

# xia

# intelligente architektur

10-12/11

Zeitschrift für Architektur und Technik



**gmp.von Gerkan Marg und Partner  
kadawittfeldarchitektur  
Behnisch Architekten  
Heinisch Lembach Huber  
Despang Architekten  
u.a.**

04  
AUSGABE 77  
Oktober - Dezember 2011  
D EUR 12,50  
A EUR 13,70  
L EUR 13,80  
CH sfr. 24,50  
4 195135 012502

# KLIMANEUTRALE GEBÄUDE ALS ZIEL

## INTERNATIONALE PROJEKTERFAHRUNGEN

Die in diesen Artikel eingeflossenen Daten stammen aus einer Datenbank mit über 300 international bekannten Projekten mit dem Anspruch einer mindestens ausgeglichenen Energie- oder Emissionsbilanz. Sie wird als ein deutscher Beitrag zu der Arbeitsgruppe „Towards Net Zero Energy Solar Buildings“ der Internationalen Energieagentur [1] geführt und als interaktive Weltkarte unter [www.enob.info/nullenergie](http://www.enob.info/nullenergie) auszugsweise veröffentlicht [2]. Eine 2011 erschienene EnOB-Buchveröffentlichung enthält eine umfangreiche Behandlung des Themas sowie zahlreiche Projektbeispiele und bildet eine Basis dieses Artikels[3].

Von Eike Musall und Karsten Voss

### Eine Entwicklungsgeschichte

Seit Anfang der 1990er Jahre entstehen weltweit Gebäude, die sich dem Ausgleich des Energiebezugs für ihren Betrieb oder der damit verbundenen CO<sub>2</sub>-Emissionen widmen. Wissenschaftlich initiierte Experimental- bzw. technisch geprägte Demonstrationsprojekte ohne Anschluss an eine Netzinfrastruktur nehmen hierbei die Vorreiterrolle ein. Die überwiegend in Deutschland realisierten Pionierbauten führen die Bezeichnungen „Energieautarkes Haus“ (A1) bzw. „Nullenergiehaus“, „Plusenergiehaus“<sup>em</sup> oder „Nullmissionshaus“, als in darauffolgenden Jahren ökologisch interessierte Bauherren kleinere Wohnbauten mit dem Fokus auf einer vollständigen Deckung des Wärmebedarfs durch erneuerbare Energien sowie Kopplung an die Energieinfrastruktur errichten.

Neben gebautem Klimaschutz spiegeln sich hierin steigende Energiekosten, drohende Ressourcenknappheit und eine gewünschte Unabhängigkeit von Energieversorgungsunternehmen wider. Bedingt durch eine deutlich höhere Bautätigkeit, technologischen Vorsprung, die Abhängigkeit von Energieimporten sowie das Bewusstsein über den Klimawandel werden diese Projekte vor allem in Mitteleuropa und Nordamerika forciert. Im englischen Sprachraum heißen sie „(net) zero energy building“ [4], „carbon neutral home“ [5] (E8) oder „equilibrium building“ [6]. Durch ihre Lage in heizungsdominierten Klimaten mit saisonal variierendem Energiebedarf und zeitlich entgegengesetzten Potenzialen zur Deckung über Solarenergie gilt hier der Grundsatz der Energieeffizienz. Die große Anzahl von Nullenergieprojekten auf Basis des Passivhauses (Minergie in der Schweiz) verdeutlicht dies, wobei die Solarstromförderung in einigen Ländern ihre direkte Weiterentwicklung durch die Erweiterung um Solarstromanlagen begünstigt (E9). Erste Projekte nehmen daraufhin sämtliche Energieverbräuche in die jährliche

Bilanzierung auf. Begünstigt durch neue Technologien wie kleine bzw. mit Biomasse betriebene Kraftwärmekopplungs-Anlagen oder effizientere Solarstromanlagen steigt ab 2000 auch die Zahl energieintensiverer (Nichtwohn-)Gebäude stetig an. Als sich 2005 die deutsche Politik die Begriffe als Zieldefinition für Energieeinsparung und Klimaschutz im Gebäudesektor zu eigen macht [7], nutzen Architekten längst typologie-übergreifende Nullenergiekonzepte, um sich in der aufstrebenden „Branche“ der „green buildings“ gemäß ihren Überzeugungen zu positionieren.

Als „Veteranen“ sind sie heute bei vielen Projekten die initiiierende Kraft oder verwirklichen Forderungen, die nach dem Ratsbeschluss der Europäischen Union zu „nearly zero energy buildings“ [8] in Wettbewerbsauslobungen formuliert werden.

Private Bauherrngemeinschaften fassen verminderte Betriebskosten aus eigenem Interesse ins Auge (M4), während geringere Nebenkosten den Wohnbau- oder Immobiliengesellschaften zur Steigerung der Mietquote über mehr Attraktivität verhelfen. Letztere beschränken sich daher in der Bilanzierung meist auf eine Deckung eben dieser, nebenkostenrelevanter Verbräuche (M3, S4). Die Solarstromanlagen auf dem Dach oder ein Blockheizkraftwerk im Keller stehen somit auch nicht zwingend im Besitz des Bewohners (S3). Ab Ende der 90er Jahre erhoffen sich erste Unternehmen durch eine Nullenergiebilanz und das damit vermittelte „green building Image“ Marktvorteile. Sie stammen vorzugsweise aus der Branche erneuerbarer Energieerzeugung und verwirklichen ganze Nullenergiefabriken um eine nachhaltige Position zu verdeutlichen (A2, A4, A6). Die Problemstellung ihrer Energiebilanz ist der Ausgleich der hohen produktionsbedingten Energieverbräuche, die Teilweise aus der Bilanz ausgeklammert werden.

Großunternehmen, die bis dato nicht für ökologische Positionen bekannt waren, betreiben mittlerweile durchaus Gebäude mit dem Anspruch ausgeglichenen Energiesaldos und erhoffen sich einen Marketingeffekt (A8, A10). Dem Wohn- wie auch dem Nichtwohnsektor ist gemein, dass ab 2007 erste Sanierungsprojekte (M3, V2) zu verzeichnen sind. Diese Gebäude sind flächenmäßig stark limitiert, da der Verbrauch gegenüber dem Neubau tendenziell höher bzw. die erneuerbaren Versorgungsmöglichkeiten nicht ausreichend sind. Erst die Einbindung in städtebauliche Konzepte, bei denen eigene (Nahwärme-)Netze unterschiedliche Verbraucher und Energieerzeuger verbinden oder erst an der Siedlungsgrenze bilanziert wird, ermöglichen einen Verbrauchsausgleich im Verbund und über den Maßstab einer einzelnen Immobilie hinaus (S2, S3) [9]. Unter dem Einfluss übergreifender Akteure fangen Siedlungsgebäude mit

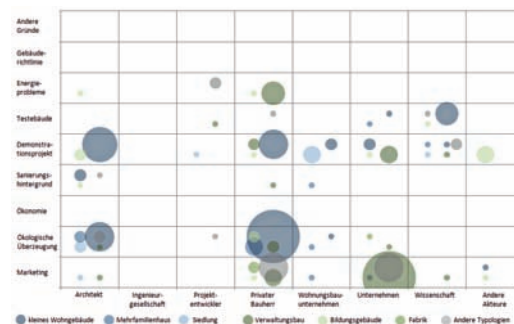


Abb. 2: Zusammenhang von Hauptakteur und Beweggrund bei Umsetzung von Nullenergieprojekten. Quelle [3]

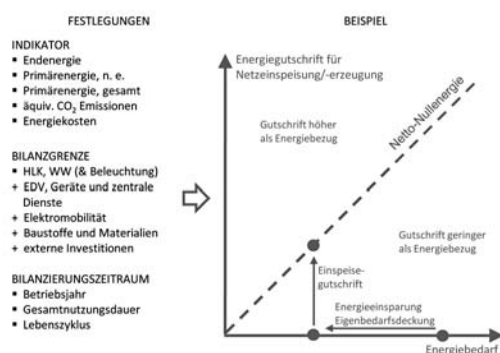


Abb. 3: Das Bilanzprinzip von Input und Output an der energetischen Schnittstelle des Gebäudes. Zur Konkretisierung bedarf es vorab der Festlegung eines Indikators, der Bilanzgrenze und des Bilanzzeitraums. Die Diagonale im Diagramm beschreibt ein Netto-Nullenergiehaus, darüber liegen Netto-Plusenergiegebäude. Der Primärenergieaufwand wird durch die Primärenergiegutschrift aus der Netzeinspeisung in der Jahresbilanz ausgeglichen. Quelle Universität Wuppertal

energetischem Überschuss z.B. sanierte Bestandsgebäude mit mäßiger Energieeffizienz (z.B. ungünstiges AV-Verhältnis) bzw. geringerer Energieerzeugung (Gebäudeausrichtung) oder verbrauchsintensive Verwaltungsgebäude auf (S5) [10].

### Die neutrale Energiebilanz

Die genannte Begriffsvielfalt zeigt, dass trotz der Verankerung von „nearly zero energy buildings“ in der Energy Performance in Buildings Directive der EU [8] oder dem „klimaneutralen Gebäudebestand“ im aktuellen Energieforschungsprogramm der Bundesregierung [11, 12] noch keine verbindliche Definitionen vorliegen. Vielmehr dienen außergesetzliche Label der Baupraxis als Grundlage. Das Bundesbauministerium und die deutsche Energieagentur (dena) haben aktuell eigene Definitionen für Förderprogramme formuliert [13, 14]. Der zeroHaus-Standard wird in Deutschland seit 2005 als Zertifikat für Nullemissionsgebäude angewendet [15]. In der Schweiz können Neubauten ab März 2011 das Label Minergie-A erhalten [16]. Nach aktueller Energieeinsparverordnung (EnEV) gelingt der Nachweis eines Nullenergiegebäudes jedoch nicht [17].

Im Rahmen des Forschungsprojekts „Towards Net Zero Energy Solar Buildings“ der Internationalen Energieagentur IEA [1], dessen deutsche Mitarbeit im Rahmen der EnOB Forschung [2] gefördert wird, wurden international gängige Bilanzierungsverfahren evaluiert [18, 19] und zu geeigneten Verfahren zusammengestellt [3, 17]: Mit Hintergrund der internationalen Anwendbarkeit und dem Blick auf unterschiedliche Klimate, Bautraditionen und Nutzergewohnheiten wird auf ein fixes Energieeffizienzziel verzichtet. Grundlegender Ansatz ist die in der Gebäudepraxis einfach überprüfbare Bilanzierung der Jahressummen von lokal verursachtem, nicht erneuerbarem Energiebedarf und ebenso umrissener Gutschrift (Abb. 3). Für den Ausgleich von Energieangebot und -nachfrage ist die Kopplung an das Stromnetz entscheidend. Hiermit wird die Überdimensionierung der solaren Energiesysteme und hauseigene, saisonale Energiespeicherung von autarken Gebäuden vermieden. Die Bilanzgrenze schließt dabei, anders als normativ durch die DIN V 18599 [20] vorgesehen, neben den Energiebezügen für Heizung, Kühlung, Lüftung, Warmwasser und Beleuchtung auch den übrigen Stromverbrauch des Gebäudes ein, da dieser bezahlt und meist nicht getrennt gemessen wird. Im deutschen Kontext geschieht die

Bilanzierung auf der Ebene von Primärenergie (nicht erneuerbarer Anteil). Dabei resultieren die Gutschriften aus eigener Energieerzeugung über Solarstrom-, Kleinwindkraft-, Solarthermie oder Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen am Gebäude. Alle Anlagen werden dabei bis zum Ausgleich der Energiebezüge und entgegen normativer Betrachtung als Teil des Gebäudeenergiesystems angesehen.

### Die Gebäudeeffizienz als Basis

Bei der Bilanzierung eines Nullenergiegebäudes steht also den Energieverbräuchen bzw. -bezügen für die Gebäudeklimatisierung und weiteren Verbrauchern die vor-Ort-Energieerzeugung gegenüber. Findet Letztere ausschließlich vor Ort statt und ist der Anspruch durch hohe Verbräuche groß, beeinflusst und beansprucht diese die Gebäudegestalt durch Photovoltaik oder solarthermische Anlagen, selten auch kleine Windturbinen, stark. Auch daher gilt das Prinzip der Energieeffizienz und -einsparung. Im Schwerpunktbereich heizungsdominierter Klimate nördlich des Äquators adaptieren typologieübergreifend etwa 50 % der bekannten Nullenergiegebäude dem Passivhaus entlehnte Konzepte und Komponenten als grundlegendes Mittel zur Reduzierung des Wärmebedarfs.

Übergreifend bedeutet dies hochwärmedämmte, wärmebrückenarme und sehr dichte Gebäudehüllen. Der durchschnittliche mittlere U-Wert der gesamten Gebäudehülle mitteleuropäischer Nullenergiewohnprojekte ist mit  $0,26 \text{ W/m}^2\text{K}$  sehr niedrig. Nicht selten erreichen Außenwände im Holzleichtbau U-Werte um  $0,1 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Bei Nichtwohngebäuden liegt dieser höher ( $0,32 \text{ W/m}^2\text{K}$ ), was den großen Glasflächen zur gleichmäßigen Tageslichtversorgung der Arbeitsplätze bzw. Klassenräume geschuldet ist. Die voluminöseren Nichtwohngebäude schöpfen das Potenzial der Gebäudekompaktheit besser aus (Durchschnitt Schulbauten  $0,41 \text{ m}^{-1}$ , Verwaltungsgebäude  $0,38 \text{ m}^{-1}$ ).

Ergänzend zur Gebäudeeffizienz reduzieren Wasserspararmaturen in einigen Wohngebäuden, den Warmwasserverbrauch, während die Wärmerückgewinnung aus dem Abwasser bisher nur in Pilotanwendungen genutzt wird (M6).

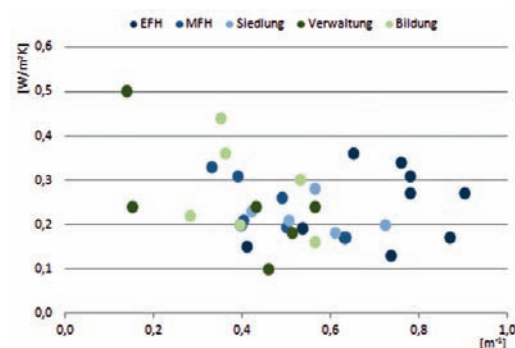


Abb. 4: Mittlere U-Werte der gesamten Gebäudehülle im Vergleich zur Gebäudekompaktheit (Oberflächen/Volumen-Verhältnis). Dargestellt sind Nullenergiegebäude in heizungsdominierten Klimaten. Quelle Universität Wuppertal, vgl. [3]

**Lüftung:** Zur Verringerung der Lüftungswärmeverluste und Verbesserung der Luftqualität kommen in nahezu allen recherchierten Nullenergiegebäuden Lüftungsanlagen zum Einsatz. Dem Passivhausansatz folgend, sind diese mit effizienter Wärmerückgewinnung (durchschnittlich um 80 %) gekoppelt, wobei niedrige Stromverbräuche noch nicht selbstverständlich sind.

bis 1990

1991



1992

1993



1994



1995



1996



1997

1998



1999



2000

2001



2002

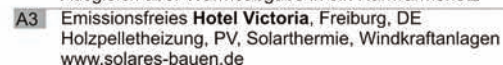
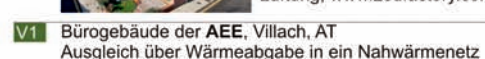


Abb. 1: Zeitstrahl zur Fertigstellung bzw. Sanierung von Nullenergieprojekten und exemplarische Beispielgebäude. Quelle Universität Wuppertal. Teil 1/3

Neubau Wohnen  
Neubau Nichtwohnen  
Sanierung Wohnbau  
Sanierung Nichtwohnbau

E = EFH M = MFH  
S = Siedlung B = Bildung  
V = Verwaltung A = Andere

A4	<b>Nullmissionsfabrik</b> Solvis, Braunschweig, DE integrale Planung zur Minimierung der thermischen und elektrischen Lasten, Ausgleich per Biomasse-KWK, PV www.solvis.de
2003	
2004	
2005	
A5	<b>Schiestl-Schutzhütte</b> , Steiermark, AT Alpenhütte mit Passivhauskonzept und autarker Energieversorgung (PV, KWK, Solarthermie, Speicher)
2006	
M3	<b>Sanierung Blockrandbebauung Blaue Heimat</b> , Heidelberg, DE
M4	 <b>Kleehäuser</b> , Freiburg, DE Mehrfamilien-Passivwohnhaus versorgt über KWK, PV, Solarthermie und Ausgleich über externe Windkraftanteile www.kleehauser.de
E7	<b>Sonnenhaus</b> , Regensburg, DE 100% solar beheiztes Einfamilienhaus, www.sonnenhaus-institut.de
2007	
E8	 <b>Lighthouse</b> , Watford, UK erreicht dank Pelletkessel, Solarthermie, PV und ökologischen Materialien (Holzleichtbau) als erstes den Code for sustainable design Standard 6 www.kingspanlighthouse.com
V2	 <b>Sanierung WWF-Hauptquartier</b> , Zeist, NL Doppelte Nutzung von Erdsonden zur Gebäudeheizung und Kühlung über Wärmepumpe, zusätzlich KWK, Solarthermie und PV
E9	<b>Einfamilien-Passivhaus</b> , Riehen, CH typisches Nur-Strom-Haus mit PV und Wärmepumpe
V3	<b>Firmenhauptsitz</b> , Kempthal, CH Verwaltungsbau als Nur-Strom-Haus, umfassendes Konzept zum sommerlichen Wärmeschutz www.kaempfen.com
2008	
A6	<b>Wechselrichterfabrik</b> , Niestetal, DE
V4	 <b>Firmenzentrale in Berlin</b> , DE Wärme- und Kälteversorgung per Nahwärmenetz und Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung, Solartracker, PV, Raumautomation www.solon.com
2009	
S3	 <b>Solariedlung am Schlierberg</b> , Freiburg, DE Solares Siedlungskonzept (Verschattung contra Grundstückspreise), Energieüberschuss dank großer PV und niedrigen Primärenergiefaktor des Wärmenetzes (Holz)
M5	 <b>Mehrfamilienhaus</b> , Dübendorf Nur-Strom-Haus mit alleiniger Bilanzierung der Haustechnik, Einsatz von Vakuumröhrenkollektoren zur Verschattung www.kaempfen.com
A7	<b>Princess Elisabeth Forschungsstation</b> , Antarktis Extrembeispiel mit PV und Windkraft, www.consolar.de

Zeitstrahl Teil 2/3

■ Neubau Wohnen  
■ Neubau Nichtwohnen  
■ Sanierung Wohnbau  
■ Sanierung Nichtwohnbau

E = EFH M = MFH  
S = Siedlung B = Bildung  
V = Verwaltung A = Andere

Erdregister dienen häufig zur Vorwärmung der Zu- bzw. Frostfreihaltung der Fortluft oder auch als Wärmequelle einer Wärmepumpe. In Wohn- wie auch Verwaltungsbauten dominieren zentrale Anlagen. Dezentrale Systeme bieten in Schulen einen abschnittswisen und bedarfsbezogenen Einsatz durch einzelne Nutzergruppen (B2, B4).

**Tageslicht und solare Wärmegewinne:** Während die Lüftungsanlagen durch Raumbedarf für Kanäle einen eher untergeordneten Gestalt einfluss haben, prägen die Wünsche und Bestrebungen nach hohem Tageslichtanteil (Komfort und Stromersparnis), winterlichen passiven Wärmeinträgen (verringertes Heizwärmebedarf) die dadurch bedingten, meist großen südlich orientierten Fensterflächen sowie deren mitunter bauliche Verschattung (sommerlicher Wärmeschutz) die Gestalt effizienter Gebäude. Das Verhältnis zwischen Fensterflächen und der Nettogeschossfläche beträgt in einem durchschnittlichen mitteleuropäischen Nullenergie-Wohngebäude 38 %. Besonders aufwendig verglaste Gebäude kommen nicht selten darüber (E6). Sie weisen vorherrschend eine asymmetrische Fensterflächenverteilung mit Schwerpunkt großflächiger Verglasungen in Richtung Südost bis Südwest auf. Nur hier können in Kombination mit guten  $U_{w}$ -Werten der Fenster (im Mittel um  $0,9 \text{ W/m}^2\text{K}$ ) solare Wärmeinträge wirksam genutzt werden. Da in Nichtwohngebäuden die Vermeidung von Wärmelasten im Vordergrund steht, ist das Verhältnis von Fenster- zu Nettogeschossfläche bei den analysierten Beispielen aus Verwaltung und Bildung geringer. Die Ausrichtung ist hier gleichmäßiger verteilt, u.a. da keine an die Himmelsrichtung orientierte Zonierung wie bei Wohnhäusern erfolgt.

**Sommerlicher Wärmeschutz:** Erfahrungen zeigen, dass die Nutzer typologieübergreifend die sommerlichen Raumtemperaturen kritisch thematisieren. Daher reichen Sonnenschutzverglasungen allein nicht aus, um die Gefahr der sommerlichen Überhitzung zu bannen und eine energieintensive und daher aktive Kühlung zu vermeiden. Starre Sonnenschutzsysteme wie additive horizontale Lamellen (V2) bzw. vorgestellte Balkone (E9, M4) oder in die Form eingebundene und um bis zu 2 m auskragenden (Dach-)Überstände (E10) verschatten daher größere Mehrfamilien-, Büro- und Bildungsgebäude. Dabei bieten die Dachüberstände zusätzliche Potenziale zur Solarstromerzeugung über Photovoltaik (V3, S3). Kann dies nicht in die Geometrie von (kleineren) Gebäuden integriert werden, dienen als Alternative bewegliche, außenliegende Rollos, Storen oder Jalousien (E8). Sie bieten vor allem bei Büronutzung über eine Zweiteilung und damit verbundener Lichtlenkung die gewünschte hohe Tageslichtquote (A4). Tief eingeschnittene Fensterlaibungen (M5) bieten ebenso wenig ausreichend Sonnenschutz, wie innenliegende Elemente. Diese vermeiden als Blend- oder Sichtschutz jedoch die Nutzung des äußeren Sonnenschutzes für diesen Zweck und damit die Gefahr reduzierter winterlicher Wärmeinträge (M6). Schaltbare Verglasungen (B4), im Scheibenzwischenraum liegende Jalousien (B1) oder Verglasungen mit Wärmespeicher- bzw. Lichtlenkeigenschaften (V4) bilden die Schnittstelle zwischen Sonnenschutz und Tageslichtnutzung.

Bei fast allen Beispielen der gemäßigten Klimazonen ergänzen passive Kühlkonzepte den Sonnenschutz und

vermeiden eine aktive Kühlung über Klimaanlage. Die Aktivierung der thermischen Speichermasse bzw. deren Steigerung über Phasenwechselmaterialien (PCM) oder dicke (Lehm-)Putzschichten (E8, V2) ermöglichen eine Wärmepufferung am Tage. Über Lüftungskamine (E8) bzw. zeitgleich öffnende Fenster im unteren Fassaden- sowie oberen Dachbereich (E10) kann (gespeicherte) Wärme entweichen. Unter Einbeziehung der Lüftungsanlagen wird der thermischen Speichermasse in Kombination mit steuerbaren Nachströmöffnungen in der Fassade (Fenster, Zuluftelemente) bei erhöhter Nachtlüftung gezielt Wärme entzogen. Nachgeschaltete Wärmepumpen können die der Abluft entzogene Wärme Pufferspeichern zuführen (A4).

### Deckung des Wärmebedarfs

Die oben beschriebenen Maßnahmen reduzieren den Wärmebedarf der Gebäude auf ein Minimum. Abgesehen von Extrembeispielen mit saisonaler Wärmespeicherung (E7) gelingt es jedoch im mitteleuropäischen Klima nicht, die verbliebenen Wärme- und Warmwasserbedarfe ohne externen Energieträgereinsatz gänzlich zu decken. Eine Reduzierung erbringen hier, bei gut dreiviertel der Nullenergiewohngebäude, solarthermische Anlagen.

60 % solare Deckung an der Trinkwarmwassererwärmung werden bei durchschnittlich  $0,04 \text{ m}^2$  Kollektorfläche pro  $\text{m}^2$  NGF erreicht. Wird zusätzlich eine Heizungsunterstützung angestrebt, variieren die Flächen je nach Heizsystem. Dabei dienen die Kollektoren auch als Wärmequelle für Wärmepumpen (E10). Der Einsatz von Vakuumröhren oder in der Fassade bietet Gestaltungspotenzial (E5, M2, M5, M6). Sollen darüber hinaus Energiebezüge durch Einspeisung in Nahwärmenetze ausgeglichen oder Nachbargebäude versorgt werden, steigt die mittlere Kollektorfläche deutlich (M6, V1). Nur jedes zweite Bildungs- und Verwaltungsgebäude nutzt Solarthermie (ca.  $0,1 \text{ m}^2/\text{m}^2_{\text{NGF}}$ ).

Nach anfänglichem Boom von Nullenergiegebäuden mit Biomassekesseln führten Technologieverbesserungen, sinkende Preise und verbesserte Regelung von Wärmepumpen sowie möglicher Verzicht auf Pelletlagerflächen zu einem starken Anstieg der sog. „Nur-Strom-Häuser“. Bei verbrauchsintensiveren Nichtwohngebäuden beschränkt sich dies auf kleine Bildungs- oder Bürogebäude mit geringem Warmwasser- und Wärmebedarfen (V3). Sind diese größer, bietet die Kraft-Wärme-Kopplung gleichzeitige Erzeugung von Wärme und Strom und dessen Gutschrift in der Energiebilanz. Strom wird hierbei anders als bei PV-Anlagen überwiegend in der Heizperiode erzeugt [21].

Der Betrieb mit Biomasse (Rapsöl, Biogas, Holz) ermöglicht zudem eine Senkung des Primärenergieaufwands (A4, A2). Die beschränkte Verfügbarkeit von Biomasse aus nachhaltiger Bewirtschaftung bleibt, wie auch die fehlende technische Ausgereiftheit von Holzgespeister KWK (S2), ein kritischer Faktor.

**Aktive Kühlung:** Entsprechend der oben genannten Ziele ist die Auswahl aktiv gekühlter Nullenergiegebäude in Mitteleuropa sehr klein. Erkennbares Merkmal der Kühlkonzepte ist aber die ökonomisch wie energetisch effiziente Kopplung an ohnehin genutzte Systeme zur Wärmeerzeugung über reversible Wärmepumpen mit Erdsondenanbindung (V2) oder Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung mit Absorptionskältemaschine (V4).

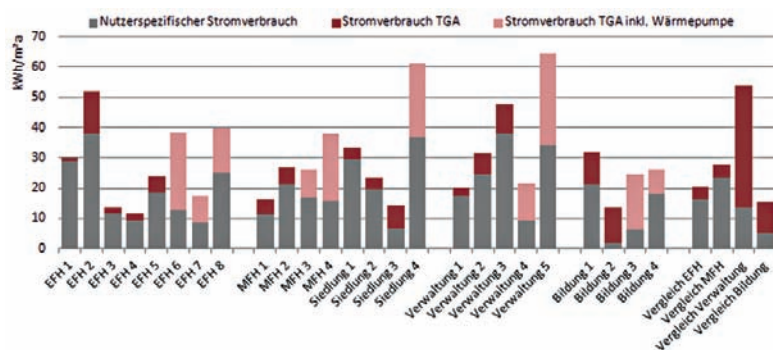


Abb. 5: Verteilung von nutzerspezifischen und haustechnischen Stromverbräuchen von Nullenergiegebäuden. Gebäude mit Wärmepumpen sind aufgrund erhöhter Verbräuche separat aufgeführt. Quellen für die Vergleichswerte sind [11, 22, 23]. Flächenbezug: NGF. Quelle Universität Wuppertal, vgl. [3]

## Bedeutung des Stromverbrauchs

Bei effizienteren Gebäuden und reduziertem Energieeinsatz für deren Klimatisierung steigt die Gewichtung der nicht durch die Gebäudetechnik verursachten Stromverbräuche deutlich. Auch wenn in der Energieeinsparverordnung die Stromverbräuche für EDV, Haushaltsgeräte, Entertainment oder etwa Aufzüge nicht bzw. bei der Beleuchtung nur bei Nichtwohngebäuden abgebildet werden, sind diese Inhalt des Passivhausprojektierungspakets [22] und einigen angewendeten Bilanzierungs-ideen für Nullenergiegebäude [13, 15, 16].

Der sogenannte nutzerspezifische Stromverbrauch übersteigt mit im Mittel ca. 19 kWh/m²a in den untersuchten Nullenergiewohngebäuden inklusive der Beleuchtung die Stromverbräuche der Gebäudetechnik um das Vierfache. Kommt eine Wärmepumpe zum Einsatz, liegt der Anteil bei ca. 50 % des Gesamtstromverbrauchs. Bei Verwaltungsgebäuden dominiert ebenfalls der nutzerspezifische Stromverbrauch (25 zu 6 kWh/m²a). Bei Einsatz einer Wärmepumpe gleichen sich die Werte an, auch wenn die Verbräuche zwischen einzelnen Gebäuden stark variieren. Bei Bildungsgebäuden bewirken eine dichtere Belegung, die damit erhöhten Aufwendungen zur Lüftung und Beleuchtung sowie die geringen Verbräuche der Nutzer (9 kWh/m²a) ein Verbrauchsgleichgewicht.

**Stromsparerpotenzial:** Im Gebäudebetrieb liegen die gemessenen nutzerspezifischen Stromverbrauchswerte auch bei Bilanzanschluss über den Werten der Literatur [11, 22, 23] bzw. nahe dem generellen Verbrauchsdurchschnitt (M3, S3). Dies zeigt den häufig fehlenden Einfluss bzw. Zugriff auf diesen Bereich durch die Eigentümer von Mietshäusern oder Büroobjekten. Im Gegensatz zu Wohneigentum, wo die Reduzierung des Stromverbrauchs durch Energiesparleuchten, sparsame Unterhaltungselektronik oder Haushaltsgeräte mit höchster Energieeffizienzklasse bzw. Anbindung der Wasch- oder Spülmaschinen an das Warmwassernetz (M6, M4) erreicht wird, ist bei den übrigen Immobilien die Nutzersensibilisierung erster Angriffspunkt (M3, M6, E10). Hier bildet nicht selten die Gebäudeautomation eine Grundlage. Neben der Steuerung von Sonnenschutz- bzw. (Tages-) Lichtsystemen wird der Nutzereinfluss entweder erleichtert oder im Bezug auf vordefinierte Konfigurationen verringert. Zusätzlich lassen sich Energieverbräuche erfassen und visualisieren (M6, S2). Des Weiteren bieten zentrale EDV-Technik mit gezielter Wärmeabfuhr oder kombinierte Tages- und Kunstlichtkonzepte mit Bewegungsmelder oder Gebäudeleittechnikeinbindung (A4, V5, V4) Möglichkeiten Strom zu sparen.

## Energiegewinnung vor Ort

Die nötigen Energieerträge zur Deckung der Verbräuche werden durch die angewendete Bilanz und den damit vorgegebenen Umfang der zu bilanzierenden Verbräuche sowie durch den Einsatz des Primärenergieträgers zur Wärmebereitstellung beeinflusst. Je enger die Bilanzgrenze, je niedriger der Primärenergiefaktor (z.B. bei Holz aktuell 0,2 [20]) und je geringer der Verbrauch, desto weniger Erzeugungsbedarf besteht. Dies bietet vor dem Hintergrund, dass ernst zu nehmende Nullenergieprojekte nicht ohne Solarstromanlagen auskommen, mehr gestalterische Freiheiten, da sich parallel die nötigen Flächen für Photovoltaikmodule verringern und Dachflächen im Entwurfsprozess nicht künstlich erweitert werden müssen. Ungleich Entscheidender ist jedoch die Nutzfläche des Gebäudes. Auch bei einem Heizwärmebedarf nahe dem Passivhausstandard und verringerten Stromverbräuchen stoßen hohe Gebäude mit mehr Nutzfläche pro „Solar-Dachfläche“ schnell an Grenzen der alleinigen solaren Deckung. Nullenergie-Wohngebäude entstehen daher selten mit mehr als drei Geschossen. Bei Nichtwohngebäuden ist die Anzahl der Geschosse sogar noch kleiner. Dem kann neben Gebäudeeffizienz auch die weitere Effizienzsteigerung von Photovoltaiksystemen entgegenwirken. Eine chronologische Betrachtung kleiner Wohnbauten zeigt eine Tendenz zur Verringerung der PV-Flächen. Im Durchschnitt setzen diese zum primärenergetischen Komplettausgleich zurzeit knapp 40 Wp/m²NGF installierte PV-Leistung ein, wobei eine Schwankungsbreite durch Sanierungshintergründe, den Einsatz von solarthermischen Anlagen oder die Eigentumsverhältnisse erkennbar sind. Werden z.B. allein die Energieaufwendungen für die Haustechnik betrachtet, halbiert sich der Wert ebenso, wie in Mehrfamilien- oder Siedlungshäusern, wo Biomasseheizungen, KWK-Anlagen oder Nahwärmeanschlüsse den Primärenergiebedarf reduzieren. Bei großen Nichtwohngebäuden ist die Ergänzung der Solarstromerträge durch Blockheizkraftwerke (A4), Windkraftanlagen (V5) oder Zukäufe von grünem Strom (A6) aus oben genannten Gründen üblich. Bei Verwaltungsgebäuden reicht die PV-Leistung von 7 Wp/m²NGF (Ausgleich der Gebäudetechnik) bis 27 Wp/m²NGF (inkl. nutzerspezifischer Verbräuche). Bei Bildungsgebäuden variieren die Zahlen je nach Nutzung (Schule, Kindergarten) stark, wobei die ausgemachten Beispiele meist ein deutliches Energieplus erreichen (Abb. 6).



Zeitstrahl Teil 3/3

■ Neubau Wohnen  
 ■ Neubau Nichtwohnen  
 ■ Sanierung Wohnbau  
 ■ Sanierung Nichtwohnbau

E = EFH M = MFH  
 S = Siedlung B = Bildung  
 V = Verwaltung A = Andere

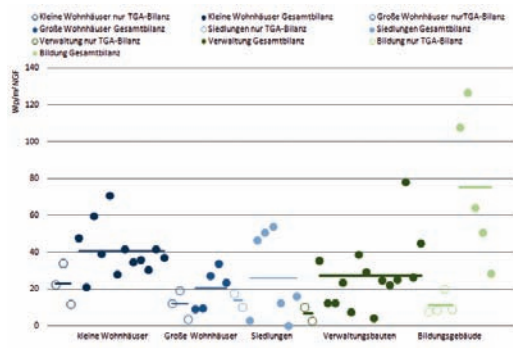


Abb. 6: installierte Leistung der Solarstromanlagen pro m<sup>2</sup> NGF (Unterteilung in Komplettbilanz und TGA-Bilanz). Quelle Universität Wuppertal, vgl. [3]

**Windenergie:** Die tageszeitlich unabhängige Energiegewinnung über Kleinwindkraftanlagen kann aufgrund geringer technischer Potenziale und Ressentiments (Schattenwurf, Geräuschentwicklung) kaum an Gebäuden genutzt werden. Erste gebäudeintegrierte Windturbinen zeigen, dass die Leistung von etwa 1,5 kW pro Anlage nicht ausreicht, um den Energiebedarf von Gebäuden in Gänze auszugleichen (V5, A3). Investments in externe Anlagen können entgegen der Praxis nicht zum Ausgleich von Verbräuchen vor Ort genutzt werden, da der hierüber erzeugte Strom ausschließlich dem erneuerbaren Anteil des Stromnetzes zuzurechnen ist (M4, S1).

**Netzkopplung:** Durch die vermehrte Nutzung von Wärmepumpen ist Strom der Hauptenergieträger für Nullenergiegebäude. Biomasse wie Holzpellets, Hackschnitzel oder Rapsöl verdrängen fossile Energieträger. Nahwärmenetze finden häufig in Siedlungskonzepten Anwendung. Die Untersuchungen zeigen, dass große Unterschiede im Grad der Eigenbedarfsdeckung und in den zeitlichen Last- und Einspeiseprofilen auftreten [24]. Darüber hinaus können die Gebäude unterschiedlich flexibel auf Anforderungen aus zukünftigen „smart grids“ reagieren. Hier zeigt sich für optimale Ergebnisse weiterer Forschungsbedarf.

### Praxiserfahrungen

Die Energieverbräuche von Nullenergie-Wohnhäusern sind im Vergleich zu Gebäuden, die nach den jeweils gültigen Energierichtlinien gebaut wurden, ca. 60 % geringer. Eine typologieübergreifende Auswertung zeigt, dass der Ausgleich des Verbrauchs umso wahrscheinlicher ist, je geringer dieser ist (Abb. 7). Bei mitteleuropäischen Wohnhäusern liegt dieses Verhältnis bei einem durchschnittlichen Gesamtprimärenergieverbrauch von 73 kWh/m<sup>2</sup>a und einer Gutschrift von 80 kWh/m<sup>2</sup>a. Bildungs- und Verwaltungsgebäude benötigen im Mittel etwa 80 kWh/m<sup>2</sup>a, während die Erzeugung bei 111 kWh/m<sup>2</sup>a (Bildung) bzw. 84 kWh/m<sup>2</sup>a (Verwaltung) beiträgt. Zu geringe Ertragsreserven führen bei Mehrverbräuchen durch Mitarbeiter-, Produktions- oder Familienzuwachs oder veränderten klimatischen Bedingungen (kältere Winter, weniger Sonnenschein) zu negativen Bilanzen. Nutzerspezifische Verbräuche bleiben zudem trotz technischer Hilfen zum Gebäudebetrieb eine entscheidende Größe, auch weil das Nutzerverhalten während der Planung nicht hinreichend genau festzulegen ist.

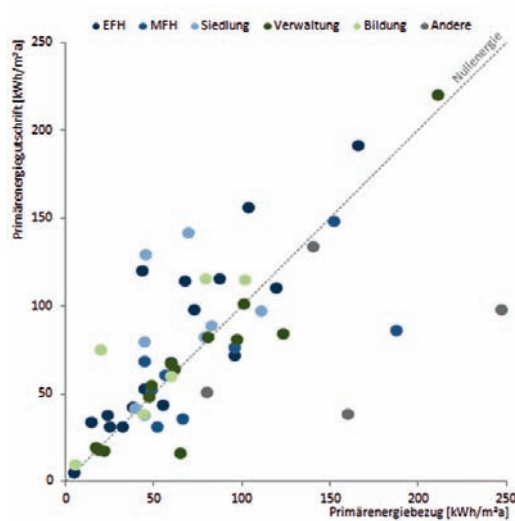


Abb. 7: Gegenüberstellung von flächenbezogenem Gesamtprimärenergieaufwand und -gutschriften für vor Ort erzeugte Energie ohne Zukauf „grünen Stroms“. Quelle Universität Wuppertal, vgl. [3]

### Danksagung

Die vorgestellten Arbeiten wurden auf Beschluss des Deutschen Bundestags durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie gefördert.

### Referenzen:

- [1] 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) (08.09.2011)
- [2] [www.enob.info/nullenergie](http://www.enob.info/nullenergie) (12.09.2011)
- [3] Voss, K.; Musall, E.: *Nullenergiegebäude – Internationale Projekte zum klimaneutralen Wohnen und Arbeiten*. detail Verlag, München, 05.2011
- [4] US DOE, *Building Technologies Program, Planned Program Activities for 2008-2012*, Department Of Energy, US, <http://www1.eere.energy.gov/buildings/vision.html> (02.10.2011)
- [5] *The code for sustainable homes*, UK Department for Communities and Local Government, London, 07.2007
- [6] *Equilibrium™ Sustainable Housing Demonstration Initiative*, Canada Mortgage and Housing Corporation, [www.cmhc-schl.gc.ca/en/inpr/su/eqho/](http://www.cmhc-schl.gc.ca/en/inpr/su/eqho/) (15.09.2011)
- [7] Das 5. Energieforschungsprogramm der Bundesregierung, Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit, Berlin, 07.2005
- [8] 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>
- [9] Heinze, M.; Voss, K.: *Ziel Null Energie - Erfahrungen am Beispiel der Solarsiedlung Freiburg am Schlierberg*, Deutsche Bauzeitung, 01.2008
- [10] Musall, E.; u.a.: *Net Zero energy solar buildings: an overview and analysis on worldwide building projects*, Tagungsband zur EuroSun 2010, Graz, 10.2010

[11] Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung: *Bekanntmachung der Regeln für Energieverbrauchsdatenwerte und der Vergleichswerte im Nichtwohngebäudebestand*, Berlin, 06.2009

[12] Das 6. Energieforschungsprogramm der Bundesregierung, Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi), Berlin, 08.2011

[13] *Wohnhäuser mit „Plusenergie-Niveau“*, Anlage 1 zum BMVBS Förderprogramm, 08.2011

[14] Deutsche Energie-Agentur, dena-Modellvorhaben „EffizienzhausPlus“ - Teilnahmebedingungen 04.2011

[15] zeroHaus Standard, [www.zero-haus.de/zertifizierung.html](http://www.zero-haus.de/zertifizierung.html) (15.09.2011)

[16] Minergie A, [www.minergie.ch/minergie-aa-eco.html](http://www.minergie.ch/minergie-aa-eco.html) (14.09.2011)

[17] Voss, K.; Musall, E.; Lichtmeß, M.: *Vom Niedrigenergie- zum Nullenergiehaus - Standortbestimmung und Entwicklungsperspektiven*, Bauphysik Jg. 32, Heft 6, Seite 424-34, 2010

[18] Marszal, A.; u.a.: *Zero Energy Building - A Review of definitions and calculation methodologies*, *Energy & Buildings* 43, Seite 971-979, 2011

[19] Sartori, I.; Napolitano, A.; Voss, K.: *Net Zero Energy Buildings – A consistent definition framework*, *Energy & Buildings*, under review

[20] DIN Deutsches Institut für Normung e.V., *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

[21] Musall, E.; u.a.: *Strom-wärmegeführter Betrieb. Voraussetzung für Wirtschaftlichkeit*. In: *Euro Heat & Power* 04/2010, S. 50–56

[22] Passivhaus Institut: *PassivhausProjektierungsPaket PHPP*, Darmstadt

[23] Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, *SIA 2031 Energieausweis für Gebäude*, Ausgabe 2009, Anhang C, Zürich

[24] Jaume, S.; u.a.: *Understanding Net Zero Energy Buildings: Evaluation of load matching and grid interaction indicators*, *Proceedings of IPBSA*, Sydney, 2011 alle Flächenangaben beziehen sich auf m<sup>2</sup> Netto-Grundfläche (NGF), Verbrauchswerte ohne Klimabereinigung