeit eines Gebäude- und Anlagenkonzeptes nachzuweisen. Dieser Ansatz wird im Forschungsprojekt energy:monitoring verfolgt.

Das vorliegende Forschungsprojekt energy:label geht demgegenüber den Weg der Bedarfsberechnung am Beispiel des SDH. Hierfür ist zu definieren, welche Bilanzgrößen ausgegeben werden und auf welchen Rechenansätzen sie basieren.

Die Bilanzgrößen

Die Nutzenergiebilanz eines Gebäudes umfasst den Wärmebedarf für die Raumheizung und die Trinkwarmwasserbereitung ohne Berücksichtigung der Verluste für die Bereitstellung dieser Wärme. Für die Berechnung des Heizwärmebedarfs werden meist die folgenden Energiekennwerte verwendet: Die Wärmeverluste durch Transmission (Q_T) und Ventilation (Q_V) und die solaren und inneren Wärmegewinne (Q_S und Q_I), multipliziert mit ihrem Nutzungsgrad η_F (F für Fremdwärme). Das Ergebnis wird i.d.R. als Jahresheizwärmebedarf bezeichnet und bildet indirekt den Wärmeschutz der Hülle und die energetische Konzeption des Gebäudes ab.

Nutzenergiebilanz

Da die gängigen Bilanzierungsansätze für den Wohnungsbau ihren Fokus traditionell rein auf den Wärmehaushalt in der Heizperiode setzen, werden Aufwendungen für die Kühlung und Klimatisierung nicht beachtet, auch der Haushaltstrombedarf wird nicht als Nutzenergiebedarf bilanziert. Letzterer ist nur pauschal als mittelbarer Wärmeeintrag und Anteil von Q_I in die Rechnung integriert.

Die Endenergiebilanz umfasst zusätzlich die (technischen) Anlagenverluste, die bei der Bereitstellung der Nutzwärme auftreten. Jede Umwandlung einer Energieform in eine andere oder deren Transport zum Ort der Nutzung ist zwangsläufig mit Verlusten behaftet. Der Endenergiebedarf muss physikalisch also größer sein als der Nutzenergiebedarf.

Endenergiebilanz

Oft wird allerdings nur der Einsatz fossiler Energieträger bilanziert. Die Nutzung von Energie aus der Umwelt oder der Sonne zur Deckung des Nutzenergiebedarfs wird demnach zu Null gesetzt, der Endenergiebedarf kann unter den Nutzenergiebedarf sinken. Rein solare Wärme- (und Hilfsstrom-) -erzeugung wie beim Solar Decathlon führt zu einem Nullwert, da keinerlei fossiler Energieaufwand im Betrieb besteht. Ein solches Gebäude ist nach gängigen Bilanzierungsmethoden bereits endenergetisch nicht mehr abbildbar.

Wird die Zusammensetzung des Endenergiebedarfs nach Energieträgern unterschieden, die für die jeweilige Bedarfsdeckung eingesetzt werden, können mittelbar auch weitere Bilanzgrößen und Stoffströme wie der Primärenergiebedarf, die CO₂-Emissionen oder auch die Kosten abgeleitet werden. Für erstere bedient man sich der Primärenergiefaktoren und CO₂-Äquivalente.

Primärenergiebilanz

Der Bilanzzeitraum

Die mit der Bilanzierung verfolgte Zielsetzung entscheidet maßgeblich über den Zeitraum, der betrachtet wird. Minuten-, Stunden- und Tagesbilanzen werden für die Untersuchung bauphysikalischer Zusammenhänge genutzt, gleichzeitig ist ein hoher Detaillierungsgrad der Eingabe notwendig. Untersuchte Größen können auszugsweise die Rauminnentemperatur, die Einspeicherung von Wärme in Bauteilen, die Regelfähigkeit des Gebäudes oder auch die Systemstabilität sein.

Für die übliche Energiebilanzierung haben sich Monats- und Jahresbilanzen durchgesetzt. Mit beiden Vorgehensweisen wird i.d.R. ein Jahresenergiebedarf ermittelt, bei monatlicher Berechnung ergibt sich dieser aus der Summe der Monatswerte.⁷ Die monatliche Bilanzierung erlaubt eine wesentlich höhere Genauigkeit bei nur wenig erhöhtem Eingabeaufwand: Beispielweise kann anstelle eines pauschalen Jahresnutzungsgrades für die solare und innere Fremdwärme allein in Abhängigkeit des Gebäudestandards dieser explizit aus der Gebäudeeingabe heraus berechnet werden.

Monatsbilanzverfahren

Das „vereinfachte Berechnungsverfahren“ für den Wohnungsbau nach EnEV ist ein Jahresbilanzverfahren. Die geringe Genauigkeit dieses Verfahrens muss durch Sicherheitszuschläge (bzw. Sicherheitsabschläge bei der Fremdwärmenutzung) kompensiert werden. Die Bilanzierung nach PHPP und DIN18599 basiert demgegenüber auf einem Monatsbilanzverfahren.

Jahresbilanzverfahren

⁷ Jagnow S.49 Kapitel 3.3 Arten der Energiebilanzierung

Kennwertbilanzen

Kennwertbilanzen folgen Rechenalgorithmen, die die Energieströme innerhalb eines Gebäudes und in Wechselwirkung mit seiner Umwelt abbilden sollen und auch bei aufwendigen Simulationen dieser physikalischen Gesetzmäßigkeiten angewendet werden. Überschaubare Eingaben und Abläufe werden erzielt, indem Rechenschritte durch typische, mittlere Kennwerte ersetzt werden.

Die Energiekennwerte können aus Feldmessungen abgeleitet oder durch (dynamische) Simulationen auf Basis meist stündlicher Klimadaten berechnet werden. Die Übertragbarkeit wird durch eine enge Zuordnung der Kennwerte zu einer Typologie und einem Gebäudeenergiestandard gewährleistet. Zuverlässige Ergebnisse können dennoch nur in einem gewissen Wertebereich erzielt werden. Die Bilanzierung von optimierten Wohngebäuden wie Passivhäusern ist bspw. mit EnEV-Standards kaum mehr möglich, bei Jahresheizwärmebedarfen unterhalb von 30 kWh/m²a liefern die Berechnungsansätze nach DIN 4108 keine verwertbaren Bilanzen mehr.

Maßgebliche Größen einer Kennwertbilanz ⁸

Ausgangsgrößen und abgeleitete Kennwerte

Das Brutto-Gebäudevolumen V_e ist die Ausgangsgröße für die meisten Bezugs- und Kenngrößen der EnEV. Sowohl das Luftvolumen V als auch die Energiebezugsfläche A_N können nach EnEV direkt durch Faktoren aus dem Bruttovolumen V_e abgeleitet werden. Als Kenngröße zur Beschreibung der Typologie und Form eines Gebäudes mit einem einzelnen Faktor wird A/V_e genutzt, also das Verhältnis der Hüllfläche zum eingeschlossenen, beheizten Volumen. A/V_e ist ein Maß für die Kompaktheit eines Gebäudes.

Gebäudevolumen V_e

Luftvolumen V

Energiebezugsfläche A_N

Kompaktheit A/V_e

Innen- und Außentemperatur

Wärmeverluste treten infolge der Temperaturdifferenz zwischen Innen- und Außenraum auf. Bis zu einer gewissen (durchschnittlichen) Differenz können diese Verluste durch solare und innere Wärmequellen ausgeglichen werden, ohne zu einem Heizwärmebedarf zu führen, der durch einen Wärmeerzeuger gedeckt werden muss.

Ab welcher Außentemperatur (-Unterschreitung) zugeheizt werden muss, ist stark vom Gebäudeenergiestandard abhängig. Diese Außentemperatur wird als Heizgrenztemperatur θ_{HG} bezeichnet und nimmt typischerweise Werte von 15°C, 12°C oder 10°C an. Die Heizzeit t_{HP} (auch Anzahl der Heiztage oder Heizperiode) umfasst die Tage eines Jahres, an denen ein Gebäude durch die Heizung versorgt werden muss.

Heizgrenztemperatur θ_{HG}

Heizzeit t_{HP}

⁸ Jagnow S.39 Kapitel3.2 Energiekennwerte im Detail

Gradtagszahlen und Heizgradtage

Die Gradtagszahl G_t ist das Zeitintegral ψ der Innen- und Außentemperaturdifferenz über die Heizzeit. Die Heizgradtage G sind das Zeitintegral ψ der Differenz zwischen Heizgrenztemperatur und Außentemperatur über die Heizzeit. Da die Heizgrenztemperatur um einen festen Wert unter der Innentemperatur liegt, können beide Werte ineinander überführt werden. Über die Höhe beider Werte kann sowohl eine Aussage über den Gebäudeenergiestandard als auch das lokale Außenklima getroffen werden.

Gradtagszahl G_t

Heizgradtage G

Transmissions- und Lüftungswärmeverluste

Der stationäre Wärmedurchgangskoeffizient „U“ als Beschreibung der Transmissionsverluste Q_T eines Bauteils setzt sich zusammen aus Wärmeleitung im Bauteil und Wärmeübergang an der Bauteiloberfläche. Instationäre, den Wärmetransfer beeinflussende Prozesse infolge einer Temperaturveränderung der Außenseite des Bauteils werden nicht beachtet. Diese Vereinfachung führt bei gedämmten Bauteilen zu sinnvollen Ergebnissen, massive Konstruktionen können nur bedingt bewertet werden.

Transmissionsverluste Q_T

(auch: Transmissionswärmetransfer oder Wärmedurchgangsverluste)

Bei der Berechnung des stationären U-Werts eines Bauteils sollen Strahlungsgewinne als auch verstärkte Abstrahlungsverluste durch den Wärmeübergang erfasst werden. Bei instationären Berechnungen nivelliert sich der dynamische U-Wert aller Querschnitte über die Heizperiode gesehen auf dem Niveau des stationären. Mit der thermisch-dynamischen Charakteristik nach EN ISO 13786 (Berechnungsoption) kommt man bei langer Periodendauer zum selben Ergebnis.

Für die Bilanzierung der Lüftungswärmeverluste Q_V wird entweder der Gesamt-LW oder der energetische LW genutzt. Der energetische LW verrechnet die in einer Lüftungsanlage zurückgewonnene Wärme als verminderten LW, der Gesamt-LW berücksichtigt eine ggf. vorhandene Wärmerückgewinnung hingegen nicht. Der gewählte Ansatz entscheidet über die Art der Bilanzierung auf der Seite der Wärmeströme (energetischer LW) als Minderung der absoluten Verluste oder auf der Seite der Anlagentechnik (Gesamt-LW) als Minderung der dimensionslosen Anlagenaufwandszahl.

Lüftungswärmeverluste Q_V

energetischer Luftwechsel

Gesamtluftwechsel

Der Luftwechsel selbst ist im Jahresverlauf nicht annähernd konstant, da sowohl physikalische Gesetzmäßigkeiten als auch das Nutzerverhalten darauf einwirken. Aufgrund des thermischen Antriebs ist der unkontrollierte Luftaustausch im Winter am größten. Der Nutzer überlagert dieses Phänomen, da vor allem in der Übergangszeit ein hohes Bedürfnis nach Lüftung besteht, diese im Winter hingegen reduziert wird. In einer Energiebilanz wird mit zeitlichen Mittelwerten gerechnet.⁹

⁹ Jagnow S.42 Kapitel 3.2 Energiekennwerte im Detail

Fremdwärme Q_g und Nutzungsgrad η_F

Fremdwärme umfasst den Energieeintrag in ein Gebäude durch Strahlung oder Wärmequellen oberhalb der Rauminnentemperatur. Als Fremdwärme werden üblicherweise die solaren und inneren Wärmequellen (Q_S / Q_I) bilanziert. Fremdwärme kann als vollständig unregelt angenommen werden, da der Wärmeeintrag nur eine sekundäre Konsequenz der eigentlichen Nutzung / Funktion der Wärmequelle ist.

Solare Wärmequellen Q_S

Innere Wärmequellen Q_I

Fremdwärmeanfall stellt nur dann eine Minderung des Heizwärmebedarfs dar, wenn die Regeltechnik der Heizungsanlage automatisch darauf reagiert und die Zufuhr von Heizwärme drosselt.¹⁰ In der Jahresbilanz ergibt sich ein für die Nutzung und das Gebäude typischer, durchschnittlicher Fremdwärmenutzungsgrad η_F .¹¹ Werden Verluste durch Fremdwärme anstatt durch Heizwärme ausgeglichen, stellt Fremdwärme nach alter Bezeichnung einen Wärmegewinn dar.

Fremdwärme Q_g

Fremdwärmenutzungsgrad η_F

Fremdwärmeanfall im Sommer ist hingegen ungewünscht und wird auch als Wärmelast bezeichnet, die abgeführt werden muss. Dies kann ohne energetischen Aufwand geschehen durch Erhöhung des Luftaustauschs bspw. in der Nacht, zunehmend wird im Wohnungsbau allerdings auch die energieintensive Klimatisierung genutzt.

Die Nutzbarkeit der Fremdwärme hängt sehr eng mit der wirksamen Speicherfähigkeit C_{wirk} eines Gebäudes zusammen. Ein Teil der als überschüssig definierten Wärme, also oberhalb des angestrebten Behaglichkeitsniveaus, wird in den Speichermassen eingelagert, bis der Speicher eine erhöhte Raumtemperatur erreicht hat. Sinkt die Raumtemperatur wieder, wird die Speichermasse zur Strahlungsheizung.

wirksame

Speicherfähigkeit C_{wirk}

Für die Berechnung des Fremdwärmenutzungsgrades infolge der Wärmeströme im Jahresverlauf, der (sensiblen) Speichermassen im Gebäude und der Regeltechnik der Heizanlage bestehen verschiedene Formelansätze. Die Abbildung von Latentwärmespeichern wie PCM ist bisher in keiner Norm verankert, wird angesichts des großen Einflusses bei energieoptimierten Gebäuden aber zunehmend wichtig.

¹⁰ Brenner, Optimierung von Heizungsanlagen (1981): „Jede Fremdwärme in einem System muss als verloren angesehen werden, wenn sie nicht durch die Regelung erfaßt wird.“

¹¹ Jagnow S.43 Kapitel 3.2 Energiekennwerte im Detail: „Im Sinne aller etablierten Bilanzverfahren ist ein Fremdwärmeanfall nicht voll für die Raumheizung nutzbar, d.h. der nicht nutzbare Anteil führt zu Temperaturen und Luftwechseln über das normale Maß hinaus. Der Anteil der so definierten, nicht nutzbaren Menge von Fremdwärme nimmt zu, je höher der Fremdwärmeanfall bezogen auf die Wärmeverluste des beheizten Raumes ist.“

Heizwärmebedarf Q_h

Der Heizwärmebedarf kennzeichnet die Wärmemenge, die dem Raum zugeführt werden muss, um das vom Nutzer angestrebte Temperaturniveau zu halten. Er ergibt sich aus der Formel

$$Q_h = (Q_T + Q_V) - \eta_F \cdot (Q_S + Q_I)$$

Der Heizwärmebedarf wird bereitgestellt aus der geregelten Wärmeabgabe der Heizflächen und Luftheizung und der unregulierten Abgabe aller anderen Komponenten der Anlagentechnik innerhalb des beheizten Raumes.

Heizwärmebedarf Q_h

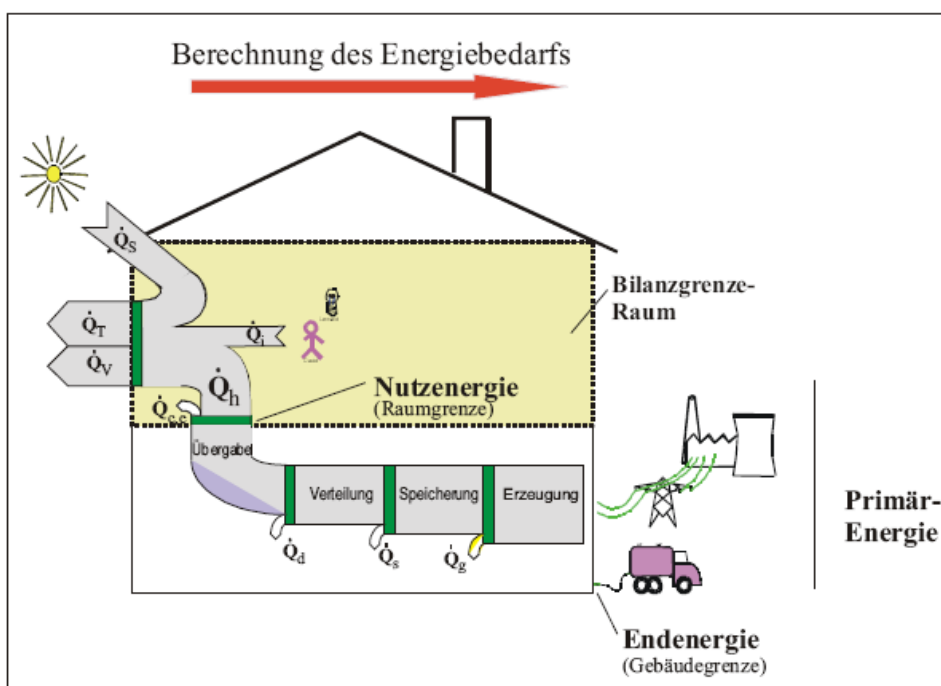


Abb. 10 Abfolge der Berechnung des Energiebedarfs, Quelle: Boris Kruppa, DIN V 4701-10

Gesamtwärmebedarf

Um den Gesamtwärmebedarf eines Gebäudes zu ermitteln, müssen der Heizwärmebedarf Q_h und der Wärmebedarf für Trinkwarmwasser Q_{TW} addiert werden. Damit ist die Feststellung auf der Ebene des Nutzenergiebedarfs abgeschlossen, er folgt die Berechnung des Aufwands, diese Wärme am Ort der Nutzung bereitzustellen.

Trinkwarmwasser-
wärmebedarf Q_{TW}

Gesamtwärmebedarf Q

Anlagenverluste und Anlagenaufwandszahl e_g

Jede Nutzung oder Umwandlung eines Energieträgers erfolgt unter Verlusten. Bei Gebäuden umfassen diese die Wärmeverluste der Erzeugung, Speicherung, Verteilung und Übergabe. Sie können als absolute Energiemengen bestimmt oder in einer Aufwandszahl zusammengefasst werden. Die Aufwandszahl e ist dabei der Kehrwert des Nutzungsgrades der Energie. Effiziente Wandlungsprozesse nähern sich einem Wert von 1,0, können diesen aber nicht unterschreiten. Als Energiemenge werden die technischen Verluste mit dem Nutzenergiebedarf summiert, als Aufwandszahl multipliziert. Bei beiden Rechnungen ist der Endenergiebedarf das Ergebnis, also die von außen zugeführte Energiemenge, „die auch bezahlt werden muss.“

Zusammengesetzt aus den Aufwandszahlen des Wärmeerzeugers (e_g), der Übergabe (e_{ce}), der Verteilung (e_d) und der Speicherung (e_s).

Per Definition bilanziert die EnEV nur den fossilen Anteil der Wärmeerzeugung. Bei Erzeugern, die rein regenerative Energiequellen wie Solarstrahlung oder Abwärme nutzen, ist kein direkter fossiler Aufwand vorhanden. Die Erzeugeraufwandszahl e_g von Solarkollektoren und Wärmerückgewinnungsanlagen ist dementsprechend Null, bei Wärmepumpen wird der Anteil der Umweltwärme mit Null bilanziert.

Werden mehrere Wärmeerzeuger zu einer Anlage kombiniert, wird über Deckungsanteile a der jeweilige Anteil an der gesamten Wärmelieferung festgehalten. Für alle Wärmeerzeuger zusammen kann eine (nach dem Deckungsanteil gewichtete) Gesamtaufwandszahl ermittelt werden.

Deckungsanteil a

Endenergiebedarf des SolarDecathlon Hauses

Sollen rein durch Solarstrahlung und Umweltwärme versorgte Gebäude berechnet werden, führt die Definition der EnEV zu keinem sinnvollen Ergebnis. Im Kapitel „Bilanzierung von Plusenergiehäusern“ wird deshalb die Gleichbehandlung aller Energiequellen (fossil, regenerativ, vital, solar, auch Strom) und die Rechnung in absoluten Energiemengen vorgeschlagen.

Klimaschutz und Stoffströme

Ist der Endenergiebedarf bekannt, können alle weiteren Stoffströme abgeleitet werden. Hierfür werden meist Faktoren eingesetzt, wie Primärenergiefaktoren f_p , CO₂-Äquivalente, aber auch Energiekosten. Während der Endenergiebedarf eines Gebäudes systembestimmt und recht konstant ist (abgesehen von Witterungs- und Nutzereinflüssen), sind die Faktoren politisch bzw. wirtschaftlich geprägt und deshalb einer stetigen Anpassung unterworfen. Dies muss bei der Bewertung der Aussagekraft beachtet werden. Gemäß EnEV ist die Einhaltung eines maximal zulässigen Primärenergiebedarfs das wichtigste Anforderungsniveau.

Primärenergiefaktor f_p

CO₂-Äquivalent

Anforderungsniveaus und Referenzgebäude

Für Wohngebäude kennt die EnEV die Anforderungsniveaus H_T' und Q_p'' , deren maximal zulässige Werte direkt aus dem A/V_e -Verhältnis des bilanzierten Gebäudes abgeleitet werden. Bei der Bilanzierung von Nichtwohngebäuden wird stattdessen ein Referenzgebäudeverfahren eingesetzt, da das weite Spektrum der Nutzung von Nichtwohngebäuden völlig unterschiedliche Energiebedarfe auslöst.

spezifische Transmissionswärmeverluste H_T'

spezifischer Primärenergiebedarf Q_p''

Auch für den Wohnungsbau kann die Untersuchung von Referenzgebäuden zu detaillierten Anforderungsniveaus führen. Anstatt nur das A/V_e -Verhältnis als Maßstab heranzuziehen, könnte auch nach gegebener Baualtersklasse, Bausubstanz, Typologie, Größe und Nutzung gewertet werden. Zumindest das Referenzgebäudeverfahren könnte durch die EnEV-2009 Einzug auch im Wohnungsbau halten.

Bilanzmethoden im Wohnungsbau

Die Ölkrise zu Anfang der 70er Jahre beförderte auf Bundesebene die Erkenntnis, dass der Energieverbrauch von Gebäuden in Zukunft verringert werden muss. Mit dem Energie-Einspargesetz (EnEG) von 1976 wurde die Grundlage geschaffen, detaillierte Anforderungen an den Wärmeschutz von Gebäuden und an die Effizienz der versorgenden Anlagentechnik zu definieren und festzuschreiben.¹²

Durch die Wärmeschutzverordnungen (WSchV) ab 1978 und die Heizanlagenverordnung (HeizAnV) ab 1982 wurden die gesetzlichen Grundlagen zum energiesparenden Bauen vorangetrieben. Seit 2002 übernimmt die Energieeinsparverordnung (EnEV) diese Aufgabe.

Die Tradition der Bilanzierung in Deutschland

Der Großteil der bekannten Rechenansätze zur Ermittlung des Energiebedarfs von Wohngebäuden gehört zur Gruppe der im vorangegangenen Kapitel beschriebenen Kennwertbilanzen. Zur Vereinfachung der Berechnung und zur Minimierung des Eingabeaufwandes werden pauschale Kennwerte herangezogen, die unter Annahme von Normbedingungen und im Rahmen vorgegebener Grenzwerte zu vergleichbaren Ergebnissen führen.

Im Mittelpunkt der Verordnungen steht der Betrieb der Gebäude, und hier traditionell der Energiebedarf für die Versorgung mit Wärme. Graue Energie („Gebundene Energie“) für die eingesetzten Baumaterialien wird nicht erfasst.

Die Bilanzebene wurde dabei im Laufe der Zeit stetig erweitert: Von der Bilanzierung eines Nutzwärmebedarfs über die Nutz- und Endenergie bis zum Primärenergiebedarf, der seit der EnEV die Hauptanforderungsgröße darstellt.

Der für die Wärmeversorgung benötigte Hilfsstrom (bspw. für die Heizpumpen) wird seit der EnEV bei der Berechnung des Anlagenaufwands beachtet.

Auf die Bilanzierung von Haushaltsstrom wird bisher bewusst verzichtet, trotz zunehmender Anteile am Betriebsenergiebedarf.

¹² EnEG §1, (2): „Die Bundesregierung wird ermächtigt, durch Rechtsverordnung [...] Anforderungen an den Wärmeschutz von Gebäuden und ihren Bauteilen festzusetzen. Die Anforderungen können sich auf die Begrenzung des Wärmedurchgangs sowie der Lüftungswärmeverluste und auf ausreichende raumklimatische Verhältnisse beziehen.“

§2, (1): „Wer heizungs- oder raumluftechnische Anlagen [...] in Gebäude einbaut [...], hat bei Entwurf, Auswahl und Ausführung [...] dafür Sorge zu tragen, dass nicht mehr Energie verbraucht wird, als zur bestimmungsgemäßen Nutzung erforderlich ist.“

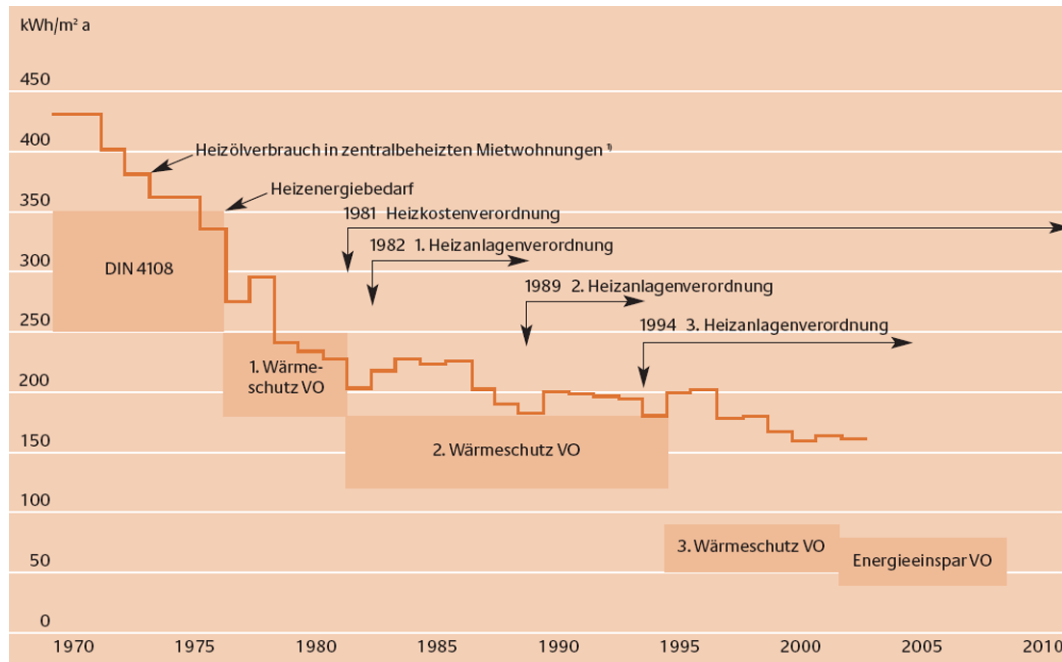


Abb. 11 Verordnungen zur Bilanzierung des Energiebedarfs von Gebäuden 1970 bis 2010, Quelle: Techem AG 2004

Im Folgenden werden die Bilanzierungsansätze der verschiedenen Verordnungen und ihre grundlegenden Rechenansätze vorgestellt. Als Vorbereitung für den Abgleich wurden verschiedene Flussdiagramme erarbeitet, die den Ansatz und den Ablauf der verschiedenen Berechnungsmethoden grafisch zeigen.

Bilanzbereich

In der Titelzeile ist dabei der Bilanzbereich bzw. die Energiedienstleistung festgehalten. Werden Energiemengen zwischen verschiedenen Bereichen übergeben (bspw. die sekundäre Abwärme eines primären Strombedarfs aus dem Bereich Haushaltsstrom in den Bereich „Nutzwärme“, oder die Wärmeverluste des Wärmetransports in den Bereich „Gesamtwärme“), ist dies durch Pfeile markiert.

Bilanzebene

Der gesamte Energiebedarf des Gebäudes wird nach Energieträger getrennt als Endenergiebedarf summiert. Die Bilanzebene wird dabei von der Nutzenergie (Wärme und Strom) zur Endenergie (Energieträger) erweitert. Aus dem Endenergiebedarf können Stoffströme (Primärenergieträger als Input, CO₂ als Output der Energieversorgung) und Geldströme abgeleitet und vergleichend bewertet werden. Die Bilanzebene wird durch die verschiedenen Faktoren in eine ökologische und ökonomische Dimension erweitert.

Das gleiche gilt für die gebäudebezogene Energieerzeugung. Diese kann bestehende Bedarfe decken oder über Gutschriftenmethoden bilanztechnisch erfasst werden.

Wärmeschutzverordnung (WSchV 95)

Nach WSchV erfolgt für Gebäude mit normalen Innentemperaturen eine Begrenzung des Jahres-Heizwärmebedarfs Q_h . Die Vorgabe maximaler Grenzwerte erfolgt bereits in Abhängigkeit des A/V_e -Verhältnisses als typologischer Korrekturfaktor. An die Gebäudehülle werden sowohl beim Neubau als auch der Sanierung Mindestanforderungen gestellt bezüglich des Wärmedurchgangswiderstandes der einzelnen Bauteile als auch der Dichtheit der Fügung.

Weitere Normenbezüge

Die Berechnungsregeln bezüglich Q_h werden über Anhang 1 der WSchV festgelegt. Eine Berechnung des Endenergiebedarfs ist nicht gefordert. Die Anlageneffizienz wird gesondert über die HeizAnIV geprüft, eine Übergabe von Werten zwischen den beiden Verordnungen erfolgt nicht, ebenfalls keine gemeinsame Bewertung.

Bilanzebene

Nach WSchV wird unmittelbar der Heizwärmebedarf Q_h berechnet. Der Nachweis bleibt auf der Bilanzebene der Nutzwärme stehen. Zur „endgültigen Wärmebilanz“ fehlt noch der Energiebedarf der Warmwasserversorgung.

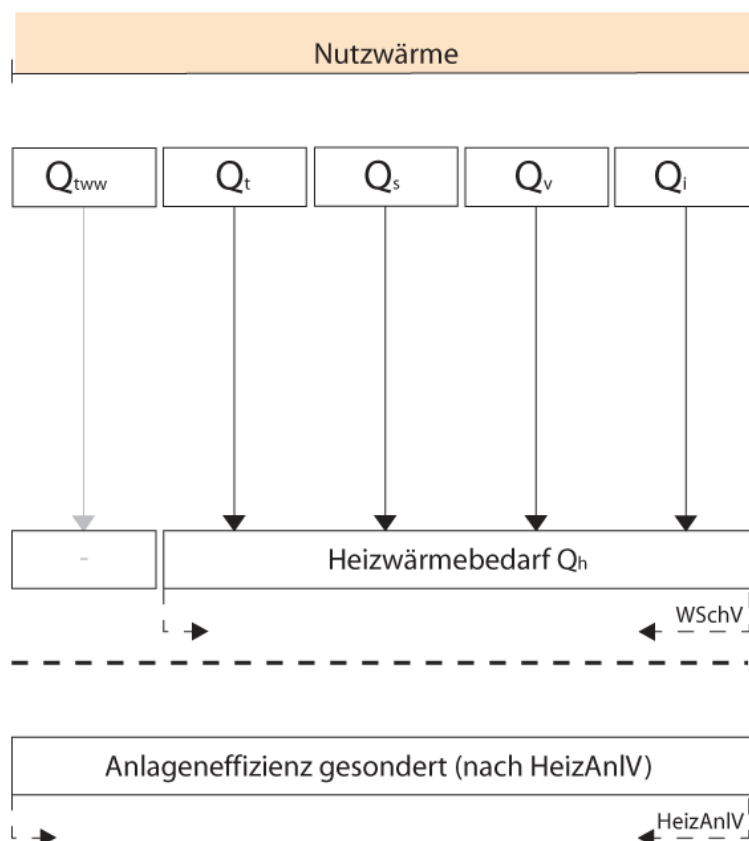


Abb. 12 Bilanzierung des Energiebedarfs nach WSchV, Quelle: fg-ee

Methodik

Mit der WSchV 95 sollte durch drastische Senkung des Heizenergiebedarfs um mehr als 30 % ein nachhaltiger Beitrag zur Senkung der CO₂-Emissionen im Gebäudebereich geleistet werden. Wesentliche Veränderung gegenüber der WSchV 84 war, dass für ein Gebäude der maximal zulässige Heizwärmebedarf Q_h vorgegeben wurde.

Zuvor sollten allein durch Einzelanforderungen an die verschiedenen Bauteile über maximal zulässige k-Werte (U-Werte) die Transmissionswärmeverluste Q_T eines Gebäudes begrenzt werden.

Zum Nachweis des baulichen Wärmeschutzes war seit WSchV 95 eine Gesamtbilanz mit Gewinnen und Verlusten aufzustellen. Der Heizwärmebedarf Q_h eines Gebäudes errechnete sich dabei nach folgender Gleichung:

$$Q_h = 0,90 * (Q_T + Q_V) - (Q_i + Q_s)$$

Anstelle eines globalen Fremdwärmenutzungsgrades wurden die Gesamtwärmeverluste pauschal mit dem Faktor 0,9 gemindert. Der ermittelte Wert wurde mit dem zulässigen Heizwärmebedarf abgeglichen. Dieser berechnete sich bereits in Abhängigkeit des A/V_e -Verhältnisses nach der Gleichung:

$$Q_{h''zul.} = (13,82 + 17,32 * A/V_e) / 0,32$$

Der Transmissionswärmebedarf Q_T des Gebäudes wurde über die Wärmedurchgangskoeffizienten und den Flächenanteil der einzelnen Bauteile berechnet. Die Summe der Verlustleistung wurde mit einer Gradtagszahl von 84 kKh multipliziert. Das gleiche galt für die Berechnung des Lüftungswärmebedarfs Q_V . Als energetischer Luftwechsel sollte ein Wert von 0,8 1/h angesetzt werden. Mechanische Lüftungsanlagen mit Wärmereückgewinnung führten zu einer Minderung des energetischen Luftwechsels.

Die solaren Wärmegewinne Q_s bei Fenster, Fassaden und Lichtdächern mussten in Abhängigkeit von der Himmelsrichtung berechnet werden. Die für die verschiedenen Orientierungen anzusetzenden Werte waren in der WSchV mit 400 kWh/m²a (Süd), 275 kWh/m²a (West/Ost) und 160 kWh/m²a (Nord) vorgegeben. Das solare Wärmeangebot wurde mit dem durchschnittlichen Nutzungsgrad von 0,46 multipliziert.

Als interne Wärmegewinne Q_i wurden für Wohngebäude 25 kWh/m²a und für Bürogebäude 31,25 kWh/m²a angesetzt. Dieser Wärmegewinne wurde nicht mehr gemindert.

Energiesparverordnung

In der Energieeinsparverordnung (EnEV) 2002 wurden die bisherige Wärmeschutzverordnung (WSchV) und die Heizungsanlagenverordnung (HeizAnIV) zusammengefasst und deren Anforderungen aufeinander abgestimmt und weiterentwickelt. Dadurch besteht nunmehr ein öffentlich-rechtlicher Auftrag, nicht nur den Wärmeschutz von Gebäuden, sondern auch die Energieeffizienz der Anlagentechnik zu verbessern.

Seit der EnEV-Novelle 2007 ist mit DIN 18599 eine neue Rechenmethodik für Nichtwohngebäude vorgeschrieben. Auch Wohngebäude können mit dieser Norm bilanziert werden, vorgeschrieben ist dieser umfangreiche Nachweis jedoch nicht.

Wohnungsbau: DIN 4108-6 und 4701-10

Die EnEV verwendet für den Nachweis des Energiebedarfs von Wohngebäuden ein zweistufiges Bilanzverfahren, die DIN 4108-6 zur Bestimmung der im Raum benötigten Wärmezufuhr zur Aufrechterhaltung der Behaglichkeit und die DIN 4701-10 zur Berechnung des dafür notwendigen Aufwands an Energie.

- DIN 4108, Teil 6: Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden, Berechnung des Jahresheizwärme- und des Jahresheizenergiebedarfs (seit 11-2000)
- DIN 4701, Teil 10: Energetische Bewertung heiz- und raumluftechnischer Anlagen (seit 02-2001)

Aus dem zweistufigen Verfahren ergeben sich der Heizwärmebedarf Q_h und der Endenergiebedarf Q_e . Auch die beiden Anforderungsniveaus der EnEV beziehen sich direkt auf die dort durchgeführten Berechnungen:

H_T' zur Bewertung des Wärmeschutzes der Gebäudehülle und Q_p'' zur Bewertung der Effizienz und des Einsatzes erneuerbarer Energieträger durch die Anlagentechnik.

Bilanzebene

Die Bilanzierung des Wärmehaushalts des Gebäudes nach DIN 4108-6 findet auf der Ebene der Nutzwärme statt. Hierfür stehen mit der vereinfachten Jahres- und der genaueren Monatsbilanz zwei Verfahren zur Verfügung, die sich hauptsächlich durch die Bestimmung des Fremdwärmenutzungsgrades unterscheiden.

Der Nutzwärmebedarf wird als Eingangsgröße an die Bilanzierung nach DIN 4701-10 weitergegeben, und dort durch eine globale Anlagenaufwandszahl (Vgl. Anlagenaufwand S.46) auf die Ebene der Endenergie erweitert.

Durch vorgegebene Primärenergiefaktoren wird hier der eingesetzte Energieträger hinsichtlich des Klimaschutzes bewertet.

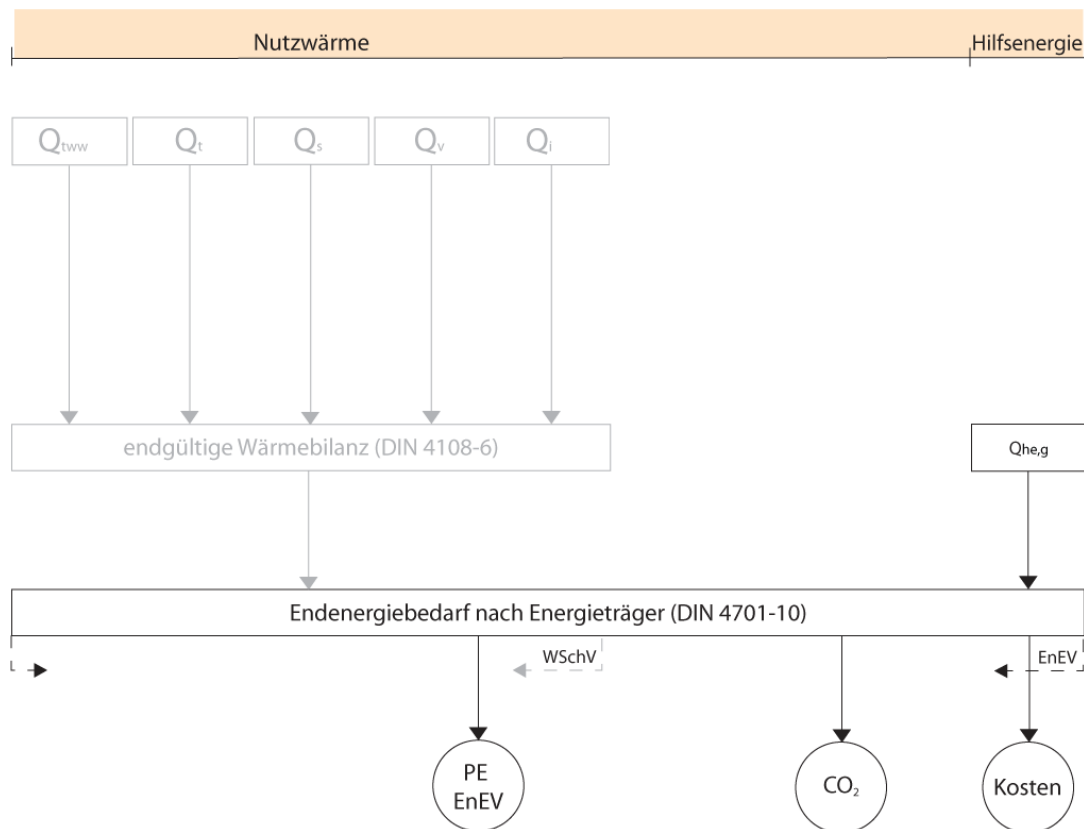


Abb. 13 Bilanzierung des Energiebedarfs nach EnEV (Wohngebäude), Quelle: fg-ee

Methodik

An den Heizwärmebedarf Q_h werden direkt keine Anforderungen gestellt, da der Wärmeschutz des Gebäudes über die Verlustleistung H_T der Hülle geprüft wird. Als Bilanzschritt wird Q_h allerdings weiterhin ausgewiesen. Die Berechnung des Heizwärmebedarfs nach DIN 4108-6 ist als Jahres- und Monatsbilanz möglich.

Das vereinfachte Jahresbilanzverfahren entspricht weitgehend der Vorgehensweise nach WSchV 95. Der Jahresheizwärmebedarf wird über Jahreskennwerte ermittelt, die allerdings gegenüber WSchV 95 verändert wurden, da die Fortentwicklung der Bautechnik zu einer veränderten Heizgrenztemperatur geführt hat.

Jahresbilanzverfahren

Der Transmissionswärmebedarf Q_T ergibt sich aus der Wärmeleitung multipliziert mit einer Gradtagszahl von 66 kKh, die sich aus einer Innentemperatur von 19°C, einer Heizgrenztemperatur von 10°C und der Dauer der Heizperiode von 185 Tagen ergibt. Die Gradtagszahl bezieht sich auf einen mittleren Standort in Deutschland (Würzburg). Wärmebrückenzuschläge auf den U-Wert der Bauteile werden pauschal berücksichtigt.

Der Lüftungswärmebedarf Q_v ergibt sich aus der Luftwechselrate, der Dichte und der spezifischen Wärmekapazität der Luft und der Gradtagszahl. Die Luftwechselrate ist in der EnEV mit 0,6 1/h (mit Dichtigkeitsprüfung) bzw. 0,7 1/h (ohne Dichtigkeitsprüfung) festgelegt. Der Einsatz von kontrollierten Lüftungsanlagen wird durch entsprechende Abminderungsfaktoren berücksichtigt. Die Wärmerückgewinnung einer mechanischen Lüftungsanlage wird als Gutschrift auf die Anlagenaufwandszahl berücksichtigt, nicht als Minderung von Q_h .

Das interne Wärmeangebot Q_i wird für Wohngebäude pauschal mit 22 kWh/m²a angenommen. Das solare Wärmeangebot Q_s wird nach Art, Fläche und Orientierung der transparenten Bauteile berechnet. Als Jahressumme des solaren Wärmeangebot wird je nach Orientierung angenommen: 270 kWh/m²a (Süd), 155 kWh/m²a (West/Ost), 100 kWh/m²a (Nord) und 225 kWh/m²a (horizontal). Das in Abhängigkeit verschiedener Abminderungsfaktoren für das Gebäude ermittelte solare Wärmeangebot wird mit dem Nutzungsgrad multipliziert, um den solaren Wärmegewinn zu berechnen.

Die Ergebnisse des Jahresbilanzverfahrens sind zutreffend für Gebäude, deren Wärmeschutz den zulässigen Grenzwerten nach EnEV ähnelt. Je stärker die Gebäudehülle optimiert wird, desto unzuverlässiger werden direkte Jahresbilanzen, da die über Feldversuche in Standardgebäuden ermittelten Kennwerte nicht mehr den realen Gegebenheiten entsprechen.

Monatsbilanzverfahren

Die Bilanzierung nach DIN 4108-6 kann auch monatsweise erfolgen. Für jeden Kalendermonat wird dafür die Wärmebilanz des Gebäudes einzeln berechnet. Aus dem Verhältnis von Gewinnen und Verlusten wird jeweils ein Fremdwärmenutzungsgrad ermittelt. In den Wintermonaten (hohe Wärmeverluste, vermindertes Fremdwärmeangebot) werden hohe Nutzungsgrade erzielt, in den Sommermonaten ist ein Großteil des Wärmeangebots eher eine Wärmelast als ein Gewinn, der Nutzungsgrad entsprechend niedrig:

Heizwärmebedarf

Transmissionswärmeverluste	$\Sigma L_D = 52 \text{ W/K}$
Lüftungswärmeverluste	$H_V = 36 \text{ W/K}$
Interne Gewinne	$\Phi_{i,M} = 356 \text{ W}$
Solare Gewinne	$\Phi_S \text{ [W] (monatlich)}$
Ausnutzungsgrad	$\eta = (1 - \gamma^a) / (1 - \gamma^{a+1})$ (a sh. c_{wirk}) $\gamma = Q_G / Q_I$ (monatlich, DIN V 4108-6, 6.5)

	t_A [°C]	Q_T [kWh]	$H_V \cdot \Delta T \cdot d$ [kWh]	$\Phi_{i,M} \cdot d \cdot \eta$ [kWh]	$\Phi_S \cdot d \cdot \eta$ [kWh]	η	Q_H [kWh]
Jan	-1,3	753	548	265	267	1,00	769
Feb	0,6	616	449	239	283	1,00	543
Mär	4,1	552	403	261	416	0,98	279
Apr	9,5	341	248	155	432	0,60	3
Mai	12,9	226	165	105	286	0,40	0
Jun	15,7	118	86	50	154	0,20	0
Jul	18,0	37	27	15	49	0,06	0
Aug	18,3	26	19	13	32	0,05	0
Sep	14,4	165	120	87	198	0,34	0
Okt	9,1	367	267	227	363	0,86	44
Nov	4,7	513	374	255	261	1,00	371
Dez	1,3	656	478	265	162	1,00	707
	8,9	4.371	3.185	1.937	2.903		2.716

Jahres-Heizwärmebedarf $Q_H = 2.716 \text{ kWh/a}$ ($q_H = 38,1 \text{ kWh/m}^2\text{a}$)

Heizzeit vom 10.11. bis 1.4. (142 Tage, Gl.27)

Auch im Monatsbilanzverfahren wird der Heizwärmebedarf direkt ausgewiesen, es findet keine Iteration der Bilanzschritte zur genauen Ermittlung der Verteilungs-, Übergabe- und Abgabeverluste statt.

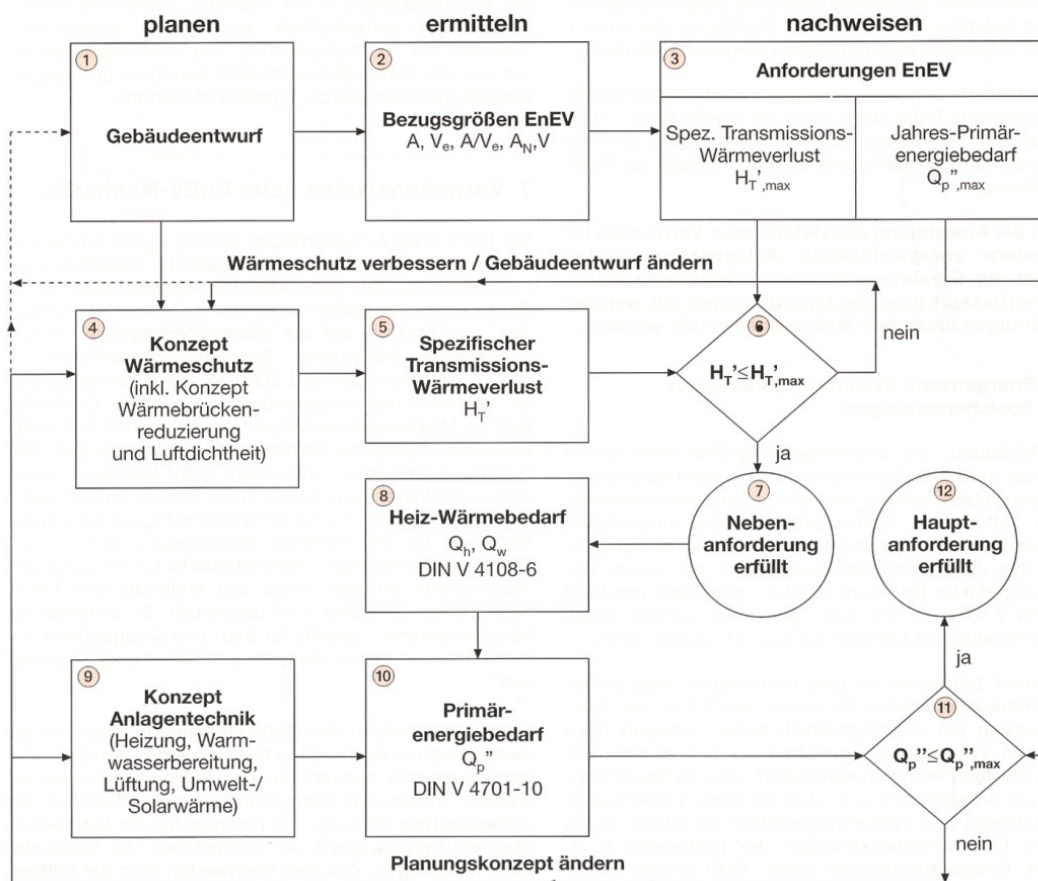
Der Wärmebedarf für Warmwasser wird nach EnEV pauschal mit $12,5 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ angenommen. Als Summe ergibt sich die endgültige Wärmebilanz der Nutzung, die von der Anlagentechnik bereit gestellt werden muss.

Die Berechnung des Primärenergiebedarfs nach DIN 4701-10 erfolgt immer auf Basis des Jahresheizwärmebedarfs, hierfür muss aus den Monatsbilanzen eine Summe gebildet werden.

Zur Bilanzierung des Gesamtsystems aus Gebäude und Anlagentechnik wird aus allen Komponenten des Heizsystems eine einzelne Anlagenaufwandszahl durch ein grafisches oder tabellarisches Verfahren ermittelt. Der vorhandene Wärmebeitrag durch Solarkollektoren wird dabei durch Deckungsanteile berücksichtigt, die Aufwandszahl für Umweltenergie zu Null gesetzt. Anstelle eines zusätzlichen Aufwands ($e_p > 1,0$) kann so auch ein „Anlagenbonus“ ($e_p < 1,0$) das Ergebnis sein.

Die Multiplikation des Nutzwärmebedarfs mit der Anlagenaufwandszahl ergibt den Primärenergiebedarf. Der Endenergiebedarf, der dem zentralen Wärmeerzeuger zugeführt werden muss, sollte zusätzlich nach Energieträger getrennt ausgewiesen werden, dies ist allerdings nicht gefordert. Die benötigte Hilfsenergie wird ebenfalls erfasst. Der Primärenergiebedarf Q_p setzt sich also aus den einzelnen Energieträgern multipliziert mit ihren Primärenergiefaktoren f_p zusammen.

Methodik des EnEV-Nachweises



Das Ablaufschema des EnEV-Nachweises unterteilt die Vorgehensweise in die Gebiete „planen“, „ermitteln“ und „nachweisen.“

Die Normen DIN 4108-6 und DIN 4701-10 dienen der Ermittlung der Bilanzwerte. Die Vorgaben für den Nachweis werden hingegen durch die ENEV getroffen.

Der Heizwärmebedarf ist kein Anforderungsniveau der EnEV, nachwievor aber ein zentraler Bilanzschritt.

Abb. 14 Schritte zur Erfüllung des EnEV-Nachweises, Quelle: RWE Bau-Handbuch, 13. Ausgabe, Seite 2/32

Nichtwohnungsbau: DIN 18599

Für den Nichtwohnungsbau steht mit der Einführung der DIN 18599 ein Berechnungsverfahren zur Verfügung, das die Energieströme innerhalb und außerhalb eines Gebäudes wesentlich genauer abbildet, das aber auch sehr viel umfangreicher und komplizierter in der Anwendung ist. Das Verfahren arbeitet iterativ, d.h. die Leitungs- und Erzeugerverluste aus einem Rechengang werden als unregelmäßige Wärmeeinträge im nächsten Rechengang bilanziert, bis sich das System stabilisiert. Dies wird in der folgenden Abbildung als „vorläufige Wärmebilanz“ bezeichnet.

Der Bilanzbereich wird zudem um eine detaillierte Erfassung der Beleuchtung und der Klimasysteme erweitert. In der Grafik sind die Bilanzierungsschritte hellgrau dargestellt, die bereits für eine DIN 4108-6 und DIN 4701-10 konforme Berechnung vollzogen werden müssen, wenn auch z.T. mit anderen Formeln. Die zusätzlich bilanzierten Bereiche sind schwarz dargestellt.

Es ist davon auszugehen, dass die Bilanzierungsmethoden der DIN V 18599 auch dazu geeignet sind, energetisch hochoptimierte Gebäude mit minimalem Wärmebedarf und komplexer Anlagentechnik zu berechnen.

Bilanzebene

Die Bewertung des Gesamtenergiebedarfs erfolgt wie zuvor primärenergetisch.

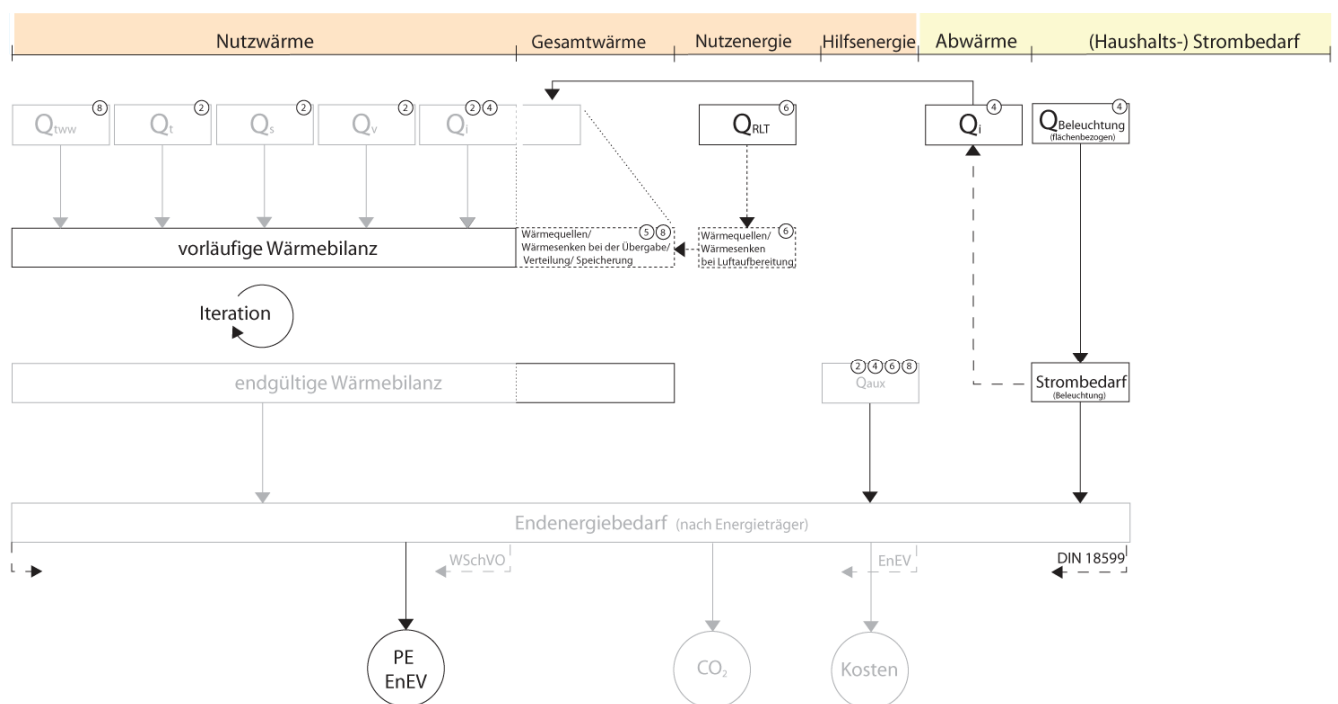


Abb. 15 Bilanzierung des Energiebedarfs nach EnEV (Nichtwohngebäude), Quelle: fg-ee

Methodik

Die Bilanzierung nach DIN 18599 ist aufgrund der erwünschten Komplexität in 10 Normteile getrennt. Zwischen den verschiedenen Bilanzierungsschritten werden Energieströme übergeben. Durch Iteration von Rechenschritten entstehen Rückkopplungen zwischen den Bilanzschritten, die die Genauigkeit der Bilanz erhöhen. Zur Projektlaufzeit (2007) funktionieren noch nicht alle Querverbindungen und Bilanzmethoden reibungslos, wie im Detail noch in den betroffenen Bilanzbereichen näher erläutert wird.

Bilanzschritt	Normteil
Zonierung des Gebäudes nach Nutzung, Anlagentechnik und Gebäudehülle	Teil 1
Bestimmung der nutzungsabhängigen Randbedingungen und der notwendigen Eingangsdaten für die Bilanzierung	Teil 1 und 10
Zusammenstellung der Endenergie nach Energieträger und Berechnung des Primärenergieaufwands	Teil 1
Ermittlung der Wärmequellen und -senken der einzelnen Zonen und überschlägige Bilanzierung des Nutzenergiebedarfs für Wärme und Kälte	Teil 2
Ermittlung des notwendigen Eintrags von Wärme und Kälte durch die Anlagentechnik auf Basis des überschlägigen Bedarfs in der Zone	Teil 2
Ermittlung des Nutzenergiebedarfs für die energetische Luftaufbereitung	Teil 3
endgültige Bilanzierung des Nutzenergiebedarfs für Wärme und Kälte sowie Zuteilung zu den verschiedenen Übergabesystemen	Teil 2 bis 8
Ermittlung der Verluste für Übergabe, Verteilung und Speicherung für...	
...die Heizungsanlage	Teil 5
...das luftführende System im Wohnungsbau	Teil 6
...die Kälteversorgung	Teil 7
...die Trinkwarmwasserbereitung	Teil 8
Aufteilung der notwendigen Wärme- und Kälteabgabe auf die verschiedenen Erzeugungssysteme und Ermittlung der absoluten Verluste	Teil 5 bis 8
Ermittlung des Nutz- und Endenergiebedarfs für die Beleuchtung	Teil 4
Ermittlung der notwendigen Hilfsenergie	Teil 5 bis 9
Anwendung der Gutschriftenmethode für den Stromertrag aus KWK	Teil 9
Soll-Ist-Vergleich des Gesamtprimärenergiebedarfs im Referenzgebäudeverfahren ist keine Aufgabe der Norm, sondern eine Vorgabe der EnEV	EnEV

Tab. 5 Bilanzierungsschritte der DIN 18599, Quelle: fg-ee, Energieatlas B 6.27

Gebäude mit unterschiedlichen Nutzungsbereichen müssen bilanzierungstechnisch in eigene Zonen unterteilt werden. Ein Nutzungsbereich ist definiert durch eine einheitliche Temperatur und Nutzungszeit und gleiche Anforderung an die Beleuchtung, Belüftung, Warmwasserversorgung usw. Der Energiebedarf wird auf Monatsbasis für jede Zone einzeln auf der Bilanzenebene der Nutzenergie bestimmt.

Zonen können dann ggf. zu gemeinsamen Versorgungsbereichen (bspw. Stränge für Heizung, Lüftung, Warmwasser und Klimakälte) zusammengefasst werden.

Für das Solar Decathlon Haus wird bei der Bilanzierung von einem Einzonenmodell ausgegangen, Nutzungstypus ist „Wohngebäude“.

Um den EnEV-Anforderungen gerecht zu werden, muss nachwievordie Qualität der thermischen Hülle über H_T' eigenständig nachgewiesen werden. Der Grenzwert wird dabei nach alter Manier an das A/V_e -Verhältnis (hier Bruttovolumen) gebunden.

Der Grenzwert für den zulässigen Primärenergiebedarf ist hingegen nutzungstypisch festzulegen. Dazu muss eine zweite, individuelle Gebäudeberechnung mit üblicher Anlagentechnik angefertigt werden, das sogenannte Referenzgebäude. Der damit berechnete Primärenergiebedarf ist der Q_p -Grenzwert für den Nachweis. Die notwendigen Anlagenparameter sind in der EnEV weitgehend festgelegt.

Zukünftige Wohnbaustandards

Gegenwärtig diskutiert, aber auch schon geplant und gefördert werden Gebäude mit Nullemission- und Nullenergie-Standard. Korrekt sollte es eher „Netto-Nullenergie“ oder „Netto-Nullemission“ heißen, da auch solche Gebäude selbstverständlich Energie benötigen bzw. Emissionen verursachen, aber in der Lage sind, sich diesen Umsatz in der Jahresbilanz wieder „gutzuschreiben“.

In Betracht für Gutschriften kommen ins Stromnetz eingespeiste Erträge aus PV oder Überschüsse aus KWK, aber auch die Lieferung von Wärme als Dienstleistung für andere Gebäude. Die Gutschrift kann dabei auf verschiedenen Bilanzenebenen erfolgen, also nutz-, end- und primärenergetisch. Weitere Stoff- bzw. Geldströme können aus den verschiedenen Bilanzenebenen abgeleitet werden.

Kap. Bilanzierung von Plusenergiehäusern (PE-Faktoren, Gutschriften, e_g/e_p , ...)

[Forschungsprojekt MIH]
[Bewertungssystem DNQ]

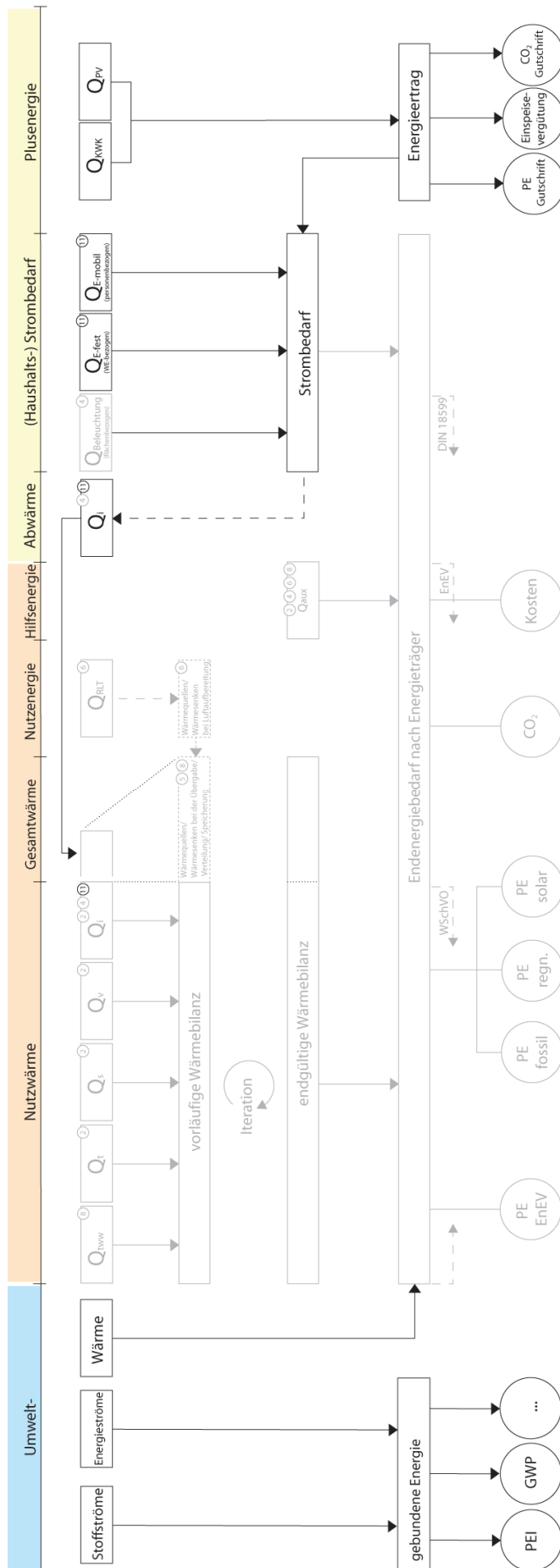
Plusenergie-Gebäude entsprechen konzeptionell den Nullbilanz-Gebäuden, vollziehen aber durch Erhöhung der Energielieferung nach außen den nächsten Schritt, das Haus wird zum „Kraftwerk“.

Autarke Häuser wie das Solar Decathlon Haus heben sich insofern von den genannten Konzepten ab, als dass diese selbst für die Zwischenspeicherung der Energie sorgen. Der Verzicht auf den Anschluss an das Stromnetz als praktisch „unendlichen Speicher“ wird in gut erschlossenen Ländern wie Deutschland die Ausnahme bleiben, da sowohl hohe Kosten als auch hohe Speicherverluste die Folge sind.

Eines ist den genannten Planungskonzepten gemeinsam: Nur der Betrieb des Gebäudes wird bilanziert, wenn auch gesamthaft. Für eine ganzheitliche Erfassung der Auswirkungen einer baulichen Nutzung muss der Lebenszyklus beachtet werden. Themen wie Flexibilität, Nutzungsneutralität, Dauerhaftigkeit, Recyclierbarkeit und Verwertung werden dann relevant.

Um Nachhaltigkeit im Bauwesen zu fördern, muss also über die Energiebilanz hinaus gedacht werden. Verschiedenen Bewertungsmodelle sind in der Erarbeitung, u.a. das Diagnosesystem nachhaltige Gebäudequalität (DNQ) am Fachgebiet ee. Dies ist nicht Gegenstand dieses Forschungsberichtes, hilft aber bei der Einordnung der getroffenen Aussagen in den Gesamtzusammenhang.

Das folgende Flussdiagramm stellt eine Möglichkeit der Bilanzierung von Plusenergiehäusern in der Zukunft dar, die neben einer erweiterten Bilanzierung der Betriebsenergie (Haushaltsstrombedarf und gebäudeintegrierte Stromerzeugung) auch die gebundene „graue Energie“ der verwandten Materialien beinhaltet.



Der Strombedarf in Wohngebäuden ist vollständig anders zusammengesetzt als in Nichtwohngebäuden. Soll dieser Bedarf zukünftig auch im Wohnungsbau erfasst werden, müssen die entsprechenden Teile der DIN 18599 überarbeitet werden. Dies ist insofern notwendig, als dass der Primärenergiebedarf für Haushaltsstrom immer relevanter wird. Dies wird in einem eigenen Kapitel behandelt.

Wird der gesamte Energieverbrauch eines Gebäudes bilanziert, liegt es auch nahe, die gesamte Energiegewinnung im direkten Zusammenhang mit dem Gebäude gegen zu rechnen.

Auf diese Weise wird auch die Abbildung, Bilanzierung, Bewertung und Förderung von Plusenergiehäusern möglich, die sich hauptsächlich oder sogar vollständig aus regenerativen und solaren Quellen versorgen.

Unter dem Gesichtspunkt der Nachhaltigkeit ist es allerdings notwendig, neben der detaillierten Bilanzierung der Betriebsenergie, auch den Aufwand für die Baumaterialien zu erfassen.

Bilanzierung nach Passivhaus-Projektierungspaket (PHPP)

Passivhäuser sind Gebäude mit minimiertem Heizwärmebedarf ($Q_H < 15 \text{ kWh/m}^2\text{a}$) und sehr geringer Heizlast ($\Phi_{HT} < 10 \text{ W/m}^2$). Der gesamte Wärmebedarf wird allein über eine Zuluftheizung in den Raum eingetragen, auf konventionelle (wassergebundene) Heizsysteme und Abstrahlflächen kann vollständig verzichtet werden.

Das Passivhausinstitut bietet ein excelbasiertes Bilanzierungstool an (Passivhaus-Projektierungspaket, PHPP), das speziell für die Konzeption und den Nachweis von Wohngebäuden im Passivhausstandard entwickelt wurde. PHPP greift dabei auf Berechnungsschritte, Kennwerte und Eingangsgrößen zurück, die teilweise nicht EnEV-konform sind, dafür aber zu verlässlichen Informationen und korrekten Energiebilanzen bei hochoptimierten Gebäuden mit minimalen Wärmebedarf führen.

Grundkonzept des Energiestandards „Passivhaus“

Passivhäuser weisen besonders geringe Wärmeverluste auf. Hierfür wurde der Wärmeschutz der Gebäudehülle weit über EnEV-Standard gehoben und der Lüftungswärmeverlust durch Einsatz mechanischer Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung minimiert. Der verbliebene Wärmebedarf wird zum großen Teil nicht aktiv über die Heizanlage gedeckt, sondern durch Optimierung der Nutzung des Fremdwärmeanfalls aus solaren und internen Quellen.

Damit steigt gleichzeitig aber auch die Abhängigkeit des Gebäudes vom Angebot an Fremdwärme. Dementsprechend detailliert müssen alle Einflussfaktoren erfasst und eingegeben werden. Hierin beruhen die größten Unterschiede zwischen Bilanzen nach DIN 4108-6 und denen nach PHPP, das beispielsweise andere Eingangsgrößen für das solare Wärmeangebot Q_S bereit stellt, die internen Wärmegewinne Q_i individuell aus der Eingabe von Elektrogeräten ermittelt und den Nutzungsgrad der Fremdwärme anders berechnet.

Bei Gebäuden mit minimalem Heizwärmebedarf führt das PHPP zu soliden Ergebnissen, da stetige Prüf- und Rückkopplungsschritte zwischen Planung, Bilanzierung und Umsetzung zu validierten Kennwerten geführt haben. Das PHPP wird als Referenz für den Vergleich der beiden EnEV-konformen Berechnungsmethoden herangezogen. Die Bilanzierung des Solar Decathlon Hauses erfolgte dabei während der Entwurfsphase mit der (mittlerweile abgelösten) Programmversion PHPP 2004.

Die Eingaben wurden 2008 in die aktuelle Version PHPP 2007 überführt. Hierbei wurde eine Vielzahl von Korrekturen und Erweiterungen¹³ vorgenommen, die Probleme lösen sollen, die bei der ursprünglichen Berechnung und Planung des SDH aufgetreten sind.

Gebäudeeingabe

Die gesamten Eingaben zum Solar Decathlon Haus, alle zusammenfassenden Tabellen und sich ergebenden Faktoren finden sich in Anhang 1, „Rechenblätter zur PHPP“. Die nachfolgenden Beschreibungen und Anmerkungen beziehen sich darauf.

Gebäudegeometrie

Die Flächen der Bauteile werden im gleichbenannten Tabellenblatt eingegeben und die jeweiligen U-Werte zugeordnet. Auch die Energiebezugsfläche (EBF) wird hier ermittelt, da sie nach PHPP gemäß der Wohnflächenverordnung berechnet und nicht pauschal aus dem Gebäudevolumen abgeleitet wird. Eine Tabelle zur detaillierten Eingabe von Wärmebrückenverlustkoeffizienten ist ebenfalls integriert.

Die Summe der geometrischen Wärmebrückenverluste opaker Bauteile ist bei Passivhäusern meist Null oder sogar negativ, da hier schon planerisch auf deren Vermeidung geachtet werden muss. Deswegen müssen beim PHPP Wärmebrücken nur berücksichtigt werden, wenn ein Verlustkoeffizienten $\psi \geq 0,01$ W/mK überstiegen wird. Wärmebrücken von Fenstern und deren Anschluss fallen nicht hierunter, diese werden im Tabellenblatt „Fenster“ immer berücksichtigt. Die eingegebenen Daten entsprechen denen der folgenden EnEV-Berechnungen.

Zonierung

PHPP arbeitet mit einem Einzonenmodell. Die Bilanzierung ist nur für Wohngebäude verfügbar.

¹³ Informations-Gemeinschaft Passivhaus Deutschland, Alle Neuerungen im PHPP 2007 im Detail:

„[...] Nutzungsprofile erleichtern die Projektierung des Strombedarfs und der internen Wärmequellen – zusätzlich können eigene Profile definiert werden.

„[...] Die neueste Version enthält zahlreiche neue Klimadaten, insbesondere komplette Klimadatensätze für Österreich und die Schweiz, Ostdeutschland sowie für wichtige Städte im übrigen Westeuropa. [...] Die Algorithmen zur Berechnung des Solarstrahlungsangebots und der Verschattung sind jetzt auch außerhalb Mitteleuropas gültig. Auf dem Tabellenblatt Lüftung ersetzt ein klimaunabhängiger Wirkungsgrad für Erdreichwärmeübertrager den Wärmebereitstellungsgrad.

„[...] Im Hinblick auf die im Laufe des Jahres 2007 beginnende Zertifizierung von Wärmepumpen-Kompaktgeräten wurde das Blatt „Kompakt“ vollständig überarbeitet

Das für Passivhäuser in Mitteleuropa bereits bewährte Sommerfallverfahren berücksichtigt nun explizit Erdreichkopplung. [...] Für den Sommerfall ermittelt das PHPP einen zweiten Satz Erdreichtemperaturen. Die Strahlungsbilanz opaker Außenbauteile kann nun ebenfalls berücksichtigt werden. Verschiedene Arten der Nachtlüftung [werden berücksichtigt].

„[...] Für Fälle, in denen aktive Kühlung erforderlich ist, berechnet das PHPP 2007 nun den Nutzkältebedarf. Der Energiebedarf für latente Lasten, d.h. für Luftentfeuchtung, wird abgeschätzt. Das neue Blatt Kühlgeräte bestimmt den maximalen Kühlleistungsbedarf als Tagesmittelwert. Eine eventuelle Raumkühlung wurde in die Primärenergiebilanz aufgenommen.

„[...] Im Hinblick auf die im Laufe des Jahres 2007 beginnende Zertifizierung von Wärmepumpen-Kompaktgeräten wurde das Blatt „Kompakt“ vollständig überarbeitet.“

Hüllflächenbauteile

Die U-Werte der thermischen Gebäudehülle werden in Tabellenblatt „U-Werte“ berechnet. Der Vergleich zwischen Messungen von Bauteilaufbauten in Feldversuchen und Berechnungen der Wärmebilanz von Bauteilen bei Anwendung stationärer U-Werte hat ergeben, dass die Speicherkapazität von Außenbauteilen gegenüber dem für Passivhäuser notwendigen Wärmedurchgangskoeffizienten praktisch irrelevant ist. Wärmebrückenzuschläge werden detailliert berechnet bzw. wärmebrückenfreie Details vorgeschrieben.

Konstruktive Wärmebrücken, die vom Aufbau des Bauteils (z.B. Holzanteile) herrühren, werden dort gemäß DIN EN 6946 berücksichtigt. Abweichend dazu wurde im Fall des SDH der Holzanteil genau berechnet und die verschiedenen Flächenanteile mit gleichen U-Werten in jeweils einzelnen Wärmebrücken-Berechnungen aufgeteilt. Dieser Ansatz wurde gewählt, da die PHPP-Berechnung den Entwurfsprozess begleitete und ständig Änderungen der Konstruktion und damit der Flächenanteile erfolgte.

Die U-Werte der opaken Bauteile liegen bei 0,09 bis 0,10 W/m²K und sind damit sehr niedrig. Dies ist bei kleinen und damit nur bedingt kompakten Gebäuden notwendig, um die Einhaltung einer nach Passivhaus-Standard maximal zulässigen Heizlast zu gewährleisten. Durch den Einsatz von VIP ist der Wandaufbau mit 23 cm trotzdem nicht übermäßig stark und führt zu einem günstigen Verhältnis von Konstruktions- zu Nutzflächen. Hierin inbegriffen ist eine Luftschicht von 10 cm als freie, raumseitige Installationsebene.

Wärmebilanz des Gebäudes

Klimadatensatz

Ist das Gebäudekonzept wie beim SDH stark von der passiven Nutzung des solaren Angebots geprägt, hängen Wärmebilanz und Funktionsfähigkeit des Systems stark vom Außenklima und der verfügbaren Solarstrahlung ab. Die im PHPP vorliegenden Wetterdatensätze entsprechen denen nach DIN 4108-6. Die Datenbasis wurde aber erweitert, um auch die sommerlichen Kühllasten ausreichend beurteilen zu können.

PHPP erlaubt für die konkrete Detaillierung der Bauteilaufbauten von Passivhäusern oder die Energieberatungen die Bilanzierung mit regionalen Klimadaten des gegebenen Standorts. Um eine allgemeine Aussage zum Gebäudekonzept treffen zu können, wird allerdings der Standard-Klimadatensatz für Deutschland gewählt, der bekanntlich Würzburger Wetter entspricht. Dies dient auch der Vergleichbarkeit mit den beiden Kennwertbilanzen nach EnEV, in denen bislang nur dieses Wetter vorgesehen ist.

Heizgradtage

Aufgrund der geringen Wärmeverluste beträgt die Heizgrenztemperatur bei Passivhäusern lediglich 5 bis 6°C. Die Heizperiode für Gebäude im Passivhausstandard sinkt demnach auf 90 bis 120 Tage pro Jahr.

Bei Gebäuden mit großem Verglasungsanteil kann dieser Wert allerdings auch spürbar höher liegen. Dies hat nicht zwangsläufig einen höheren Heizwärmebedarf zur Folge, da entsprechend höhere solare und interne Wärmegewinne zu erzielen sind.

Beim SDH werden im PHPP aufgrund der großen Fensterflächen nach Süd und Nord Werte von 225 Tagen (Standard Würzburg im Jahresverfahren) und sogar 273 Tagen im Monatsverfahren ermittelt.

Der große Unterschied zwischen Monats- und Jahresverfahren zieht sich durch die gesamte Berechnung des PHPP durch. Im Folgenden wird deshalb nur noch auf das Monatsverfahren eingegangen. Die Gradtagzahl beträgt hierbei 89 kWh/a, ein für Passivhäuser recht hoher Wert.

Transmissionsverluste

Für die Berechnung der Transmissionswärmeverluste werden im Tabellenblatt „Flächen“ die Leitwerte der Hüllflächenbauteile zusammengefasst. Die zeitbezogenen Wärmeverluste werden mit den entsprechenden Gradtagzahlen in den Tabellenblättern „Heizwärme“ bzw. „Monatsv“ für Monatsverfahren berechnet. Die Transmissionswärmeverluste ergeben sich zu 4.069 kWh/a. Dies entspricht einem H_T von 45,5 W/K.

Die Bilanz nach DIN V 18599 ergibt für H_T einen Wert von 41,4 W/K. Der Unterschied bei der Berechnung der Transmissionswärmeverluste rührt von der genaueren Berechnung der Fenster und der Verluste gegen Erdreich im PHPP her.

Die Wärmeverluste gegen Erdreich werden beim PHPP immer nach einem korrigierten Verfahren der DIN EN ISO 13370 berechnet. Eine Berechnung mit pauschalen Reduktionsfaktoren f_x wie bei der EnEV ist hier nicht vorgesehen.

Die Transmissionswärmeverluste über transparente Bauteile werden in der Tabelle „Fenster“ detaillierter erfasst. Dazu werden alle Scheiben einzeln berücksichtigt und eine Fensterberechnung gemäß DIN EN ISO 10077 erstellt. Dabei werden neben den U-Werten für Glas und Rahmen sowohl die Wärmebrückenverluste des Glasrandverbundes als auch der Einbausituation konkret mit einberechnet.

Lüftungswärmeverluste

Zuerst wird im Blatt „Lüftung“ der notwendige Luftwechsel bestimmt, wobei das Maximum aus Frischluftbedarf für die Personen, Abluftbedarf der Ablufträume und Grundlüftungsbedarf als Auslegungsvolumenstrom gewählt wird. Danach wird der mittlere Luftwechsel festgelegt, der bei Wohngebäuden meist einem 0,3 bis 0,4-fachen Luftwechsel entspricht.

Nach Eingabe der zusätzlichen natürlichen Infiltrationsrandbedingungen gemäß EN 832 bzw. DIN 4108-6, dem realen Netto-Innenvolumen (analog der Luftdichtheitsmessung gemäß DIN EN 13829 bzw. DIN 277) sowie dem gemessenen Luftwechsel n_{50} , werden die notwendigen Daten der Lüftungsanlage eingegeben.

Hierbei ist hervorzuheben, dass die Kanalführung der Frisch- und Fortluft zum Lüftungsgerät im Innenraum eine große Rolle spielt und inkl. der Dämmeigenschaften exakt eingegeben werden muss (Teil 6 DIN V 18599). Die Kanalführung im SDH (vertikal durch den zentralen Kern nach unten und horizontal durch die Bodenplattform nach außen) ist im Vergleich zu einer Überdachführung als eher ungünstige zu bezeichnen. Hintergrund ist die Option, einen Erdreichwärmetauscher anschließen zu können. Zudem soll die Dachintegration der PV nicht gestört werden.

Der Wirkungsgrad des Wärmetauschers sinkt deshalb von 76% auf nur noch 59%, da die kalte Frischluft bereits im Luftkanal Wärme aus dem Raum abzieht. Die Temperaturdifferenz zur Abluft nimmt ab, der Wärmetauschprozess wird ineffektiver. Gleichzeitig zieht auch die im Wärmetauscher abgekühlte Abluft wieder Wärme aus dem Raum ab, bevor sie als Fortluft das Gebäude verlässt.

Eine Optimierung der Dämmung der Luftkanäle ist für die Zukunft vorgesehen.

Solare Wärmegewinne

Die passive Nutzung des solaren Wärmeangebots ist zentraler Planungsfaktor für Passivhäuser und begründet auch dessen Namen. Deswegen wird beim PHPP großer Wert auf die detaillierte Berechnung gelegt. Wie schon oben im Kapitel Transmissionswärmeverluste aufgezeigt, werden die Fenster scheibenweise erfasst. Im Tabellenblatt „Verschattung“ werden wieder von den EnEV-Normen abweichende Berechnungsansätze für die Verschattung genutzt:

- Laibungen werden berücksichtigt, da sie bei hohen Dämmstoffstärken (z.B. 30 cm WDVS) die Fenster z.T. erheblich verschatten.
- Weitere Parametern der Verschattung werden über „Entfernung der Verschattungskante“ und „Abstand zur Verglasung“ erfasst.

Außerdem kann im PHPP für den Sommerfall eine zusätzliche Verschattung durch z.B. bewegliche Sonnenschutzvorrichtungen angegeben werden. Dadurch können die sommerlichen Lasten soweit reduziert werden, dass keine Überhitzung mehr auftritt.

Das solare Wärmeangebot beläuft sich nach PHPP auf 4.145 kWh/a. Bei einem ermittelten Fremdwärmenutzungsgrad von 64% werden davon 2.653 kWh/a als Wärmege-
winn auch genutzt. Bei der Berechnung nach DIN 4108-6 werden 2.360 kWh/a an solaren Gewinnen ausgewiesen, nach DIN V 18599 1.981 kWh im Jahr.

Der doch bedeutende Unterschied ergibt sich aus der Summe der verschiedenen Ansätze gerade im Bereich der Berechnung der Wärmeeinträge transparenter Bauteile. Aber auch die wie zuvor beschrieben lange Heizperiode mit entsprechender Bilanzierung von Wärmegewinnen in der Übergangszeit zeichnet sich hier ab.

Interne Wärmegewinne

Der Strombedarf kann im PHPP pauschal mit $2,1 \text{ W/m}^2$ oder wie hier gewählt individuell aus Personen und Stromverbrauchern berechnet werden. Da hier im Modellfall von einer studentischen Nutzung mit hoher Belegungsdichte und hoher Nutzung von elektronischen Geräten ausgegangen wird, wurden verschiedene Modelle berechnet und die internen Wärmequellen schließlich auf $4,0 \text{ W/m}^2$ festgelegt.

Fremdwärmenutzungsgrad¹⁴

Für den Fremdwärmeanfall wird jeweils ein monatlicher Nutzungsgrad berechnet und daraus ein Jahreswert generiert. In der Jahresbilanz macht dies für das SDH 64% aus, dies entspricht dem Summenwert für die Heizzeit. Die monatsweisen Ausnutzungsgrade nach PHPP sind etwas höher als nach DIN 4108-6, beide sind spürbar höher als nach DIN V 18599.

Heizwärmebedarf

Die Heizlast von Passivhäusern soll aus bauphysikalischen Gründen unter 10 W/m^2 liegen. Dies resultiert in einem Heizwärmebedarf von unter $15 \text{ kWh/m}^2\text{a}$. Die absoluten Wärmeströme sind aber wesentlich höher: Die Summe der Wärmeverluste Q_T und Q_V in der Heizzeit beträgt 4.875 kWh/a ($= 83,5 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ bezogen auf $A_N = 58,4 \text{ m}^2$), das Fremdwärmeangebot Q_S und Q_I beläuft sich auf 5.540 kWh/a ($= 94,9 \text{ kWh/m}^2\text{a}$).

¹⁴ Das Problem des Fremdwärmenutzungsgrades sowie der Wärmeübergabe muss bei hochwärmegeprägten Objekten neu bearbeitet werden. [Die Bilanzrechnungen in Deutschland] bedienen sich iterativer Formeln, die aus einer Reihe älterer Simulationen stammen [und deren Zutreffen heutzutage bezweifelt werden darf]. Stillschweigend werden über Gesetze Rechenformeln verankert, die nicht für den Einsatz bei Niedrigst- oder Nullenergiehäusern geschaffen wurden.

Mit dem Ausnutzungsgrad von 64% ergibt sich der Jahresheizwärmebedarf Q_H zu 1.353 kWh/a oder eben 25,5 kWh/m²a. Unter den gegebenen Umständen erfüllt das SDH die Kriterien für ein Passivhaus nicht, Grund ist die geringe Größe.

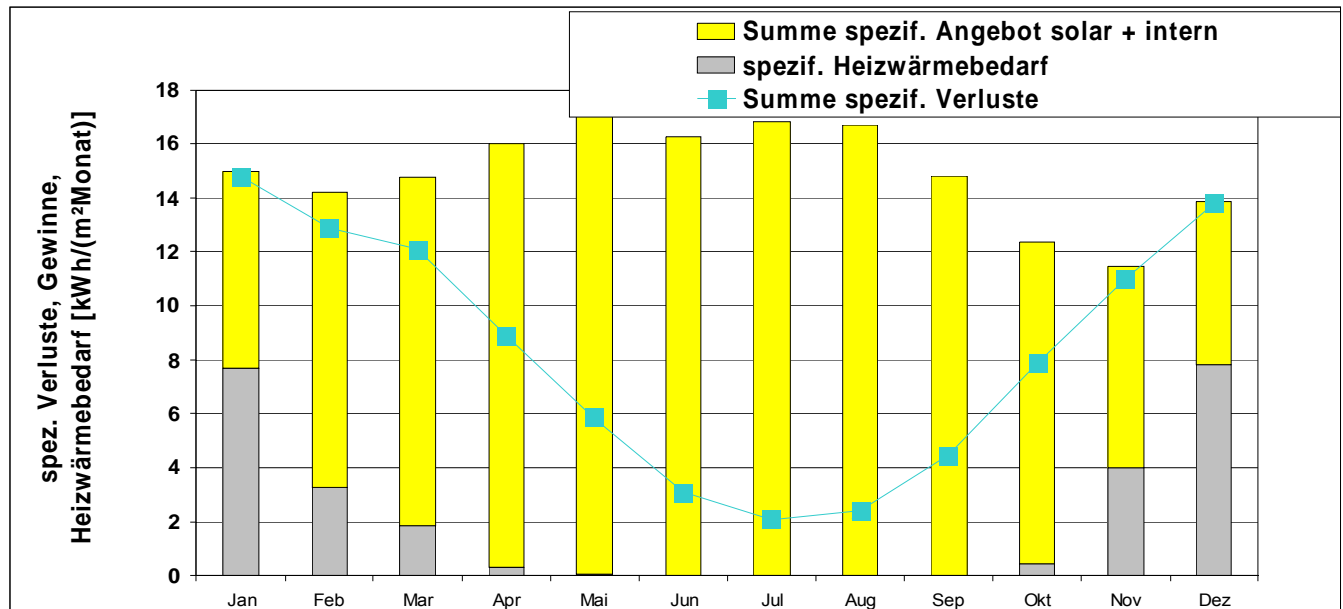


Abb. 16 Heizwärmebedarf nach PHPP, Quelle: Energiebündel

Gesamtwärmebedarf

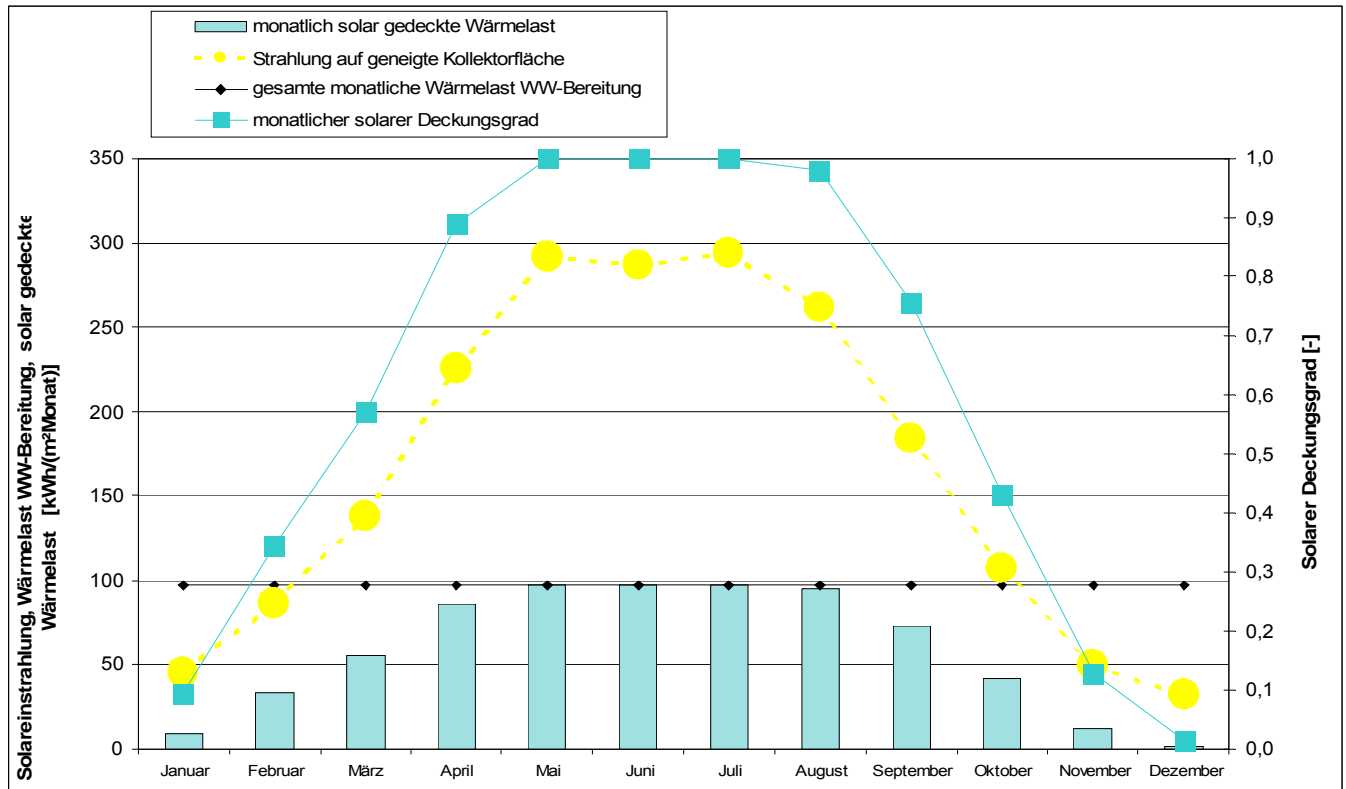
Warmwasserbereitung

Der Wärmebedarf für Trinkwarmwasser wird personenabhängig mit 25 l/d mit einer Temperatur von 60°C angenommen, was bei einer angenommenen mittleren Belegung von 2,5 Personen mit 24,8 kWh/m²a dem doppelten Warmwasser-wärmebedarf der EnEV entspricht.

In der Tabelle „WW+Verteil“ wird der Warmwasserbedarf sowie die Verluste für eine – hier aber nicht vorliegende – Zirkulation sowie Wärmespeicherung angegeben.

Ergänzt wird das Blatt um die Berechnung der solaren Wärmeerträge für Warmwasserbereitung in der Tabelle „SolarWW“. Beim SDH wird mit 2,3 m² Aperturfläche ein Solarertrag im Jahresmittel von ca. 60% erreicht.

Auch dieses Rechenverfahren weicht beim PHPP von einem standardisierten mit Korrekturfaktoren versehenen Rechenverfahren ab. Die monatlichen Erträge werden mit einem eigenen Verfahren nach Duffie/Beckmann bilanziert (siehe Diagramm).



Anlagentechnik

Mechanische Lüftung

Die Lüftung wurde bei den Lüftungswärmeverlusten bereits vollständig erfasst. Dort wird auch der Hilfsstrombedarf über die Stromeffizienz der Anlage angenommen.

Der Wärmerückgewinnungsgrad sollte laut Passivhaus-Institut gegenüber den nach Standardbedingungen gemessenen Werten um 12% reduziert werden. Nilan gibt für sein Kompaktlüftungsgerät als Standardwert 84% an, für Berechnungen mit PHPP immerhin noch 76% (statt 72%). Der Wert erscheint realistisch und wird deswegen in den Berechnungen einheitlich angesetzt.

Die Lüftungswärmeverluste werden zusammen mit den Transmissionswärmeverlusten monatlich mit der entsprechenden Gradtagzahl berechnet, jeweils getrennt nach Verlusten über das Erdreich und direkt gegen Außenluft. Der Wärmerückgewinnungsgrad des Wärmeübertragers wird dabei direkt von den Wärmeverlusten abgezogen (energetischer Luftwechsel).

Heizsystem

Passivhäuser werden generell über Zulufterwärmung geheizt, für diese Form des Wärmetransports und der Wärmeabgabe an den Raum ist PHPP optimiert. Für Kompaktgeräte, wie sie im Solar Decathlon Haus verwendet werden, ist in PHPP 2007 eine vereinfachte Eingabemöglichkeit geschaffen worden.

Leider sind keine Standardwerte vorgegeben, wie das für Heizkessel oder Fernwärme der Fall ist. Gemessene Werte liegen meist nicht vor. Eine Zertifizierung, wie sie das Passivhaus-Institut für Kompaktgeräte auch anbietet, ist bislang für kein Gerät veröffentlicht worden.

Für das Kompaktlüftungsgerät liegen nur (unbestätigte) Messwerte vom Hersteller selbst vor. Diesen Angaben zur Effizienz liegt allerdings eine „Gesamtarbeitszahl“ des Gerätes zu Grunde, die den vorgeschalteten Wärmetauscher einschließt. Für die Berechnung in PHPP wird ein für die Wärmepumpe isolierter Wert für den „Coefficient of Performance“ (COP) benötigt, wie dies auch üblich ist.

Bilanzierungen mit energetischem Luftwechsel sind zwingend auf eine COP-Angabe für die WP allein angewiesen. Diese muss deswegen aus den gegebenen Werten des Gesamtsystems manuell zurückgerechnet werden:

Anhand bekannter Messpunkt-Temperaturen wird die Heizleistung für den Wärmeübertrager bei 76% Wirkungsgrad berechnet und von der angegebenen Heizleistung abgezogen. Die restliche Heizleistung wird von der Wärmepumpe bereit gestellt, deren Leistungsaufnahme wiederum bekannt ist (aus dem vorliegenden COP und der gesamten Heizleistung berechnet). Aus den verschiedenen Teilwerten kann schließlich ein korrigierter und zulässig genauer COP für die WP berechnet werden.

Die isolierte Leistungszahl des Nilan-Gerätes scheint nach diesem Ansatz relativ schlecht zu sein. In der Summe ergibt sich für Warmwasser und Heizung eine Jahresarbeitszahl von 1,3, also nur wenig höher als eine Direktstromheizung. Im Blatt „Kompakt“ wird der Anteil der möglichen Heizwärmebereitstellung durch die Wärmepumpe sowie die notwendige restliche Direktstromheizung berechnet. Es wird dabei von einer monovalenten Betriebsweise ausgegangen. Die Berechnung erfolgt für Heizung und Warmwasser, ggf. auch für zusätzlichen Warmwasserbedarf von Wasch- oder Spülmaschine.

In der Tabelle „WW+Verteil“ wird der Wärmeverluste der Verteilleitungen angegeben, auch für die Heizleitungen. Eine pauschale Standardangabe ist nicht möglich.

Kühlsystem

Durch den Ansatz beweglicher Sonnenschutzrichtungen fallen die Wärmelasten im Sommer recht gering aus. Das Kompaktlüftungsgerät kann mit dem Trinkwasser als Wärmesenke für eine gewisse Raumluftkühlung sorgen. Auch Nachtlüftung ist möglich. Eine darüber hinaus gehende, explizite Klimatisierung wird nicht bilanziert.

Hilfs- und Haushaltstrombedarf (inkl. Beleuchtung)

In den Tabellen „Strom“ und „Hilfsstrom“ wird der komplette Haushaltsstrombedarf bzw. Hilfsstrombedarf der Haustechnik angegeben. Dafür gibt es jeweils Standardwerte, die ausgewählt werden können. Beim Haushaltsstrom kann dabei auch gewählt werden, ob die von Wasch- und Spülmaschine benötigte Wärme elektrisch oder per Warmwasser bereitgestellt wird. Die Beleuchtung wird durch Angabe des Anteils an Energiesparleuchten eingegeben und über Standardwerte und Personenzahl ein resultierender Strombedarf ermittelt.

Im Ergebnis wird über diese Angaben dann (auf Wunsch) auch das interne Wärmeangebot berechnet. Die detaillierte Erfassung des Haushaltsstrombedarfs, dessen primärenergetische Bewertung neben dem Energiebedarf für Wärme und seine Integration in die Berechnung der Wärmebilanz ist ein gewichtiger Unterschied zu den Ansätzen nach EnEV.

Die elektrische Vorheizung für den Lüftungswärmetauscher, die dessen Einfrieren vermeiden soll, wird als Hilfsstrom bilanziert, da kein maßgeblicher Wärmebeitrag zu erwarten ist. Beim SDH wurde eine Einschalt-Grenztemperatur von -2°C gewählt.

Endenergiebedarf

Der Endenergiebedarf ergibt sich für Wärme und Hilfsstrom zu $48 \text{ kWh/m}^2\text{a}$, inkl. Haushaltsstrom müssen dem Gebäude $80 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ Strom zugeführt werden.

Primärenergiebedarf

Der Primärenergiebedarf und seine Zusammensetzung kann den Tabellen entnommen werden. Aufgrund des relativ hohen Wärmebedarfs (für eine Passivhaus-Bilanzierung), der verbesserungswürdigen Arbeitszahl der Wärmepumpe und der hohen Dichte an Elektrogeräten wird das Primärenergiekriterium des PHPP von max. $120 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ (für alle Dienstleistungen, nicht nur Wärme) nicht eingehalten.

Nachweisverfahren

Anforderungsniveaus

Das Passivhaus gehört zu den wenigen Gebäudeenergiestandards, die nicht aus Gegebenheiten im Bestand oder wirtschaftlich und bautechnisch leicht zu ermöglichenden Bauweisen heraus definiert wurden. Hinter dem Gebäudekonzept steht die bauphysikalische Frage: Welche Wärmemenge kann man rein über den Luftwechsel in ein Gebäude einbringen?

Die Hauptanforderung an ein Passivhaus ist demnach die Unterschreitung einer berechneten und in Feldversuchen nachgewiesenen Heizlast, auch wenn der Kennwert für den Heizwärmebedarf in der Öffentlichkeit bekannter ist. Der Primärenergiebedarf ist eine reine Nebenanforderung. Auch hier wird ein eigener Ansatz verfolgt, der den Bedarf an (Haushalts-)Strom integriert, nicht nur den Hilfsenergiebedarf für die Wärmeversorgung.

Eine weitere wichtige Forderung ist das Behaglichkeitskriterium vor Zugluftstörungen, weswegen die hohe Qualität der Fenster ($U_w < 0,80 \text{ W/m}^2\text{K}$) bei großen Fensterflächen ebenfalls sehr wichtig ist.

Einhaltung zulässiger Höchstwerte

Zu den festgelegten Prüfwerten für ein Passivhaus zählt der Heizwärmebedarf mit einem Maximalwert von $15 \text{ kWh/m}^2\text{a}$. Dieser ergibt sich in unserem Klima indirekte aus der Vorgabe einer maximalen Heizlast von 10 W/m^2 , die über die Zuluft in den Raum eingetragen werden kann.

Beide Werte werden vom SDH trotz großer Anstrengungen im Bereich des Wärmeschutzes, der Aktivierung passiver solarer Potentiale und der Integration effizienter aktiver Techniken rechnerisch nicht eingehalten. Begründungen hierfür wurden bereits genannt (Größe, Kompaktheit) und sind wettbewerbsbedingt. Eine Prüfung unter Realbedingungen wird im Rahmen eines Langzeitmonitorings erfolgen.

Bilanzierung nach DIN 4108-6 und DIN 4701-10

Energiebilanzen für Wohngebäude basieren gewöhnlich auf den Rechenregeln nach DIN V 4108-6 und DIN V 4701-10. Für Nichtwohngebäude wurden mit der EnEV 2007 darüber hinaus die komplexen Bilanzierungsregeln der DIN V 18599 verbindlich vorgeschrieben. Die Methoden können auch auf Wohngebäude angewendet werden, zunächst wird jedoch der Versuch einer Bilanzierung nach DIN V 4108-6 und DIN V 4701-10 unternommen.

Mit Dämmwerk wurde ein Programmpaket zur energetischen Bilanzierung von Gebäuden eingesetzt, das beide Berechnungsmethoden unterstützt. Grundlegende Eingabe, wie die Gebäudegeometrie, die U-Werte der Hüllflächenbauteile oder die örtlichen Klimabedingungen sind dabei nach DIN V 4108/4701 und DIN V 18599 deckungsgleich.

Für die Berechnung des Solar Decathlon Gebäudes mit Dämmwerk wird die Eingabe der Gebäudegeometrie, die Größe der Hüllflächen, deren Orientierung und Aufbau sowie die Eingabe der gewählten Haustechnik benötigt.

Gebäudeeingabe

Die gesamten Eingaben zum Solar Decathlon Haus, alle zusammenfassenden Tabellen und sich ergebenden Faktoren finden sich in Anhang 2, „Rechenblätter zur DIN 4108-6 / DIN 4701-10“. Die nachfolgenden Beschreibungen und Anmerkungen beziehen sich darauf.

Gebäudegeometrie

Die Flächenerfassung kann auf verschiedene Weise erfolgen. Gewählt wurde die grafische Methode des „Flächenmanagements mit Faltmodellen“. Dabei wird der dreidimensionale Baukörper über dem Grundrißpolygon grafisch aufgefaltet und flächig dargestellt. Jeder der entstandenen Hüllflächen kann anschließend das dazugehörige Bauteil zugeordnet werden. Auch die Eingabe von Fenstern kann in dem Faltmodell erfolgen. Dabei wird automatisch die Fensterfläche von der opaken Wandfläche für die weiteren Berechnungen subtrahiert.

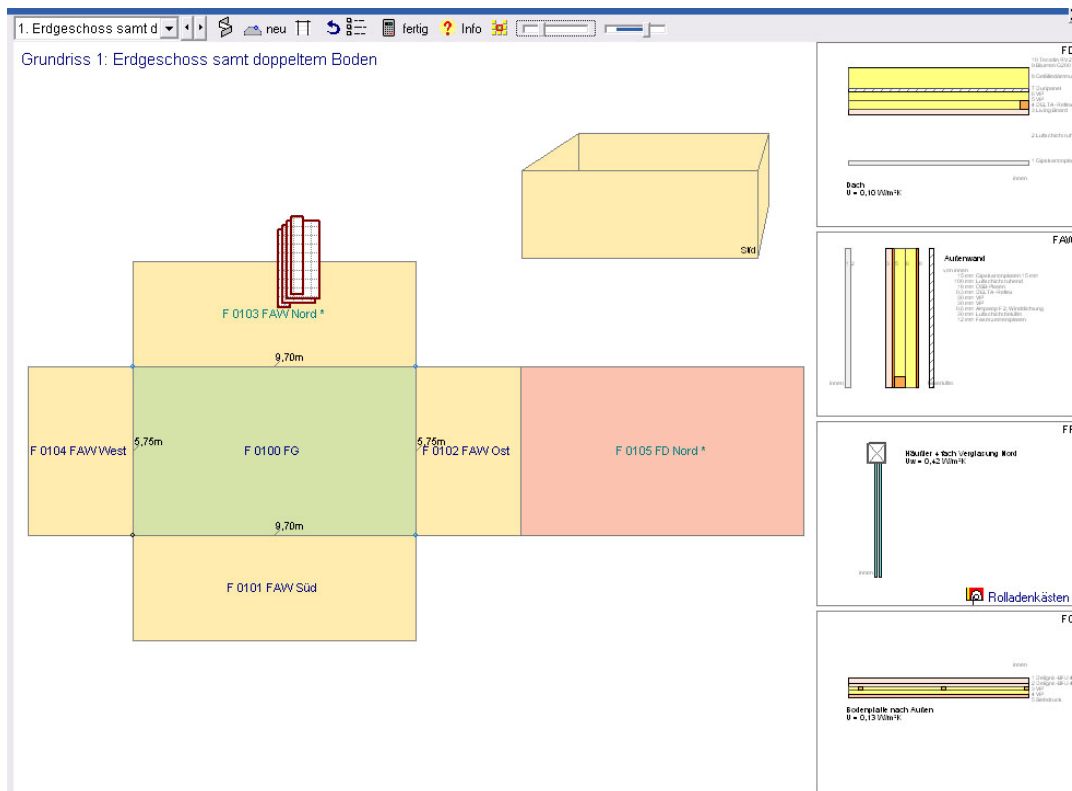


Abb. 17 Flächeneingabe über das Faltmodell, Quelle: DÄMMWERK

Zonierung

Das SDH besteht aus einem Raum mit offener Küche. Die flächenmäßig variable Nasszelle und der Haustechnikblock in der Raummitte sind relativ klein, zwischen Naßzelle und Wohnraum besteht außerdem Luftverbund. Eine Zonierung ist daher nicht sinnvoll. Eine Gebäudezonierung ist in DIN V 4108-6 ohnehin nicht vorgesehen.

Hüllflächenbauteile

Die Eingabe der Bauteilquerschnitte erfolgt über einen Baustoffassistenten. Dieser bietet eine Materialbibliothek mit gängigen Baustoffen samt deren Kennwerten. Aus diesem Katalog können die Baustoffe Schicht für Schicht mit einem einfachen Klick dem Bauteilquerschnitt hinzugefügt werden. Dabei werden automatisch die Kennwerte wie die Wärmeleitfähigkeit der einzelnen Materialien übertragen.

Aus der Schichtenfolge und den Materialparametern können, abgesehen vom Bauteil-U-Wert, weitere Bauteileigenschaften wie die Speichermasse (relevant für die Nutzungsgrade von Wärmegewinnen), die Phasenverschiebung (relevant für den sommerlichen Wärmeschutz) oder thermisch-dynamische Eigenschaften (relevant für instationäre Prozesse) abgeleitet werden. Die Berechnung von Bauteilquerschnitten mit Rahmenanteilen, wie im Skelettbau üblich, ist möglich.

Auf diese Weise wurden die opaken Wände, das Dach, der Boden sowie die Fenster und Türen eingegeben. Die thermischen Bilanzen von Fensterflächen sind von den U-Werten der Verglasung und des Rahmens, vom längenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten des Glasrandes (lineare Wärmebrücken), sowie vom Gesamtenergiedurchlassgrad der Verglasung (relevant für solare Wärmegewinne) abhängig. Die Berechnung der benötigten Kennwerte wurde nach EN ISO 10077 vorgenommen, mit Tabellenwerten nach DIN 4108-4 besteht eine alternative Berechnungsmöglichkeit.

Die Bauteilaufbauten sind im Kapitel „Das Solar Decathlon Haus“ beschrieben.

Neue, auf dem Markt erhältliche und in dem Haus verbaute Materialien wie Vakuum-Isolations-Paneele (VIP) und Gipskartonplatten mit eingebettetem mikroverkapselten Latentwärmespeichermaterial (PCM) befanden sich noch nicht in der Materialbibliothek und müssen von Hand eingegeben werden. Die verbauten VIP-Paneele sind seit Juli 2007 bauaufsichtlich zugelassen, die verwendeten PCM-Gipskartonplatten seit November 2006.

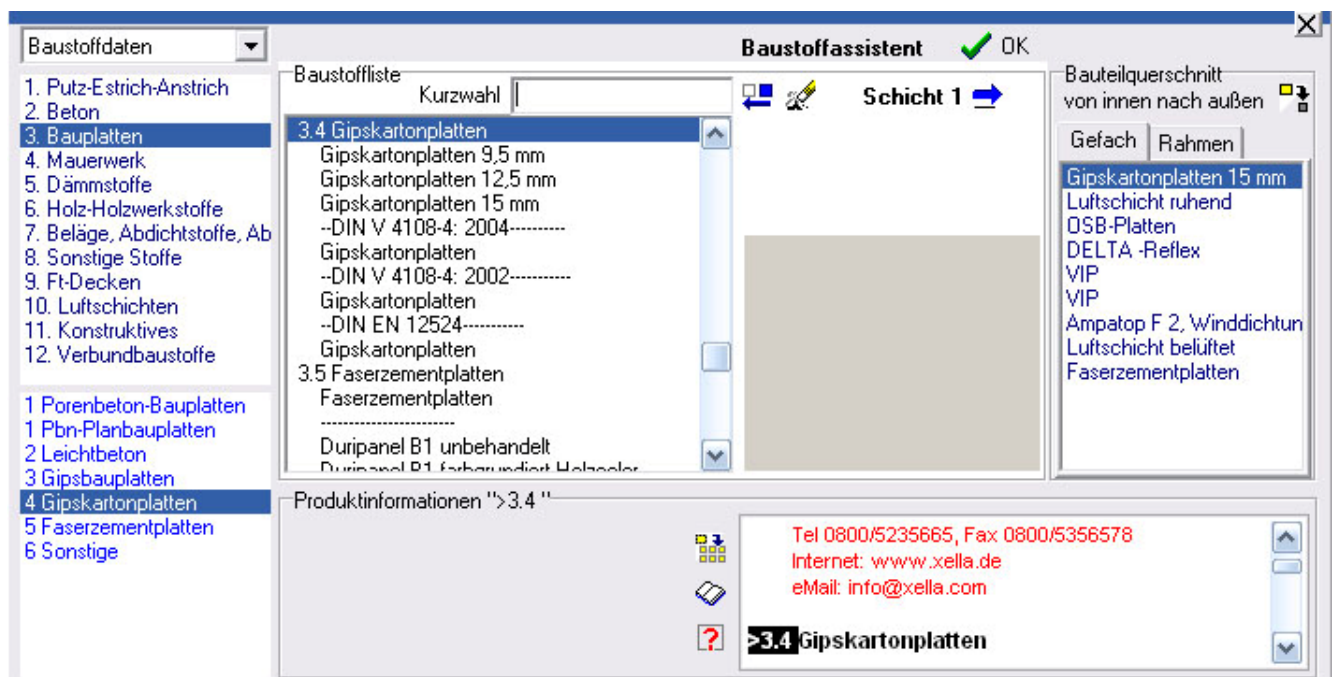


Abb. 18 Eingabe über den Baustoffassistent, Quelle: DÄMMWERK

Querschnitt

von innen	s [cm]	ρ [kg/m ³]	[kg/m ²]	λ [W/mK]	R [m ² K/W]
R _{Si}					0,130
01 Gipskartonplatten 15 mm	1,500	900	13,5	0,250	0,060
02 Luftschicht ruhend	10,000	1	0,1	-	0,160
03 OSB-Platten	1,800	650	11,7	0,130	0,138
04 DELTA -Reflex	0,025	1100	0,3	0,170	0,001
05 VIP	3,000	30	0,9	0,006	5,000
06 VIP	3,000	30	0,9	0,006	5,000
07 Ampatop F 2, Winddichtung	0,060	-	-	-	-
08 Luftschicht belüftet	3,000	1	0,0	-	-
09 Faserzementplatten	1,200	2000	24,0	-	-
R _{Se}					0,130
d = 23,585 G = 51,4 R _T = 10,62					

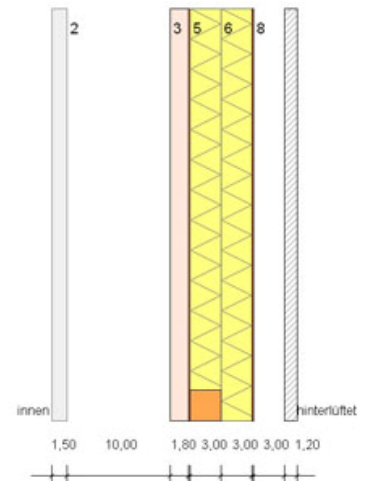


Abb. 19 Bauteilquerschnitte und bauphysikalische Eigenschaften, Quelle: DÄMMWERK

Wärmebilanz des Gebäudes

Klimadatenatz

Der „Standort Deutschland“ (Klima der Region Würzburg) ist aus Gründen der Vergleichbarkeit für EnEV-Nachweise allgemein verbindlich. Berechnungen für andere Standorte / andere Klimadaten sind nach DIN V 4108-6 aber möglich und im Fall der Energieberatung (möglichst genaue Ermittlung des realen Energiebedarfs) sowie im europäischen Ausland auch sinnvoll.

Aus der Standortfestlegung ergeben sich für die Bilanzierung die monatlichen, mittleren Außentemperaturen und die Strahlungsangebote.

Standort **"Deutschland"**, 50°,00' nördliche Breite, Region 0,
T_{a(im Jahresmittel)} = 8,9°C, Sollinnentemperatur = 19,0 °C

Für das SDH wird ebenfalls aus Gründen der Vergleichbarkeit (z.B. mit den Berechnungen nach DIN V 18599) der „Standort Deutschland“ gewählt. Der EnEV-Rechenansatz für die Sollinnentemperatur (19°C) ist ein Mittelwert für die genutzten Räume, enthält daher definitionsgemäß auch niedriger temperierte Bereiche, wie Flure und Nebenräume.

Heizgradtage

Für eine Periodenbilanzierung kann man über den Gebäudestandort und die Heizgrenztemperatur die Heizgradtage ermitteln. Bilanziert wird allerdings mit dem Monatsbilanzverfahren, eine Jahresheizgradtagszahl wird dabei nicht berücksichtigt. Die ausgewiesene Heizzeit beträgt 92 Tagen und dauert vom 9. Dezember bis 17. März.

Transmissionsverluste

Die Größen und U-Werte der das beheizte Volumen abschließenden Hüllflächen werden wie dargestellt angenommen.

Spezifische Wärmeverluste des beheizten Bereichs

Hüllfläche	A [m ²]	U [W/m ² K]	F _x [-]	Anmerkung	L _D [W/K]
SDH					
1 F 0105 FD	55,6	0,089	1,00 F _D	52	5,0
1a F 0105a FD	3,2	0,089	1,00 F _D	52	0,3
2 F 0101 FAW Süd	14,1	0,093	1,00 F _{AW}	52	1,3
3 F 0102 FAW Ost	23,0	0,093	1,00 F _{AW}	52	2,1
4 F 0103 FAW Nord	14,2	0,093	1,00 F _{AW}	52	1,3
5 F 0104 FAW West	23,0	0,093	1,00 F _{AW}	52	2,1
6 A 0101 FF Süd	24,7	0,599	1,00 F _F	52 02	14,8
7 A 0103 FF Nord	16,5	0,422	1,00 F _F	52 02	7,0
8 T 0103 FAW Türen	10,1	0,235	1,00 F _{AW}	52	2,4
9 F 0100 FG	55,6	0,109	0,60 F _G	52 25 14	3,6
9a F 0100a FG	3,2	0,109	0,60 F _G	52 25 14	0,2
$\Sigma A \text{ [m}^2\text{]} =$		243,1	$\Sigma L_D + H_u + L_s \text{ [W/K]} =$		40,1

Bodenplattenmaß $B' = A_G / (0.5 P) = 56 / 15 = 3,60 \text{ m}$ (DIN V 4108-6, E.3)

Wärmebrückeneinflüsse werden gesondert berechnet.

Die Grundflächen zum Erdreich / zur Aufstellfläche (Zeilen 9 und 9a) werden mit dem pauschalen Temperaturkorrekturfaktor $F_x = 0,60$ gemindert, der sich aus dem Hüllflächentyp „Bodenplatte auf Erdreich“ und dem Bodenplattenmaß $B' = 3,60 \text{ m}$ ergibt (DIN V 4108-6, Tab.3).

Ein F_x -Wert von 0,60 bedeutet, dass aufgrund des geringeren Temperaturgefälles zum Erdreich nur 60% des Wärmeverlustes zur Aufstellfläche bilanziert werden. Die EnEV gestattet eine genauere Ermittlung der Wärmeverluste der unteren Gebäudeabschlüsse nach EN ISO 13370. Diese Berechnung der Leitwerte zum Erdreich ist insbesondere bei großen Bodenplatten auch aufgrund des Wärmeinseleffektes anzuwenden.

Für das SDH ergibt sich der Transmissionswärmeverlust $\Sigma L_D + H_u + L_s$ von 40,1 W/K.

Die zusätzlichen Wärmeverluste durch Wärmebrücken werden nach DIN 4108-6 gesondert berechnet. Sie können auch durch pauschale Wärmebrückenzuschläge berücksichtigt werden. Der pauschale Ansatz von 0,05 W/m²K führt aber bei einer Hüllfläche von 243,1 m² zu einem zusätzlichen Wärmetransfer von 12,1 W/K.

In der Summe ergäbe sich $H_T = L_D + L_{D,WB} = A * (U * F_x + 0,05) = 52,2 \text{ W/K}$, eine vollkommen übermäßige Erhöhung um 30,2%.

Die Wärmebrückenverluste werden daher detailliert berechnet und bilanziert, ein Vorgehen, das von EN 832 / DIN V 4108-6 ausdrücklich unterstützt wird und bei hochgedämmten Gebäuden wie dem SDH unverzichtbar ist.

Wärmeverluste durch Wärmebrücken

Wärmebrücke	l	ψ	b	ΔH_{WB}
01 BodenplattenachAußenBP-AußenwandAW	30,9 m	0,01 W/mK	1,00	0,4 W/K
02 AußenwandAW-AußenwandAW 90°	16,0 m	0,01 W/mK	1,00	0,2 W/K
03 Fensterleibung in AußenwandAW	52,8 m	0,01 W/mK	1,00	0,6 W/K
04 Fenstersturz in AußenwandAW	15,6 m	0,00 W/mK	1,00	0,0 W/K
05 Fensterbrüstung in AußenwandAW	15,6 m	0,00 W/mK	1,00	0,0 W/K
06 Türleibung in AußenwandAW	21,1 m	0,00 W/mK	1,00	0,0 W/K
07 Türsturz in AußenwandAW	3,0 m	0,00 W/mK	1,00	0,0 W/K
08	0,0 m	0,00 W/mK	1,00	0,0 W/K

$\Sigma L_{D, WB} = 1,3 \text{ W/K}$

Zur detaillierten Berechnung der Wärmebrückenverluste müssen die Längen der Wärmebrücken ermittelt (aus dem Flächenmanagement mit Faltmodellen, automatisch) und mit den linearen Wärmebrückenverlustkoeffizienten ψ multipliziert werden. Die ψ -Werte von betroffenen Bauteilen (gefordert sind die Gebäudekanten und die Fensteranschlüsse) können mit DÄMMWERK-internen Berechnungsroutinen (finite Elemente) bestimmt werden.

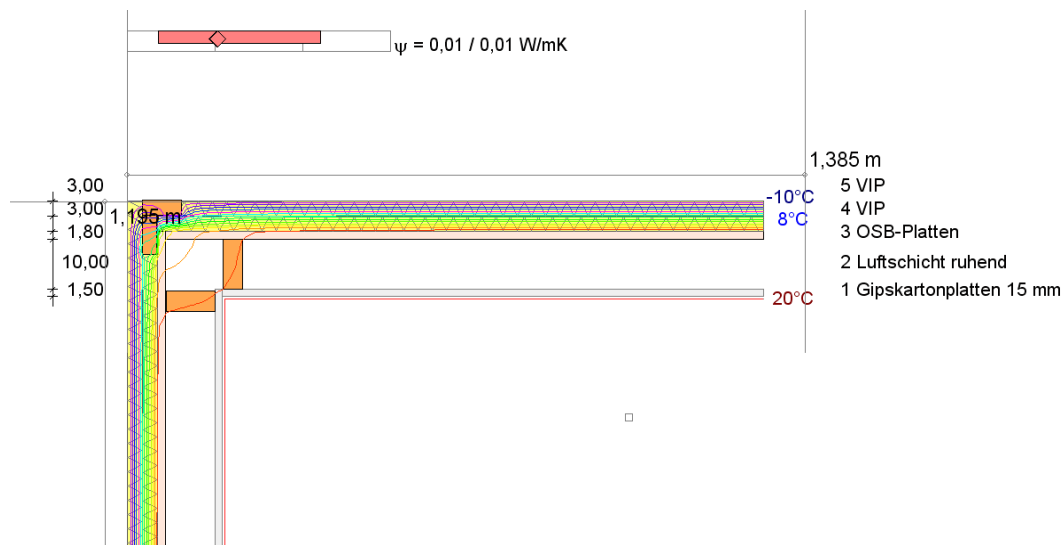


Abb. 20 Temperaturfeld und Wärmebrückenverlustkoeffizient für eine Gebäudeecke, Quelle: DÄMMWERK

Für die Gebäudekanten erhält man sehr kleine ψ -Werte, für die Fensteranschlüsse Werte nahe Null (keine Wärmebrückenbildung). Die Summe der Wärmebrückenverluste $L_{D, WB} = 1,3 \text{ W/K}$ fällt vergleichsweise klein aus, erhöht den Transmissionswärmeverlust um lediglich 3,2% und damit 1/10 des pauschalen Ansatzes.

Mit dem b-Faktor (b-Wert nach EN ISO 13789, DIN V 4108-6 Gl.34) könnte eine Temperaturkorrektur für untere Gebäudeabschlüsse analog zu den Fx-Werten vorgenommen werden. Dieser Bonus wurde in der konkreten Berechnung nicht berücksichtigt.

Für die weitere Bilanzierung wird der spezifische Transmissionswärmeverlust zu

$$H_T = L_D + L_{D,WB} + H_u + L_s = 41,4 \text{ W/K} \quad (H_T' = 0,17 \text{ W/m}^2\text{K})$$

angenommen.

Nettogrundfläche und Nettoraumvolumen

Die Berechnungs-Grundfläche wird nach DIN V 4108-6 allgemein mit dem Ansatz $A_N = 0,32 * V_e$ (32% des Bruttoraumvolumens) berechnet. Bei 2,50 m Raumhöhe entspricht das 80% der Brutto-Grundfläche. Man sollte von diesem Wert im Allgemeinen nicht abweichen, da die Tabellenwerte nach DIN V 4701-10 darauf abgestimmt sind. Die EnEV 2007 sieht Ausnahmeregelungen für Gebäude mit großen Raumhöhen (> 3m) vor.

Beheiztes Gebäude- und Luftvolumen

Bezeichnung	Volumenermittlung	V [m ³]
1 [Ve 1] SDH	222,48	222,5
Beheiztes Gebäudevolumen		$V_e = 222 \text{ m}^3$
Gebäudenutzfläche	$A_N = 0,32 * V_e =$	71 m ²
beheiztes Luftvolumen	$V_L = 0,60 * V_e =$	133 m ³

Der normale Ansatz für das Nettoraumvolumen $V_L = 0,76 * V_e = 169 \text{ m}^3$ wird aufgrund des Doppelbodens und der HT-Einbauten manuell auf $V_L = 0,60 * V_e = 133 \text{ m}^3$ korrigiert. Damit soll insbesondere auch die Vergleichbarkeit mit der Bilanzierung nach DIN V 18599 hergestellt werden, auch wenn dieser Ansatz nicht ganz regelkonform ist.

Lüftungswärmeverluste

Der Lüftungswärmeverlust ist die Wärmemenge, die zur Erwärmung der Zuluft auf Raumtemperatur benötigt wird. Sie kann mit der Formel

$$Q_V = 0,34 * n * V_N * \Delta T$$

berechnet werden. Die Faktoren sind dabei die spezifische Wärmekapazität der Luft, das erwärmte Luftvolumen und die Temperaturdifferenz der Raumtemperatur zur Außentemperatur.

Die Temperaturdifferenz ist im Monatsbilanzverfahren variabel, wird daher später berücksichtigt (siehe auch Aussage zu den Heizgradtagen).

Ohne die Temperaturdifferenz erhält man den spezifischen Lüftungswärmeverlust H_V in der Einheit [W/K] analog dem spezifischen Transmissionswärmeverlust H_T .

$$H_V = 0,34 * n * V_N = 12,7 \text{ W/K}$$

Die Wärmerückgewinnung der im SDH eingebauten Lüftungsanlage (Zu- und Abluft mit WRG) wird nach DIN V 4108-6 / DIN V 4701-10 eigentlich im Bereich der haustechnischen Anlagen als „Heizbeitrag“ bilanziert werden. Die Tabellenwerte und Hilfwerte der DIN V 4701-10 sind darauf abgestimmt.

Demgegenüber wird nach DIN V 18599 die Wärmerückgewinnung bei den Lüftungsverlusten angerechnet, d.h. über Wärmetauscher aus der Abluft zurückgewonnene Wärme zählt nicht zum Heizwärmebedarf (siehe Kapitel zur DIN V 18599).

Bei dem für H_V genannten Wert ist zu beachten:

Um eine Vergleichbarkeit beider Bilanzmethoden herzustellen, wird das Verfahren der DIN V 18599 übernommen und die WRG bei den Lüftungsverlusten bilanziert.

In der Folge davon ändern sich die Ausnutzungsgrade für solare und interne Wärmegewinne und die Eingangswerte für die Anlagentechnik müssen zurückgerechnet werden. Dieses Verfahren ist ebenfalls üblich für Passivhaus-Nachweise, ein weiterer Vorteil dieser Entscheidung.

Lüftungswärmeverluste

Luftvolumen
Lüftung

Netto-Luftvolumen $V_N = V_L = 133 \text{ m}^3$
Zu- und Abluftanlage mit WRG DIN V 4108-6 D.3
WRG $\eta_V = 80,0 \%$
 $n_{Anl} = 0,40; n_x = 0,20 \Rightarrow n = n_{Anl} * (1 - \eta_V) + n_x = 0,28 \text{ h}^{-1}$

Spezifischer Lüftungswärmeverlust $H_V = 0.34 * n * V_N = 12,7 \text{ W/K}$ (DIN V 4108-6, 6.2)

Die Wärmegewinne der WRG gehen über H_V monatsabhängig in die Berechnung des Heizwärmebedarfs ein. Zur Berechnung der Anlagentechnik wird der Betrag Q_{WR} zum Heizwärmebedarf addiert.
Die Dichtheit des Gebäudes mit raumluftechnischen Anlagen wurde nach EnEV A4 überprüft.

Die Luftwechselzahl (Anzahl der stündlich erneuerten Raumluftvolumen) ist bei Wohngebäuden mit Dichtheitsprüfung und solchen mit Lüftungsanlage mit $n = 0,60/\text{h}$ identisch. Mechanische Lüftungsanlagen arbeiten in Wohngebäuden im Allgemeinen mit $n = 0,40/\text{h}$, der restliche Luftwechsel $n_x = 0,20/\text{h}$ resultiert aus Undichtigkeiten der Gebäudehülle sowie dem Öffnen von Fenstern und Türen. Diese Bedingungen sind auch für das SDH außerhalb des „Partybetriebes“ realistisch. Mit WRG erhält man eine reduzierte Luftwechselzahl $n = 0,28/\text{h}$.

Solare Wärmegewinne

Die solaren Wärmegewinne werden nach DIN V 4108-6 aus dem Produkt der Fensterflächen und der Strahlungsintensitäten berechnet. Die Bruttofensterfläche wird dazu mit diversen Faktoren für den Energiedurchlass der Verglasung, Rahmenanteile sowie Verschattungseinflüsse auf die „wirksame Kollektorfläche A_S “ reduziert.

Die nötigen Strahlungsintensitäten sind für unterschiedliche Standorte, Orientierungen und Neigungen in DIN V 4108-6 tabelliert. Ihre Einheit ist $[W/m^2]$ als mittlere Strahlungsleistung je Quadratmeter transparenter Fläche. Hierfür wird der Monatsmittelwert auf 24 Stunden Tageslänge bezogen, die Bilanzierung der solaren Wärmegewinne wird ebenfalls monatlich durchgeführt.

Die Gesamtenergiedurchlassgrade der hochwärmedämmenden Fenster des SDH sind mit $g = 0,38$ (4-fach Verglasung, Nord) bzw. $g = 0,48$ (3-fach Verglasung, Süd) relativ gering, was auf die mehrfachen Reflexionen an überwiegend beschichteten Glasoberflächen zurückzuführen ist. Die g -Werte üblicher Wärmeschutzverglasungen (2-fach) ohne Sonnenschutzbeschichtung liegen bei $g = 0,60$ oder höher. U-Werte und g -Werte der Verglasungen sind bilanzierungstechnisch Gegenspieler.

Die filigranen Rahmen der im SDH verwendeten Fensterelemente werden entsprechend dem Regelwert für große Fenster (20% Rahmenanteil) mit einem durchschnittlichen Verglasungsanteil $F_f = 0,80$ berücksichtigt.

Der semitransparente, überdachte Vorbau nach Süden geht mit dem Faktor $F_o = 0,73$ in die Berechnung ein.

Solare Wärmegewinne

Effektive Kollektorflächen A_S für Deutschland, nördliche Breite $50^\circ,00'$

Kollektorfläche	A [m ²]		$g \perp$	F_F	F_C	F_H	F_O	F_f	A_S
Fenster									
6 A 0101 FF Sü	24,7	Süd	90°	0,48	0,80		0,73		6,2
7 A 0103 FF No	16,5	Nord	90°	0,38	0,80				4,5

$A_S [m^2] = A * 0,90 * g \perp * F_F * F_C * F_S$ mit $F_S = F_H * F_O * F_f$ (DIN V 4108-6, Gl.54)

Kollektorfläche		Okt	Nov	Dez	Jan	Feb	Mrz	Apr
Fenster								
6 A 0101 FF Süd		501	334	204	347	378	495	848
7 A 0103 FF Nord		149	81	45	63	104	154	289
solare Wärmeströme	$\Sigma \Phi_S [W]$	651	416	249	410	482	649	1137
	$\Sigma \Phi_S * t [kWh]$	484	299	186	305	324	483	819

Interne Wärmegewinne

Der allgemeine EnEV-Ansatz für interne Wärmegewinne in Wohngebäuden aus Personen- und Geräteabwärme ist auf die Nutzfläche A_N bezogen:

$$\Phi_{i,M} = q_{i,M} * A_N = 5 * A_N$$

Interne Wärmegewinne

Nutzfläche	$A_N = 0,32 * V = 71 \text{ m}^2$
Wärmeleistung	Wohngebäude (Anhang D.3), $q_{i,M} = 5,0 \text{ W/m}^2$

Brutto-Wärmegewinne $\Phi_{i,M} = q_{i,M} * A_N = \mathbf{356 \text{ W}}$ (DIN V 4108-6, 6.3)

Daneben erlaubt DIN V 4108-6 auch eine detaillierte Bilanzierung der internen Gewinne. Für einen 2-Personen-Haushalt ergibt sich:

$\Phi_{i,h}$, beheizt: 2 Personen + Warmwasser + Beleuchtung + Kochen + Fernsehapparat + Kühlschrank + Wasserkocher + Waschmaschine = $2*65 + 25 + 2*15 + 45 + 110 + 35 + 40 + 20 + 10 = \mathbf{445 \text{ W}}$

Die detaillierte Bilanzierung ergibt damit einen um 25% höheren internen Wärmeeintrag als der pauschale Ansatz nach EnEV. Interne Wärmegewinne sind, wie solare Wärmegewinne auch, vollkommen temperaturunabhängig. Sie benötigen daher keinen Temperaturbezug und werden in der Einheit [W] angegeben.

Für das SDH wird mit dem pauschalen Ansatz für Wohngebäude und einem Wert von 356 W gerechnet.

Fremdwärmenutzungsgrad

Der Fremdwärmenutzungsgrad oder Ausnutzungsgrad für solare und interne Wärmegewinne η wird nach DIN V 4108-6 und DIN V 18599-2 auf dieselbe Art und Weise berechnet. Er beschreibt den im Gebäude nutzbaren, monatlichen Anteil der Wärmegewinne. In DIN V 18599 wird er auch zur Bestimmung des sommerlichen Kühlenergiebedarfs eingesetzt.

Wirksame Wärmespeicherfähigkeit

Vereinfachter Ansatz für leichte Gebäude ohne massive Innenbauteile oder mit abgehängten Decken 15 Wh/m³K

$$c_{\text{wirk}} = 15,0 \text{ [Wh/m}^3\text{K]}, \quad c_{\text{wirk}} \cdot V_e = 3.337 \text{ [Wh/K]}$$

$$\text{Parameter } a = a_0 + c_{\text{wirk}} / (H \cdot \tau_0) = 1 + c_{\text{wirk}} / (H \cdot 16) = 1 + 209 / H \text{ (Gl.75, monatlich)}$$

...
Ausnutzungsgrad

$$\eta = (1 - \gamma^a) / (1 - \gamma^{a+1}) \quad (a \text{ sh. } c_{\text{wirk}})$$
$$\gamma = Q_g / Q_l \text{ (monatlich, DIN V 4108-6, 6.5)}$$

Wesentliche Faktoren der Berechnung sind das monatsweise festgestellte Verhältnis der Wärmegewinne zu den Wärmeverlusten (in DIN V 18599 mit Wärmequellen und Wärmesenken bezeichnet), sowie die Zeitkonstante τ , die mit der wirksamen Wärmespeicherfähigkeit c_{wirk} der Innenbauteile und dem Transferkoeffizienten H aus Transmission und Lüftung bestimmt wird:

$$\tau = c_{\text{wirk}} / H$$

Speichermasse

c_{wirk} kann mit pauschalen Ansätzen, wie z.B. 50 W/m³K für schwere Bauweisen oder 15 W/m³K für leichte Bauweisen angenommen werden. Dabei zählen auch massive Betonbauten zu den leichten Bauweisen, wenn die Zwischendecken abgehängt ausgeführt werden und damit die schwere Konstruktion thermisch vom Raum trennen. Untergehängte Gipskarton-Decken beeinträchtigen das Wärmespeichervermögen eines Gebäudes also erheblich.

Massive Bauteile stehen im SDH nicht zur Verfügung. Allerdings sind Wände und Decken mit Gipskartonplatten bekleidet, die Latentwärmespeicher-Material enthalten. Es handelt sich dabei um Paraffine mit voreingestellter Verflüssigungstemperatur im oberen Bereich der als behaglich empfundenen Temperatur (Schalttemperatur).

Die Speicherfähigkeit der verbauten PCM-Bekleidungen spielt im SDH für die winterliche Wärmebilanz keine Rolle, da die Schalttemperatur auf 24°C eingestellt ist, also eine Temperatur, die im Winter kaum erreicht wird. In anderer Konfiguration (Schalttemperatur z.B. 21°C) könnte mit einer besseren Ausnutzung der solaren und internen Wärmegewinne auch im Winter gerechnet werden.



Phase-Change-Materials (PCM) speichern / absorbieren beim Phasenübergang vom festen in den flüssigen Zustand größere Mengen Wärme, die bei einer späteren Verfestigung wieder freigesetzt werden. Die Speicherfähigkeit liegt in der Größenordnung einer 10 cm dicken Betonwand, die um 1°K erwärmt / abgekühlt wird. Der Vorgang tritt jeweils beim Überschreiten der Schalttemperatur auf, weitere Erläuterungen im Kapitel zur DIN V 18599.

Eine alternative Berechnung mit $C_{\text{wirk}} = 50 \text{ W/m}^2\text{K}$ reduziert im SDH den Heizwärmebedarf um immerhin 17%, mit $C_{\text{wirk}} = 30 \text{ W/m}^2\text{K}$ (mit PCM realistisch) wird eine Reduzierung um 12% erzielt. Gerechnet wird aus vorgenannten Gründen mit $C_{\text{wirk}} = 15 \text{ W/m}^2\text{K}$ als pauschalem Ansatz für leichte Gebäude.

Eine detaillierte (Kontroll-) Rechnung ist nach DIN V 4108-6 zulässig. Sie zeigt, dass dieser Ansatz vermutlich noch optimistisch gewählt ist, da sich ohne Berücksichtigung des PCMs eine wirksame Speichermasse C_{wirk} von nur 6,6 Wh/m³K ergibt.

Summe über die Bauteile, die mit der Raumlufte in Berührung kommen.

Bauteil	A_i [m ²]	$\Sigma d_i \cdot \rho_i \cdot c_i$	C_{wirk}	
DachDA	DA	59	Bpl 1,5 +Luft 8,5	224
AußenwandAW	AW	74	Bpl 1,5 +Luft 8,5	282
AußenwandTuer	AW	10	Holz 1,0	47
Bodenplattena	BP	59	Spanpl 3,5	919
xxx		0		-

$$\Sigma C_{\text{wirk}} [\text{Wh/K}] = 1.472$$

$$C_{\text{wirk}} = 6,6 [\text{Wh/m}^3\text{K}]$$

Dieser Ansatz würde den Heizwärmebedarf um 22% erhöhen (siehe Grafik). Leichte, hochgedämmte Bauweisen reagieren also auch bezüglich des Heizwärmebedarfs sehr sensibel auf veränderte Speichereigenschaften.

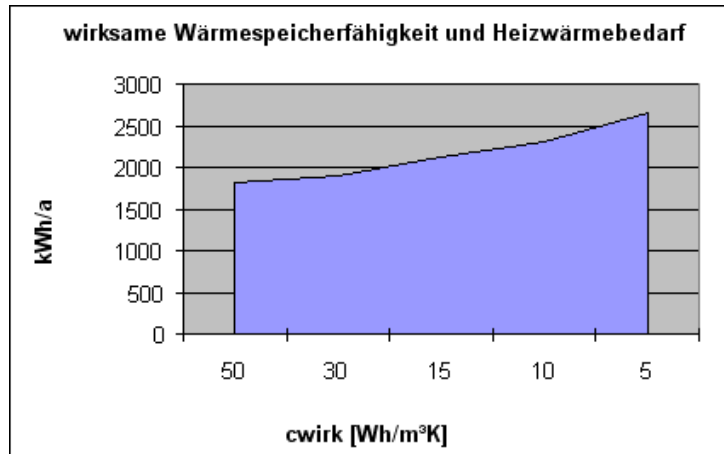


Abb. 21 Abhängigkeit des Heizwärmebedarfs von der wirksamen Wärmespeicherfähigkeit, Quelle: DÄMMWERK

Heizunterbrechung

Eine Heizunterbrechung bzw. Nachtabenkung ist in kleinen Wohngebäuden üblich. Mit den vorgenannten Parametern (Dauer = 7 Stunden, Abschaltbetrieb) und einem LW von 0,5/h (Empfehlung nach DIN 4108-6, Tab. D3, Gl. D18) wird der Heizwärmebedarf im SDH um 7% gesenkt. Die reduzierte wirksame Wärmespeicherfähigkeit während der zeitlich begrenzten Nachtabenkung ist normal (DIN V 4108-6, C2.2).

Heizunterbrechung

Abgesenkter Heizbetrieb während der Nachtstunden (DIN V 4108-6, Anhang C)

Nachtabenkung für $t_u = 7,0$ Stunden

Mindest-Innentemperatur $\theta_{\text{isb}} = 15,0$ °C

Heizungsanlage mit Nennleistung $\Phi_{\text{pp}} = 3.332$ W (manuell)

Abschaltbetrieb

Interne Gewinne während der Nachtabenkung $\Phi_g = 356$ W, Luftwechselrate $n = 0,50$

Wirksame Wärmespeicherfähigkeit $C_{\text{wirk, Heizunterbrechung}} = 12,0 \cdot V_e = 2.670$ Wh/K

Nach DIN V 4108-6 werden bilanztechnisch die reduzierten Wärmeverluste in [kWh] monatlich berechnet und von den Transmissionswärmeverlusten abgezogen.

DIN V 18599 berücksichtigt demgegenüber den Einfluss der Nacht- und Wochenend-absenkung bzw. -abschaltung über reduzierte Tagesmitteltemperaturen.

Heizwärmebedarf

Mit der Gesamtheit der vorgenannten Überlegungen erhält man nach DIN V 4108-6 / EnEV 2007 für Wohngebäude den Jahresheizwärmebedarf des Gebäudes.

Heizwärmebedarf

Transmissionsverluste	$Q_t = (\sum L_D + \sum L_{D,WB}) \cdot \Delta T \cdot d - \Delta Q_{II}$
Transmissionswärmeverluste	$\sum L_D = 40 \text{ W/K}$
Wärmebrückenverluste	$\sum L_{D,WB} = 1 \text{ W/K}$
Heizunterbrechung	ΔQ_{II} monatlich
Lüftungswärmeverluste	$H_V = 13 \text{ W/K}$
Interne Gewinne	$\Phi_{i,M} = 356 \text{ W}$
Solare Gewinne	Φ_s [W] (monatlich)
Ausnutzungsgrad	$\eta = (1 - \gamma^a) / (1 - \gamma^{a+1})$ (a sh. c_{wirk}) $\gamma = Q_G / Q_t$ (monatlich, DIN V 4108-6, 6.5)

	t_a [°C]	Q_t [kWh]	$H_V \cdot \Delta T \cdot d$ [kWh]	$\Phi_{i,M} \cdot d \cdot \eta$ [kWh]	$\Phi_s \cdot d \cdot \eta$ [kWh]	η	Q_h [kWh]
Jan	-1,3	592	192	247	284	0,93	253
Feb	0,6	486	157	210	285	0,88	148
Mär	4,1	437	141	188	342	0,71	48
Apr	9,5	270	87	85	271	0,33	1
Mai	12,9	179	58	58	179	0,22	0
Jun	15,7	94	30	27	97	0,11	0
Jul	18,0	29	9	8	30	0,03	0
Aug	18,3	21	7	7	20	0,03	0
Sep	14,4	131	42	48	125	0,19	0
Okt	9,1	291	94	133	244	0,50	7
Nov	4,7	406	131	209	244	0,81	84
Dez	1,3	518	167	252	177	0,95	257
	8,9	3.452	1.115	1.472	2.296		799

Jahres-Heizwärmebedarf $Q_h = 799 \text{ kWh/a}$ ($q_h = 11,2 \text{ kWh/m}^2\text{a}$),
 Heizzeit vom 9.12. bis 17.3. (98 Tage, Gl.27)
 erforderliche Heizleistung, Richtwert 3 kW

Da die WRG (non-konform) im Bereich der Lüftungswärmeverluste bilanziert wurde, muss eine Korrektur des Heizwärmebedarfs für die Berechnung der Anlagentechnik vorgenommen werden. Die tabellierten Werte nach DIN V 4701-10 gehen immer von einem Heizwärmebedarf ohne WRG aus. Ergänzend muss die Heizarbeit der Lüftungsanlage detailliert mit einem f_g -Faktor (Korrekturfaktor der Lüftungswärmegewinne) von 1,0 berechnet werden.

Verminderter Lüftungswärmeverlust durch die Wärmerückgewinnung (s. Gl.49)

$$Q_{WR} = \sum n_{Anl} \cdot \eta_V \cdot V \cdot (\rho c_p)_L \cdot (\theta_r - \theta_{e,M}) \cdot t_M = 18,2 \cdot 0,80 \cdot \sum (\theta_r - \theta_{e,M}) \cdot t_M = 1.274 \text{ kWh/a (17,9 kWh/m}^2\text{a)}$$

$$\text{Für die Anlagenbemessung } Q_{h(4701)} = Q_{h(4108)} + Q_{WR} = 2.073 \text{ kWh/a (29,1 kWh/m}^2\text{a)}$$

Die Jahres-Heizarbeit der Lüftungsanlage (WRG) muss mit $f_g = 1$ detailliert berechnet werden (DIN V 4701-10, 5.2.3-1).

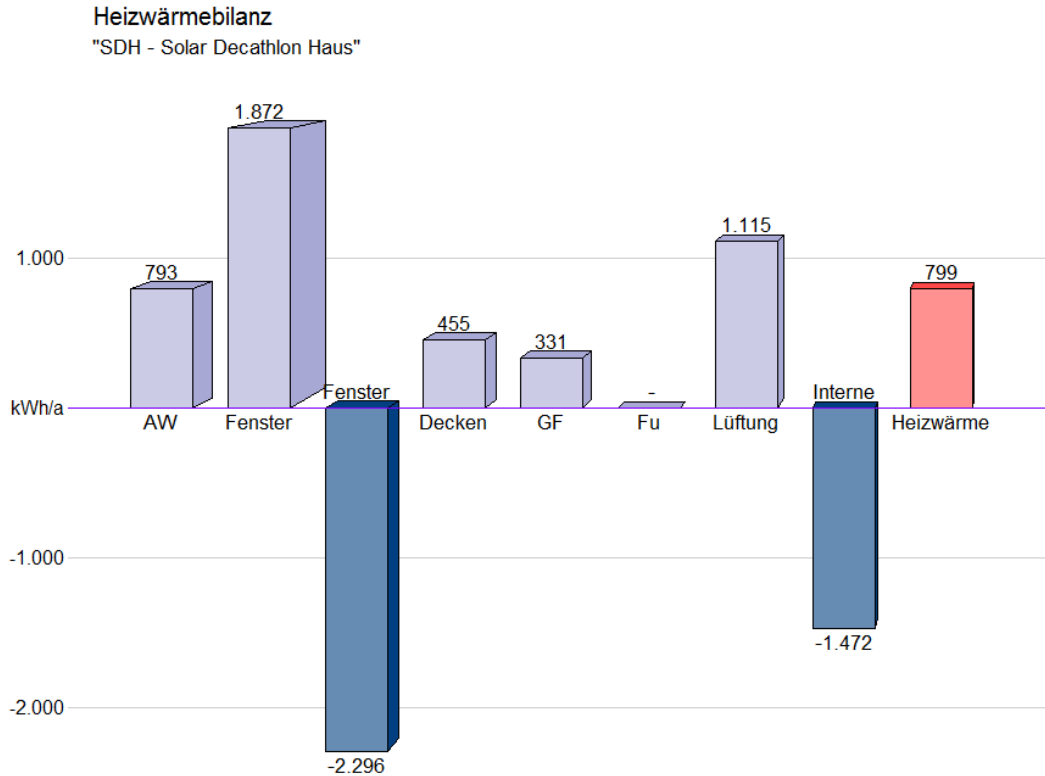


Abb. 22 Heizwärmebilanz mit energetischem Luftwechsel (Bilanzierung der WRG auf der Wärmebedarfsseite),
 Quelle: DÄMMWERK

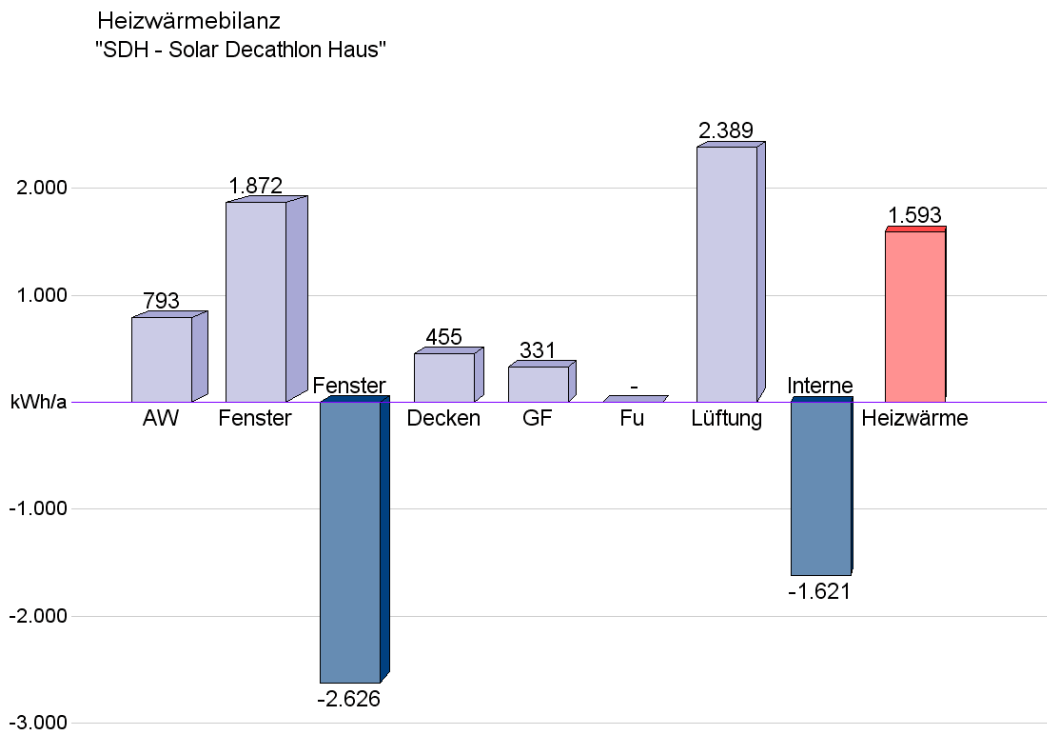


Abb. 23 Heizwärmebilanz mit Gesamtluftwechsel (Bilanzierung der WRG auf der Anlagenseite), Quelle: DÄMMWERK

Die höchsten Wärmeverluste stammen aus dem Wärmedurchgang durch die Gebäudehülle, da die Lüftungswärmeverluste hier abzüglich des Wärmebeitrags der Wärmerückgewinnung der Lüftungsanlage berechnet werden.

Die solaren Gewinne durch die Fenster überwiegen ihre Transmissionwärmeverluste dennoch bei weitem.

Die Minderung der Gesamtverluste hat ebenfalls einen senkenden Effekt auf den Fremdwärmenutzungsgrad. In der Summe ergibt sich ein sehr geringer Heizwärmebedarf $Q_{h,n}$.

Die Berechnung der über die Zuluft in den Raum einzutragenden Heizleistung (Maß für die Einhaltung des Passivhaus-Standards) erfolgt erst im Bereich der Anlagentechnik nach DIN 4701-10.

Ohne Ansatz der WRG würde Q_v 3.185 kWh/a betragen, H_v 27,2 kWh/m²a.

Trotz gesteigerter Fremdwärmenutzungsgrade resultiert daraus ein um den Faktor 2,6 höherer Heizwärmebedarf $Q_{h,n}$, der allerdings nicht mit den Angaben nach PHPP oder DIN V 18599 verglichen werden kann.

Gesamtwärmebedarf

Zur Berechnung des Gesamtwärmebedarfs des Haushalts muss zum Heizwärmebedarf noch der Wärmebedarf für Trinkwarmwasser addiert werden. Bei einem kleinen, aber energieeffizienten Gebäude wie dem SDH liegen beide Beträge in einer ähnlichen Größendimension, wie die folgende Aufstellung zeigt.

Warmwasser-Wärmebedarf

Der Wärmebedarf für die Warmwasserbereitung wird in Wohngebäuden allgemein mit dem grundflächenbezogenen, pauschalen Ansatz von 12,5 kWh/m²a veranschlagt. Eine detaillierte Berechnung nach EN 832 ist möglich, in Anbetracht unterschiedlicher Nutzergewohnheiten aber kaum hilfreich.

Wärmebedarf für Warmwasserbereitung

pauschaler Ansatz 12,5 kWh/m²a (öffentlich-rechtlicher Nachweis)

$$Q_{tw} = A_N \cdot q_{tw} = 71 \cdot 12,5 = 890 \text{ kWh/a}$$

Der quadratmeterbezogene Heizwärme- und Warmwasserbedarf wird an die Haustechnik bzw. Bilanzierungsebene der DIN V 4701-10 übergeben. Im Allgemeinen kann man dort für unterschiedliche Anlagenteile Aufwandszahlen, Systemverluste, Heizwärmegutschriften und den Strombedarf der Hilfsgeräte grundflächenabhängig aus Tabellen ermitteln und zu einer Anlagen-Aufwandszahl zusammenfassen.

Die Eingabe der Haustechnik gliedert sich in die drei Gebiete Trinkwarmwasser (TWW), Lüftung und Heizung auf. Dabei wurden alle Bereiche mit dem detaillierten Verfahren nach DIN V 4701-10 berechnet, da auf Grund der geringen Größe des Gebäudes keine Vergleichswerte vorliegen. Das detaillierte Verfahren setzt eine hohe Kenntnis der Geräte und ihrer technischen Leistungsdaten voraus.

Anlagentechnik

Die Anlagentechnik wird nach DIN V 4701-10 immer in der Reihenfolge Warmwasserbereitung, Lüftungsanlage, Heizung berechnet. Dadurch können im selben Rechengang die Leitungsverluste aus der Warmwasserbereitung sowie die Heizwärmegutschriften aus der Lüftungsanlage im Nutzwärmebedarf der Heizung berücksichtigt werden. DIN V 18599 rechnet demgegenüber iterativ, d.h. die Wärmeverluste aus Verteilungssystemen und der Erzeugung werden über sogenannte „ungeregelte Wärmeeinträge“ erst im nächsten Rechengang bilanziert.

Das im SDH verwendete Haustechnik-Kompaktgerät ist eine Zu- und Abluftanlage mit Wärmerückgewinnung (WRG) und Wärmepumpe (WP). Die Abluft-WP erwärmt einen integrierten 180 Liter Warmwasserspeicher. Der Speicher wird parallel auch von einer thermischen Solaranlage mit Wärme versorgt (Solarwendel). Er kann über einen Wärmetauscher Wärme an die örtliche Fußbodenheizung abgeben.

Im Sommerbetrieb kann die Wärmepumpe auch als aktiver Kälteerzeuger betrieben werden, dann stellt die „kalte Seite“ des Gerätes eine Wärmesenke für die Zuluft dar. Im Sommerbetrieb fungiert der Warmwasserspeicher als Rückkühler für die Kältemaschine. Überschüssige Wärme kann über die Verdunstungskühler auf dem Dach an die Umgebung abgeführt werden.

Bilanzierungstechnisch kann nach DIN V 4701-10 lediglich der Winterbetrieb erfasst werden. Die solarbetriebene Abluft-WP wird dabei sowohl bei der Warmwassererzeugung wie auch bei der Zuluftheizung als Wärmeerzeuger eingesetzt. Einflüsse aus dem kombinierten Betrieb werden nach DIN V 4701-10, Gl. 5.2.3-8 über die Nennleistung berücksichtigt. Die Wärmeleistung von Wärmepumpen wird allgemein über die Laufzeit gesteuert, separate Laufzeiten für Warmwasser und Heizung sind der Regelfall. Das gilt insbesondere, wenn sich die Vorlauftemperaturen der Systeme unterscheiden.

Die Fußbodenheizung im Sanitärkern (Teilfläche) wird nicht bilanziert, da ihr Betrieb nicht zwingend ist und allein dem Wohnkomfort dient. Die Vorlauftemperaturen für Zuluft- und Fußbodenheizung dürften ähnlich sein (35°C), den geringeren Übergabeverlusten der Fußbodenheizung stehen Verteilungsverluste gegenüber, die bei der Zuluftheizung nicht anfallen. Beide Systeme werden also in etwa denselben Wirkungsgrad aufweisen. Die Bilanzierungsmöglichkeiten der DIN V 18599 sind detaillierter, insbesondere können dort auch Aussagen zum Sommerbetrieb gemacht werden.

Warmwasserbereitung

Das Tabellenverfahren aus DIN V 4701-10 funktioniert nur für Nutzflächen $A_N > 100\text{m}^2$. Da das Berechnungs- A_N im SDH ($A_N = 0,32 * V_e = 71 \text{ qm} <> \text{Wohnfläche}$) geringer ist, stehen keine Tabellenwerte zur Verfügung. Man kann sich behelfen, indem man die Rechenwerte für $A_N = 100$ verwendet, die dann aber nicht auf der „sicheren Seite“ liegen. Das Regelverfahren der DIN V 4701-10 für $A_N < 100\text{m}^2$ ist das detail. Verfahren.

Trinkwassererwärmung

mit Trinkwarmwasser versorgter Bereich A_N	71 m ²
Trinkwarmwasserbedarf q_{tw}	12,5 kWh/m ² a
Wärmeerzeuger "Warmwasser-WP mit Zu-/Abluft mit WRG"	
Nenn-Wärmeleistung Q_n	1,8 kW
Leistungszahl der Wärmepumpe DIN EN 255/3 ϵ_N	2,500
Korrektur für Wärmerückgewinnung (80%) der Zu-/Abluftanlage, F2	0,859
Korrektur für Bezugswassertemperatur (50,0°C), F1	1,000
Aufwandszahl $e_{TW,g} = 1 / (\epsilon_N * F1 * F2)$ (Gl.5.1.4-33)	0,466

Wärmepumpe

Für die Abluft-Wärmepumpe wird eine Aufwandszahl berechnet, die im Wesentlichen von der Arbeitszahl abhängig ist. Der Korrekturfaktor F2 berücksichtigt den Umstand, dass die nutzbare Ablufttemperatur nach der WRG geringer ist, F2 = 0,859 bedeutet, dass die Wärmepumpe 14% mehr Leistung bringen würde, wenn die Abluft ohne vorgeschaltete Wärmerückgewinnung zur Verfügung stünde.

Zur ersten Orientierung kann man sich mit den Rechenwerten für $A_N = 100$ behelfen. Mit der durchschnittlichen Arbeitszahl = 2,5 berechnet man eine Aufwandszahl = 0,47, die eher im oberen Segment vergleichbarer Werte angesiedelt ist. Das Tabellenverfahren ergibt für $A_N = 100$ die Aufwandszahl 0,31. Dabei wird aber von üblichen Anlagenleistungen (>5 kW) und Arbeitszahlen (>3,0) ausgegangen.

Solarkollektor

Solaranlagen zur Warmwasserversorgung werden nach DIN V 4701-10 über den Deckungsanteil berücksichtigt. Mit einigen Anlagenparametern wird der jährliche Systemenergieertrag je m² Kollektorfläche ermittelt und anschließend mit der Kollektorfläche (Apertur) und weiteren Faktoren für die Peripheriegeräte (Kollektorneigung und Ausrichtung, Auslastung der Anlage, Rohrleitungen und Speicher) multipliziert.

Der Deckungsanteil wird schließlich aus dem Verhältnis des solaren Energieertrages zum Warmwasserbedarf ermittelt. Im SDH erhält man auf diesem Weg für die 2,3 m² Flachkollektorfläche einen Deckungsanteil von 42%.

Mit dem Tabellenverfahren für $A_N = 100$ und standardmäßig 3,6 m² würde man alternativ einen Deckungsanteil von 63% berechnen.

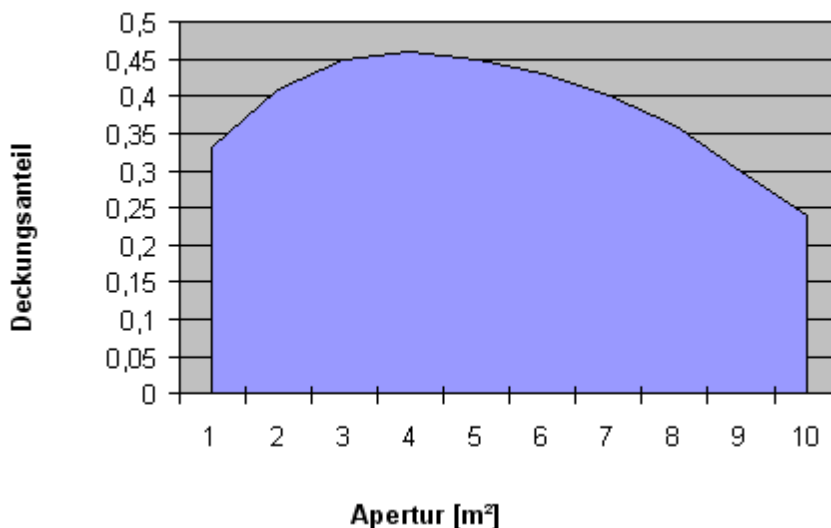
Solaranlage zur Trinkwassererwärmung

kleine Kollektoranlage "kleine Flachkollektoranlage"

Trinkwasserwärmebedarf $Q_{TW} = (q_{TW} + q_{TW,d} + q_{TW,s}) \cdot A_N$	1.077 kWh/a
Jahresenergieertrag der Referenz-Solaranlage Q_{sys} (Gl.5.1.4-3)	595 kWh/a
$Q_{sys} = Ac \cdot (271 \cdot \eta_0 - 18.8 \cdot k_1 - 653 \cdot k_2 + 172 \cdot IAM(50^\circ) - 0.792 \cdot C - 20.7)$	595 kWh/a
Kollektorfläche (Apertur)	2,3 m ²
optischer Wirkungsgrad, Konversionsfaktor η_0	0,77
Wärmedurchgangskoeffizienten k_1 / k_2 in [W/m ² K]	3,50 / 0,02
Einstrahlwinkelkorrektur IAM(50°)	0,90
Effektive Wärmekapazität C	6,40 kJ/kgK
Korrekturfaktor für 3° Neigung und Ausrichtung: Süd, f_{NA} (Tab.5.1-4)	0,83
Korrekturfaktor für die Auslastung der Solaranlage f_{slr} (Gl.5/6)	0,96
Korrekturfaktor für die Wärmeverluste der Rohrleitungen (15 m), $f_{d,sol}$	1,01
Korrekturfaktor für das Volumen des Solarspeichers (0 l), $f_{S,Vsol}$	0,80
Korrekturfaktor für das Volumen des Bereitschaftsspeichers (180 l), $f_{S,Vaux}$	0,73
Korrekturfaktor für die Wärmeverluste des Speichers (0,4 kWh/24h), $f_{S,Vsol}$	1,09
Wärmeverlust des Speichers $Q_{TW,s} = q_{TW,s} \cdot A_N$ ($\vartheta_{u,m}=20^\circ C$), 5.1.3-1	112 kWh/a
Korrekturfaktor für Speichertemperatur f_S, ϑ	1,57
Korrekturfaktor für Speicherbetriebszeit $f_{S,t}$	1,04
Korrekturfaktor für Speicheranschlüsse $f_{S,an}$	0,83
$Q_{TW,sol} = Q_{sys} \cdot f_{NA} \cdot f_{slr} \cdot f_{d,sol} \cdot f_{S,Vsol} \cdot f_{S,Vaux} \cdot f_{S,loss} + Q_{TW,s} \cdot f_S, \vartheta \cdot f_{S,t} \cdot f_{S,an}$	457 kWh/a
Leistungsaufnahme der Solarpumpe (Laufzeit 1750 h), $P_{P,sol}$	34 W
Deckungsanteil der Solaranlage $\alpha_{TW,sol} = Q_{TW,sol} / Q_{TW}$	0,42
Hilfsenergiebedarf $q_{TW,g,HE,sol}$	1,97 kWh/m ² a

Die jährliche Berechnung thermischer Solaranlagen wird auch in DIN V 18599 praktiziert. Wegen der monatlichen Bilanzierung gibt es dort monatliche Verteilschlüssel. Zumindest bei Kombianlagen, die gleichzeitig auch einen Heizbeitrag leisten, muss über eine monatliche Berechnung des Energieertrages thermischer Solaranlagen nachgedacht werden.

erwarteter Deckungsanteil durch die thermische Solaranlage



Deckungsanteil an der Warmwasserversorgung in Abhängigkeit der Kollektorgröße, -neigung und Orientierung und für die gegebene Gebäudegröße von $A_N=71m^2$.

Abb. 24 Erwartete Deckungsanteile für die thermische Solaranlage (2,30 m² Apertur), Quelle: DÄMMWERK

Die mit Solarwärme ersetzbaren Speicherverluste werden üblicherweise im Energieertrag der Solaranlage bereits berücksichtigt (Korrekturfaktoren $V_{s,Vsol}$ und $V_{s,Vaux}$). Die restlichen, aus anderweitiger Wärmeerzeugung (Wärmepumpe) resultierenden Speicherverluste werden gesondert ermittelt.

Trinkwasserspeicher

Trinkwasserspeicher, bivalenter Solarspeicher

Betriebsdauer des Speichers $t_{TW} = 350$ Tagen/a, Dauer der Heizperiode $t_{HP} = 185$ Tage/a mit Trinkwarmwasser versorgter Bereich A_N	71 m ²
Nenninhalt des Bereitschaftsspeichers V_s	180 l
Nenninhalt des Solarspeichers $V_{s,sol}$	0 l
Wärmeverlustfaktor für Aufstellung innen f_a	0.15
mittlere Umgebungstemperatur ϑ_{um} (Tab.5-2)	20,0 °C
Bereitschafts-Wärmeverlust $q_{B,S}$ (5.1.3)	0,4 kWh/Tag
Nennleistungsaufnahme der Speicher-Ladepumpe P_{Pumpe}	48 W
Betriebsdauer der Speicher-Ladepumpe t_P	212 h/a
Speicher-Wärmeverlust $q_{TW,s} = (1.2 * (50 - \vartheta_{um}) / 45 * t_{TW} * q_{B,S}) / A_N$ (5.1.3-1)	1,5 kWh/m ² a
Wärmegutschrift $q_{h,TW,s} = q_{TW,s} * t_{HP} / t_{TW} * (1 - f_a)$ (5.1.3-2)	0,7 kWh/m ² a
Hilfsenergiebedarf der Pumpe $q_{TW,s,HE} = P_{Pumpe} * t_P / 1000 * A_N$ (5.1.3-5)	0,1 kWh/m ² a

Die Leitungsverluste der Warmwasserverteilung müssen auch wegen untypisch kurzer Leitungsführungen im SDH detailliert berechnet werden. Da die Leitungen im Gebäude verlaufen, wird ein wesentlicher Anteil der unkontrollierten Verluste in der Heizzeit dem Heizwärmebedarf gutgeschrieben.

Trinkwasserverteilung (Leitungsnetz)

Leitungsnetz für Trinkwarmwasser, gebäudezentral ohne Zirkulation, mittlere Temperatur des Warmwassers $\vartheta_{TW,m} = 32$ °C (Tab.5-2), Betrieb an $t_{TW} = 350$ d/a, Dauer der Heizperiode $t_{HP} = 185$ d/a, Betriebszeit $z = 24$ Stunden/Tag, $A_N = 71$ m².

Rohrabschnitt	l m	Rohr-D mm	U_l W/mK	$\vartheta_{u,m}$ °C	$Q_{TW,d}$ kWh/a	$Q_{h,TW}$ kWh/a
01 Strangleitung 2	2,7	25	0,20	20,0	27	12
02 Stichleitung 3	5,3	25	0,20	20,0	54	24
03 xxx						

Rohrabschnitte der Länge l mit dem Rohraußendurchmesser D . Längenspezifische Wärmedurchgangskoeffizienten manuell oder nach DIN V 4701-10. Mittlere Umgebungstemperaturen $\vartheta_{u,m}$ und Wärmeverlustfaktor f_a nach DIN V 4701-10, Tab.5-2.

Wärmeabgabe des Rohrabschnitts $Q_{TW,d} = U_l * l * t_{TW} * z * (\vartheta_{TW,m} - \vartheta_{u,m}) / 1000$ (DIN V 4701-10, Gl.5.1.2-1)

Wärmegutschrift des Rohrabschnitts $Q_{h,TW,d} = Q_{TW,d} * (1 - f_a) * t_{HP} / t_{TW}$ (Gl.5.1.2-2)

Wärmeverluste des TW-Rohrnetzes $q_{TW,d} = \sum Q_{TW,d,i} / A_N$	1,1 kWh/m ² a
Gutschriften für den Heizwärmebedarf $q_{h,TW,d} = \sum Q_{h,TW,d,i} / A_N$	0,5 kWh/m ² a

Mit den vorgenannten Annahmen berechnet man den Endenergiebedarf der Warmwasserbereitung mit 746 kWh/Jahr. In diesem Betrag sind 450 kWh (regenerative) Wärmeenergie aus der Solaranlage enthalten, die restlichen 296 kWh sind der (fossile) Strombedarf der Wärmepumpe. Die Hilfsenergie für die Solar- und Speicherladepumpe sowie für elektronische Regelungen wird (mangels genauerer Angaben) mit Standardeinstellungen zu 70 kWh/Jahr berechnet.

Mechanische Lüftung

Nach der Warmwasserbereitung und der Wärmerückgewinnung der Lüftungsanlage reduziert sich der verbleibende Heizwärmebedarf auf

$$q_h - q_{L,g,WE,WRG} + q_{h,n} = 10,2 \text{ kWh/m}^2\text{a.}$$

Lüftungsanlage

be- und entlüfteter Bereich A_N	71 m ²
flächenbezogener Heizwärmebedarf = $q_h - q_{L,g,WE,WRG} + q_{h,n}$	10,2 kWh/m ² a
maximale notwendige Gebäude-Heizleistung q_{GB} (5.2.3-11)	7,3 W/m ²
Lüftungsanlage "zentrale Zu- und Abluftanlage mit WRG und Wärmepumpe (Nilan VP18)"	
Anlagen-Luftwechsel n_A	0,50 h ⁻¹
Betriebsdauer der Lüftungsanlage z	24,0 h/d
elektrische Leistungsaufnahme der DC-Ventilatoren $P_{el,Vent}$	0,5 Wh/m ³
<i>Wärmerückgewinnung (WRG)</i>	
Wärmebereitstellungsgrad der Wärmerückgewinnung η_{WRG}	0,84
Korrekturfaktor für EnEV-Berechnungsverfahren f_g	1,00
elektrische Leistungsaufnahme der Regelungstechnik $P_{el,Reg}$	5,0 W
Jahres-Heizarbeit $q_{L,g,WE,WRG} = 0,34 * h_R * F_{GT} * \eta_{WRG} * n_A * f_g$ (5.2.3-1)	24,8 kWh/m ² a
Hilfsenergiebedarf $q_{L,g,HE,WRG} = q_{Vent} + q_{Reg}$	3,1 kWh/m ² a
Korrektur für erhöhten Anlagen-Luftwechsel für 24 h (Tab. C.2.4, $n_{Anl} = 0,50$) $q_{h,n}$	5,9 kWh/m ² a
Berechnet nach DIN V 4701-10, Abschnitt 5.2.3.1 mit Gradtagzahl $F_{GT} = 69,6$ kWh/a, Raumhöhe $h_R = 2,5$ m und Dauer der Heizperiode $t_{HP} = 185$ d/a.	
Hilfsenergiebedarf der Ventilatoren $q_{Vent} = 0,001 * (1+f_{EWT}) * P_{el,Vent} * h_R * n_A * t_{HP} * z * f_z$ (5.2.3-4)	
Hilfsenergiebedarf der Regelungstechnik $q_{Reg} = 0,001 * P_{el,Reg} * t_{HP} * z / A_N$ (5.2.3-5)	
<i>Wärmepumpe (WP)</i>	
Arbeitszahlen $\epsilon_{N(A-3)} / \epsilon_{N(A4)} / \epsilon_{N(A10)}$	2,0 2,5 3,0
Betriebs-Volumenstrom $V_{Betrieb}$	60 %
Korrekturfaktoren $F_{\vartheta-3} / F_{\vartheta-4} / F_{\vartheta-10}$ (Tab 5.2-10)	0,38 0,49 0,06
Jahres-Arbeitszahl $\beta_{WP} = \epsilon_{N(A-3)} * F_{\vartheta-3} + \epsilon_{N(A4)} * F_{\vartheta-4} + \epsilon_{N(A10)} * F_{\vartheta-10}$	2,17
Nennleistung $q_{g,WP}$ mit $q_{WP0,4} = 25,3$ W/m ² (1,8 kW) und Gl.5.2.3-8	29,6 W/m ²
Leistungsanteil der WP $\mu_{WP} = q_{g,WP} / q_{GB}$	405,7 %
Vollast-Stunden $t_{WP,VL}$ manuell	500 h/a
Erzeuger-Aufwandszahl $e_{L,g,WP} = 1 / \beta_{WP}$ (5.2.3-12)	0,46
Jahres-Heizarbeit $q_{L,g,WE,WP} = q_{g,WP} * t_{WP,VL} / 1000$	14,8 kWh/m ² a

Darin ist mit $q_{h,n} = 5,9$ kWh/a die Korrektur für den erhöhten Anlagen-Luftwechsel ($0,5 > 0,4$ 1/h) einberechnet. Anlagen-Luftwechsel über 0,4 1/h verbessern zwar die Heizarbeit der Luftheizung, erhöhen aber auch den energetischen Luftwechsel.

Die verbleibende Jahres-Heizarbeit von 14,8 kWh/m²a wird durch die Luft-Luft-Wärmepumpe gedeckt und über die Lüftungsanlage dem Raum zugeführt. Die Zulufttemperatur liegt dabei über der Raumtemperatur, aber noch in einem als behaglich wahrgenommenen Temperaturbereich. Eine andere Form die Raumheizung ist entbehrlich. Bei den angenommenen Arbeitszahlen werden etwa 500 Betriebsstunden pro Jahr für Heizwärme nötig, der Strombedarf beläuft sich auf 487 kWh.

$$Q_{L,E} = 0,46 * 14,8 * 71 = 487 \text{ kWh/a}$$

Bei Zulufttemperaturen $> 20^\circ\text{C}$ sind Übergabeverluste für die Temperaturregelung und die Luftverteilung im Raum zu bilanzieren. Mit der Annahme „Luftauslässe überwiegend im Innenwandbereich mit Einzelraumregelung“ reduziert sich daher der Heizbeitrag der Lüftungsanlage um etwa 3,3 kWh/m²a (Abschätzung für $A_N = 100$ m²).

Endenergiebedarf

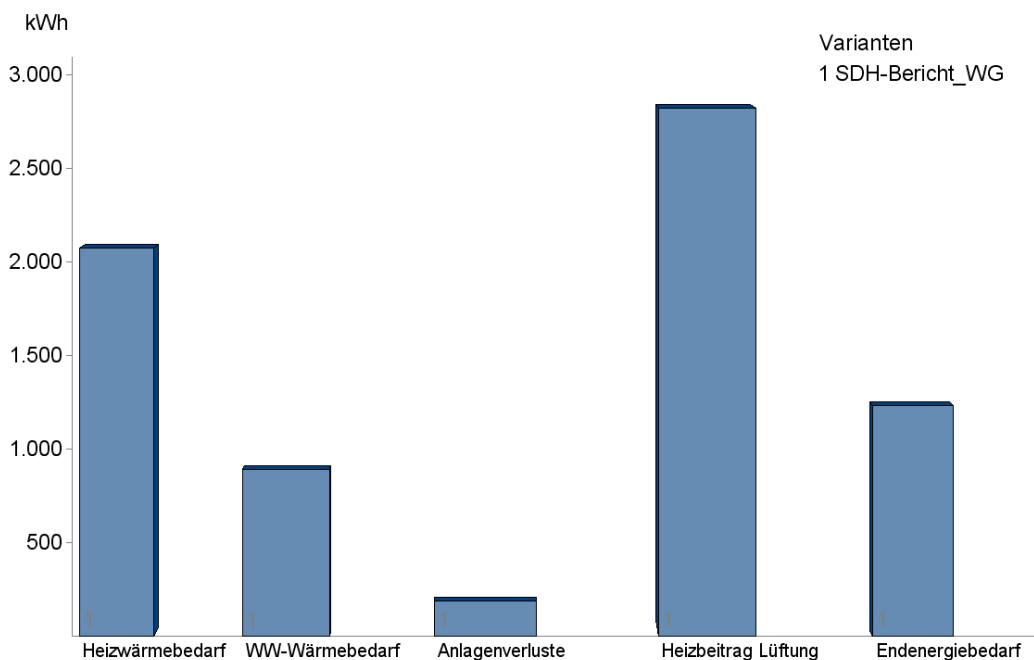
Nach Energieträgern aufgeschlüsselt erhält man einen Strombedarf von 776 kWh/a für Raumwärme und TWW, ein Wert, der weit unter dem Jahresenergieertrag der PV-Anlage liegt. Allerdings wird der größte Energiebedarf in den kalten Monaten Dezember bis Februar auftreten. Da in diesen Monaten mit geringen solaren Energiequellen (thermische Kollektoren, PV) zu rechnen ist, bleibt abzuwarten, ob das SDH ohne fremde Energiequellen selbst über den Winter kommen könnte. In Deutschland wird das SDH ans Stromnetz angeschlossen und ein Lastmanagement untersucht.

Energiebedarf nach Energieträgern

Energieträger	Endenergie kWh/a		f_p	Primärenergie kWh/a	
[Strom]	776	63 %	2,7	2.095	100 %
[solar]	457	37 %	-	-	- %
	1.233	100 %		2.095	100 %
Hilfsenergie (Strom)	289		2,7	782	
erneuerbare Energie	457	37 %			

Endenergie nach Energieträgern	Heizung kWh/m ² a	Warmwasser kWh/m ² a	Lüftung kWh/m ² a	Summe kWh/m ² a
[Strom]	0,0	4,1	6,8	10,9
[solar]	0,0	6,4	0,0	6,4
Hilfsenergie Strom	0,0	1,0	3,1	4,1

Kennwerte der Wärmeerzeugungsanlagen



Die Abbildung setzt die verschiedenen Energiemengen in Bezug zueinander. Ablesbar wird der große Anteil des TWW-Wärmebedarfs.

Der Heizbeitrag der Lüftung ist wesentlich höher als der Heizwärmebedarf, da hier die WRG berücksichtigt wird. Als Endenergiebedarf ist der Strombedarf der Wärmepumpe bilanziert.

Abb. 25 Wärmebedarf und Wärmeerzeugung, Heizwärmebedarf nach Rückrechnung der WRG, Quelle: DÄMMWERK

Primärenergiebedarf

Die primärenergetische Aufwandszahl für den EnEV-Nachweis wird mit $e_p = 0,97$ berechnet. Dabei wurden die Energieverbräuche für die Wärmepumpe und die Hilfsenergien (insbesondere der Strombedarf der Ventilatoren) mit dem f_p -Wert = 2,7 bewertet, obwohl die PV-Anlage in der Jahresbilanz ein Mehrfaches an Strom liefert.

Anlagen-Aufwandszahl

$$Q_P = (11,0 + 2,6) * 71 + (18,5 + 8,3) * 71 + (0,0 + 0,0) * 71 \quad 2.876 \text{ kWh/a}$$

$$\text{Heizwärmebedarf } Q_h = q_h * A_N = 29,1 * 71 \quad 2.073 \text{ kWh/a}$$

$$\text{Trinkwasserwärmebedarf } Q_{tw} = q_{tw} * A_N = 12,5 * 71 \quad 890 \text{ kWh/a}$$

$$\text{Anlagen-Aufwandszahl } e_p = Q_P / (Q_h + Q_{tw}) = 2.876 / (2.073 + 890) \quad \mathbf{0,97}$$

Primärenergie $Q_P = 2.876 \text{ kWh/a}$ (40,4 kWh/m²a)

Endenergie ohne Hilfsenergie, lokal $Q_{WE,E} = 746 + 487 + - = 1.233 \text{ kWh/a}$ (17,3 kWh/m²a)

Hilfsendenergie, lokal $Q_{HE,E} = 70 + 220 + - = 289 \text{ kWh/a}$ (4,1 kWh/m²a)

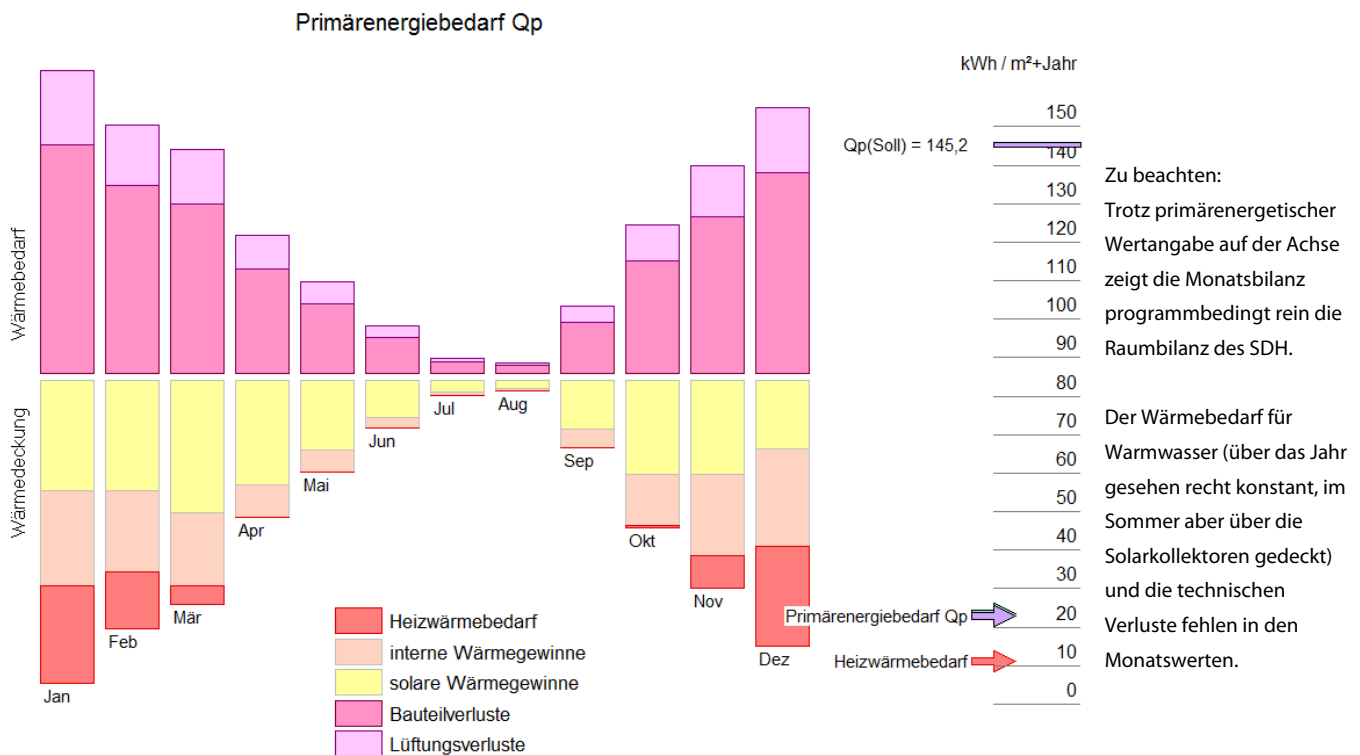


Abb. 26 Primärenergiebedarf zur Deckung des Wärmebedarfs (Monatsbilanzverfahren nach DIN 4108-6/4701-10),
 Quelle: DÄMMWERK

Nachweisverfahren

Nachweis der Einhaltung des § 3 oder § 9 Abs. 1 EnEV²⁾

Primärenergiebedarf			Energetische Qualität der Gebäudehülle		
Gebäude Ist-Wert	40,4	kWh/(m ² ·a)	Gebäude Ist-Wert H _T '	0,17	W/(m ² ·K)
EnEV-Anforderungswert	145,2	kWh/(m ² ·a)	EnEV-Anforderungs-Wert H _T '	0,44	W/(m ² ·K)

Einordnung Gebäudeenergiestandard

Der Primärenergiebedarf liegt mit 40,4 kWh/m²a für alle bei Wohngebäuden zu bilanzierenden Dienstleistungen nur unwesentlich über dem Grenzwert von 40 kWh/m²a zum „KfW40-Programm“ der KfW. Zudem beinhaltet er den - in diesem Fall ungerechten - Primärenergiefaktor für Strom, der ja vor Ort solar erzeugt wird.

Eine Anerkennung als „Passivhaus“ wäre vermutlich ebenfalls zu erreichen. Der Jahres-Heizwärmebedarf (auf die Wohnfläche von 53 m² bezogen und damit erschwert) übersteigt den Grenzwert nur unwesentlich.

KfW-Energiesparhaus

Die Förderprogramme der Kreditanstalt für Wiederaufbau zur CO₂ - Minderung durch Energiesparhäuser sind an die Einhaltung / Unterschreitung der nachfolgend aufgeführten Grenzwerte gebunden (Stand 01/2007). Die Unterschreitung der Grenzwerte für Passivhäuser muß nicht unbedingt bedeuten, dass auf eine Heizungsanlage verzichtet werden kann.

		vorhanden	Grenzwerte		
			KfW60	KfW40	Passivhaus
Wärmeverlustkoeffizient H _T '	W/m ² K	0,170	0,310	0,244	
Primärenergiebedarf Q _P '	kWh/m ² a	40,4	60,0	40,0	40,0
Jahres-Heizwärmebedarf* q _h	kWh/m ² a	15,1			15,0

erfüllt bedingt bedingt

*Der Jahres-Heizwärmebedarf zum "Passivhaus" wurde auf die Wohnfläche = 53,0 m² bezogen
 Hinweis: max H_T' (KfW60) = 0.7 * 0,443 = 0,310 W/m²K, max H_T' (KfW40) = 0.55 * 0,443 = 0,244 W/m²K

Energieausweis

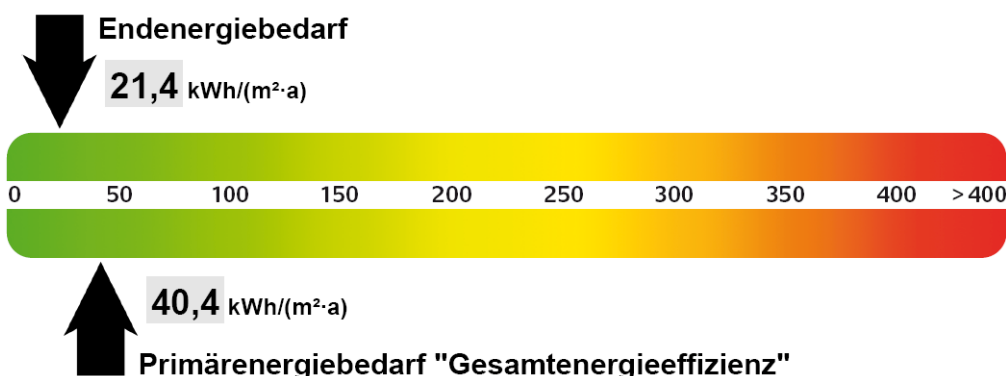


Abb. 27 Darstellung der Ergebnisse im (dena) Energieausweis nach DIN 4108-6 / 4701-10, der Endenergiebedarf enthält in dieser Auswertung auch den Hilfsstrombedarf, Quelle: DÄMMWERK

Nach DIN 4701-10 nicht bilanzierte Bereiche

Beleuchtung	Nach DIN V 4701-10 ist keine Bilanzierung vorgesehen. Der Strombedarf für Beleuchtung in Wohngebäuden ist stark nutzungsabhängig, rechtliche Anforderungen an die Beleuchtungsstärke und die Beleuchtungsdauer bestehen nicht. Im Fall einer Büronutzung wäre eine Bilanzierung nach DIN V 18599 möglich. Geschätzter Stromverbrauch für Beleuchtung im SDH bei Wohnnutzung: 200 kWh/Jahr.
Klimatisierung	Nach DIN V 4701-10 ist keine Bilanzierung vorgesehen. Aktive Klimatisierung in Wohngebäuden ist kein Nutzungs- sondern ein Komfortkriterium, denn die Benutzbarkeit der Räume muss auch über die Fensterlüftung hergestellt werden können. Die rechnerische Bilanzierung der Klimatechnik im SDH wird auch nach DIN V 18599 problematisch, siehe Abschnitt DIN V 18599. Der Energiebedarf für technische Klimatisierung dürfte erheblich sein.
Haushaltsgeräte	Eine Bilanzierung des Strombedarfs für Haushaltsgeräte ist weder in DIN V 4701-10 noch in DIN V 18599 vorgesehen. Der Energiebedarf in diesem Bereich ist erheblich wenn auch stark nutzungsabhängig. Eine rechnerische Analyse ist wünschenswert, wenn sie quantitative Aussagen enthält und den Gebäudenutzer eine bessere Kontrolle ermöglicht.
Photovoltaik	Eine Bilanzierung der PV-Anlage ist weder in DIN V 4701-10 noch in DIN V 18599 vorgesehen. Das hängt vor allem damit zusammen, dass solar erzeugter Strom uneingeschränkt in das öffentliche Stromnetz eingespeist werden darf und hoch vergütet wird. Der politische Anreiz zum Bau von PV-Anlagen ist also strikt ökonomischer Natur, eine zusätzliche energetische Gutschrift ist nicht geplant, stattdessen wird die (noch geringe) regenerative Energieerzeugung durch PV in Deutschland dem allgemeinen Stromnetz gutgeschrieben. Die Stromproduktion des SDH ist mit etwa 10.000 kWh/Jahr erheblich, steht naturgemäß aber in keiner wirtschaftlichen Relation zu den getätigten Investitions- und Unterhaltungskosten für den Prototypen.
Heizwärmebedarf	Die Ermittlung des Heizwärmebedarfs nach DIN V 4108-6 ist weitgehend gesichert. Das Verfahren hat sich seit einigen Jahren bewährt und wird auch von der DIN V 18599 fast unverändert übernommen. Bilanzierungsschwächen bestehen in den Bereichen Wärmebrückenverluste, Glasfassaden und Ausnutzungsgrade. Die Vorteile von Latentwärmespeichern sollten in Zukunft berücksichtigt werden können.
Solarthermie	Der Energieertrag der thermischen Solaranlage kann nach DIN V 4701-10 mit Näherungswerten bilanziert werden. Die Qualität der damit erzielten Ergebnisse sollte durch Vergleichsrechnungen (DIN V 18599, Simulationsrechnungen) sowie Messwerte (Monitoring) überprüft werden.
Lüftungsgerät mit WRG und WP	Eine Bilanzierung des Kompaktgerätes im SDH ist nach DIN V 4701-10 möglich. Die Qualität der erzielten Ergebnisse werden anhand der differenzierteren Methoden der DIN V 18599 und durch Messungen überprüft.
Anlagentechnik für Gebäude mit $A_N < 100\text{m}^2$	Allgemein ist anzumerken, dass das Tabellenverfahren in DIN V 4701-10 auf kleine Gebäude nicht angewendet werden kann. Im Zuge der Vereinfachung würde eine Ausweitung der Tabellenwerte z.B. für Flächen A_N ab 50m^2 helfen, eine aufwendige, detaillierte Berechnungen für kleine (Wohn-)gebäude entfallen zu lassen (bspw. kleine Reihenhäuser).

Bilanzierung nach DIN 18599

Die Zusammenarbeit mit Kern Ingenieurkonzepte ermöglicht die Anwendung der DIN V 18599 auf das Solar Decathlon Haus als Prototypen für ein Plusenergie-Wohnhaus der Zukunft. Dafür müssen einige Parameter der Berechnungsmethodik angepasst werden, da die Norm hierfür noch nicht vorgesehen ist.

Die Berechnungssoftware DÄMMWERK bietet parallel zur EnEV-Berechnung nach DIN V 4108-6 / DIN V 4701-10 die Berechnungsmethoden der neuen DIN V 18599 an. Die Programmierung wurde unabhängig vom „Rechenkern“ des Fraunhofer Instituts für Bauphysik vorgenommen, so dass für bestimmte Eingaben freiere Annahmen getroffen werden konnten.

Gebäudeeingabe

Auch die Bilanzierung nach DIN 18599 gehört in die Gruppe der Kennwertbilanzen. Der grundlegende Ansatz und Aufbau sowie viele Begrifflichkeiten wurden bereits im Kapitel „Der Aufbau von Energiebilanzen“ diskutiert.

Die gesamten Eingaben zum Solar Decathlon Haus, alle zusammenfassenden Tabellen und sich ergebenden Faktoren finden sich in Anhang 3, „Rechenblätter zur DIN 18599“. Die nachfolgenden Beschreibungen und Anmerkungen beziehen sich darauf.

Gebäudegeometrie

Die Gebäudeabmessungen wurden in Dämmwerk über ein Faltmodell mit den Kubus-Außenabmessungen $b * l * h = 9,69 * 5,74 * 4,00$ m beschrieben. Daraus resultiert eine Hüllfläche von 243 m^2 bei einem Bruttovolumen von 222 m^3 . Das Nettoraumvolumen wurde mit 133 m^3 manuell eingegeben, da größere Teile des Gebäudeinneren abgeschlossene Hohlräume (Doppelboden, abgehängte Decke, Haustechnikbereiche) sind. Sie gehen als Teil des beheizten Volumens in das A/V-Verhältnis ein. Weitere Erläuterungen zum „Flächenmanagement mit Faltmodellen“ siehe Kapitel DIN V 4108-6.

Zonierung

Das einzonige Gebäude wurde mit der Nutzungsart eines „Einfamilienhauses“ berechnet. Die Nutzungsdauer wird mit 365 Tage im Jahr veranschlagt, also einer durchgehenden Nutzung ohne Unterbrechung. Diverse Nutzungsrandbedingungen müssen allerdings modifiziert werden, denn für Wohnzonen sieht DIN 18599 z.B. keine explizierte Bilanzierung der Beleuchtung oder der Kühlung vor.

1.0 Geplante Gebäudezonen (DIN V 18599-1)

Betrachtungsmonat Januar, $\vartheta_e = -1,3 \text{ }^\circ\text{C}$

Zone	Typ	t_{nutz} d/a	ϑ_i $^\circ\text{C}$	$\vartheta_{i,WE}$ $^\circ\text{C}$	A_{NGF} m^2	V m^3
<1> SDH	EFH	365	19,2		53	133
					53	133

Typ = Nutzungstyp nach DIN V 18599-10, Tabelle 4

t_{nutz} = Nutzungstage / Jahr \Rightarrow Nutzungsanteile für den Regel- und Wochenendbetrieb

A_{NGF} = Nettogrundfläche / V = Nettoluftvolumen

ϑ_i = mittlere Innentemperatur für Januar, ggf. bei eingeschränktem Heizbetrieb

$\vartheta_{i,WE}$ = mittlere Innentemperatur im Wochenendbetrieb

Nutzungsrandbedingungen

Teil 10 der DIN V 18599 stellt für die verschiedenen Nutzungen Randbedingungen zur Verfügung, die als Eingangsgrößen in die Bilanzierung eingehen.

1.1 Nutzungsrandbedingungen (DIN V 18599-10)

	Einheit	<1>	Erläuterung / manuelle Änderung
1	t_{nutz} h/d	24	Nutzungsstunden / Tag
2	t_{nutzda} d/a	365	Nutzungstage / Jahr
3	d_{op} d/a	365	Betriebstage Heizung / RLT
4	t_{heiz} h/d	17	Heizzeit geändert, 7 h Abschaltbetrieb
5	t_{sollH} $^\circ\text{C}$	20	$t_{\text{sollH,zg}}$, Regelwert für Wohngebäude
6	dT_{INA} $^\circ\text{K}$	4	dT Nachtabsenkung, geändert, Regelwert = 0
7	Heizbetrieb	1	mit Nachtabsenkung
8	t_{minH} $^\circ\text{C}$	20	
9	t_{vmch} h/d	24	RLT-Betriebsstunden
10	VA m^3/hm^2		für EFH Luftwechselzahl, siehe unten
11	Feuchteanf	1	ohne Feuchteanforderung
12	t_{copd} h	24	abgestimmt auf t_{vmch}
13	t_{sollC} $^\circ\text{C}$	24	wie Richtwert für NWG, manuell
14	t_{maxC} $^\circ\text{C}$	24	dito
15	v_{onh} h	0	Beleuchtung für EFH nicht vorgesehen
16	b_{ish} h	24	Annahme: ganztägiger Betrieb
17	t_{nutzhat} h/a	3500	Tagstunden insgesamt = $365 \cdot 24/2 = 4380$ h
18	t_{nutzhan} h/a	1000	Nachtst. $365 \cdot 3$ h/d (i.M.) = 1095 h
19	Em lx	100	Beleuchtungsstärke, manuell, wie Nebenflächen
20	h_{Ne} m	0	Höhe der Nutzebene = Fußboden
21	kA	1	Minderung Sehaufgabe wie Nebenflächen
22	CA_{m}	0	keine relative Abwesenheit
23	Raumindex	1,5	wie Nebenflächen
24	F_{tn}	1	
25	q_{ip} Wh/ m^2d	50	Personenabwärme
26	q_{ifac} Wh/ m^2d	50	manuell für Haushaltsgeräte, Regelwert = 0
27	ABI m^2	53,00	Bezugsfläche für Interne
28	m_{Stt} kg/h		Stofftransporte nicht relevant
29	c_{Stt} Wh/kgK		
30	t_{in} $^\circ\text{C}$		
31	t_{out} $^\circ\text{C}$		
32	C_{wirk} Wh/ m^2K	50	leichte Gebäude (Quadratmeterbezug!)

spezielle Nutzungsrandbedingungen für Wohngebäude

49	a_{TB}	0	Anteil der mitbeheizten Fläche (Whg)
50	q_{TW} kWh/ m^2a	12,5	Warmwasserwärmebedarf, abgeglichen
51	n_{nutz} 1/h	0,5	Außenluftwechsel (Whg) = Regelwert
52	n_{mech} 1/h	0.5	Anlagenluftwechsel (Whg), Regelwert = 0.4

Hüllflächenbauteile

Nach der Beschreibung mit Faltmodellen reduziert sich die Anzahl der thermisch relevanten Hüllflächen auf 9. Für Dach und Grundfläche wurden zwei weitere Hüllflächen mit schlechterem U-Wert ergänzt (Hüllflächen 100a und 105a).

Die Hüllflächentabelle ist inhaltlich und im Ergebnis mit der Tabelle aus der Bilanzierung nach DIN V 4108-6 identisch (in diesem Kapitel bezeichnet als Wohngebäudeberechnung „WG-B“). Anstelle des LD-Wertes wird der Transferkoeffizient H_T verwendet. Wenn mit pauschalen Wärmebrückenzuschlägen gerechnet würde, ergäben sich Unterschiede, denn einerseits ist der WB-Zuschlag nach DIN V 4108-6 bereits im LD-Wert enthalten und andererseits werden Leitwerte zum Erdreich nach DIN V 18599 nicht (!) beaufschlagt.

Die Fenster der Nord- und Südfassade werden jeweils mit einem U-Wert beschrieben. Genau genommen ist der U-Wert der einzelnen Fenster von den jeweiligen Fensterabmessungen und Rahmenbreiten abhängig. Die so entstehenden Fehler sollten sich jedoch weitgehend gegenseitig ausgleichen. Die veranschlagten U-Werte konnten durch eine Nachrechnung nach EN ISO 10077 mit den Angaben in „simulation input form“ abgeglichen werden (siehe Bauteilberechnungen).

Bei den Wandkonstruktionen ergibt eine Berechnung nach EN ISO 6946 U-Werte von $0,093 \text{ W/m}^2\text{K}$, die Angabe in den Wettbewerbsunterlagen lautet $0,081 \text{ W/m}^2\text{K}$ für den Regelaufbau. Entsprechendes gilt für die Decken- und Fußbodenkonstruktion.

Wärmebrückenzuschlag

Ein pauschaler U-Wert-Zuschlag für Wärmebrücken bei hochgedämmten Gebäuden führt zu einer wesentlichen Verfälschung der Transmissionswärmeverluste. Dieses Problem in der Bilanzierung hochgedämmter Gebäude besteht seit der EnEV 2002. Eine detaillierte Berechnung ist unabdingbar.

Problem

Selbst der verringerte, pauschale U-Wert-Zuschlag von $0,05 \text{ W/m}^2\text{K}$ würde den spezifischen Transmissionswärmeverlust H_T von 40 auf 49 W/K und damit um 23% erhöhen.

Lösungsansatz

Die Wärmebrücken müssen detailliert berechnet werden. Zur Orientierung wurden die psi-Werte für eine Fensterleibung und eine Außenwandkante mit vereinfachtem Aufbau berechnet und eingesetzt.

Ergebnis

Die Berechnung der Wärmebrückenverluste wird aus der 4108-6-Bilanzierung übernommen. Detailliert nachgerechnet ergibt sich eine Erhöhung von H_T um nur 3%. Für die folgenden Berechnungen wurde dieser Wärmebrückenzuschlag verwendet.

2.2 Transferkoeffizienten

Transferkoeffizienten Transmission	$H_{T,D}$ W/K	$H_{T,s}$ W/K	$H_{T,iu}$ W/K	ΣH_T W/K	$H_{T,iz}$ W/K	$H_{T,zi}$ W/K
<1> SDH	37	4	0	41	0	0
	37	4		41		

$H_{T,D} = \Sigma A_j \cdot U_j + \Sigma \psi_j \cdot I_j$ = Wärmetransferkoeffizient zur Außenluft, Bauteile + Wärmebrücken

$H_{T,s} = \Sigma F_x \cdot A_j \cdot U_j$ = Wärmetransferkoeffizient über das Erdreich, alternativ L_s -Wert aus der Bauteilberechnung

$H_{T,iu} = \Sigma F_x \cdot A_j \cdot U_j$ = Wärmetransferkoeffizient zum unbeheizten Bereich

$H_{T,iz} = \Sigma A_j \cdot U_j$ = Wärmetransferkoeffizient zu angrenzenden Gebäudezonen

spezifischer, auf die Umfassungsflächen bezogener Transmissionswärmetransferkoeffizient

$$H'_{T,vorn} = (H_{T,D} + F_x \cdot H_{T,iu} + F_x \cdot H_{T,s}) / A = 41,2 / 243,1 = \mathbf{0,17 \text{ W/m}^2\text{K}}$$

Die Transferkoeffizienten sind nach DIN V 18599 weiter zu differenzieren ($H_{T,s}$ als Koeffizient zum Erdreich, $H_{T,iu}$ als Koeffizient zum unbeheizten Raum), ohne dass damit Ergebnisänderungen verbunden wären.

Die Bilanzierung von Wärmeströmen zu angrenzenden Zonen in mehrzonigen Gebäuden mit unterschiedlichen Raumtemperaturen ($\Delta T > 4^\circ\text{C}$) ist neu. Solche Wärmeströme beeinflussen natürlich die zonenbezogene Energiebilanz, sie müssen in beiden beteiligten Zonen berücksichtigt werden ($H_{T,iz} / H_{T,zi}$). Für das SDH nicht relevant.

Wärmebilanz des Gebäudes

Gebäudestandort

Das SDH wird einheitlich mit dem Standort Deutschland berechnet, Temperatur- und Strahlungsdaten unterscheiden sich gegenüber DIN V 4108-6 nicht. (Siehe Kapitel zur DIN V 4108-6).

Transmissionswärmetransfer

Die Annahmen zur Gebäudehülle und der sich ergebende Transmissionswärmetransfer sind in der folgenden Tabelle zusammengefasst:

2.0 Transmissionswärmetransfer (DIN V 18599-2)

Transferkoeffizienten H_T aus der Hüllflächentabelle nach DIN V 18599, T2

Hüllfläche	Zone	A [m ²]	U [W/m ² K]	F _x [-]	Anmerkung	H _T [W/K]
SDH						
1 F 0105 FD	1:0	55,6	0,089	1,00	F _D ...	5,0
1a F 0105a FD	1:0	3,2	0,089	1,00	F _D ...	0,3
2 F 0101 FAW Süd	1:0	14,1	0,093	1,00	F _{AW} ...	1,3
3 F 0102 FAW Ost	1:0	23,0	0,093	1,00	F _{AW} ...	2,1
4 F 0103 FAW Nord	1:0	14,2	0,093	1,00	F _{AW} ...	1,3
5 F 0104 FAW West	1:0	23,0	0,093	1,00	F _{AW} ...	2,1
6 A 0101 FF Süd	1:0	24,7	0,599	1,00	F _F 02	14,8
7 A 0103 FF Nord	1:0	16,5	0,422	1,00	F _F 02	7,0
8 T 0103 FAW Türen	1:0	10,1	0,235	1,00	F _{AW} ...	2,4
9 F 0100 FG	1:0	55,6	0,109	0,60	F _G 25 14	3,6
9a F 0100a FG	1:0	3,2	0,109	0,60	F _G 25 14	0,2
		Σ A [m ²] =	243,1	Σ H _T [W/K] =		40,1

Bodenplattenmaß B' (25) = $A_G / (0.5 P) = 56 / 15 = 3,60$ m (DIN V 4108-6, E.3)

Lüftungswärmetransfer

Die Fügechnik im SDH ist - trotz mehrmaligem Auf- und Abbau des Gebäudes - für die Einstufung in die Dichtheitskategorie I (LWZ bei 50 Pa Überdruck $n_{50} \leq 1$) ausreichend. Diese Eigenschaft ist für Gebäude mit mechanischen Lüftungsanlagen unverzichtbar, da sich andernfalls die kalkulierten Druckverhältnisse nicht einstellen könnten und die Berechnungsansätze für n_{inf} (Infiltrationsluftwechsel), n_{win} (Fensterluftwechsel) und n_{mech} (mechanischer Luftwechsel) nicht korrekt wären.

Das Verfahren ist gegenüber DIN V 4108-6 wesentlich aufwändiger, vermutlich auch genauer. Bereits zu diesem Zeitpunkt ist die Art der Lüftungsanlage (Abluft, balanciert usw. wegen der Druckverhältnisse) und der mechanisch bewegte Luftvolumenstrom (zur Ermittlung von n_{mech}) festzulegen. In Nichtwohngebäuden wird außerdem anstelle des Mindestaußenluftwechsels ein nutzungsabhängiger Außenluftvolumenstrom verwendet. Die Luftwechselzahlen werden immer auf 24 Stunden bezogen.

Für den Lüftungswärmetransfer wurde ein dichtes Gebäude an einem Standort mit mittlerer Abschirmung und mehr als einer, windexponierten Fassade angenommen. Der Vorgabewert für den mechanischen Luftwechsel für Wohnzonen mit Lüftungsanlage (24h-Betrieb) ist $n_{mech} = 0,50$ 1/h. Hinzu kommt ein Luftwechsel von 0,17 1/h infolge Infiltration und manueller Fensterlüftung.

3.0 Lüftungswärmetransfer (DIN V 18599-2)

Gebäudedichtheit Regelwert, Kategorie I, mit Dichtheitsprüfung / RLT-Anlage (T2, Tab.4), $n_{50} = 1,00 \text{ h}^{-1}$

Windschutzkoeffizienten für mittlere Abschirmung, mehr als eine exponierte Fassade
 $e_{\text{wind}} = 0,07 \quad f_{\text{wind}} = 15$ (EN ISO 13790 Tab.G4)

Luftaustausch zwischen Gebäudezonen: vernachlässigbar oder Temperaturdifferenz $\leq 4^\circ\text{K}$

Zone	n_{50}	V_A	Luftwechsel		Fenster	Lüftungsanlage	
	h^{-1}	$\text{m}^3 / \text{m}^2 \text{h}$	n_{nutz}	n_{inf}	n_{win}	n_{mech}	$t_{V,\text{mech}}$
			h^{-1}	h^{-1}	h^{-1}	h^{-1}	h/d
<1> SDH	1,00	n_{nutz}	0,50	0,07	0,10	0,50	24

V_A = Außenluftvolumenstrom während der Nutzungsstunden, Mindestwert
 n_{nutz} = Mindestaußenluftwechsel = $V_A \cdot A_{\text{NGF}} / V$ während der Nutzungsstunden (Nichtwohngebäude)
 n_{inf} = Infiltrationsluftwechsel = $n_{50} \cdot e_{\text{wind}}$ oder mit RLT $n_{\text{inf}} = n_{50} \cdot e_{\text{wind}} \cdot (1 + f_{V,\text{mech}} \cdot t_{V,\text{mech}} / 24)$
 $f_{V,\text{mech}}$ = Bewertungsfaktor für die Infiltration bei nicht balancierten RLT-Anlagen nach Gl.62/63
 n_{win} = Fenster- / Türluftwechsel = $0,1 + \Delta n_{\text{win}} \cdot t_{\text{nutz}} / 24$, mit RLT = $0,1 + \Delta n_{\text{win,mech}} \cdot t_{V,\text{mech}} / 24$
 $\Delta n_{\text{win}} = n_{\text{nutz}} - (n_{\text{nutz}} - 0,2) \cdot n_{\text{inf}} - 0,1$ (ohne RLT), falls $n_{\text{nutz}} > 1,2 \Rightarrow \Delta n_{\text{win}} = n_{\text{nutz}} - n_{\text{inf}} - 0,1$
 $n_{\text{mech}} = n_{\text{mech,ZUL}}$ = Zuluft-Luftwechselzahl mechanisch während der Nutzungsstunden
 Hinweis: n_{inf} und n_{win} sind die Luftwechsel im Tagesmittel (Nutzungs- und Nichtnutzungsstunden)
 Volumenströme V_{mech} und V^* (Auslegung, zonenweise) siehe Abschnitt "RLT-Systeme"

Transferkoeffizienten	$H_{V,z,\text{Jan}}$	$H_{V,\text{inf}}$	$H_{V,\text{win}}$	ΣH_V	$H_{V,\text{mech}}$	$\vartheta_{V,\text{Jan}}$
Lüftung	W/K	W/K	W/K	W/K	W/K	$^\circ\text{C}$
<1> SDH	0	3	5	8	22	17,0

$H_{V,z} = V \cdot 0,34$ [W/K] = Wärmetransferkoeffizient Lüftung zu angrenzenden Zonen, monatlich, temperaturgewichtet
 $H_V = \text{Wärmetransferkoeffizient Lüftung} = n \cdot V \cdot c_{p,a} \cdot \rho_a = n \cdot V \cdot 0,34$ [W/K]
 $\Sigma H_V = H_{V,z,\text{Jan}} + H_{V,\text{inf}} + H_{V,\text{win}}$, Transferkoeffizienten ohne RLT
 ϑ_V = Zulufttemperatur der RLT-Anlage für Januar, sh. "RLT-Systeme"
 Summenbildung unter Berücksichtigung der Zonen-Nutzungsanteile für Regel- und WE-Betrieb

Im Ergebnis erhält man eine Gesamt-Luftwechselzahl von 0,67 und den Lüftungswärme-Transferkoeffizienten $H_V = 8 + 22 = 30 \text{ W/K}$. In der WG-B (mit manuell angepasstem, identischem Nettoluftvolumen) ergab sich $n = 0,60$ und $H_V = 27,2 \text{ W/K}$.
 Normalerweise wird nach DIN V 4108-6 vereinfachend mit $V_L = 0,76 \cdot V_e = 169 \text{ m}^3$ gerechnet. Damit würde man $H_V = 34,5 \text{ W/K}$ erhalten.

Im Bedarfsfall können nach DIN V 18599 auch Luftströme zu benachbarten Zonen $H_{V,z}$ kalkuliert werden, wenn die Temperaturunterschiede erheblich sind. Dazu müssen dann die Transferkoeffizienten einer Temperaturkorrektur unterzogen werden.

Die Angabe $\vartheta_{V,\text{Jan}}$ steht für die Zulufttemperatur der RLT-Anlage im Januar (hier gerechnet mit maximaler WRG von 75%). Damit wird darauf hingewiesen, dass der Heizwärmebedarf aus Lüftungsverlusten ($H_V \cdot \Delta T \cdot \text{Betrachtungszeit}$) bei RLT-Anlagen mit WRG oder Heizregister mit dieser Temperatur und nicht mit Außenlufttemperatur gerechnet wird. Im Verfahren nach DIN V 4108-6 könnte man stattdessen die WRG > 0% wählen und würde damit den Transferkoeffizienten mindern.

Solare Wärmequellen

Die Kalkulation der solaren Wärmegegewinne im Winter bzw. Kühllasten im Sommer bereitet einige Schwierigkeiten. In DIN V 18599 wird davon ausgegangen, dass bewegliche Sonnenschutzvorrichtungen nicht (energie-)bewusst oder befindlichkeitsorientiert bedient werden.

Problem

Sowohl manuell wie auch motorisch gesteuerte Sonnenschutzvorrichtungen werden beinahe wie feststehende, geschlossene Verschattungseinrichtungen behandelt, die effektiven g-Werte im Winter unterscheiden sich kaum von den sommerlichen. Ein Grund für dieses Vorgehen mag sein, dass Sonnenschutzvorrichtungen in Nichtwohngebäuden in der Regel auch dem Blendschutz dienen, vor allem aber, dass sich die Gebäudenutzer nicht darum kümmern.

Lösungsansatz

In Wohnzonen / Wohngebäuden kann man in Analogie zur WG-B die Einstellung „ohne Sonnenschutzvorrichtung“ wählen, provoziert dann aber große, sommerliche Wärmelasten.

Ergebnis

Da für Wohnzonen in DIN V 18599 planmäßig keine Klimatisierung vorgesehen ist, wirkt sich dieser Ansatz nicht unbedingt nachteilig aus. Für das SDH ergeben sich wesentlich höhere Kühl- als Heizlasten.

4.0 Solare Wärmequellen (DIN V 18599-2)

4.1 Solare Wärmeeinträge über Fenster

Bauliche Verschattung aus Horizontwinkel α_h , Überhangwinkel α_o und Seitenwinkel α_s
 Abminderungsfaktoren $F_s = \min(F_h, F_o, F_s)$ nach DIN V 18599-2, Anhang A für Januar (Winter)

Kollektorfläche	Zone	A [m ²]	Neigung		α_h	α_o	α_s	F_s
6 A 0101 FF Süd	1	24,7	Süd	90°	0°	48°	0°	0,90
7 A 0103 FF Nord	1	16,5	Nord	90°	0°	0°	0°	1,00

Kollektorfläche	Zone	F_F	F_V	g_{\perp}	$g_{eff,Wi}$	$I_{S,Jan}$ W/m ²	$Q_{S,Jan}$ kWh/d
6 A 0101 FF Süd	1	0,80	1,00	0,48	0,39	5000	56
7 A 0103 FF Nord	1	0,80	1,00	0,38	0,34	5000	14

11,8

Q_S = Strahlungsgewinn pro Tag = $A \cdot F_F \cdot g_{eff} \cdot I_S \cdot t$ mit $g_{eff} = f(F_S, F_w, g_{\perp})$ (DIN V 18599-2 Abs.6.4)
 verwendete Verglasungen und Sonnenschutzvorrichtungen

5000 manuell ($\rho = 0,6$, $\tau = 0,2$, $a = 0 / 0,6$), $g_{tot} = 0,11$, $\tau_{D65} = 0,78$

5000 manuell ($\rho = 0,6$, $\tau = 0,2$, $a = 0 / 0,6$), $g_{tot} = 0,09$, $\tau_{D65} = 0,78$

DIN V 18599-2 arbeitet bei den solaren Gewinnen mit effektiven g-Werten, die wie folgt ermittelt werden müssen:



$$g_{\text{eff}} = F_s * F_w * F_v * g_{\text{tot}}$$

g_{eff} = wirksamer Gesamtenergiedurchlassgrad der Verglasung

g_{tot} = g-Wert der Verglasung inklusive Sonnenschutz (Tab.5), ohne Sonnenschutz gilt $g_{\text{tot}} = g$

F_s = Faktor für die bauliche Verschattung (Horizontwinkel, Überstände und Auskragungen)

F_w = Minderung für schrägen Strahlungseinfall (Standardwert 0.90)

F_v = Minderung für die Verschmutzung der Scheiben

Bewegliche Sonnenschutzvorrichtungen in Nichtwohnzonen werden parallel zur baulichen Verschattung mit $g_{\text{eff}} = F_w * F_v * (a * g_{\text{tot}} + (1-a) * g)$ bewertet (Gl. 103), der kleinere Wert g_{eff} ist maßgebend

a = Parameter (0..1) für die zeitliche Aktivierung der Sonnenschutzvorrichtung nach Tab A.4 / A.5

Der Wert „ g_{tot} “ entspricht in DIN V 18599-2 nicht dem Produkt „ $g * F_c$ “, wie das z.B. in DIN V 4108-6 gehandhabt wird, das Verhältnis „ g_{tot}/g “ bei verschiedenen Verglasungen und derselben Sonnenschutzvorrichtung streut. Aus diesem Grund können man eigentlich nur die vorgegebenen, tabellierten g_{tot} -Werte verwendet werden. Das sind aber sehr wenige, die nur unzureichend auf die verwendeten Verglasungen passen.

Problem

Die Anzahl der tabellierten g_{tot} -Werte, die den g-Wert der Verglasung inklusive der Sonnenschutzvorrichtung angeben, ist sehr gering und insbesondere für die konkrete Anwendung auf das SolarDecathlon Haus nur unzureichend.

Lösungsansatz

In Dämmwerk wurde ein Verfahren aus DIN V 4108-6, Anhang B zur Berechnung von g_{tot} zusätzlich programmiert.

Ergebnis

Mit den Transmissions-, Absorptions- und Reflexionsgraden der Sonnenschutzvorrichtung (für Solarstrahlung) kann anschließend ein g_{tot} -Wert berechnet werden. Die getroffenen Annahmen sind im Anhang zur DIN 18599 im Abschnitt „Längen, Flächen, Volumen“ dokumentiert.

Semitransparenter Sonnenschutz

Der Dachüberstand nach Süden verschattet die Südfassade mit einem Überhangwinkel von 48° gerade vor der steil stehenden Sonne im Sommer, ist allerdings semitransparent ausgeführt.

Problem

Für teilweise transparente Bauteilüberstände fehlt eine Berechnungsmethode.

Lösungsansatz

Bis jetzt fehlt ein Lösungsansatz.

Ergebnis

Der Dachüberstand nach Süden kann nur als opak angesehen oder nicht als konstruktives Bauteil abgebildet werden.

Beweglicher Sonnenschutz

Im Allgemeinen sollen in Gebäudezonen mit Wohnnutzung Sonnenschutzvorrichtungen nur berücksichtigt werden, wenn sie feststehend sind, das bedeutet, man rechnet bei beweglichen Systemen im Winter realistisch „ohne Sonnenschutz“, im Sommer erfolgt dann aber auch keine Minderung der Sonneneinstrahlung. Die Kühllast wird unrealistisch erhöht.

Problem

Bewegliche Sonnenschutzvorrichtungen mit variablen Sonnenschutz-Faktor a werden für Gebäudezonen mit Wohnnutzung nicht berücksichtigt. Dadurch entsteht eine unrealistisch hohe Kühllast im Sommer.

Lösungsansatz 1

Für Winter und Sommer können unterschiedliche a -Parameter zur Aktivierung der Sonnenschutzvorrichtung angegeben werden, $a = 0$ = Sonnenschutzvorrichtung nicht aktiviert, $a = 1$ = Sonnenschutzvorrichtung ist permanent geschlossen. Welche Monate zum Winter und welche zum Sommer gehören, wird global festgelegt (getroffene Annahme = erster Heizmonat = Oktober, letzter Heizmonat = März). Realistisch wird man die Sonnenschutzvorrichtungen in Wohnzonen automatisch besser steuern, d.h. die solaren Wärmegewinne werden solange ausgenutzt, wie sie verbraucht werden können. Ein bestehender Berechnungsansatz für dieses Handling ist den Bearbeitern nicht bekannt.

Lösungsansatz 2

Für das SDH wird das Vordach an der Südfassade mit einem opaken, horizontalen Überhangwinkel von 48° berücksichtigt. Der daraus resultierende Verschattungsfaktor F_s ist im Winter 0,90 und im Sommer 0,68. Der in Nichtwohngebäuden übliche Verschmutzungsfaktor ($F_v = 0,90$) wird nicht angesetzt, der Verglasungsanteil wird mit $F_f = 0,80$ (20% Rahmen, siehe WG-B) angenommen.

Die Gesamtenergiedurchlassgrade sind nach Süden 0,48 (3-Fach Verglasung) und nach Norden 0,38 (4-fach Verglasung).

Die effektiven g-Werte werden wegen des oben beschriebenen Dilemmas manuell berechnet. Das ist einigermaßen normkonform, denn DIN V 18599-2, Abs. 6.4.1 gestattet Berechnungen nach EN 13363 oder auch Herstellerangaben für die Größe „ g_{tot} “ ($g_{tot} = g$ -Wert bei geschlossener Sonnenschutzvorrichtung).

Problem

Eine manuelle Festlegung der a-Faktoren für die Aktivierung der Sonnenschutzvorrichtung wird allerdings nicht erwähnt. Auch muss darauf hingewiesen werden, dass die Berechnungsformeln nach EN 13363 von den gleichlautenden Formeln aus DIN V 4108-6, Anhang B, abweichen.

Lösungsansatz

Ausgehend davon, dass die geschlossenen Lamellenläden einen Reflexionsgrad für Strahlung von 60% sowie einen Absorptions- und Transmissionsgrad von je 20% aufweisen, dass sie im Winter tagsüber nicht geschlossen werden ($a = 0$) und im Sommer zu 20% der Tageszeit offen stehen ($a = 0,8$), berechnet man die oben in Tab. 4.1 gezeigten g_{eff} -Werte. Im Sommer ergibt sich $g_{eff} = 0,23$ für Süd und $g_{eff} = 0,19$ für Nord.

Annahmen: a_{Winter} gilt für die Heizperiode von Oktober bis März, a_{Sommer} gilt in den übrigen Monaten. Rechnet man mit einer Standardverglasung aus DIN V 18599-2 mit einer zeitgesteuerten Sonnenschutzvorrichtung, dann reduzieren sich die solaren Wärmeerträge auf unrealistisch kleine 475 kWh/Jahr, also auf etwa 1/10tel.

Ergebnis

Die getätigten Einstellungen haben große Wirkung. Die im Sommer überwiegend geschlossenen Sonnenschutzvorrichtungen reduzieren die jährlichen, solaren „Wärmegewinne“ (die sommerliche Wärmelast) von 7.182 auf 4.857 kWh/Jahr, also um 32%. Sommer und Winter wird dabei (provisorisch) manuell in ganzen Monaten festgelegt, da eine (energieoptimierte) Berechnungsregel fehlt.

Solare Wärmeeinträge opaker Bauteile

Im Allgemeinen führt die Berechnung der „solaren Wärmegewinne“ über opake Hüllflächenbauteile nicht zu relevanten Ergebnissen. Die Berechnung bilanziert Wärmeströme infolge Wärmezu- und -abstrahlung der äußeren Bauteiloberflächen, die sich im stationären Übergangswiderstand U der Bauteile nicht ausdrücken.

Die Wärmeeinträge sind im Winter in der Regel leicht negativ (erhöhte Abstrahlung), im Sommer dagegen positiv (zusätzliche unkontrollierte Wärmeeinträge). Dieser Umstand (erhöhte Lasten für die Kühlung) ist vermutlich auch der Grund dafür, dass solare Wärmeeinträge über opake Hüllflächen verbindlich bilanziert werden müssen.

Problem

Die Bilanzierung der solaren Wärmeeinträge über opake Bauteile ist verpflichtend, verschattete, opake Oberflächen sind in DIN V 18599 allerdings nicht vorgesehen

Lösungsansatz

Für das SDH wird der Strahlungs-Absorptionsgrad der Bauteiloberflächen allgemein mit 0,20 eingestellt, denn alle Wand- und Dachflächen sind weitgehend durch Solarabsorber verschattet. Damit ergibt sich keine relevante Erhöhung der solaren Wärmeeinträge. Hierbei muss allerdings hervorgehoben werden, dass ungeschützte Oberflächen mit normalen Absorptionsgraden (0,80 für dunkle Dachflächen, 0,50 für Wandflächen) die solaren Wärmeeinträge im SDH rechnerisch um etwa 20% erhöhen würden.

Ergebnis

Die solaren Wärmeeinträge über opake Bauteile verändern die solaren Wärmeeingänge nur minimalst, da die opaken Bauteile durch davor- bzw. darüber liegende Schichten (Lamellen, Dach PV) verschattet werden.

4.2 Solare Wärmeeinträge über opake Hüllflächen

Hüllfläche	Zone	A m ²	U W/m ² K	α	h _r W/m ² K	I _{S, Jan} W/m ²	Q _{S, Jan} kWh/d
1 F 0105 FD	1	55,6	0,09	0,20	4,50	33	-0,2
1a F 0105a FD	1	3,2	0,09	0,20	4,50	33	0,0
2 F 0101 FAW Süd	1	14,1	0,09	0,20	4,50	56	0,0
3 F 0102 FAW Ost	1	23,0	0,09	0,20	4,50	25	0,0
4 F 0103 FAW Nord	1	14,2	0,09	0,20	4,50	14	0,0
5 F 0104 FAW West	1	23,0	0,09	0,20	4,50	25	0,0
8 T 0103 FAW Türen	1	10,1	0,24	0,20	4,50	33	-0,1
							-0,4

$$Q_{S,op} = R_{se} \cdot U \cdot A \cdot (\alpha \cdot I_S - F_f \cdot h_r \cdot \Delta\vartheta_{er}) \cdot t \quad (\text{DIN v 18599-2, Gl.105})$$

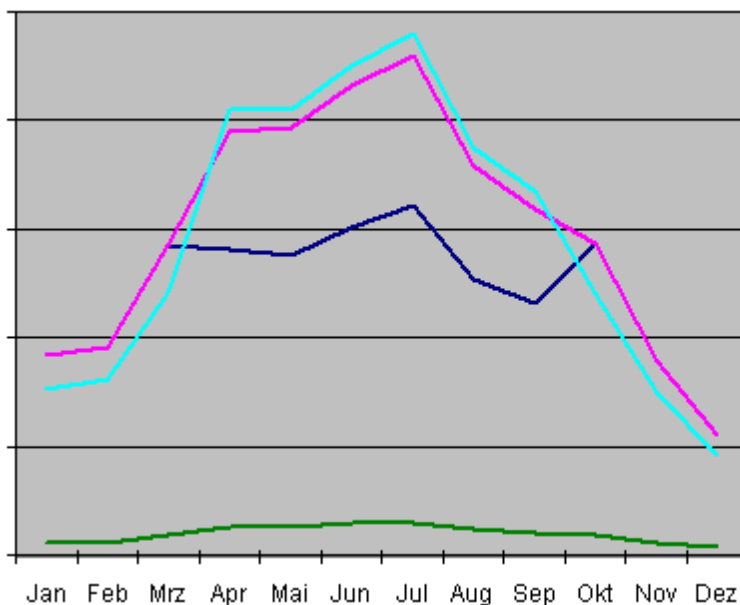
- α = Strahlungs-Absorptionsgrad (Tab.6), abhängig von der Bauteiloberfläche
- I_S = globale Sonneneinstrahlung, jahreszeit-, neigungs- und orientierungsabhängig [W/m²]
- F_f = Formfaktor zwischen Bauteil und Himmel (bis 45° Neigung = 1, über 45° = 0.50)
- h_r = äußerer Abstrahlungskoeffizient, Regelwert = 5 * Emissionsgrad = 5 * 0.8 = 4 W/m²K
- Δϑ_{er} = scheinbare, mittlere Temperaturdifferenz zwischen Bauteil und Himmel (10 °K)

4.3 solare Wärmegewinne

Zone	Okt kWh	Nov kWh	Dez kWh	Jan kWh	Feb kWh	Mär kWh	Apr kWh	Jahr kWh
<1> SDH	565	346	209	356	375	562	403	4.795
	565	346	209	356	375	562	403	4.795

Die folgende Grafik zeigt qualitativ den großen Unterschied im Jahresgang der solaren Wärmegewinne in Abhängigkeit verschiedener Bilanzmethoden.

Die Berechnung nach DIN V 4108-6 zielt allein auf den Heizwärmebedarf eines Gebäudes, die Betrachtung fokussiert also auf das Winterhalbjahr. Dementsprechend werden nur feststehende und jahreszeitlich unveränderliche Sonnenschutzvorrichtungen beachtet, beweglicher Sonnenschutz gilt realitätsnah als deaktiviert, um die passive Nutzung der Sonnenenergie zu erhöhen. Der Graph entspricht näherungsweise durchgehend deaktiviertem Sonnenschutz.



geff manuell
 Solare Wärmegewinne mit den oben beschriebenen Einstellungen für Verglasung, Sonnenschutzvorrichtung und a-Faktoren.

geff ohne
 Wärmeertrag bei durchgehend deaktivierter Sonnenschutzvorrichtung.

MSIV
 DIN V 18599 Standardeinstellung (3S-WSG, U-Wert 0.6, Außenjalousie 10° weiß, zeitgesteuert $g_{tot} = 0,03$, $D_{65} = 0,69$).

Abb. 28 Solare Wärmegewinne in Abhängigkeit verschiedener Bilanzmethoden, Quelle: DÄMMWERK

Die manuellen Eingaben für den beweglichen Sonnenschutz zeigen ihre Wirkung im Bereich des sommerlichen Wärmeschutzes. Im Winterhalbjahr entspricht der Graph wiederum dem des deaktivierten Sonnenschutzes.

Klimadatensatz

Ein generelles Problem der Bilanzierung nach DIN V 18599 ist die Bindung an einen einzelnen Klimadatensatz für Deutschland. Der ausgewählte Standort ist Würzburg.

Problem

Das lokale Klima kann hinsichtlich Außentemperatur und Strahlungsangebot stark vom Würzburger Referenzklima abweichen.

Lösungsansatz

Das Strahlungsangebot für Solarstrahlung kann eigenmächtig für andere deutsche und europäische Standorte manuell eingestellt werden.

Die Kennwerttabellen für RLT-Anlagen und Klimakältesysteme würden allerdings nicht mehr passen.

Ergebnis

Die energetische Bilanzierung ist an das Deutschlandklima gebunden, abweichende Klimabedingungen können nur schwer abgebildet werden.

Das solare Wärmeangebot als auch der Ertrag von Solarkollektoren und Photovoltaik würden auf Änderungen stark reagieren. Klimadaten sind im Rechenansatz der DIN 18599 aber keine Eingangsgrößen mehr. Das thermische Verhalten von Gebäuden wurde in dynamischen Simulationen ermittelt und in fixe, tabellierte Werte überführt.

Die Kennwerttabellen für die RLT Anlagen und die Klimakälteeinrichtungen bleiben deshalb von der manuellen Änderung des Strahlungsangebots unbeeindruckt, eventuelle Konflikte zwischen den auf verschiedenen Grundlagen basierenden Ansätzen müssen beachtet werden.

Interne Wärmequellen

Die planmäßige Belegung des Gebäudes (2 Personen über 24 Stunden, 60 W/Person, auf 53m² Wohnraum) kann mit der gegebenen Standardeinstellung für Personenabwärme von 50 Wh/m²d abgebildet werden ($50 \cdot 53 / 1000 = 2,6$ kWh/d).

Problem

Zur Geräteabwärme (Haushaltsgeräte, Kommunikation) sind genauere Überlegungen nötig. In DIN V 18599 wird Fremdwärme für Haushaltsstrom nicht bilanziert, Geräteabwärme in Wohnzonen = 0. Da die Geräteabwärme in gut gedämmten Gebäuden eine wesentliche Rolle für den Wärmehaushalt spielt, sollte sie dennoch bilanziert werden.

Lösungsansatz

Provisorisch wird die Geräteabwärme mit dem doppelten Wert der Personenabwärme veranschlagt.

Grundlage dafür ist der berechnete Stromverbrauch. Abschätzung Haushaltsstrom: 30 kWh/m²a, Hilfsstrom = 6 kWh/m²a, bei 365 Tagen = $36 \cdot 53 / 365 = 5,3$ kWh/d.

Ergebnis

Interne Fremdwärme aus Haushaltsstrom besitzt einen nicht zu vernachlässigenden Einfluss auf die thermische Energiebilanz des Gebäudes. Der Einfluss muss über die Erfassung von Messwerten bezüglich des Stromverbrauchs in der Heizperiode geprüft werden.

5.0 Interne Wärme- und Kältequellen (DIN V 18599-2)

Zone	A_B m ²	$Q_{I,p}$ kWh/d	$Q_{I, fac}$ kWh/d	$Q_{I,g}$ kWh/d	Q_I kWh/d
<1> SDH	53	2,6	5,3	0,0	8,0

ungeregelte Wärmeeinträge im Januar

Zone	Leuchtenabluft m ³ /hW	$Q_{I,L}$ kWh/d	$Q_{I,h}$ kWh/d	$Q_{I,w}$ kWh/d
<1> SDH	0,0	1,3	0,1	0,7

A_B = Bezugsfläche für die internen Wärmequellen / -senken

$q_{I,p}$ = durchschnittliche, tägliche Wärmeabgabe von Personen

$q_{I, fac}$ = durchschnittliche, tägliche Wärmeabgabe von Geräten und Maschinen

$Q_{I,g} = Q_{I, goods}$ = täglicher Wärmeeintrag durch Stofftransporte

Q_I = Summe der internen Wärmequellen / -senken, Tageswert

Leuchtenabluft = Volumenstrom des Leuchten-Abluftsystems (0 = ohne Abluft)

$Q_{I,L}$ = Wärmeeinträge durch künstliche Beleuchtung, berücksichtigt vorhandene Abluftsysteme

$Q_{I,h}$ = unregelmäßige Wärmeeinträge der Heizungsanlage, siehe Heizsysteme

$Q_{I,w}$ = unregelmäßige Wärmeeinträge der Warmwasserversorgung, siehe Warmwassersysteme

Die unregelmäßigen Wärmeeinträge aus Beleuchtung und aus dem Heiz- und Warmwassersystem kommen aus den zugehörigen Berechnungen. Diese erfolgt iterativ, d.h. festgestellte, unregelmäßige Wärmeeinträge werden im jeweils nächsten Berechnungsgang zum Ansatz für interne Wärmegewinne.

Das Berechnungssystem stabilisiert sich in der Regel schnell.

In der WG-B wurde ein pauschaler Ansatz für interne Wärmegewinne verwendet (5 W/m² entsprechend $5 \cdot 24 \cdot 53 / 1000 = 6,4$ kWh/d), der im Jahresverlauf konstant ist. Nach DIN V 18599 sind die unregelmäßigen Wärmeeinträge monatlich veränderlich, für Januar erhält man $Q_I = 10,1$ kWh/d (siehe Tabelle) mit Haushaltsgeräteabwärme und $Q_I = 4,8$ kWh/d ohne Haushaltsgeräte.

Fremdwärmenutzungsgrad

Bei der Ausnutzung der internen und solaren Wärmequellen kommt es insbesondere auf die wirksame Wärmespeicherfähigkeit des Gebäudeinneren an.

Problem

Die Einschätzung des vorhandenen Wärmespeichervermögens bereitet Probleme, wie bereits in der WG-B erläutert. Der eingebaute Latentwärmespeicher kann über c_{wirk} nicht erfasst werden. Die Gipskartonverkleidungen und Fußbodenbeläge im Gebäudeinneren bringen es gerade auf $c_{\text{wirk}} = 25 + 10 \text{ Wh/m}^2\text{K}$ (10 Wh/m²K für Innenbauteile).

Lösungsansatz

Für die Berechnung wird für den Winter $c_{\text{wirk}} = 40 \text{ Wh/m}^2\text{K}$ ohne PCM-Funktion und im Sommer $c_{\text{wirk}} = 80 \text{ Wh/m}^2\text{K}$ angenommen. 50 Wh/m²K würden dem Ansatz in der WG-B von 15 Wh/m³K entsprechen (in der WG-B Bezug auf Kubikmeter, in der Berechnung nach DIN V 18599 Bezug auf Quadratmeter).

Das geringe Speichervermögen im SDH führt dazu, dass bereits im Januar die solaren und internen Gewinne nur zu 80% genutzt werden können:

7.0 Ausnutzungsgrad für Wärmequellen (DIN V 18599-2)

Betrachtungsmonat Januar

Zone	ΣH_T W/K	ΣH_V W/K	$\Sigma H_{V, \text{mech}}$ W/K	Q_{sink} kWh/d	Q_{source} kWh/d	γ
<1> SDH	41	8	22	25	21	0,848
Zone	C_{wirk} Wh/m ² K	H W/K	τ h	a -	η -	η_{WE}
<1> SDH	40/ 80	71	29,65	2,85	0,798	

Das Berechnungsprinzip für den Ausnutzungsgrad ist aus DIN V 4108-6 / EN 832 bekannt, siehe WG-B. In Gebäuden oder Gebäudezonen mit weniger als 365 Nutzungstagen (Wochenendbetrieb) muss zusätzlich der Ausnutzungsgrad WE berechnet werden, da im Wochenendbetrieb normalerweise keine internen Wärmegewinne zur Verfügung stehen. Außerdem sind die Ausnutzungsgrade in mehrzonigen Gebäuden zonenbezogen zu bestimmen (2 * n Zonen * 12 Werte).

Ergebnis

Mit großem Wärmespeichervermögen ($c_{\text{wirk}} = 130 \text{ Wh/m}^2\text{K}$) könnte der Heizwärmebedarf im vorliegenden Fall gegenüber der leichten Bauweise (Standardwert $c_{\text{wirk}} = 50 \text{ Wh/m}^2\text{K}$) von 770 auf 400 kWh/Jahr (um fast 50%) reduziert werden.

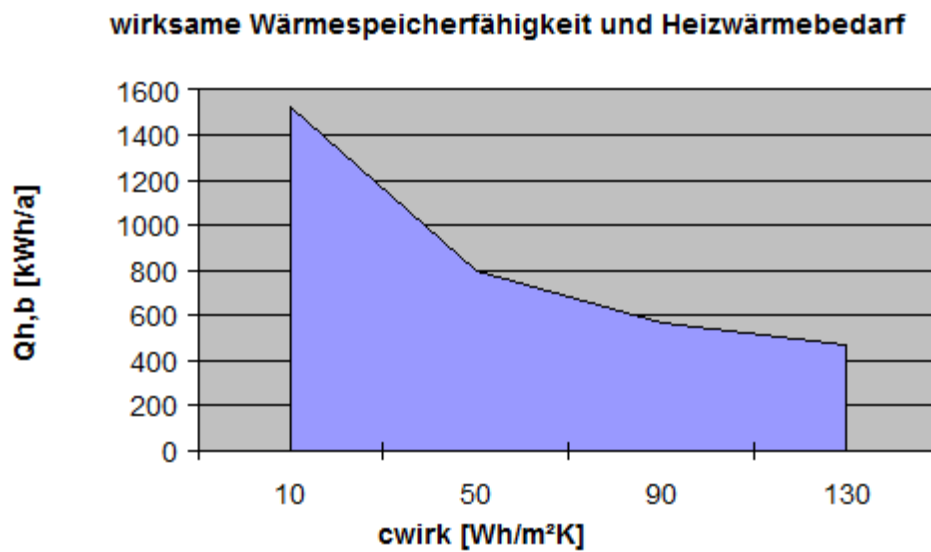


Abb. 29 Jahres-Heizwärmebedarf $Q_{h,b}$ in Abhängigkeit von c_{wirk} , Quelle: DÄMMWERK

Wirksame Speichermasse von Latentwärmespeichern

Die Funktion des wärmespeichernden PCM-Materials in den Gipskarton-Bekleidungen ist zu diskutieren.

Problem

Das PCM-Material speichert laut Herstellerangabe bei 15 mm Plattendicke ca. 92 Wh/m². Diese Speicherfähigkeit wird allerdings nur einmalig beim Temperaturdurchgang durch die „operate temperatur“ von 23 °C aktiviert. Da es sich hierbei um Latentwärme handelt, besteht kein (sensibler) °K-Bezug.

Lösungsansatz

Gegenüber den Regelungen in DIN V 4108-6 / EN 832 (Wohngebäude) benutzt DIN V 18599-2 eine grundflächenbezogene, wirksame Wärmespeicherfähigkeit in Wh/m²K. Der genaue Wert soll nach EN ISO 13786 berechnet werden. Die dort beschriebene 10cm-Regel besagt, dass die inneren Bauteilschichten bis zur ersten Dämmschicht bzw. bis maximal 10 cm Bauteiltiefe an der Wärmespeicherung teilnehmen.

Mit diesem Ansatz wird aber eine längerfristige Wärmespeicherung beschrieben (Speicherung über mehrere Tage oder Wochen). Man kann dies unter anderem aus dem Rechenansatz ableiten, der in DIN 4108-6, Anhang C für die wirksame Wärmespeicherfähigkeit der Nachtabsenkung verwendet wird.

Dort benutzt man wegen der kurzfristigen Speichervorgänge eine 3cm-Regel.

In der vorliegenden Berechnung spielt der Unterschied keine Rolle, da die wärmespeichernden Bauteilschichten sowieso nicht tiefer als 3 cm von der Bauteiloberfläche entfernt liegen. Ob allerdings die tägliche Be- und Entladung, wie das bei PCM der Fall ist, mit den Regeln aus EN ISO 13786 einigermaßen zutreffend beschrieben werden können, ist nicht bekannt.

Ergebnis

Sofern die realen Raumtemperaturen im Winter um die 23°C-Marke schwanken, würde das Material dann aktiv, Fremdwärme aus solaren und internen Quellen könnte gepuffert werden. 65,5 m² PCM und eine mittlere Temperaturschwankung von durchschnittlich 3°K vorausgesetzt könnte man dann den Wert c_{wirk} um $65,5 \cdot 92 / 3 / 50,5 = 39,8$ Wh/m²K, bei 2°K Temperaturschwankung um ca. 60 Wh/m²K erhöhen (Bezug ist die Nettogrundfläche).

Im Sommer müsste die Raumtemperatur bspw. über Nachtlüftung unter 23°C abgesenkt werden können, wenn die Materialeigenheit aktiviert werden soll. In Temperaturbereichen über und unter der „operate temperatur“ ist das PCM wie jedes andere Material ein einfacher sensibler Wärmespeicher. Für das Plusenergiehaus mit sehr leichtem Innenleben wäre es jedenfalls von großem Nutzen, wenn die PCM-Massen im Winter / im Sommer aktiviert werden könnten. Für die Berechnung der Regelwert $c_{\text{wirk}} = 50$ Wh/m²K angenommen.

Ob die empirischen Berechnungsformeln für den Fremdwärmenutzungsgrad aus DIN V 18599-2 / DIN V 41208-6 realistische Ergebnisse für derart leichte Gebäude wie das SDH überhaupt liefern können, sei dahingestellt. Andere, praxistaugliche Berechnungsmethoden sind den Verfassern nicht bekannt. Dynamische, thermische Simulationen sind sehr aufwändig, erfordern z.B. Stundenwerte für Solarstrahlung und Außentemperaturen. Außerdem gibt es derzeit keine validierten Simulationsprogramme, die gesicherte, vergleichbare Ergebnisse liefern.

Das SDH ist der klassische Fall eines hochoptimierten Objektes, bei dem instationäre Vorgänge die Bilanz stark beeinflussen – es gibt eine Rückkopplung von Lüftungsverhalten, Solarstrahlung, Bedienung der Verschattung, Regelung usw. Diese Effekte können vermutlich nie schlüssig in einer Jahres- oder Monatsbilanz abgebildet werden. Es stellt sich die berechnete Frage, wieso mit großem Eingabeaufwand etwas berechnet wird, was dennoch kein Abbild der Realität darstellt. Eine Kennwertbilanz wie die DIN V 18599 hat zu wenige Eingaben für ein realistisches Abbild (dazu Simulation), aber definitiv zu viele Eingaben für einen groben Überblick. Der Eindruck einer Scheingenauigkeit bleibt selbst bei den Verfassern der SDH-Bilanz zurück.

Heizwärmebedarf

Der Heizwärmebedarf berechnet sich aus

Transferkoeffizient in [W/K] * Temperaturdifferenz [K] * Betrachtungszeit [h]

Die Innentemperaturen berücksichtigen die Nachtabsenkung, sind also Monatsmitteltemperaturen. Die Außentemperaturen für den Standort „Deutschland“ dürften für andere Standorte relativ ungenau sein.

Temperaturrandbedingungen

Außentemperaturen T_e im Monatsmittel für den Standort "Deutschland"
 Innentemperaturen T_i nach Zonen siehe Nutzungsrandbedingungen

	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
d/m	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
T_e °C	-1,3	0,6	4,1	9,5	12,9	15,7	18,0	18,3	14,4	9,1	4,7	1,3
⇒ Zonen ...												
$T_{i,1}$ °C	19,2	19,3	19,4	19,6	19,7	19,8	19,9	19,9	19,8	19,6	19,4	19,3

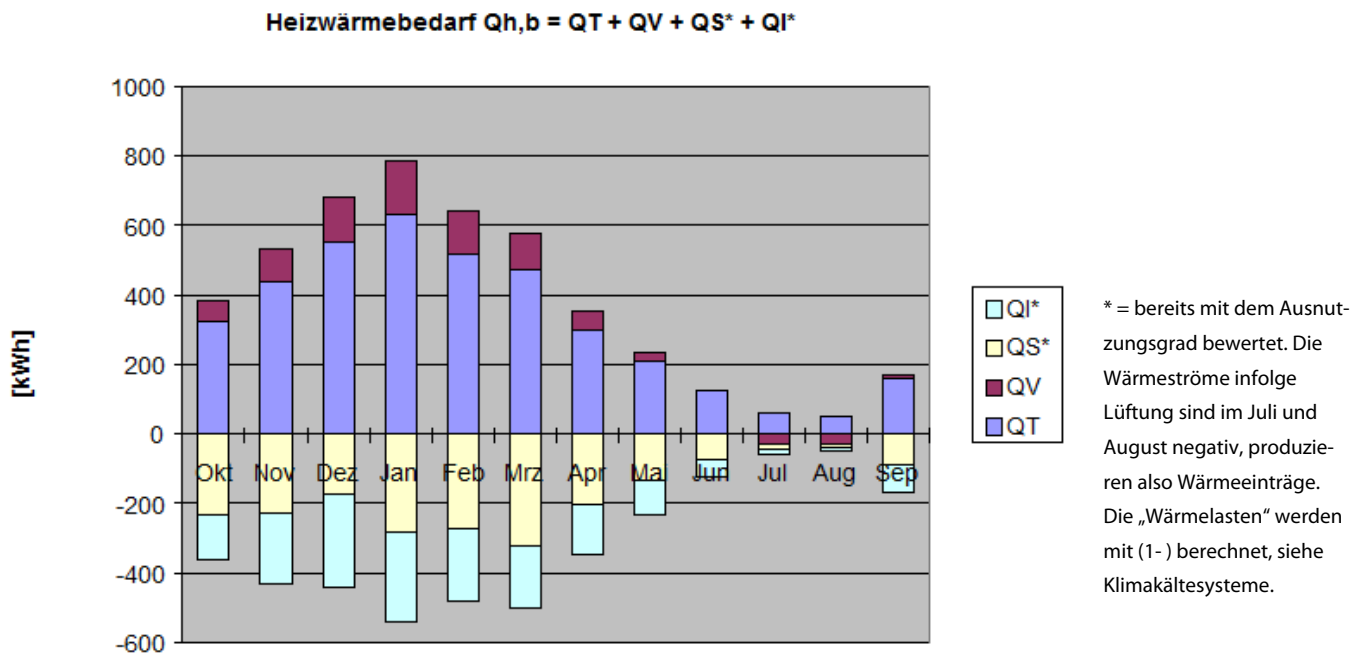


Abb. 30 Monatsbilanzen zum Heizwärmebedarf nach DIN V 18599, Quelle: DÄMMWERK

Der berechnete Heizwärmebedarf ist mit rund 873 kWh/Jahr oder 16,5 kWh/m²a niedrig und kommt trotz großer Fensterflächen und schlechten A/V-Verhältnis in die Nähe der Passivhaus-Definition von 15 kWh/m²a.

8.1 Zone <1> SDH

Regelbetrieb mit $\vartheta_{i,h,soll} = 20,0 \text{ }^\circ\text{C}$ und $Q_i = 8,0 \text{ kWh/d}$, Nutzungsanteil 1,00
 Ausnutzungsgrade für Wärmequellen η_{source} siehe oben
 Monatliche Heizzeiten t_h nach DIN V 18599-2, D.2, bei mehreren Zonen im Heizbereich die maximale Heizzeit, siehe "Heizsysteme".

Monat		Okt	Nov	Dez	Jan	Feb	Mär	Apr	Jahr
η_{source}		0,415	0,667	0,829	0,798	0,737	0,578	0,502	
t_h	h	744	720	744	744	672	744	95	4.506
Q_T	kWh	323	439	554	631	519	471	301	3.843
Q_V	kWh	60	96	130	154	123	106	54	697
Q_S^*	kWh	234	231	173	284	276	325	202	2.052
Q_I^*	kWh	127	201	261	248	207	176	146	1.616
$Q_{h,b}$	kWh	22	104	250	254	159	77	8	873

Im Vergleich dazu ergab die WG-B (gerechnet mit Zu- und Abluftanlage mit 80% WRG) einen Wert von 799 kWh/a oder 15,1 kWh/m²a auf die Wohnfläche von 53 m² bezogen.

Problem

Der Unterschied zur Berechnung mit PHPP ist sehr gross, hier wurde ein Heizwärmebedarf von 25,5 kWh/m²a festgestellt.

Lösungsansatz

Abgleich der Energiebilanz mit Messergebnissen aus dem Monitoring.

Ergebnis

Die Eingaben und Annahmen müssen geprüft werden

Gesamtwärmebedarf

Warmwasser-Wärmebedarf

Der Warmwasserwärmebedarf wird aufgrund des Pauschalwertes für Wohnzonen (12,5 kWh/m²a) mit 660 kWh/Jahr veranschlagt.

12.1 Nutzenergiebedarf Warmwasser

Zone	Nutzung	$q_{w,b}$ kWh/d	je	Menge	$Q_{w,b,Jan}$ kWh/M
<1> SDH	Wohnzone	12,500	kWh/m ² a	53	56

$$Q_{w,b} = q_{w,b} * d_{mth} * d_{nutz} / 365 * \text{Menge [kWh/Monat]} \text{ (DIN V 18599-10, Tab.6)}$$

Anlagentechnik

Das eingesetzte Kompaktgerät zur mechanischen Lüftung mit Wärmerückgewinnung und Wärmepumpe, die im Sommer auch kühlen und Warmwasser erwärmen kann, wird bestmöglich mit den Bilanzierungsmethoden der DIN V 18599 beschrieben.

Möglicherweise könnte der Energiehaushalt mit den Berechnungsmethoden aus DIN V 18599-6 (Wohnungslüftungsanlagen und Luftheizungen für Wohngebäude) besser bilanziert werden. Dieser Normenteil ist derzeit aber noch nicht programmiert.

Warmwasserbereitung

Gerechnet wird mit einem dezentralen System mit geringen Leitungslängen (Verteilungsverlusten), Annahme = 4m Sticleitungen, manuell geschätzt aus Rohrleitungsplanung. Das Volumen des WW-Speichers beträgt 180 Liter. Die Wärmeverluste werden für den gesamten Speicher (Bereitschaftteil $V_{aux} = 180$ l, Solarteil $V_{sol} = 0$ l) bilanziert, weil der gesamte Speicher auch über die WP erwärmt wird. Die Leistungsaufnahme der Speicherladepumpe wird mit 45 Watt angenommen. Damit ergeben sich Speicherverluste von 152 kWh/a.

12.3.2 Warmwasserspeicher, Zonen <1> SDH

indirekt beheizter Speicher, bivalent mit Solarteil, Speichervolumen $V_{aux} = 180$, $V_{sol} = 0$ Liter
 Bereitschafts-Wärmeverlust $q_{B,S} = 0,5$ kWh/d (Gl. 33)
 Umgebungstemperatur am Aufstellort T_u 20,0 °C (innerhalb)
 Speicher-Wärmeverlust $Q_{w,s} = f_{Verbindung} * (50 - T_u) / 45 * d_{Nutz, mth} * q_{B,S}$ mit $f = 1,2$ (Gl.23)
 Speicherladepumpe mit $P_p = 45$ W, Hilfsenergiebedarf $Q_{w,s,aux}$ für $Q_{N,Kessel} = 2,0$ kW

Erzeugernutzwärmeabgabe für Trinkwarmwasserbereitung $Q_{w,outg} = Q_{w,b} + Q_{w,d}$ monatlich

Monat		Okt	Nov	Dez	Jan	Feb	Mär	Apr	Jahr
$Q_{w, outg}$	kWh	65	63	65	65	59	65	61	756
$Q_{w, s}$	kWh	13	12	13	13	12	13	12	152
$Q_{I, w, s}$	kWh	13	12	13	13	12	13	12	152
$Q_{w, s, aux}$	kWh	2	2	2	2	1	2	2	19

Die thermischen Solarkollektoren stellen in der derzeitigen Berechnung knapp die Hälfte des Jahres-Energiebedarfs für die Warmwasserbereitung bereit, in Analogie zur WG-B würde man einen Deckungsanteil von 40% berechnen. Detailliert berechnet wurden dort 42%.

Da aus dem WW-Speicher parallel auch Wärme für die partielle Fußbodenheizung entnommen werden kann, handelt es sich eigentlich um einen kombinierten Warmwasser- / Heizungsbetrieb. Allerdings sind die Berechnungsregeln für kombinierte, thermische Solaranlagen derzeit noch nicht zielführend, da das Verhältnis $f_{K,w}$ der Trinkwasserwärmelast bezogen auf die gesamte Wärmelast jährlich betrachtet wird.

Mindestens für den Sommerbetrieb muss aber ein monatliches Verhältnis gebildet werden, weil dann der gesamte Wärmeertrag für die Warmwasserbereitung zur Verfügung steht.

Zur Vereinfachung werden die thermischen Kollektoren nur zur Warmwasserbereitung herangezogen. Die Erträge in der Heizperiode sind eher gering, ihr Einsatz für Heizzwecke ist ungewiss.

12.3.3 Solaranlage zur Trinkwassererwärmung, Zonen <1> SDH

Solaranlage (1) zur Trinkwassererwärmung

Kollektoren mit Apertur $A_C = 2,0 \text{ m}^2$, Orientierung = Süd -0° , Neigung zur Horizontalen = $3,0^\circ$

$\eta_0 = 0,77$ $k_1 = 3,50 \text{ W/m}^2\text{K}$ $k_2 = 0,02 \text{ W/m}^2\text{K}^2$ $IAM(50^\circ) = 0,90$ $c = 6,40 \text{ kJ/m}^2\text{K}$

Solarspeicher 180 l, Bereitschaftswärmeverlust $q_{Bs} = 2,3 \text{ kWh/d}$

Anteil zur Trinkwassererwärmung $f_{K,W} = Q_{w,outg} / (Q_{w,outg} + Q_{h,outg}) = 1,000$ (Heizperiode)

Jahres-Energieertrag der Solaranlage, Referenzwert $Q_{sys} = 518 \text{ kWh/a}$ (Gl.54/55)

Korrekturfaktor für Neigung und Ausrichtung $f_{NGA} = 0,830$ (Tab.11)

Korrekturfaktor für die Auslastung der Solaranlage $f_{slr} = 0,831$ (Gl.56)

Korrekturfaktor für die Größe des Bereitschaftspeichers $f_{S,Vaux} = 0,558$ (Gl.58)

Korrekturfaktor für die Wärmeverluste des Speichers $f_{S,loss} = 1,057$ (Gl.59)

Jahres-Energieertrag $Q_{w,sol,a} = Q_{sys} * f_{NGA} * f_{slr} * f_{S,Vaux} * f_{S,loss} + Q_{w,s,a} = 362 \text{ kWh/a}$

$Q_{w,sol}$ = monatliche Aufteilung des Jahresertrags nach Tab.10

Hilfsenergiebedarf der Solarpumpe vereinfachend $Q_{w,g,aux} = 0,05 * Q_{w,sol}$

Monat		Okt	Nov	Dez	Jan	Feb	Mär	Apr	Jahr
$Q_{w,sol}$	kWh	25	12	3	10	12	25	50	363
$Q_{w,g,aux}$	kWh	1	1	0	0	1	1	2	18

Außer dem TWW-speicher existiert kein weiterer Pufferspeicher für die Heizwärmeversorgung, dementsprechend sind im Bereich der Heizung keine weiteren Speicherverluste und Hilfsaggregate bilanziert.

Wärmepumpe

Die Berechnung der Wärmepumpe, die ja sowohl für die Warmwasserbereitung, wie auch für die Heizung eingesetzt wird, wurde rechnerisch aufgeteilt (scheinbar zwei unterschiedliche Berechnungen für Warmwasser und Heizung).

Damit wird ermöglicht, dass im Heizbetrieb besondere Annahmen für die Zuluftheizung getroffen werden können. Die beiden Funktionen stören sich nicht, da die Leistungsabgabe über die Laufzeiten geregelt wird. Außerdem unterscheiden sich WW- und Heizregister-Temperatur. Dies hat unterschiedliche Leistungszahlen zur Folge.

12.3.4 Wärmepumpe zur Trinkwassererwärmung, Zonen <1> SDH

Wärmepumpe 1, marktüblich zur Warmwasserbereitung, 2 kW
 Typ 3, Elektro-Wärmepumpe Abluft (mit WRG)-Wasser, Baujahr 2007, maximale Laufzeit 24 h/d
 Leistungszahl (COP) 3.8 bei A20/W50, Quelltemperaturkorrektur nach DIN V 18599, T5, A.6
 Quelltemperaturen für Jan-Dez [°C]: 7,2° 8,4° 10,5° 13,7° 15,7° 17,4° 18,8° 19,0° 16,6° 13,5° 10,8° 8,8°

Nutzwärmeabgabe für Trinkwarmwasserbereitung $Q_{w, \text{outg}} = Q_{w, \text{b}} + Q_{w, \text{d}} + Q_{w, \text{s}} - Q_{w, \text{sol}}$ monatlich
 $Q_{w, \text{f}}$ = Endenergiebedarf und $Q_{w, \text{f, aux}}$ = Hilfsenergiebedarf der Wärmeerzeugung
 COP = Leistungszahl der WP, t_{ON} = Laufzeit, $Q_{w, \text{in}}$ = verwendete Umweltwärme (Gl.80)

Monat		Okt	Nov	Dez	Jan	Feb	Mär	Apr	Jahr
$Q_{w, \text{outg}}$	kWh	53	64	75	69	59	53	24	545
COP		3,12	2,91	2,77	2,66	2,74	2,89	3,14	
$t_{\text{ON, g, d}}$	h/d	0,9	1,2	1,4	1,2	1,2	1,0	0,4	
$Q_{w, \text{f}}$	kWh	17	22	27	26	22	18	8	182
$Q_{w, \text{in}}$	kWh	36	42	48	43	38	35	16	363
$Q_{w, \text{f, aux}}$	kWh	1	1	1	1	1	1	0	6

Der Endenergiebedarf der Wärmepumpe zur Warmwasserbereitung wird mit 182 kWh/a oder 3,4 kWh/m²a berechnet. Die Vergleichsrechnung nach DIN V 4701-10 (WG-B) hat 292 kWh/a oder 4,1 kWh/m²a (bezogen auf AN = 71 m²) ergeben.

Ein schneller, direkter Vergleich der Ergebnisse ist wegen des primärenergetisch orientierten Berechnungsverfahrens der WG-B nicht möglich.

Mechanische Lüftung

Nach DIN V 18599-3 soll die Zulufterwärmung auf Raumtemperaturniveau (bis maximal 22°C, Energiebedarf abhängig von der Zulufttemperatur) mittels Denormierung tabellierter Werte ermittelt werden. Die weitere Zulufterwärmung ist Sache des Teils 5, Zuluftheizung.

Problem

In Praxis ergeben sich bei diesem Verfahren diverse Schwierigkeiten, z.B. die Frage, zu welchen Jahreszeiten das Zuluft-Heizregister in Betrieb ist und wie sich das auf die Laufzeiten des Heizwärmeerzeugers auswirkt. Das Heizregister (HR) wird ja auch vom Heizwärmeerzeuger mit Wärme beliefert. In Zeiten, wenn neben dem Zuluft-HR und internen / solaren Gewinnen keine weitere Wärme benötigt wird, berechnet man aber den Heizwärmebedarf zu „0“ (die Zulufttemperatur nach dem HR ist Eingangsgröße für die Bedarfsberechnung). In der Folge davon werden die Erzeugerlaufzeiten = 0, die Berechnung der Erzeugerwärmeverluste und der Hilfsenergien fehlerhaft.

Lösungsansatz

Alternativ kann die Anlage mit einem Luftheizer und einem Kühlregister gerechnet werden. Der Wärme- bzw. Kältebedarf der Register wird dann an die nachfolgenden Prozessbereiche als Nutzenergiebedarf übergeben.

Problem

Dabei würde allerdings das Problem der Terminierung des Heiz- / Kühlbetriebes auftreten. Der Heiz- bzw. Kühlbedarf der Register (und auch der Lüftungswärmetransfer) wird nämlich anhand der gewünschten Zulufttemperaturen ermittelt. Die Zulufttemperaturen sind Planungsgrößen, die mangels Berechnungshilfen derzeit in DÄMMWERK statisch mit der Definition der Heizperiode festgelegt werden.

Eine Berechnungsvorschrift für die dynamische, witterungsabhängige Umschaltung zwischen Heiz- und Kühlbetrieb bzw. für die Zu- und Abschaltung der Register ist den Bearbeitern nicht bekannt.

Lösungsansatz

Die Bearbeiter schlagen vor, auf die Bilanzierung des Wärme- und Kältebedarfs für die Zuluftkonditionierung nach DIN V 18599-3 zu verzichten. Der entstehende „Fehler“ in der Bilanz kann nicht erheblich sein. Wenn die Heiz- und Kühlfunktionen der RLT-Anlagen zusammen mit den Heiz- und Klimakälteanlagen bilanziert werden, würde nach unserer Einschätzung auch die Standortbindung an Würzburg entfallen, denn der Energiebedarf der Ventilatoren ist standortunabhängig.

Ergebnis

Das Nachweisverfahren könnte wesentlich vereinfacht werden.

9.0 RLT-Systeme (DIN V 18599-3)

Betrachtungsmonat Januar, $\vartheta_e = -1,3 \text{ °C}$

Heizperiode / Betriebszeit LH: Oktober - März, Betriebszeit LK: April - September

Zone	Feuchteanf.	No Anlage	Komponenten			$\vartheta_{ZUL, Jan}$ °C
<1> SDH	-	04 RLT-Anlage	VE WRG75			17,0
Luftförderung	$V_{mech,m}$ m ³ /h	$t_v \cdot d_v$ h/m	$P_{V,ZUL}$ kW	$P_{V,ABL}$ kW	$Q_{V,E,Jan}$ kWh	kWh
<1> SDH	66	744	0,03	0,02	37	

RLT-Anlage <1> mit $V_{mech} = 66 \text{ m}^3/\text{h}$, $V^{\cdot} = 200 \text{ m}^3/\text{h}$, zeit- / nutzungsabhängig, balanciert, WRG75

9.1 End- und Nutzenergie Zone <1> SDH

Endenergiebedarf für die Luftförderung $Q_{V,E}$

relative Komponentenlaufzeiten: Wärmerückgewinnung $t_{WRG,r} = 0,63$ (Tab. B1/B2)

Monat		Okt	Nov	Dez	Jan	Feb	Mär	Apr	Jahr
$V_{mech,m}$	m ³ /h	66	66	66	66	66	66	66	
$Q_{V,E}$	kWh	37	36	37	37	34	37	36	438
ϑ_{ZUL}	°C	19,6	18,5	17,7	17,0	17,5	18,3	19,7	
ϑ_{HC}	°C	21,0	19,9	19,1	18,4	18,9	19,7	21,1	

Im Abschnitt RLT-Systeme soll daher für die kompakte Lüftungsanlage im SDH lediglich der Strombedarf der Ventilatoren bilanziert werden. Die Zuluftheizung mittels der Luft-Luft-Wärmepumpe ist Gegenstand der Berechnung der Ht-Anlage. Bei Zulufttemperaturen nach der WRG von 17°C und mehr dürfte der entstehende Fehler vernachlässigbar sein, der Heizwärmebedarf nach der WRG wird ja korrekt bilanziert.

Der Energiebedarf der Ventilatoren wird für das SDH bereits mit günstigeren Verbrauchswerten nach EN 13779 für Zu- und Abluftanlagen mit Klimafunktion abgeschätzt. Man erhält einen Strombedarf von 438 kWh/a oder 8,3 kWh/m²a, mit Referenzwerten für Zu- und Abluftanlagen mit WRG erhält man 8,6 kWh/m²a. Zusätzlicher Energiebedarf kann insbesondere durch eingebaute Filter entstehen.

Im Vergleich dazu wird der Strombedarf der Ventilatoren in der WG-B mit 3,1 kWh/m²a (aus detaillierter Berechnung) deutlich geringer eingeschätzt. Dort wird aber auch nur mit der Heizperiode kalkuliert (RLT-Anlage im Sommer nicht in Betrieb).

Problem

DIN V 18599-3 enthält keine konkreten Hinweise auf den erwarteten Strombedarf der Ventilatoren. Im Grunde fordert die Norm eine detaillierte Berechnung des Fachplaners, die aber in vielen Fällen nicht / nicht rechtzeitig vorliegen wird. Ein Verweis auf Fachplanungen ist demnach nicht befriedigend. DIN V 18599-7 nennt drei Standardwerte in Watt pro m³/h, die allerdings kaum mit dem EnEV-Referenzgebäude harmonisieren.

Lösungsansatz

Auf der Grundlage einer gut dokumentierten, realistischen Annahme sollte eine Abschätzung des Strombedarfs der Ventilatoren zugelassen werden.

Ergebnis

Der Strombedarf der Ventilatoren ist sicher eine sensible Größe und stark von individuellen Umständen abhängig. Dennoch sind die Hinweise aus DIN V 18599-3 und 7 in dieser Hinsicht nicht ausreichend, Berechnungshilfen werden nicht angeboten.

Vermisst wird außerdem eine Bilanzierungsmöglichkeit für energiesparende Erdwärmetauscher (EWT), die in DIN 4701-10 vorgesehen ist.

Kühlsystem

Die Bilanzierung des Klimakälte-Kompaktgerätes wird mit den nachfolgend beschriebenen Annahmen angenähert. Die Funktionsweise des Gerätes ist nach DIN V 18599-7 nur bedingt zu beschreiben.

Der Kältebedarf wird mit 2.500 kWh/Jahr berechnet, das ist fast der 3-fache Heizwärmebedarf. Bilanziert man ohne die Abwärme der Haushaltsgeräte (siehe interne Wärme- und Kältequellen), dann reduziert sich der Kältebedarf deutlich (aber unrealistisch).

11.0 Klimakältesysteme (DIN V 18599-7)

11.1 Kühlenergiebedarf

$Q_c = (1 - \eta) * (Q_S + Q_T + Q_V + Q_{I,source})$ (DIN V 18599-2, Gl.2)
 berechnet mit $\vartheta_{i,c} = \vartheta_{i,c,soil} - 2K$ (Gl.36), Ausnutzungsgrade siehe Tabelle "Heizwärmebedarf"
 Kühlenergiebedarf der Raumklimasysteme $Q_{c,b}$, RLT-Kühlregister ($Q_{c',b}$) siehe RLT-Systeme

Zone	Apr kWh	Mai kWh	Jun kWh	Jul kWh	Aug kWh	Sep kWh	Okt kWh	Jahr kWh
⇒ $Q_{c,b}$ (Raumklima)								
<1> SDH	118	239	425	616	538	263	222	2.494

Die ausreichende Dimensionierung des Kälteerzeugers wird nach DIN V 18599-7 unterstellt, die Leistungsregelung erfolgt über die Laufzeit. Die maximale Leistungsaufnahme des Kompaktgerätes im Kühlbetrieb ist 0,8 kW. Bei einer Nennkälteleistungszahl EER von 3,0 (analog zu COP bei Wärmepumpen) erhält man eine maximale Kälteleistung von $0,8 * 3 * 24 * 31 = 1.785$ kWh / Monat. Der größte Kältebedarf tritt im Juli mit 616 kWh auf.

11.3 <1> SDH

Raumklimasystem: Raumkühlung Kaltwasser 8/14 (Ventilator-konvektor)

mit Klimakälte versorgte Zonen: <1> SDH

Erzeuger-Nutzkältebedarf $Q_{c,outg} = Q_{c,b} \cdot \eta$

mit $\eta = \text{Nutzungsgrad der Kälteübergabe Raum} = (4 - \eta_{c,ce} - \eta_{c,ce,sens} - \eta_{c,d}) = 4 - 1,000 - 0,900 - 0,900 = 1,200$ (T7, Tab.8)

Bedarfszeit der Raumkühlung $t_{c,op}$ nach T2, Anhang D mit der Mindestauslastung $\beta_{c,grenz} = 0,15$

Monat		Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Jahr
$Q_{c,b}$	kWh	118	239	425	616	538	263	222	2.494
$Q_{c,outg}$	kWh	142	287	510	739	646	315	266	2.993
$t_{c,op}$	h	510	527	510	527	527	510	527	4.173

Die Kälteübergabe über die RLT-Zuluft wird durch eine „Raumkühlung mit Ventilator-konvektor“ angenähert. Auf eine Bilanzierung über RLT-Kühlregister wird aus den oben beschriebenen Gründen verzichtet (siehe RLT-System). Die Verluste der Kälte-übergabe werden seitens DIN V 18599-7 pauschal mit $2 \cdot 10\%$ veranschlagt.

Weitere Verluste (Kälteverteilung, Hilfsenergie für Sekundärventilatoren oder Regelein-richtungen) wurden nicht bilanziert.

Kältemaschine: wassergekühlte Kompressionskältemaschine, Kältemittel R134a, Trockenkühler, Kaltwasseraustrittstemperatur $6 \text{ }^\circ\text{C}$ (1), Kolben-/Scrollverdichter, mehrstufig schaltbar

(Referenzwert), EER = 3,10, konstante Kühlwassermenge, spezifischer Energiebedarf des

Rückkühlers $q_{R,el} = 0,045 \text{ kW/kW}$, Betriebszeit der Rückkühlung $t_{R,op}$

Teillast-Kennwerte PLV_{AV} und Nutzungsfaktoren für den Rückkühler f_R nach Zonen, Tabellenwerte

aus DIN V 18599-7, Anhang A:

Kennwerttabellen für Nutzungsart "Hotelzimmer" (Tab. A.1)

<1> SDH, Raumklimasystem, $PLV_{AV} = 1,27$, $f_R = 0,08$

elektrischer Endenergiebedarf Kältemaschine $Q_{C,f,el} = Q_{c,outg} / \text{EER} \cdot PLV_{AV}$

Endenergie Rückkühlung $Q_{C,f,R,el} = Q_{c,outg} \cdot (1 + 1 / \text{EER}) \cdot q_{R,el} \cdot f_{R,av} \cdot t_{R,op}$ (Gl.60)

Nennkälteleistung der Kältemaschine $Q_{c,outg} = 1 \text{ kW}$

Monat		Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Jahr
$Q_{C,f,el}$	kWh	36	73	130	188	164	80	68	760
$t_{R,op}$	h/m	510	527	510	527	527	510	527	4.173
$Q_{C,f,R,el}$	kWh	2	3	2	3	3	2	3	20

Als Kälteerzeuger wurde eine „wassergekühlte Kompressionskältemaschine mit Tro-ckenkühler“ (Referenzanlage) mit einer Nennkälteleistungszahl $\text{EER} = 3,1$ verwendet (entsprechend COP bei Wärmepumpen). Insbesondere die EER und die zusätzliche Hilfsenergieaufwendungen sollten mit dem Anlagenhersteller abgesprochen werden. Je nach Temperatur des Rückkühlers (Brauchwarmwasser, Außenluft) wird die EER stark schwanken.

Da DIN V 18599-7 keine Kennwerttabellen für Wohnzonen enthält, wurde ersatzweise die Nutzungsart „Hotelzimmer“ gewählt. Die Teillast-Kennwerte PLV_{AV} und die Nut-zungsfaktoren für den Rückkühler R werden aus Kennwerttabellen für den Standort Deutschland ermittelt. Auch in diesem Punkt wäre eine standortunabhängige Lösung zu begrüßen.

Der elektrische Energiebedarf für Raumkühlung im SDH ist mit 760 kWh/Jahr erheblich. Einige energiesparende Effekte, wie erhöhte Nachtlüftung, die Rückkühlung der PCM-Decke, sowie die Vorkonditionierung der Zuluft durch einen Erdkanal, konnten rechnerisch leider nicht berücksichtigt werden. Die Mechanismen zur Rückkühlung der PCM-Speicherdecke (nächtliche Abkühlung durch Verdunstungskälte) gehen lediglich über die Annahme $c_{\text{wirk,Sommer}} = 80 \text{ Wh/m}^2\text{K}$ (PCM-Aktivierung gelungen) in die Berechnung ein.

11.4 Endenergie Klimasysteme

Endenergie Klimakälte $Q_{C,f}$, Endenergie Dampf $Q_{m^*,f}$ und Hilfsenergie $Q_{C,aux}$
 Endenergie nach Energieträgern ohne Hilfsenergie

Monat		Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Jahr
$Q_{C,f}$	kWh	36	73	130	188	164	80	68	760
$Q_{C,aux}$	kWh	2	3	2	3	3	2	3	20
Strom-Mix	kWh	36	73	130	188	164	80	68	760

DIN V 4701-10 (WG-B) bilanziert den Energiebedarf für Raumkühlung nicht. Überschüssige Wärme müsste in diesem Fall abgelüftet werden.

Heizsystem

Wie bereits erläutert, sind komplette Zuluftheizsysteme für Nichtwohngebäude in DIN V 18599-5 nicht vorgesehen. Für Nichtwohngebäude kann die Zuluft moderat temperiert werden (bis maximal 22°C über RLT-Heizregister), die übrige Wärmezufuhr erfolgt ggf. über Warmluftheizungen, die mit Umluft betrieben werden.

Weitergehende Hinweise zu Luftheizungen in Wohngebäuden enthält DIN V 18599-6 (derzeit in DÄMMWERK nicht programmiert). Eine Bilanzierung des Energiebedarfs für Heizung nach DIN V 18599-5 erscheint dennoch recht zuverlässig möglich.

13.2 Eingesetzte Heizungsanlagen

Sommerbetrieb: Heizung auch zur Deckung des reinen Wochenend-Wärmebedarfs

Anlage	Versorgungsbereich	Zone(n)	$Q_{h,b}$ kWh/Jahr	$Q_{h,max}$ kW	$Q_{N,h}$ kW
1 Zuluftheizung		1/	873	1,6	2,1

(1) Zuluftheizung, Regelung über die Raumtemperatur, hohe Regelgüte

Nutz-Heizwärmebedarf $Q_{h,b}$ nach T2, maximale Heizleistung $Q_{h,max}$ (T2, Anhang C) und Kesselnennleistung $Q_{N,h}$ nach T5, 5.3.

13.3.1 Wärmeübergabe, Zonen <1> SDH

Zuluftheizung, Regelung über die Raumtemperatur, hohe Regelgüte

Gesamtnutzungsgrad $\eta_{h,ce} = 0,87$ (Gl.28, Tab.9)

Verluste der Wärmeübergabe $Q_{h,ce} = Q_{h,b} * (f_{Radiant} * f_{int} * f_{hydr} / \eta_{h,ce} - 1)$ (Gl.27)

mit $f_{Radiant} = 1,00$, $f_{int} = 1,00$ und $f_{hydr} = 1,00$

Geräte der Wärmeübertragungsprozesse:

Hilfsenergiebedarf $Q_{h,ce,aux} = P_C * d_{mth} * 24/1000 + (P_V + P_P + P_{h,aux}) * t_{h,rL}/1000$ (Gl. 33/34)

Nutzwärmebedarf und Verluste der Wärmeübergabe

Monat		Okt	Nov	Dez	Jan	Feb	Mär	Apr	Jahr
$Q_{h,b}$	kWh	22	104	250	254	159	77	8	873
$Q_{h,ce}$	kWh	3	15	37	38	24	11	1	130

Nutz-Heizwärmebedarf $Q_{h,b}$ (nach T2), Regel- und WE-Betrieb

Gesamtnutzungsgrad der Wärmeübergabe $\eta_{h,ce} = 1 / (4 - (\eta_L + \eta_C + \eta_B))$ mit den Teilnutzungsgraden η_L für vertikales Lufttemperaturprofil, η_C für Raumtemperaturregelung und η_B für spezifische Verluste der Außenbauteile (Tab.6 bis Tab.11)

Verluste der Wärmeübergabe $Q_{h,ce}$ mit den Faktoren $f_{Radiant}$ für Strahlungseinfluss (in Hallen mit Raumhöhen > 4 m) f_{int} für intermittierenden Heizbetrieb / raumweise Temperaturabsenkung und f_{hydr} für hydraulischen Abgleich (Regelwert = 1)

Hilfsenergiebedarf der Wärmeübergabe $Q_{h,ce,aux}$ mit den Parametern

P_C = elektrische Nennleistungsaufnahme der Regelungseinrichtungen (Tab.12 oder Herstellerangabe)

P_V / P_P = elektrische Nennleistungsaufnahme der Ventilatoren und Pumpen (Tab.13)

$P_{h,aux}$ = Hilfsenergiebedarf von Erzeugern, Erhitzern und Ventilatoren bei direkter Beheizung ($h_R > 4m$, Tab.14)

Problem

Die Heizung des Gebäudes erfolgt über eine Zuluftvorwärmung in Kombination mit einer sehr kleinen Fußbodenheizung von 2 m² im Badbereich, also ein luft- und ein wassergebundenes System in einer Gebäudezone.

Lösungsansatz

DIN V 18599-1 sieht die Möglichkeit vor, dass die selbe Zone über unterschiedliche Versorgungsbereiche (= Systeme) verfügt. Programmiert ist das allerdings in erster Linie für die Wärmeerzeuger. Verteilungen (Vor- und Rücklauf für die Fußbodenheizung) und Speicher (Wärmeverluste bereits im Abschnitt Warmwassersysteme bilanziert) können auf die realen Gegebenheiten eingestellt werden.

Die Verluste der Übergabe müssten genau genommen für die Luftheizung und die Fußbodenheizung getrennt ermittelt und anteilig summiert werden. Mit Standardwerten erhält man für eine (Hallen-) Warmluftheizung Übergabeverluste von etwa 15%. Die Werte für Flächenheizungen sind sehr ähnlich, der Flächenanteil der Fußbodenheizung ist gering. Eine Bilanzierung mit den Übergabeverlusten der Zuluftheizung sollte also zu keinem spürbaren Fehler führen.

Die Heizwärmeverteilung für die Fußbodenheizung wird wegen geringer Leitungslänge vernachlässigt, der Pufferspeicher wurde bereits bei der WW-Bereitung bilanziert.

Ergebnis

Eine geeignete Annahme für den Kombibetrieb muss entwickelt werden.

Betrieb der Wärmepumpe

Die internen Berechnungszusammenhänge und Wechselwirkungen für Wärmepumpen im Kombibetrieb konnten die Bearbeiter nicht überprüfen. Die Bearbeiter sind aber der Meinung, dass diese sich auf die Addition der Laufzeiten beschränken.

13.3.5 Heizungsärmepumpe, Zonen <1> SDH

Wärmepumpe 2, marktüblich, Heizungsärmepumpe, 2 kW
 Typ 3, Elektro-Wärmepumpe Abluft (mit WRG)-Wasser, Baujahr 2008, maximale Laufzeit 24 h/d
 Leistungszahl (COP) 3,8 bei A20/W50, Quelltemperaturkorrektur nach DIN V 18599, T5, A.6
 Quelltemperaturen für Jan-Dez [°C]: 7,2° 8,4° 10,5° 13,7° 15,7° 17,4° 18,8° 19,0° 16,6° 13,5° 10,8° 8,8°
 Korrektur der Leistungszahl für $\vartheta_{VL,m} = 35,0$ °C (Abs. 6.4.2.5.1.2, Zuluft-HR)
 Korrekturen für den Teillastbetrieb (A.5.1), Konvektionsheizung, 5 l/kW äquiv. Wassergehalt

Nutzwärmeabgabe für Heizung $Q_{h,outg} = Q_{h,b} + Q_{h,d} + Q_{h,s} - Q_{h,sol}$ monatlich
 $Q_{h,f}$ = Endenergiebedarf und $Q_{h,f,aux}$ = Hilfsenergiebedarf der Wärmeerzeugung
 COP = Leistungszahl der WP, t_{ON} = Laufzeit, $Q_{h,in}$ = verwendete Umweltwärme (Gl.93)

Monat		Okt	Nov	Dez	Jan	Feb	Mär	Apr	Jahr
$Q_{h,outg}$	kWh	25	119	287	292	183	88	9	1.003
COP		2,76	2,45	2,26	2,13	2,23	2,42	2,79	
$t_{ON,g,d}$	h/d	0,4	2,2	5,2	5,2	3,6	1,6	0,2	
$Q_{h,f}$	kWh	9	49	127	137	82	36	3	443
$Q_{h,in}$	kWh	16	71	160	155	101	52	6	560
$Q_{h,f,aux}$	kWh	0	1	3	3	2	1	0	11

Problem

Beim Betrieb mit Netzstrom können Wärmepumpen in der Regel nicht 24 Stunden pro Tag, sondern z.B. nur 22 Stunden betrieben werden (günstiger „eco-Strom“ = keine Stromentnahme in den Spitzenlastzeiten). Diese Einschränkung ist in unserem Fall nicht nötig, da der Strom vor Ort produziert wird. Falls die erforderlichen Laufzeiten aus dem Warmwasser- und Heizungsbetrieb die maximal mögliche Pumpenlaufzeit überschreiten (24 / 22 Stunden), muss nachgeheizt werden (elektrischer Heizstab oder konventioneller Wärmeerzeuger).

Lösungsansatz

Allgemein werden in Dämmwerk die COP-Zahlen für unterschiedliche Quell- und Vorlauftemperaturen aus dem Carnot-Zusammenhang („die thermodynamische Qualität des Prozesses bleibt über den gesamten Betriebsbereich konstant“) auf der Basis der Standard-COP ermittelt. Die Standard-COP muss dazu mit den üblichen Randbedingungen (für Abluft-WP z.B. „A20/W50“ = „Air 20°C / Water 50°C“) gemessen worden sein und ist eine Herstellerangabe.

Ergebnis

Die reale Arbeitsteilung wird auch in der Praxis über die Laufzeit der Wärmepumpe erfolgen, für die Warmwasserbereitung wird eine Laufzeit im Winter von maximal 1,3 Stunden/Tag berechnet. Die Standard-COPs für neue Abluft - Wärmepumpen liegen bei $COP = 3.8$ (= Annahme), die ungefähre Angabe im „simulation input form“ ($COP = 2-3$) weicht davon ab. Die Quelltemperaturen für Abluft-WP mit WRG werden nach Gl.66 unter Berücksichtigung der Rückwärmezahl der WRG ermittelt.

Die Wärmepumpe als Wärmeerzeuger wird parallel zur Warmwasserbereitung berechnet, wobei anstelle einer Vorlauftemperatur die Temperatur des Zuluft-Heizregisters (angenommen $35^{\circ}C$) veranschlagt wird. Das Vorgehen wird durch DIN V 18599-5, Abschnitt 6.4.2.5.1.2 „Abgabe direkt an die Raumluft z.B. durch Kondensation des Kältemittels in einem Luft-Wärmeüberträger“ gestützt. Die berechneten COP-Zahlen in der Heizperiode (2.1 bis 2.4) scheinen realistisch. Die berechnete Pumpenlaufzeit liegt mit weniger als 7 Stunden deutlich unter der Tageslänge, die beiden Betriebsarten sollten sich also nicht behindern.

Außer dem TWW-Speicher existiert kein weiterer Pufferspeicher für die Heizwärmeversorgung, dementsprechend sind im Bereich der Heizung keine weiteren Speicherverluste und Hilfsaggregate bilanziert.

Für Heizung wird mit diesen Annahmen im SDH ein jährlicher Endenergiebedarf von 443 kWh/a (Strom für die Wärmepumpe) berechnet. In der Vergleichsrechnung WG-B hat sich ein Strombedarf von 487 kWh/a ergeben (WP zur Lüftungsanlage).

Beleuchtungssystem

Die Bilanzierung des Strombedarfs für künstliche Beleuchtung in Wohnzonen ist in DIN V 18599-4 nicht vorgesehen.

Problem

Es gibt keine Orientierungswerte für die nötige Beleuchtungsstärke sowie für die jährlichen Nutzungsstunden zur Tag- und Nachtzeit. Eine zuverlässige Einschätzung dieser Faktoren sowie die Abbildung der Eigenheiten des Gebäudes fällt schwer.

10.0 Beleuchtungssysteme (DIN V 18599-4)

Tageslichtbereiche an vertikalen Fassaden (2), mit Dachoberlichtern (0)

10.1 Tageslichtbereiche an vertikalen Fassaden

Der Verbauungsindex wird nach DIN V 18599, T4, Abs. 5.5.1 berechnet

Bereich	Zone	A_{TL} m ²	A_{RB} m ²	I_{Tr}	I_{Rt}	I_V	D_{Rb}	%
1 A 0101 FAW Süd	1	25,2	24,7	0,98	1,10	0,44	9,8	
2 A 0103 FAW Nord	1	25,2	16,5	0,66	1,10	1,00	15,7	

	E_m [lx]	$\tau_{D65} * k$	$C_{TL, SNA}$	$C_{TL, SA}$	τ_{rel}	C_{TL}
1 A 0101 FAW Süd	Süd 1	100	0,56	0,98	0,15	0,67
2 A 0103 FAW Nord	Nord 1	100	0,56	0,98	0,15	1,00

tageslichtversorgte Flächen nach Zonen

Zone	A_{NGF} [m ²]	A_{TL} [m ²]	$A_{NGF} - A_{TL}$ [m ²]
<1> SDH	53	50	3

Teilbetriebsfaktoren Tageslicht

Bereich	C_{TL}	$C_{TL, kon}$	F_{TL}	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun
1 A 0101 FAW Süd	1	0,70	0,60	0,58	0,64	0,59	0,55	0,53	0,51
2 A 0103 FAW Nord	1	0,98	0,60	0,41	0,50	0,43	0,38	0,34	0,32

Lösungsansatz

Zur Berechnung der Teilbetriebsfaktoren für Tageslicht (das müsste eigentlich Teilbetriebsfaktoren für Kunstlicht heißen = Anteil der Nutzungsstunden mit eingeschaltetem Kunstlicht) wurden zwei Tageslichtbereiche gleicher Größe definiert. Einer wird von den Fenstern der Nordfassade, der andere von der Südfassade mit Tageslicht versorgt. Man erhält wegen der großen Fensterflächen einen hohen Transparenzindex und einen sehr guten Tageslichtquotienten.

Der Lichttransmissionsgrad „ t_{D65} “ sowie die Verschattungsfaktoren (Verbauung, Rahmenanteile, Verschmutzung der Scheiben usw.) wurden (durch einen Kollektorbezug) aus der Berechnung der solaren Wärmeströme übernommen. Die Versorgungsfaktoren bei nicht aktiviertem bzw. bei aktiviertem Sonnenschutz (= Blendschutz) sind von der erforderlichen Beleuchtungsstärke und der Orientierung der TL-Bereiche abhängig. Die erforderliche Beleuchtungsstärke wurde im Mittel mit 100 lx geschätzt (wie Neben- und Verkehrsflächen). Der Zeitanteil mit aktiviertem Sonnenschutz wird anhand der Orientierung der Tageslichtbereiche nach Tab.7 festgelegt. Eine so einfache Lösung würde man sich auch für die a-Parameter in der g_{eff} -Berechnung (solare Wärmequellen) wünschen.

Die Teilbetriebsfaktoren Tageslicht (= Nutzungszeitanteil mit eingeschaltetem Kunstlicht) werden jährlich ermittelt und dann mit Verteilungsschlüsseln auf die Monate

aufgeteilt. Die so berechneten Faktoren schwanken zwischen 0,3 und 0,6. Im Ergebnis verfügt die Nordfassade rechnerisch über eine bessere Tageslichtversorgung.

Das Verfahren aus DIN V 18599-4 ist ein Jahresbilanzverfahren. Die Nutzungszeiten des Gebäudes werden mangels Vorgaben mit 3500 Stunden zur Tagzeit (9,6 h/Tag) und 1000 Stunden zur Nachtzeit (2,7 h/Tag) geschätzt.

10.3 Kunstlichtversorgung

elektrische Anschlussleistung für Kunstlichtbereiche (2)
Tabellenverfahren, monatlich berechnet

Bereich	Zone	F_{tn}	E_m lx	$p_{j,lx}$ W/m ² lx	k	p_j W/m ²	Lampen
1 A 0101 FAW Süd	1	1,00	100	0,050	0,63	3,1	1-2-1
2 A 0103 FAW Nord	1	1,00	100	0,050	0,63	3,1	1-2-1

1-2-1: stabförmige Leuchtstofflampen, Vorschaltgerät VVG verlustarm, direkt

Bereich	Zone	F_{Pra}	A_{TL} m ²	$F_{TL,Jan}$	$t_{T,TL,Jan}$ h/m	A_{KTL}	$t_{T,KTL}$ m ²	t_N h/a	h/a
1 A 0101 FAW Süd	1	1,00	25	0,64	187	0	0	1000	
2 A 0103 FAW Nord	1	1,00	25	0,50	146	0	0	1000	

Ergebnis

Nach dem Tabellenverfahren berechnet man für 100 lx mit energiesparenden stabförmige Leuchtstofflampen, Vorschaltgerät VVG verlustarm, direkt (= Referenzeinstellung für NWG) eine Anschlussleistung von 6,1 W/m² oder knapp 323 Watt insgesamt (Mittelwert im Kunstlichtbetrieb). Die installierte Lampenleistung beträgt etwa 1.200 Watt, die Beleuchtungseinrichtungen werden aber sicher abwechselnd eingeschaltet sein. Die installierten Lampen sind in Wohngebäuden natürlich keine Leuchtstofflampen, Kompaktleuchtstofflampen weisen aber in etwa dieselben, spezifischen Bewertungsleistungen auf.

10.4 Endenergiebedarf für Beleuchtung Q_{l,f}

Zone	Okt kWh	Nov kWh	Dez kWh	Jan kWh	Feb kWh	Mär kWh	Apr kWh	Jahr kWh
<1> SDH	38	41	44	40	37	35	33	432
	38	41	44	40	37	35	33	432

In der Jahressumme erhält man einen Strombedarf von 432 kWh für künstliche Beleuchtung. Die Leuchtenabwärme wird zu 100% bei den internen Wärmegewinnen bilanziert. Im Vergleich dazu wird der Strombedarf für Beleuchtung in der WG-B nicht berücksichtigt, der pauschale Ansatz für interne Wärmegewinne enthält aber Leuchtenabwärme.

Berechnung des End- und Primärenergiebedarfs

Der Endenergiebedarf des Gebäudes wird in der Summe mit 2.464 kWh (2827 kWh abzgl. 363 kWh, reiner Strombedarf) berechnet. Die meiste Energie wird für die sommerliche Raumkühlung benötigt.

14.0 Energiebedarf (DIN V 18599-1)

14.1 Primärenergiebedarf nach Energieträgern

Eine BHKW-Anlage ist nicht vorgesehen

Energieträger	Prozessbereich	Zonen	Endenergie kWh/a	f_P	$f_{HS/Hi}$	Q_P kWh/a
Strom-Mix	Heizwärme		550	2,70	1,00	1.485
solar	Warmwasser		415	0,00	1,00	-
Strom-Mix	Warmwasser		189	2,70	1,00	511
Strom-Mix	Luftförderung	1/	438	2,70	1,00	1.183
Strom-Mix	Klimakälte		361	2,70	1,00	975
Strom-Mix	Beleuchtung	1/	692	2,70	1,00	1.868
Strom-Mix	Hilfsenergie		101	2,70	1,00	272
Σ [kWh/Jahr]			2.746			6.296

$$Q_P = \Sigma Q_{f,i} \cdot f_{P,i} / f_{HS/Hi,i} \text{ (DIN V 18599-1, Gl.23)}$$

Jahres-Primärenergiebedarf $q_P = 118,8 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ ($\Sigma A_{NGF} = 53 \text{ m}^2$)

Endenergiebedarf: Hilfsenergie $1,9 \text{ kWh/m}^2\text{a}$, Strom-Mix $42,1 \text{ kWh/m}^2\text{a}$, solar $7,8 \text{ kWh/m}^2\text{a}$

Endenergie = Jahressummen aus den Prozessbereichen

f_P = Primärenergiefaktoren energieträgerbezogen nach DIN V 18599-1, Tab.A.1

14.2 Endenergiebedarf nach Zonen

siehe Abschnitt Zone	m ²	RLT	Beleucht.	Klima	Warmwasser	Heizung	Summe
		9	10	11	12	13	
		kWh/m ² a	kWh/m ² a	kWh/m ² a	kWh/m ² a	kWh/m ² a	kWh/m ² a
<1> SDH	53	8,3	8,2	14,7	0,0	0,0	31
Gebäude	53	8,3	8,2	14,7	0,0	0,0	31

Endenergie = Jahressummen aus den Prozessbereichen ohne Hilfsenergie

Die Aufteilung der Endenergieanteile aus Prozessbereichen mit mehreren Zonen erfolgt lastabhängig.

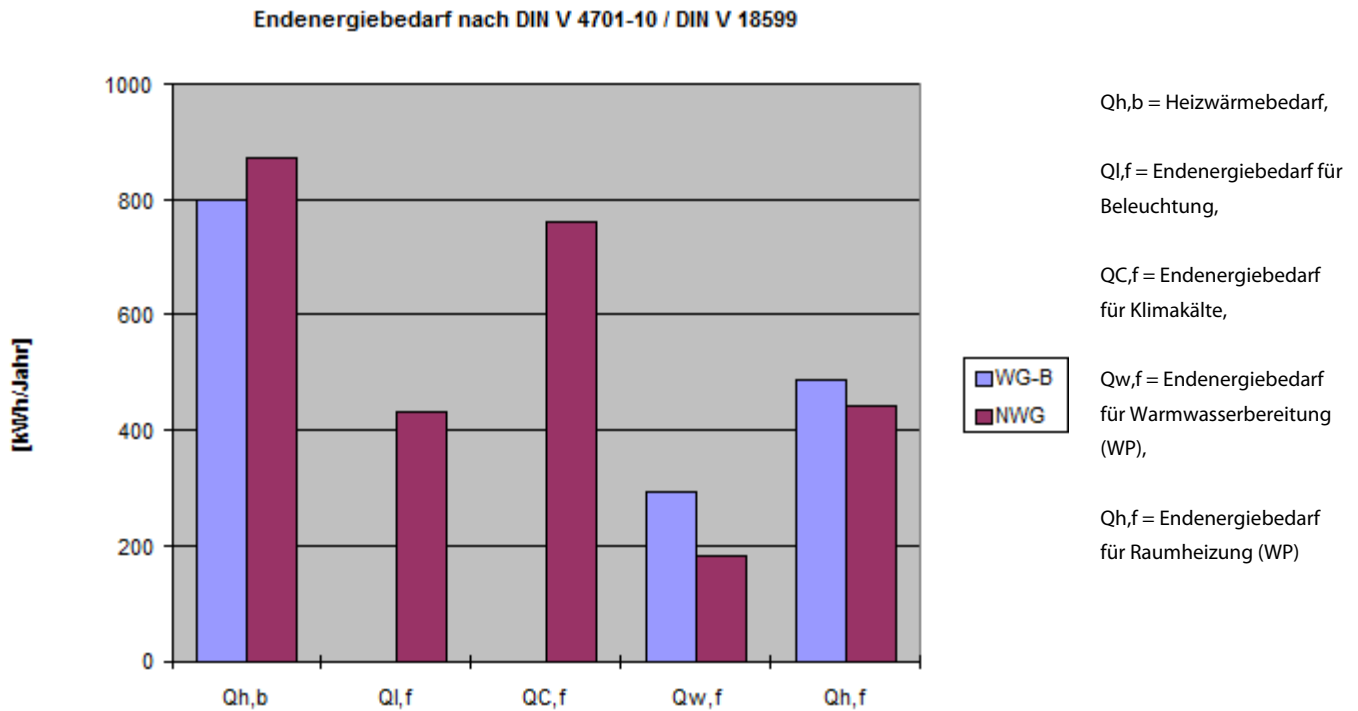


Abb. 31 Vergleich der EnEV-Verfahren für Wohngebäude (WG-B) und Nichtwohngebäude (NWG), Quelle: DÄMMWERK

Da alle wärme- und kälterzeugenden Prozesse mit hausgemachtem Solarstrom betrieben werden sollen, wäre es günstig, in einem Deckungsprofil den monatlichen Strombedarf und die Stromerzeugung inklusive Speicherung gegenüberzustellen. Anhand einer solchen Aufstellung konnten Deckungsdefizite (Netzstrombedarf) und Deckungsüberschüsse (Stromverkauf) analysiert werden.

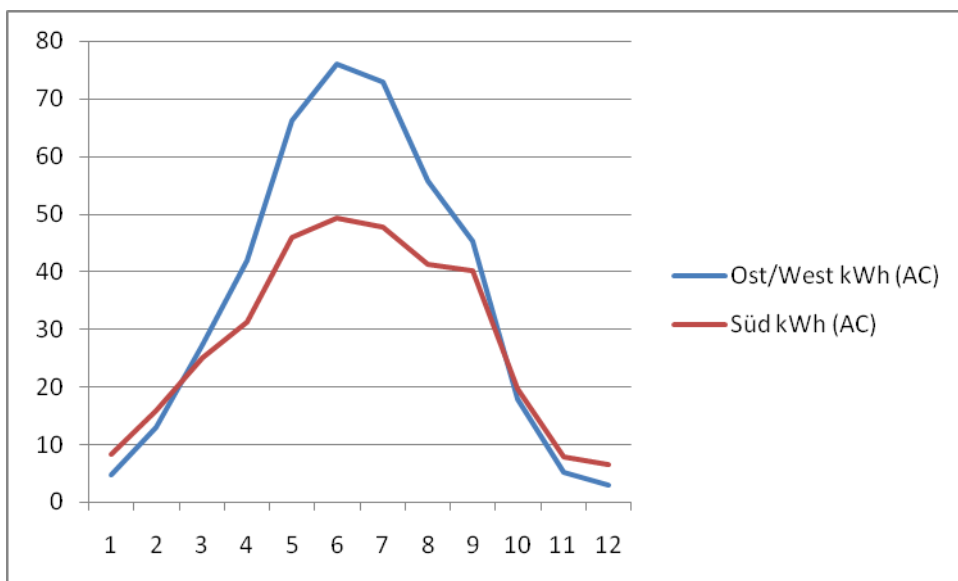


Abb. 32 Stromerzeugung der fassadenintegrierten Photovoltaik, Quelle: unbekannt

Stromerzeugung der mit PV bestückten Lamellen über das Jahr getrennt nach Ost/West und Südfassade. Die Südfassade erzeugt demnach in der Jahressumme knapp 340 kWh, die Ost- und Westfassade zusammen 430 kWh (AC). Die horizontal im Dach integrierten PV-Module werden mit über 6.000 kWh ein Mehrfaches an Strom erzeugen.

Da für Kühlung mehr Strom als für die Raumheizung aufgewendet werden muss, passen die O/W-Module gut zum Lastprofil.

Nachweisverfahren

Anforderungsniveau, Referenzgebäude

Nach DIN V 18599 muss der Q_p -Grenzwert aus einer Vergleichsrechnung mit Referenzwerten ermittelt werden. Im vorliegenden Fall erscheint eine solche Betrachtung nicht sinnvoll, da im Interesse einer realistischen Einschätzung wesentlich von der EnEV 2007 abweichende Einstellungen gewählt werden mussten, unter anderem bei der Bilanzierung der Geräteabwärme, der Beleuchtung und Gebäudekühlung und speziellen, manuellen Ansätze für die (beweglichen) Verschattungseinrichtungen.

Einhaltung zulässiger Höchstwerte

Der A/V-abhängige Grenzwert für H_T' wird (leicht) eingehalten.

15.1 Nachweis H_T'

Grenzwert nach EnEV

mit Fensterflächenanteil 46,1 %, $\vartheta_i \geq 19 \text{ °C}$, $A = 243 \text{ m}^2$, $V_e = 194$

Grenzwert zu $H_T' = 0,35 + 0,24 / (A/V_e) = 0,54 \text{ W/m}^2\text{K}$ (EnEV 2007, Anlage 2, Tab.2)

vorh $H_T' = 0,17 \leq 0,54 \text{ W/m}^2\text{K}$, **Grenzwert wird eingehalten**

Energieausweis

Siehe Anlage zur DIN V 18599.

Bewertung der Bilanzmethodik nach DIN V 18599

Das vorangegangene Kapitel beschreibt im Detail die Vorgehensweise bei der Bilanzierung des Solar Decathlon Hauses unter Anwendung der DIN V 18599. Das SDH nimmt mit seiner Konzeption sicherlich eine Sonderstellung innerhalb der Gebäude ein, für die die neue Norm gedacht ist – für eine Bewertung der Praktikabilität und Funktionstüchtigkeit ist die Bilanzierung des SDH dennoch ein interessanter Testlauf.

Die vorgenommene Bewertung der Bilanzmethodik ist streng in diesem Zusammenhang zu sehen. Alle angesprochenen Probleme beziehen sich auf diesen konkreten Fall. Allgemeingültige Aussagen und Empfehlungen für eine Überarbeitung der DIN V 18599 müssen durch Zusammenschau weiterer Gebäudebilanzierungen abgeleitet werden.

Die DIN V 18599 stellt ein komplexes Berechnungssystem zur energetischen Bewertung von Gebäuden zur Verfügung.

Von Fachleuten aus den verschiedenen Bereichen anhand bekannter, angepasster oder neu erdachter Bilanzierungsmethoden zusammengestellt, fehlt es gelegentlich an der übergeordneten Koordination zwischen den Prozessbereichen.

Diverse Teile der umfangreichen Norm erfordern entsprechend umfangreiche Berechnungen, ohne dass sich daraus unserer Ansicht nach entsprechend Genauigkeitsvorteile ergeben. Unglücklich erscheinen die Bilanzierungsmethoden für Zuluft-Register, die eine einengende Standortbindung zur Folge haben und dadurch energetisch-wirtschaftliche Betrachtungen erschweren.

Gebäudeeingabe

Standortklima

Alternativ zum Klimadatensatz „Deutschland“ (Würzburg) sollte der Ansatz regionaler Klimaverhältnisse ermöglicht und erlaubt werden, wie das in den Berechnungen nach DIN V 4108-6 (WG-B) bereits möglich ist. Standortvariable Berechnungsergebnisse wären für das SDH von großem Interesse. Diese Forderung hat allerdings weitreichende, strukturelle Konsequenzen.

Grundflächen und Volumen

Die vereinfachten Ansätze aus DIN V 4108-6 (WG-B) für die Rechenutzfläche A_N und das Nettoraumvolumen reichen nicht aus, um die Verhältnisse im SDH (Doppelboden, abgeschlossene Hohlräume) hinreichend zu beschreiben. Alternativ wurden daher manuelle Ansätze gewählt. Die Berechnungsangebote der DIN V 18599 sind in diesem Punkt besser. Allerdings muss für den H_T' -Nachweis parallel das Bruttoraumvolumen ermittelt werden, denn der Nachweis ist A/V_e - abhängig (doppelter Aufwand).

Beim Wechsel zum Rechenverfahren der DIN V 18599 wäre es sinnvoll, für den Bauherrn eine bekannte Nutzfläche wie die Wohnfläche als Vergleichsmaßstab heranzuziehen. Dies ist ja auch bei Nichtwohngebäuden so vorgesehen. Dies gilt auch für die Größe des Nettovolumens für die Lüftungswärmeverluste, die ja gemäß EnEV ebenso über einen groben pauschalen Faktor aus dem Gebäudebruttovolumen abgeleitet.

Bei besonders energiesparenden Gebäuden mit dicker Außenwanddämmung ist der pauschale Zuschlag bei der Wärmebrückenberücksichtigung nach EnEV von $0,05 \text{ W/m}^2\text{K}$ deutlich zu hoch.

Wärmebrücken

Die pauschalen Wärmebrückenzuschläge sind allgemein und insbesondere für hoch wärmedämmte Gebäude deutlich zu groß und führen zu ungenauen / falschen Transmissionswärmeverlusten. Während in der WG-B Wärmebrückenzuschläge noch für alle Hüllflächen gefordert werden, unterscheidet DIN V 18599 Wärmeverluste / -brücken direkt zur Außenluft und zum Erdreich. Temperaturgedämpfte Wärmebrücken in unteren Gebäudeabschlüssen können möglicherweise (vermutlich) vernachlässigt werden (die Formulierungen der Norm sind hier nicht ganz eindeutig). Allerdings reicht diese Änderung quantitativ nicht aus.

Der Aufwand für eine detaillierte Berechnung der Wärmebrücken vor allem bei kleinen Bauvorhaben (Ein- und Zweifamilienhäusern) ist unverhältnismäßig hoch und anspruchsvoll, die Resultate in vielen Fällen nicht ausreichend sicher. Deshalb wäre es wünschenswert, bei Gebäuden mit einem besonders geringen HT' -Wert (bspw. $< 0,20 \text{ W/m}^2\text{K}$) den pauschalen Wärmebrückenzuschlag weiter auf z.B. $0,01$ oder $0,02 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ zu verringern, da er ansonsten 25% oder mehr des gesamten Transmissionswärmeverlustes ausmachen würde. Dies ist unrealistisch. Voraussetzung dazu könnte das Vorliegen aller gezeichneten Wärmebrückendetails mit durchgehender Dämmschicht und min. im Maßstab 1:25 sein.

Leitwert zum Erdreich

In Gebäuden mit großen Grundflächen sollten die Wärmeverluste zum Erdreich mit harmonischen (monatlich veränderlichen) Leitwerten nach EN ISO 13370 beschrieben werden. Damit ergeben sich wesentliche Unterschiede im berechneten Heizwärmebedarf. Eine Regelung für den H_T' -Nachweis in diesem Fall fehlt bisher, denn harmonische Leitwerte können nicht zu den temperaturunabhängigen H_T -Werten addiert werden. Für kleine Gebäude wie das SDH ist eine Rechnung mit Temperaturkorrekturfaktoren (f_x -Verfahren) allerdings ausreichend genau. Abgesehen von den Wärmebrückenzuschlägen ändert sich damit gegenüber der WG-B nichts.

Wärmebilanz des Gebäudes

Internes Wärmeangebot

Die Abwärme von Haushaltsgeräten hat in gut gedämmten Gebäuden einen wesentlichen Einfluss auf den Wärmehaushalt (Heizwärme- und Kühlenergiebedarf). Die Größe ist in den pauschalen Ansätzen aus DIN V 4108-6 sowie den detaillierteren Annahmen aus EN 832 enthalten, in den Zonenrandbedingungen der DIN V 18599 nicht ($q_{i, fac} = 0$).

Bei den EnEV-Berechnungen ist bei Wohnnutzungen als Standardwert $5,0 \text{ W/m}^2$ vorgesehen, für die allermeisten Fälle ein sehr hoher Wert. Lediglich im Geschosswohnungsbau mit hoher Belegungsdichte (sozialer Wohnungsbau) ist dieser Wert ansatzweise realistisch. Ansonsten werden hier zu hohe Wärmegewinne angenommen. Im PHPP ist der Standard-Ansatz $2,1 \text{ W/m}^2$, beim „hessischen Leitfaden energiebewusste Gebäudeplanung (LEG)“ werden $2,5 \text{ W/m}^2$ angesetzt. Beim LEG werden in MFH immerhin $3,2 \text{ W/m}^2$ angesetzt. Hier wäre ein realistischerer Ansatz für energiesparende Gebäude sinnvoll, da nutzerbezogen davon ausgegangen werden kann, dass sparsamere Elektrogeräte zum Einsatz kommen bzw. diese sparsamer eingesetzt werden.

PHPP erlaubt die Berechnung des internen Wärmeangebots explizit aus Eingaben zu den im Haushalt eingebauten elektrischen Geräten und einem Nutzungsprofil. Als Mehrfachnutzen kann mit diesen Eingaben auch der Haushaltsstrombedarf abgeschätzt und bewertet werden.

Der Stromverbrauch für Beleuchtung und die daraus resultierenden, internen Wärmegewinne bzw. Wärmelasten mussten für das SDH auf der Grundlage grober Schätzungen kalkuliert werden. Für Wohnzonen gibt es in DIN V 18599 keine Vorgaben. Der Einfluss der Beleuchtung wird jedoch als erheblich angesehen, jedenfalls im SDH.

Solares Wärmeangebot

Die Methoden der DIN V 18599 zur Berechnung der effektiven g-Werte (Verglasung mit Sonnenschutz) erscheinen wenig geeignet. Die angebotene Auswahl an Tabellenwerten ist nicht ausreichend, Bezüge zu vorhandenen Fensterdefinitionen (z.B. aus DIN 4108-4 oder EN ISO 10077) sind nicht möglich. Die solaren Wärmegewinne mit Standardeinstellungen erscheinen (zu) gering. Die Bearbeiter vermissen einen Rechenansatz, der die Nutzung solarer Wärmegewinne zum Zweck der Energieeinsparung möglich macht.

Über das Verfahren sollte grundlegend nachgedacht werden. Eine Parameterkombination aus Verglasung + Sonnenschutz (wie in der WG-B) oder eine durchgehend detaillierte Berechnung mit ausreichenden Randbedingungen also auch für die a-Werte (Aktivierung) sowie für Transmissions- und Reflexionsgraden erscheint sinnvoller. Die solaren Wärmegewinne und sommerlichen Wärmelasten für das SDH mussten detailliert, aber mit grob geschätzten Parametern gerechnet werden.

Der PHPP-Ansatz für die Berücksichtigung von Verschattung ist im Planungsfall meist einfacher zu erfassen als eine Winkelangabe nach EnEV. Bei stark passiv geprägten Gebäuden, macht zudem ein pauschaler Verlustfaktor von 0,9 für die Verschattung keinen Sinn. Der Ansatz nach DIN V 18599, zumindest die durch das gleiche Gebäude verursachte bauliche Verschattung zu berücksichtigen, sollte auch für Wohngebäude zum Ansatz kommen.

Wirksame Wärmespeicherfähigkeit

Die Verfahren aus DIN V 4108-6 und DIN V 18599 sind weitgehend identisch. In beiden Fällen konnte der im SDH eingesetzte Latentwärmespeicher (PCM) nicht hinreichend beschrieben werden. Wie die Parametervariationen zeigen, ist der Einfluss zusätzlicher Speichermassen insbesondere in Gebäuden mit leichtem Innenleben erheblich und nicht zu vernachlässigen.

Luftwechsel

Der Standard-Luftwechsel für Wohnungen bei DIN V 18599 ist mit 0,5 1/h extrem hoch. Dies führt im Winter zu trockener Raumluft, die nicht behaglich ist. Hier wäre es sinnvoll, sich an den in der 4108-6 vorgeschlagenen 0,4 1/h oder gar noch niedrigeren Werte der Grundlüftung gemäß DIN 1946-6 zu orientieren.

Lüftungsverlust mit WRG

Warum in der WG-B die Tabellenwerte aus DIN V 4701-10 unter der Prämisse zusammengestellt wurden, dass die Bilanzierung der WRG Sache der haustechnischen Berechnung ist, hat sich den Bearbeitern nicht erschlossen. Der mit DIN V 18599 wieder aufgegriffene Ansatz des energetischen LW (die Wärmerückgewinnung reduziert den Lüftungswärme- und damit Heizwärmebedarf) ist hier deutlich logischer und wird auch seitens des PHPP verfolgt.

Für die vergleichende Berechnung wurde auch in der WG-B für das SDH die WRG im Heizwärmebedarf berücksichtigt. Die dann nötige Rückrechnung der Eingangswerte für DIN V 4701-10 ist allerdings verwirrend und scheint auch nicht exakt dieselben Ergebnisse zu liefern.

Im PHPP können die Erträge von Erdreichwärmetauschern (EWT) eingegeben werden. Die Werte stammen entweder aus einer Tabellenauswahl nach Größe des EWT oder aus einer Simulation mit einem separaten vom Passivhaus-Institut zur Verfügung gestelltem Tool. Der pauschale Ansatz nach DIN V 18599 ist bei besonders energiesparenden Gebäuden nicht zielführend. Bei diesen stellt ein EWT oft den Frostschutz sicher und erschließt ggf. eine zusätzliche Wärmequelle/-senke, entweder direkt über die Zuluft oder über ein wasserführendes System, das vor dem Lüftungsgerät über einen zusätzlichen Wärmetauscher die Zuluft vorwärmt. Hier wäre es wünschenswert, wenn DIN V 18599 weitere Berechnungsmöglichkeiten vorsehen würde.

Anlagentechnik

TWW-Bereitung und Heizung

Die Verfahren aus DIN V 18599 zur Berechnung der Übergabeverluste, Verteilsysteme, Speicher und Wärmeerzeuger sind umfangreich, aber logisch. In einigen Punkten besteht noch Klärungsbedarf. So können zum Beispiel verzweigte Verteilsysteme mit ungedämmten Leitungen im beheizten Bereich zur Folge haben, dass sich die iterative Berechnung nicht stabilisiert, die Wärmeübergabe in einem Berechnungsgang über die Heizungsrohre und im nächsten über die Heizkörper erfolgt.

Dies wäre unproblematisch, bliebe die Raumbilanz dennoch stabil und würde im gleichen Zug nicht auch der Heizwärmebedarf und damit End- und Primärenergiebedarf schwanken. Ungeregelte Wärmeeinträge aus Verteilleitungen verändern hingegen den Heizwärmebedarf, denn Sie werden wie interne Wärmequellen bilanziert. Das halten die Verfasser für ein Bilanzierungsproblem. Auch die (jahresbezogenen) Bilanzierungsmethoden für thermische Solaranlagen (insbesondere Kombianlagen) müssen besser auf die monatliche Betrachtung transformiert werden.

Außenluftvolumenstrom und Luftwechselzahl

Vermutlich mit Rücksicht auf die Volumenströme der Lüftungsgeräte und ihre Laufzeiten wird in DIN V 18599 mit Außenluftvolumenströmen gearbeitet, die zur Berechnung der Lüftungswärmeverluste (H_v -Koeffizienten) in Luftwechselzahlen (24h-Bezug) umgerechnet werden müssen. Eine verständliche, aber auch verwirrende und unübersichtliche Methode.

RLT-Systeme

Die Bilanzierung des Energiebedarfs der Heiz- und Kühlregister in RLT-Anlagen stößt grundlegend auf Unverständnis. Wenn die Register von den regulären Wärme- und Kälteerzeugern bedient werden, sollte nach Ansicht der Bearbeiter ihr Energiebedarf ganz normal über den Heizwärme- bzw. Kühlenergiebedarf bilanziert werden (Bedarf ggf. berechnet mit der Zulufttemperatur nach der WRG, keine Berechnung des Nutzwärmebedarfs nach Teil 3 / Denormierungsverfahren). Wenn die Register nur für eine Vorerwärmung bzw. Vorkühlung der Zuluft sorgen und weitere Systeme zur Raumheizung bzw. Raumkühlung mit abweichenden Übergabe- und Verteileinrichtungen in Betrieb benutzt werden, sollte dies über separate Berechnungen mit Teilversorgungsfaktoren geregelt werden. In jedem Fall ist eine standortunabhängige Bilanzierung des Energiebedarfs für Heiz- und Kühlregister wünschenswert.

Hinzu kommt, dass derzeit keine dynamische Berechnungsmethode zur Berechnung der Zu- bzw. Abschaltzeitpunkte der Register im Jahresverlauf zur Verfügung steht.

Der (willkürliche) Schaltzeitpunkt ist über die RLT-Zulufttemperatur Grundlage der Heizwärme- bzw. Kühlenergiebedarfsberechnung und kann daher zusätzlichen (unkontrollierten) Energiebedarf verursachen.

Die Option, den Strombedarf der Ventilatoren auf der Grundlage der Fachplanung mit detailliert festgestelltem Verteilungsdruckverlust zu berechnen, ist zu begrüßen. Allerdings sollten für die energetische Konzeption auch in DIN V 18599-3 Anhaltswerte für den üblichen Strombedarf von Ventilatoren zur Verfügung gestellt werden. Die Hilfestellungen und die Bilanzierungsmethode der DIN V 4701-10 sind in diesem Punkt deutlich einfacher zu handhaben, kontrollierbar und offensichtlich auch zielführend.

Wärmepumpen

Wärmepumpen sind aus Sicht der Bearbeiter in Bezug auf die Energieeinsparung besonders zu unterstützen und zu fördern. DIN V 18599 enthält insgesamt vier Teile, die sich mit Wärmepumpen beschäftigen: Teil 5 Heizung, Teil 8 Warmwasser, Teil 7 Klimakälte und Teil 6 Wohnungslüftungsanlagen. Die Bilanzierungsmethoden sind immer ein wenig anders, in den wesentlichen Teilen 5 und 8 fehlen ausreichende Standardwerte sowie hinreichende Berechnungsmethoden für gasbetriebene und Absorptionswärmepumpen. Eine Ergänzung und Vereinheitlichung (z.B. auf Basis des Carnot-Zusammenhangs) ist wünschenswert.

Die Möglichkeit, die Leistungsabgabe der Wärmepumpen über die Nennleistung, die Quelltemperaturen, die Laufzeit- und Vorlauf temperaturbegrenzung zu steuern, ist gegenüber DIN V 4701-10 ein Fortschritt. Beiden EnEV-Rechenverfahren setzen für die Wärmepumpe deutlich bessere Standardwerte an, als dies mit den konkreten Werten der Fall ist. Dies erklärt den großen Unterschied beim COP und zeigt auch die Gefahr von pauschalen oder vereinfachten Werten bei Gebäuden mit geringem Energiebedarf. Die Streuung ist bei einer Variation von nur einem Parameter direkt sehr groß.

Klimakälte

Elektromotorische, gasbetriebene und andere Kältemaschinen (Wärmepumpen) sind ausführlich beschrieben. Bedauerlicherweise werden auch hier die Teillast-Kennwerte mit Bezug auf Würzburg tabelliert.

Die detaillierte Berechnung der Verteilungsverluste bei leitungsgebundenen Verteilungssystemen ist deutlich zu kompliziert geraten und wird in dieser Form keine Chance haben, in den Berechnungsalltag einzugehen.

Beleuchtungssysteme

Die Berechnungssystematik der DIN V 18599-4 zur Ermittlung der Tageslichtversorgungsfaktoren (jahresbezogene Bilanz mit monatlichen Verteilungsschlüsseln) ist für die "energetische Bewertung von Gebäuden" zu aufwändig, denn eigentlich müsste jeder Raum separat betrachtet werden. Man sollte eine vereinfachte Methode zulassen, die eindeutige, kontrollierbare Ergebnisse liefert.

Haushaltsstrom

Der Stromverbrauch elektrischer Haushaltsgeräte ist nicht unbedingt Gegenstand einer energetischen Bewertung von Gebäuden, da es sich um mobile Einrichtungsgegenstände handelt. Eine parallele Betrachtung zum Gebäudeenergiebedarf für Wärme wäre allerdings für die Nutzer und das übergeordnete Berechnungsziel von Vorteil, da ihr Anteil am End- und Primärenergiebedarf stetig zunimmt.

Für eine gesamthafte Bilanzierung der notwendigen Energie für Betrieb und Nutzung von Wohngebäuden ist die Ausstattung mit Elektrogeräten zumindest qualitativ zum Zeitpunkt der Berechnung zu erfassen.

Nachweisverfahren

Endenergiebedarf und Primärenergiebezug

Der strikte Primärenergiebezug aus DIN V 4701-10 wurde in DIN V 18599 zugunsten des wirtschaftlich ausschlaggebenden Endenergiebedarfs fallen gelassen. Eine primär-energetische Wertung erfolgt erst zum Schluss über die eingesetzten Energieträger. Diese Entwicklung wird begrüßt und für die Weiterentwicklung der DIN V 4701-10 empfohlen. Die Praxis der DIN V 4701-10, bereits die Geräteaufwandszahlen e mit den Primärenergiefaktoren f_p zu e_p zu multiplizieren, führt zu einem wenig übersichtlichen Berechnungsgang, der leicht vermieden werden kann.

Referenzmethode

Die EnEV-Methode, den Primärenergie-Grenzwert anhand einer Referenzrechnung (mit energiesparenden Systemen) festzulegen, ist vor dem Hintergrund der sehr unterschiedlichen Nutzung von Nichtwohngebäuden und dem sehr unterschiedlichen Energiebedarf verständlich. Allerdings ist derzeit nicht absehbar, dass die Referenzmethode zu ernsthaften Anstrengungen zur Energieeinsparung führt, denn der Nachweis funktioniert eigentlich immer. Trotz umfangreicher Festlegungen der EnEV bleiben außerdem einige nicht definierte Bereiche, der Grenzwert kann also je nach Bearbeiter und Berechnungsannahmen variieren.

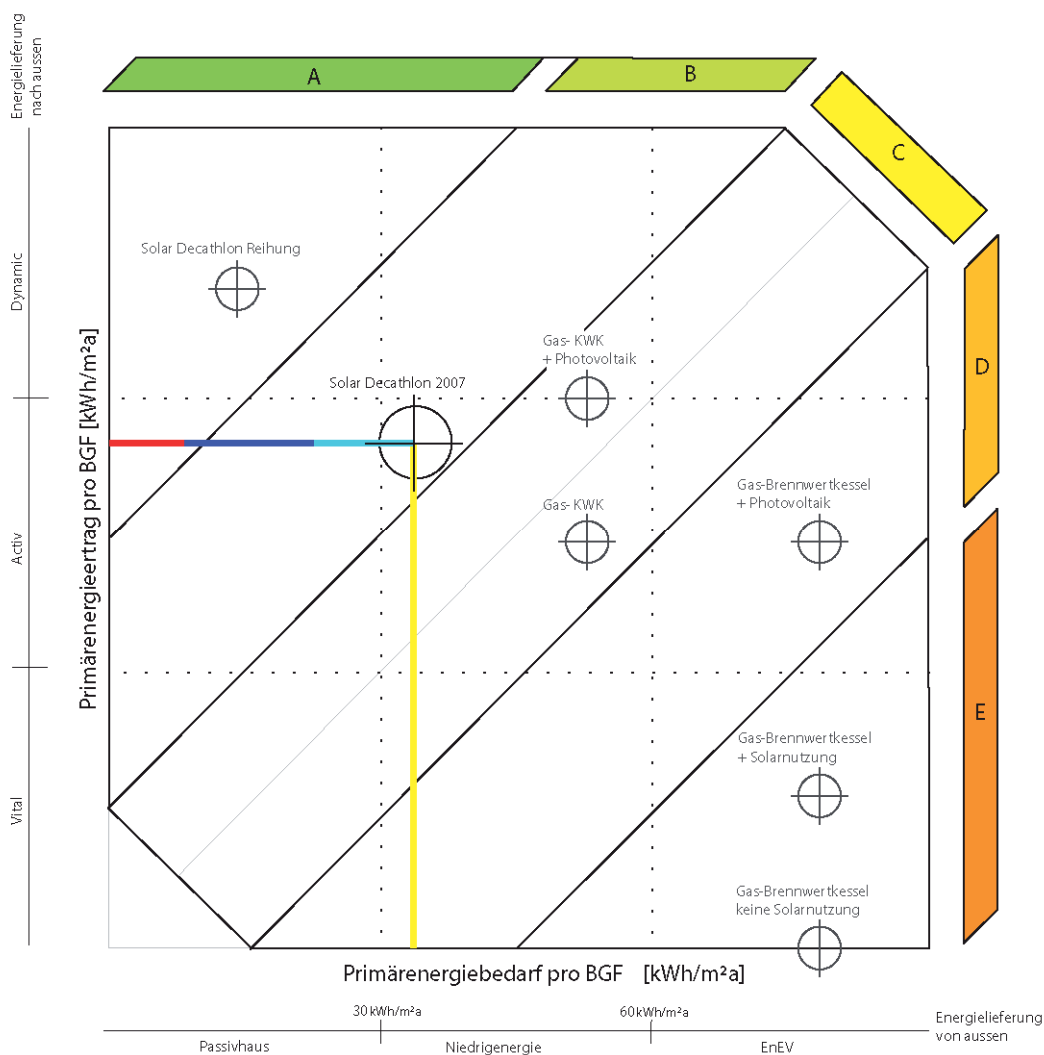
Resümee

Die Berechnungsmethoden aus DIN V 18599 sind in vielen Punkten noch entwicklungsfähig. Dennoch ist das Normenwerk bereits heute schon wertvoll für den Berechnungsalltag. Für das Solar Decathlon Haus waren die Methoden aus DIN V 4701-10 einfacher anzuwenden und ähnlich zielführend. Wenn das „System 18599“ irgendwann auch auf Wohngebäude angewendet werden soll, müssen noch diverse Ergänzungen vorgenommen werden (Nutzungsrandbedingungen, solare Wärmegewinne, Beleuchtung usw.), die aber auch für das Jahr 2009 angekündigt sind.

Vorschlag für einen Plusenergieausweis

Der bestehende Energieausweis ist geeignet, für typische Bestands- und Neubauten grundlegende Informationen vereinfacht abzubilden und in einer Skala einzuordnen. Das Spektrum an Gebäuden ist dabei so groß, dass Bauten mit minimalem Energieverbrauch an den äußersten Rand der Skala wandern. Die Konzeption des Gebäudes und der Technik kann höchstens beschrieben, nicht aber graphisch veranschaulicht werden.

Um hier die notwendige Informationsvermittlung leisten zu können, muss ein eigenständiger Plusenergieausweis erarbeitet werden. Der Ausweis soll sowohl für Fachleute als auch für interessierte Laien Gebäudekonzepte verständlich aufbereiten. Die Darstellung muss dem erfahrenen Energieplaner die verfolgte Strategie darlegen, gleichzeitig aber auch dem Bauherrn graphisch eine für ihn verwertbare Information liefern.



Früher Entwurf für einen Plusenergieausweis auf Basis der Jahresbilanz. Das Grundprinzip der flächigen Darstellung durch die Zuweisung von „Energiebedarf“ und „Energieertrag“ auf Abszisse und Ordinate ist bereits entwickelt, auch die Einteilung der Gebäude in fünf Klassen wird sich durchsetzen, allerdings mit anderer Benennung als „A“ bis „E“. Die Bilanzebene der Primärenergie wird sich nicht durchsetzen, ebenso wenig die Benennung der Gebäudekonzepte anhand bestehender Energiestandards wie „Passivhaus“ oder „EnEV“. Die Angabe von Energiemengen bezogen auf eine Geschossfläche bleibt hingegen erhalten.

Abb. 33 Plusenergieausweis für das SolarDecathlon Haus, Stand: September 2007, Quelle: FG. ee

Problemstellung bei der Bilanzierung von Plusenergiehäusern

Das Hauptanforderungsniveau der EnEV ist der Primärenergiebedarf (PE). Hierfür wird ein endenergetischer Bedarf mit einem bundeseinheitlich festgelegten Faktor multipliziert. PE-Faktoren (f_p) stellen eine Bewertung eines Energieverbrauchs hinsichtlich seiner Klimawirkung und Nachhaltigkeit dar.

Durch diesen Ansatz wird ein eigenes, politisches Definitionssystem geschaffen, in dem Naturgesetze wie der Energieerhaltungssatz ihre Gültigkeit zu Gunsten einer ökologischen Gewichtung verlieren: Energie aus erneuerbaren Energieträgern „verschwindet“ ($f_p < 1,0$), nicht-erneuerbare Energiemengen werden vergrößert ($f_p > 1,0$).

Sollen rein durch Solarstrahlung und Umweltwärme versorgte Gebäude wie das SDH bilanziert werden, führt der primärenergetische Ansatz der EnEV zu keinem für den Planer akzeptablen und für einen Nutzer verständlichen Ergebnis. Das SDH erzeugt in der Jahresbilanz wesentlich mehr Strom und Nutzwärme aus erneuerbaren Quellen, als es selbst benötigt. Da der solar erzeugte Strom bei Verzicht auf (teure und vergleichsweise ineffiziente) Speichertechnologien vollständig ins allgemeine Netz eingespeist wird, keine primärenergetische Gutschrift erfolgt, der eigene Strombedarf aber aus dem Netz bezogen wird, steht das SDH primärenergetisch schlecht da.

Prinzipiell könnte auf den Nachweis der Anlagentechnik verzichtet werden, da definitionsgemäß kein PE-Bedarf besteht. Stattdessen wird der niedrige Gesamtnutzungsgrad bei der Stromerzeugung, der zu einem f_p -Wert von 2,7 führt, angewendet. Aus den genannten Gründen wird als neuer Ansatz die Gleichbehandlung aller Energiequellen (fossil, regenerativ, vital, solar, Wärme als auch Strom) und die Rechnung in absoluten Endenergiemengen vorgeschlagen. Sind Null- und Plusenergiehäuser das Ziel, muss auf den Einsatz fossiler Brennstoffe verzichtet werden, bzw. deren Nutzung wird nicht als Bedarfsdeckung bilanziert. Eine primärenergetische Gewichtung kann dann entfallen, da keine fossilen Energieträger mehr eingesetzt werden.

Ein weiteres Problem ist die Bilanzierung des Strombedarfs: Aus der Tradition des Wärmeschutzes heraus wird der Haushaltsstrombedarf nicht berechnet. Auch die aktuelle EnEV-2007 schreibt im Bereich des winterlichen Wärmeschutzes nur die Bilanzierung des Bedarfs an Hilfsstrom für die Anlagentechnik zur Wärmeversorgung des Gebäudes vor. Mechanische Lüftungsanlagen werden ebenfalls als Hilfsstrombedarf bilanziert. Werden Wohngebäude trotz Beachtung des sommerlichen Wärmeschutzes klimatisiert, muss auch der energetische Aufwand zur Deckung des Kühlbedarfs bilanziert werden. Der Fokus liegt also ganz klar auf der Wärmebilanz des Gebäudes.

Wie im Kapitel „Der Energieverbrauch von Wohngebäuden“ beschrieben, nimmt der Anteil des Strombedarfs am Gesamtenergiebedarf mit höheren Gebäudestandards und höheren Behaglichkeitsvorstellungen weiter zu, auch ohne primärenergetische Gewichtung. Dadurch wird der Druck erhöht, mit dieser Tradition zu brechen und Konzepte zu entwickeln, auch den Haushaltsstrombedarf zu erfassen.

Dabei ist der Bedarf an Elektrizität auch für die Wärmebilanz sekundär von Relevanz. Der flächenbezogene Wärmeeintrag infolge des Stromverbrauchs und anderer interner Quellen ist zwar geringer als bei Nichtwohngebäuden, allerdings resultiert dieser aus Dienstleistungen, die auch von der DIN 18599 nicht erfasst werden.

Wird die Tradition hingegen fortgeführt, kann die Stromproduktion aus gebäudeintegrierter Photovoltaik weiterhin nicht positiv auf den Primärenergiebedarf angerechnet werden. Damit wird die in der Öffentlichkeit am stärksten wahrgenommene, regenerative Technologie darauf reduziert, über die Einspeisevergütung einen wirtschaftlichen Vorteil für den Eigentümer zu erzielen, anstatt als positiver Beitrag zum Gesamtanlagenkonzept des Gebäudes gezählt (und auch bilanziert) werden zu können.

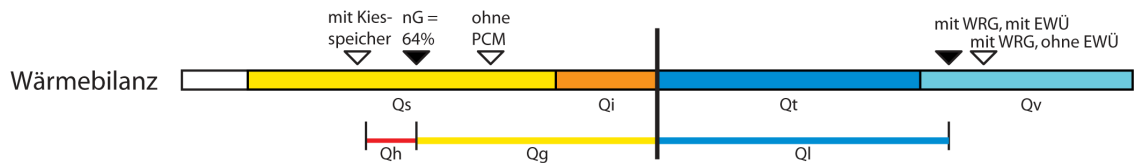
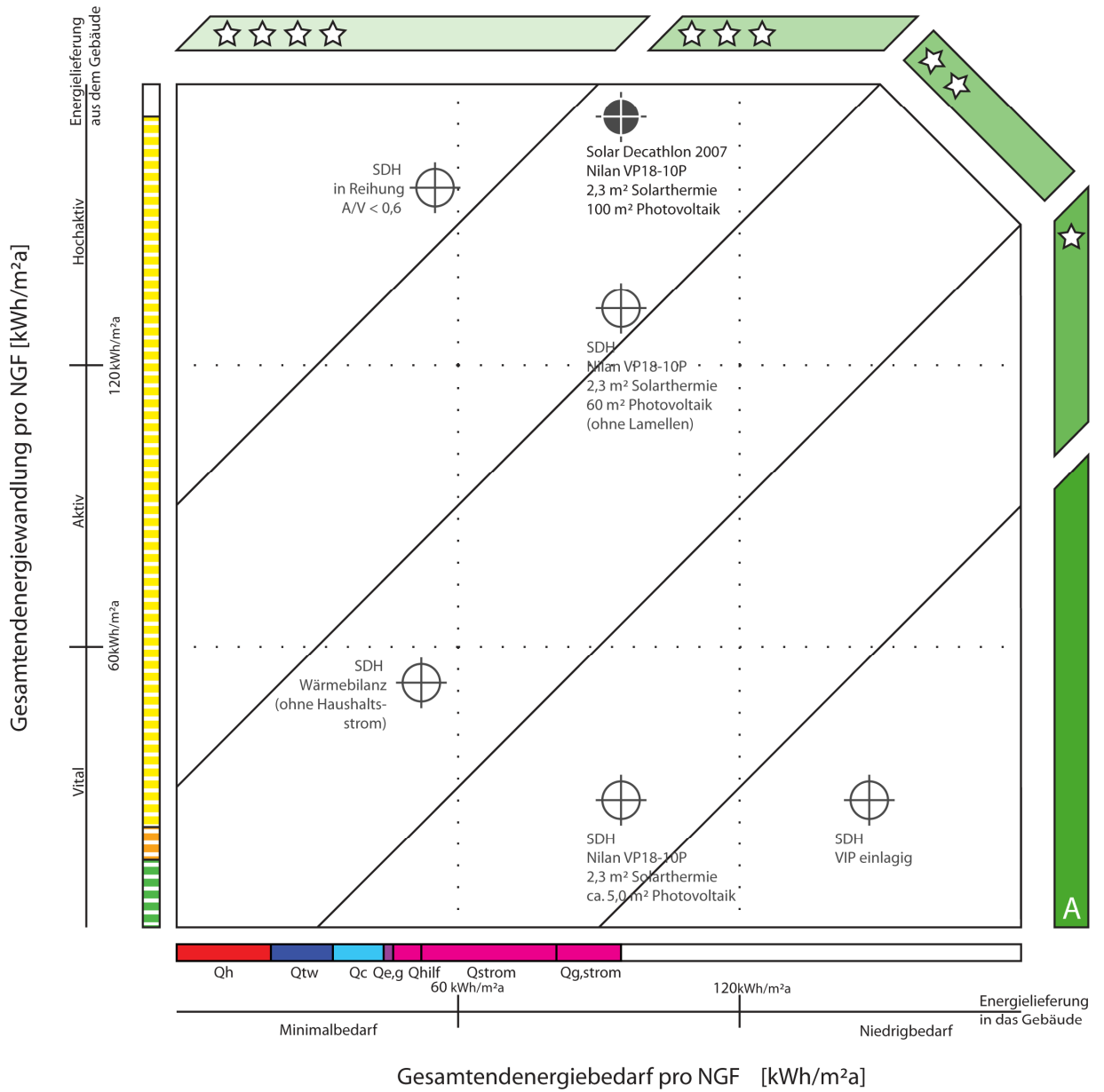
Aktive Solarerträge werden ohnehin nicht absolut erfasst. Auch der Ertrag von solarthermischen Kollektoren wird nur als Minderung der Anlagenaufwandszahl des Wärmeerzeugers bilanziert, als Bonus bei der Errechnung einer dimensionslosen und damit schwer fassbaren Größe. Die Sinnhaftigkeit oder Effizienz der Integration von Solartechnik kann so kaum vermittelt werden. Weder Planer noch Bauherr können ein Gefühl für das solare Angebot, die zunehmenden Erträge bei steigenden Flächen, aber auch den damit einher gehenden sinkenden Nutzungsgrad entwickeln.

Soll die Wärme- bzw. Energiebilanz eines Gebäudes und damit seine energetische Funktionsweise dargestellt werden, ist daher die Ausweisung von absoluten Energiemengen für alle passiven wie aktiven Wärmeströme und auch Umwandlungsprozesse von großem Vorteil.

Aus den genannten Gründen wurde der Versuch unternommen, einen Plusenergieausweis zu entwickeln, der unabhängig von bestehenden Ansätzen der EnEV als zusätzliches Instrumentarium für die Konzeptabbildung und Förderung von hocheffizienten Gebäuden genutzt werden kann.

Der Aufbau des Plusenergieausweises ist dabei dreigeteilt in einen flächigen Bereich zur Darstellung der Endenergiebilanz des Gebäudes, einen Balken zur Darstellung der Wärmebilanz und eine Legende zur Erklärung der Farbwerte. Bezugsgröße ist DIN A4.

Solar Decathlon 2007 Haus



Legende

- | | | |
|---------------------------|--------------|-------------------------------|
| Heizwärmebedarf Qh | Umweltwärme | solare Fremdwärme Qs |
| Trinkwarmwasserbedarf Qtw | Solarthermie | interne Fremdwärme Oi |
| Kältebedarf Qc | Photovoltaik | Transmissionswärmeverluste Qt |
| Anlagenverluste Qe,g | | Lüftungswärmeverluste Qv |
| Hilfsstrom Qhilf | | |

Wärmebilanz

Die Wärmebilanz zeigt das Resultat der passiven Strategien und z.T. auch aktiven Elemente des Gebäudekonzeptes. Transmission Q_T und Lüftungswärmeverluste Q_V , solares und internes Wärmeangebot Q_S und Q_I werden hier graphisch zueinander ins Verhältnis gesetzt. Die Berechnung sollte dabei auf Monatsbasis erfolgen, dargestellt werden aus den Monatssummen ermittelte Jahreswerte.

Aus der Qualität der Gebäudehülle hinsichtlich Wärmeschutz und Dichtheit sowie der Nutzung im Inneren ergeben sich Ausgangswerte für Q_T und Q_V . Im Bereich der Lüftungswärmeverluste können entsprechend dem energetischen Luftwechsel (LW) der Bilanzrechnungen weitere Maßnahmen wie Wärmerückgewinnung (WRG) oder auch Erdregister und Erdkanäle (Erdwärmeübertrager, EWÜ) zur Vorkonditionierung der Frischluft abgebildet werden. Die sich auf der rechten Seite nach allen durchgeführten Maßnahmen ergebenden Gesamtverluste Q_L aus Q_T und Q_V werden durch ein ausgefülltes, schwarzes Dreieck markiert, andere nicht umgesetzte Varianten sind durch leere Dreiecke eingezeichnet.

Auf der linken Seite des Balkens kann das Fremdwärmeangebot den Gesamtwärmeverlusten gegenüber gestellt werden. Während Q_I sich aus der Nutzung ergibt, kann Q_S durch Gebäudeentwurf und Fassadengestaltung stark beeinflusst werden. Aus dem Verhältnis von Wärmeeintrag zu Wärmeverlust ergibt sich ein gebäudetypischer Nutzungsgrad des Fremdwärmeangebots, der auch als Wärmegewinn Q_G bilanziert werden kann. Das darüber hinaus gehende Wärmeangebot stellt eine Wärmelast dar, die fortgelüftet werden muss oder zu Lasten der Behaglichkeit geht.

Die Wahl anderer Fensteraufbauten und -flächenanteile oder der Einbau von Sonnenschutz- und Tageslichtlenksystemen ändert den Ausgangswert für Q_S . Ausführungsoptionen, die die Speichermasse des Gebäudes oder die Phasenverschiebung durch die Hülle verändern (Materialwahl oder der Einbau von PCM) können auf ihren Effekt hinsichtlich des Nutzungsgrades untersucht werden. Auch Zwischenspeicher wie bspw. luftdurchströmte Kiesspeicher können eingetragen werden. Auch hier gilt: Das ausgefüllte Dreieck markiert den umgesetzten Entwurf, leere Dreiecke Entwurfsvarianten.

Als Differenz zwischen Q_L und Q_G ergibt sich der Jahresheizwärmebedarf Q_H des Gebäudes. Diese Energiemenge, die aktiv von der Anlagentechnik dem Raum zugeführt werden muss, wird anschließend als erster Energiebedarf in der flächigen Endenergiebilanz eingetragen. Wird das Gebäude aktiv klimatisiert, muss auch der Energiebedarf Q_C für die Kühlung nach oben übernommen werden.

Endenergiebilanz

Die Grafik zur Endenergiebilanz weist eine höhere Komplexität auf. Auf der Abszisse wird der Endenergiebedarf des Gebäudes und seiner Nutzung eingetragen, auf der Ordinate die im oder am Gebäude stattfindende Energieumwandlung regenerativer, vitaler und solarer Energie, d.h. aller nicht-fossilen Energieträger.

Demnach wird weder der Bezug fossiler Energieträger abgebildet, auch wenn die Energieumwandlung vor Ort erfolgt (Ausschlusskriterium „fehlende Erneuerbarkeit“), noch der Bezug einer extern bzw. unabhängig vom Gebäude aufbereiteten Energiemenge aus einem Netzanschluss, selbst wenn diese regenerativ erfolgt (Ausschlusskriterium „externe Dienstleistung“).

Die Energieumwandlung soll dabei primär zur Deckung des eigenen Bedarfs erfolgen. Im Jahresverlauf in ein Netz eingespeiste Überschüsse werden dennoch in dem Umfang bilanziert, wie sie von Abnehmern genutzt werden, saisonale Unterdeckungen können durch Bezug aus dem Netz selbstverständlich wiederum ausgeglichen werden, ohne jedoch in der Bilanz aufzutauchen. Bewertet wird also die Jahresbilanz des Gebäudes und nicht, ob sich das Gebäude ständig autark versorgt.

Alle Eintragungen werden als relative Werte bezogen auf die Geschossfläche des Gebäudes vorgenommen, um Größenunterschiede auszugleichen. Hierfür steht an Abszisse und Ordinate jeweils ein Balken bzw. eine Säule zur Verfügung:

Die Reihenfolge der Eintragung des Endenergiebedarfs geht vom Gesamtwärme- und -kältebedarf Q_{Hr} , Q_{Ww} und Q_C und den damit einher gehenden Verlusten $Q_{E,g}$ über den Hilfsstrombedarf $Q_{E,hilf}$ der Wärmeerzeugung und -verteilung zum Haushaltsstrombedarf $Q_{E,strom}$ und den dort stattfindenden Verlusten $Q_{E,g,strom}$, die sich bspw. durch die Wechselrichter und Transformatoren ergeben können.

Analog wird die Energieerzeugung der gebäudeintegrierten Anlagen aufsummiert, beginnend mit der Wärme über die Kälte bis in zum Strom. Dabei wird für jede Technologie getrennt ein einzelner Wert eingetragen. Verluste bleiben außen vor, da diese bereits auf der Ebene des Bedarfs beachtet wurden. Nutzungsgrade werden hingegen beachtet und hier eingetragen, d.h. nicht genutzte Energie (bspw. überschüssige Wärme aus Solarthermie im Sommer) wird auch nicht bilanziert.

Energiebedarf und Energieumwandlung spannen ein Quadrat auf, in dem sich für verschiedene Gebäude oder auch verschiedene Ausführungsvarianten des gleichen Gebäudes ein durch dieses Wertepaar fest definierte Position im Diagramm ergibt.

Die Mittellinie des Quadrates markiert die Nullenergiebilanz, bei der Eigenbedarf und lokale Erzeugung gleich sind. Diese dimensionslose Grenzlinie wird zu einer eigenen Mittelzone ausgeweitet, um die Gebäudeklasse des „Nullenergiegebäudes“ definieren zu können. Neben dem „Nullenergiegebäude“ wurden vier weitere Klassen geschaffen, zwei unterhalb, d.h. mit Netto-Energiebedarf, und zwei oberhalb, d.h. mit Netto-Energieüberschuss pro Jahr.

Hierzu Beispiele zur Verdeutlichung:

- Ein Gebäude mit Öl-Heizkessel in Kombination mit Solarthermie erhält auf der Ordinate nur einen Eintrag für die Menge der genutzten Sonnenwärme. Die Wärmeleistung des Kessels ist rein fossil geprägt und wird demnach nicht bilanziert.
- Bei einem Gebäude mit Wärmepumpe wird nur die Menge an aktivierter Umweltwärme bilanziert (entspricht COP -1), denn der Stromanteil stammt entweder von zusätzlich installierter PV (und wird dann hierüber bilanziert) oder aus einem Netzanschluss (keine Bilanzierung).
- Wird eine dezentrale BHKW-Anlage durch einen regenerativen Energieträger versorgt, wird die gesamte Energiemenge bilanziert. Wird derselben Anlage ein fossiler Energieträger zugeführt, erfolgt keinerlei Bilanzierung.
Wird durch Einbau einer zusätzlichen Wärmepumpe eine bivalente Wärmeerzeugung vorgenommen, wird auch hier nur der Anteil an Umweltwärme bilanziert, denn der Stromanteil wurde entweder bereits angerechnet (regeneratives BHKW) oder darf nicht angerechnet werden (fossiles BHKW).

Die fünf definierten Gebäudeklassen werden durch die Vergabe von Sternen bewertet. Die „niedrigste“ Klasse umfasst dabei Gebäude, die nach EnEV bereits zu den effizienten gehören und ein „A“ erhalten haben, aber nur wenig bzw. keine erneuerbare Energie selbst erzeugen (bspw. Nur Solarthermie zur Trinkwassererwärmung).

Mit zunehmender Energieproduktion oder verringertem Energiebedarf bei konstanter Erzeugung verschiebt sich das Gebäude im Diagramm nach links oben und kann für sich ein bis vier Sterne verbuchen. Ab drei Sternen zählt das Gebäude zu der Klasse der Plusenergiegebäude.

Je nach Positionierung des Gebäudekonzeptes im Diagramm kann die Verfolgung eines passiven oder eines eher aktiven Ansatzes zur Erreichung der Plusenergiebilanz direkt abgeleitet werden. Entsprechend können die Konzepte auch betitelt werden: Während der Bedarf von „minimal“ bis „niedrig“ einzuordnen ist, werden für die lokale Energieerzeugung die Beschreibungen „vital“, „aktiv“ und „hochaktiv“ vorgeschlagen.

Diskussion der Bilanzebene

Der Ausschluss fossiler Energieträger von der Bilanzierung ist die Grundvoraussetzung für den Verzicht auf Primärenergiefaktoren. Dies bedeutet nicht den vollständigen Verzicht auf fossile Energie, es erfolgt lediglich keinerlei Anrechnung. Null- oder Plusenergiebilanzen sind dadurch also nicht zu erzielen, der gesamte Energiebedarf muss durch andere am Gebäude installierte Technologien gedeckt oder übertroffen werden.

Aus diesem Ansatz ergeben sich gleichzeitig Vor- und Nachteile: Weder muss, noch darf eine Verrechnung von Energiemengen erfolgen, die durch Primärenergiefaktoren zuvor unterschiedlich gewichtet wurden. Die Stromerzeugung durch PV darf also vollständig angerechnet werden, wird allerdings nicht mit dem PE-Faktor 2,7 „überhöht.“

Ein BHKW kann ebenfalls nicht mehr Energie erzeugen, als vorher zugeführt wurde. Nur die Kombination mit einer zweiten Technologie wie bspw. einer Wärmepumpe kann durch nachrangige Aktivierung von Umweltwärme weitere erneuerbare Energie erschließen. Die gesamte Strom- und Wärmeumwandlung des BHKWs wird dann als Energielieferung des BHKWs ausgewiesen, auf der Seite der Wärmepumpe wird nur die zusätzlich gewonnene Umweltwärme bilanziert.

Durch die Bilanzierung von absoluten Energiemengen auf der Bilanzebene der Endenergie, die strikte Trennung nach Energiewandlern und den Verzicht auf dimensionslose Aufwandszahlen kann jeder Technologie direkt eine Energiemenge zugeordnet werden, die sie dem Gebäude letztendlich zur Verfügung stellt.

Eine primärenergetische Darstellung ist für den Bereich der so definierten Null- und Plusenergiegebäude also weder nötig (es besteht bei Verzicht auf fossile Energieträger keine Notwendigkeit zu einer ökologischen Gewichtung), noch möglich (oft besteht nach gültiger Definition überhaupt kein Primärenergiebedarf).

Eine hingegen sinnvolle Option ist ein Plusenergieausweis auf Basis der Nutzenergie: Auf der Abszisse wird dann nur der „reine“ Energiebedarf eingetragen, dafür müssen die Anlagenverluste auf der Ordinate als Minderung der Energieproduktion bilanziert werden. In der Summe ergibt sich ein ähnliches Bild bzw. eine vergleichbare Klassifikation wie bei der endenergetischen Darstellung.

Schlusswort

Die Forschungsarbeit hatte zum Ziel, die Möglichkeit der ganzheitlichen Bewertung eines Plusenergie-Wohnhauses durch Anwendung der neuen DIN V 18599 zu prüfen. Die Arbeit wurde mit dem SDH an einem konkreten Bauprojekt durchgeführt, verschiedene Bilanzmethoden wurden eingesetzt und miteinander verglichen.

Alle Problemstellungen und Lösungsansätze, die sich während der Projektlaufzeit ergeben haben, sind in den verschiedenen Bilanzkapiteln im Detail dokumentiert. Wünschenswert sind sicherlich Vereinfachungen bei der Eingabe der Gebäudedaten.

Gleichzeitig müssen neue Entwicklungen im Bereich der Baumaterialien abgebildet werden können. Zu nennen ist hier die Eingabe von Latentwärmespeichern, von semitransparenten oder beweglichen Sonnenschutzelementen und von VIP-Paneelen auf der Seite der Gebäudehülle und bspw. von Kompaktlüftungsgeräten auf der Seite der versorgenden Anlagentechnik.

Alle eingesetzten Bilanzierungsmethoden sind für den Nachweis des Primärenergiebedarfs geeignete Instrument – die Funktion als Planungswerkzeug, das den Entwurf und die Konzeption eines Gebäudes unterstützt, dies ist nicht ihr Schwerpunkt. Hierfür muss der Planer stärker mit Zwischenergebnissen, Abhängigkeiten von Komponenten untereinander und Informationen zur Auslegung der Anlagentechnik versorgt werden.

Ist die Fähigkeit zur Abbildung von Null- und Plusenergiehäusern das erklärte Ziel, müssen Konzepte entwickelt werden, wie gerade die Technologien zur Gewinnung erneuerbarer Energie bilanziert werden können. Dies kann über primärenergetische Gutschriften erfolgen, wenn die Bilanzebene der Primärenergie dabei weiterhin verfolgt werden soll. Ein anderer Vorschlag ist die Bilanzierung auf der Ebene der Endenergie und die Gleichstellung aller Energieträger, wie sie im Kapitel zum Plusenergieausweis diskutiert wird.

Quellennachweis

Jagnow, Kati: Verfahren zur energetischen und wirtschaftlichen Bewertung von Qualitätssicherungsmaßnahmen in der Heizungsanlagentechnik, Universität Dortmund, Fakultät Bauwesen, Dissertation 2004

Rebhan (Hrsg): Handbuch Energie, Heidelberg, 2001

ifeu-Institut Heidelberg; Effiziente Beratungsbausteine zur Minderung des Stromverbrauchs in privaten Haushalten

www.wikipedia.de

DENA; www.stromeffizienz.de

www.Energieland.hessen.de; Hessisches Ministerium für Wirtschaft, Verkehr und Landesentwicklung

Abbildungsnachweis

- Abb. 1 Vernetzung der drei Forschungsprojekte, Quelle: FG.ee
- Abb. 2 Innenraumtemperatur und Behaglichkeitsbereich, Quelle: www.solardecathlon.org
- Abb. 3 Relative Luftfeuchte und Behaglichkeitsbereich, Quelle: www.solardecathlon.org
- Abb. 4 Entwicklung der Energiebilanz der Wettbewerber, Quelle: www.solardecathlon.org
- Abb. 5 Abschließende Energiebilanz der Wettbewerber, Quelle: www.solardecathlon.org
- Abb. 6 Übersicht Steckbrief eines Plusenergiehauses, Quelle: fg-ee
- Abb. 7 Endenergiebedarf nach Gebäudeenergiestandard, Quelle: fg-ee
- Tab. 1 Endenergiebedarf nach Gebäudeenergiestandard, Quelle: fg-ee
- Abb. 8 Primärenergiebedarf nach Gebäudeenergiestandard, Quelle: fg-ee
- Tab. 2 Primärenergiebedarf nach Gebäudeenergiestandard, Quelle: fg-ee
- Abb. 9 Bedeutung des Stromverbrauchs gegenüber der Heizenergie, Quelle: Passivhaus-Institut
- Tab. 3 Abhängigkeit Haushaltsgröße und dem Stromverbrauch je Haushaltsmitglied, Quelle: ifeu-Institut Heidelberg
- Tab. 4 Anteiliger Stromverbrauch, Quelle: fg-ee (Datengrundlage: DENA)
- Abb. 10 Abfolge der Berechnung des Energiebedarfs, Quelle: Boris Kruppa, DIN V 4701-10
- Abb. 11 Verordnungen zur Bilanzierung des Energiebedarfs von Gebäuden 1970 bis 2010, Quelle: Techem AG 2004
- Abb. 12 Bilanzierung des Energiebedarfs nach WSchV, Quelle: fg-ee
- Abb. 13 Bilanzierung des Energiebedarfs nach EnEV (Wohngebäude), Quelle: fg-ee
- Abb. 14 Schritte zur Erfüllung des EnEV-Nachweises, Quelle: RWE Bau-Handbuch, 13. Ausgabe, Seite 2/32
- Abb. 15 Bilanzierung des Energiebedarfs nach EnEV (Nichtwohngebäude), Quelle: fg-ee
- Tab. 5 Bilanzierungsschritte der DIN 18599, Quelle: fg-ee, Energieatlas B 6.27
- Abb. 16 Heizwärmebedarf nach PHPP, Quelle: Energiebuendel
- Abb. 17 Flächeneingabe über das Faltmodell, Quelle: DÄMMWERK
- Abb. 18 Eingabe über den Baustoffassistent, Quelle: DÄMMWERK
- Abb. 19 Bauteilquerschnitte und bauphysikalische Eigenschaften, Quelle: DÄMMWERK
- Abb. 20 Temperaturfeld und Wärmebrückenverlustkoeffizient für eine Gebäudeecke, Quelle: DÄMMWERK
- Abb. 21 Abhängigkeit des Heizwärmebedarfs von der wirksamen Wärmespeicherfähigkeit, Quelle: DÄMMWERK

Abb. 22 Heizwärmebilanz mit energetischem Luftwechsel (Bilanzierung der WRG auf der Wärmebedarfsseite), Quelle: DÄMMWERK

Abb. 23 Heizwärmebilanz mit Gesamtluftwechsel (Bilanzierung der WRG auf der Anlagenseite), Quelle: DÄMMWERK

Abb. 24 Erwartete Deckungsanteile für die thermische Solaranlage (2,30 m² Apertur), Quelle: DÄMMWERK

Abb. 25 Wärmebedarf und Wärmeerzeugung, Heizwärmebedarf nach Rückrechnung der WRG, Quelle: DÄMMWERK

Abb. 26 Primärenergiebedarf zur Deckung des Wärmebedarfs (Monatsbilanzverfahren nach DIN 4108-6/4701-10), Quelle: DÄMMWERK

Abb. 27 Darstellung der Ergebnisse im (dena) Energieausweis nach DIN 4108-6 / 4701-10, der Endenergiebedarf enthält in dieser Auswertung auch den Hilfsstrombedarf, Quelle: DÄMMWERK

Abb. 28 Solare Wärmegewinne in Abhängigkeit verschiedener Bilanzmethoden, Quelle: DÄMMWERK

Abb. 29 Jahres-Heizwärmebedarf $Q_{h,b}$ in Abhängigkeit von $c_{w,irk}$, Quelle: DÄMMWERK

Abb. 30 Monatsbilanzen zum Heizwärmebedarf nach DIN V 18599, Quelle: DÄMMWERK

Abb. 31 Vergleich der EnEV-Verfahren für Wohngebäude (WG-B) und Nichtwohngebäude (NWG), Quelle: DÄMMWERK

Abb. 32 Stromerzeugung der fassadenintegrierten Photovoltaik, Quelle: unbekannt

Abb. 33 Plusenergieausweis für das SolarDecathlon Haus, Stand: September 2007, Quelle: FG.ee

Anhang 1 - Rechenblätter zum PHPP

Rechenblätter siehe separates PDF-Dokument.

Anhang 2 - Rechenblätter zur DIN 4108-6 / DIN 4710-10

Rechenblätter siehe separates PDF-Dokument.

Anhang 3 - Rechenblätter zur DIN V 18599

Rechenblätter siehe separates PDF-Dokument.

Anhang 4 - Analyse Haushaltsstrombedarf

Analyse siehe separates PDF-Dokument.

Anhang 5 - Forschungsprojekt energy:monitoring

Rechenblätter siehe separates PDF-Dokument.

**Die Anlagen 1 bis 5 erhalten Sie unter www.forschungsinitiative.de
----> Suchbegriff **energy:label** eingeben**

Anhang 6 - Normbezüge

DIN 4108	Teil 1	1981-08	Wärmeschutz im Hochbau (Größen und Einheiten)
DIN 4108	Teil 2	2001-03	Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden (Mindestanforderungen an den Wärmeschutz)
DIN 4108	Teil 3	2001-07	Wärmeschutz im Hochbau (Klimabedingter Feuchteschutz, Anforderungen und Hin- weise für Planung und Ausführung)
DIN V 4108	Teil 4	1998-10	Wärme- und feuchteschutztechnische Kennwerte
DIN 4108	Teil 5	1981-08	Wärmeschutz im Hochbau (Berechnungsverfahren)
DIN EN 832		1998-12	Berechnung des Heizenergiebedarf (Wohngebäude)
DIN V 4108	Teil 6	2000-11	Wärmeschutz u. Energie-Einsparung in Ge- bäuden (Berechnung des Jahresheizwärme- und des Jahresheizenergiebedarfs)
DIN V 4108	Teil 6/A1	2001-08	Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden (Berechnung des Jahresheiz- wärme- und des Jahresheizenergiebedarfs) Änderung A1
DIN 4108	Teil 7	2001-08	Luftdichtheit von Bauteilen und Anschlüs- sen (Planungs- und Ausführungsempfeh- lungen sowie –beispiele
DIN 4108	Teil 20	1995-07	Thermisches Verhalten von Gebäuden (Sommerliche Raumtemperaturen bei Ge- bäuden ohne Anlagentechnik. Allgemeine Kriterien und Berechnungsalgorithmen)
DIN 4108	Beiblatt 1	1982-04	Wärmeschutz im Hochbau (Inhaltsverzeichnisse)
DIN 4108	Beiblatt 2	1998-08	Wärmebrücken (Planungs- u. Ausführungsbeispiele)
Kommentar zur DIN V 4108	Teil 6	2001-05	Energieeinsparverordnung, Wärmeschutz u. Energieeinsparung in Gebäuden, Kommentar zu DIN V 4108-6
DIN EN 4108	(Entwurf)	1997-12	

DIN 4102	Teil 13	1990-05	Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen (Brandschutzverglasungen, Begriffe, Anforderungen und Prüfungen)
DIN V 4701	Teil 10	2001-02	Energetische Bewertung heiz- und raumlufttechnischer Anlagen (Heizung, Trinkwassererwärmung, Lüftung)
DIN EN ISO 13789		1999-10	Spezifischer Transmissionswärmeverlustkoeffizient (Berechnungsverfahren)
DIN EN ISO 6946		1996-11	Wärmedurchlasswiderstand u. Wärmedurchgangskoeffizient (Berechnungsverfahren)
DIN EN ISO 717	Teil 1	1997-01	Bewertung der Schalldämmung in Gebäuden und von Bauteilen (Luftschalldämmung)
DIN EN ISO 10211	Teil 1	1995-11	Wärmeströme und Oberflächentemperaturen (Allgemeine Berechnungsverfahren)
DIN EN ISO 10211	Teil 2	2001-01	
DIN EN ISO 10077	Teil 1	2000-11	Wärmetechnisches Verhalten von Fenstern, Türen und Abschlüssen (Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizienten)
DIN EN 12207	Teil 1	2000-06	
DIN EN 13829		2001-02	
DIN EN 410		1998-12	Bestimmung der lichttechnischen und strahlungsphysikalischen Kenngrößen von Verglasungen
DIN EN 673		1999-01	
VDI 3807	Blatt 1	1994-06	Energieverbrauchskennwerte für Gebäude (Grundlagen)

Danksagung

Das Fachgebiet möchte sich bei allen mitwirkenden Personen und Institutionen bedanken, die den Solar Decathlon 2007 und das Forschungsprojekt energy:label begleitet und befördert haben.

Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR)

Für die Auswahl und Förderung des Forschungsprojektes im Rahmen der Forschungsinitiative „Zukunft Bau“ und besonders Herrn Lawrence für die Teilnahme als Beirat an den Projektsitzungen in Darmstadt.

Frau Dr.-Ing. Kati Jagnow, delta-q, Braunschweig

Für die Mitarbeit als Projektbeirat, die Teilnahme an den Projektsitzungen in Darmstadt und besonders die fachkundige und umfangreiche Stellungnahme zum Vorabzug des Abschlussberichtes.

Dipl.-Ing. Friedemann Stelzer, Ingenieurbüro Energiebündel, Reutlingen

Für die Unterstützung als freier Sachverständiger bei der Bilanzierung des SDH nach PHPP und den Abgleich mit den Eingaben und Ergebnissen in Dämmwerk.

Dipl.-Ing. Andreas Kern, KERN Ingenieurkonzepte, Berlin

Für die gute Zusammenarbeit, jederzeit fachkundige und schnelle Hilfe und die erfahrenen Analysen und Bewertungen hinsichtlich der Bilanzierung von Gebäuden.