

**Autor**

Dr. Rolf-Michael Lüking<sup>1</sup>,  
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Gerd Hauser<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Geschäftsführer der Gesellschaft für  
Rationelle Energieverwendung e.V.,

<sup>2</sup> Ordinarius für Bauphysik der Technischen Universität München, Direktor des Fraunhofer-Instituts für Bauphysik, Vorsitzender der Gesellschaft für Rationelle Energieverwendung e.V.

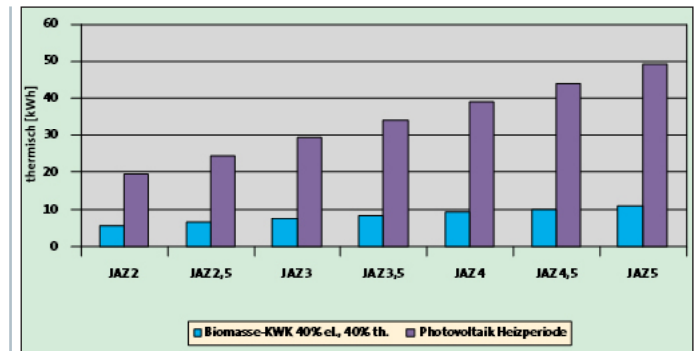


Bild 1: Wärmeertrag aus 1 m<sup>2</sup> landwirtschaftlicher Nutzfläche durch in KWK genutztes Biogas und durch Photovoltaik, Einstrahlung Oktober bis März auf 30° südlich geneigte Module (Gesamtnutzungsgrad 4 %) [6]. Nutzung des elektrischen Energieanteils jeweils durch eine Wärmepumpe mit unterschiedlichen Jahresarbeitszahlen (JAZ; Verhältnis zwischen der jährlich zur Verfügung gestellten Wärmeenergie zur aufgewendeten elektrischen Arbeit der Wärmepumpe)

## Nachhaltige Energieversorgung von Gebäuden

Die Sicherstellung der Energieversorgung angesichts schwindender fossiler Energieträger in Verbindung mit einem wirksamen Klimaschutz sind entscheidende Zukunftsherausforderungen der Menschheit. Eine ganz wesentliche Frage, die es in diesem Zusammenhang zu beantworten gilt, ist, wie unsere Gebäude in Zukunft mit Energie versorgt werden können, um sie in der gewünschten Form thermisch zu konditionieren, denn allein für die Wärmeversorgung von Gebäuden (Raumwärme und Warmwasser) wird in Deutschland etwa ein Drittel (31,1 % in 2007 [1]) des Endenergieverbrauchs aufgewendet. Maßnahmen zur Energieeinsparung und die Einbindung erneuerbarer Energieträger müssen daher möglichst schnell eine weitestgehende Unabhängigkeit insbesondere dieses Verbrauchssegmentes vom Einsatz der für das Klima schädlichen fossilen Energieträger herbeiführen, da die Bedingungen hier günstiger sind als in den Verbrauchssegmenten Industrie und Verkehr.

Das Ziel, Maßnahmen zur Energieeinsparung und der Einbindung erneuerbarer Energien in Gebäude möglichst rasch umzusetzen, lässt sich umso leichter und umso vollständiger erreichen, je besser Energieverbrauch und erneuerbares Energieangebot aufeinander abgestimmt werden. Dabei hat die Reduktion des Nutzenergiebedarfs nicht nur aus wirtschaftlichen Gründen oberste Priorität, sondern auch, weil Gebäude mit geringem Bedarf Vorteile für den Einsatz erneuerbarer Energieträger aufweisen (indem sie z. B. eine niedrigere Systemtemperatur der Heizungsanlage erlauben).

Doch die Senkung des Bedarfs ist nur ein Teil der Lösung. Die Forderung nach Effizienz in der Wärmeversorgung von Gebäuden muss mit Blick auf die erneuerbaren Energieträger weiter gefasst werden. Insbesondere muss berücksichtigt werden, dass auch Energie aus erneuerbaren Quellen nicht beliebig zur Verfügung steht. Das betrifft sowohl die räumlichen und zeitlichen Schwankungen des Angebots mit den daraus resultierenden technischen Herausforderungen als auch die Gesamtmenge und die Qualität der Energie, die es aus Gründen der

Nachhaltigkeit zu bedenken gilt. Zwar liefert die Sonne, die letztlich die Quelle aller erneuerbaren Energien ist (eine Ausnahme stellen die Tiefengeothermie und die Gezeiten dar), prinzipiell Energie im Überfluss. Sie ist nicht nur dafür verantwortlich, dass sich auf der Erde überhaupt Temperaturen eingestellt haben, die Leben ermöglichen, sie wird auch bei steigendem Energiebedarf das Mehrtausendfache dieses Bedarfs auf die Erde einstrahlen (je nach Quelle und Bezugsgröße unterschiedlich ist von dem 10tausend- bis 15tausendfachen die Rede).

Die Vorstellung eines (nach menschlichem Ermessen) nie versiegenden Füllhorns ist jedoch trügerisch: So hat die verstärkte Produktion von Biokraftstoffen in den vergangenen Jahren in einigen Regionen der Welt schon zu einer spürbaren Verringerung der verfügbaren Anbauflächen für Nahrungsmittel geführt und die Bedrohung der Regenwälder verschärft, ohne signifikante Deckungsanteile im Treibstoffsektor zu erreichen. Diese überraschend schnell aufgetretenen Konkurrenzeffekte unterstreichen nicht nur die absolute Vorrangigkeit einer Bedarfsreduktion, sie erfordern auch eine genauere

Betrachtung des limitierenden Faktors für eine Vollversorgung mit erneuerbarer Energie, der in den zur Verfügung stehenden Flächen auszumachen ist.

### Erster limitierender Faktor für eine erneuerbare Energieversorgung: die verfügbare Fläche

Auch wenn der Fokus hier auf der erneuerbaren Wärmeversorgung von Gebäuden liegt, muss die Betrachtung der limitierten Flächenressourcen alle Verbrauchssektoren einbeziehen, um nicht Konkurrenzeffekte der Ausbaupotentiale zu übersehen. Denn die verfügbaren Flächen werden von allen Verbrauchssektoren, Wärme- und Stromversorgung von Gebäuden, Energiebedarf für Mobilität, industrielle Produktion und alle Dienstleistungen in Anspruch genommen. Ausgangspunkt ist daher der gesamte Endenergieverbrauch in Deutschland. Er soll anhand von Pro-Kopf-Werten verdeutlicht werden: Demnach beträgt der jährliche Endenergiebedarf pro Kopf etwa 30 000 kWh (2007) [1]. Der Anbau von Rapsöl als einem der wichtigsten erneuerbaren Treibstoffe ergibt pro Hektar Ackerland einen durchschnittlichen Energieertrag von etwa 11 000 kWh (ohne Berücksichtigung von Ernteaufwand) [2]. Pro Kopf würden also nahezu 3 ha zur Bedarfsdeckung benötigt. Es zeigt sich unmittelbar, dass eine allein auf diesem Energieträger fußende erneuerbare Vollversorgung nicht annähernd möglich wäre: Bei einer Bevölkerungsdichte von etwa 230 E/km<sup>2</sup> in Deutschland stehen nur etwa 0,43 ha pro Kopf der Bevölkerung zur Verfügung. Ein solcher Versuch wäre umso abwegiger, als ohnehin nur knapp 50 % der Flächen landwirtschaftlich genutzt werden. Darüber hinaus konkurriert die landwirtschaftliche Energieproduktion mit der Nahrungsmittelproduktion und sie wird in zunehmendem Maße in Konkurrenz zur Produktion stofflich zu nutzender Rohstoffe geraten. Allgemein wird sogar davon ausgegangen, dass in Deutschland von 17 Mio. ha landwirtschaftlicher Anbaufläche mittelfristig nur etwas mehr als 4 Mio. ha [3] (in einigen Szenarien sogar nur 2 Mio. ha), entsprechend etwa 0,05 ha pro Kopf, für die Energiegewinnung zur Verfügung stehen können. Das Ziel der Vollversorgung würde um mehr als den Faktor 50 verfehlt!

Schon diese einfache Skizze führt zu der grundsätzlichen Erkenntnis, dass sich trotz des überwältigenden solaren Energieangebotes die Fläche, über die dieses Angebot genutzt werden kann, als eine limitierte Ressource erweist, die – durchaus analog der Nutzung der beschränkt verfügbaren fossilen Energieträger – auch als eine solche behandelt werden muss. Das hat folgende Konsequenzen:

1. Der Energieverbrauch selbst muss erheblich reduziert werden.
2. Die verfügbare Fläche muss mit äußerster Effizienz genutzt werden.
3. Für die vergleichende Bewertung der verfügbaren erneuerbaren Energieträger im Rahmen einer Vollversorgung erweist sich der

flächenbezogene Nutzungsgrad des solaren Energieangebotes als die entscheidende Richtgröße.

4. Als „Haus der Zukunft“ muss ein Haus definiert werden, das eine möglichst geringe Fläche für die erneuerbare Deckung seines Energieverbrauchs benötigt.

Andere Methoden der Bioenergieproduktion ermöglichen hinsichtlich der erreichbaren Flächeneffizienz durchaus Steigerungsmöglichkeiten gegenüber dem Rapsölanbau. Hier ist insbesondere an die Ganzpflanzennutzung, z. B. von Maissilage zur Biogaserzeugung zu denken. Einschließlich zu erwartender Produktivitätssteigerungen verspricht diese Technologie einen Flächenertrag von etwa 46 000 kWh/ha [2], womit sich, bezogen auf eine durchschnittliche solare Einstrahlung von 1000 kWh/(m<sup>2</sup>a) ein Nutzungsgrad von 0,46 % ergibt. Dennoch bleibt der mögliche Beitrag der Energiepflanzenproduktion zur Deckung des Gesamtbedarfs geradezu kümmerlich, zumal wenn man berücksichtigt, dass Flächen für weniger effiziente Nutzungen, z. B. die Treibstoffproduktion vorbehalten bleiben müssen. Stockt man den Beitrag aus dem Energiepflanzenanbau um das Potential der Verwertung biogener Rest- und Abfallstoffe auf, ergibt sich – ohne Berücksichtigung von möglichen Konkurrenzen zu stofflichen Nutzungen von Biomasse – ein jährliches Gesamtpotenzial von maximal 15 % bezogen auf den Endenergieverbrauch in Deutschland (Variante NaturschutzPlus in [3] S. 19ff).

Vergleicht man die Potentiale aus photosynthetischen Verfahren mit den Nutzungsgraden anderer Technologien, wie z. B. mit denen der oft als ineffizient eingeschätzten Photovoltaik, stellt sich – unter vorläufiger Ausklammerung von Kostenaspekten – unmittelbar die Frage, warum nicht statt der Biomasse großflächig Photovoltaik „angebaut“ wird. Sogar mit Dünnschichtmodulen lassen sich inzwischen Nutzungsgrade von 10 % und mehr erreichen. Wenn man von einer hälftigen Flächenbelegung mit solchen vergleichsweise ineffizienten Dünnschichtmodulen ausgeht, wird durch Photovoltaik die verfügbare Fläche, genauer, die auf die verfügbare Fläche jährlich einstrahlende Solarenergie, etwa zehnmal besser ausgenutzt als durch Technologien auf Grundlage der Photosynthese. Eine weitere deutliche Steigerung ist technisch möglich (im Labor werden Wirkungsgrade von über 35 % erreicht).

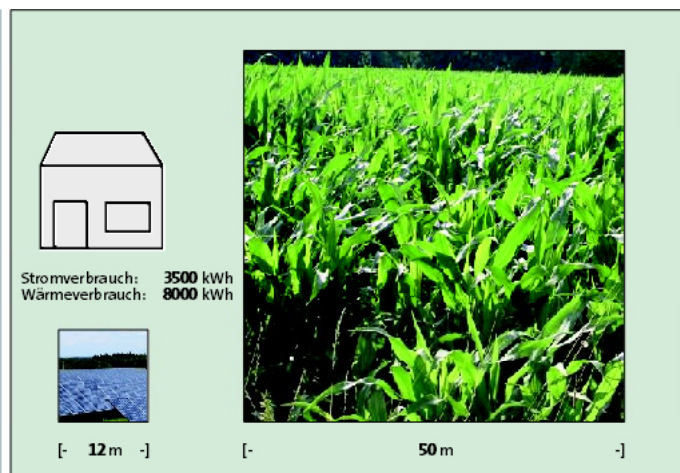
Die Onshore-Nutzung von Windkraft in Windparks hat je nach Standort eine ähnliche Leistungsdichte, da die erforderlichen Abstandsflächen der Einzelanlagen berücksichtigt werden müssen (40 bis 50 kWh/m<sup>2</sup> bei einem Windpark mit 5 MW-Anlagen, die im Abstand von 500 m aufgestellt werden). Die Größenordnung ändert sich nicht, wenn man die unter und um die Windkraftanlagen gelegenen Flächen zur energetischen Biomassegewinnung einbezieht (Tabelle 1).

**Tabelle 1: Flächenspezifischer Nutzungsgrad verschiedener erneuerbarer Energieträger bei durchschnittlicher solarer Einstrahlung von 1000 kWh/(m<sup>2</sup>a); Daten zu Bioenergieerzeugern weitgehend aus [2], Flächenbelegung bei Photovoltaik (PV) 50%**

	flächenspezifischer Nutzungsgrad	flächenspezifischer Nutzungsgrad elektrisch	Herstellungs-/Produktionsaufwand pro kWh gewonnener Energie
Rapsöl/Biodiesel	0,11 %		> 50 %
Biogas <sup>1)</sup>	0,46 %	0,17 %	25 - 50 % <sup>2)</sup>
Bioethanol	0,18 %		80 - 90 %
Btl-Diesel, Ft-Diesel	0,23 %		> 50 %
PV-monokristallin	7 - 9 %	7 - 9 %	ca. 14 - 20 %
PV-Dünnschicht	3 - 5 %	3 - 5 %	ca. 5 - 10 %
Windkraft onshore	ca. 5 %	ca. 5 %	ca. 2 %

<sup>1)</sup> In [4] wird ein Konzept zur Biomasse-Nutzung mit höheren (insbesondere thermisch verwertbaren) Erträgen beschrieben;

<sup>2)</sup> der Herstellungs-/Produktionsaufwand hängt bei Biogasanlagen entscheidend vom Nutzungsgrad der Abwärme ab [5].



**Bild 2:** Flächenbedarf für die Energieversorgung eines Niedrigenergiehauses in Abhängigkeit von der Art der Energiegewinnung

Nicht nur der Energieertrag pro Flächeneinheit ist durch die technische Nutzung entscheidend höher als der aus photosynthetischen Prozessen. Die durch PV und Wind gelieferte Energie ist auch physikalisch von höherer Qualität als die erzeugte Biomasse. Denn der gewonnene Strom kann (nahezu) vollständig in mechanische Energie überführt werden, während Strom aus Biomasse noch durch Verbrennung unter Wärmeverlust erzeugt werden muss. Bezogen auf einen mechanischen Energiebedarf erweist sich der „Photovoltaikacker“ mit den oben angenommenen bescheidenen Nutzungsgraden somit als etwa um den Faktor 30 effektiver als ein „Hochleistungs“-Biomasseacker zur Ganzpflanzenproduktion. Dieser Aspekt ist nicht nur für den Mobilitätsbereich von wesentlicher Bedeutung, in dem der hohe Wirkungsgrad von elektrischen Antrieben gegenüber den üblichen Verbrennungsmotoren mit steigendem Anteil von erneuerbar gewonnenem Strom rapide an Bedeutung gewinnt. Auch für den Wärmebedarf von Gebäuden lässt sich die gewonnene elektrische Energie nutzen, um über den Betrieb von Wärmepumpen das Drei- bis Fünffache an Nutzenergie zu mobilisieren. Selbst die Verstromung von Biomasse in hoch effizienter Kraft-Wärme-Kopplung (Motorenwirkungsgrad 40%) unter Nutzung der abfallenden Wärme (40%) und Nutzung des Stroms zum Antrieb einer Wärmepumpe verringert den Effizienzvorteil des „Photovoltaikackers“ nicht entscheidend. Sogar wenn man ausschließlich den Ertrag der Heizperiode durch Photovoltaik berücksichtigt, ist der Wärmeertrag durch die technische Nutzung der Fläche entscheidend höher als durch die Bioenergieproduktion, selbst wenn diese unter optimierten Bedingungen erfolgt und die Ernte energetisch optimal verwertet wird (Bild 1).

Der Vorzug der technischen Flächennutzung wäre unter Berücksichtigung der winterlichen Erträge von Windkraftanlagen, die mit jahreszeitlich gegenläufiger Tendenz zur Photovoltaik Energie liefern, noch deutlich ausgeprägter (Faktor 8 bis 10 bei einem 50 : 50 Energiemix). Der komplette Ertrag des Sommerhalbjahres stünde anderen Verwendungen zur Verfügung.

Als die für einen Vergleich entscheidende Größe lässt sich somit der solare Nutzungsgrad einer Technologie dahingehend präzisieren, dass Technologien mit einem größtmöglichen exergetischen Nutzungsgrad, bezogen auf die solare Einstrahlung auf die beanspruchte Fläche pro Zeiteinheit, eingesetzt werden sollten.

Ein Vergleich der exergetischen Nutzungsgrade zeigt erhebliche, angesichts der limitierten Flächen entscheidende Vorteile für Windenergie und Solarenergie (photovoltaisch) gegenüber der Energiegewinnung aus Biomasse. Durch den überproportionalen Flächenbedarf der Bio-

masseproduktion kann deren Ausbau sogar eine Gefahr für eine erneuerbare Vollversorgung darstellen, insofern sie Flächen einer alternativen oder effizienteren Nutzung bzw. anderen Zwecken, wie zum Beispiel Naturschutzbelangen, vorenthält. Aus Gründen der Nachhaltigkeit empfiehlt sich daher die ausschließliche Nutzung ohnehin anfallender Biomasse aus Abfall oder Reststoffen zur Energieproduktion, während der Anbau von Energiepflanzen auf ein Mindestmaß zu beschränken ist.

Mit Blick auf den zweiten limitierenden Faktor einer solchen Vollversorgung, der Asynchronizität von Angebot und Nachfrage von Energie, kommt der Biomasse große Bedeutung zu, weil sie in chemisch gebundener Form vorliegt und daher als Reserve für benötigte Regelenergie zeitlich nahezu unbeschränkt vorgehalten werden kann. Die Gesamtausbauleistung der energetischen Biomasseproduktion sollte allerdings auf diesen Regelungsbedarf beschränkt bleiben, der sich unter Einbeziehung aller Speicherpotentiale ergibt. Dabei müssen vorrangig Konzepte entwickelt werden, die geeignet sind, Biomasse aus Abfall oder Reststoffen zu verwerten, deren Nutzung keinen Flächenverbrauch mit sich bringt. Im Interesse einer größtmöglichen Effizienz ist eine Nutzung in Kraft-Wärme-Kopplung prinzipiell wünschenswert. Da die Nutzung der Biomasse zur Bereitstellung von Regelenergie zu meist eine Stromführung erforderlich macht, ist die Nutzbarkeit der anfallenden Wärme allerdings oft nicht realisierbar und gegenüber einem optimierten elektrischen Wirkungsgrad auch nachrangig. Darüber hinaus dürfte die Nutzung von Biomasse in Strom geführten Anlagen zur Kraft-Wärme-Kopplung nur in Ausnahmefällen eine Option zur Wärmeversorgung zeitgemäß gedämmter Gebäude darstellen. Insofern ergibt sich für die Frage nach der Wärmeversorgung von Gebäuden durch erneuerbare Energien folgende Schlussfolgerung:

**Für die thermische Konditionierung von Gebäuden auf der Basis erneuerbarer Energien sind auf Verbrennung basierende Anlagentechniken nicht geeignet. Die thermische Konditionierung erfolgt über elektrische Energie, die direkt (bei extrem niedrigem Bedarf) oder über eine Wärmepumpe mittelbar genutzt wird.**

### Zweiter limitierender Faktor für eine erneuerbare Energieversorgung: die Angebots-/Bedarfsasynchronizität

Wenn dem Haus der Zukunft ausschließlich elektrische Energie zugeführt werden soll, stellt sich durch das schwankende Angebot an erneuerbar erzeugter Energie das Problem, jederzeit den aktuellen Wärmebedarf sicherzustellen. Dieses Problem ist umso größer, je bedeutender sich die Rolle der Photovoltaik im gesamten Energiemix darstellt, da dem Wärmebedarf in der kalten Jahreszeit nur ein geringer Teil des solaren Strahlungsangebotes gegenübersteht. Die Notwendigkeit zur Installation sommerlicher Überkapazitäten, die sich – in Abhängigkeit vom Solarstromanteil ohnehin ergibt – wird durch eine rein elektrische Wärmeversorgung von Gebäuden potentiell verschärft.

Daraus ergeben sich folgende Konsequenzen:

1. Der Reduktion des winterlichen Wärmebedarfs, insbesondere über Lüftungsanlagen mit WRG, kommt – zumindest bei annähernd gleichem Verhältnis zwischen gewonnener Wärme zu aufgewendeter Antriebsenergie – eine deutlich größere Bedeutung zu als der Absenkung des Energiebedarfs für Trinkwarmwasser über thermische Solaranlagen im Sommer.
2. Der sommerliche Kühlbedarf von Gebäuden spielt im Rahmen einer erneuerbaren Vollversorgung eine untergeordnete Rolle.
3. Die aus Biomasse gewonnene chemisch gebundene Energie hat bei geringem Anteil am Gesamtenergieangebot eine entscheidende Funktion für den Ausgleich der Asynchronizität von Angebot und Nachfrage von Energie.

Inbesondere der letzt genannte Punkt ist von großer Relevanz im Rahmen einer erneuerbaren Vollversorgung, in dem ein Verheizen

chemisch gebundener Energie ohne Nutzung ihres elektrischen Potentials geradezu sträflich ist.

Nicht nur zur Kompensation jahreszeitlicher Angebotsschwankungen wird chemisch gebundene Energie benötigt, auch zum Ausgleich kurzzeitiger, z. B. tageszeitlicher Schwankungen wird sie eine wesentliche Rolle spielen. Allerdings sollte auch das Haus der Zukunft selbst nicht nur als Energieverbraucher und möglicher Energiegewinner betrachtet werden, es sollte auch Potentiale bieten, auf Angebotsschwankungen zu reagieren, d.h. möglichst aktiv zum Lastausgleich beitragen können. Tatsächlich könnte sich das ausschließlich elektrisch betriebene Haus der Zukunft in dieser Hinsicht als besonders attraktiv im Rahmen einer erneuerbaren Vollversorgung herausstellen. Denn die Bereitstellung von Möglichkeiten zur Pufferung kurzzeitiger Angebotsüberschüsse ist eine der zentralen Herausforderung dieses Versorgungsszenarios. Vorrangig ist dabei zwar an Speicher zu denken, die nicht nur elektrische Energie aufnehmen können, sondern mit möglichst geringem Verlust wiederum auch elektrische Energie abgeben können, wie Akkumulatoren, Druckluftspeicher etc. Gebäude bieten dagegen in erster Linie Speicherpotentiale an, die elektrisch aufgefüllt, aber nur thermisch entladen werden können, um dann für den thermischen Energiebedarf von Gebäuden zur Verfügung zu stehen. Dennoch dürfte auch dieses Aufnahmepotential temporärer Angebotsüberschüsse in Zukunft eine wesentliche Rolle spielen, da thermische Speicher zu erheblich niedrigeren Kosten Energie aufnehmen können als elektrische.

Die Idee, den thermischen Energiebedarf von Gebäuden zur Verwertung elektrischer Überkapazitäten zu nutzen, ist schon alt. Sie hat insbesondere in den 70er und 80er Jahren zur Installation großer Mengen an elektrischen Speicherheizsystemen geführt. Insbesondere die nächtliche Nachfragesenke sollte durch die Beladung der Heizungsanlagen ausgeglichen werden, weshalb diese unter dem Namen „Nachtspeicherheizung“ geläufig sind.

Durch den verstärkten Ausbau erneuerbarer Energien ergibt sich eine Veränderung des Angebot-Nachfrageverhältnisses insofern, als erneuerbare Energieträger, sei es aus Photovoltaikanlagen, sei es aus Windkraftanlagen, keine kontinuierliche Leistung bereitstellen. Daher müssen Systeme geschaffen werden, die das fluktuierende Leistungsangebot kompensieren können, es sind keine Nachtspeicherheizungen mehr erforderlich, sondern hoch flexible Lastspeicherheizungen. Die Einführung „intelligenter Stromzähler“ schafft dafür die notwendigen Voraussetzungen. Diese eröffnen nicht nur den Stromkunden die Möglichkeit, ihr Verbrauchsverhalten zu optimieren, sie ermöglichen darüber hinaus dem Stromanbieter, über ein Angebot von Mehrfachtarifen, die ggf. außerordentlich kurzfristig geschaltet werden können, das Verbrauchsverhalten zu beeinflussen. Vertraglich vereinbarte Abschaltzeiten von elektrisch betriebenen Heizungssystemen sowie feste Niedertarifezeiten werden auf diese Weise erheblich flexibilisiert. Ggf. ist sogar ein direkter Eingriff des Energieversorgers in den elektrischen Verbrauch in den Gebäuden möglich. In Verbindung mit „intelligenten Stromzähler“ eignen sich daher bestehende Speicherheizsysteme ebenso wie andere elektrische Wärmeerzeuger – sofern sie mit thermischen Speichern kombiniert werden – als Lastspeicherheizungen. Dadurch ist das häufig gegen elektrische Heizsysteme vorgebrachte Argument entkräftet, sie würden den Erhalt, bzw. Ausbau der atomar betriebenen Grundlastkraftwerke oder der besonders CO<sub>2</sub>-intensiven Kohlekraftwerke (als Mittellastkraftwerke) begünstigen. Elektrische Heizsysteme können unter diesen neuen technischen Voraussetzungen im Gegenteil die Asynchronizität von Angebot und Bedarf in der Spitzenlast ausgleichen und so den massiven Ausbau umweltfreundlicher Energieerzeugungsanlagen wesentlich erleichtern.

Da selbst ältere Speicherheizsysteme aus der Perspektive einer erneuerbaren Vollversorgung ohnehin deutlich positiver zu bewerten sind

als mit fossilen Brennstoffen betriebene Heizungsanlagen, sollte die in der EnEV 2009 vorgesehene Verpflichtung zum Ersatz dieser Anlagen zumindest dahingehend ergänzt werden, eine Kompensation durch einen besonders guten baulichen Wärmeschutz, ggf. in Verbindung mit dem Einsatz von Lüftungsanlagen mit WRG zu ermöglichen.

Für das Haus der Zukunft ist die von Nachtspeicherheizungen bekannte Technik natürlich keine Alternative, wenn man von Gebäuden mit minimalem Endenergiebedarf absieht. Ansonsten dürften Wärmepumpen die Wärmeversorgung des Hauses der Zukunft dominieren, ergänzt durch solarthermische Anlagen und/oder Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung. Die Lastspeicherfunktion müsste dann von separaten Wärmespeichern, aber auch von den Speichermassen des Gebäudes selbst übernommen werden, um den Strombezug und die gewünschte Wärmeabgabe zeitlich zu entkoppeln. Im Durchschnitt der Heizperiode dürfte es möglich sein, den Wärmebedarf mindestens eines Tages, bei gut gedämmten Gebäuden ggf. sogar mehrerer Tage puffern zu können. Daraus ergäbe sich für das Szenario einer erneuerbaren Vollversorgung insgesamt eine immense negative Regelleistung, die gegenüber den Speicherangeboten elektrischer Mobilität neben den Kostenvorteilen den Vorzug aufweist, keine Einschränkung der gewünschten Dienstleistung mit sich zu bringen (z. B. Reichweitenreduktion bei elektrisch betriebenen Fahrzeugen).

#### **Grundkonfiguration des elektrisch betriebenen Hauses**

Eine bereits vielfach realisierte und in der Praxis erprobte Form des elektrisch betriebenen Hauses ist das Passivhaus. Das gilt insbesondere für seine methodische Reinform, in der unter Nutzung der Heizlastreduktion auf ein Wasserverteilsystem verzichtet wird und in dem alle auf Verbrennung basierenden Wärmeerzeuger überflüssig sind. Neben seinen baulichen Qualitäten ist für dieses Hauskonzept insbesondere der effiziente Einsatz elektrischer Energie kennzeichnend, indem über Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung oder thermische Solaranlagen ein Vielfaches der eingesetzten Energie als Wärmeenergie eingespart oder gewonnen wird. Im klassischen Passivhaus wird auch der Restwärmebedarf über elektrische Energie zur Verfügung gestellt, allerdings durch direkte Wandlung, die die Potentiale des Energieträgers Strom ungenutzt lässt. Das ist zwar unbefriedigend, angesichts des geringen Restwärmebedarfs dieses Gebäudetyps allerdings vertretbar.

Jedenfalls stellen sich Verwässerungen der Reinform des Passivhauses durch den Einbau von Gas- oder Pelletsheizungen aus der Perspektive der erneuerbaren Vollversorgung keineswegs als Verbesserungen dar, im Gegenteil: Durch solche Maßnahmen wird der Flächenbedarf für die Gewinnung erneuerbarer Energie sogar angehoben. Zwar gilt wohl auch hier, dass angesichts des geringen Wärmebedarfs dieser Nachteile von untergeordneter Bedeutung ist. Dennoch zeigt das Beispiel, dass die Bewertung der ökologischen Qualität von Gebäuden über den Primärenergiebedarf aus der „Perspektive von vorn“ irreführend ist. Der Primärenergiebedarf wirkt lediglich beschreibend und dies nur bezogen auf den aktuellen Energiemix. Er bevorzugt dadurch Anlagenkonfigurationen, die nur ein geringes erneuerbares Substitutionspotential aufweisen, insbesondere alle auf Verbrennung basierenden Anlagen, z. B. Pelletsheizungen gegenüber Wärmepumpenanlagen. Besonders deutlich lässt sich die fehlsteuernde Wirkung des Primärenergiebezugs erkennen, wenn man seine Auswirkung auf den Einsatz von Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung bei Gebäuden mit Pelletsheizungen betrachtet: Durch Einsatz einer Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung kann bspw. unter Aufwendung von 2,5 kWh elektrischer Energie (Primärenergiefaktor 2,6) der Heizwärmebedarf um 17 kWh abgesenkt werden. Dies führt bei einem Gebäude mit Pelletsheizung (Primärenergiefaktor für Pellets 0,2, Erzeugeraufwandszahl 1,2) sogar zu einer leichten Verschlechterung der

Gebäudebewertung: Die Lüftungsanlage erhöht nämlich gegenüber der Erzeugung der 17 kWh Nutzenergie durch Pellets den Primärenergiebedarf um etwa 2,4 kWh ( $2,5 \times 2,6 - 1,2 \times 0,2 \times 17 = 2,4$ ). Bezogen auf den Nutzenergiebedarf von 17 kWh lässt sich dagegen durch Einsatz dieser Lüftungsanlage der Flächenbedarf für eine erneuerbare Energieerzeugung etwa um den Faktor 100 reduzieren. Zwar könnte jedem Ausbau von Anlagen zur Gewinnung erneuerbarer Energien auch der Primärenergiefaktor für Strom „nachgeführt“ werden. Die notwendige schnellstmögliche Anpassung des Energiebedarfs an das erneuerbare Erzeugungspotential wird aber über diese Richtgröße nicht angestoßen, sie wird verzögert. Der Primärenergiebezug kann nicht die notwendige Lenkungswirkung entfalten.

Mit der für die Zukunft relevanten Bewertung hinsichtlich des Flächenbedarfs zur erneuerbaren Energieerzeugung zeigt der Blick auf das Passivhaus aber auch, dass dieses Konzept keine Vorzüge gegenüber Gebäudekonzepten aufweist, die zwar einen schlechteren baulichen Standard aufweisen, deren Endenergiebedarf aber durch Nutzung einer Wärmepumpe auf das gleiche Niveau reduziert wird. Es hat im Kontext einer erneuerbaren Vollversorgung sogar gewisse Nachteile, da sich der Endenergiebedarf des klassischen, rein elektrisch betriebenen, Passivhauses auf eine kürzere Heizperiode mit höheren Bedarfsspitzen konzentriert und ein Gebäude mit Wärmepumpenheizung größeres Potential zur elektrischen Leistungspufferung in thermischen Speichern bietet.

### Grundzüge einer neuen Anforderungsstrategie

Der Flächenbedarf zur Energieversorgung als Vergleichs- und ggf. Anforderungsgröße für den Energiebedarf von Gebäude ist nicht leicht zu vermitteln sowie zumindest unhandlich. **Da erneuerbar am besten elektrische Energie erzeugt werden kann, die wiederum im Gebäude als Hilfsenergie von solarthermischen Anlagen und Lüftungsanlagen mit WRG sowie über den Einsatz von WP eine erhebliche Reduktion des Endenergiebedarfs ermöglicht, bietet sich als praktikable Größe zur vergleichenden Bewertung von Gebäuden und damit auch zur Formulierung von Anforderungen die jeweils benötigte Endenergie an. Der Primärenergiebedarf, der im Rahmen des klassischen Mixes bei der Stromerzeugung die erforderliche Orientierung ermöglichte, verliert mit steigendem Anteil an erneuerbaren Energien an der Stromerzeugung die notwendige Lenkungswirkung. Der Endenergiebedarf ist aber nicht nur wegen seiner Lenkungswirkung die geeignete Anforderungsgröße für die Konfiguration zukünftiger Gebäude, er bietet weitere Vorzüge:**

1. Insgesamt werden die Berechnungsverfahren gegenüber heutigen Regelungen vereinfacht.
2. Die Bewertungsgröße wird unabhängig von der Zusammensetzung des Strommixes und gilt weltweit.
3. Die Anforderungswerte und die ermittelten Werte gewinnen an Transparenz, insofern keine verschiedenen Kennzahlen mehr ausgewiesen werden müssen, die ökonomisch interessante Größe des Endenergiebedarfs dient auch als ökologische Richtgröße.
4. Der Endenergiebezug gibt unmittelbar und ohne technologische Vorgaben – unter Ausklammerung von Bioenergie – einen starken Impuls für die Nutzung erneuerbarer Wärmequellen, weil z.B. die Wirkung von Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung oder die von Wärmepumpen über die Endenergie sichtbar werden. Der „schlafende Riese“ des so genannten „erneuerbaren Wärmemarktes“ muss nicht über ein eigenständiges Instrumentarium „geweckt“ werden. Die Komplikationen, die sich durch das Nebeneinander des Erneuerbare Energien Wärmegesetzes (EEWärmeG) und der Energieeinsparverordnung (EnEV) ergeben [7], werden auf diesem Wege beseitigt. Zur ersten Annäherung an zeitgemäße Anforderungen an neu zu errichtende Wohngebäude liegt es nahe, sich auf die Nutzenergiebedarfswerte von Passivhäusern zu beziehen, für die per Definition ein

Heizwärmebedarf von 15 kWh/(m<sup>2</sup>a) kennzeichnend ist. Zusätzlich eines Trinkwarmwasserbedarfs von 12 kWh/(m<sup>2</sup>a) (bei kleinen Gebäuden [6]) sowie eines pauschalen Hilfsenergiebedarfs von 3 kWh/(m<sup>2</sup>a) ergibt sich auf dieser Basis beim klassischen Passivhaus, das ausschließlich direkt mit Strom betrieben wird, ein Endenergiebedarf von 30 kWh/(m<sup>2</sup>a).

Sofern dieser Endenergiebedarf im Wesentlichen über Wärmepumpen abgedeckt wird, was im Szenario einer erneuerbaren Vollversorgung – wie oben gezeigt – gegenüber dem Passivhauskonzept Vorteile aufweist, lassen sich aus diesem Endenergiebedarf vertretbare bauliche Standards von Gebäuden „zurückrechnen“. Der mögliche flächenspezifische Heizwärmebedarf läge demnach je nach konkreter Anlagenkonfiguration in Abhängigkeit von der Gebäudegröße in einem Korridor von 90 kWh/(m<sup>2</sup>a) (z.B. Anlagen 49, 50, 52.4, 55.1, Beiblatt zur DIN 4701) bis 50 kWh/(m<sup>2</sup>a) (z.B. Anlage 54, Beiblatt zur DIN 4701) [8]. Diese Zahlen zeigen, dass sich durchaus gewisse Spielräume ergeben, die Anforderungen an den zulässigen Endenergiebedarf weiter anzuheben. Umgekehrt sind selbst in diesem Fall Verschärfungen der Nebenanforderungen an den baulichen Wärmeschutz gegenüber dem aktuellen Stand (EnEV 2009) nicht erforderlich, im Gegenteil: Dadurch dass die Bevorzugung erneuerbarer Brennstoffe in der primärenergetischen Bewertung von Gebäuden entfällt, bedarf es überhaupt keiner Zusatzanforderung an den baulichen Wärmeschutz der gesamten Gebäudehülle ( $H_T$ ), die ohnehin wegen der bislang fehlenden Berücksichtigung passiver Solargewinne insbesondere durch Verglasungen bauphysikalisch problematisch ist. Die Formulierung zukünftiger Anforderungen wird dadurch zusätzlich vereinfacht. Für die Forderung der EU-Kommission nach „Netto-Nullenergiehäusern“ ab dem Jahre 2019 [9] bietet der vorgeschlagene Endenergiebezug auf der Bedarfsseite ebenfalls einen guten Anknüpfungspunkt.

Etwas schwieriger gestaltet sich die Entwicklung einer neuen Anforderungsstrategie für bestehende Gebäude. Anknüpfend an die bestehende Methodik der geltenden Energieeinsparverordnung können zwar Bauteil bezogene Anforderungsgrößen im Falle der Sanierung bestehen bleiben. Das in der Praxis weniger bedeutsame alternative Nachweisverfahren über eine maximal 40%ige Überschreitung der Anforderungswerte für neue Gebäude ist dagegen problematisch, da die Erschließung selbst hochwertiger Wärmequellen (Sole und Wasser) für Wärmepumpenanlagen im Gebäudebestand nur mit vergleichsweise schlechten Jahresarbeitszahlen möglich ist. Die überall verfügbare Wärmequelle Luft geht ohnehin mit einem relativ schlechten Verhältnis von gelieferter Wärmeenergie zu eingesetzter Antriebsenergie einher. Im Interesse einer weitestgehend erneuerbaren Vollversorgung ist allerdings auch bei relativ schlechten JAZ- Werten Wärmepumpen gegenüber mit Brennstoff betriebenen Wärmeerzeugern der Vorzug zu geben. Der vorgeschlagene Endenergiebezug ist aus diesem Grunde auch für bestehende Gebäude sinnvoll, müsste aber durch eine Aufweichung der 140 %-Regel der EnEV, sofern überhaupt an einem solchen Verfahren festgehalten werden soll, erkaufte werden. Dies wäre etwa durch Multiplikation des Anforderungswertes für neue Gebäude mit dem Verhältnis realistischer JAZ- Werte für neue Gebäude und den Gebäudebestand (z.B. 4/3) möglich. Durch die ergänzende Einbeziehung von photovoltaisch genutzten Dach- und Fassadenflächen in die Gesamtbewertung dürfte die vorgeschlagene Anforderungsstrategie für eine nachhaltige Wärmeversorgung auch dem Gebäudebestand gerecht werden und – flankiert durch die Einspeisevergütung durchs Erneuerbare Energien Gesetz (EEG) – einen kräftigen Impuls für eine effiziente Flächennutzung geben.

Die Literaturhinweise zu diesem Beitrag finden Sie im Internet unter [www.tab.de](http://www.tab.de) unter Angabe des Suchworts „Nachhaltige Energieversorgung“ oder des gesamten Beitragstitels.