

# Ziel Klimaneutrale Gebäude – von der Bilanzierung zur Umsetzung

Eike Musall, Karsten Voss,  
Wuppertal

Im Rahmen des Förderkonzepts Energieoptimiertes Bauen (EnOB) fördert das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) die deutsche Mitarbeit in der Arbeitsgruppe „Towards Net Zero Energy Solar Buildings“ der Internationalen Energieagentur. Im Kontext methodischer Arbeiten werden ein harmonisiertes Verständnis von Nullenergiegebäuden und eine Bilanzierungsmethodik formuliert sowie parallel Umsetzungsbeispiele und Erfahrungen aus der Praxis ausgewertet.

### FESTLEGUNGEN

#### INDIKATOR

- Endenergie
- Primärenergie, n. e.
- Primärenergie, gesamt
- äquiv. CO<sub>2</sub> Emissionen
- Energiekosten

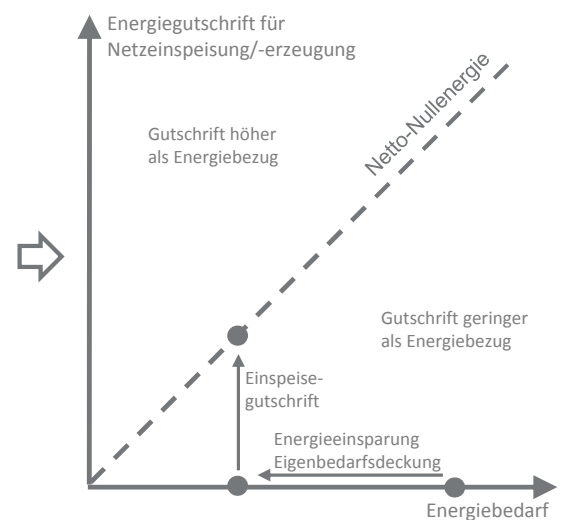
#### BILANZGRENZE

- HLK, WW (& Beleuchtung)
- + EDV, Geräte und zentrale Dienste
- + Elektromobilität
- + Baustoffe und Materialien
- + externe Investitionen

#### BILANZIERUNGSZEITRAUM

- Betriebsjahr
- Gesamtnutzungsdauer
- Lebenszyklus

### BEISPIEL



Während bereits im Jahr 2005 durch das 5. Energieforschungsprogramm der Bundesregierung das Fernziel Nullemissionshäuser ausgegeben wurde [1], wird spätestens nach der Bekanntmachung der Energy Performance in Buildings Directive der EU und der darin festgesetz-

ten Forderung nach nationalen Umsetzungen des „nearly zero energy buildings“ im Mai 2010 [2] sowie dem folgenden Energiekonzept und 6. Energieforschungsprogramm der Bundesregierung von einem klimaneutralen Gebäudebestand ab 2050 gesprochen [3, 4]. Der Fokus liegt hierbei auf verringerten Ver-

Bild 1

Das Bilanzprinzip von Input und Output an der energetischen Schnittstelle des Gebäudes. Zur Konkretisierung bedarf es vorab der Festlegung eines Indikators, der Bilanzgrenze und des Bilanzzeitraums. Die Diagonale im Diagramm beschreibt ein Netto-Nullenergiehaus, darüber liegen Netto-Plusenergiegebäude. Der Primärenergieaufwand wird durch die Primärenergiegutschrift aus der Netzeinspeisung in der Jahresbilanz ausgeglichen. Quelle Universität Wuppertal

## Autoren



Eike Musall, M.Sc.arch., Jahrgang 1982, studierte Architektur (2003-2008) an der Bergischen Universität Wuppertal, derzeit dort Wissenschaftlicher Mitarbeiter.



Prof. Dr.-Ing. Karsten Voss, Lehr- und Forschungsgebiet Bauphysik und Technische Gebäudeausrüstung, Bergische Universität Wuppertal.

bräuchen. Der Ausgleich erfolgt über Gutschriften für den Export der am Gebäude erzeugten Energie. Eine normative Definition des Nullemissionsgebäudes, des klimaneutralen Gebäudes oder eines (Nahezu-) Nullenergiegebäudes fehlt. Bei Anwendung der aktuellen EnEV gelingt der Nachweis eines Nullenergiegebäudes nicht [5, 6]. Daher werden für aktuelle Förderprogramme für Null- und Plusenergiegebäude eigene Regelungen eingeführt [8, 9].

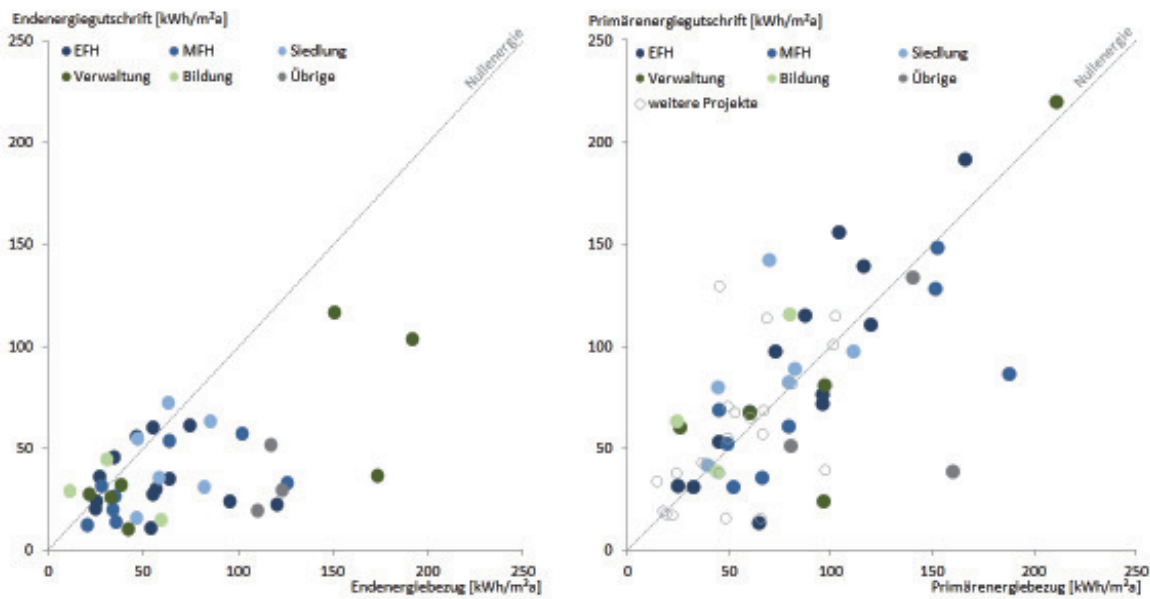


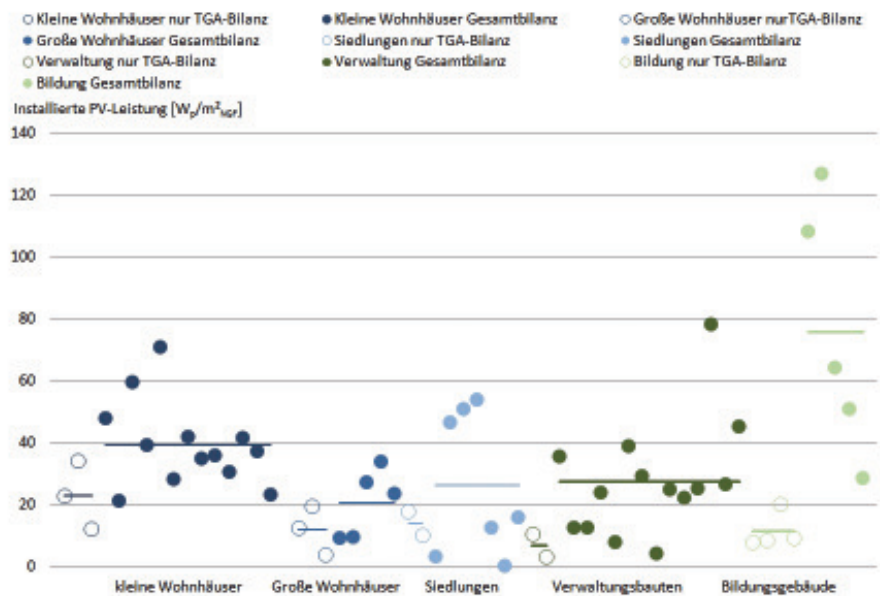
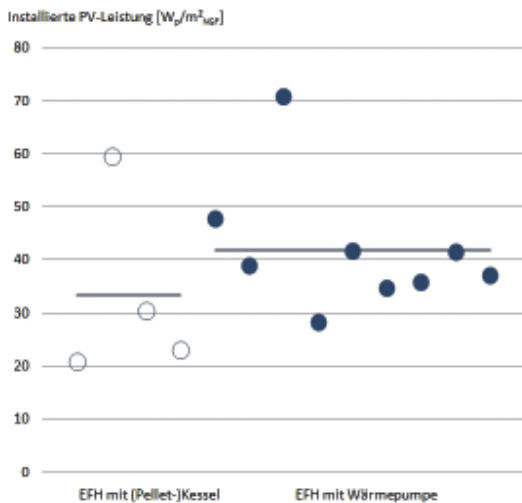
Bild 2

Gegenüberstellung von gemessenen, flächenbezogenen (NGF) Gesamt-Endenergieaufwänden und -gutschriften für 44 Projekte aus gemäßigten Klimazonen Mitteleuropas und Nordamerikas (links) sowie deren Gesamt-Primärenergiebilanz (rechts, + 22 weitere Projekte, deren Endenergiewerte nicht vorliegen). Die Primärenergie-Umrechnungsfaktoren sind länderspezifisch gewählt. Die Energieerträge erfassen nur am Gebäude erzeugte Energie. Zukauf von wird ebenso nicht erfasst. Quelle Universität Wuppertal

## Bilanzierung

Ein Bilanzvorschlag, der im Rahmen des eingangs erwähnten Forschungsprojekts [10] auf Grundlage von international angewendeten Bilanzierungsverfahren erstellt wurde [5, 7, 11], beinhaltet die in der Gebäudepraxis einfach überprüfbare, vollständige Bilanzierung der Jahressummen von lokal verursachtem, nicht erneuerbarem Energiebedarf und Gutschrift für den Export von Energie an Netze (Bild 1 und 2). Die Bilanzgrenze

umschließt dabei neben den normativ (DIN V 18599) berücksichtigten Energieverbrauchern auch den übrigen Stromverbrauch, da dieser meist nicht getrennt gemessen, aber bezahlt wird. Zum Ausgleich von zeitweisem Überangebot eigens erzeugter Energie oder erhöhter Nachfrage ist die Anbindung an das Stromnetz (und ggf. weitere Netze) entscheidend. Hiermit werden die hauseigene, saisonale Energiespeicherung und die Überdimensionierung von solaren Systemen vermieden. Die Gut-



**Bild 3**

**Aufstellung der installierten Leistung von Solartromanalgen bei Einfamilienhäusern mit dem Anspruch eines vollständigen Energieausgleichs unterteilt in Gebäude mit einem Pelletkessel bzw. einer Wärmepumpe als alleinigen Wärmeerzeuger abseits von solarthermischen Anlagen. Quelle Universität Wuppertal**

schriften resultieren aus Energieerzeugung über Solarstrom-, Kleinwindkraft- oder Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen am Gebäude. Die Erträge solcher Anlagen werden auf Basis von Monatsbilanzen bis zur Höhe des monatlichen Bedarfs/Verbrauchs berücksichtigt, monatliche Überschüsse aber erst in einer Jahresbilanz betrachtet. Solarthermische Anlagen werden ebenfalls als verbrauchsmindernde Maßnahmen angesehen, sofern sie nicht überschüssige Wärme in ein Nahwärmenetz exportieren. Da unter Umständen verschiedene Energieträger bei der Bildung der Jahresbilanz gegeneinander verrechnet werden, geschieht die Bilanzierung auf der Ebene von Primärenergie (nicht erneuerbarer Anteil).

### Gebäudebezug

Die Betrachtung international umgesetzter Gebäude mit dem Ziel einer ausgeglichenen Energie- oder Emissionsbilanz anhand der oben beschriebenen Bilanzierung zeigt, dass mit dem Indikator Endenergie meist keine ausgeglichene

ne Bilanz erreicht werden kann (Bild 2). Hierbei entgeht den Stromerträgen die meist hohe Primärenergiegewichtung (z. B. DIN V 18599 Faktor 2,6, EN 15603 Faktor 3,14) bzw. wird der Bezug von Biomasse zur Deckung des Wärme- und Warmwasserbedarfs nicht geringer gewichtet (z. B. DIN V 18599 Faktor 0,2 für Holzpellets). Da davon ausgegangen werden kann, dass eine größtmögliche Effizienz der Gebäude bereits erreicht ist, würde diese Art der Bilanzierung im Umkehrschluss deutlich größerer Energieerzeugung durch Solarstromanlagen oder andere Systeme hervorrufen. Die Gebäude, die auch in dieser Bilanzierung das Nullenergieziel erreichen oder überschreiten, sind sogenannte Nur-Strom-Gebäude oder solche, die neben Strom auch Wärme exportieren.

Im primärenergetischen Vergleich erhöhen sich sowohl die Verbräuche aber vor allem auch die Gutschriften. Beides liegt an den zu Grunde gelegten hohen Primärenergiefaktoren für Strom (s.o.). Außerdem umfasst die Bilanzgrenze für alle Gebäude auch die normativ nicht eingeschlossenen nutzungsspezifischen Verbräuche von Geräten (Haushaltsgeräte, EDV, etc.) und zentralen Einrichtungen (Serverräume, Aufzüge, etc.). Da dieser Bereich bei sehr effizienten Gebäuden dominiert [12], steigt auch der Gesamtverbrauch stark an. Hierin begründet sich, dass einige Gebäude die gezielte Bilanz nicht erreichen. Bei diesen Beispielen umfasst die in der Praxis angewendete Bilanz allein den normati-

**Bild 4**

**Installierte Leistung der Solarstromanlagen pro m² NGF (Unterteilung in Gebäude bei denen die Bilanz die technische Gebäudeausrüstung oder sämtliche Energieverbräuche umfasst). Quelle Universität Wuppertal, vgl. [7]**

ven Energiebedarf. Die Energieerzeuger sind entsprechend nur auf dessen Ausgleich ausgelegt. Weitere Gründe liegen in schwerlich vorzuberechnenden nutzerspezifischen Verbräuchen sowie eventuellen Mehrverbräuchen in der Praxis durch Mitarbeiter-, Familien- oder Produktionszuwachs und veränderte klimatische Bedingungen (kältere Winter, weniger Solarertrag).

### Gebäude- und Energieeffizienz

Die Bestrebung nach größtmöglicher Effizienz ist in Bild 2 anhand der Gesamtprimärenergieverbräuche auf bzw. unterhalb des Passivhausniveaus von 120 kWh<sub>prim</sub>/m<sup>2</sup><sub>NGFA</sub> zu erkennen (geringfügige Abweichung durch zu Grunde gelegte Flächenbezüge bzw. länderspezifische Primärenergiefaktoren) [13]. In heizungsdominierten Klimaten adaptieren typologieübergreifend etwa 50 % der bekannten Nullenergiegebäude das Konzept des Passivhauses und nutzen die Komponenten als Basis zur Reduzierung des Wärmebedarfs. Dieser liegt einschließlich der Warmwassererzeu-

gung bei einem durchschnittlichen mitteleuropäischen Nullenergiewohngebäude unter 26 kWh/m<sup>2</sup>a, Sanierungen eingeschlossen (Zum Vergleich: Der bundesdeutsche Durchschnittswert lag im Jahr 2010 bei 131 kWh/m<sup>2</sup>a [14]). Dem Passivhauskonzept mit hochwärmedämmter, wärmebrückenarmer und sehr dichter Gebäudehülle (mittlere U-Werte um 0,24 W/m<sup>2</sup>K) sowie mechanischer Lüftung mit Wärmerückgewinnung (Rückgewinnungsgrad über 80 %, elektrische Leistungsaufnahme um 0,5 W/(m<sup>3</sup>/h)) stehen oft große Fensterflächen zur erhöhten Tageslichtnutzung samt statischen oder beweglichen Verschattungselementen zur Vermeidung sommerlicher Überhitzung sowie Konzepte zur passiven Kühlung beiseite.

Die erforderliche Kompaktheit und große Dämmstärken greifen in die Architektur der Gebäude ein, verringern aber auch den Flächenbedarf zur aktiven Erzeugung von Solarenergie über Photovoltaik oder Solarkollektoren so-



Bild 5

Übersicht über die Anteile verwendeter Strategien zur Energieeffizienz, Wärmebereitstellung und erneuerbaren Energieerzeugung in Nullenergiegebäuden in heizungsdominierten Klimaten ohne Zuordnung von Flächen oder Größenangaben. Diese sind in [7] genauer aufgeführt. Quelle Universität Wuppertal

wie deren Auswirkungen auf die Gebäudeform. Weniger Erzeugungsbedarf heißt, dass weniger (Dach-)Flächen generiert oder ausgerichtet werden müssen und somit ggf. auch anderen Nutzungen zur Verfügung gestellt werden können. Schließt die Bilanzgrenze auch

die nutzerspezifischen Verbräuche ein, wird über entsprechend effiziente Geräte und Anlagen auch hier Energie eingespart. Vergleiche mit Durchschnittsverbräuchen zeigen, dass nicht immer das volle Potenzial ausgeschöpft wird bzw. der Nutzer großen Einfluss hat [7].

## Wärmebereitstellung

Um den Energiebezug zur Deckung des Wärmebedarfs zu reduzieren, werden bei vielen Nullenergieprojekten thermische Solaranlagen genutzt (Wohnsektor 75 %, Nichtwohnsektor ca. 50 %, Bild 5). Um die meist avisierte 60%ige solare Trinkwasserdeckung zu erreichen, genügen bei Wohngebäuden 0,04 m<sup>2</sup> Solarkollektorfläche pro m<sup>2</sup><sub>NGF</sub>. Wird auch die Gebäudeheizung unterstützt, variieren die Flächen je nach System und Einbindung deutlich (Speicherung, Wärmequelle für die Wärmepumpe, etc.). Die Kollektorfläche steigt auf bis zu 0,3 m<sup>2</sup>/m<sup>2</sup><sub>NGF</sub>, wenn zusätzlich Wärme eingespeist und darüber Energiebezüge ausgeglichen werden sollen.

Neben der Gebäudeeffizienz bestimmt auch die System- bzw. die damit verbundene Energieträgerwahl zur Deckung des Wärmebedarfs die Gesamt-Energiebilanz sowie die Höhe des am Gebäude zu erzeugenden Energiebetrags und damit den (Flächen-)Bedarf der Solarstromanlage. Verbesserte Arbeitszahlen (größer drei), gesunkene Preise, ein schlankes Gesamtsystem sowie ein Verzicht auf einen Gasanschluss, Biomasseanlieferung bzw. -lagerung machen Wärmepumpen attraktiv. Etwa 40 % der

Nichtwohngebäude sind „Nur-Strom-Häuser“ (Wohnen über 50 %). Bei kleinen Wohngebäuden kommen überwiegend kostengünstige (Fort-)Luft-Luft-Wärmepumpen zum Einsatz. In allen übrigen Typologien tendieren die Wärmequellen vermehrt zu Grundwasserbrunnen- oder Erdsonden. Die mittlere thermische Leistung der Wärmepumpen liegt bei Wohnhäusern bei 22 W<sub>th</sub>/m<sup>2</sup><sub>NGF</sub>, bei Nichtwohngebäuden um 41 W<sub>th</sub>/m<sup>2</sup><sub>NGF</sub>. Übrige Wärmeversorgungssysteme weisen deutlich höhere thermische Leistungsdaten auf (Wohngebäude durchschnittlich 66 W<sub>th</sub>/m<sup>2</sup>, Nichtwohngebäude 55 W<sub>th</sub>/m<sup>2</sup>), da (Biomasse-)Kessel oder Blockheizkraftwerke kurze Leistungsspitzen weniger gut abdecken können und erzeugte Wärme in Speichern puffern. Die ähnlichen thermischen Leistungszahlen weisen erneut auf das übergreifende Effizienzziel Passivhausniveau hin. Die primärenergetisch günstigen Systeme (s.o.) werden mit Blick auf die an Primärenergieverbräuche gekoppelte Fördermittelvergabe weiterhin häufig genutzt. Die Kraftwärmekopplung kommt bisher mangels kleiner oder modulierender Geräte erst bei energieintensiveren Typologien zum Einsatz. Biomasse verdrängt mehr und mehr fossile Energieträger. Die Kombination bei-

der Ansätze als Biomasse-KWK endet in sehr geringen Primärenergieverbräuchen.

## Ausgleich von Energiebezügen

Durch die Energieeinsparungen, geringe Primärenergieverbrauchswerte und den Stromertrag der KWK allein kann die erforderliche Stromerzeugung stark verringert, jedoch nicht umgangen werden. Da gebäudenaher Windkraftnutzung wenig Potenziale bietet, nutzen fast alle Nullenergieprojekte Solarstromanlagen. Bei kleinen Wohngebäuden können sämtliche Primärenergieverbräuche mit einer installierten Leistung von durchschnittlich knapp 40 W<sub>p</sub>/m<sup>2</sup><sub>NGF</sub> ausgeglichen werden (mit Wärmepumpe 43 W<sub>p</sub>/m<sup>2</sup><sub>NGF</sub>, mit Pelletkessel 33 W<sub>p</sub>/m<sup>2</sup><sub>NGF</sub>, Bild 3). Bei einer gut ausgerichteten Aufdachanlage entspricht dies grob 0,33 m<sup>2</sup>/m<sup>2</sup><sub>NGF</sub>. Umfasst die Bilanzgrenze allein die normativen Verbräuche der Haustechnik halbiert sich die erforderliche Leistung (Bild 4).

Bei Sanierungs-, Mehrfamilien- und Siedlungsprojekten oder solchen ohne solarthermische Anlagen schwanken die mittleren Größen je nach Bilanzgrenze und Heizungssystem zwischen 12 und 26 W<sub>p</sub>/m<sup>2</sup><sub>NGF</sub> stark. Ähnlich verhält es sich bei Verwaltungsgebäuden. Wird der Bedarf der Gebäudetechnik gedeckt, reichen etwa 7 W<sub>p</sub>/m<sup>2</sup><sub>NGF</sub> aus. Bei einer Erweiterung um nutzerspezifische Verbräuche sind dies im Mittel 27 W<sub>p</sub>/m<sup>2</sup><sub>NGF</sub> (Bild 4). Allerdings ist hier die Ergänzung der Solarstromerträge um Blockheizkraftwerke, Windkraftanlagen oder Zukäufe von grünem Strom üblich und bei größeren Gebäuden, bei denen das Verhältnis von aktiv nutzbarer (Dach-)Fläche zu Nutzfläche ungünstiger wird, meist auch notwendig (Bild 5). Allein über Photovoltaik versorgte Verwaltungsgebäude haben einen erhöhten Leistungsbedarf von knapp 32 W<sub>p</sub>/m<sup>2</sup><sub>NGF</sub>. Projekte mit mehr als drei Vollgeschossen sind typologieübergreifend sehr selten. Eine chronologische Betrachtung zeigt jedoch eine Tendenz zur Verringerung der PV-Flächen durch verbesserte Wirkungsgrade.

Eine umfassende Querschnittsanalyse und zahlreiche Projektdarstellungen finden sich in dem Buch „Nullenergiegebäude – Internationale Projekte zum klimaneutralen Wohnen und Arbeiten“, das im Mai dieses Jahres im Detailverlag erschienen ist [7].

## Literatur

- [1] Das 5. Energieforschungsprogramm der Bundesregierung, Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit, Berlin, 07.2005.
- [2] Richtlinie 2010/31/EU des Europäischen Parlaments und des Rates vom 19. Mai 2010 über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden (Neufassung), Amtsblatt der Europäischen Union, <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2010:153:0013:0035:DE:PDF>
- [3] Energiekonzept für eine umweltschonende, zuverlässige und bezahlbare Energieversorgung, Bundesregierung, Berlin, 09.2010.
- [4] Das 6. Energieforschungsprogramm der Bundesregierung, Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi), Berlin, 08.2011.
- [5] Voss, K.; Musall, E.; Lichtmeß, M.: Vom Niedrigenergie- zum Nullenergiehaus – Standortbestimmung und Entwicklungsperspektiven, Bauphysik Jg. 32, Heft 6, Seite 424ff, 2010.
- [6] DIN V 18 599 Teil 1–10 Energetische Bewertung von Gebäuden – Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung, Berlin, 02.2007.
- [7] Voss, K.; Musall, E.: Nullenergiegebäude – Internationale Projekte zum klimaneutralen Wohnen und Arbeiten. detail Verlag, München, 05.2011.
- [8] Wohnhäuser mit „Plusenergie-Niveau“, Anlage 1 zum BMVBS Förderprogramm, 08.2011.
- [9] Deutsche Energie-Agentur, dena-Modellvorhaben „EffizienzhausPlus“ – Teilnahmebedingungen 04.2011.
- [10] International Energy Agency IEA: Solar Heating & Cooling Program + Energy Conservation in Buildings and Community Systems Program. [www.iea-shc.org/task40](http://www.iea-shc.org/task40) (08.10.2011).
- [11] Marszal, A.; u.a.: Zero Energy Building – A Review of definitions and calculation methodologies, Energy & Buildings 43, Seite 971–79, 2011.
- [12] Musall, E.; Voss, K.: Ziel Klimaneutrale Gebäude: Internationale Projekterfahrungen, XIA- Intelligente Architektur Nr. 77, Verlagsanstalt Alexander Koch GmbH, Leinfelden – Echterdingen, 11.2011.
- [13] Passivhaus Institut: PassivhausProjektierungspaket PHPP, Darmstadt.
- [14] ista-IWH-Energieeffizienz-Index für die Abrechnungsperiode 2010, Institut für Wirtschaftsforschung Halle, <http://www.iwh-halle.de/projects/2010/ista/d/start.asp>, 11.10.2011