

# Niedrigst- und Plusenergie-Gebäude

## Sinnvolle Wärmeversorgung ohne speicherbare Energieträger hier nicht möglich

M. Sc. Matteo Galbusera,

Prof. Dr.-Ing. Alexander G. Floß, Institut für Gebäude- und Energiesysteme, Hochschule Biberach

Auch wenn schon viel über den Niedrigst-, Null- und Plusenergie-Gebäudestandard geschrieben worden ist, soll hier nochmals klargestellt werden, dass jedes Gebäude ein Energieverbraucher ist. Gebäude bieten aber die Möglichkeit, Systeme und Infrastruktur zu installieren, die Erneuerbare Energien in Nutz- bzw. Endenergie umwandeln und bereitstellen. Allen voran ist hier die Photovoltaik (PV) zu nennen.

Wenn Verluste und Verbrauch von Energie auf der einen Seite und die Bereitstellung aus Erneuerbarer Energie auf der anderen Seite gleich groß sind, spricht man von einem Nullenergie-Gebäude. In der logischen Folge ist ein Plusenergie-Gebäude so ausgestattet, dass dort mehr Nutz-

und Endenergie aus Erneuerbaren Energiequellen erzeugt, als verbraucht wird. In diesem Fall muss der Energieüberschuss in ein Wärme- oder Stromnetz eingespeist werden. Eine attraktive Alternative ist die Nutzung des Stromüberschusses, um Batterien für die Elektromobilität zu laden. Entscheidende Fragen bei der Energiebilanzierung sind der Bilanzierungszeitraum und die Anrechenbarkeit verschiedener Energieformen; beispielsweise ob ein PV-Stromüberschuss im Sommer mit einem erhöhten Heizwärmebedarf im Winter gegengerechnet werden kann. Für den schon bald gesetzlich geforderten Niedrigstenergie-Gebäudestandard liegen hierzu in Deutschland noch gar keine verbindlichen Definitionen vor.

**F**akt ist, dass eine tatsächliche Autarkie bei diesen Gebäuden in der Regel nicht gegeben und auch nicht sinnvoll ist. Ziel der neuen Standards ist es, neben der Reduzierung der CO<sub>2</sub>-Emissionen vor allem einen Beitrag zur Entlastung der öffentlichen Versorgungsnetze insbesondere der Stromnetze zu leisten, was leider viel zu wenig Beachtung findet. Vor diesem Hintergrund ist auch zu sehen, dass die Energieerzeugungsanlagen am Gebäude oder zumindest auf dem Grundstück installiert werden müssen.

Am Institut für Gebäude und Energiesysteme (IGE) der Hochschule Biberach hat man verschiedene Energiekonzepte für Einfamilienhäuser erstellt und untersucht, die nicht nur den gesetzlichen Anforderungen an den Niedrigstenergie-Standard gerecht werden, sondern auch der Entlastung der öffentlichen

Stromnetze Rechnung tragen. Hierbei wurde das Augenmerk primär auf die Bezahlbarkeit und nicht auf den technischen Perfektionismus der Systeme gelegt. Denn auch hier gilt das Sprichwort „die Perfektion ist der Tod des Guten“.

### UNKLARE ENERGIEGESETZGEBUNG

In Deutschland existiert eine Vielzahl von Gesetzen und Verordnungen, die Anforderungen an die energetische Qualität von Gebäuden und ihren Energiesystemen stellen. Abb. 1 soll hier einen groben

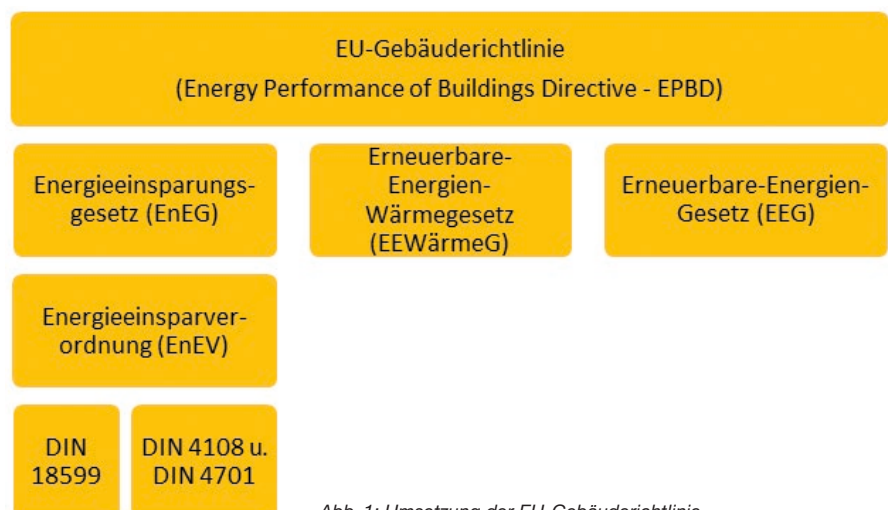


Abb. 1: Umsetzung der EU-Gebäuderichtlinie

Überblick geben und stellt die wichtigsten Gesetze, Verordnungen und Berechnungsvorschriften dar.

Die EU-Gebäuderichtlinie (Energy Performance of Building Directive EPBD) erstellt für alle EU-Mitgliedsstaaten eine verbindliche Zielvorgabe. Anschließend wird dieses Ziel durch ein nationales Gesetz der jeweiligen Staaten in Inhalt, Zweck und Ausmaß formuliert. In Deutschland geschieht dies durch das Energieeinsparungsgesetz (EnEG).

Die jeweilige Verordnung zum Gesetz, hier Energieeinsparverordnung (EnEV) regelt die Umsetzung. Die genauen Berechnungsvorschriften sind den DIN-Normen zu entnehmen, hier DIN 18599 oder DIN 4701-10 mit DIN 4108.

Um den Einsatz von erneuerbaren Energien zu forcieren, unterstützt das Erneuerbare-Energien-WärmeGesetz (EEWärmeG) das EnEG. Im EEWärmeG wird die Mindesthöhe des Anteils an erneuerbaren Energien für Neubauten vorgegeben. Tab. 1 stellt diese Mindestanforderungen dar.

Da die Nutzung erneuerbarer Energien im gesetzlich geforderten Umfang nicht überall sinnvoll umsetzbar ist, erlaubt § 7 des EEWärmeG Ersatzmaßnahmen. Hier sind allem voran ein um 15 % verbesserter Wärmeschutz der Gebäudehülle und ein um 15 % reduzierter Jahres-Primärenergiebedarf bezogen auf die Anforderungen der EnEV zu nennen.

Das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) regelt die Einspeisung und Vergütung von regenerativem oder durch Kraft-Wärmekopplung erzeugtem Strom ins öffentliche Netz.

Die EU-Gebäuderichtlinie aus dem Jahr 2010 fordert die verbindliche Einführung eines Niedrigstenergie-Gebäudestandards (englisch: nearly zero energy building NZEB) mit Beginn des Jahres 2021 für alle privaten Neubauten. Nach Artikel 2 der EU-Gebäuderichtlinie ist ein Niedrigstenergiegebäude ein Gebäude, das eine sehr hohe Gesamtenergieeffizienz aufweist. „Der fast bei Null liegende oder sehr geringe Energiebedarf sollte zu einem ganz wesentlichen Teil durch Energie aus erneuerbaren

| Erneuerbare Energien (EEWärmeG) |                    |
|---------------------------------|--------------------|
| Energiequelle                   | Mindestanteil in % |
| Solare Strahlungsenergie        | 15                 |
| Feste Biomasse                  | 50                 |
| Flüssige Biomasse               | 50                 |
| Gasförmige Biomasse             | 30                 |
| Geothermie und Umweltwärme      | 50                 |

Tab. 1: Mindestanteil an erneuerbaren Energien nach EEWärmeG

Quellen (feste, flüssige oder gasförmige Biomasse) – einschließlich Energie aus erneuerbaren Quellen (Solarthermie bzw. mit Photovoltaik, Wind- oder Wasserkraft erzeugter Strom), die am Standort oder in der Nähe erzeugt wird – gedeckt werden“. Die Forderung, den Strom auf dem eigenen Grundstück zu erzeugen, entspringt dem Gedanken, die öffentlichen Stromnetze zu entlasten.

Deutschland hat es leider noch immer nicht geschafft, den von der EU-Richtlinie geforderten Niedrigstenergie-Gebäudestandard exakt zu definieren und die Methode zur Berechnung der Energieeffizienz vorzustellen bzw. festzulegen. Das Versprechen des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit, bis spätestens Ende 2018 eine Festlegung zu treffen und diese bekanntzugeben, ist im Moment wenig hilfreich. Neben den Grenzwerten sind die Bilanzgrenzen von entscheidender Bedeutung. Es ist nämlich ein Unterschied, ob nur der Strombedarf für den Betrieb der Anlagentechnik (geltende EnEV), oder wie in [1] für Effizienzhäuser Plus gefordert, auch der Strom für den Nutzen des Gebäudes (z. B. Haushaltsstromverbrauch) bei der Bilanzierung berücksichtigt werden muss.

Weiterhin hat der Bilanzierungszeitraum einen entscheidenden Einfluss auf die Ergebnisse. In der EnEV wird für den anrechenbaren Stromanteil aus erneuerbaren Energien das sogenannte Monatsbilanzverfahren angewendet. Hier dürfen Energiegewinne aus stromerzeugenden Anlagen mit Verlusten bzw. Verbräuchen nur innerhalb des gleichen Monats verrechnet werden. Hintergrund ist, dass z. B. der photovoltaisch im Sommer erzeugte

Strom nicht bis zum Winter gespeichert werden kann, sondern zum Zeitpunkt der Erzeugung ins öffentliche Stromnetz eingespeist und zum Zeitpunkt des Bedarfs diesem wieder entnommen wird, was zu einer extremen und ungewollten Netzbelastung führen kann.

Der Broschüre Effizienzhäuser Plus [1] des Bundesbauministeriums ist zu entnehmen, dass zur Erreichung des Plus-Energiehaus-Standard lediglich in der Jahresbilanz mehr Energie erzeugt werden muss, als für Betrieb und Nutzung des Gebäudes benötigt wird. Hier dürfen also die Energiemengen innerhalb eines Jahres miteinander verrechnet werden. Das Verhältnis zwischen selbstgenutzter und erzeugter Energie muss zwar (wie in EnEV § 5) als Monatsbilanz zusätzlich dargestellt werden, beeinflusst aber die Bewertung nicht.

Dass die Definition des Plusenergie-Hauses über die Jahresbilanz eine ganz gefährliche Entwicklung in sich birgt, soll im Folgenden erläutert werden.

Eigene Berechnungen sowie [2] zeigen, dass das Ziel, solche Plusenergie-Häuser zu konzeptionieren, bei Einfamilienhäusern sehr einfach erreicht werden kann, wenn die Gebäudehülle nach den KfW 55 Anforderungen von 2009 gebaut wird. Die Wärme kann z. B. durch Verwendung einer Wärmepumpe erzeugt werden. Die elektrische Stromerzeugung wird in der Regel immer von einer PV-Anlage geleistet.

In vielen Fällen ist die Technologie mit der geringsten Komplexität für den Anwender die beste Lösung. Hier bietet sich ein PV-Dach mit einem Kompaktwärmepumpensystem für Brauchwarmwasser und Raumheizung an. Meist ist in diesen Kompaktsystemen sogar die

kontrollierte Wohnraumlüftung integriert. Bei den hier verwendeten Wärmepumpen handelt es sich fast ausnahmslos um Luft-Wasser-Wärmepumpen, die bei

Last an kalten Wintertagen und mit einer Einspeiseleistung von 6 bis 10 kW an sonnigen Sommertagen. Damit ist die angestrebte Netzentlastung durch

Diese entsprechen in etwa dem KfW 55 Standard der EnEV 09. Es wird davon ausgegangen, dass die bisherigen Bedingungen des EEWärmeG, ebenfalls

| Bauteil | Bezeichnung   | Fläche A [m <sup>2</sup> ] | U-Wert [W/m <sup>2</sup> *K] | U-Wert (EnEV) [W/m <sup>2</sup> *K] | U*A [W/K] | Faktor F [-] | F*U*A [W/K] |
|---------|---------------|----------------------------|------------------------------|-------------------------------------|-----------|--------------|-------------|
| BP      | Bodenplatte   | 87,56                      | 0,16                         | 0,35                                | 14,01     | 0,6          | 8,41        |
| AW      | Kellerwand    | 90,24                      | 0,23                         | 0,35                                | 20,76     | 0,6          | 12,45       |
| AF      | Kellerfenster | 2,04                       | 1,3                          | 1,3                                 | 2,65      | 1            | 2,65        |
| AW      | Außenwand     | 188,94                     | 0,25                         | 0,28                                | 47,24     | 1            | 47,24       |
| AT      | Haustüre      | 2,64                       | 1,2                          | 1,8                                 | 3,17      | 1            | 3,17        |
| AF      | Außenfenster  | 30,08                      | 0,8                          | 1,3                                 | 24,06     | 1            | 24,06       |
| DE      | Decke         | 87,56                      | 0,2                          | 0,2                                 | 17,51     | 0,8          | 14,01       |
|         |               |                            |                              |                                     |           | WB-Zuschlag: | 24,45       |
|         | Gesamt:       | 489,07                     | H'T=                         | 0,28                                |           | HT=          | 136,44      |

Tab. 2: Außenbauteile mit U-Werten und Flächenangaben

niedrigen Außentemperaturen nur sehr geringe Leistungszahlen erreichen (COP ca. 1,5). Vor diesem Hintergrund und zur weiteren Reduzierung der Investitionskosten werden in diesen Kompaktsystemen oft nur sehr kleine Wärmepumpen eingebaut, die bei niedrigen Außentemperaturen lediglich eine Heizleistung in einer Größenordnung von 2 kW erbringen, und daher mit einem leistungsstarken Elektroheizstab (10 kW) kombiniert werden. Jede einzelne dieser Kompaktanlagen, im Fachjargon als bivalentes monoenergetisches Wärmepumpensystem bezeichnet, mag unter den heutigen Randbedingungen (kein Leistungspreis, lediglich Arbeitspreis wird verrechnet) sehr ökonomisch arbeiten.

Bei einer weiten Verbreitung dieser Systeme, wie sie sich aktuell für die Zukunft abzeichnet, ist aber mit einer extremen Belastung der öffentlichen Stromnetze an kalten Wintertagen zu rechnen. Verglichen mit einem Standard-Einfamilienhaus, das mit einem Brennwertkessel beheizt wird, belastet ein mit PV-Anlage und bivalentem monoenergetischen Wärmepumpensystem ausgestattetes modernes Plusenergie-Haus das öffentliche Stromnetz mit zusätzlichen 10 kW

die Umstellung vom Monatsbilanz- auf das Jahresbilanzverfahren nun ins Gegenteil umgeschlagen.

### ZUKUNFTSFÄHIGE ENERGIE-KONZEPTE FÜR EINFAMILIEN-HÄUSER

Trotz oder gerade wegen dieser unklaren Vorgaben durch die Politik sollen verschiedene zukunftsfähige Energiekonzepte für die Beheizung von modernen Einfamilienhäusern vorgestellt werden, die nicht nur die zu erwartenden politischen Vorgaben erfüllen, sondern auch den zukünftigen zu erwartenden Energieproblemen Rechnung tragen. Hierbei soll die Bezahlbarkeit der Systeme und nicht deren technisches Optimum im Vordergrund stehen.

### ENERGETISCHE ANFORDERUNGEN

Verschiedenen Fachpublikationen wie z. B. dem EU-Projekt „Collaboration for housing nearly zero energy renovation (COHERENO)“ können an das Niedrigstenergiegebäude gestellte Mindestanforderungen wie folgt entnommen werden:

- Jahres-Primärenergiebedarf  $Q_p = \text{max. } 40 \text{ kWh/m}^2\text{a}$
- Spez. Transmissionsverluste  $H_T = \text{max. } 0,28 \text{ W/m}^2\text{K}$

erfüllt werden müssen. Da der KfW 55 Standard die Vorgaben der derzeitigen EnEV aber um 45 % bezogen auf den Primärenergiebedarf und um 30 % bezogen auf die spezifischen Transmissionsverluste unterschreitet, werden die in § 7 des EEWärmeG gestellten Anforderungen an Ersatzmaßnahmen erfüllt. Damit werden keine weiteren Anforderungen an die Nutzung regenerativer Energien gestellt. Mustergebäude

Um die verschiedenen Energiezentralen vergleichend zu bewerten, werden sie in ein einheitliches Mustergebäude implementiert. Hierbei handelt es sich um ein Einfamilienhaus mit einer typischen Wohnfläche von 150 m<sup>2</sup>. Die Kenndaten der Gebäudehülle sind Tab. 2 zu entnehmen. Sie entsprechen den Vorgaben an ein KfW 55 Gebäude.

Nach den Berechnungsregeln der derzeit gültigen EnEV ergibt sich folgender Energiebedarf:

- Jahresheizwärmebedarf incl. Lüftung von 5.342 kWh/a nach DIN 4701-10
- Brauchwarmwasserbedarf von 2.956 kWh/a nach DIN 4701-10

### VARIANTENAUFSTELLUNG

Um den unterschiedlichen Wünschen und finanziellen Möglichkeiten der Bau-

herren Rechnung zu tragen, werden insgesamt 6 verschiedene Anlagen-Varianten vorgestellt, die alle in Verbindung mit dem zuvor vorgestellten Mustergebäude die Vorgaben an den Niedrigstenergie-Standard erfüllen (nach derzeitigen Kenntnisstand).

- **Variante 1 A:** Gasbrennwertgerät (GBW) mit kontrollierter Wohnraumlüftung (RLT)
- **Variante 1 B:** Variante 1 A plus  $6 \text{ kW}_{\text{peak}}$  PV-Anlage
- **Variante 2 A:** Luft-Wasser-Wärmepumpensystem mit RLT
- **Variante 2 B:** Variante 2 A plus  $6 \text{ kW}_{\text{peak}}$  PV-Anlage
- **Variante 3:** Luft-Wasser-Wärmepumpe + Gasbrennwertgerät + RLT +  $6 \text{ kW}_{\text{peak}}$  PV-Anlage
- **Variante 4:** Luft-Wasser-Wärmepumpe + Pelletofen incl. Speicher + RLT +  $6 \text{ kW}_{\text{peak}}$  PV-Anlage

Alle Varianten verfügen über eine kontrollierte Wohnraumlüftung mit Wärmerückgewinnung.

**Variante 1 A** stellt die kostengünstigste Basislösung dar – die Verwendung eines Gasbrennwertgerätes. In **Variante 1 B** wird das Basis-Energiesystem durch eine heute wirtschaftlich darstellbare  $6 \text{ kW}_{\text{peak}}$  PV-Anlage erweitert. Die **Varianten 2** basieren auf einer ausreichend dimensionierten Luft-Wasser-Wärmepumpe (WP), die ohne elektrischen Heizstab auskommt, wobei **Variante A** ohne und **Variante B** mit einer  $6 \text{ kW}_{\text{peak}}$  PV-Anlage ausgestattet ist.

Die größte Heizleistung für Gebäude wird bei niedrigen Außentemperaturen benötigt. Gerade unter diesen Bedingungen erreichen Luft-Wasser-Wärmepumpen aber nur eine geringe Effizienz. Bei Außentemperaturen unter  $-10^\circ \text{C}$  kann der Coefficient of Performance COP auf Werte um 1,5 sinken. Da diese extremen Witterungsbedingungen bei uns relativ selten auftreten, sind die finanziellen Auswirkungen für den Einzelnen zumindest derzeit relativ überschaubar. Sollten sich diese Systeme aber in größerem Umfang verbreiten (wonach es derzeit aussieht), entstehen an sehr kalten Wintertagen ex-

treame Stromspitzen im Netz. Und diesbezüglich muss schon heute reagiert werden. Die Antwort lautet: Stromnetzausbau, Lastabwurf oder besser beides.

Vor diesem Hintergrund verfügen die **Varianten 3** und **4** über einen zweiten Wärmeerzeuger, der auf speicherbare Energieträger zurückgreift. In **Variante 3** wird zusätzlich ein Gasbrennwertgerät für den bivalenten Betrieb eingebaut. Dieser wird eingeschaltet, wenn die WP sehr ineffizient arbeitet oder kein günstiger Strom zum Antrieb der WP bereitsteht. Bei **Variante 4** wird der bivalente Betrieb bei unwirtschaftlich arbeitender WP durch einen Holzpelletkessel samt Pufferspeicher erreicht. Der Pelletkessel wird in Form eines Pellet-Kaminofens mit Wasserwärmetauscher als ästhetischer Blickfang im Wohnbereich aufgestellt.

## ENERGETISCHE BEWERTUNG DER VARIANTEN

Abb. 2 zeigt den Primär- und Endenergiebedarf sowie den  $\text{CO}_2$ -Ausstoß der verschiedenen Varianten.

Die Basisvariante 1 A mit dem Gasbrennwertgerät hat einen Endenergiebedarf von knapp  $32 \text{ kWh/m}^2\text{a}$  und einen Primärenergiebedarf von etwa  $38 \text{ kWh/m}^2\text{a}$  und erfüllt damit die Anforderungen des Niedrigstenergiestandards gerade so. Damit wird aber auch klar, dass das politisch so hoch gelobte Niedrigstenergiegebäude oder „nearly zero energy building“ keine wirklich weitreichende Verbesserung gegenüber dem jetzigen Standard darstellt. Dass ein Haus mit einer aus energetischer Sicht sehr ordentlichen – aber nicht erstklassigen – Gebäudehülle bereits ohne Nutzung jeglicher regenera-

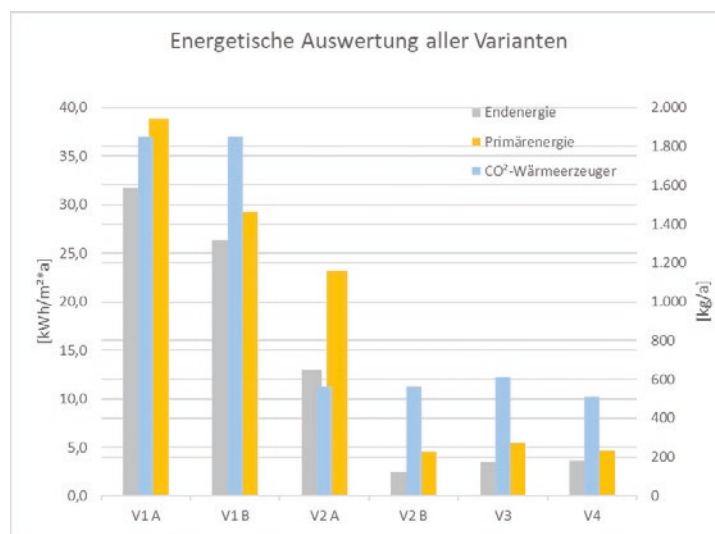


Abb. 2: Energetische Bewertung der Varianten

**Varianten 3** und **4** sind sinnbringende zukunftsfähige Lösungen, die nicht nur konform zu den aktuellen Gesetzesvorgaben sind. Es soll an dieser Stelle angemerkt werden, dass der günstige Stromtarif für Wärmepumpen bereits vielerorts nicht mehr angeboten wird. Darüber hinaus weisen Futurologen [3] darauf hin, dass in der Zukunft eine „Lastausgleichsrate“ notwendig wird, oder aber ein Leistungspreis mit Leistungsbegrenzung für alle eingeführt werden muss. Auch **Varianten 3** und **4** sind mit einer  $6 \text{ kW}_{\text{peak}}$  PV-Anlage ausgestattet.

tiven Energie als zukunftsfähig eingestuft wird, ist verwunderlich. Die Ausstattung des Gebäudes mit einer  $6 \text{ kW}_{\text{peak}}$  PV-Anlage in **Variante 1 B** verbessert die primärenergetische Bewertung des Gebäudes lediglich um ca. 25 %, da der von der PV-Anlage erzeugte Strom nach EnEV § 5 nur auf den von der Anlagentechnik (Heizung und Lüftung) verbrauchten Strom angerechnet werden kann. Und dieser ist bei einer Gasheizung nun mal nicht sonderlich hoch.

Viel günstiger sind die Ergebnisse bei den Varianten 2. Schon bei **Variante 2 A** liegt

der Primärenergiebedarf mit  $24 \text{ kWh/m}^2\text{a}$  um 40 % unter den gesetzlichen Mindestforderungen, ist aber von einem Null-Energiegebäude noch weit weg. Durch den Einsatz einer  $6 \text{ kW}_{\text{peak}}$  PV-Anlage kann der Primärenergieverbrauch um über 80 % auf knapp  $5 \text{ kWh/m}^2\text{a}$  reduziert werden, was einer Unterschreitung des Grenzwertes um ca. 90 % entspricht. Eine weitere Vergrößerung der PV-Anlage ist aus Platzgründen meist nicht möglich und bringt keine signifikante Verringerung des Primärenergiebedarfs. Hintergrund ist das nach EnEV anzuwendende Monatsbilanzverfahren, das ein Übertragen von PV-Überschüssen im Sommer in den Winter nicht zulässt. Solange monatlich bilanziert werden muss, was sinnvoll ist, lassen sich mit Wärmepumpen und PV-Anlagen alleine keine vernünftigen Null- oder Plusenergie-Gebäude errichten.

Dass die beiden bivalenten Wärmepumpen-Systeme mit Gasbrennwertkessel (*Variante 3*) und Holzpelletkessel (*Variante 4*) einen etwas höheren End-

und Primärenergiebedarf aufweisen, ist leider nicht werbewirksam. Dennoch bieten diese beiden Systeme ein viel höheres Zukunftspotential und ermöglichen bei Verwendung von Biogas auch das tatsächliche Erreichen eines Null-Fossile-Energie-Gebäudes.

### ZUSAMMENFASSUNG

Wirklich zukunftsfähige Energiekonzepte für moderne Niedrigstenergie-Gebäude müssen neben der Erfüllung der gesetzlichen Vorgaben auch die Belastung der Versorgungsinfrastruktur, insbesondere die der elektrischen Netze, berücksichtigen. Die Vermeidung von Lastspitzen im Versorgungsnetz ist weit wichtiger als ein auf dem Papier maximierter Autarkiegrad der Gebäude. Zur Abdeckung saisonaler Spitzenlasten werden auch in absehbarer Zukunft gut speicherbare Energieträger benötigt.

Im Hinblick auf eine zukünftige E-Mobilität machen aber auch übergroße PV-Anlagen zum Laden von Batteriespeichern durchaus Sinn. Elektrische

Heizstäbe, welche nicht gesperrt werden können, müssen gesetzlich verboten werden. Eine Tarnung dieser elektrischen Heizstäbe als bivalentes mono-energetisches Wärmepumpensystem ist irreführend macht die Sachlage technisch nicht besser.

*Autoren:*

*M.Sc. Matteo Galbusera,  
Prof. Dr.-Ing. Alexander G. Floß  
Institut für Gebäude- und Energiesysteme  
Hochschule Biberach  
88400 Biberach*

*Grafiken: M.Sc. Matteo Galbusera  
[www.hochschule-biberach.de](http://www.hochschule-biberach.de)*

Literatur

- [1] BMUB (2016) Wege zum Effizienzhaus Plus – Grundlagen und Beispiele für energieerzeugende Gebäude, 5. Auflage, November 2016
- [2] Bine 2016, Sonnenhäuser energetisch und ökonomisch bewertet, Projektinfo 09/2016, FIZ Karlsruhe, ISSN 0937-8367, 2016
- [3] Leukefeld et al. 2015 Modern heizen mit Solarthermie; Sicherheit im Wandel der Energiewende, ISBN 978-3-933634-34-4, Verlag Solare Zukunft, 2. Auflage, November 2015

