

Zukunftsfähige Neubauten in einem klimaneutralen Gebäudebestand 2050

Marc Großklos, Nikolaus Diefenbach, André Müller, Michael Grafe, Stefan Swiderek

*Institut Wohnen und Umwelt GmbH,
Rheinstraße 65, D-64295 Darmstadt, +49 6151 2904-47 / m.grossklos@iwu.de*

Kurzfassung

Der Beitrag beschäftigt sich mit der Frage, mit welchen Konzepten bei Gebäudehülle, Anlagentechnik und regenerativer Energieerzeugung sich Neubauten trotz Wohnflächenzubau in einen klimaneutralen Gebäudebestand 2050 integrieren lassen, ohne die Gesamtziele bei Klimaschutz zu behindern.

Die Ergebnisse zeigen, dass bei Neubauten die besten verfügbaren Standards der Gebäudehülle (Passivhaus bzw. KfW-Effizienzhaus 40) umgesetzt werden sollten, um eine gewisse Flexibilität bei der anlagentechnischen Ausstattung zu ermöglichen. Mit einem schlechteren Wärmeschutz-Standard als dem KfW-Effizienzhaus 55 sind die Ziele zur Reduktion der Treibhausgasemissionen kaum noch zu erreichen. Die Wärmeversorgung eines Großteils der Gebäude sollte mit Wärmepumpen erfolgen, um sowohl Strom aus Sonnenenergie, vor allem aber aus Windkraft für die winterliche Wärmeversorgung effizient nutzen zu können. Biomasse sollte sehr sparsam und keinesfalls im Sommer eingesetzt werden. Aufgrund der begrenzten Potenziale stellt sie keine verallgemeinerbare Lösung für alle Gebäude dar. Wärmespeicher erlauben eine zeitliche Entkoppelung von Bedarf und Angebot und sollten Bestandteil von zukunftsfähigen Neubauten sein. Die Dachflächen der Gebäude sollten weitgehend für Photovoltaik genutzt werden, um die insgesamt begrenzten Potenziale auf bebauten Flächen zu aktivieren.

Klimaneutralität im Wohngebäudebestand

Die Herausforderungen, um die angestrebte Klimaneutralität in Deutschland bis zum Jahr 2050 zu erreichen, sind sehr groß. In allen Sektoren müssen neue Konzepte erdacht und umgesetzt werden. Für den Wohngebäudesektor wurden bereits Modellberechnungen und grobe Konzepte erstellt, z. B. in (Diefenbach et al. 2019). Dabei liegen die größten Aufgaben in der Transformation der Bestandsgebäude und in der Dekarbonisierung der Energieversorgung. Es darf aber nicht außer Acht gelassen werden, dass im Jahr 2050 je nach Prognose deutlich mehr als 15 % des Gebäudebestandes ein Baujahr später als 2010 aufweisen werden. Diese Gebäude werden also überwiegend in den nächsten Jahrzehnten neu errichtet (Diefenbach et al. 2015). Damit verbunden ist ein (Netto-)Wohnflächenzuwachs und somit auch eine Erhöhung des Energieverbrauchs sowie der Treibhausgasemissionen.

Zudem werden diese Neubauten in der Regel bis 2050 nicht mehr energetisch ertüchtigt, so dass sie bereits so geplant und gebaut werden müssen, dass eine zukünftige Klimaneutralität trotz des Wohnflächenzuwachses nicht behindert, sondern im optimalen Fall sogar unterstützt wird. Mit welchen Konzepten diese „zukunftsfähigen Neubauten“ erreicht werden können, wurde u.a. im dem Forschungsvorhaben „EEGebäudeZukunft“ untersucht (Großklos et al. 2019). Die wesentlichen Ergebnisse werden im Folgenden dargestellt.

Zielwerte für klimaneutrale Neubauten

Klimaneutralität ist bisher nicht allgemeingültig definiert worden, u.a. da die Erreichung von „Null Emissionen“ im eigentlichen Sinne aus heutiger Sicht kaum möglich ist. Als Ad-Hoc-Ansatz zur Beschreibung zukunftsfähiger Gebäude kann man jedoch die internationalen Klimaschutzvereinbarungen heranziehen, nach denen die Treibhausgasemissionen um 80 bis 95 % gegenüber 1990 reduziert

werden müssen, um die Klimaziele zu erreichen. Die Treibhausgasemissionen der Wohngebäude in Deutschland im Jahr 1990 lagen bei ca. 200 Mio. t (Diefenbach 2013), mit Berücksichtigung des Haushaltsstroms bei 260 Mio. t CO₂ äq. Unter der Annahme, dass Neubauten aufgrund ihrer günstigeren Randbedingungen höhere Einsparungen bei den Treibhausgasemissionen erreichen sollten, um im Mittel zumindest 80 % Einsparung für den Gesamtbestand zu erreichen, kann man für diese eine Reduktion von 87,5% ansetzen (Mittelwert des Reduktionsintervalls von 80 bis 95 %). Dividiert man die verbleibenden 25 Mio. t CO₂ äq/a durch die im Jahr 2050 erwartete Gesamtwohnfläche von ca. 3,84 Mrd. m², so ergibt sich ein Zielwert für die Treibhausgasemissionen von Neubauten von 6,5 kg/(m²*a), mit Berücksichtigung des Haushaltsstromes liegt er bei 8,5 kg/(m²*a).

„Klimagerechtes Gebäude“ und „Baukastenansatz“

Bei den Untersuchungen wurden zwei Vorgehensweisen bei der Beschreibung „zukunftsfähiger Neubauten“ gewählt:

„Klimagerecht“ sind Gebäude nach dem ersten Ansatz, wenn sie die oben genannten Zielwerte für die Treibhausgasemissionen erreichen. Bei den entsprechenden Energiebilanzberechnungen wurden Annahmen über einzuhaltende Potenzialgrenzen etwa für die Biomasse getroffen (siehe unten).

In einem zweiten „Baukastenansatz“ wurden die Anforderungen an Bauteile und Anlagentechnik für sehr gute Gebäudestandards, wie sie bereits heute realisiert werden können, als Vorbild für „zukunftsfähige Neubauten“ beschrieben. Dieses Vorgehen hat den Vorteil, dass ohne zusätzliche Bilanzberechnungen erforderliche Kennwerte von Gebäudehülle und Anlagentechnik beschrieben werden können und Bauherren so leichter in der Lage sind ihre Anforderungen an Neubauten festzulegen.

Beide Ansätze wurden später miteinander verglichen, um zu evaluieren, ob mit dem Konzept des Baukastenansatzes „zukunftsfähige“ Gebäude erreicht werden können.

Tabelle 1: Zielwerte und Obergrenze der U-Werte für „zukunftsfähige Gebäude“ im Baukastenansatz im Vergleich zu den gesetzlichen Mindestanforderungen bei Bestandssanierungen (EnEV 2016)

	Gesetzliche Anforderung bei Bestandsanierung (Einzelmaßnahmen) [W/(m ² *K)]	Zukunftsfähige Gebäude	
		Obergrenze Anforderung [W/(m ² *K)]	Zielwert Anforderungen (KfW-EH 40/Passivhaus) [W/(m ² *K)]
Dach / oberste Geschossdecke	0,24 / 0,20	0,18	0,15
Außenwand	0,24	0,20	0,15
Fenster	1,3 / 1,6	1,0	0,8
Außenwand gegen Erdreich / Bodenplatte	0,3	0,25	0,15

Baukastenansatz

Als Zielwert beim Wärmeschutz orientiert sich der Baukastenansatz am KfW-Effizienzhaus 40- bzw. Passivhaus-Standard. Die Obergrenze der Anforderungen sind U-Werte, wie sie beim KfW-Effizienzhaus 55 (EH 55) üblich sind (Tabelle 1).

Für die Anlagentechnik wurden folgende Leitlinien festgelegt:

- Gebäude müssen verfügbare Flächen für die Gewinnung von Sonnenenergie nutzen, bevorzugt mittels Photovoltaik.
- Gebäude müssen in der Lage sein Windstrom aus dem elektrischen Netz für die winterliche Energieversorgung effizient zu nutzen.
- Das Gebäude muss Last- und Erzeugungsspitzen abpuffern können, vor allem mit Wärmespeichern, da diese im Vergleich zu Elektrospeichern höhere Kapazitäten zu geringeren Kosten bereitstellen.
- Im Sommer steht ausreichend Sonnenenergie zur Verfügung, deswegen sollte in dieser Zeit kein Brennstoffverbrauch auftreten – weder lokal noch im vorgelagerten elektrischen Netz.
- In der Breite wird die Wärmepumpe als effiziente Wärmeversorgung benötigt.
- Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung werden empfohlen.
- Techniken, die gegenwärtig noch nicht benötigt werden, z. B. eine Regelung der Wärmezeugung unter Berücksichtigung des Angebots an erneuerbaren Energien müssen einfach nachgerüstet werden können.

Mit diesem Baukastenansatz hat der Planer einen gewissen Spielraum. Wird aber z. B. beim Wärmeschutz nur die Obergrenze umgesetzt, sollten an die Anlagentechnik sehr hohe Anforderungen gestellt werden (z. B. Erdreichwärmepumpe und große PV-Anlage).

Bewertung von Potenzialgrenzen bei Biomasse und erneuerbaren Energien

Obwohl Biomasse als klimaneutral gelten kann, wenn sie nachhaltig hergestellt und genutzt wird, steht sie in Deutschland nur begrenzt zur Verfügung. So können z. B. mit Holz-Pellet-Heizungen die Klimaschutzziele eingehalten werden, diese Art der Wärmeversorgung ist aber aufgrund des begrenzten Angebots nicht auf alle Gebäude übertragbar. Die Untersuchungen in dem Forschungsvorhaben führten zum Ergebnis, dass für die Wohngebäude-Wärmeversorgung im Durchschnitt nur ca. 10 kWh/(m²*a) an Biomasse verfügbar sind, was deutlich geringer ist, als in früheren IWU-Studien angenommen. Dieses Biomassebudget reicht für die Versorgung eines Gebäudes in der Regel nicht aus. Da aber nicht alle Gebäude Biomasse einsetzen, ist in einem Teil des Gebäudebestandes durchaus der Biomasseeinsatz zur Wärmeversorgung möglich. Das Potenzial in Deutschland darf in Summe jedoch nicht überschritten werden.

Aber auch Sonnenenergie und Windstrom stehen nicht unbegrenzt zur Verfügung, da die Flächen für die Nutzung begrenzt sind. Aus diesem Grund ist eine ausschließliche Umstellung der Energieversorgung auf erneuerbare Energien ohne parallele Effizienzmaßnahmen nicht möglich.

Bilanzmodell

Für die Bilanzierung der verschiedenen Gebäudestandards und die Berechnung der verbleibenden Treibhausgasemissionen in einem zukünftigen deutschen Energiesystem mit sehr hohen Anteilen an erneuerbaren Energien und unter Berücksichtigung des zeitlichen Verlaufs von Angebot und Nachfrage wurde ein eigenes Berechnungsmodell entwickelt. Dieses berechnet stündlich das Sonnen- und Windstromangebot aus Wettermessdaten der Jahre 2011 bis 2015 sowie den Energiebedarf der Gebäude in der entsprechenden Stunde. Dazu wurde ein Nutzermodell erstellt, um unterschiedliches Nutzerverhalten und die daraus resultierenden unterschiedlichen Lastgänge abzubilden. Im Modell wird in jedem

Zeitschritt entschieden, welcher Wärmeerzeuger aktuell mit dem niedrigsten Primärenergieaufwand oder den geringsten Treibhausgasemissionen betrieben werden kann.

Die Berechnungen können für unterschiedliche Standorte in Deutschland durchgeführt werden und entweder den gesamten Gebäudebestand oder nur Einzelgebäude betrachten. Für die „zukunftsfähigen Neubauten“ wurden in der Regel Einzelgebäude mit einer Reihe von Nutzerprofilen parallel berechnet und die Ergebnisse dann gemittelt. Zuerst wird die PV-Strom-Erzeugung im Gebäude bilanziert. Wenn dieser nicht ausreicht und die lokalen Speicher entleert sind, wird erneuerbarer Strom aus dem Netz zur Deckung des aktuellen Wärmebedarfs berücksichtigt. Steht dieser nicht mehr zur Verfügung (z. B. während einer Dunkelflaute im Winter), wird neben dem Biomassebudget fossiler Strom aus Erdgas-Kraftwerken bilanziert. Dabei werden auch Must-run-Bedingungen im Stromnetz berücksichtigt.

Überschüssiger PV-Strom, der im Gebäude aktuell nicht benötigt wird und auch nicht mehr zur Ladung der Speicher eingesetzt werden kann, wird ins elektrische Netz eingespeist und steht dann anderen Gebäuden zur Verfügung. Für die Einspeisung werden Gebäuden aber keine Gutschriften angerechnet. Da die Potenziale auch für Sonnenenergie und Windkraft begrenzt sind und den Bestandsgebäuden zur Verfügung gestellt werden sollen, wurde bei den Berechnungen der „zukunftsfähigen Neubauten“ in der Regel kein zusätzliches Sonnenenergie- und Windkraftpotenzial angerechnet, da diese ja zusätzlich errichtet werden und das Potenzial der Bestandsgebäude schmälern würden.

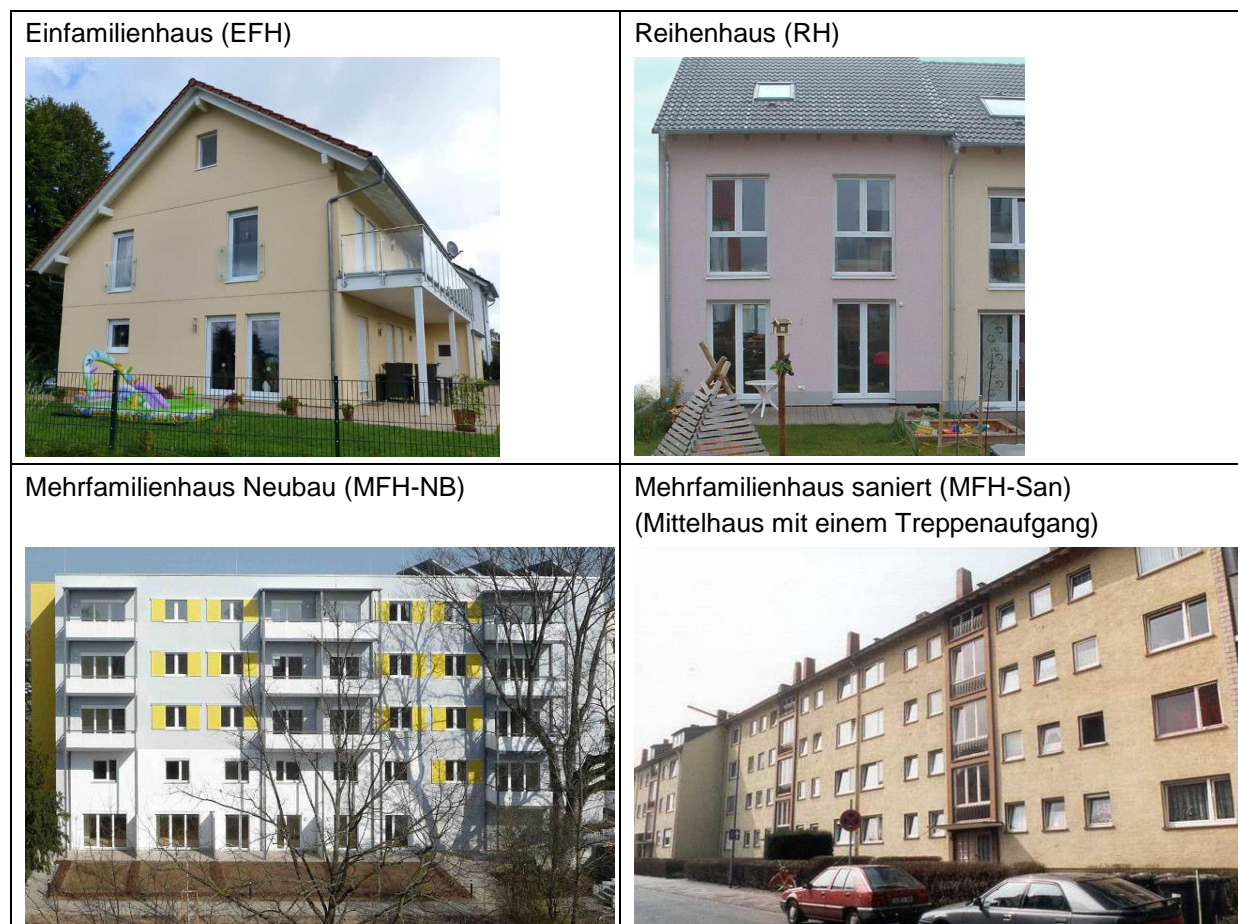


Bild 1: Verwendete Beispielgebäude

Die Untersuchungen wurden anhand von vier unterschiedlichen Beispielgebäuden durchgeführt (siehe Bild 1): Einfamilienhaus (EFH) (mit Satteldach, nicht solar-optimiert geplant), Reihenhaus (RH) (mit kleinerer Dachfläche als das EFH), Mehrfamilienhaus Neubau (MFH-NB) (mit 17 Wohneinheiten) sowie Mehrfamilienhaus Bestand (MFH-San) (saniertes Bestandsgebäude in Blockmittelbebauung mit 9 Wohneinheiten).

Ergebnisse

Aus den Untersuchungen im Projekt sollen die folgenden Analysen beispielhaft gezeigt werden.

Vergleich unterschiedlicher Beispielgebäude, Standards der Gebäudehülle und Anlagentechniken


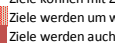
Für alle Beispielgebäude wurden Ausführungsvarianten der Gebäudehülle für die Standards „Mindestanforderungen der Energieeinsparverordnung 2016“ (EnEV), „KfW-Effizienzhaus 55“ (EH 55) sowie „KfW-Effizienzhaus 40“ (EH 40) festgelegt. Anschließend wurden die Anlagentechnik und die Größe der Solaranlagen bei den Untersuchungen variiert.

Exemplarisch ist in Tabelle 2 für das Einfamilienhaus (EFH) und das Mehrfamilienhaus (MFH-NB) dargestellt, welche Kombinationen aus Gebäudehülle und Anlagentechnik die Zielwerte für Treibhausgasemissionen und Biomasseverbrauch einhalten, wenn ein Wärmespeicher installiert wird und 2/3 der verfügbaren Nettodachfläche für eine Stromerzeugung mit Photovoltaik genutzt werden. Felder mit einem Haken erfüllen die Anforderungen an „klimagerechte“ Neubauten. Ist der Haken in Klammern gesetzt, können die Anforderungen durch kleinere Verbesserungen der Anlagentechnik gegenüber der gewählten Standardauslegung erreicht werden (z. B. größere PV-Anlage). Rot eingefärbte Felder überschreiten die Ziele für ein klimagerechtes Gebäude meist deutlich.

Tabelle 2: Einhaltung der Zielwerte für Treibhausgasemissionen und (Biomasse-)Brennstoffverbrauch bei unterschiedlichen Kombinationen von Wärmeschutz und Anlagentechnik für das Ein- und Mehrfamilienhaus

		Monovalente Systeme										Bivalente Systeme											
		Luft-Wasser-WP		Erdreich-WP		Gas-Brennwertkessel		Pellet-Kessel		Direkt-elektrisch		L-W-WP+Gas-BWK		L-W-WP+Pelletkessel		Erdreich-WP+Gas-BWK		Erdreich-WP+Pelletkessel		Gas-BWK+Mini-WP			
		THG	BrSt.	THG	BrSt.	THG	BrSt.	THG	BrSt.	THG	BrSt.	THG	BrSt.	THG	BrSt.	THG	BrSt.	THG	BrSt.	THG	BrSt.		
EFH	EnEV							✓						✓				✓					
	EH 55 ohne WRG			✓	✓			✓						✓			(✓)	(✓)	✓				
	EH 55 mit WRG			✓	✓			✓					(✓)	(✓)	✓			✓	✓	✓			
	EH 40 mit WRG	✓	✓	✓	✓	(✓)	(✓)	✓					✓	✓	✓			✓	✓	✓		✓	✓
MFH	EnEV							✓						✓				✓					
	EH 55 ohne WRG			(✓)	(✓)			✓						✓			(✓)	(✓)	✓				
	EH 55 mit WRG			✓	✓	(✓)	(✓)	✓					(✓)	(✓)	✓			✓	✓	✓			
	EH 40 mit WRG	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓					✓	✓	✓			✓	✓	✓		✓	✓

Legende:

THG	Treibhausgasemissionen
BrSt.	Brennstoffverbrauch (fossil/Biomasse)
✓	Ziele werden erreicht
(✓)	Ziele können mit Zusatzmaßnahmen erreicht werden
	Ziele werden um weniger als das Doppelte überschritten (akzeptabel, wenn nicht alle Gebäude mit dieser Technik ausgestattet werden)
	Ziele werden auch mit Zusatzmaßnahmen in der Regel nicht erreicht

Es zeigt sich, dass mit dem Anforderungsniveau an die Gebäudehülle¹ nach Energieeinsparverordnung 2016 (EnEV) die Ziele bei den Treibhausgasemissionen für klimagerechte Neubauten nur mit einer Wärmeversorgung auf Basis von Holzpellets erreicht werden können, die auch in allen anderen untersuchten Standards zum Erfolg führt. Gleichzeitig werden die Potenzialgrenzen des Biomasseverbrauchs im Gebäudebestand sehr deutlich überschritten.

Beim Wärmeschutz nach KfW-Effizienzhaus 55-Standard, der auch gleichzeitig etwa der Obergrenze der Anforderungen nach dem Baukastenprinzip entspricht, erreichen Gebäude ohne eine Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung (WRG) einzig mit einer Erdreichwärmepumpe (als effizienteste Anlagentechnik im Baukasten) die Ziele – beim Mehrfamilienhaus sind noch weitere anlagentechnische Zusatzmaßnahmen erforderlich. Ist zusätzlich eine Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung vorhanden, so kann der Zielwert leichter erreicht werden und es erfüllen weitere Wärmeerzeuger wie Gas-Brennwertkessel (BWK) oder bivalente Systeme die beschriebenen Anforderungen.

Wird die Gebäudehülle im KfW-Effizienzhaus 40-Standard (EH 40) errichtet, so können beim Einfamilien- und beim Mehrfamilienhaus Luft-Wasser- und Erdreich-Wärmepumpen und teilweise sogar Gas-Brennwertkessel eingesetzt werden. Beim Einsatz von Pelletkesseln liegt der Brennstoffverbrauch bei weniger als dem Doppelten des (wohnflächebezogenen) Biomassebudgets, so dass unter der Annahme, dass nicht alle Gebäude Holzpellets einsetzen auch diese Wärmeversorgung umsetzbar ist. Nur die ausschließlich direktelektrische Wärmeversorgung erreicht aufgrund ihrer geringen Effizienz auch mit dem besten Wärmeschutz und selbst bei Maximierung der Dach-PV-Anlage nicht die Zielwerte für klimagerechte Neubauten.

Die Ergebnisse der Reihenhäuser sind grundsätzlich ähnlich denen des Einfamilienhauses und auch die beiden Mehrfamilienhäuser unterscheiden sich in ihren Ergebnissen kaum; nur beim KfW-Effizienzhaus 40-Standard schneidet das modernisierte Mehrfamilienhaus aufgrund von nicht vermeidbaren Wärmebrücken ein wenig ungünstiger ab als der Neubau.

Bei den bivalenten Wärmeerzeugungssystemen wird mit der modellierten, optimierten Regelung unabhängig vom Gebäudetyp die erforderliche Kraftwerksleistung zur Bereitstellung der elektrischen Energie für die Wärmepumpe durch den parallel installierten brennstoffbetriebenen Spitzenlast-Wärmeerzeuger etwa auf ein Viertel der Leistung bei monovalentem Betrieb reduziert.

Solarthermie und Photovoltaik stehen auf dem Dach in Flächenkonkurrenz, so dass teilweise abgewogen werden muss, welche Technik bevorzugt wird. In Verbindung mit einer Wärmepumpe erreicht Photovoltaik einen vergleichbaren Wärmeertrag wie solarthermische Anlagen. Allerdings können sommerliche Überschüsse der Photovoltaik entweder zur Deckung des Haushaltsstroms genutzt oder ins öffentliche Netz eingespeist werden. Bei Solarthermie ist dies in der Regel nicht möglich, weswegen Photovoltaik in Gebäuden mit Wärmepumpe der Vorzug gegeben werden sollte. Werden brennstoffbasierte Heizsysteme eingesetzt (Gas-Brennwert- oder Biomassekessel) und ist keine Wärmepumpe als bivalenter Wärmeerzeuger vorhanden, so sind solarthermische Anlagen das Mittel der Wahl, um die Warmwasserbereitung im Sommer ohne Brennstoffverbrauch realisieren zu können.

¹ Für den Wärmeschutz gemäß EnEV bzw. gemäß den Anforderungen an die KfW-Effizienzhäuser 55 und 40 werden hier typische Werte für diese Standards angesetzt, die über die jeweiligen Mindestanforderungen bezüglich des Transmissions-Wärmeverlusts noch hinausgehen.

Grob zusammengefasst zeigen die Vergleichsrechnungen, dass bei Ansatz der Wärmeschutz-Obergrenze (d.h. alle Bauteile erreichen nur das KfW-Effizienzhaus 55-Niveau) das Ziel des klimagerechten Gebäudes zumeist die bestmögliche Anlagentechnik erfordert (Erdreich-Wärmepumpe, dabei möglichst vollständige Ausschöpfung der verfügbaren solar nutzbaren Dachfläche). Erdwärme kann aber nicht überall genutzt werden. Bei Ansatz der Wärmeschutz-Zielwerte (siehe Tabelle 1) bestehen dagegen deutlich erweiterte Spielräume auch für den Einsatz von Luftwärmepumpen und sogar von Erdgas-Brennwertkesseln als Haupt-Wärmeerzeuger. Die Ergebnisse bestätigen also insgesamt den oben genannten Hinweis, im qualitativen „Baukastenansatz“ nicht zu sehr von den ehrgeizigeren Empfehlungen bei Wärmeschutz und Anlagentechnik abzuweichen.

Vergleich mit eingeführten Standards für Gebäude mit Energiegewinn

Im Rahmen des Projekts wurden auch Vergleiche mit eingeführten Konzepten für zukunftsweisende Gebäude durchgeführt, die netto in der Jahresbilanz null oder einen Überschuss erreichen. Betrachtet wurden

- das KfW-Effizienzhaus 40 Plus (mit PV auf 21 % der Dachfläche als Vergleichsvariante, dieser Standard postuliert keinen bilanziellen Überschuss),
- das Effizienzhaus Plus in drei Varianten (KfW-Effizienzhaus 55 mit 100% und 67 % PV sowie KfW-Effizienzhaus 40 mit 67 % PV),
- das Sonnenhaus (sehr große thermische Solaranlage auf 79 % der Dachfläche, zusätzlich 21 % PV),
- das Passivhaus Plus (Luft-Luft-WP und 100 % PV auf dem Dach) und
- das Plusenergiegebäude mit 100 % PV auf dem Dach.

Hierzu wurden Beispielrechnungen für das Einfamilienhaus durchgeführt (Bild 2). Als Wärmeerzeuger wurden zumeist Luft-Wärmepumpen angenommen, beim Sonnenhaus (ergänzend zur großen solarthermischen Anlage mit Großwärmespeicher) und beim Plusenergie-Gebäude dagegen Pelletkessel.

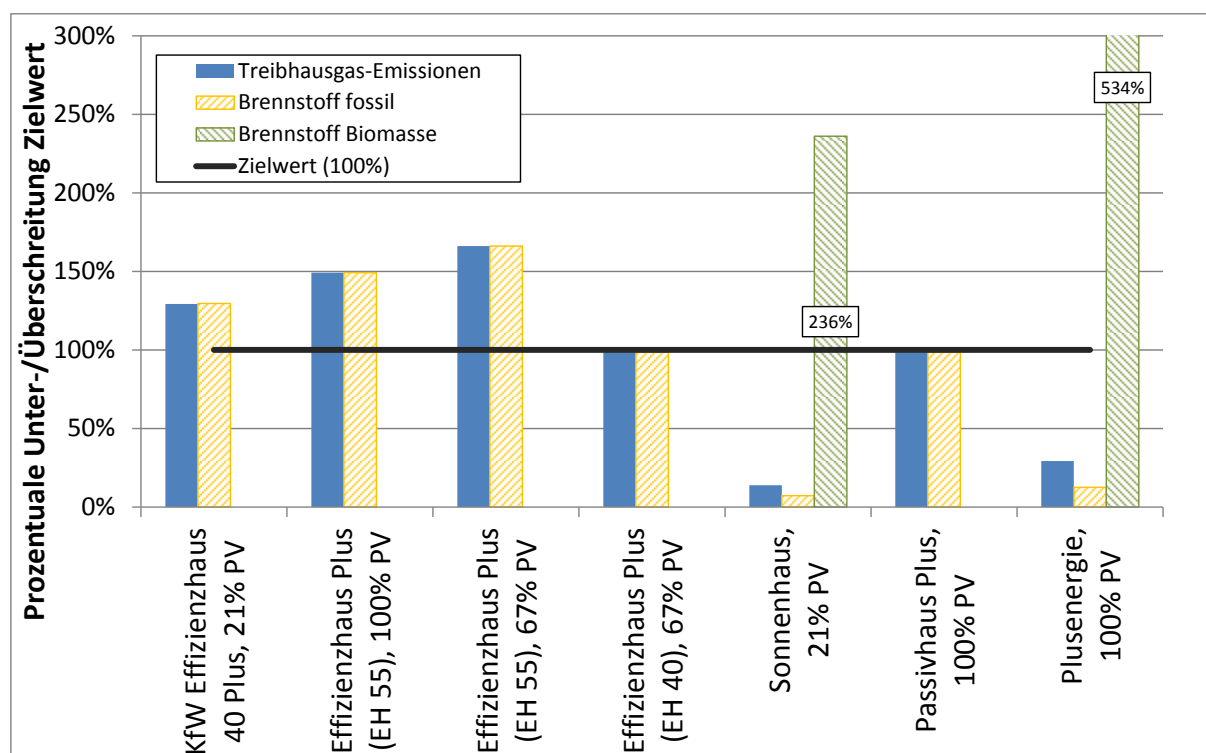


Bild 2: Einordnung von Gebäudestandards mit Energiegewinn zu den Zielwerten der Klimaneutralität

Das KfW-Effizienzhaus 40 Plus liegt bei den Treibhausgasemissionen etwa 30 % über dem Zielwert, es besitzt neben einem kleinen Batteriespeicher (als einzige der betrachteten Varianten) eine vergleichsweise kleine PV-Anlage, die leicht vergrößert werden könnte. Das Effizienzhaus Plus mit einer Hülle im EH 55-Standard liegt selbst mit vollständiger Ausnutzung der Dachfläche für PV etwa 50 % über dem Zielwert für die THG-Emissionen, bei einer Gebäudehülle im EH 40-Standard reichen 2/3 der Dachfläche aus, um den Zielwert zu erreichen. Das Gleiche gilt für das Passivhaus Plus, das die Zielwerte trotz der angesetzten weniger effizienten Luft-Luft-Wärmepumpe (Kompaktaggregat) mit 100 % PV auf dem Dach einhält. Für das Sonnenhaus mit ergänzender PV-Anlage ergeben sich sehr geringe THG-Emissionen, das Biomassebudget wird jedoch um mehr als das Doppelte überschritten. Hier muss, genau wie beim Plusenergiehaus mit niedrigen THG-Emissionen und sehr deutlicher Überschreitung des Biomassebudgets, aufgrund der begrenzten Potenziale darauf geachtet werden, dass diese Konzepte (mit einem Pelletkessel) nicht als Vorbild für alle Neubauten herangezogen werden.

Es kann die Schlussfolgerung gezogen werden, dass zumindest in diesen Beispieluntersuchungen die betrachteten Konzepte für Gebäude mit Energiegewinn mit effizienter Gebäudehülle mit den beschriebenen Maßstäben für klimaneutrale Gebäude bei weitgehender Nutzung der Dachflächen überwiegend konform sind.

Untersuchungen mit und ohne Berücksichtigung des Haushaltsstroms

In den bisherigen Darstellungen wurde allein die Wärmeversorgung der Wohngebäude betrachtet. Im Sinne eines ganzheitlichen Ansatzes und wegen der engen Verzahnung von Wärme und Strom (Wärmepumpen und Photovoltaikanlagen) soll nun auch der Haushaltsstrom mit betrachtet werden, womit sich der Stromverbrauch des Gebäudes erhöht. Es wurden effizientere Haushalte im Vergleich zu heute unterstellt, dabei wurde bei individuell schwankenden Nutzungsprofilen mit einem Haushaltsstromverbrauch von 20 kWh/(m²*a) im Mittel gerechnet. Bei der Energiebilanz wurde berücksichtigt, dass die gebäudeeigenen Photovoltaikanlagen nicht mehr nur zur Wärmezeugung, sondern nun auch (und zwar vorrangig) zur Deckung des Haushaltsstromverbrauchs im Gebäude eingesetzt werden.

War es im Reihenendhaus (kleinste Dachfläche aller Beispielgebäude) ohne Berücksichtigung des Haushaltsstroms mit dem besten energetischen Standard (EH 40) möglich mit unterschiedlicher Anlagentechnik die Treibhausgasziele für ein klimagerechtes Gebäude zu unterschreiten, so erreicht inklusive Haushaltsstrom und mit einer PV-Anlage auf 2/3 der Dachfläche des Gebäudes nur noch ein Konzept mit einem Pellet-Kessel die Treibhausgasziele. Hier fällt der Biomasseverbrauch aber zu hoch aus. Mit einer Erdreich-Wärmepumpe wird beim KfW-Effizienzhaus 40 mit Wärmerückgewinnung der Zielwert von Treibhausgasemissionen und Brennstoff um ca. 15 % überschritten, alle anderen Varianten schneiden noch ungünstiger ab. Bei den Mehrfamilienhäusern erreicht keine der untersuchten Varianten die Kombination der Zielwerte für Treibhausgase und Brennstoff bzw. Biomasse. Der Grund ist die bezogen auf die verfügbare PV-Fläche deutlich größere Wohnfläche, die zu einem höheren absoluten Stromverbrauch führt.

Die Auswertung zeigt, dass die Ziele für ein klimagerechtes Gebäude unter Berücksichtigung des Haushaltsstroms alleine mit den Möglichkeiten einer lokalen regenerativen Stromerzeugung auf Basis von Photovoltaik kaum erreicht werden können. Erst durch die Nutzung von Windstrom – vor allem im Winter – ist die Erreichung der Klimaneutralität möglich. Windenergie kann jedoch nicht in nennenswertem Umfang lokal am Gebäude erzeugt werden, so dass es umso wichtiger ist,

dass zukunftsfähige Gebäude Windstrom aus dem Netz nutzen können und die begrenzten Potenziale nur minimal in Anspruch nehmen.

Neubauten in einem klimaneutralen Gebäudebestand 2050

In einer weiteren Analyse wurde die Frage untersucht, ob ein klimaneutraler Neubau, also ein Zubau von Gebäuden in relevantem Umfang ohne zusätzliche Treibhausgasemissionen, in einem zukünftigen Wohngebäudebestand tatsächlich möglich ist. Für diesen Zweck wurde das Simulationsmodell entsprechend den Analysen in (Diefenbach et al. 2019) auf den gesamten Wohngebäudebestand angewendet. Der zukünftige Wohngebäudebestand wurde als bereits energetisch modernisiert angenommen, und zwar mit entsprechend hohen Anteilen von Solar- und Windenergienutzung, die eine Einhaltung der Klimaschutzziele ermöglichen. In diese Situation wurde dann der Neubau (ebenfalls mit sehr gutem Wärmeschutz und Photovoltaikanlagen) „hinzugebaut“, in den Simulationen also zusätzlich berücksichtigt. Die Ergebnisse zeigen, dass ein Neubau ohne zusätzliche Treibhausgasemissionen im Gesamtsystem tatsächlich möglich ist – im untersuchten Beispiel mit höchstem Wärmeschutzstandard, ausreichend großen Photovoltaikanlagen und unter Anrechnung eines zusätzlichen Biomasse- und Windstrom-Potentials entsprechend der zugebauten Wohnfläche².

Zusammenfassung und Ausblick

Aus den Untersuchungen zur Erreichung von zukunftsfähigen, klimagerechten Neubauten lassen sich weitere Schlüsse für die allgemeine Gebäudeplanung ziehen:

- Je besser der Wärmeschutz, desto mehr Optionen bestehen bei der Anlagentechnik. Als sinnvoller Mindestwärmeschutz für die Einzelkomponenten der Gebäudehülle sind die untersuchten typischen U-Werte des KfW-Effizienzhauses 55 anzusehen. Es sollten aber nicht alle Bauteile gleichzeitig nur dieses Minimalniveau erreichen. Wenn möglich, ist das für Effizienzhäuser 40 bzw. Passivhäuser typische Wärmeschutzniveau anzustreben.
- Wärmespeicher sind ein wichtiger Faktor für die Nutzung von Solar- und Windenergie zur Wärmeversorgung. In dieser Funktion können sie nicht sinnvoll durch Stromspeicher ersetzt werden, da sie größere Speicherkapazitäten bei geringerem materiellem und finanziellem Aufwand ermöglichen. Außerdem sind die kurzzeitigen Verluste der Wärmespeicher in der Regel geringer.
- Aus heutiger Sicht sollten die für Solaranlagen, insbesondere auch Photovoltaik, verfügbaren Dachflächen von Neubauten möglichst weitgehend genutzt werden, um die insgesamt begrenzten Potenziale auf bebauten Flächen zu aktivieren. Bei der bilanziellen Verrechnung von Solarstromüberschüssen im Kontext klimaneutraler Neubau-Konzepte ist darauf zu achten, dass hier sinnvolle Grenzen gesetzt werden. Insbesondere sollten sich durch die Anrechnung von Sonnenenergie keine wesentlichen Abstriche bei der Energieeffizienz von Gebäudehülle und Anlagentechnik ergeben.

² Die untersuchte Konstellation ist insofern ungünstig für den Neubau, als dieser nicht wie in der Realität kontinuierlich zugebaut wird, sondern in der Analyse erst am Ende zu einem fertig modernisierten Bestand hinzukommt. Dies bedeutet beispielsweise, dass in der Simulation die Solarstromüberschüsse der Neubauten, anders als in dem hier verfolgten allgemeinen Bewertungsansatz, nur in Form ihres Grenznutzens wirksam werden können.

Bei den Untersuchungen wurde eine Reduktion der Treibhausgasemissionen beim Einzelgebäude von 87,5 % gegenüber dem Referenzjahr 1990 zugrunde gelegt. Diese Einsparung bei den Emissionen reicht aber möglicherweise nicht aus, um in Anbetracht der Restriktionen im Gesamtbestand die Klimaneutralität insgesamt zu erreichen. Werden noch höhere Reduktionsziele erforderlich, dann würden nur noch die besten Standards bei der Gebäudehülle in Verbindung mit Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung und einem maximalen Ausbau der Photovoltaik am Gebäude zu weiteren Emissionsreduktionen führen. Außerdem gewinnen dann Techniken wie z. B. Power-to-Gas aus erneuerbaren Energien an Bedeutung, um weitere Treibhausgaseinsparungen erreichen zu können.

Die gesetzlichen Neubau-Regelungen in Deutschland (GEG 2020) gehen im Licht der vorgestellten Untersuchungen nicht weit genug. Zumindest ein Standard vergleichbar dem KfW-Effizienzhaus 55 sollte bei Neubauten in den nächsten Jahren als Mindeststandard angestrebt werden.

Wie einfach oder aufwändig die Erreichung der Klimaschutzziele bis 2050 wird, hängt außerdem auch vom Wohnflächenverbrauch im gesamten Gebäudebestand ab – auch hier sollte unabhängig von technischen Lösungen zur Treibhausgasreduktion nach Möglichkeiten für einen sparsamen Umgang mit der existierenden oder neu geschaffenen Wohnfläche gesucht werden.

Danksagung

Die Autoren bedanken sich beim Bundesministerium für Wirtschaft und Energie für die Förderung des Forschungsvorhabens „EEGebäudeZukunft“. Das Vorhaben wurde vom Institut Wohnen und Umwelt, Darmstadt, mit Fördermitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie im Förderschwerpunkt En:Sys durchgeführt (FKZ 03ET4019). Für spezielle Fragestellungen zur elektrischen Energiewirtschaft waren die Hochschule Darmstadt, Fachbereich Elektrotechnik und Informationstechnik, sowie das Büro für Energiewirtschaft und Technische Planung, Aachen, als Projektpartner eingebunden. Auch an diese geht ein herzlicher Dank für ihre wichtigen Beiträge und die gute Zusammenarbeit.

Die ausführlichen Dokumentationen der Projektergebnisse stehen unter www.iwu.de zum kostenlosen Download zur Verfügung.

Referenzen

Diefenbach, N., v. Malottki, C., Enseling, A., Loga, T., Cischinsky, H., Stein, B., Hörner, M., Grafe, M. (2013): Maßnahmen zur Umsetzung der Ziele des Energiekonzepts im Gebäudebereich – Zielerreichungsszenario. BMVBS-Online-Publikation Nr. 03/2013

Diefenbach, N., Loga, T., Stein, B. (2015): Szenarienanalysen und Monitoringkonzepte im Hinblick auf die langfristigen Klimaschutzziele im deutschen Wohngebäudebestand. Bericht im Rahmen des europäischen Projekts EPISCOPE. Institut Wohnen und Umwelt, Darmstadt

Diefenbach, N., Großklos, M., Grafe, M., Müller, A., Born, R., Ruppert, H., Graf, K.-M., Krzikalla, N. (2019): Analyse der Energieversorgungsstruktur für den Wohngebäudesektor zur Erreichung der Klimaschutzziele 2050. Institut Wohnen und Umwelt, Darmstadt

Gesetz zur Vereinheitlichung des Energiesparrechts für Gebäude und zur Änderung weiterer Gesetze vom 08.08.2020 (GEG 2020). Bundesgesetzblatt Jahrgang 2020 Teil I Nr. 37

Großklos, M., Diefenbach, N., Müller, A., Grafe, M., Swiderek, S., Ruppert, H., Graf, K.-M., Krzikalla, N. (2019): Zukunftsfähige Neubauten als Baustein für einen klimaneutralen Wohngebäudebestand 2050. Institut Wohnen und Umwelt GmbH, Darmstadt