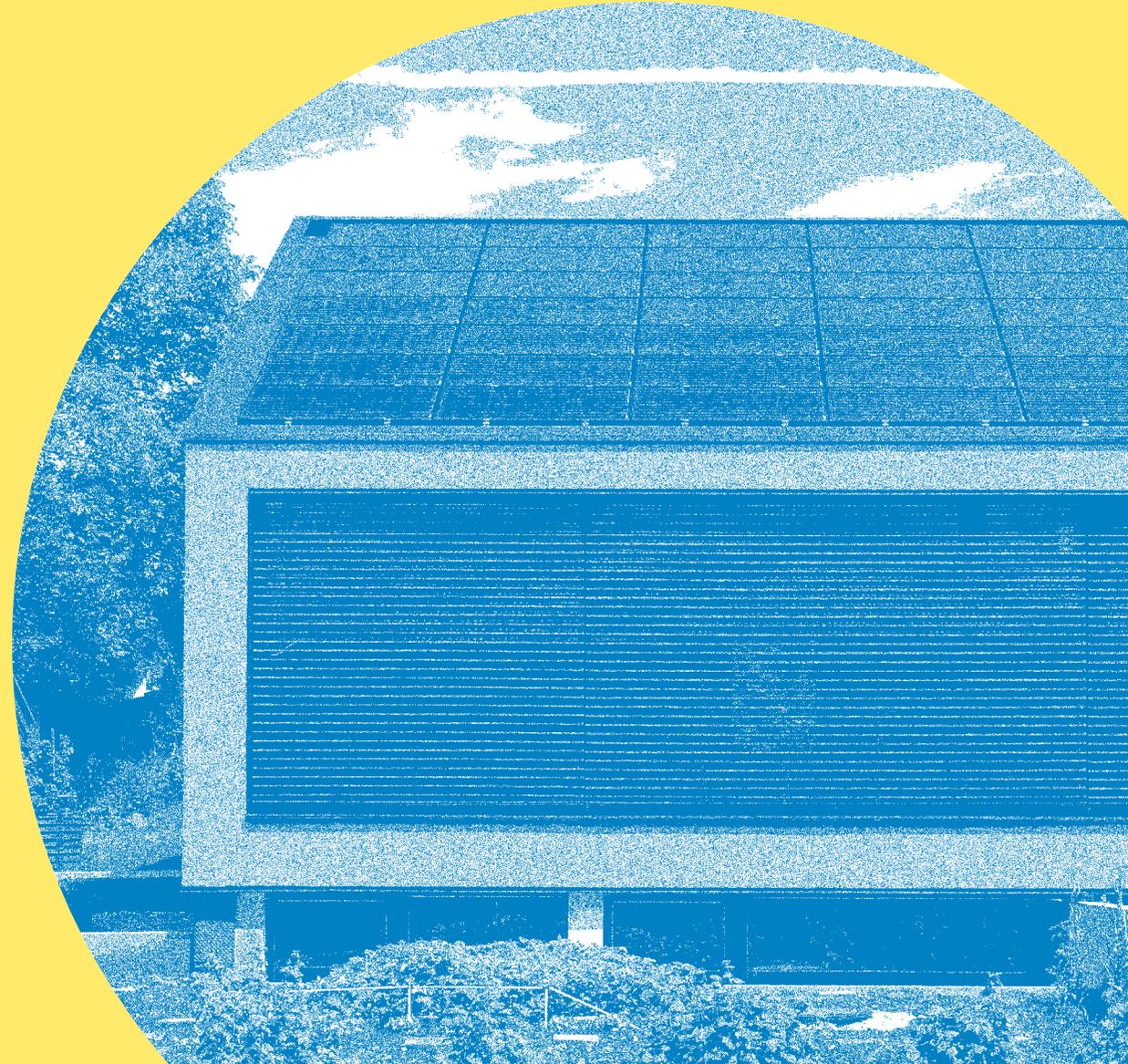


Rainer Vallentin

PER-Bewertung und

Eine Kritik – Langfassung zum gleichnamigen Tagungsbeitrag

die neuen Passivhaus-Klassen



Impressum

PER-Bewertung und die neuen Passivhaus-Klassen: Eine Kritik

Langfassung zum gleichnamigen Tagungsbeitrag auf der 20.
Passivhaus-Tagung am 22. - 23. April 2016 in Darmstadt

Verfasser: Rainer Vallentin, Architekt, München

Mitarbeiterin:
Michaela Kern

Umschlagsgestaltung:
Michael Lang, Graphiker, Erding

Fotos und Zeichnungen :
Rainer Vallentin
(andere Fotografen sind direkt bei den Abbildungen genannt)

Internet-Veröffentlichung unter: www.vraie.de

Das Urheberrecht liegt beim Autor.

München, April 2016

Vorwort

Der Anlass dieses Beitrags ist der gleichnamige Vortrag auf der 20. Internationalen Passivhaustagung. Im Tagungsbeitrag konnten wegen der dort gebotenen Kürze nicht alle Argumente und Daten in der eigentlich notwendigen Ausführlichkeit dargelegt werden. Das soll nun hier in der Langfassung erfolgen.

Der Passivhaus-Standard hat sich im Laufe seiner 25-jährigen Entwicklung nach und nach als ein erstaunlich anpassungsfähiges Konzept erwiesen: Beginnend mit Wohngebäuden wurden Schritt für Schritt immer mehr Nutzungstypen als Passivhaus realisiert. Neben Schulen und Verwaltungsgebäuden beispielsweise auch Versammlungsstätten, Kirchen, Einzelhandel, Fabriken und Berghütten. Mit zunehmender Erfahrung bei der Planung und dem Bau von Passivhäusern außerhalb Mitteleuropas wurde deutlich, dass die dem Passivhaus zugrundeliegende Effizienzidee sich mit gewissen Abwandlungen auch in anderen Klimazonen umsetzen lässt.

Während bei den ersten Passivhäusern die Entwurfsaspekte der Südorientierung und Kompaktheit noch als mehr oder weniger zwingend angesehen wurden, hat man im Laufe der weiteren Entwicklung entdeckt, dass der städtebauliche Spielraum in Wirklichkeit sehr groß ist. Dies hat der Autor in mehreren Beiträgen seit 1998 immer deutlicher herausgearbeitet **(1)**. Nur wenige Grenzfälle lassen sich nicht oder nur mit unververtretbarem Aufwand als Passivhäuser realisieren - das sind z.B. Bauten mit sehr geringer Kompaktheit und Bauwerke, die aus Nutzungsgründen nicht luftdicht ausgebildet werden können sowie Gebäude mit kompletter Verglasung aller Fassaden. Ihr Anteil am Baugeschehen ist verschwindend gering, so dass sich das Passivhauskonzept im Neubau als nahezu universell umsetzbar erwiesen hat. Hinzu kommt, dass mit der technologischen Verbesserung der Passivhauskomponenten (z.B. Fenster, Ver-

glasungen, Dämmsysteme, Lüftungsanlagen, Luftdichtkonzepte) das Anwendungsspektrum in architektonischer und städtebaulicher Hinsicht immer größer wurde. Entscheidend für diese positive Gesamtentwicklung ist, dass aus den genannten Gründen der bauliche und ökonomische Aufwand, ein Passivhaus zu realisieren, in den 25 Jahren praktischer Erfahrung immer geringer geworden ist.

Die „städtebauliche Robustheit“ ist darüber hinaus eine Voraussetzung dafür, dass sich die energetische Modernisierung mit Passivhauskomponenten im Gebäudebestand in sehr vielen Fällen bewähren konnte. Hierbei haben sich weniger die städtebaulichen Restriktionen als vielmehr die vielfältigen Formen von Eingriffsempfindlichkeit als begrenzende Faktoren erwiesen. Letztere sind bei genauerer Analyse weitgehend unabhängig von der Frage der energetischen Qualität der Komponenten zu sehen, bei denen diese Hemmnisse nicht bestehen. In den Bereichen, in denen bestimmte Maßnahmen (z.B. Außenwärmeschutz, Fenster, bisweilen auch Innendämmungen und Lüftungsanlagen) aus baukulturellen nachbarrechtlichen oder technischen Gründen nicht verträglich ausführbar sind, müssen andere Lösungen gefunden werden. Sie bestehen häufig darin, dass die Instandsetzung auf das Allernotwendigste beschränkt wird. Gerade auch aus den Gründen der Bestandssicherung und des Werterhalts erfordern diese Bereiche immer besondere bauphysikalische Aufmerksamkeit. Die hierfür notwendigen Differenzierungen und Nachweise sind im EnerPhit-Standard (Feist 2012) auf vorbildliche Art und Weise ausformuliert.

Der Passivhausstandard war eines der ersten Energiekonzepte, in dem eine Primärenergiebewertung eingeführt wurde. Bereits in der ersten Auflage des Passivhaus-Projektierungs-Pa-

kets 1997 war ein entsprechendes Berechnungsblatt integriert. Als Indikator wurde die nicht erneuerbare Primärenergie verwendet, weil sie am ehesten als Leitgröße für Umweltbelastungen und Ressourcen-Inanspruchnahme von Energieträgern geeignet erschien (vgl. [Feist 1998], S. VIII/3 ff.).

Die Bestimmung des Grenzwertes von 120 kWh/m²a für alle Energiedienstleistungen im Gebäude (Heizen, Lüften, Kühlen, Warmwasser, Hilfsstrom und alle sonstigen Stromwendungen im Gebäude) erfolgte u.a. anhand der Überlegung, dass er nicht höher liegen sollte, als der Primärenergiebedarf für Haushaltsstrom in einem einen vollständig ausgestatteten durchschnittlichen deutschen Haushalt. Das Passivhaus sollte insgesamt so effizient konzipiert werden, dass die sonstigen - bislang dominierenden - Energieanwendungen für Heizen, Lüften und Warmwasser ohne zusätzlichen Primärenergieaufwand mitenthalten sind (vgl. [Feist 1998], S. VIII/5 f.).

Obwohl man dies als eine mehr oder weniger willkürliche „Setzung“ interpretieren kann, hat sich der gewählte Grenzwert im Laufe der weiteren Passivhaus-Entwicklung als durchaus praxistauglich und zugleich zukunftsweisend erwiesen:

- Passivhäuser wurden mit einer großen Vielfalt an Versorgungssystemen realisiert. Ausgeschlossen wurden nur wenige ökonomisch und ökologisch fragwürdige Lösungen, z.B. eine ausschließlich direktelektrische Beheizung und Warmwasserbereitung.
- Sofern die hohen Anforderungen bzw. Empfehlungen im Hinblick auf die hohe Effizienz der Nutz- und Endenergie (z.B. Heizwärmebedarf, Warmwasserbereitstellung, Hilfsstrom und sonstiger Strombedarf, Konsequente Begrenzung der Wärmeverteil- und speicherverluste) erfüllt wurden, war in den meisten Fällen die Einhaltung des Primärenergiekriteriums kein Problem mehr.
- Trotz dieser großen Spannweite an Lösungsansätzen erfüllen Passivhäuser die strengen Anforderungen im Neu-

bau und im Bestand (EnerPhit-Standard bzw. schrittweise Modernisierung mit Passivhaus-Komponenten), die aus der Perspektive des Klimaschutzes zu stellen sind. Der entscheidende Aspekt hierbei ist die hohe energetische Qualität der Bau- und Technikkomponenten. Gleichzeitig ist auf der Versorgungsseite ein konsequenter Ausbau der erneuerbaren Energien erforderlich (vgl. Vallentin 2011, S.IV-140 ff. und Vallentin 2012a, S. 60 ff.).

In diesem Zusammenhang ist die im Vergleich zum sonstigen Gebäudebestand völlig andere Heizstruktur von Passivhäusern durchaus aufschlussreich: Während im Bestand fossile Energieträger mit etwa 80 % dominieren, weisen Passivhäuser hohe Anteile bei Wärmepumpen (ca. 50%) und Biomasseheizungen (ca. 20%) auf. Ergänzend besitzen mehr als die Hälfte der Passivhäuser thermische Solaranlagen bzw. PV-Anlagen (vgl. AKkPH Nr. 38, S. 113). Eine hohe Gebäudeeffizienz steht somit nicht im Widerspruch zum Einsatz erneuerbarer Energiesysteme. Eher scheint zu gelten, dass die geringen Bedarfswerte entscheidend dazu beitragen, dass auf regenerative Energien gestützte Versorgungssysteme konzeptionell und ökonomisch attraktiv werden (vgl. Feist 2013).

Bis heute ein Alleinstellungsmerkmal von Passivhäusern ist die konsequente Einbeziehung sämtlicher Stromwendungen in der Primärenergiebilanz. Diese Festlegung ist sinnvoll, weil physikalisch korrekt und verursachergerecht bilanziert. Ferner ist nur so eine zutreffende Bestimmung der internen Lasten (Kühlfall) bzw. der internen Gewinne (Heizfall) möglich. Hinzu kommt ein Aspekt, der in Zukunft eine immer größere Rolle spielen wird: Der Ausbau der erneuerbaren Energien erfolgt schwerpunktmäßig im Bereich der Stromerzeugung. Für eine zutreffende Bilanzierung von Gebäuden wird somit eine vollständige Berücksichtigung der Stromwendungen immer wichtiger. Dies auch, weil künftig viele der heute brennstoffgestützten Anwendungen stromgestützt erfolgen werden (z.B. Wärmepumpen, Warmwasserbereitung, Elektromobilität).

Spätestens mit der Konferenz von Rio 1990 sind die Themen einer nachhaltigen Entwicklung und des Klimaschutzes auf internationaler Ebene etabliert und damit wichtiger Bestandteil einer globalen Bewusstseinsbildung geworden. Für die Enquete-Kommission des 11. deutschen Bundestages „Vorsorge zum Schutz der Erdatmosphäre“ hat das IWU die Studie „Der künftige Heizwärmebedarf der privaten Haushalte“ (Ebel et al. 1996) erarbeitet. Darin wird aufgezeigt, dass mit dem konsequenten Einsatz von Niedrigenergiekomponenten im Neubau und bei der energetischen Modernisierung des Bestandes eine deutliche Absenkung des Energiebedarfs des Wohngebäudeparks möglich gewesen wäre. Diese Chance wurde jedoch nicht genutzt. Erst mit einer Verspätung von 20 Jahren wird mit der Energieeinsparverordnung 2016 nun ein entsprechendes Niveau gesetzlich gefordert.

Inzwischen ist der Einsatz von Niedrigenergiekomponenten für das Erreichen der Klimaschutzziele bei weitem nicht mehr ausreichend. Daraus resultiert das „Dilemma der mittleren Qualität“ (Vallentin 2010): Heute sind hohe Qualitäten in der Güte von Passivhaus-Komponenten (oder besser) notwendig, um die seit 1995 deutlich gestiegenen Anforderungen an einen Klimaschutzstandard zu erfüllen. Werden - wie immer noch üblich - nur die gesetzlich geforderten mittleren Qualitäten eingesetzt, stellt dies aufgrund der langen Standzeiten der Bau- und Technikkomponenten eine verpasste Chance dar, die so schnell nicht wiederkehrt. Selbst nach Ablauf der Nutzungsdauer können diese Baukonstruktionen mittlerer Qualität nicht mehr wirtschaftlich auf ein hohes Niveau verbessert werden. Hintergrund ist, dass die Energiepreise nicht beliebig ansteigen werden. Der Einsatz mittlerer Qualität steht daher einer wirksamen Klimaschutzstrategie substanziell im Wege und ist auch später kaum mehr korrigierbar (sog. „Lock-in-Effekt“).

Mit dem energieautarken Solarhaus (1992 - 1996) des ISE Freiburg wurde anhand eines Experimentalbaus der Nachweis erbracht, dass eine ausschließlich erneuerbare Energieversor-

gung sogar ohne Netzanschluss funktionieren kann. Die energetische Qualität der konventionellen Komponenten entsprach in etwa dem Passivhausstandard, hinzu kamen TWD-Fassaden und eine spezielle Haustechnik. Das Problem der „Winterlücke“ wurde hier zum bestimmenden Thema: Für die Nutzung der Solarenergie im Winter war ein aufwändiges Speichersystem (Elektrolyse und Wasserstoffspeicher) notwendig.

Ebenfalls aufbauend auf dem Passivhauskonzept gelang Rolf Disch ab 1994 mit seinen Plusenergiehäusern und -siedlungen ein wegweisender und deutlich praktikablerer Schritt in Richtung einer 100%-erneuerbarer Energieversorgung. Die Gebäude weisen einen Netzanschluss und südorientierte Energiedächer auf, die vollständig mit Fotovoltaikmodulen belegt sind. Damit ist ein bilanzieller Jahres-Überschuss der Stromerzeugung in Bezug auf den Strombedarf erreichbar, sofern die Bebauung nicht mehr als drei bis vier Geschosse aufweist.

In Deutschland ist spätestens seit dem Jahr 2000 absehbar, dass ein Umbau des Energiesystems weg von den nuklearen und fossilen Risikotechnologien bevorsteht. Konkret kann dies an der Einführung des Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) und dem Beschluss zum Ausstieg an der Atomenergienutzung belegt werden. Die Dynamik des Ausbaus der erneuerbaren Energien ist in den Folgejahren fast durchgängig stärker ausgefallen, als selbst in den optimistischen Prognosen angenommen. (In anderen Ländern verlief diese Entwicklung jedoch weniger konsequent, z.T. sogar gegenläufig dazu).

Dies hat natürlich direkte Konsequenzen für die Energieversorgung des Gebäudeparks. Am augenscheinlichsten wird dies an der stetigen Absenkung der Primärenergiefaktoren für Strom von 3,0 über 2,7 und 2,4 auf künftig 1,8 **(2)**.

Eine einfache Antwort - wie vom Autor 2008 vorgeschlagen - wäre gewesen, den Primärenergiekennwert von Passivhäusern ab 2010 auf 100 kWh/m²a zu reduzieren und danach in

regelmäßigen Zeitabständen (z.B. alle 5 oder 10 Jahre) weiter abzusenken (Vallentin 2008).

Damit kann man jedoch nicht die grundlegenden Mängel der Bewertung auf der Basis der nicht-erneuerbaren Primärenergie in der bisherigen Form einer „Momentaufnahme“ beheben:

- Aktuelle Primärenergiefaktoren (z.B. bezogen auf das Baujahr) sind nicht in der Lage die Dynamik des Energiesystems abzubilden. Das gilt insbesondere für die Bereitstellung von Netzstrom und könnte künftig auch für den Bezug von Netzgas gelten, wenn hier höhere Anteile regenerativ erzeugten Wasserstoffs oder Methans (Biogasanlagen, „power-to-gas“-Anlagen) eingespeist werden.
- Aufgrund der Komplexität des Energiesystems ist eine Einschätzung der künftigen Entwicklung auf szenariengestützte Modelle angewiesen. Aufgrund der langen Lebensdauern der Bau- und Technikkomponenten sind hier Zeithorizonte von 30 - 80 Jahren zu betrachten. Es ist klar, dass die in den Szenarien getroffenen Aussagen vor allem von darin getroffenen Prämissen und Annahmen abhängig sind. Die tatsächliche Entwicklung wird daher immer mehr oder weniger von den Szenarienbildungen abweichen.
- Als Ausweg bleibt dann nur, mehrere Szenarien nebeneinander zu entwickeln, die verschiedene potenzielle Zukunftsentwicklungen abbilden. Auf dieser Basis kann dann eine Risikobewertung anhand eines Szenarienvergleichs vorgenommen werden.
- Eine Nichtberücksichtigung der erneuerbaren Anteile der Primärenergie hat u.U. zur Folge, dass mangelnde Effizienz durch den Mehreinsatz von erneuerbaren Energieträgern ausgeglichen wird. Besonders fatal ist dies bei den Biomasseheizungen, weil dann ein wertvoller, speicherfähiger Energieträger in ineffizienten Systemen gebunden wird und für sinnvollere und strategisch wichtige Anwendungen nicht mehr zur Verfügung steht.
- Möchte man die erneuerbaren Anteile in die Bewertung mit einbeziehen ist unklar, mit welcher Methode sie kalkuliert werden sollen. In Deutschland kam bis 1994 die Substitutionsmethode zum Einsatz. Dabei wird Strom aus Kernkraft und aus regenerativen Quellen (keine Brennstoffe) der durchschnittliche Primärenergieaufwand von Strom aus fossilen Kraftwerken angerechnet.
- Bei der heute üblichen Wirkungsgradmethode wird für Kernkraft ein definitorischer Wirkungsgrad von 33% verwendet. Ins Netz eingespeister Strom aus Wind- und Wasserkraft sowie Fotovoltaik wird mit einem definitorischen Wirkungsgrad von 100% belegt. Bei einer Bewertung der gesamten Primärenergie mit dieser Methode wird somit der Anteil erneuerbar erzeugten Stroms systematisch unterbewertet.
- Sobald der Anteil regenerativ erzeugten Stroms auf über 50 ... 80 % ansteigt, wird es unvermeidlich, Überschussstrom aus Windkraft und Fotovoltaik saisonal zu speichern, um das Erzeugungsdefizit im Winter auszugleichen. Dies könnte in Deutschland ab etwa 2030 der Fall sein.
- Ab diesem Zeitpunkt ist der Aufwand für die Speicherung in der primärenergetischen Bewertung zu berücksichtigen, weil mit hohem energetischen und finanziellen Aufwand verbunden. Zu erfassen ist neben den eigentlichen Speichertechnologien auch der notwendige Aufbau zusätzlicher Erzeugungskapazitäten.
- Offen ist ferner, in welcher Art und Weise direkt am Gebäude bzw. auf dem Bau- bzw. Siedlungsgrundstück erzeugte regenerative Wärme oder Strom in der Primärenergiebilanz berücksichtigt werden sollen. Hier stimmen der zeitliche Verlauf von Bedarf und Erzeugung noch weniger überein als in den netzgestützten Systemen. Daher ist zu entscheiden, ob und auf welcher methodischen Grundlage eine (teilweise) Verrechnung gerechtfertigt ist, oder ob es angemessener ist, Bedarf und Erzeugung ohne Wertung und Verrechnung nebeneinander zu stellen.

Die genannten Punkte führen dazu, dass die Primärenergiebewertung von Gebäuden früher oder später grundlegend zu überarbeiten ist.

Hierzu hat das Passivhaus-Institut ein neues Bewertungssystem in Form des PER-Modells und den neuen Passivhaus-Klassen entwickelt (vgl. Feist 2014; Grove-Smith/Feist 2015; Krick 2015). Es ist seit 2015 in das Passivhaus-Projektierungs-Paket, d.h. ab Version 9, als neues Nachweisverfahren eingeführt. Der neue Ansatz ist radikal und stellt einen grundlegenden Systemwechsel dar.

Der Grundgedanke besteht darin, Passivhäuser in einem Energiesystem zu bewerten, in dem die Wärme- und Stromerzeugung vollständig erneuerbar erfolgt. Damit kommt ein fiktional Element ins Spiel. Einerseits resultieren daraus substantielle strategische Vorteile, andererseits wirft dieser Aspekt auch erste kritikwürdige Probleme auf:

- Das PER-Modell kann ohne spekulative Annahmen die Bedingungen abbilden, die bei einer 100%-erneuerbaren Energieversorgung herrschen. Dadurch wird eine Unabhängigkeit gegenüber den in immer kürzeren Zeitschritten notwendigen Anpassungen und Änderungen der üblichen Bewertungssysteme gewonnen.
- Für den Klimaschutz ist es entscheidend, die existierenden Energiesysteme mit dem Ziel einer nachhaltigen Dekarbonisierung nach und nach umzubauen. Dies erfolgt am besten im Rahmen anstehender Instandsetzungs- und Erneuerungszyklen. Die Besonderheiten der Ausgangssituation (Erzeugungsstruktur, Pfadabhängigkeiten) spielen eine entscheidende Rolle bei der Gestaltung der entsprechenden Transformationspfade.

Zusätzlich ist zwischen dem PER-Modell im engeren Sinne (das z.B. als finales Szenario interpretiert werden kann) und seiner Verwendung als Bewertungsinstrument im Kontext der neuen Passivhaus-Klassen zu unterscheiden:

- Ein Szenario kann durchaus ohne Realitätsbezug entwickelt werden, um einen künftigen Zielzustand abzubilden. In der Folge können Handlungsoptionen dahingehend beurteilt werden, ob sie in Übereinstimmung mit diesem Endzustand stehen oder nicht.
- Theoretisch ist es möglich diesen Zielzustand vorerst ohne ein normativ begründetes Motiv zu definieren.
- Dann (und nur dann) dient das Szenario als Erklärungsmodell einem Erkenntnisinteresse und steht im Sinne wissenschaftlicher Autonomie für sich.
- An dieser Stelle kommt die „Sein-Sollen-Scheidung“ **(3)** ins Spiel: Es ist nicht möglich direkt aus einem wertfreien Erklärungsmodell Anforderungen für ein wünschenswertes oder moralisch richtiges Handeln abzuleiten. Hierzu sind weitere Begründungen notwendig, die auf einer ethischen Positionierung aufbauen (z.B. in Bezug auf eine Gerechtigkeitskonzeption von Nachhaltigkeit, vgl. Ott/Döring 2011).
- Die Bestimmung von Anforderungsprofilen (z.B. Grenz- und Zielwerte, Klassenbildungen) erfordert schlüssige Argumente mit engem Bezug auf diese Positionierung. Sie können (nur) auf dieser Basis einer Kritik unterzogen werden.
- Auffällig ist, dass immer dann, wenn Ressourcengerechtigkeit eine Rolle spielt, ein abrupter Wechsel von der natur- zur geisteswissenschaftlichen Sphäre stattfindet.
- Einen objektiven Maßstab zur Prüfung (wie in den Naturwissenschaften mit gewissen Einschränkungen möglich) wird man hier vergeblich suchen: Man begibt sich auf das offene Feld der praktischen Philosophie und muss es aushalten, dass eine Beschäftigung mit ihren Fragen nicht immer zu eindeutigen Lösungen führt.
- Dies hat letztlich zur Konsequenz, dass in einem solchen Prozess die (Selbst-)Kritik einen hohen Rang einnimmt, sofern man eine irrationale Herangehensweise ablehnt. Bei aufrichtiger Betrachtung steht uns ohnehin kein anderer Weg zur Verfügung, um Antworten für die sich uns stellenden Fragen und Herausforderungen zu finden **(4)**.

1 Einführung und grundlegende Fragen

1.1 Ausgangslage

Die Diskussion über angemessene Energiestandards wird derzeit mit neuer Heftigkeit geführt – zumeist in Form einer Gegenüberstellung: Erneuerbare versus Effizienz. Hintergrund ist die EU-Gebäude-Effizienzrichtlinie (EPBD), die unterschiedliche nationale Interpretationen und Ausrichtungen ausdrücklich zulässt. Alle Neubauten sollen ab 2020 als „Nearly-Zero-Energy-Buildings“ ausgeführt werden, für öffentliche Gebäude wird dies bereits ab 2018 gefordert. Die genaue Festlegung der neuen nationalen Standards soll auf Grundlage von Kostenoptimalitätsstudien erfolgen.

Wenig verwunderlich, dass nun ein Streit um die Deutungshoheit ausgebrochen ist. Neben den unter Architekten und der Wohnungswirtschaft verbreiteten Meinungen, die bereits die existierenden gesetzlichen Anforderungen für ökonomisch und ökologisch fragwürdig einschätzen, existiert ein anderer Ansatz, der über eine ganzheitliche Herangehensweise die „Engführung“ der Energiefrage im Konzept der Nachhaltigkeit „überwinden“ und (zu) hohe energetische Anforderungen an die Energieeffizienz relativieren möchte.

Leider findet diese Auseinandersetzung häufig nicht in der Form einer rationalen Kritik über Argumente und nachvollziehbare Untersuchungen statt, sondern eher emotional, z.B. in diskriminierender öffentlicher Abwertung konkurrierender Konzepte. Speziell zu den Themen Wärmedämmung - Gebäudehülle - Lüftung – (regenerative) Energieversorgung führen Architekten und Fachplaner eine Debatte, die den Eindruck erweckt, als wären hier grundsätzliche Fragen nicht geklärt. Die Diskussion erinnert an diejenige im Vorfeld der Wärmeschutzverordnung 1995. Damals stellten sich Architekturprofessoren

gegen die ihrer Meinung nach „aufkotroyierten Superdämmungen“ und gegen die damals neue energetische Berücksichtigung von Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung im öffentlich-rechtlichen Nachweisverfahren.

Im Zuge dieser Auseinandersetzung ist das gut begründete Passivhauskonzept in die Defensive geraten und sieht sich immer neuen Angriffen ausgesetzt. Als Antwort auf die Herausforderungen der Energiewende hat nun das Passivhaus-Institut seinerseits einen neuen Ansatz zur Bewertung des Primärenergieaufwandes entwickelt. Dabei wird versucht eine Antwort auf zwei Herausforderungen zu geben:

- Die sich auch für Passivhäuser neu stellenden Fragen der Energiewende, speziell die Bedeutung der Effizienz in einer erneuerbaren Energieversorgung.
- Konkurrierende Konzepte, die behaupten, einen „Fortschritt“ gegenüber dem bisherigen Passivhauskonzept darzustellen (z.B. Aktivhaus, Sonnenhaus, DGNB).

1.2 Gedankenexperiment

Die PER-Bewertung hat den Charakter eines Gedankenexperiments (vgl. [Bertram 2012]). Es wird eine mehr oder weniger künstliche Situation geschaffen, in der ein bestimmter interessierender Aspekt besonders hervortritt oder eine zunächst unlösbar erscheinende Frage so gestellt wird, dass sie einer Entscheidung zugeführt werden kann. Ein besonders prägnantes Beispiel ist John Rawls „Schleier des Nichtwissens“ in seiner Theorie der Gerechtigkeit (vgl. [Rawls 1979], S. 159 ff.).

Im Falle der PER-Bewertung geht es um das Durchdenken der Konsequenzen einer vollständig erneuerbaren Energieversor-

gung im Hinblick auf die künftigen energetischen Anforderungen an Gebäude. Es handelt sich um ein finales Szenario, in dem das künftig Wünschenswerte vorweg genommen wird, um dann Maßstab einer neuen Bewertung zu werden.

Das PER-System basiert einerseits auf einem kontrafaktischen Szenario, weil die Realität der heutigen „Energiewelt“ immer noch dominant auf fossilen Energieträgern und Kernkraft gestützt ist. Es ist derzeit nicht absehbar bis wann die Transformation hin zu einer überwiegend erneuerbaren Energieversorgung Wirklichkeit werden könnte (frühestens wohl 2050 – 70). Andererseits kann das PER-Modell als Zielszenario interpretiert werden, weil die eingeleitete Energiewende und die jüngsten Klimaschutzvereinbarungen in Paris zumindest einen internationalen Willen aufzeigen, langfristig eine Energieversorgung ohne fossile Energieträger anzustreben. Allerdings ist es ein Szenario im Endzustand oder besser: ein Szenario ohne Weg: Der steinige Weg der Transformation der Energiesysteme wird darin konsequent ausgeblendet.

Der Vorteil dieses Gedankenexperiments besteht darin, dass spekulativen Annahmen (z.B. zur Entwicklung der Heiz- und Stromerzeugungsstruktur, der Nutzflächen, der Bevölkerung und der Wirtschaft), die bei den üblichen Transformations-Szenarien unvermeidlich zu treffen sind, keine substantielle Rolle mehr spielen. Es ist nun möglich, sich auf das Wesentliche zu konzentrieren:

- Wie kann eine 100%-erneuerbare Energieversorgung funktionieren?
- Welche speziellen Randbedingungen herrschen dort?
- Welche Konsequenzen ergeben sich daraus für Gebäude, Siedlungen sowie Stadtquartier und deren Versorgungssysteme?

Das PER-Modell erweist sich insbesondere im Hinblick auf folgende Aspekte als ein aussagekräftiges Erklärungsmodell:

- Es wird ein Grundverständnis geweckt, welche Wechselwirkungen zwischen Gebäude(-park) und erneuerbarer Energieversorgung bestehen, z.B. die „Winterlücke“ und die Notwendigkeit einer saisonalen Energiespeicherung. Die überragende Rolle der Energieeffizienz tritt klar hervor, sofern eine erneuerbare Versorgung kulturverträglich und mit vertretbarem wirtschaftlichem Aufwand aufgebaut werden soll.
- Der Beitrag der erneuerbaren Energieerzeugung am Gebäude wird wichtiger Teil der Bewertung und auf die eigentlich knappe Ressource der bebauten Fläche bezogen.
- Bioenergie wird als besonders wertvolle und zugleich knappe Ressource behandelt.
- Die strategische Rolle stromgestützter Wärmeversorgungen wird herausgearbeitet.
- In den Passivhaus-Klassen erfolgt eine kombinierte Betrachtung von Energiebedarf und Energieerzeugung am Gebäude, die dem Anspruch einer ganzheitlichen Bewertung im Sinne von „energetischer Nachhaltigkeit“ entgegen kommt.

1.3 Klimaschutz als Prüfstein

Aus der Perspektive künftiger Energiestandards sind der Klimaschutz sowie die Frage der Energiegerechtigkeit und Überwindung der Armut die gravierendsten und drängendsten Nachhaltigkeitsprobleme, nicht jedoch die Begrenztheit nuklearer oder fossiler Energieträger:

- Wenn man die Wahrscheinlichkeit das international vereinbarte 2-Grad-Ziel zu überschreiten unter 25 % halten möchte, dürfen die globalen CO₂-Emissionen im Zeitraum 2000 - 2050 nicht höher als 1.000 Gt liegen (vgl. Meinhäuser et al. 2009).
- Die CO₂-Emissionen bei energetischer Nutzung der bis 2050 sicher förderbaren fossilen Energieträger liegen hin-

gegen wenigstens um einen Faktor zwei, die der vermuteten Ressourcen sogar um einen Faktor 120 darüber (vgl. WBGU 2011, S. 122).

- Bei den erneuerbaren Energieträgern - speziell Biomasse und Wasserkraft - sind aus Nachhaltigkeitssicht deutliche Grenzen der Verfügbarkeit vorhanden, z.B. bei Nahrungsmittelsicherheit, Nutzungskonkurrenzen, Natur- und Landschaftsschutz (vgl. WBGU 2009).

Die Bestimmung von konkret umsetzbaren Klimaschutzzielen für einzelne Länder und weiter aufgegliedert in Sektoren kann jedoch nicht mit naturwissenschaftlichen Methoden erfolgen. An dieser Stelle werden vielmehr Gerechtigkeitsmodelle benötigt, die eine Zuordnung der zulässigen Treibhausgas-Emissionen für einzelne Länder über einen vorgegebenen Zeitraum erlauben. Auf dieser Basis können entsprechend differenzierte Minderungspfade und zeitbezogene Klimaschutzziele ermittelt werden. Je nach Gerechtigkeitsansatz (z.B. C&C, CDC, WBGU-Budgetansatz, GDR, Global Triptych, Multistage) fallen die jeweils zeitbezogenen Klimaschutzziele bzw. Minderungsanforderungen und die dadurch mehr oder weniger vorgegebenen Emissionspfade sehr unterschiedlich aus (vgl. Höhne / Moltmann 2009).

Für einen Klimaschutzpfad gemäß dem Gerechtigkeitsmodell „Contraction and Convergence 2050“ (vgl. Meyer 2000) sind für eine Einhaltung des o.g. Klimaschutzziels die jährlichen Pro-Kopf-CO₂-Emissionen ausgehend von den heutigen Ausgangswerten in allen Ländern bis 2050 auf 1,0-1,5 t abzusinken. Derzeit liegen diese in Deutschland bei ca. 10 t.

Betrachtet man anstelle der CO₂-Emissionen sämtliche Treibhausgase (z.B. in Form von CO₂-Äquivalenten) und bezieht zusätzlich den Konsum von im Ausland hergestellten Produkten mit ein, ergeben sich mit ca. 18 t deutlich höhere Werte (vgl. Steiniger et al. 2015).

Kalkuliert man das Klimaschutzziel auf der Grundlage des o.g. Budgets gemäß dem Modell „zukünftige Verantwortung“ des WBGU für Deutschland sind die CO₂-Emissionen im Zeitraum 2010 - 2050 auf maximal 9000 Mio t zu begrenzen (vgl. WBGU 2009a, S. 28). Dies ergibt umgerechnet für die privaten Haushalte Deutschlands (unter der Annahme einer Bevölkerung von i.M. 75 - 80 Mio und einem konstanten Anteil von 25 % an den Gesamtemissionen) ein CO₂-Budget für den Zeitraum 2010 - 2050 von ca. 25 -30 t pro Person.

Anhand szenariobasierter Untersuchungen (vgl. Vallentin 2011, S. IV-1 ff.) lässt sich eingrenzen, welche Anforderungen sich für die Klimaschutzstandards in Neubau und Bestand ergeben. Im Klimaschutzszenario liefern bei konsequenter Anwendung des Kopplungsprinzips Effizienzverbesserungen und der Ausbau erneuerbarer Energien in etwa gleich große Treibhausgas-Reduktionsbeiträge. Hinsichtlich der Gebäudeeffizienz entsprechen die Klimaschutzstandards im Neubau in etwa der Güte des Passivhausstandards und dem EnerPhit-Standard für energetische Modernisierungen. Es sind selbstverständlich auch andere Konzeptansätze möglich, sofern die Effizienz- und Klimaschutzanforderungen gem. Tab. 4 erfüllt werden (z.B. Konzept der 2000-Watt-Gesellschaft).

Die Anforderungen an den Klimaschutz sind eine große Herausforderung, weil das Zeitfenster um den Scheitelpunkt zu erreichen, an dem eine Stabilisierung der Klimagasemissionen stattfindet um danach eine wirksame Minderung einzuleiten, mit 10-15 Jahren nicht mehr sehr groß ist. Derzeit steigen die Treibhausgasemissionen immer noch stark an (inzwischen über 50 % Mehrausstoß seit 1990). Wird dieser Zeitpunkt weiter hinausgezögert, sind die dann notwendigen Minderungsanforderungen für ein Erreichen des 2-Grad-Ziel in den darauf folgenden Jahrzehnten derart groß, dass sie sowohl technisch als auch ökonomisch kaum mehr umsetzbar einzuschätzen sind (vgl. Meishausen et al. 2009).

1.4 Biomasse als begrenzt verfügbare Ressource

Die Biomassenutzung hat eine spezielle Stellung in einem erneuerbaren Energiesystem. Die möglichen Anwendungen sind einerseits besonders vielfältig; andererseits existieren komplex zu bewertende Restriktionen für den weiteren Ausbau, z.B. im Hinblick auf Nahrungsmittelsicherheit, Natur- und Landschaftsschutz. Die Bestimmung der energetisch nachhaltig nutzbaren Potenziale setzt somit immer voraus, sich sowohl mit den Verfügbarkeitsgrenzen als auch den konkurrierenden Anwendungsmöglichkeiten auseinander zu setzen (vgl. WBGU 2009) und (Vallentin 2012a, S. 67 ff.).

Trotz der stark unterschiedlichen Angaben in der Literatur zu den energetischen Biomassepotenzialen, existiert ein Grundkonsens in der (Nachhaltigkeits-)Wissenschaft, der vor allem die Problematik der Nahrungsmittelsicherheit und der Landnutzungsänderungen betrifft:

- Erste Priorität hat die Nahrungsmittelsicherheit. Eine intensive energetische Nutzung von Biomasse kann in Konkurrenz zu der Produktion von Lebensmitteln geraten. Folge ist ein Anstieg der Preise, der immer besonders die Armen in den Entwicklungs- und Schwellenländern trifft. Das gilt vor allem dann, wenn dies Grundnahrungsmittel wie z.B. Getreide oder Mais betrifft. In diesem Zusammenhang ist auch das sog. „landgrabbing“, d.h. die Spekulation mit land- bzw. forstwirtschaftlich nutzbaren Böden kritisch zu sehen, weil dies häufig auf Kosten der Lebensräume der ansässigen Bevölkerung (z.B. indigener Völker) oder einer funktionierenden Subsistenzwirtschaft erfolgt.
- An nächster Stelle steht der Natur- und Landschaftsschutz. Problematisch ist vor allem der Anbau auf zuvor existierenden Feuchtgebieten und Tropenwäldern, weil diese bedeutende Kohlenstoffsinken darstellen, deren Zerstörung mit großen Treibhausgasemissionen verbunden ist.

- Eine stoffliche Nutzung sollte Vorrang vor einem Einsatz als Brennstoff haben. Die Verwendung von Biomasse (z.B. Holz, Holzwerkstoffe, Stroh) in Baukonstruktionen kann in diesem Zusammenhang als Kohlenstoffspeicherung interpretiert werden.
- Erst dann kann eine energetische Nutzung ins Auge gefasst werden. Alleinstellungsmerkmal der Biomasse ist, dass sie ein vergleichsweise einfach produzierbarer speicherfähiger Energieträger ist. Eine Nutzung in KWK-Systemen ist gegenüber der getrennten Stromerzeugung und Verbrennung in Heizsystemen zu bevorzugen, sofern die Netzverluste der Fern- bzw. Nahwärme gering gehalten werden können.

Erste Abschätzungen des energetisch nutzbaren Biomassepotenzials in Deutschland und weltweit ergeben nutzflächenbezogene Kennwerte von 10 - 25 kWh/m²a und personenbezogene Kennwerte von 500 - 1250 kWh/P a (vgl. Vallentin 2012a, S. 40 + S.70).

Eine mögliche Antwort auf diese Problematik besteht darin, ein Biomasse-Budget zu definieren, das zum Ziel hat, möglichst wenig Biomasse für energetische Zwecke zu nutzen. Nikolaus Diefenbach hat 2002 einen einfach umsetzbaren Vorschlag auf der Basis nicht-erneuerbarer Primärenergie gemacht:

„Wenn Biomasse einerseits ein umweltfreundlicher, regenerativer Energieträger und andererseits ein knappes Gut ist, so kann diesem Umstand Rechnung getragen werden, indem für den jeweiligen Anwendungsfall ein Biomasse-Budget festgelegt wird, welches sich an den längerfristigen Verfügbarkeit der Biomasse orientiert. So lange wie dieses Budget noch nicht aufgebraucht ist wird Biomasse als regenerativer Energieträger behandelt ($f_p \approx 0,1$). Die Anteile des Brennstoffbedarfs, die das Budget überschreiten, werden dagegen mit dem Primärenergiebedarf des dann substituierten Brennstoffs zugerechnet ($f_p \approx 1,1$)“ (Diefenbach 2002, S. 7).

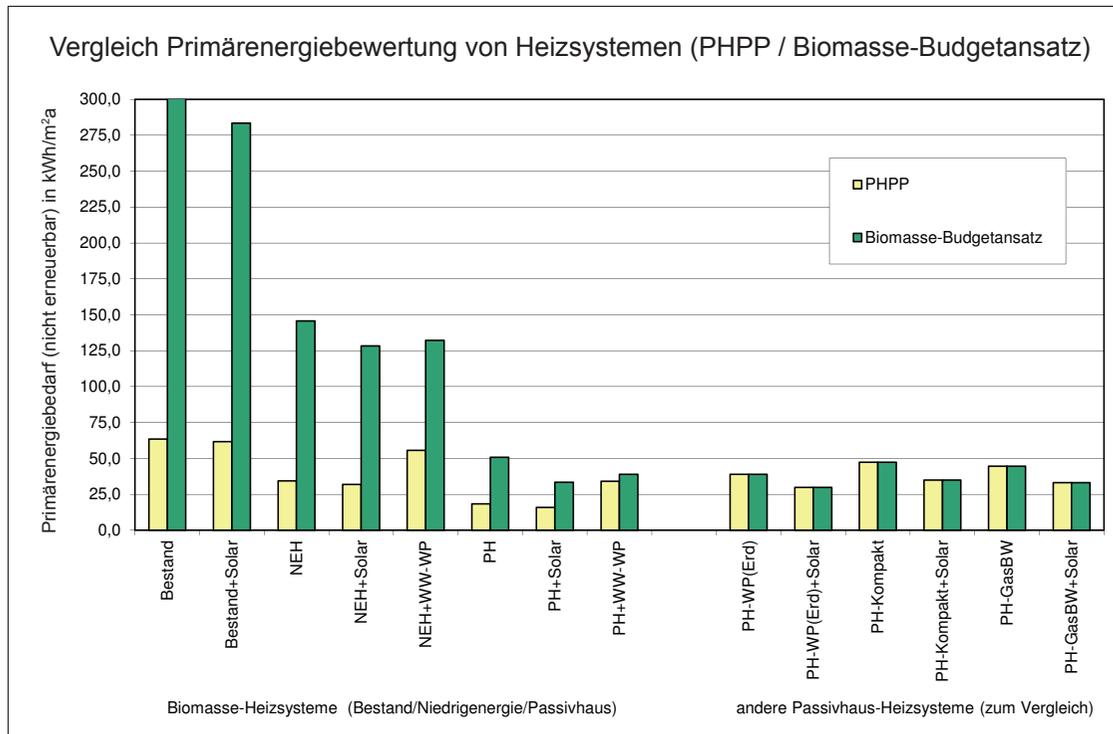


Abbildung 1:
Bestimmung von Primärenergiefaktoren mit und ohne Biomasse-Budgetmethode für nicht-erneuerbare Primärenergie. Quelle und weitere Erläuterungen: (Vallentin 2012a, S. 71)

In Abbildung 1 wird ein Vergleich zwischen der bislang üblichen Bewertung (z.B. EnEV und PHPP bis Version 8 (mit einem generellen f_p -Faktor von 0,2) und der Biomasse-Budgetmethode gemäß dem Vorschlag von (Diefenbach 2002) bei einem Budgetansatz von 25 kWh/m²a (15 kWh/m²a für Heizen und 10 kWh/m²a für Stromanwendungen) gegenübergestellt. Es ist erkennbar, dass bei Anwendung des Budgetansatzes besonders hohe Werte in mit Biomasse versorgten Gebäuden mit hohem Heizwärmebedarf, z.B. unsanierter Bestand oder Niedrigenergiehäuser (NEH) resultieren. Selbst bei Passivhäusern schneiden nun Biomasseheizungen nicht besser ab, als sonstige effiziente Versorgungslösungen (siehe Vergleich mit den Referenzsystemen auf der rechten Hälfte der Abbildung 1).

Im PER-Modell wird diese Argumentation aufgenommen und in abgewandelter Form in das PER-System integriert. Für den Gebäudebereich wird ein generelles Biomasse-Budget von 20 kWh/m²a definiert, das als erneuerbare Primärenergie vertraglich mit den o.g. Nachhaltigkeitsanforderungen eingesetzt werden darf. Weil Biomasse sowohl in Heizungen, Kraftwerken und KWK-Anlagen genutzt werden kann und zudem ein wertvoller speicherbarer Energieträger ist, wird diese in allen Versorgungsvarianten als „Basisbeitrag“ mit dem besonders niedrigen PER-Faktor von 1,1 für Biomasse berücksichtigt. Das Biomasse-Budget wird in der Reihenfolge Heizung, Warmwasser im Winter, Haushaltsstrom solange „abgearbeitet“ bis der PER-Wert von 20 kWh/m²a erreicht ist. Erst danach werden die höheren PER-Faktoren der tatsächlich gewählten Versorgungslösung in Ansatz gebracht (vgl. Krick 2015, S. 403). Wird im PER-Modell das Gebäude mit Biomasse versorgt, wird der Brennstoffbedarf, der über dem Biomasse-Budget liegt, mit dem PER-Faktor für Strom zu Heizzwecken ($f_{PER} \approx 1,8$) multipliziert, um hier einen Lenkungseffekt hin zu einer effizienter Nutzung dieses Energieträgers zu erreichen.

Erkennbar ist jedoch, dass diese Lenkungswirkung bei der Methode gemäß Vorschlag (Diefenbach 2002) sehr viel größer ist (Unterschied Faktor 11), als im PER-Modell (Faktor 1,6).

1.5 Notwendigkeit einer Energiespeicherstruktur

Weil in einer 100% erneuerbaren „Energiewelt“ Strombedarf und -erzeugung nicht deckungsgleich erfolgen können, ist immer davon auszugehen, dass auf verschiedenen Zeitskalen ein Ausgleich über eine Zwischenspeicherung stattfinden muss. Hintergrund ist, dass bei der Stromversorgung die Erzeugung zeitgleich dem Bedarf folgen muss:

- 1 Auf einer extremen Kurzzeitebene (Millisekunden bis Minuten) geht es vor allem um die Netzstabilität und Kurz-

schlussfähigkeit. Bei der heutigen fossilen Stromerzeugung wird dies durch die Schwungmasse von Generatoren und Turbinen geleistet. Bei einer ausschließlich erneuerbaren Erzeugung sind hierfür vermutlich separate Komponenten notwendig, z.B. große Schwungradspeicher.

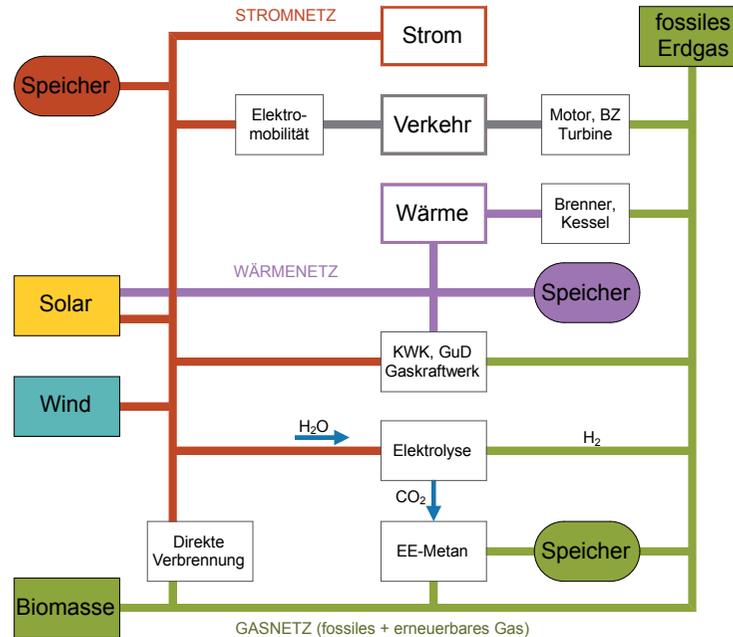
- 2 Auf einer Zeitebene von mehreren Minuten bis Stunden sind sog. Kurzzeitspeicher erforderlich, um das Auseinanderfallen von Bedarf und Erzeugung im Tagesverlauf auszugleichen. Eine hierfür typische Technologie stellen Pumpspeicherkraftwerke dar. Diese weisen Wirkungsgrade zwischen 75 und 83 % auf (vgl. Sterner et al. 2011, S. 12). Weitere Speichertechnologien stellen Batterien (Elektromobile, gebäudeintegrierte Batterien in Verbindung mit PV-Anlagen), Druckluftspeicher und die bereits erwähnten Schwungradspeicher dar (vgl. Feist 2013, S. 619).
- 3 Auf mittlerer bis saisonaler Zeitebene sind sog. Langzeitspeicher notwendig, die die Aufgabe haben das grundsätzliche Erzeugungsdefizit erneuerbarer Systeme in Phasen mit geringem Wind- und/oder Solarstromangebot auszugleichen. Derartige Perioden können wetterabhängig im ganzen Jahresverlauf stattfinden (sog. „Dunkelflauten“). Von besonderer Bedeutung ist hier in Nord- und Mitteleuropa jedoch der Kernwinter (sog. „Winterlücke“), weil hier regelmäßig ein Erzeugungsdefizit während mehrerer Wochen auftritt, das vor allem die Solarstromproduktion betrifft.

Während Punkt 1 bislang kaum Beachtung findet, ist Punkt 2 bereits heute wichtiger Bestandteil der Stromerzeugung. Mit Zunahme der erneuerbaren Anteile steigen auch die Ansprüche an die Kurzzeitspeicherung. Ein großes und gut vermaschtes Stromnetz erleichtert die Aufgaben des Lastausgleichs erheblich. Daher stellt auch der europäische Netzausbau eine Option dar. Der saisonalen Speicherung (Punkt 3) kommt in einer 100% erneuerbaren Energieversorgung künftig eine strategische Bedeutung zu, die zwar zunehmend erkannt wird, je-

doch technologisch noch ganz am Anfang steht. Derzeit werden hierzu unterschiedliche Systemansätze diskutiert:

- 3a Die einfachste Lösung bestünde darin, in ausreichenden Maße speicherfähige erneuerbare Energieträger, z.B. Biomasse, vorzuhalten. Aus Nachhaltigkeitsgründen ist die Verfügbarkeit von Biomasse jedoch begrenzt. Zudem ist derzeit Biomasse in ineffizienten Systemen (z.B. Holzheizungen in Gebäuden mit hohem Heizbedarf, z.T. auch in Form von Nahwärmeversorgungen) gebunden. Daher sind hier immer ergänzend zusätzliche Speichertechnologien erforderlich.
- 3b Ein weiterer Ansatz basiert auf den vorhandenen Speicherseen in Skandinavien – speziell in Norwegen. Deren Speicherkapazität liegt mit 116 TWh um einen Faktor 10 höher, als sämtliche Pumpspeicherkraftwerke und Speicherseen in Deutschland, Österreich und Schweiz zusammengekommen (vgl. Ess et al. 2012, S. 1). Aufgrund der langen Transportwege liegt der Wirkungsgrad mit 65 % geringer als in den Pumpspeicherkraftwerken (vgl. Sterner et al. 2011, S. 12). Besonders interessant ist die Verwendung der Speicherseen als virtueller Speicher. Dabei wird überschüssiger Wind- und Solarstrom aus Nordeuropa über Seekabel nach Norwegen bzw. Schweden geleitet und dort direkt verbraucht. In diesen Zeiten wird in Norwegen weniger bzw. kein Strom aus Wasserkraft erzeugt. Die Speicherseen werden geschont und deren Energiepotenzial kann dann zu einem späteren Zeitraum zur Deckung der Winterlücke außerhalb Skandinaviens zur Verfügung gestellt werden. Derzeit sind zwei HGÜ-Seekabelverbindungen zwischen Norwegen und Norddeutschland mit 2 x 1,4 GW Kapazität in der Planung (NorGer und Nord-Link). Gleichartige Verbindungen bestehen bereits zu Holland bzw. sind nach England geplant. Wollte man die saisonale Speicherung bei einer 100%-erneuerbaren Stromerzeugung Deutschlands nur über die skandinavischen Speicherseen bewältigen, wären Seekabel mit einer Kapa-

Abbildung 2:
Schematische Darstellung der
„Power-to-Gas-Strategie“ im
künftigen Energiesystem. Quelle:
(Vallentin 2012), S. 75, abgeändert
nach (Sterner et al. 2011), S. 19.



zität von mehr als 100 GW notwendig (vgl. Sterner et al. 2011, S. 12). Als alleiniger Ansatz kommt diese Option daher nicht in Frage.

- 3c** Eine Technologie, die derzeit nur in Ansätzen erprobt ist, ist die chemische Speicherung in Form von Wasserstoff und Methan. Sie ist unter den Bezeichnungen „power to gas“ oder „Windgas“ bzw. „EE-Methan“ bekannt. Hierbei wird Überschussstrom (z.B. Wind, Solar) verwendet, um über Elektrolyse Wasserstoff zu erzeugen, der direkt in das Erdgasnetz eingespeist wird. Aus technischen Gründen kann dies nur in geringem Umfang stattfinden. Daher ist es sinnvoll in einem zweiten Schritt unter Hinzufügung von CO₂ Methan zu produzieren, das ohne derartige Einschränkungen in das Erdgasnetz und in die bereits vorhandenen großen Kavernen eingelagert werden kann. Die Speicherkapazität von Erdgasnetz und Kavernen in Deutschland ist mit ca. 220 TWh ausreichend groß.

Somit kann ein allmählicher Energieträgerwechsel weg von fossilem Erdgas hin zu erneuerbarem Methan ohne zusätzliche Investitionen in die Speicher- und Verteilstrukturen stattfinden. Die Rückverstromung findet vornehmlich im Winter, am besten in Heizkraftwerken statt, um über KWK-Prozesse eine möglichst hohe Ausnutzung sicher zu stellen. Vorteil ist, dass die Speicher- und die Netzstruktur weitgehend vorhanden ist. Nachteil sind die aufwändigen Umwandlungsprozesse mit Wirkungsgraden Strom zu Strom (Gas-Kraftwerke) zwischen 30 und 44 % und bei Strom zu Strom & Wärme (KWK) zwischen 43 bis 62 % (vgl. [Sterner et al. 2011], S. 18). Der technologische und finanzielle Aufwand besteht vor allem darin, die „power to gas“-Technologie (Elektrolyse und Methanisierung nebst Gasreinigung und -einspeisung) an geeigneten Standorten aufzubauen. Hier spielt u.a. die Verfügbarkeit von Kohlendioxid eine Rolle (geeignet wären z.B. größere Biogasanlagen). Belastbare Aussagen zu künftigen Lernkurven sind derzeit schwierig zu treffen und hängen u.a. davon ab, ob dieser Technologieansatz einen künftigen Forschungsschwerpunkt bilden wird und inwieweit Förderprogramme für deren praktischen Einsatz aufgelegt werden.

Der Aufbau der Speicherkapazitäten müsste bei einer Fortsetzung der erneuerbaren Stromerzeugung wie bisher in Deutschland spätestens ab 2030/40 erfolgen. Welche Kombination der genannten Lösungsansätze sich hierbei als sinnvoll erweisen wird, ist unsicher. Dies ist vermutlich der am schwierigsten umzusetzende Teil der Energiewende, auch weil eine wirtschaftliche Tragfähigkeit einer saisonalen Energiespeicherung derzeit nicht absehbar ist. Eine Langzeitspeicherung ist aber ab einem Anteil von ca. 50% regenerativer Stromerzeugung notwendig. Es ist vergleichsweise einfach zu erkennen, dass es in jedem Fall sinnvoller und deutlich wirtschaftlicher wäre, über eine konsequente Effizienzstrategie den Aufwand für Zwischenspeicherung zunächst auf das unverzichtbare Maß zu reduzieren. Das genau ist der Ansatz des PER-Systems, wie es vom Passivhaus-Institut entwickelt wurde.

2 Vergleich zwischen alter und neuer Bewertung anhand realisierter Passivhäuser

2.1 Exemplarische PER-Bewertung von drei Passivhäusern und Einordnung in die neuen Passivhaus-Klassen

Im Folgenden wird vorausgesetzt, dass die Konzeption und Methodik des PER-Modells sowie die Bewertungsansätze der neuen Passivhaus-Klassen bekannt sind. Eine genaue Darstellung findet sich in (Feist 2014), (Grove-Smith/Feist 2015), (Krick 2015). Sinnvoll ist ferner, eine aktuelle Version des Passivhaus-Projektierungs-Paketes (ab Version 9) heranzuziehen. Im Excel-Arbeitsblatt „PER“ lässt sich durch Öffnen der versteckten Zellen die Berechnungsmethodik direkt nachvollziehen. Das gilt vor allem für die Abwicklung des Biomasse-Budgets. Für eine erste Orientierung findet sich im Anhang 1 + 2 eine Kurzbeschreibung des PER-Modells sowie eine knappe Darstellung der neuen Passivhaus-Klassen.

Weil das neue Bewertungssystem noch weitgehend unbekannt ist - das gilt in besonderem für die Feinheiten der Berechnungsmethodik, die den Passivhaus-Klassen zugrunde liegen - ist es zunächst sinnvoll die Unterschiede zwischen alter und neuer Bewertung an konkreten Beispielen zu erläutern.

Im Folgenden werden drei Wohngebäude mit unterschiedlichen Versorgungskonzepten, Geometrien und Standorten sowohl gemäß dem alten Verfahren auf der Basis nicht-erneuerbarer Primärenergie als auch gemäß dem neuen PER-System und den neuen Passivhaus-Klassen bewertet. Es handelt sich um ein Einfamilien-, ein Reihen- und ein Mehrfamilienhaus. Bei dem Vergleich wird deutlich, wie stark sich alte und neue Bewertung voneinander unterscheiden. Zusätzlich werden auch die spezifischen Treibhausgasemissionen ermittelt und gegenübergestellt, um einen von der Primärenergie unabhängigen Maßstab zu erhalten (siehe Tabelle 1).



Abbildung 3:
Energieautarkes Passivhaus in
Berg a. Starnberger See.

Beispiel 1: Einfamilienhaus

Das erste Beispiel ist ein energieautarkes Passivhaus in Holzbauweise und wurde auf einem kleinen Restgrundstück im Innenbereich einer kleinen Ortschaft errichtet. Neben den Wohnräumen weist das Haus einen belichteten Keller mit Werkstatt auf. Der Bauherr entwickelt Velomobile und Fahrradlampen und baut die Prototypen selber. Ein Teil der Entwurfsaufgabe war, dass sich das Haus so weit möglich selbst mit Energie versorgen soll. Anfangs war ein Netzanschluss vorgesehen, jedoch wurde mitten im Bauprozess entschieden, keinen Netzanschluss auszuführen, auch weil der Stromversorger gewisse Schwierigkeiten bei der Ausführung des Stromanschlusses machte.

Das Haus besitzt eine große Fotovoltaikanlage mit 10 kWp, die als nach Süden geneigtes Energiedach ausgeführt wur-

Tabelle 1:
 Kurzbeschreibungen und energetische Kennwerte zu drei vom Architekturbüro Vallentin+Reichmann realisierten Passiv-Wohnhäusern in Form eines energieautarken Einfamilienhauses (EFH), einer Stadtreihenhauszeile (RH) und eines Mehrfamilienhauses (MFH).

	Energieautarkes Einfamilienhaus (EFH)	Stadtreihenhäuser München (RH)	Mehrfamilienhaus München (MFH)
Bezug / Energiebezugsfläche	02/2014; EBF = 145 m ²	07/2006; EBF = 1266 m ²	03/2016; EBF = 1545 m ²
Stromversorgung	PV (10 kWp) und Batterie (20 kWh); kein Netzanschluss	Netzanschluss; kleine PV (2kWp) mit Netzeinspeisung	Netzanschluss; PV (8kWp) mit Netzeinspeisung
Wärmeversorgung	Elektrische Wärmepumpe Direktverdampfer-Technologie, (ergänzend: Mini-BHKW)	Wärmepumpen-Kompakt-aggregate und thermische Solaranlage je Haus	Fernwärme (Anschlusszwang!)
Stromeffizienz	hoch (ca. 12,0 kWh/m ² _{EBFa})	mittel (ca. 17,6 kWh/m ² _{EBFa})	mittel (ca. 18,4 kWh/m ² _{EBFa})
Heizwärmebedarf	13,2 kWh/(m ² _{EBF} a)	12,8 kWh/(m ² _{EBF} a)	14,9 kWh/(m ² _{EBF} a)
Warmwasserbedarf	17,4 kWh/(m ² _{EBF} a)	17,4 kWh/(m ² _{EBF} a)	17,8 kWh/(m ² _{EBF} a)
Wärmevertei- und speicherverluste	3,2 kWh/(m ² _{EBF} a)	3,7 kWh/(m ² _{EBF} a)	14,3 kWh/(m ² _{EBF} a)
Primärenergie (nicht ern.)	52,2 kWh/(m ² _{EBF} a)	81,5 kWh/(m ² _{EBF} a)	64,0 kWh/(m ² _{EBF} a)
Treibhausgas-Emissionen	12,9 kg/(m ² _{EBFa})	20,5 kg/m ² a	20,4 kg/m ² a
PER-Bedarf	24,5 kWh/(m ² _{EBF} a)	39,6 kWh/(m ² _{EBF} a)	77,5 kWh/(m ² _{EBF} a)
PER-Erzeugung	92,3 kWh/(m ² _{Grund} a)	34,2 kWh/(m ² _{Grund} a)	19,0 kWh/(m ² _{Grund} a)
Passivhaus-Klasse	“Plus”	“Classic”	“PHI-Energiesparhaus”

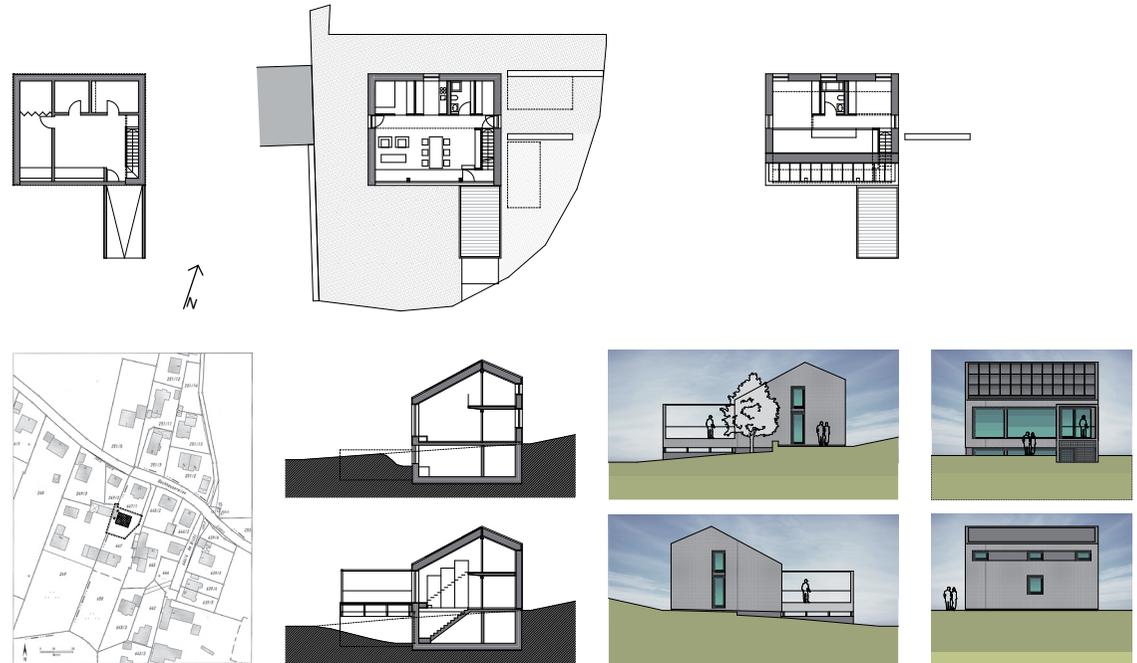
de. Im Keller ist eine Lithium-Ionen-Batterie mit 20 kWh Kapazität aufgestellt. Die Wärmeversorgung erfolgt mit einer Direktverdampfer-Wärmepumpe, die das Erdreich mit einem Flächenabsorber als Wärmequelle nutzt. Wegen des kleinen Grundstücks standen hier nur vergleichsweise kleine Flächen zur Verfügung. Für das Warmwasser ist ein gut gedämmter schlanker Wärmespeicher eingebaut, der eine stabile Wärmeschichtung aufweist; auf eine Zirkulation wurde wegen der kur-

zen Leitungslängen zu den Zapfstellen verzichtet. Die Elektroausstattung ist grundsätzlich sehr effizient (LED-Beleuchtung, besonders stromsparende Geräte, geringer Hilfsstrombedarf), jedoch werden in der Werkstatt einige stromintensive Geräte betrieben, z.B. Drehbank, Fräse, Sägen.

Ausgehend von den Nutzenergie-Kennwerten (Raumwärme, WW, Hilfsstrom, Haushaltsstrom) wird der Endenergie-

bedarf berechnet und gemäß ihren jahreszeitlichen Schwerpunkten sortiert und zugeordnet. Aufgrund des besonders effizienten Wärmepumpensystems liegen die Endenergiekennwerte für Heizen und Warmwasser sehr niedrig. Obwohl die Stromeffizienz insgesamt hoch ist, dominiert diese Anwendung in der PER-Bedarfsbilanz. Der PER-Bedarfswert ist gleichwohl mit $24,5 \text{ kWh/m}^2_{\text{EBF}} \cdot \text{a}$ sehr gering. Trotz der großen PV-Anlage reicht der Ertrag mit einem PER-Erzeugungswert von $92,3 \text{ kWh/m}^2_{\text{Grund}} \cdot \text{a}$ nicht aus, um die Passivhaus-Klasse „Premium“ zu erreichen. Das Einfamilienhaus wäre demnach in die Passivhaus-Klasse „Plus“ einzuordnen. Gemäß der bisherigen Passivhausbewertung ergibt sich ein Kennwert für nicht erneuerbare Primärenergie von $52,2 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{a}$ und ein Treibhausgas-Kennwert von $12,9 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{a CO}_2$ -Äquivalenten.

Für die PER-Berechnung wurde zunächst einmal vereinfachend angenommen, dass das Gebäude einen Netzanschluss besitzt (wie ursprünglich geplant). Andernfalls ist es notwendig, die PER-Faktoren projektspezifisch zu bestimmen. Die Kriterien hierfür sind allerdings noch zu definieren; man könnte z.B. streng argumentieren, dass in einem solchen Fall selbst das Biomasse-Budget nicht greift. Auf jeden Fall liegt dann wegen der nicht genutzten Überschüsse der PER-Bedarfswert im konkreten Fall deutlich höher. Anhand eines Vergleichs zwischen Strombedarf und PV-Erzeugung ergibt sich ein PER-Faktor für den eigengenutzten Strom von etwa 2,7 und für die Erzeugung von 0,37 (5). Berechnet man auf dieser Grundlage die PER-Kennwerte neu, ergibt sich mit $34,7 \text{ kWh/m}^2_{\text{Grund}} \cdot \text{a}$ ein deutlich geringerer Wert für die PER-Erzeugung. Der PER-Bedarfswert steigt dann auf $54,3 \text{ kWh/m}^2_{\text{EBF}} \cdot \text{a}$ an, sofern kein Biomassebudget angesetzt wird (siehe Abbildung 9). Bei Anrechnung des Biomassebudgets würde der PER-Bedarfswert bei ca. $27 \text{ kWh/m}^2_{\text{EBF}} \cdot \text{a}$ zu liegen kommen. Offen bleibt z.B. auch die Frage, wie Überschussstrom, der Nachbarn geschenkt wird, angerechnet werden soll. Diese Fragen wirken auf den ersten Blick „akademisch“, sind aber durchaus von Bedeutung für das PER-Modell. Dies betrifft z.B. die Anrechnung von eigengenutz-



zen Strom sofern dieser über eine Batterie zwischengespeichert wird oder Energieversorgungen in Arealnetzen.

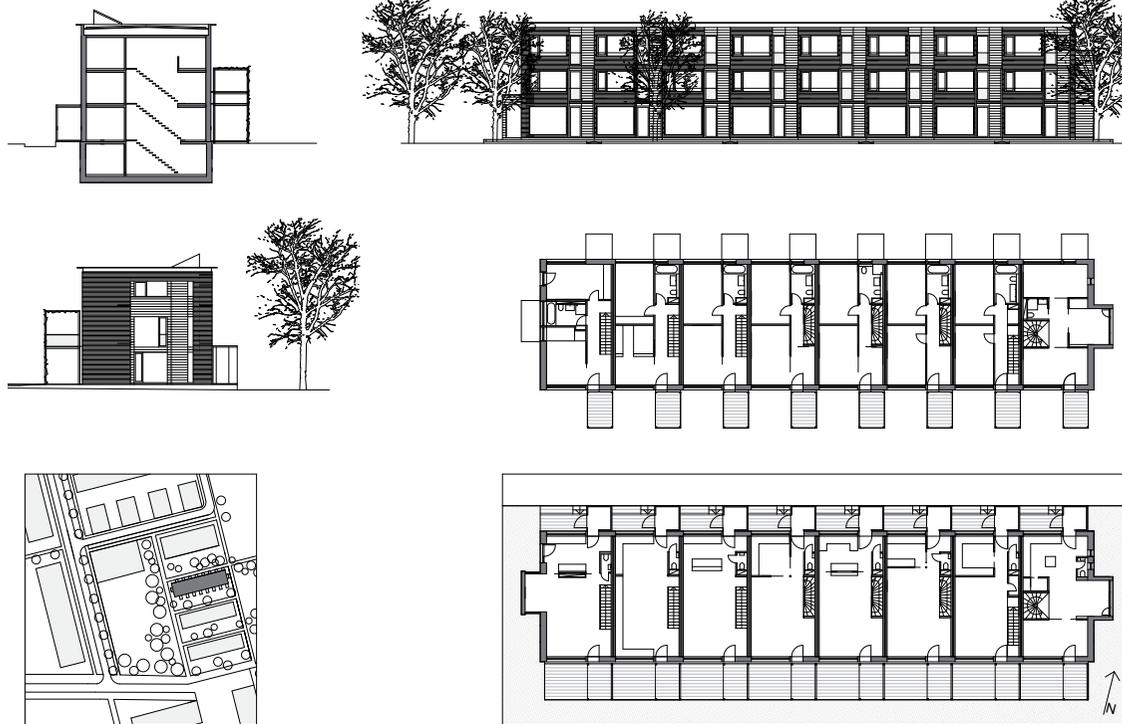
Der bei weitem spannendste Aspekt bei diesem Projekt ist, dass das Problem der „Winterlücke“ in einem energieautarken Haus unmittelbar spürbar wird. Es fehlt ein Außensystem, das auch in den Phasen mit Unterversorgung Energie zur Verfügung stellt. Diese Phasen treten vor allem im Kernwinter auf. Sie sind durch kurze Tage mit niedrigen Außentemperaturen (Heizbedarf) und zusätzlich eine dicke Wolkendecke gekennzeichnet, die auch die diffuse Solarstrahlung stark abmindert. Diese kritischen Phasen können im Einzelfall auch einmal mehrere Wochen umfassen, bleiben aber in manchen Jahren auch gänzlich aus. Der Bauherr entwickelt derzeit für diese Zeiten ein Mini-BHKW, das einen Modellflugzeugmotor (für Flüge zwischen Kontinenten, die besonders effizient konstruiert sind) mit

Abbildung 4: Energieautarkes Passivhaus in Berg am Starnberger See
Lageplan, Grundrisse, Schnitte und Ansichten.

Abbildung 5:
Acht Stadtreihenhäuser in München, Foto: Christoph Theurer.



Abbildung 6 (unten):
Acht Stadtreihenhäuser in München, Grundrisse, Lageplan, Schnitt und Ansichten.



einer elektrischen Leistung von 500 Watt als Antrieb verwendet und Strom in die Batterie und Wärme in einen extra installierten Heizkörper einspeist. Der Endenergieeinsatz für diese Überbrückungstechnologie ist überschaubar und bewegt sich im Bereich $0 - 3 \text{ kWh/m}^2_{\text{EBF}} \cdot \text{a}$.

Der Herstellungenergieaufwand für PV-Anlage, Wechselrichter, Batterie, Mini-BHKW, Heizkörper und Leitungen ist jedoch nicht vernachlässigbar und sollte in der Primärenergieberechnung berücksichtigt werden. Er liegt bei etwa $18 \text{ kWh/m}^2_{\text{EBF}} \cdot \text{a}$. Die aus der Herstellung resultierenden CO_2 -Äquivalent-Emissionen können zu etwa $7 \text{ kg/m}^2_{\text{EFB}} \cdot \text{a}$ abgeschätzt werden (6).

Beispiel 2: Stadtreihenhäuser München

Die acht Reihenhäuser wurden auf der Konversionsfläche einer ehemaligen Kaserne als Passivhäuser in Hybridbauweise (Tragstruktur Massivbau, Fassaden in Holzbauweise) errichtet. Die Bebauung weist eine hohe bauliche Dichte auf ($\text{GFZ} = \text{ca. } 1,0$) und wird aufgrund der geringen Abstände zur Nachbarbebauung relativ stark verschattet. Der Garten wird ohne Abtrennungen gemeinschaftlich genutzt, daher ist am Haus eine Terrassenzone mit integrierten Balkonen vorgesehen, die mit Kletterpflanzen berankt sind. Dadurch werden die Südfenster zusätzlich verschattet, gleichzeitig wird der sommerlicher Wärmeschutz spürbar verbessert. Die Keller sind Bestandteil der thermischen Gebäudehülle, die Windfänge auf der Eingangsseite jedoch nicht.

Die Wärmeversorgung erfolgt mit Lüftungs-Kompaktgeräten mit integrierter Kleinst-Wärmepumpe je Haus. Ergänzend sind thermische Solaranlagen zur Warmwassererwärmung mit Solarspeichern installiert, die einen solaren Deckungsgrad von ca. 50 % aufweisen. Zusätzlich besitzen drei Häuser eine kleine Fotovoltaikanlagen mit Netzeinspeisung. Das Versorgungskonzept stellt eine Standardlösung für Passivhäuser dar und

funktioniert sehr zuverlässig und effizient. Die Nutzerabhängigkeit ist insbesondere beim Warmwasserverbrauch hoch, während bei der Raumheizung mit eingestellten Raumtemperaturen zwischen 21 und 22 °C eher geringe Unterschiede festzustellen sind. Die Haustechnik ist innerhalb der Gebäudehülle angeordnet. Daher sind die Wärmeverteil- und -speicherverluste gering. Die Energieverbrauchswerte entsprechen recht genau den mit PHPP berechneten Bedarfswerten.

Bei der PER-Bewertung fällt auf, dass die Wärmepumpenversorgung in Kombination mit einer thermischen Solaranlage zu sehr geringen Werten für die Wärmeversorgung führt. Es dominiert, wie beim Einfamilienhaus eindeutig der Haushaltsstrombedarf. Durch den geringen PER-Faktor der Solaranlage liegt der mittlere PER-Faktor aller Anwendungen sogar leicht unter 1,0. Mit einem Bedarfswert von ca. 40 kWh/m²_{EBF}a befindet sich das Projekt im günstigen bis mittleren Bereich.

Die PER-Eigenerzeugung durch Solarwärme und Solarstrom reicht jedoch nicht aus, um die Passivhaus-Klasse „Plus“ zu erreichen. Dies wäre durch eine Vergrößerung der PV-Modulflächen auf dem Dach möglich. Das Projekt wird von daher in die Passivhaus-Klasse „Classic“ eingestuft.

Beispiel 3: Mehrfamilienhaus

Das Mehrfamilienhaus ist als Punkthaus mit einem zentralen Treppenhaus konzipiert und besitzt 14 Wohnungen sowie einen Gemeinschaftsraum. Es ist als Stahlbetonskelettbau mit vorgehängten Fassaden in Holz-Hybridbauweise errichtet worden. Im Gestaltungsleitfaden zum Bebauungsplan waren Loggien anstelle von Balkonen vorgeschrieben. Diese führen bei Passivhäusern zu einem hohen Aufwand für den Ausgleich der Verschattung, Wärmebrücken und die Verringerung der thermischen Kompaktheit des Baukörpers. Das Gebäude weist ein Staffeldach auf, das ebenfalls städtebaulich vorgegeben war.



Abbildung 7:
Mehrfamilienhaus in München,

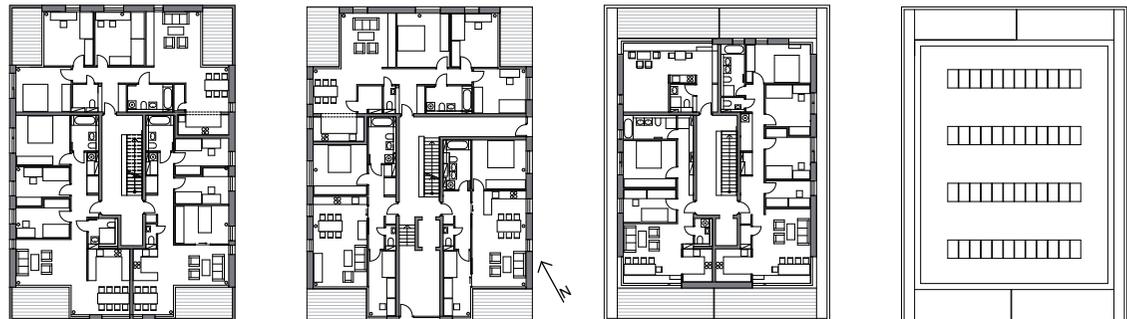


Abbildung 8 (unten):
Mehrfamilienhaus in München,
Grundrisse, Dachaufsicht, Lageplan
Ansicht und Querschnitt.

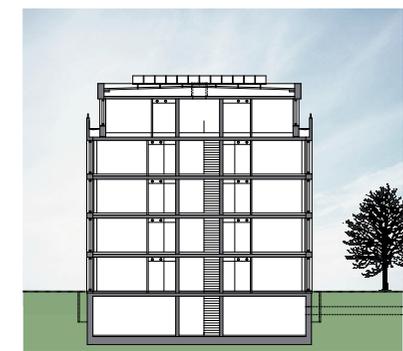
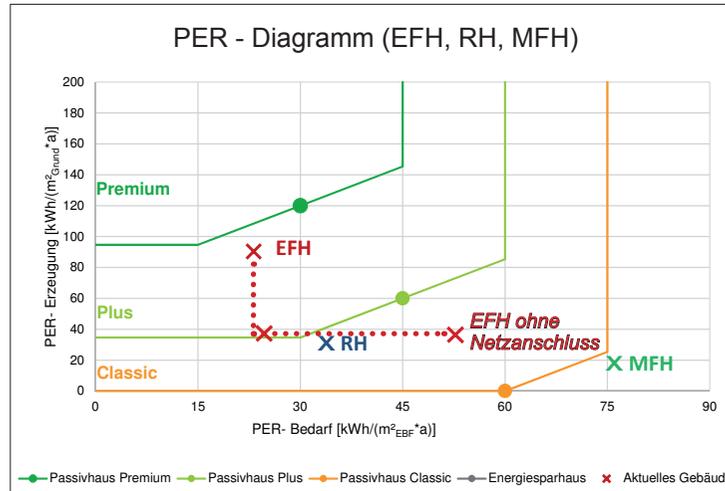


Abbildung 9:
PER-Diagramm mit Einordnung der drei Projekte (EFH, RH, MFH) in die neuen Passivhaus-Klassen „Classic“, „Plus“ und „Premium“.

Das Mehrfamilienhaus bewegt sich außerhalb des Passivhausstandards gemäß PER-System und erreicht nur die Klasse des „PHI-Energiesparhauses“.

Kalkuliert man die PER-Werte für das Einfamilienhaus ohne Netzanschluss jedoch mit Einbeziehung Biomasse-Budget sinkt zunächst vor allem der PER-Erzeugungskennwert (rotes Kreuz unter Ausgangswert).

Kalkuliert man das Gebäude ohne Netzanschluss und zusätzlich ohne Biomasse-Budget ergeben sich zusätzlich deutlich ungünstigere Werte für den PER-Bedarf, die zu einer Herabstufung in Klasse „Classic“ führen.



Der Keller ist auch hier in die thermische Gebäudehülle integriert. Dort ist auch das Lüftungs-Zentralgerät aufgestellt.

Die Wärmeversorgung erfolgt in diesem Projekt über die Fernwärme der Münchener Stadtwerke. Im Grundstückskaufvertrag war ein Anschlusszwang in Verbindung mit dem Ausschluss anderer ergänzender Wärmeversorgungen (z.B. über thermische Solaranlage oder direktelektrische Warmwasserbereiter) ausgesprochen. Dies ist nachvollziehbar, damit der Bau und ganzjährige Betrieb des Fernwärmenetzes wirtschaftlich erfolgen kann. Die Münchener Fernwärme wird derzeit stark ausgebaut. Ab 2040 soll die Münchener Fernwärme ausschließlich erneuerbar erfolgen, wobei aufgrund der geologisch günstigen Voraussetzungen relevante Anteile über Tiefen-Geothermie gedeckt werden. Im Kaufvertrag wurde ferner ein Nullenergiestandard vereinbart, der jedoch nur einen primärenergetischen Jahresausgleich für Heizung, Warmwasser und Hilfsstrom umfasst. Aufgrund des geringen Primärenergiefaktors für die Münchener Fernwärme ($f_p = 0,11$) konnte dies mit einer kleinen Fotovoltaikanlage auf dem Dach mit ca. 8 kWp erreicht werden, die einen Jahresertrag von etwa 7800 kWh/a erbringt.

Bei der PER-Berechnung wird der Fernwärme eine Stromgutschrift gewährt. Das führt bei einem KWK-Anteil von 85 % zu einem PER-Faktor für Heizung von 0,85, solange das Biomasse-Budget nicht aufgebraucht ist. Über dem Biomasse-Budget steigt der PER-Faktor auf 1,36 an. Im Sommer (Warmwasser) liegt der PER-Faktor dann bei 1,05. Die Berechnung findet im PHPP-Tabellenblatt „Fernwärme“ statt, die Berechnungsweise ist anhand eines Beispiels im PHPP-Handbuch erläutert. Trotz der somit deutlich geringeren PER-Faktoren fallen die PER-Bedarfswerte für das Mehrfamilienhaus recht hoch aus. Obwohl besondere Sorgfalt auf eine sehr gute Dämmung aller wärmeleitender Leitungen und des Wärmespeichers gelegt wurde, sind die Wärmeverteil- und speicherverluste mit 14,3 kWh/m²_{EBF}a ähnlich hoch wie der Heizwärmebedarf. Aufgrund der Fernwärmeversorgung (keine direktelektrische Warmwasserbereitung zulässig) und der hohen Anforderungen an die Trinkwasserqualität (Legionellenproblematik) sind diese Verluste unvermeidlich. Dies führt dazu, dass bei diesem Projekt der PER-Bedarf durch die Wärmeversorgung dominiert. Mit einem PER-Bedarfswert von 77,5 kWh/(m²EBF a) wird die Passivhaus-Klasse „Classic“ weit verfehlt. Nur aufgrund der Fotovoltaikanlage, die eine PER-Erzeugung von 19,0 kWh/(m²Grund a) ermöglicht, können die Anforderungen das „PHI-Energiesparhaus“ erfüllt werden. Im PER-System wäre somit das Mehrfamilienhaus kein Passivhaus mehr.

Bewertet man das Mehrfamilienhaus gemäß der alten Primärenergiebewertung, die ja weiterhin zur Projektierung und Zertifizierung zugelassen ist, ergibt sich mit 64,0 kWh/m²a ein besonders günstiger Wert. Entsprechend fallen auch die spezifischen CO₂-Äquivalent-Emissionen mit 20,4 kg/m²a relativ gering aus.

Der Vergleich zwischen alter Primärenergiebewertung und der PER-Bewertung in Verbindung mit den neuen Passivhaus-Klassen zeigt bereits anhand dieser drei Beispiele auf, dass deutliche Unterschiede zwischen beiden Systemen bestehen.

Im PER-Modell schneiden die zwei Gebäude mit Wärmepumpenheizungen (EFH, RH) deutlich günstiger ab, als das an die Fernwärme angeschlossene Mehrfamilienhaus. In Abbildung 9 erfolgt nun die grafische Einordnung der drei Fallbeispiele in das PER-Diagramm und damit die Einstufung in die neuen Passivhaus-Klassen:

- Das Einfamilienhaus erreicht durch seine hohe Effizienz und die großzügig ausgelegter PV-Anlage die Passivhaus-Klasse „Plus“. Das Gebäude wurde als energieautarkes Passivhaus ohne Netzanschluss realisiert. Kalkuliert man die PER-Werte ohne Netzanschluss und Biomasse-Budget ergeben sich deutlich ungünstigere Werte, die zu einer Herabstufung in Klasse „Classic“ führen.
- Die Reihenhauseanlage wird aufgrund der Wärmeversorgung mit Lüftungs-Kompakt-Aggregaten und den darin integrierten Wärmepumpen sowie den thermischen Solaranlagen zur Brauchwassererwärmung in die Passivhaus-Klasse „Classic“ eingestuft.
- Das Mehrfamilienhaus erreicht wegen der Fernwärmeversorgung und den dadurch vergleichsweise hohen Wärmeverteilverlusten gerade einmal den Standard des „PHI-Energiesparhauses“. Ohne die vorhandene kleine PV-Anlage würde das im alten System primärenergetisch sehr gute Passivhaus selbst diesen „Sub“-Standard verfehlen.

2.2 Vergleich zwischen alter und neuer Primärenergiebewertung anhand einer Auswertung von 58 zertifizierten Passiv-Wohnhäusern

Die drei gezeigten Beispiele haben gezeigt, dass das PER-Modell gegenüber der alten Primärenergiebewertung zu einer anderen Definition führt, was künftig ein Passivhäuser ist. Zudem ändern sich auch die Rangfolgen zwischen verschiedenen Fällen. Es ist jedoch möglich, dass bei den drei Beispielgebäuden die Besonderheiten der Einzelfälle eine besondere Rolle gespielt haben. Um den Vergleich auf eine breitere Basis zu stel-

len, wird nun eine größere Gruppe von Wohn-Passivhäusern herangezogen, die der Autor zuvor für eine vergleichende Untersuchung zur Kompaktheit, Wärmeverlusteigenschaften und Fensterflächenanteilen ausgewertet hat (vgl. Vallentin 2011, S. VIII-48 ff.).

Diese Gruppe beinhaltet 58 Gebäude mit unterschiedlichen Wohnformen (Einfamilien-, Reihen- und Mehrfamilienhäuser sowie Sonderformen) und verschiedene Versorgungssysteme (Wärmepumpen, Biomasse, Erdgas, Fernwärme und BHKW-Anlagen). Häufig wurden ergänzend thermische Solaranlagen ausgeführt. Fotovoltaikanlagen finden sich erst bei den in jüngerer Zeit projektierten Passivhäusern. Diese Gruppe ist nicht unbedingt repräsentativ für alle Passiv-Wohnhäuser und umfasst mehrere Beispiele aus der Anfangsphase der Passivhaus-Entwicklung. Alle wichtigen energetischen Kennwerte sind in Tabelle 9, die im Anhang zu finden ist, zusammengefasst. Alle 58 Passivhäuser haben den Zertifizierungsprozess als Gebäude durch das Passivhaus-Institut bzw. die Passivhaus-Dienstleistungs-GmbH durchlaufen. Die Qualitätssicherung betrifft somit nicht nur die Projektierung (Prüfung der PHPP-Berechnungen, Pläne und Produktdokumentationen) sondern auch die Luftdichtigkeit (Blower-Door-Test) und die Einregulierung der Lüftungsanlage (Luftmengenabgleich). Für den Vergleich werden drei Kennwerte gegenübergestellt:

- Berechnung des alte Primärenergiekennwerts in kWh/m²a auf der Basis nicht-erneuerbarer Primärenergie, berechnet mit den Primärenergiefaktoren des PHPP, Version 7.
- Berechnung des PER-Bedarf-Kennwerts in kWh/m²_{EBF}a, berechnet mit Version PHPP 9.2. Die PER-Erzeugungskennwerte werden in der Betrachtung ausgeklammert, weil in den Datensätzen notwendige Informationen (z.B. zur Grundfläche der Gebäude) fehlen.
- Die momentanen Treibhausgas-Emissions-Kennwerte in kg/m²a, berechnet mit den CO₂-Äquivalent-Emissionsfaktoren gemäß PHPP, Version 9.2.

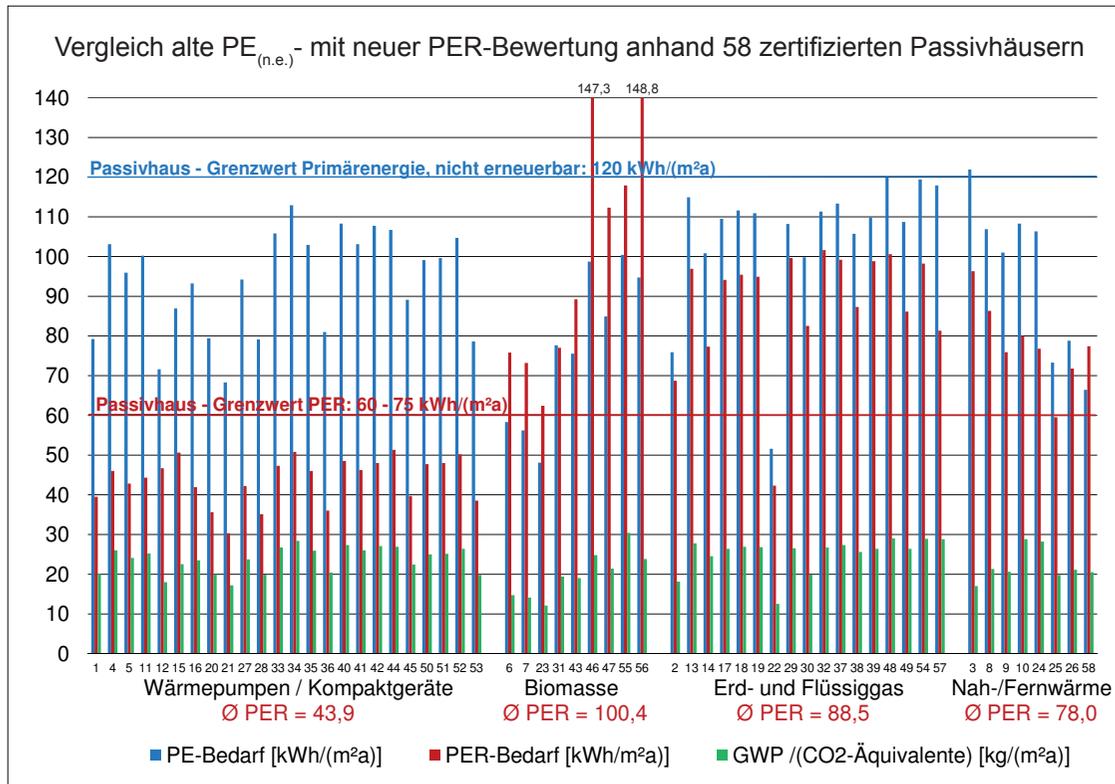


Abbildung 10: Vergleich der Kennwerte zur nicht erneuerbaren Primärenergie (blaue Balken), zum PER-Bedarf (rote Balken) und zum Global-Warming-Potential (rote Balken) von 58 zertifizierten Passivhäusern, geordnet nach Versorgungslösung. Quelle: eigene Berechnungen auf Grundlage ausgewerteter PHPP-Berechnungen von 58 zertifizierten Passivhäusern.

Zunächst einmal wird eine Darstellung gewählt, in der alle drei Kennwerte jeweils für jedes Objekt der Untersuchungsgruppe abgebildet und nebeneinandergestellt wird (Abbildung 10).

Die zertifizierten Passivhäuser weisen Kennwerte für nicht erneuerbare Primärenergie zwischen 50 und 120 kWh/m²a auf. Der Mittelwert aller Projekte beträgt ca. 95 kWh/m²a, d.h., der Primärenergiekennwert konnte von den meisten Projekten mehr oder weniger deutlich unterschritten werden.

Die spezifischen Treibhausgasemissionen der Passivhäuser liegen zwischen 12 und 30 kg/m²a, bei einem Mittelwert aller Projekte von etwa 23 kg/m²a.

Die PER-Bedarfs-Kennwerte weisen eine große Spannweite von 25 - 140 kWh_{PER}/m²_{EBF}a auf. Der Mittelwert aller Projekte beträgt ca. 67 kWh_{PER}/m²_{EBF}a.

Im Hinblick auf den Kennwert zur nicht erneuerbaren Primärenergie (blaue Balken) und zum Global-Warming-Potential (grüne Balken) ist kaum eine Abhängigkeit von der Versorgungslösung vorhanden.

Bei den PER-Bedarfswerten (rote Balken) ist jedoch eine klare Scheidung zwischen den stromgestützten Versorgungen mit Wärmepumpen mit einem PER-Mittelwert: 43,9 kWh/m²_{EBF}a und den brennstoffgestützten Versorgungslösungen sichtbar. Bei letzteren ist der PER-Mittelwert mit 89,2 kWh/m²_{EBF}a mehr als doppelt so hoch und damit weit entfernt vom PER-Grenzwert für Passivhäuser.

Besonders hohe PER-Bedarfswerte finden sich bei einigen mit Biomasse versorgten Passivhäuser, die auf verschiedene Art und Weise den niedrigen Primärenergie-Faktor f_p von 0,2 „genutzt“ haben, um hohe Wärmevertei- und -speicherverluste auszugleichen und/oder wenig Wert auf Stromeffizienz gelegt haben.

Passivhäuser, deren Wärmeversorgung mit Fernwärme, BHKW-Anlagen oder Gasheizungen erfolgt, haben häufig hohe Wärmeverteilverluste, vor allem wenn es sich um Mehrfamilienhäuser handelt.

Geringere PER-Bedarfs-Werte finden sich bei den brennstoffversorgten Gebäuden immer dann, wenn zusätzlich thermische Solaranlagen installiert wurden. Dies ist bei den gewählten Fallbeispielen jedoch nur selten der Fall. Aus verständlichen Gründen finden sich Solaranlagen nur selten bei Versorgungssystemen mit Kraft-Wärme-Kopplung (Fernwärme, BHKW). Fotovoltaikanlagen finden sich erst bei den in jüngerer Zeit realisierten Passivhäusern.

2.3 Ist das PER-Modell im Hinblick auf den Klimaschutz richtungssicher?

Für eine Beurteilung der Richtungssicherheit im Hinblick auf den Klimaschutz ist es sinnvoll, die beiden Primärenergie-Kennwerte den Klimaschutz-Kennwerten auf der Basis der derzeitigen CO₂-Äquivalent-Emissionen gegenüberzustellen. Dafür eignen sich wiederum die 58 zertifizierten Passivhäuser.

In Abbildung 11 wird anhand der Anordnung der „Punkte“ entlang einer gedachten Näherungsgeraden deutlich, dass die nicht erneuerbare Primärenergie eine gute Richtungssicherheit im Hinblick auf die resultierenden CO₂-Äquivalent-Emissionen aufweist. Die „Ausreißer“ sind Fälle mit KWK-Versorgung (Fernwärme, BHKW) und Sonderfälle (z.B. Brennstoffzelle). Aus Klimaschutzsicht sollten die Anforderungen in Bezug auf den Einsatz nicht-erneuerbarer Primärenergie strenger sein. Vom Autor wurde hierzu vorgeschlagen ab 2010 diesen Kennwert von 120 auf 100 kWh/m²a abzusenken (vgl. Vallentin 2008). Das entspricht in etwa einer Absenkung des Global-Warming-Potential-Kennwerts von 30 auf 25 kg/m²a CO₂-Äquivalente.

In Abbildung 12 werden für die Gruppe der 58 Passivhäuser die PER-Bedarfswerte den CO₂-Äquivalent-Emissionen im Betrieb gegenübergestellt. Im Gegensatz zum alten Primärenergie-Kriterium ist hier keine Richtungssicherheit mehr erkennbar. Das wird an der „Punktwolke“ der Fälle mit brennstoffgestützten Wärmeversorgungen deutlich.

Für die Gruppe der Wärmepumpen und Kompaktgeräte ist hingegen eine gute Richtungssicherheit vorhanden. Diese stromgestützten Versorgungslösungen werden im PER-System besonders günstig bewertet. Sie können die Mindestanforderung bezüglich des PER-Bedarfs-Kennwerts von 60 kWh/m²a problemlos erfüllen. Sie schneiden jedoch im Hinblick auf die aktuellen CO₂-äquivalent-Emissionen im Mittel nicht besser ab, als die brennstoffgestützten Versorgungen.

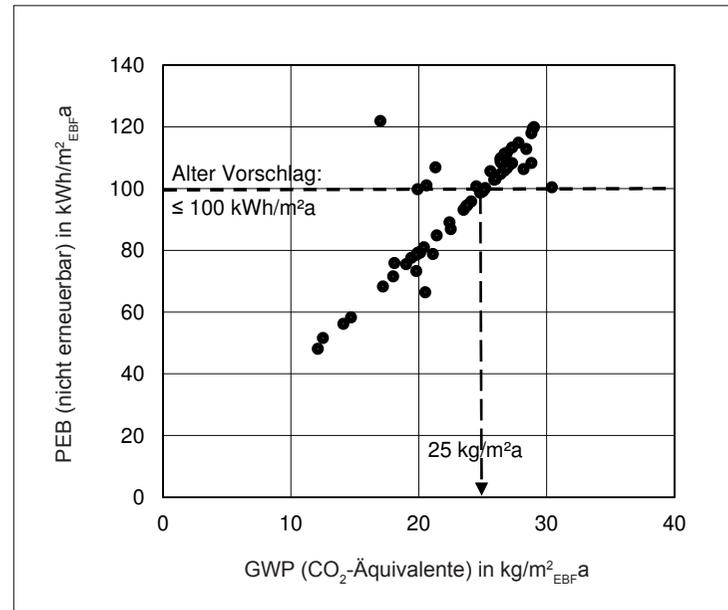


Abbildung 11: Vergleich zwischen den Kennwerten zur nicht erneuerbaren Primärenergie (PEB in kWh/m²a) und dem Global Warming Potential GWP (CO₂-Äquivalente in kg/m²a) für 58 zertifizierte Passiv-Wohnhäuser.

Zudem ist ein älterer Vorschlag zur Verschärfung des alten Primärenergie-Kriteriums aus Gründen des Klimaschutzes auf 100 kWh/m²a eingetragen (vgl. Vallentin 2008).

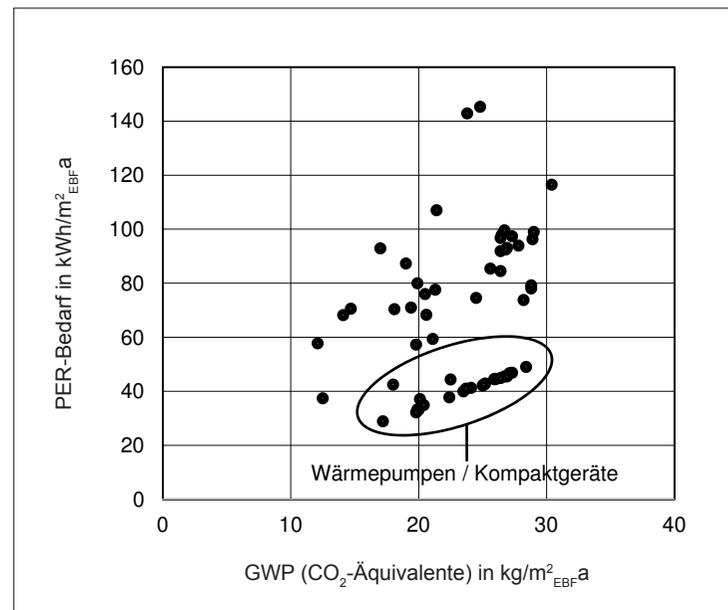


Abbildung 12: Vergleich zwischen den Kennwerten zur erneuerbaren Primärenergie (PER-Bedarf in kWh/m²_{EBF}a) und dem Global Warming Potential GWP (CO₂-Äquivalente in kg/m²a) für 58 zertifizierte Passiv-Wohnhäuser. Zur besseren Orientierung sind die Passivhäuser, deren Wärmeversorgung mit Wärmepumpen bzw. Lüftungs-Kompaktgeräten erfolgt, als Gruppe umrandet.

Eine fehlende Richtungssicherheit im Hinblick auf den Klimaschutz ist aufgrund der Modelllogik des PER-Systems quasi vorgegeben: In einer 100%-erneuerbaren Energieversorgung spielen Treibhausgasemissionen kaum noch eine Rolle. Es kann nicht erwartet werden, dass auf Grundlage eines vorläufig noch fiktiven Energiemodells zuverlässige Aussagen zu real existierenden Energiesystemen erfolgen, die noch längere Zeit mit fossilen und nuklearen Energieträgern betrieben werden.

Gleichwohl werden durch das PER-Modell wesentliche Erkenntnisse gewonnen, wie sich das jetzige und künftige Energiesystem weiterentwickeln wird. Eine dieser Grundtendenzen ist die Verlagerung weg von den heute dominierenden brennstoffgestützten Systemen hin zu einer Dominanz nicht mehr auf Brennstoffe angewiesener Stromerzeugungsanlagen. Letztere sind z.B. Wasser- und Windkraft, Fotovoltaik und sonstige Solar-Kraftwerke, Solar- und Geothermie.

Das hat auf längere Sicht zur Folge, dass sich bezogen auf den Primärenergieaufwand die Rangfolgen zwischen strom- und brennstoffgestützten Systemen geradezu umkehren können:

- Erneuerbar gewonnener Strom aus Wasser- und Windkraft sowie aus Fotovoltaik und Solarkraftwerken wird gemäß der 100%-Regel mit einem Faktor von 1,0 in das Stromnetz eingespeist. Sie weisen damit einen definitorischen Wirkungsgrad von 100 % auf (das entspricht der Annahme einer vollständig verlustfreien Stromerzeugung).
- Thermischen Kraftwerken wird hingegen der Brennstoffeinsatz inklusive des vorgelagerten Energieaufwands für Exploration, Förderung, Transport, Aufbereitung angerechnet. Weil zusätzlich bei der Stromerzeugung erhebliche Energieverluste anfallen, liegen die Primärenergiefaktoren hier zwischen 1,8 und 3,5.
- Dieselben Effekte sind in analoger Weise bei der Wärmeversorgung zu beobachten. Während im Bestand brennstoffgestützte Heizsysteme (Heizöl, Erdgas) überwiegen,

werden im energieeffizienten Neubau und bei energetischen Modernisierung im Bestand zunehmend stromgestützte Heizsysteme (Wärmepumpen, Kompaktgeräte, direktelektrische Systeme) eingesetzt.

- Häufig schneiden bereits heute die stromgestützten Wärmeversorgungen primärenergetisch günstiger ab, als Systeme mit Heizkesseln, weil bei Wärmepumpen und Geothermie die genutzte Umgebungswärme primärenergetisch gleich Null gesetzt wird. Mit sinkenden Primärenergiefaktoren für Strom wird dieser Unterschied immer größer.
- Eine Sonderstellung nehmen Biomasseheizungen ein. Je nachdem ob nur die nicht erneuerbare, die erneuerbare oder die gesamte Primärenergie gewertet wird, unterscheidet sich die primärenergetischen Bewertungen erheblich.
- Mit dem Ausbau der erneuerbaren Stromerzeugung wird immer weniger Strom in thermischen Kraftwerken erzeugt. Damit wird der Vorteil der Kraft-Wärme-Kopplung perspektivisch immer geringer.

Dies führt in der Konsequenz zu einem Auseinanderdriften zwischen Primärenergie- und Klimaschutzbewertung. Insbesondere verliert die klassische Primärenergiebewertung auf der Grundlage der nicht erneuerbaren Primärenergie in Form einer Momentaufnahme immer mehr ihre Aussagekraft.

Es bleibt eine offene Frage, wie in der Übergangsphase zwischen einer vorrangig nuklear-fossilen hin zu einer vollständig regenerativen Energieerzeugung eine angemessene Primärenergiebewertung aussehen könnte. Nach Meinung des Autors ist keiner der bislang vorliegenden Vorschläge in der Lage, die dort herrschenden Bedingungen in angemessener Art und Weise abbilden zu können. Gerade im Hinblick auf den Klimaschutz ist diese Transformationsphase jedoch der Schlüssel für Erfolg oder Misserfolg. Um hinreichend zuverlässige Aussagen im Hinblick auf die notwendige Lenkungswirkung und Richtungssicherheit zu erhalten, scheint es daher notwendig zu sein, mehrere Bewertungen nebeneinander zu stellen.

3 Grenzen der Aussagekraft

Kritik wird hier als Beschäftigen mit den Grenzen der Aussagefähigkeit verstanden. Ausgangspunkt ist die Erkenntnis, dass jedes Bewertungssystem den Charakter einer Hypothese besitzt und letztlich nicht objektivierbar ist (dies, weil jede Bewertung ein „Sollen“ mit enthält). Im Folgenden werden einige Punkte benannt, die im PER-Modell nicht abgebildet werden oder aus einer bestimmten Perspektive problematische Schlüsse nach sich ziehen:

3.1 Fehlende Richtungssicherheit Klimaschutz

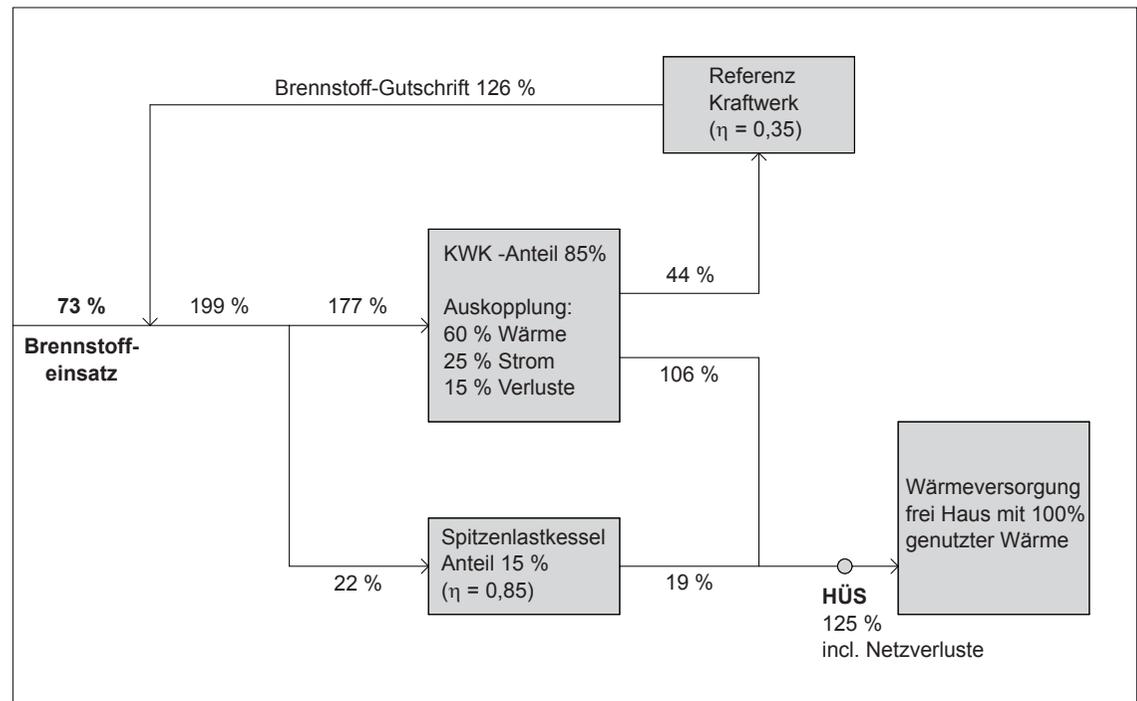
Im Gegensatz zur alten Primärenergiebewertung (nicht erneuerbar) ist das PER-System im Hinblick auf den Klimaschutz nicht richtungssicher (siehe Abschnitt 2.3). Das gilt auch dann, wenn man anstelle der momentanen, die in den nächsten 30 Jahren zu erwartenden Klimagasemissionen betrachtet (siehe Abbildung 17 und Tabelle 5). Grund sind die geringen PER-Faktoren für Strom, die weder den heutigen bzw. den mittelfristig zu erwartenden Primärenergieaufwand noch die entsprechenden Treibhausgas-Emissionen abbilden (z.B. bedeutende Anteile Kohlestroms im deutschen Stromnetz aufgrund des Atomenergieausstiegs). Dieser Umstand wird erheblich dadurch verkompliziert, dass die Stromerzeugungsstruktur selbst zwischen direkt benachbarten Ländern extrem unterschiedlich ausfallen kann (mit dem eigenwilligen Resultat, dass die PER-Faktoren noch am stimmigsten die Situation in Frankreich mit seinen hohen Anteilen Atomenergie abbilden).

Anstelle fossiler Energieträger (die dann definitorisch aus dem Energiesystem verschwunden sind) werden im PER-Modell erneuerbare Ersatz-Energieträger (z.B. EE-Methan aus power-to-gas-Anlagen anstelle Erdgas; EE-Methanol anstelle Heizöl)

bewertet. Für diese liegen die PER-Faktoren in etwa gleich hoch wie Heizstrom oder mit 2,3 deutlich darüber. Auch für Biomasse ergeben sich vergleichbare Werte zum Heizstrom. Das hat zur Konsequenz, dass die brennstoffgestützten Wärmeversorgungen immer hohe PER-Bedarfswerte aufweisen, die jedoch im Verhältnis zu den stromgestützten Lösungen nicht entsprechend höhere Treibhausgasemissionen auslösen.

Diese Zusammenhänge kann man am besten veranschaulichen, indem man die Quotienten zwischen an den Primärenergie- bzw. PER-Faktoren und den entsprechenden GWP-

Abbildung 13: Bestimmung des Brennstoffeinsatzes bei einem Nahwärmenetz mit Kraft-Wärme-Kopplung in einem Biomasse-ORC-BHKW. Anhand der Ermittlung der Brennstoff-Gutschrift (siehe PHPP-Tabellenblatt Fernwärme) wird deutlich, dass auch im PER-System Biomasse-Strom nur mit hohen Verlusten produziert werden kann. Daher ist das Biomasse-Budget für Heizstrom um einen Faktor drei zu hoch angesetzt. Quelle: (PHPP 2015, S. 243).



	f_{PER}/f_{GWP}	f_P/f_{GWP}
Strom	3,3*	4,0
Biomasse	22,0	3,3
Heizöl	7,6	3,6
Erdgas	8,8	4,4

Tabelle 2:
Prüfung der Richtungssicherheit Klimaschutz anhand des Quotienten zwischen PER-Faktor und GWP-30a-Faktor (mittlere Spalte) sowie zwischen PE-30a-Faktor und GWP-30a-Faktor (rechte Spalte). Während im PER-System die Faktoren sehr weit auseinandergehen, liegen diese bei der Bewertung mit nicht-erneuerbarer Primärenergie relativ nahe zusammen.

* für Heizstrom 4,5 und für Sommerstrom 2,75

Faktoren bildet (siehe Tabelle 2). Während die Quotienten der verschiedenen Energieträger im PER-System sehr weit auseinandergehen, liegen diese bei der Bewertung mit nicht-erneuerbarer Primärenergie recht nahe beieinander (in etwa Faktor vier). Dies gilt sowohl in Bezug auf die aktuellen Primärenergiefaktoren als auch für die über 30 Jahre gemittelten Primärenergie- und Treibhausgas-Faktoren (siehe Tabelle 5).

3.2 Ausschluss von sinnvollen bzw. wenigstens vertretbaren Versorgungslösungen

Im PER-System werden stromgestützte Wärmeversorgungen (Wärmepumpen, Kompaktgeräte, direktelektrische Warmwasserbereitung) sehr günstig bewertet. Dies in starkem Kontrast zu allen brennstoffgestützten Systemen. Dadurch werden selbst Versorgungslösungen, die für das PER-System strategische Bedeutung haben (z.B. Fernwärme-KWK zur Rückverstromung erneuerbaren Methans, Biomasse-BHKW) derart ungünstig bewertet, dass sie häufig nicht einmal die PH-Klasse „Classic“ erreichen. Ein anschauliches Beispiel dafür ist das gezeigte Mehrfamilienhaus in München. Die Ursache liegt vor allem in den hohen Wärmeverteilverlusten, die jedoch systembedingt vorgegeben sind (Anschlusszwang).

In einer Studie zum Hansaviertel in Berlin konnte gezeigt werden, dass ein vollwertiger Klimaschutz auch in einem Quartier mit hohem Denkmalbestand realisierbar ist (vgl. Vallentin 2012). Von besonderer Bedeutung ist hier die „power-to-gas“-Strategie, wie sie auch Bestandteil des PER-Modells ist, in Kombination mit den Gas-Heizkraftwerken der vorhandenen Berliner Fernwärmeversorgung (siehe Abbildung 14). Mit der aus der Zeit des kalten Krieges stammende Erdgas-Kaverne unter dem Grunewald ist bereits ein geeigneter Großspeicher vorhanden. Interessant ist u.a. der Aspekt, dass das Prinzip der Substanzsicherung hier nicht nur den Gebäudebestand sondern auch die existierende Energieversorgung umfasst.

Darüber hinaus lassen sich weitere Versorgungslösungen identifizieren, die im PER-System zwar schlecht abschneiden, aber aus Sicht des Klimaschutzes weiterhin vertretbar sind, z.B.:

- Gas-Brennwert-Heizungen in Verbindung mit Solaranlagen und/oder PV-Anlagen sowie hoher Stromeffizienz
- Biomasseheizungen in Verbindung mit Solaranlagen
- Tiefen-Geothermieversorgungen

3.3 Geringe Lenkungswirkung des Biomasse-Budgets

Weil das Biomasse-Budget im PER-System unterschiedslos allen Versorgungslösungen gutgeschrieben wird, wirkt es wie ein genereller „Rabatt“. Modellseitig wird damit festgelegt, dass durch die energetische Nutzung der Biomasse, die in der Nutzungskassade eigentlich am Ende stehen sollte, der Budgetrahmen wenigstens vollständig ausgeschöpft oder sehr wahrscheinlich sogar überschritten wird.

Die Anwendung des Budgetansatzes bei den Biomasseheizungen selbst kann jedoch nur eine geringe Lenkungswirkung entfalten, weil der Unterschied zwischen der Biomassenutzung innerhalb des Budgets (PER-Faktor 1,1) und dem darüber hinaus gehenden Brennstoffbedarf (PER-Faktor 1,75) nicht allzu groß ist (siehe Diskussion in Abschnitt 1.4).

Vor allem aber kann die volle Anrechnung des Biomasse-Budgets auf den Heizstrom nicht überzeugen, weil in einem realen Energiesystem Biomasse nur mit hohen Verlusten von ca. 60-70% in Strom umgewandelt werden kann. Kommt beispielsweise Biomasse in BHKW's zum Einsatz, werden aufgrund der im PER-System anzuwendenden Stromgutschriftmethode eben diese Umwandlungsverluste in Form der Brennstoffgutschrift auf die so erzeugte Wärme angerechnet (siehe Abbildung 13). Das Biomasse-Budget ist im Falle von Heizstrom daher um einen Faktor von ca. drei zu hoch angesetzt.

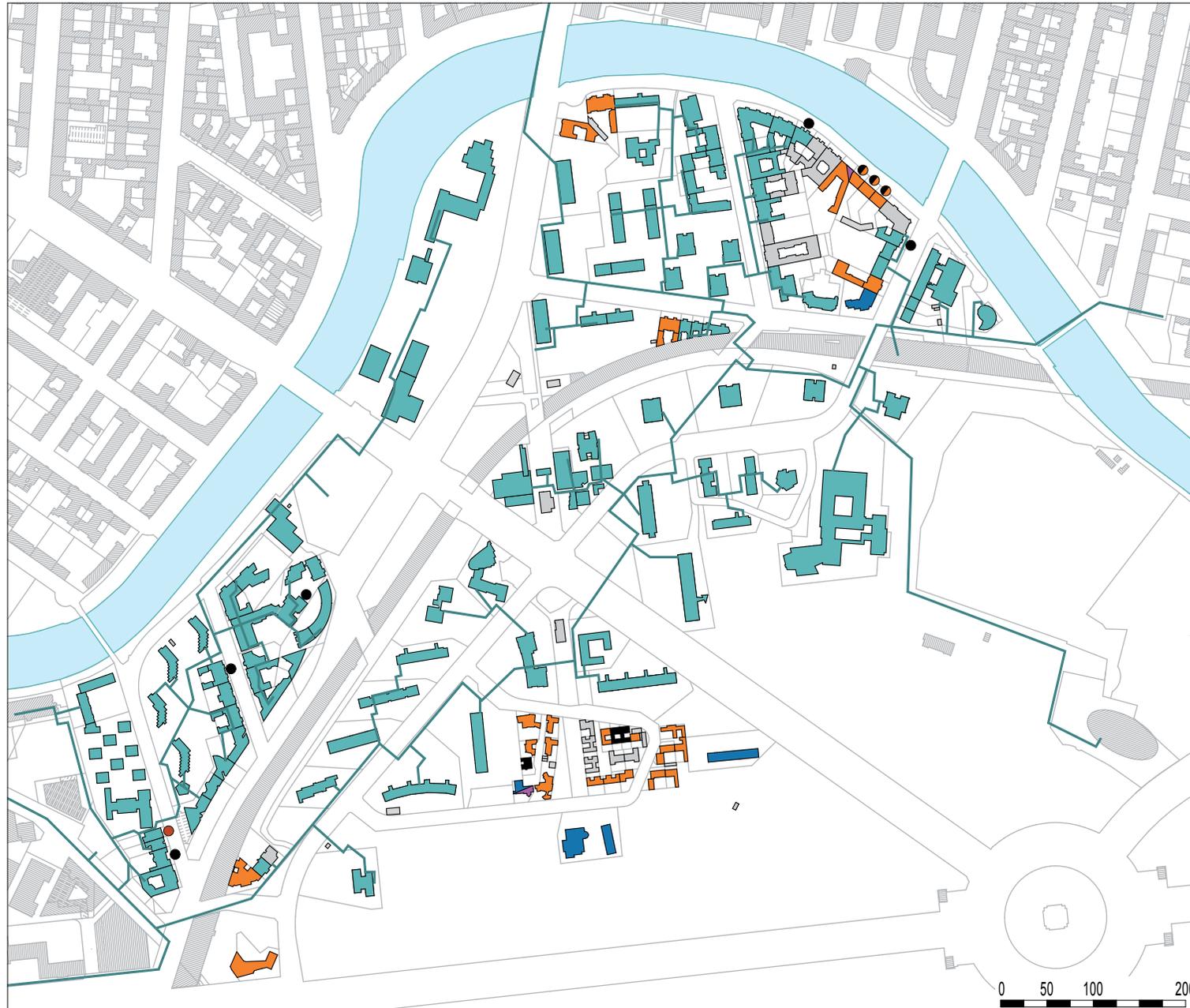


Abbildung 14:
Fernwärmenetz des Berliner Hansaviertels. Über szenariobasierte Untersuchungen konnte gezeigt werden, dass auch in einem Stadtquartier mit sehr hohem Denkmalbestand (ca. 50% der bestehenden Bausubstanz) ein vollwertiger Klimaschutz realisierbar ist. Die Klimagasemissionen im Jahr 2050 können in Verbindung mit der power-to-gas-Strategie und den denkmalverträglichen Effizienzverbesserungen gegenüber 1990 um ca. 85 % abgesenkt werden.
Quelle: (Vallentin 2012, S. 51)

- Fernwärmenetz
- Fernwärme
- Heizöl (zentral / dezentral)
- Erdgas (zentral / dezentral)
- Solarwärme
- elektrisch
- Warmwasser dezentral elektrisch
- Warmwasser Wärmepumpe (Geothermie)
- unbekannt

3.4 Fehlende Berücksichtigung der vorgelagerten Energiekette und des Herstellungsenergieaufwandes

Im Gegensatz zu der Bewertungsmethoden mit nicht-erneuerbarer Primärenergie (z.B. PHPP, EnEV) wird im PER-Modell der indirekte Energieaufwand für Exploration, Transport, Herstellung, Montage, Netze usw. im Sinne des kumulierten Energieaufwands (bzw. Energieverbrauchs) nicht berücksichtigt. Dieser kann jedoch gerade in erneuerbaren Systemen erheblich ausfallen (z.B. für PV-Anlagen mit Unterkonstruktionen, Batteriespeicher, Aufwand für power-to-gas-Anlagen, HGÜ-Kabel nach Norwegen). Dies ist mit eine der Ursachen, warum die PER-Faktoren für Strom so gering ausfallen. Gerade aus der Sicht des Klimaschutzes wäre es jedoch wünschenswert, diese Energieaufwendungen mitzubilanzieren, weil sie bei vielen erneuerbaren Systemen die Treibhausgasemissionen der Energieerzeugung dominieren (auch wenn diese derzeit im Vergleich zu den fossil gestützten Systemen gering ausfallen).

3.5 Bilanzierung von energieautarken Gebäuden bzw. Versorgungen mit Arealnetzen

Energieautarke Häuser können wegen des fehlenden Netzanschlusses nicht ohne weiteres im PER-System abgebildet werden. Die PER-Faktoren sind hier für jeden Einzelfall neu zu bestimmen (wie z.B. geht man mit der konkreten Frage um, dass man den Nachbarn überschüssigen Strom schenkt?). Im Ergebnis führt dies (vermutlich) zu einer deutlich ungünstigeren Einstufung, weil die Erzeugungseffizienz in einem autarken System deutlich geringer ist, als in einem Gebäude mit Netzanschluss (siehe Abbildung 9).

Derartige Gebäude machen jedoch bereits heute die Bedingungen einer 100%-erneuerbaren Versorgung erfahrbar, speziell die Herausforderungen, die sich aus der Winterlücke ergeben.

Sie führen u.U. zu innovativen Lösungsansätzen mit strategischer Bedeutung (z.B. im Hinblick auf möglichst unaufwändige Überbrückungstechnologien für die kurzen Phasen mit Erzeugungsdefizit). Ähnliche Fragestellungen ergeben sich falls über eine PV-Anlage erzeugter und in Batterien gespeicherter Strom selbst genutzt wird oder eine weitgehend unabhängige Energieversorgung in einem Arealnetz aufgebaut wird.

3.6 Kritik aus städtebaulicher Perspektive

Umfangreiche Untersuchungen des Autors zu Passivhaussiedlungen zeigen auf, dass die konsequente Anwendung der Effizienzstrategien (sehr gut wärmegeämmte und luftdichte Gebäudehülle, Lüftung mit Wärmerückgewinnung) im Hinblick auf die städtebauliche Raumbildung weitgehend unkritisch ist. Dies in starken Kontrast zu den meisten Entwurfsprinzipien einer solaren Optimierung, wie sie häufig unter dem Schlagwort der „Solarisierung“ eingefordert werden. Für Passivhäuser ist der Entwurfsaspekt der Kompaktheit viel entscheidender als Südorientierung und Verschattungsfreiheit. Gerade deshalb kann das Passivhauskonzept gleichzeitig einen strategischen Beitrag zum Klimaschutz und zum flächensparenden Bauen leisten. Die genannten Aspekte sind bei der energetischen Sanierung im Bestand von nochmals größerer Bedeutung, weil hier die städtebaulichen Randbedingungen weitgehend unveränderbar vorgegeben sind (vgl. Vallentin 2011, S. X-16 ff. und S. XII-19).

In städtischen Wohnformen findet sich häufig eine Kombination von geringen Wohnflächen pro Person mit einem geringen Mobilitätsaufwand (z.B. gute ÖPNV-Anbindung, Carsharing, Wohnen ohne Auto). Passivhäuser sind in der kompakten Stadt selbst bei ungünstiger Orientierung und starker Verschattung ohne größere Probleme realisierbar. Dadurch können die geringeren aktiv- und passiv-solaren Potentiale gegenüber vorstädtischen oder ländlichen Wohnformen mehr als ausge-

glichen werden.

Um es mit einem plastischen Gegenbeispiel - das derzeit sehr viel publizistische Aufmerksamkeit genießt - zu verdeutlichen: Ein Niedrigstenergie-Bungalow mit PV-Dach erfüllt zwar die Anforderungen an ein Plusenergie- oder Aktivhaus, ist aber als verallgemeinerbares städtebauliches Modell im Sinne energetischer Nachhaltigkeit denkbar ungeeignet.

Erst im Nachhinein wird deutlich, dass das bisherige Primärenergiekriterium erheblich dazu beigetragen hat, dass die problematischen Aspekte des solaren Städtebaus für Passivhäuser kaum eine Rolle spielten: es waren sehr viele Gebäudeformen und Versorgungskonzepte möglich, sofern ausreichend auf die Stromeffizienz geachtet und hinreichend kompakt gebaut wurde (z.B. Vermeidung eingeschossiger Bauweisen). Nur wenige Wärmeerzeugungslösungen waren ausgeschlossen (z.B. eine ausschließlich direktelektrische Heizung und Warmwasserbereitung). Weder war eine ausgeprägte passive noch eine aktive Solarenergienutzung Voraussetzung zur Erfüllung der Passivhausanforderungen.

In den neuen Passivhaus-Klassen „Plus“ und „Premium“ bekommen jedoch wegen der dort festgesetzten hohen Anforderungen an die Erzeugung erneuerbarer Energien die problematischen Entwurfsaspekte der „Solarisierung“ wieder größere Bedeutung. Dies gilt speziell dann, wenn beabsichtigt wird, relevante Beiträge als Eigenerzeugung am Gebäude (Fotovoltaik, thermische Kollektoren) nachzuweisen.

Die Eigenerzeugung von Solarstrom und -wärme wird zwar aus Ressourcensicht zutreffend auf die bebaute Grundfläche des Gebäudes bezogen. Die Privilegierung ein- oder zweigeschossiger Gebäude kann dadurch zuverlässig vermieden werden (siehe das o.g. Problem der Plusenergie-Bungalows). Die möglichen Konflikte bei der städtebaulichen Raumbildung durch energieoptimierte Dachformen, Orientierung und Verschattungsfreiheit bleiben jedoch gleichwohl bestehen (siehe Tabelle 3, Spalte rechts außen). Bei der Festlegung der Grenzwerte für die Erzeugungs-PER der Passivhaus-Klassen „Plus“ und „Premium“ wurde nicht berücksichtigt, dass bei Gebäuden in der kompakten Stadt und noch mehr bei energetischen Mo-



Abbildung 15: Typisches Gebäude im Bestand mit Flachdach und begrenzten Möglichkeiten zur Aufstellung von Solar- bzw. PV-Anlagen.

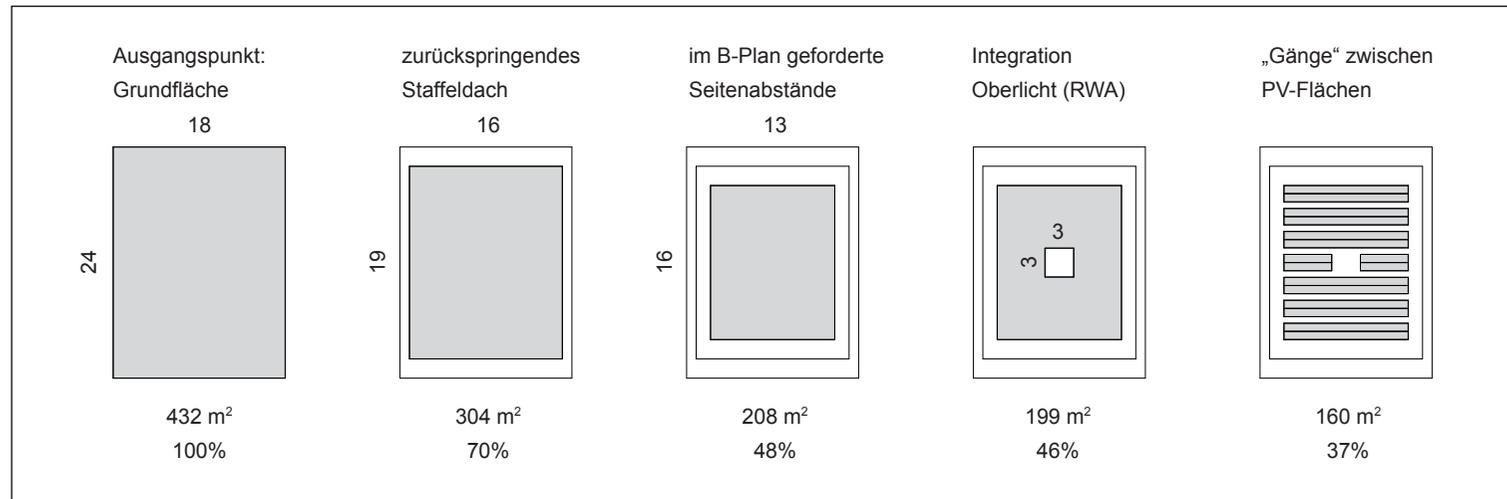


Abbildung 16: Exemplarische Bestimmung des maximalen Solarflächenpotentials für das bereits in Abschnitt 2.1 vorgestellte Mehrfamilienhaus in München. Durch das im B-Plan vorgeschriebene Staffeldach und die dort geforderten Seitenabstände für Solar- bzw. PV-Anlagen reduziert sich das Flächenpotential bereits auf weniger als die Hälfte. Weitere Einschränkungen ergeben sich durch das Oberlicht (RWA-Anlage) und die „Gänge“ zwischen den PV-Reihen für Kontrollen und Reinigung. Am Ende verbleiben 37 % der Grundfläche mit einer maximalen PER-Erzeugung von ca. 30 - 40 kWh/m²_{Grund}a.

Abbildung 17:
Typische Dachlandschaft in einem Gründerzeitviertel. Es ist unmittelbar einsichtig, dass die Integration von thermischen Solaranlagen oder von Fotovoltaikanlagen in diesen Fällen sowohl aus baukulturellen bzw. gestalterischen Gründen nicht in Frage kommt. Zusätzlich werden durch Gauben, Erker, Dachversprünge usw. die Flächenpotentiale stark begrenzt.



dernisierungen im Bestand zusätzliche Restriktionen hinsichtlich Orientierung und Flächenverfügbarkeit (Dachform, geforderte Seitenabstände, notwendige Dachflächenfenster und Gauben, Aufzugsüberfahrten, Lüftungsanlagen usw.) existieren (siehe Abbildung 15, 16 und 17). Das schränkt eine Vergleichbarkeit zwischen Gebäuden mit unterschiedlichen städtebaulichen Randbedingungen im Hinblick auf die Integration solarer Systeme erheblich ein. In der schon erwähnten Hansaviertel-Studie wurden auch die Potenziale der Dachflächen für eine Solarstromerzeugung untersucht. Gemittelt über das gesamte Quartier ergibt sich eine PER-Erzeugung von maximal $22,5 \text{ kWh/m}^2_{\text{Grund}} \text{ a}$ (7).

Wichtig ist, zu betonen, dass diese Kritikpunkte immer dann unzutreffend sind, wenn die Erzeugung (wie ausdrücklich vorgesehen) außerhalb des Bau- oder Siedlungsgrundstück erfolgt, z.B. in Form einer Beteiligung an einer Windkraftanlage. Dann jedoch kann die überbaute Fläche als Bezugsgröße nicht wirklich überzeugen (8).

Ferner können die strengen Anforderungen bei den PER-Be-

darfswerten in der Passivhaus-Klasse „Premium“ im Einzelfall dazu führen, dass der Südorientierung und einer Minimierung der Verschattung ein sehr hohes strategisches Gewicht im Entwurf zugeschrieben wird. Die Unterschiede sind zwar sehr gering (maximal $10 \text{ kWh/m}^2 \text{ a}$ beim PER-Bedarf und maximal $15 \text{ kWh/m}^2_{\text{Grund}} \text{ a}$ bei der PER-Erzeugung). Jedoch sind diese Unterschiede hoch genug, um im Rahmen einer solaren Optimierung räumliche Entscheidungen zu treffen, bei denen die Aspekte der städtebaulichen Raumbildung nicht angemessen berücksichtigt werden (siehe Tabelle 3).

Aus städtebaulicher Perspektive beinhalten somit speziell die Passivhaus-Klassen „Plus“ und „Premium“ potenziell kritische Aspekte, die in der bisherigen Primärenergiebewertung keine Rolle gespielt haben.

3.6 Verrechnung ungleicher Größen (PER-Diagramm)

In der kombinierten PER-Bewertung zur Einordnung von Projekten in die neuen Passivhaus-Klassen findet teilweise eine Verrechnung der spezifischen Kennwerte von Bedarf und Eigenenergieerzeugung statt, obwohl diese unterschiedliche Bezugsgrößen aufweisen. Zur Verwirrung trägt insbesondere die grafische Darstellung bei. Zudem wird an dieser Stelle die bisherige Systematik der Passivhaus-Zertifizierung, die auf unabhängig voneinander zu erfüllenden Anforderungen basiert, aufgegeben.

3.7 Kritik der Klassenbildung in Bewertungsverfahren

Mit der Bildung und Ausgestaltung der neuen Passivhaus-Klassen als zentraler Bestandteil der künftigen Projektierung und Zertifizierung von Passivhäusern findet ein Paradigmenwechsel statt. Dieser führt weg von den bislang vor allem wissenschaftlich begründeten und nebeneinander zu erfüllenden An-

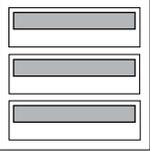
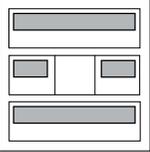
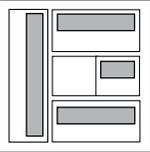
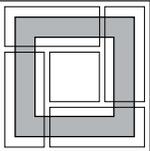
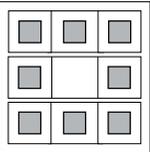
Siedlungstyp	Bauliche Dichte	Heizwärmebedarf	PER-Bedarf	PER-Erzeugung (50% / 100%)
 Strikte Südzeilen	1,29 (GFZ-Modul)	10,5 kWh/m ² _{EBF} a	60,0 kWh/m ² _{EBF} a 45,0 kWh/m ² _{EBF} a 30,0 kWh/m ² _{EBF} a	Pultdach: 60 / 120 kWh/m ² _{Grund} a Satteldach: 30 / 60 kWh/m ² _{Grund} a Flachdach: 25 / 50 kWh/m ² _{Grund} a
 Zeilenbau-Siedlung Typ Z, südorientiert	1,07 (GFZ-Modul)	10,8 kWh/m ² _{EBF} a	60,4 kWh/m ² _{EBF} a 45,2 kWh/m ² _{EBF} a 30,1 kWh/m ² _{EBF} a	Pultdach: 60 / 120 kWh/m ² _{Grund} a Satteldach: 30 / 60 kWh/m ² _{Grund} a Flachdach: 25 / 50 kWh/m ² _{Grund} a
 Zeilenbausiedlung mit Querzeile, Typ Q	1,07 (GFZ-Modul)	12,1 kWh/m ² _{EBF} a	63,4 kWh/m ² _{EBF} a 46,0 kWh/m ² _{EBF} a 31,0 kWh/m ² _{EBF} a	Pultdach: 55 / 110 kWh/m ² _{Grund} a Satteldach: 27,5 / 55 kWh/m ² _{Grund} a Flachdach: 25 / 50 kWh/m ² _{Grund} a
 Windflügelartige Zeilensiedlung Typ W	1,07 (GFZ-Modul)	12,6 kWh/m ² _{EBF} a	63,4 kWh/m ² _{EBF} a 46,3 kWh/m ² _{EBF} a 31,2 kWh/m ² _{EBF} a	Pultdach: 52,5 / 105 kWh/m ² _{Grund} a Satteldach: 26,2 / 52,5 kWh/m ² _{Grund} a Flachdach: 25 / 50 kWh/m ² _{Grund} a
 Zeilenbau-Siedlung Typ Z, westorientiert	1,07 (GFZ-Modul)	15,0 kWh/m ² _{EBF} a	69,5 kWh/m ² _{EBF} a 47,8 kWh/m ² _{EBF} a 32,5 kWh/m ² _{EBF} a	Pultdach: 50 / 100 kWh/m ² _{Grund} a Satteldach: 25 / 50 kWh/m ² _{Grund} a Flachdach: 25 / 50 kWh/m ² _{Grund} a
 Baublock Typ B	1,65 (GFZ-Modul)	12,0 kWh/m ² _{EBF} a	63,2 kWh/m ² _{EBF} a 45,9 kWh/m ² _{EBF} a 30,9 kWh/m ² _{EBF} a	Pultdach: 52,5 / 105 kWh/m ² _{Grund} a Satteldach: 26,2 / 52,5 kWh/m ² _{Grund} a Flachdach: 25 / 50 kWh/m ² _{Grund} a
 Punkthausbebauung Typ P	1,13 (GFZ-Modul)	12,0 kWh/m ² _{EBF} a	63,2 kWh/m ² _{EBF} a 45,9 kWh/m ² _{EBF} a 30,9 kWh/m ² _{EBF} a	Pultdach: 60 / 120 kWh/m ² _{Grund} a Satteldach: 30 / 60 kWh/m ² _{Grund} a Flachdach: 25 / 50 kWh/m ² _{Grund} a

Tabelle 3:
Vergleich der PER-Kennzahlen für Bebauungsformen mit unterschiedlicher städtebaulicher Raumbildung.

Der PER-Bedarf wurde ausgehend vom optimalen Fall (strikte Südzeilen) und den Grenzwerten der Passivhaus-Klassen mit folgenden Versorgungssystemen kalkuliert:

- „Classic“: Gas-BW + Solaranlage
sehr hohe Stromeffizienz
- „Plus“: el. Wärmepumpe
mittlere Stromeffizienz
- „Premium“: el. Wärmepumpe
hohe Stromeffizienz

Für die PER-Erzeugung wurde eine Belegung der jeweils nutzbaren Dachflächen mit 50% und 100% auf folgender Grundlage abgeschätzt:

- Standort: Würzburg
- Neigung Module: 30 Grad
- Ertrag: 1,16 kW_p/10m²_{Modul}

Die Berechnung des Heizwärmebedarfs erfolgte auf der Grundlage der Modellbildung und Ergebnisse in (Valentin 2011, S. X-16 ff.). Die Ergebnisse wurden so angepasst, dass der Heizwärme-Kennwert im ungünstigsten Fall (westorientierte Zeilenbebauung) genau 15 kWh/m₂a beträgt.

forderungen hin zu einem Verständnis des Passivhauses als „Marketing-Instrument“. Dies wird bereits an den Namen der Labels („Classic“, „Plus“ und „Premium“) deutlich.

Eine Klassenbildung setzt voraus, dass Anforderungen existieren, die sinnvolle Abstufungen zulassen. Zusätzlich kommt ein Wettbewerbsgedanke ins Spiel, der im Kontrast zu der bisherigen Bewertung in Form eines klar definierten Standards steht. Wie in jedem Wettbewerb ist Fairness eine zentrale Bedingung für die im PER-System getroffenen Vergleiche und Klassenbildungen. Damit kommt den Abgrenzungskriterien zwischen den Klassen eine hohe Bedeutung zu. Wie die aufgeführten Kritikpunkte nahelegen, scheint es aber besonders schwierig zu sein, im PER-System einheitliche Voraussetzungen für einen fairen Vergleich herzustellen:

- Der Charakter des PER-Modells als Gedankenexperiment erschwert die Beurteilung der gewählten Versorgungslösung unter den mittelfristigen Randbedingungen des real existierenden Energiesystems (z.B. Problem der Richtungssicherheit im Hinblick auf den Klimaschutz).
- Die städtebaulichen und architektonischen Randbedingungen können von Einzelfall zu Einzelfall erheblich variieren. Gerade in der kompakten Stadt sind einer (solar-)energetischen Optimierung enge Grenzen gesetzt.
- Bei der energetischen Modernisierung im Bestand sind die städtebaulichen, architektonischen und baukulturellen Randbedingungen und Restriktionen weitgehend unveränderbar vorgegeben. Gleichwertige Ausgangsbedingungen sind eher die Ausnahme als die Regel.

Die viel grundlegendere Frage betrifft die Bedeutung von Klassen für die Offenheit eines Bewertungssystems. An dieser Stelle sei ein kleiner philosophischer Exkurs erlaubt: Wenn von „Klassen“ die Rede ist, denkt man als erstes an die Klassengesellschaft, die Platon in der „Politeia“ entwirft. Er begründet sie mit der naturgegebenen Einordnung der Bürger in „Ei-

sen- und Kupfer“-Menschen als Handwerker und Bauern, in „Silber“-Menschen als Soldaten und Wächter sowie in „Gold“-Menschen als Herrscher und Könige (vgl. Platon 2015 415a). Platon entwickelt einen Erziehungsstaat, der jedem Menschen sein Platz in der Polis zugewiesen ist. Sein Ideal ist eine stabile Gesellschaft ohne Veränderungen. Dort gilt der Grundsatz: „Jedem das Seine“ (vgl. Platon 2015, 434a), d.h., alle Bürger sollen die ihnen übertragenen Aufgaben pflichttreu erfüllen, aber nicht darüber hinaus gehen.

Karl Popper sieht in Platons Staat ein totalitäres System, dem er die „offene Gesellschaft“ gegenüberstellt. Diese lässt sich auf Veränderungen ein und betont die Autonomie und gegenseitige Verantwortung der Individuen und Institutionen. Damit versucht er den Formen der modernen Demokratie eine philosophische Basis zu geben (vgl. Popper 1957/2003).

Was hat dieser Exkurs mit den neuen Passivhaus-Klassen zu tun?: Es finden sich gerade in den konkurrierenden Bewertungsinstrumenten Anleihen an Platons Soziallehre (z.B. die Bezeichnungen „Bronze“, „Silber“ und „Gold“ für die Zertifizierungsklassen im DGNB-System). Auch in den neuen Passivhaus-Klassen sind derartige Vorstellungen enthalten, auch, indem versucht wird, durch das „Design“ der Klassen, bereits alles Künftige im Vorhinein zu definieren und in das eigene System einzuordnen. Damit geht aber auch die Offenheit für heute noch nicht Erprobtes oder gänzlich Unbekanntes verloren.

Der Haupteinwand jedoch ist, dass es als nahezu unmöglich leistbar erscheint, gut begründete und/oder an objektiven Kriterien orientierte Abgrenzungskriterien zwischen den Klassen festzulegen. Schon bei der Bestimmung von „einfachen“ Grenzwerten sind erhebliche Unsicherheiten vorhanden, die es nahe legen, anstelle eindeutiger Grenz- oder Zielwerte eher „Grenzwertkorridore“ oder „Zielfelder“ zu bestimmen und verschiedene Bewertungen ohne Gewichtung oder Verrechnung nebeneinander stehen zu lassen.

4 Vorschlag für ein modifiziertes Verfahren

Eine Kritik sollte idealerweise einen neuen Vorschlag einschließen, der dann seinerseits der Kritik (z.B. durch das PHI und andere) unterzogen werden kann. Der Alternativvorschlag stellt eine moderate Reform des alten Systems dar und ist nur für die nächste Übergangsphase (z.B. bis 2030, je nach Ausbaugeschwindigkeit der erneuerbaren Energien) anwendbar. Er bezieht sich auf den Standort Deutschland und geht von der Prämisse aus, dass in dieser Phase vor allem der Klimaschutz Priorität hat.

4.1 Vorüberlegungen

Ausgangspunkt ist, dass die bisherige Bewertung in Form einer Momentaufnahme mit aktuellen Faktoren für die nicht-erneuerbare Primärenergie immer mehr an Aussagekraft verliert. Eine schrittweise Absenkung der Primärenergie-Kennwerte, wie z.B. in (Vallentin 2008) vorgeschlagen, kann die grundlegenden Probleme nur unvollkommen lösen.

In der ersten Phase der Transformation, die bis etwa 2030 angesetzt werden kann, schreitet der Ausbau der erneuerbaren Stromerzeugung weiter voran. Der Anteil des regenerativ erzeugten Stroms könnte bis dahin bei etwa 50 % liegen. Eine saisonale Speicherung von Strom findet zunächst in nur untergeordnetem Maße statt. Die Energieversorgung von Gebäuden basiert in dieser Phase überwiegend auf fossilen Energieträgern, weil die Wärmeversorgung noch dominant mit fossilen Brennstoffen (Erdgas, Heizöl, z.T. auch noch fossil gestützte Fernwärme) erfolgt. Dafür sind vor allem die Pfadabhängigkeiten durch die heute vorhandene Heizstruktur verantwortlich. Nur nach und nach können sich stromgestützte Wärmeversorgungen (z.B. Wärmepumpenheizungen, direktelektrische

Klimaschutzstandards: zu unterschreitende Grenzwerte für die Zeitperiode 2015 - 2020				
Bezugsgröße: Energiebezugsfläche (m²)	Neubau	Bestand		
		voll sanierbar	bedingt sanierbar	
			mit Innendämmung	ohne
Primärenergie-Kennwert (nicht erneuerbar) in kWh/m²a	70 (100)	90 (125)	120 (170)	160 (220)
Global-Warming-Potential (30 Jahre) (CO ₂ -äquivalent-Emissionen) in kg/m² (30a)	500	650	850	1.150
Bezugsgröße: Person (P)				
Primärenergie-Kennwert (nicht erneuerbar) in kWh/P a	2.800	3.600	4.800	6.400
Global-Warming-Potential (30 Jahre) (CO ₂ -äquivalent-Emissionen) in kg/P (30a)	20.000	26.000	34.000	46.000

Systeme für Kleinanwendungen) im Gebäudepark durchsetzen. Aufgrund des gleichzeitig stattfindenden Atomenergieausstiegs steigt vorübergehend die Stromerzeugung aus Kohle- und Erdgas-Kraftwerken an.

Die Übergangsphase bis 2030 ist entscheidend für den langfristigen Erfolg der Klimaschutzpfade. Dabei lassen sich vier Grundstrategien identifizieren (vgl. Vallentin 2011, S. IV-140):

- 1 Steigerung der Nutzungseffizienz bei allen Energieanwendungen (Raumwärme, Warmwasser, Prozesswärme, sämtliche Stromanwendungen)
- 2 Steigerung der Umwandlungseffizienz bei der Wärme- und Stromerzeugung (Heizsysteme, Kraftwerke, unter gewissen Randbedingungen auch Ausbau KWK-Anlagen)
- 3 Dekarbonisierung der Energieversorgung (Ersatz kohlen-

Tabelle 4:
Zu unterschreitende Grenzwerte für Klimaschutzstandards von Wohnbauten in Deutschland auf der Basis gemittelter Primärenergie- und GWP-Faktoren der nächsten 30 Jahre gemäß Tab. 5, grau hinterlegte Spalten Nr. 5 und 6. Zum besseren Vergleich sind in Klammern die Primärenergie-Kennwerte mit aufgeführt, die der bisherigen Berechnungsmethodik und den aktuellen Primärenergiefaktoren gemäß [PHPP 9.2] entsprechen.

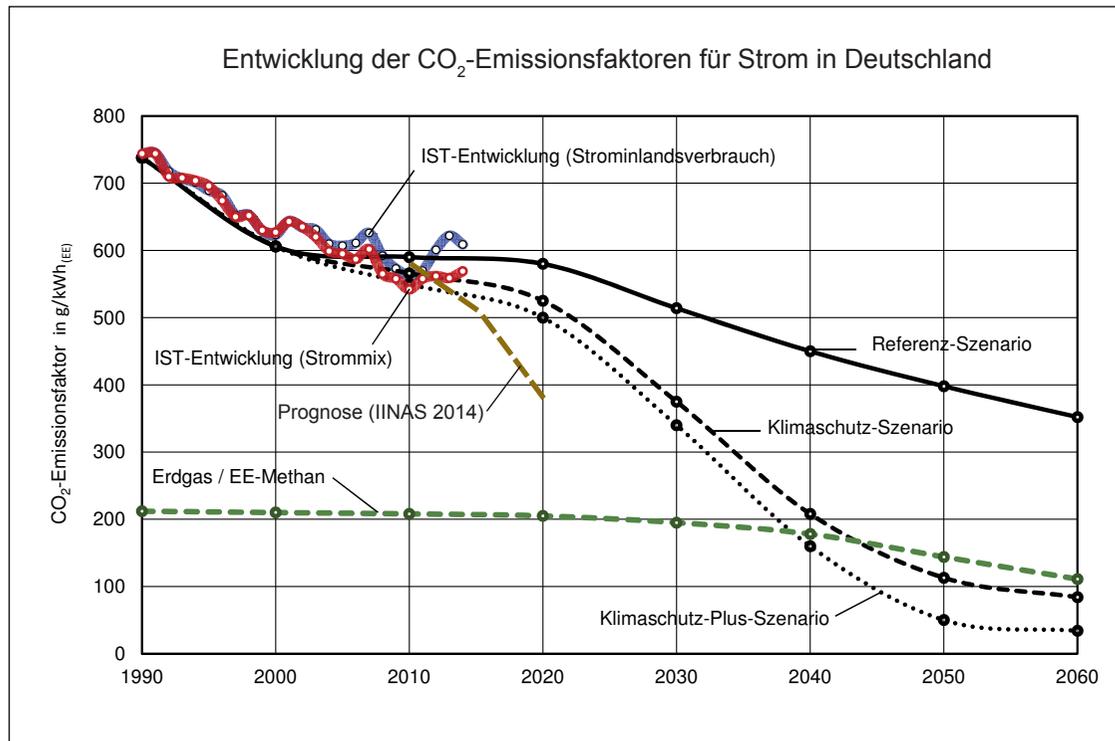


Abbildung 18:
Entwicklung der CO₂-Emissionsfaktoren für Strom in verschiedenen Szenarien (vgl. Vallentin 2011 S. IV-86 ff.) und Netzgas für den Fall, dass ab 2020/30 eine Produktion von EE-Methan gemäß dem „power-to-Gas“-Konzept (vgl. Sterner et al. 2011) beginnt. Zur besseren Einordnung ist die IST-Entwicklung des Strominlandsverbrauchs sowie des deutschen Strommixes 1990 - 2014 (vgl. UBA 2015) und eine sehr optimistische Prognose aus (IINAS 2014) eingetragen, auf die in (Krick 2016) Bezug genommen wird.

stoffintensiver durch kohlenstoffärmere oder -freie Energieträger, insbesondere durch den Ausbau der erneuerbaren Energien)

- 4 Angesichts der sehr hohen konsumbedingten Treibhausgasemissionen, kommt künftig auch den Suffizienzstrategien eine entscheidende Rolle zu. Wesentliche Ansätze stellen hier z.B. eine Reduzierung der Wohn- bzw. Nutzfläche pro Person, der Ausstattungs- und Oberflächenqualitäten sowie der Art und des Umfangs der in Anspruch genommenen Energiedienstleistungen dar.

Die neue Bewertung sollte in der Lage sein, jeden dieser vier Strategieansätze nachvollziehbar in seinen Auswirkungen auf das Global Warming Potential (GWP) abbilden zu können.

Dabei sollten die Ergebnisse aus szenariengestützten Untersuchungen berücksichtigt werden, damit das Berechnungsverfahren in engem Bezug zu praktisch umsetzbaren Klimaschutzpfaden steht. Eine besondere Rolle spielt hierbei die Anwendung des Kopplungsprinzips, d.h. Effizienzmaßnahmen und der Ausbau erneuerbarer Energien finden aus wirtschaftlichen Gründen im Rahmen der ohnehin erfolgenden Instandsetzungs- und Erneuerungszyklen statt. Ferner sind die notwendigen Differenzierungen bei der energetischen Modernisierung im Bestand, abhängig von der Eingriffsempfindlichkeit im Einzelfall, zu berücksichtigen.

Das Anwendungsspektrum der Klimaschutzstandards sollte möglichst groß sein und auch eine Bewertung der mit dem Passivhausstandard konkurrierenden Konzepte (z.B. Aktivhaus, Sonnenhaus, DGNB, Klimahaus:aktiv, Minergie-P, 2000-Watt-Gesellschaft) ermöglichen. Für Passivhäuser sollte weiterhin eine große Vielfalt an Versorgungslösungen möglich sein, sofern diese klimaverträglich sind und sonstige Nachhaltigkeitsaspekte (z.B. begrenzte Verfügbarkeit Biomasse, Vermeidung von Risikotechnologien wie Atomenergie bzw. Einspeicherung von CO₂ im Ozean oder in geologischen Lagern) erfüllen. Dies auch, weil die Wahl der Versorgungslösung nicht immer frei erfolgen kann (z.B. Anschlusszwang an Fernwärme, Weiterverwendung vorhandener Infrastrukturen, Präferenzen der Bauherren).

Die Beurteilung des Klimaschutzes erfolgt über einen begründeten Indikator, der die Treibhausgasemissionen des Gebäudes, die durch die Energieversorgung inklusive der vorgelagerten Energieketten verursacht werden, abbildet. Er sollte in Übereinstimmung mit dem 2- (oder 1,5-) Grad-Ziel stehen. Das erfordert eine Positionierung im Hinblick auf die Klimagerechtigkeit zwischen Ländern und Sektoren, z.B. über die Bestimmung eines zulässigen personenbezogenen CO₂-Äquivalent-Budgets mit Hilfe eines dafür geeigneten Verteilungsmodells (vgl. Höhne / Moltmann 2009).

Energieträger	PE-Faktor (nicht erneuerbar)	CO ₂ -äquiv.-Faktor	PER-Faktor	PE-Faktor (30a) nicht erneuerbar	CO ₂ -äquiv.-Faktor (30a)
	kWh _{PE} /kWh _{EE}	kg/ kWh _{EE}	kWh _{PER} /kWh _{EE}	kWh _{PE} /kWh _{EE}	kg/ kWh _{EE}
Heizöl / (EE-Methanol)	1,1	0,32	2,30	1,1	0,30
Erdgas/ EE-Methan (Netzgas)	1,1	0,25	1,75	0,9	0,20
Pellets / Brennholz	0,2	0,05	1,1 / 1,80 / 1,30 ⁽¹⁾	0,1 / 1,1 ⁽²⁾	0,05
Strom-Mix (Netzstrom)	2,6 / 2,4 (1,8)?	0,64 / neu: 0,53	1,1 / 1,80 / 1,30 ⁽³⁾	1,6	0,40
PV-Strom	0,7	0,134	1,0 (Erzeugung)	0,25	0,10
Thermische Solaranlage	0,0	0,045	0,2 - 0,6 ⁽⁴⁾ bzw. 1,0 (Erzeugung)	0,08	0,02
Fernwärme bzw. BHKW mit Erdgas / EE-Methan-Gemisch	85% KWK	k.A.	k.A.	0,85 / 1,39 / 1,01 ⁽⁵⁾	0,70
	70% KWK	0,7	-0,07	0,95 / 1,56 / 1,13 ⁽⁵⁾	0,77
	55% KWK	k.A.	k.A.	1,06 / 1,73 / 1,25 ⁽⁵⁾	0,85

4.2 Bestimmung von über 30 Jahre gemittelten Primär-energie- und Treibhausgas-Emissions-Faktoren

Der gewählte Lösungsansatz besteht darin, anstelle der momentanen Primärenergie- und GWP-Faktoren, diese als Mittelwerte über einen längeren Zeitraum zu bestimmen. Der Zeitraum wurde mit 30 Jahren so gewählt, dass er der Standzeit üblicher Haustechnikaggregate entspricht. Die Nutzungsdauern der baulichen Komponenten sind mit 50 - 100 Jahren zwar deutlich länger. Jedoch wäre es hoch spekulativ, eine Prognose zum Wandel der Energieerzeugung über einen derart ausgedehnten Zeitraum aufzustellen.

Die Ermittlung dieser Faktoren erfolgt auf der Grundlage von szenariengestützten Untersuchungen. Die dort modellierten Szenarien bilden in sich konsistente Entwicklungen ab, die als unterschiedliche „Energiezukünfte“ interpretiert werden können. Durch das Nebeneinanderstellen verschiedener Szenarien,

entsteht ein „Feld“ von möglichen Entwicklungen, die am Ende eine Risikoabwägung zulassen. Denn es darf nicht davon ausgegangen werden, dass die tatsächliche Entwicklung in allen Aspekten den Klimaschutzpfaden entsprechen wird **(9)**.

In Abbildung 18 ist die mögliche Entwicklung der CO₂-Emissionsfaktoren für Strom in Deutschland im Zeitraum 1990 - 2060 aufgetragen. Die Basis bilden drei Szenarien, in denen die Stromerzeugung gemäß der Modellierung in (Vallentin 2011, S. IV-86 ff.) integriert ist. Im Referenzszenario wird ein zurückhaltender Ausbau der erneuerbaren Stromerzeugung unterstellt, der jedoch nicht der tatsächlichen Entwicklung entspricht. Im Klimaschutzszenario wird ein konsequenter Ausbau der regenerativen Stromsysteme angenommen, der, bei deutlichen Abweichungen im Detail, insgesamt recht gut der bisherigen Entwicklung entspricht **(10)**. Im Klimaschutz-Plus-Szenario wird das Ziel einer bis 2050/60 vollständig regenerativen Stromerzeugung verfolgt.

Tabelle 5: Primär- und Treibhausgasemissions-Faktoren im Überblick. In der zweiten und dritten Spalte sind die Faktoren des alten PHPP-Systems genannt. In der vierten Spalte die neuen PER-Faktoren gem [PHPP 9.2]. Die Werte der letzten zwei Spalten sind Faktoren, die als Mittelwerte für die nächsten 30 Jahre in Deutschland bei konsequenter Verfolgung der Energiewende (Reduktion CO₂-Emissionen von 80 – 95% gegenüber Stand 1990) zu erwarten sind. Dabei ist ein allmählicher Ausbau der EE-Methan-Gewinnung aus Überschussstrom (Windgas) angenommen, der auch im PER-System die Rolle der saisonalen Speicherung übernimmt. Bis 2050 soll der Anteil von EE-Methan im Gasnetz auf 40 % ansteigen.

(1) Biomasse-Budget: bis 20 kWh/m²a Faktor 1,1, darüber im Winter 1,80 und im Sommer 1,30.

(2) bis 20 kWh/m²a (Biomasse-Budget) 0,1 / darüber 1,1.

(3) bis 20 kWh/m²a (Biomasse-Budget) 1,1 / darüber, falls Heizstrom 1,80 / darüber, falls Haushalts- bzw. WW-Strom 1,30.

(4) Bedarfsseitig 0,2 – 0,6 je nach Anlagengröße

(5) bei Netzverlusten von 20%, bis 20 kWh/m²a 0,85 (Biomasse-Budget) / darüber falls Heizung 1,39 / darüber falls Warmwasser 1,01 (analog geringere Werte für geringere Anteile KWK in den zwei Zeilen darunter).

Zur besseren Orientierung sind in Abbildung 18 die IST-Entwicklungen für den Strominlandsverbrauch (blaue Linie mit Punkten) und für den deutschen Strommix (rote Linie mit Punkten) aufgetragen. Letzterer ist aussagekräftiger, weil direkt auf den Inlands-Stromverbrauch bezogen (**11**). Es ist deutlich zu erkennen, dass es ab etwa 2010 durch den Umbau des fossilen Kraftwerksparks zu steigenden CO₂-Emissionen gekommen ist (vgl. UBA 2015, S. 16). Das ist u.a. auf den Atomenergieausstieg zurückzuführen. Zusätzlich ist eine (zu) optimistische Prognose aus (IINAS 2014) angetragen, auf die später im europäischen Kontext eingegangen wird und auf die ferner in (Krick 2016) Bezug genommen wird.

Im Klimaschutzszenario ergibt sich im Jahr 2030 ein Wert von 375 g/kWh_{EE} für die spezifischen CO₂- und von ca. 420 g/kWh_{EE} für die CO₂-Äquivalent-Emissionen. Diese können als Mittelwert für den Zeitraum 2015 - 2045 verwendet werden.

Dieselbe Betrachtung kann nun auch im Hinblick auf die nicht-erneuerbare Primärenergie angestellt werden. Dabei ergibt sich als Primärenergiefaktor (nicht erneuerbar) für den deutschen Strom im Zeitraum 2015 - 2045 ein Wert von 1,30.

Ein analoges Vorgehen ist auch für Netzgas möglich. Hier ist in Abbildung 17 die Entwicklung der spezifischen CO₂-Emissionen unter der Annahme eingetragen, dass ab 2020/30 ein allmählicher Ausbau der power-to-gas-Erzeugung erfolgt, die dann im Jahr 2050 mit einem Anteil von 40 % im Gasnetz vertreten ist.

Interessant ist, dass falls man die gesamte Gasproduktion in Deutschland unter Berücksichtigung von Klärgas, Biogas, Müll- und Deponiegas sowie Biomethan zusammenrechnet, sich bereits heute ein Primärenergiefaktor von ca. 0,9 ergibt (vgl. Wuppertal Institut 2015, S. 35). In der Praxis werden jedoch nur sehr geringe Mengen erneuerbarer Brenngase in das Erdgasnetz eingespeist.

4.3 Grundzüge des neuen Bewertungsverfahrens

Die Dynamik des Energiesystems im Hinblick auf die Bereitstellung von Netzstrom und Netzgas wird durch über 30 Jahre gemittelte Primärenergiefaktoren (gem. Abbildung 18 und Tabelle 5, 5. Spalte) abgebildet. Der Primärenergie-Faktor $f_p(30a)$ für Strom wird mit 1,6 auf der sicheren Seite gewählt, weil derzeit nicht absehbar ist, wann ein Ausstieg aus der Kohleverstromung beginnen kann.

Der neue Primärenergie-Kennwert (nicht erneuerbar) im Neubau wird entsprechend der nun spürbar geringeren f_p -Faktoren(30a) auf 70 kWh/m²a abgesenkt. Im Bestand gelten abhängig von der Eingriffsempfindlichkeit (voll, bedingt sanierbar; mit/ohne Innendämmung) entsprechend höhere Grenzwerte (siehe Tabelle 4).

Biomasse wird in Übernahme des Vorschlags von (Diefenbach 2002) über das dort beschriebene Budgetverfahren (bis 20 kWh/m²a: $f_p = 0,1$, darüber: $f_p = 1,1$) als begrenzte Ressource behandelt, das jedoch ausdrücklich nur in den Projekten Anwendung findet, wo tatsächlich Wärme (bzw. Wärme und Strom) aus Biomasse erzeugt wird.

Zusätzlich sind alle Kennwerte auch mit der Bezugsgröße Person angegeben, die in vielen Fällen geeigneter erscheint. Der neue Vorschlag lässt daher offen, ob z.B. im Falle von Suffizienz-Konzepten besser die Person oder wie bislang üblich die Energiebezugsfläche als Bezugsgröße dienen soll.

Zusätzlich wird ein Klimaschutz-Grenzwert eingeführt, der eine Abschätzung der kumulierten TGH-Emissionen der nächsten 30 Jahre beinhaltet. Für Wohnnutzungen in Deutschland werden 20 t/P bzw. 500 kg/m²_{EBF} gewählt (**12**). Die GWP-Emissionen werden analog zur neuen Primärenergiebewertung mit über 30 Jahre gemittelten Emissionsfaktoren (siehe Tabelle 5, 6. Spalte) berechnet und über 30 Jahre aufsummiert.

Die Ausweisung der selbst erzeugten erneuerbaren Energie und/oder die Beteiligung an einer EE-Erzeugungsanlage erfolgt separat und ohne Verrechnung. Sie unterliegt keinen räumlichen Beschränkungen und ist besonders in Entwicklungsländern zur Bekämpfung der (Energie-)Armut geboten. Dieser Punkt ist vorerst offen und nicht weiter ausgearbeitet. Hierbei stellt sich auch die Frage geeigneter Bezugsgrößen.

4.4 Anwendung des neuen Bewertungsverfahrens auf die 58 zertifizierten Passivhäuser

Wendet man die über 30 Jahre gemittelten Primär- und GWP-Faktoren auf die Gruppe der 58 zertifizierten Passivhäuser an, ergibt sich ein vergleichbares Bild zur alten Primärenergiebewertung (siehe Abbildung 19 im Vergleich zu Abbildung 11). Jedoch liegen nun die Primärenergie-Kennwerte systematisch niedriger. Es ergibt sich weiterhin eine gute Richtungssicherheit, auch wenn jetzt anstelle jährlicher Emissionen nun über 30 Jahre aufsummierte Treibhausgase aufgetragen sind. Die beiden Grenzwerte sind in Anlehnung an den Vorschlag von 2008 etwas strenger gefasst, als in der bisherigen Passivhaus-Bewertung auf Grundlage des nicht-erneuerbaren Primärenergiebedarfs. Dadurch erfüllen einige zertifizierte Passivhäuser nicht mehr ganz die neuen Anforderungen. Dies sind konkret:

- Passivhäuser mit Gasheizungen ohne Solaranlage, häufig in Verbindung mit geringer oder mittlerer Stromeffizienz.
- Passivhäuser, die an Nah- und Fernwärmeversorgungen angeschlossen sind, die relativ geringe KWK-Anteile und/oder hohe Verteil-Wärmeverluste aufweisen.
- Passivhäuser mit Biomasseheizungen, bei denen wenig Wert auf eine effiziente Wärmeversorgung und Stromeffizienz gelegt wurde. Diese scheidet jedoch erst dann aus, wenn im Verfahren die Biomasse-Budget-Methode angewendet wird (sichtbar an den Dreieckssymbolen in Abbildung 19)

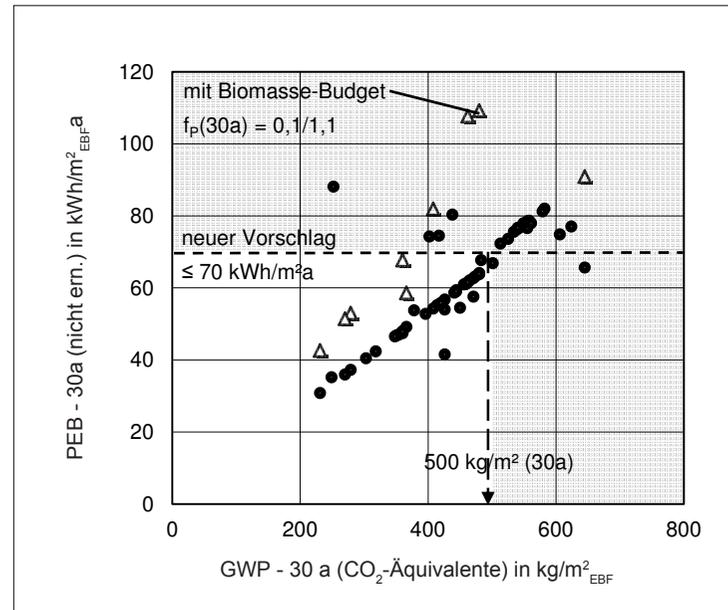


Abbildung 19: Vergleich zwischen den Kennwerten zur nicht erneuerbaren Primärenergie als Mittelwert der nächsten 30 Jahre (PEB - 30a in kWh/m²a) und dem Global Warming Potential GWP (Angabe als Budget der CO₂-Äquivalente der nächsten 30 Jahre in kg/m²) für 58 zertifizierte Passiv-Wohnhäuser.

Zudem ist ein neuer Vorschlag für ein Primärenergie-Kriterium (70 kWh/m²a) und für ein Klimaschutzkriterium (Budget von 500 kg CO₂-Äquivalenten je Quadratmeter Energiebezugsfläche für die nächsten 30 Jahre) angetragen.

Der grau hinterlegte Bereich zeigt die Lösungen außerhalb der Klimaschutzstandards an

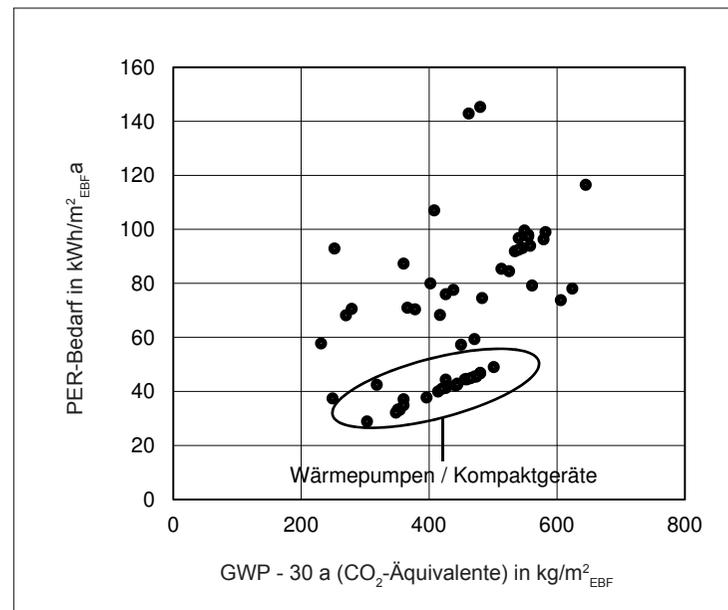


Abbildung 20: Vergleich zwischen den Kennwerten zur erneuerbaren Primärenergie (PER-Bedarf in kWh/m²_{EBF}a) und dem Global Warming Potential (Angabe als Budget der CO₂-Äquivalente der nächsten 30 Jahre in kg/m²) für 58 zertifizierte Passiv-Wohnhäuser. Auch mit den über 30 Jahren gemittelten GWP-Faktoren ergibt sich keine Richtungssicherheit des PER-Systems im Hinblick auf den Klimaschutz.

Zur besseren Orientierung sind die Passivhäuser, deren Wärmeversorgung mit Wärmepumpen bzw. Lüftungs-Kompaktgeräten erfolgt, als Gruppe umrandet.

Die Passivhäuser mit Wärmepumpen halten sämtlich die beiden neuen Anforderungen ein. Dies in auffälligen Kontrast zu dem alten Vorschlag, bei dem ungefähr die Hälfte dieser Fälle CO_2 -Äquivalent-Kennwerte über $25 \text{ kg/m}^2\text{a}$ aufweisen (siehe umrandete Fälle in Abbildung 11). In Abbildung 19 liegen die 30-Jahre-GWP-Kennwerte nun für alle Passivhäuser, die mit Wärmepumpen oder Kompaktgeräten versorgt werden unter 500 kg/m^2 . Auch die Primärenergie-Kennwerte mit den neuen über 30 Jahre gemittelten Faktoren befinden sich sämtlich unter $70 \text{ kWh/m}^2\text{a}$, z.T. deutlich darunter (siehe Tabelle 10).

Wie Abbildung 20 zeigt erfüllen Passivhäuser, die die Anforderungen der auf dem PER-Modell aufbauenden neuen Passivhaus-Klassen erfüllen, zuverlässig die Klimaschutzanforderungen an Gebäude gemäß Tabelle 4. Dafür verantwortlich sind vor allem die weiterhin bestehenden streng gefassten Effizienzkriterien bei der Nutzenergie (Heizwärmebedarf, Kühlbedarf, Stromeffizienz).

Das Passivhauskonzept kann somit einen substanziellen Beitrag zur energetischen Nachhaltigkeit leisten. Dies gilt unabhängig von der gewählten Methode der Primärenergiebewertung.

Es scheint jedoch so, dass das PER-System überkritisch im Hinblick auf die brennstoffgestützten Versorgungen ist. Der Grund hierfür liegt darin, dass die eigentlich entscheidende Transformation weg von den fossilen und nuklearen Risikotechnologien hin zu den erneuerbaren Technologien im PER-Modell ausgeblendet wird. Für eine erfolgreiche Bewältigung dieses Übergangs ist die gebaute Realität und die vorhandene Vielfalt von Versorgungslösungen ein unverzichtbarer Ausgangspunkt. Eine existierende Fernwärmeversorgung kann nicht so ohne weiteres aufgegeben und durch Wärmepumpensysteme ersetzt werden – zumindest nicht in der dichten kompakten Stadt. Es werden u.U. auch für das PER-System strategisch wichtige Lösungsansätze ausgeschlossen (z.B. die

Rückverstromung des saisonal gespeicherten erneuerbaren Methans in Heizkraftwerken, die KWK-Wärme in Fernwärmenetze einspeisen).

Offensichtlich existieren für Passivhäuser neben den Wärmepumpenheizungen zusätzliche Lösungsansätze, die im Hinblick auf den Klimaschutz ebenfalls günstig oder wenigstens vertretbar sind, obwohl sie bei Anwendung der PER-Bewertung als nicht vertretbar erscheinen und häufig nur in die Klasse der „PHI-Energiesparhäuser“ eingeordnet werden. Zu diesen Versorgungslösungen zählen z.B. effiziente Biomasse- und Gasheizungen in Verbindung mit Solaranlagen sowie Nah- und Fernwärmeversorgungen, sofern diese hohe Anteile Kraft-Wärme-Kopplung und geringe Netzwärmeverluste aufweisen. Auch die Tiefengeothermie ist eine interessante Übergangstechnologie, auch wenn sie nicht unbegrenzt erneuerbar zur Verfügung steht, sondern sich nach 40 – 80 Jahren erschöpft und dann eine neue Quellenerschließung benötigt.

Für Passivhäuser mit stromgestützten Wärmeversorgungen (Wärmepumpen, direktelektrische Wärmeversorgung) ist es empfehlenswert, das neue PER-System anzuwenden. Für brennstoffgestützte Versorgungen ist hingegen das alte System vorteilhafter und wird auch vom Passivhaus-Institut bis auf weiteres für die Projektierung und Zertifizierung von Passivhäusern ausdrücklich zugelassen.

Angesichts dieser Zweiteilung sind jedoch gewisse Zweifel angebracht, ob das PER-Modell bereits heute und während der Anfangsphase der langwierigen Transformation für eine vergleichende Bewertung von Gebäuden geeignet ist. Hauptgrund ist das noch über mehrere Jahrzehnte dominant auf fossile Energieträger gestützte Energiesystem. Das betrifft sowohl die Strom- als auch die Wärmeversorgung. Hinzu kommt, dass der Ausbau regenerativer Energien in verschiedenen Ländern bzw. Weltregionen in sehr unterschiedlichem Tempo ablaufen wird und hier auch Rückschläge möglich sind.

Neue Streitfrage: Die künftige Bewertung des Stroms

Wenn Benjamin Krick im Folgebeitrag die Frage „Ist Strom (noch) böse?“ stellt, wird daran deutlich, dass nicht zuletzt durch das neue PER-System die Bewertung der ökologischen Folgen der Stromnutzung zu einer neuen Streitfrage wird. Um hier plakativ argumentieren zu können ist es durchaus vertretbar mit wertenden Bezeichnungen wie „schmutzig“, „sauber“ bzw. „böse“ und „gut“ zu arbeiten. In jedem Fall sollte dabei jedoch eine sachliche Ebene als Ausgangspunkt und Grundlage dienen. Verkürzt dreht sich die Diskussion vor allem um den Einsatz von Strom bei der Wärmeerzeugung und Mobilität. Weil der Ausbau der erneuerbaren Energien z.B. in Deutschland vor allem bei der Stromerzeugung erfreulich rasch voran kommt, ist es naheliegend, diese Entwicklung zu Ende zu denken und daraus eine neue Bewertung der künftigen Stromnutzungen vorzunehmen. Folgende Punkte sind hierbei unstrittig:

- Wärmepumpen gehören bereits heute zu den effizientesten Wärmeversorgungen. Zudem sind noch erhebliche technologische Verbesserungen möglich.
- Bei Kleinanwendungen sind auch direktelektrische Wärmeerzeuger sinnvoll und klimaverträglich umsetzbar.

Bei der künftigen Bewertung des Netzstroms ist jedoch zu bedenken, dass sich die Erzeugungsstruktur selbst bei benachbarten Ländern sehr stark unterscheidet und dementsprechend auch die denkbaren Klimaschutzpfade (siehe Abbildungen 21 und 22): Frankreich hat sehr hohe Anteil Atomenergie („böse“), Polen hingegen erzeugt Strom fast ausschließlich in Kohlekraftwerken („schmutzig“). Länder mit hohen Wasserkraftanteilen weisen schon heute geringe Primär- und GWP-Faktoren für Strom auf („sauber“ und „gut“). Interessant ist, dass die Mittelwerte der EU für Strom im Jahr 2030 mit $f_p(30a) = 1,1$ und $f_{GWP}(30a) = 250\text{g/kWh}$ genau den Werten für Erdgas entsprechen können. Damit würde sich die Frage der Primärenergiebewertung fast schon erledigen: Es reicht in vielen Fällen aus, eine Endenergiebilanz aufzustellen.

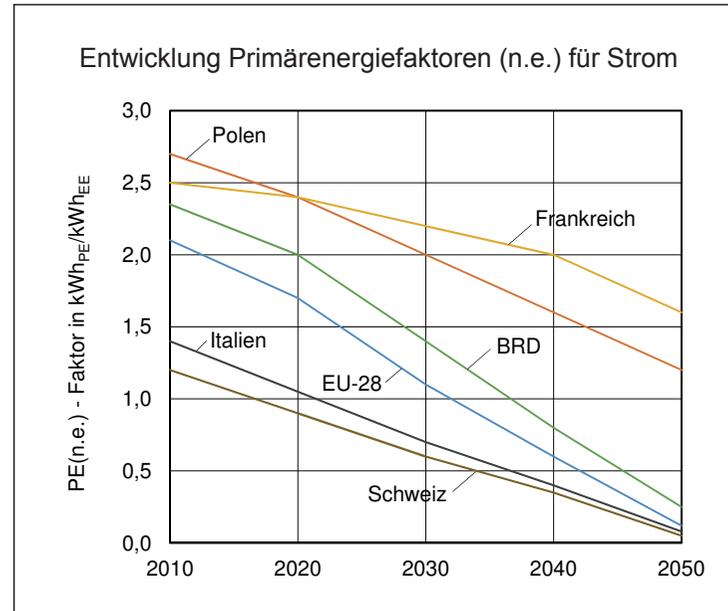


Abbildung 21: Vergleich der Entwicklung der Primärenergiefaktoren für die Stromerzeugung in der EU und verschiedenen europäischen Ländern. Es handelt sich um fiktive Pfade, die in Übereinstimmung mit den Klimaschutzzielen, wie sie in Abschnitt 1.3 begründet wurden, stehen. Sie sind vor allem für einen qualitativen Vergleich gedacht und geeignet.

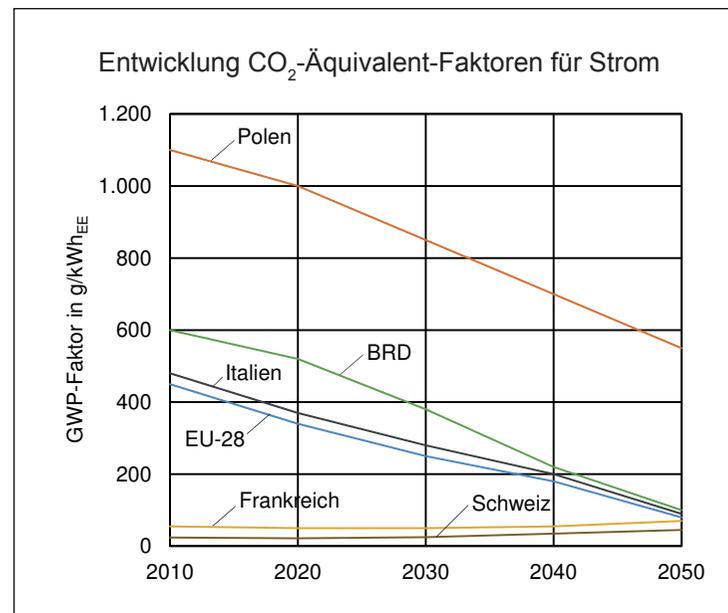


Abbildung 22: Vergleich der Entwicklung der GWP-Faktoren für die Stromerzeugung in der EU und verschiedenen europäischen Ländern. Es handelt sich um fiktive Pfade, die in etwa in Übereinstimmung mit den Klimaschutzzielen, wie sie in Abschnitt 1.3 begründet wurden, stehen. Sie sind vor allem für einen qualitativen Vergleich gedacht und geeignet.

5 Energetische Nachhaltigkeit?

Abbildung 23:
Slum in Bhopal, Indien. Die Frage der Klimagerechtigkeit schließt auch die Bekämpfung der Armut mit ein. Konkrete Projekte in Richtung Energiegerechtigkeit, z.B. sichere Kochstellen und der Aufbau einer erneuerbaren Stromversorgung werden bereits von einigen Initiativen wie „Elektriker ohne Grenzen“, Niecrest in Indien oder dem Biogasanbieter Polarstern durchgeführt.



Abbildung 24:
Verteilung der Slums (schwarz) im Stadtgebiet von Bhopal, Indien. Es handelt sich nicht um ein Randphänomen, sondern dort leben derzeit ca. 30 - 50 % der Stadtbevölkerung.



Das Passivhaus-Konzept erfüllt vor allem wegen seiner streng gefassten Effizienzkriterien bei der Nutzenergie (z.B. Heizwärmebedarf, Stromeffizienz) die Anforderungen an den Klimaschutz und kann in dieser Hinsicht einen substantiellen Beitrag zur energetischen Nachhaltigkeit leisten. Dies gilt unabhängig davon, welche Primärenergiebewertung zur Anwendung kommt.

Nicht beantwortet werden hingegen die Fragen der Energiegerechtigkeit (sichere und bezahlbare Energie für alle Menschen) und der Überwindung der Armut. Hier besteht offenkundig ein Weiterentwicklungsbedarf. In diesem Zusammenhang sind erhebliche Zweifel angebracht, ob eine Internationalisierung europäischer Energie- oder Nachhaltigkeitsstandards eine angemessene Strategie darstellt. Speziell die hohen Ansprüche an Wohlstand und Komfort in unserer Baukultur sind ein Problem (z.B. im Hinblick auf Wohn- und Nutzflächen, Ausstattung, Oberflächenqualitäten, Art und Umfang der Energiedienstleistungen). Dies auch, weil höchst unsicher ist, dass sie zu einem Mehr an Lebensqualität führen.

Eben diese Ansprüche stehen jedoch in krassem Kontrast zu den Lebensbedingungen der Armen in den Entwicklungs- und Schwellenländern. Dass wir Bauschaffenden dies geflissentlich ignorieren, indem wir eine Kultur des „Wegschauens“ und der Untätigkeit pflegen, kann man nur selbstkritisch als Beleg für ein insgesamt nicht-nachhaltiges Bauen anführen.

6 Anmerkungen

(1) siehe (Vallentin 1998), (Vallentin 2000), (Vallentin 2001), (Vallentin 2011) und (Vallentin 2012). Interessant in der Nachschau ist vor allem die sich wandelnde Beurteilung der solarenergetischen Entwurfsaspekte. Unstrittig ist dabei zunächst die Wirksamkeit der passiv-solaren Einflussfaktoren (z.B. Orientierung Hauptfassade, Verschattung, Fenster- und Verglasungsqualität). Beim Passivhaus werden auch bei moderaten Verglasungsanteilen hohe solare Heizbeiträge erzielt. Im Laufe der Zeit werden vom Autor jedoch die solarenergetischen Optimierungen immer kritischer gesehen, vor allem dann, wenn sie auf Kosten der städtebaulichen Raumbildung erfolgen.

(2) Der Faktor von 1,8 ist für die momentane Stromerzeugung zu niedrig angesetzt und beinhaltet bereits eine perspektive Entwicklung in Richtung eines weiteren Ausbaus der erneuerbaren Stromerzeugung bei gleichzeitigem Ausstieg aus der Atomenergienutzung **und** der Kohle-Stromerzeugung.

(3) Siehe Humes Ausführungen in „Treasures of Human Nature“, Book III, Section I, Chapter I.

(4) Diese Position wird vor allem von Vertretern des kritischen Rationalismus, z.B. Karl Popper und Hans Albert, vertreten und eingehend begründet

(5) Der PER-Faktor für den selbstgenutzten Strom im energieautarken Passivhaus lässt sich grob aus dem Verhältnis von Eigenerzeugung (8000 kWh/a) und dem Strombedarf (2960 kWh/a) mit ca. 2,7 bestimmen. Entsprechend müsste dann auch die PER- Erzeugung entsprechend abgemindert werden.

(6) Der Primärenergieaufwand für die Herstellung der Energieversorgung des energieautarken Passivhauses beläuft sich auf ca. 14 kWh/m²a für die PV-Module inkl. Unterkonstruktion und Wechselrichter, ca. 2,5 kWh/m²a für die Batterie. Der HEA für das Mini-BHKW + Heizkörper, Leitungen usw. wird grob mit ca. 1,5 kWh/m²a abgesetzt.

Entsprechend lässt sich auch das Herstellungs-GWP (CO₂-Äquivalente) mit 5,5 kg/m²a für die PV-Anlage, 0,9 kg/m²a für die Batterie und 0,6 kg/m²a für das Mini-BHKW abschätzen.

(7) In der Studie wurde auch die Grundfläche der Gebäude ermittelt. Sie beträgt etwa 79.200 m². Der maximale jährliche Solarstromertrag mit PV-Anlagen wurde anhand einer Auswertung des Berliner Solaratlas und einer kritischen Prüfung (Begehungen, Auswertung von Luftbildern) zu 1782 MWh bestimmt (vgl. Vallentin 2012, S. 50 f.).

(8) Siehe hierzu die ausführliche Diskussion in Anhang 2, S. 45 f.

(9) Zum Beispiel entsprechen die Anforderungen der Energieeinsparverordnung bei weitem nicht den Anforderungen, die an einen Klimaschutzstandard zu stellen ist. Dies betrifft in besonderem Maße die darin getroffenen Festlegungen zur energetischen Modernisierung im Bestand.

(10) Das Klimaschuttszenario orientiert sich bei der Modellierung der Stromerzeugung an der Leitszenario 2006 (Nitsch 2007). Die darin getroffenen Annahmen stimmen zwar in vielen Details nicht mit der tatsächlichen Entwicklung bis 2015 überein (z.B. deutlich stärkerer Ausbau bei Fotovoltaik, dafür viel geringere Anteile aus Geothermie-Kraftwerken); in der Summe wird aber der Haupteffekt, der durch den Ausstieg aus der Atomenergienutzung bewirkt wird, zutreffend abgebildet: Der Ausbau der erneuerbaren Stromerzeugung kann den Wegfall der Kapazitäten der Atomkraft nicht alleine ausgleichen. Daher ist ein vorübergehender Anstieg der fossilen Stromerzeugung (Kohle, Gas) zu erwarten gewesen.

(11) Wegen des wachsenden Stromhandelsexportüberschusses steigen die CO₂-Emissionen des Stominlandverbrauchs z.T. stark an, obwohl diese nicht dem im Inland verbrauchten Strom zuzuordnen sind (vgl. UBA 2015, S. 16). Im Tagungsband ist leider nur die weniger zutreffende Kurve dargestellt.

(12) Die Begründung für die Wahl dieses Budgets wird in Abschnitt 1.3 gegeben. Es beruht auf dem Globalbudget von 1000 Gt (Meinshausen et al. 2009), dem Verteilungsansatz „zukünftige Verantwortung“ (WBGU 2009a) und der Annahme einer mittleren Bevölkerung von 75 - 80 Mio.

7 Literatur

(AKkPH Nr. 38) Feist, Wolfgang (Hrsg.): „Heizsysteme im Passivhaus – Statistische Auswertung und Systemvergleich“, Protokollband Nr. 36 des Arbeitskreis Kostengünstige Passivhäuser, Eigenverlag, Darmstadt, 2008.

(Bertram 2012) Bertram, Georg (Hrsg.): Philosophische Gedankenexperimente, Reclam Verlag, Stuttgart, 2012.

(Diefenbach 2002) Diefenbach, Nikolaus: „Bewertung der Wärmeerzeugung in KWK und Biomasse-Heizsystemen“, Hrsg.: Institut Wohnen und Umwelt, IWU-Veröffentlichung Nr. 08/02, Eigenverlag, Darmstadt, 2002.

(Ess et al. 2012) Ess, Florian; Haenfke, Lea; Hobohm, Jens; Peter, Frank; Wünsch, Marco: „Bedeutung der internationalen Wasserkraft-Speicherung für die Energiewende“, Prognos-Studie, 2012; Internet-Veröffentlichung, ULR: http://www.weltenergierrat.de/wp-content/uploads/2014/04/PDF-5_prognos_bericht_internationale_speicherung_wec_9_okt_2012.pdf, Zugriff am 20.12.2015.

(Ebel et al. 1996) Ebel, Witta und weitere Autoren.: „Der zukünftige Heizwärmebedarf der Haushalte“, Hrsg.: Institut Wohnen und Umwelt, Eigenverlag, Darmstadt, 1996.

(Feist 1998) Feist, Wolfgang: (Hrsg.): „Energiebilanzen mit dem Passivhaus-Projektierungs-Paket“, Protokollband Nr. 13 des Arbeitskreis Kostengünstige Passivhäuser, Eigenverlag, Darmstadt, 1998.

(Feist 2012) Feist Wolfgang (Hrsg.): EnerPhit - Planerhandbuch, Eigenverlag, Darmstadt, 2012.

(Feist 2013) Feist, Wolfgang: „Energiekonzepte – das Passivhaus im Vergleich“, 17. Int. Passivhaustagung, 19. – 20. April 2013 in Frankfurt a. Main, Tagungsband, Eigenverlag, Darmstadt/Innsbruck, 2013, S. 611 -629.

(Feist 2014) Feist, Wolfgang: „Passivhaus - das nächste Jahrzehnt“, 18. Int. Passivhaustagung in Aachen, Tagungsband, Eigenverlag, Darmstadt, 2014.

(Grove-Smith / Feist 2015) Grove-Smith, Jessica; Feist, Wolfgang: „Nachhaltigkeitsbewertung mit PER“, 19. Int. Passivhaustagung in Leipzig, Tagungsband, Eigenverlag, Darmstadt, 2015, S. 285 - 292.

(Höhne / Moltmann 2009) Höhne, Niklas; Moltmann, Sara: „Sharing the effort under a global carbon budget“, gemeinsame Internet-Publikation des

WWF und Ecofys, 2009, ULR: <https://wwf.fi/mediabank/1058.pdf>, Zugriff am 15.04.2016.

(Hume 1739/1896) Hume, David: „A Treasure of Human Nature“, Clarendon Press, Oxford, 1896.

(IINAS 2014) Int. Institut für Nachhaltigkeitsanalysen und -strategien (Hrsg.) Autoren: Fritsche, Uwe; Greß, Hans-Werner: „Der nichterneuerbare kumulierte Energieverbrauch des deutschen Strommix im Jahr 2013“, Internet-Veröffentlichung; ULR: http://www.iinas.org/tl_files/iinas/downloads/GEMIS/2014_KEV-Strom-2013_HEA.pdf, Zugriff am 15.04.2016.

(Krick 2015) Krick, Benjamin: „Classic, Plus, Premium: Die neuen Passivhaus-Klassen und wie sie erreicht werden können“, 19. Int. Passivhaustagung in Leipzig, Tagungsband, Eigenverlag, Darmstadt, 2015, S. 401 - 410.

(Krick 2016) Krick, Benjamin: „Ist Strom (noch) böse?“, 20. Int. Passivhaustagung in Darmstadt, Tagungsband, Eigenverlag, Darmstadt, 2016, S. 633 - 643.

(Meinshausen et al. 2009) Meinshausen, Malte und weitere Autoren: Greenhouse-gas emission target for limiting global warming to 2°C, nature, Vol 458, S. 1158-1163, 2009.

(Meyer 2000) Aubrey Meyer: Contraction and Convergence, Green Books, Foxhole, Dartington, Totnes, Devon, 2000.

(Ott/Döring 2011) Ott, Konrad; Döring, Ralf: „Theorie und Praxis starker Nachhaltigkeit“, Metropolis Verlag, Marburg, 2011.

(PHPP 2015) Passivhaus Institut (Hrsg.): Passivhaus-Projektierungspaket, Version 9 (2015), Eigenverlag, Darmstadt, 2015.

(Popper 1957/2003) Popper, Karl: „Der Zauber Platons: Die offene Gesellschaft und ihre Feinde“, J.C.B.Mohr-Verlag, Tübingen, 2003 (1. Aufl. 1957).

(Rawls 1979) Rawls, John: Eine Theorie der Gerechtigkeit, suhrkamp taschenbuch, Frankfurt a.M., 1979, engl. Originalausgabe „A Theory of Justice“, Haward, 1971.

(Steininger et al. 2015) Steininger W.Karl; Lininger, Christian; Meyer, Lukas H.; Munoz, Pablo; Schinko, Thomas: „Multiple carbon accounting to support

just and effective climate policies, *Nature Climate Change* 6, 35 - 41 (2016), doi:10.1038/nclimate2867, Zugriff am 07.02.2016.

(Stern et al. 2011) Sterner Michael; Jentsch, Mareike; Holzhammer, Uwe: „Energiewirtschaftliche und ökologische Bewertung eines Windgas-Angebotes“, Hrsg.: Fraunhofer Institut für Windenergie und Energiesystemtechnik (IWES), Internet-Publikation, ULR: https://www.greenpeace-energy.de/fileadmin/docs/sonstiges/Greenpeace_Energy_Gutachten_Windgas_Fraunhofer_Stern.pdf, Zugriff am 20.12.2015.

(UBA 2015) Umweltbundesamt (Hrsg): „Climate Change 2015/09 - Entwicklung der spezifischen Kohlendioxid-Emissionen des deutschen Strommix“, Internet-Publikation, ULR: <http://www.umweltbundesamt.de/publikationen/entwicklung-der-spezifischen-kohlendioxid-1>, Zugriff am 02.12.2016, Dessau-Roßlau, 2015.

(Vallentin 1998) Vallentin, Rainer: „Passivhäuser - Impulse zur Weiterentwicklung städtebaulicher Themen“, 2. Int. Passivhaustagung in Düsseldorf, Tagungsband, Eigenverlag, Darmstadt, 1998, S. 207 - 232.

(Vallentin 2000) Vallentin, Rainer: „Solarer Städtebau mit Passivhäusern? - Eine kritische Betrachtung“, 4. Int. Passivhaustagung in Kassel, Tagungsband, Eigenverlag, Darmstadt, 2000, S. 225 - 267.

(Vallentin 2001) Vallentin, Rainer: „Städtebauliche Spielräume und Grenzen beim Entwurf von Passivhäusern“, 5. Int. Passivhaustagung in Böblingen, Tagungsband, Eigenverlag, Reutlingen, 2001, S. 18 - 35.

(Vallentin 2008) Vallentin, Rainer: „Herleitung belastbarer Klimaschutzstandards im Wohnungsbau“, 12. Int. Passivhaustagung in Nürnberg, Tagungsband, Eigenverlag, Darmstadt, 2008, S. 321 - 334.

(Vallentin 2010) Vallentin, Rainer: „Das Dilemma der mittleren Qualität“, 14. Int. Passivhaustagung in Dresden, Tagungsband, Eigenverlag, Darmstadt, 2010, S. 415 - 420.

(Vallentin 2011) Vallentin, Rainer: „Energieeffizienter Städtebau mit Passivhäusern – Begründung belastbarer Klimaschutzstandards im Wohnungsbau“, Cuvillier Verlag, Göttingen, 2011.

(Vallentin 2012) Vallentin, Rainer: „Hansaviertel Berlin: Energieperspektiven 2010 - 2060 : Anwendung der Klimaschutzstandards in einem Stadtteil

mit hohem Denkmalbestand“; Internet-Veröffentlichung, ULR: http://www.stadtentwicklung.berlin.de/staedtebau/baukultur/iba/download/studien/IBA-Studie_Hansaviertel_Begleitbroschuere.pdf, Zugriff am 20.12.2015.

(Vallentin 2012a) Vallentin, Rainer: „Nachhaltige Energieversorgung: Lösungsansätze für den Sektor der privaten Haushalte in Deutschland bis 2050“; In: Wolfgang Feist (Hrsg.): „Nachhaltige Energieversorgung mit Passivhäusern“, Protokollband Nr. 46 des Arbeitskreis Kostengünstige Passivhäuser, Eigenverlag, Darmstadt, 2012, S. 9 - 98.

(WBGU 2009) Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltänderungen (WBGU): „Welt im Wandel – Zukunftsfähige Bioenergie und nachhaltige Landnutzung“, Eigenverlag, Berlin, 2009.

(WBGU 2009a) Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltänderungen (WBGU): „Welt im Wandel – Kassensturz für den Weltklima-vertrag – Der Budgetansatz“, Eigenverlag, Berlin, 2009.

(WBGU 2011) Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltänderungen (WBGU): „Welt im Wandel – Gesellschaftsvertrag für eine Große Transformation“, Eigenverlag, Berlin, 2011.

(Wuppertal Institut 2015) Wuppertal-Institut (Hrsg.), Autoren: Schüwer, Dietmar; Hanke, Thomas; Luhmann, Hans-Jochen: „Konsistenz und Aussagefähigkeit der Primärenergie-Faktoren für Endenergieträger im Rahmen der EnEV“, Download unter: www.wupperinst.org, Wuppertal, 2015.

Anhang 1: Kurzbeschreibung PER-Modell

Dieser Abschnitt basiert im Wesentlichen auf der Veröffentlichung von Jessica Grove-Smith und Wolfgang Feist „Nachhaltigkeitsbewertung mit PER“ (Grove-Smith/Feist 2015). Dort findet sich eine ausführlicher Darstellung des PER-Modells und seiner Berechnungsgrundlagen.

Im PER-Modell wird der erneuerbare Primärenergieaufwand kalkuliert, der für eine Endenergieeinheit Strom frei Hausanschluss bei einer ausschließlich erneuerbaren Stromerzeugung aufzuwenden ist. Dieser setzt sich aus der direkt erzeugten und in das Netz eingespeisten Energie und den Netz- und Speicherverlusten zusammen. Um diese näherungsweise zu bestimmen ist es zunächst notwendig, typischen Lastprofilen von Gebäuden charakteristische Erzeugungsprofilen von erneuerbaren Strom in hoher zeitlicher Auflösung gegenüberzustellen. Bei der Strombereitstellung muss die Erzeugung exakt mit dem Bedarf übereinstimmen. Möchte man ein stark überdimensioniertes System vermeiden, ist daher in einer dominant erneuerbaren Stromerzeugung eine Zwischenspeicherung auf verschiedenen Zeitskalen notwendig. Im PER-Modell wird zwischen weniger aufwändiger Kurzzeitspeicherung (z.B. Pumpspeicher-Kraftwerke) und der deutlich aufwändigeren saisonalen Speicherung (power-to-gas-Technologie) unterschieden. Der Primärenergieaufwand wird analog zu den bekannten Primärenergiefaktoren f_p mit den sog. PER-Faktoren ausgedrückt. Diese drücken das Verhältnis zwischen Aufwand für Direkterzeugung, Kurzzeit- und Langzeitspeicherung und Stromtransport und dem bezogenen Strom (frei Zähler) aus.

Der Clou der neuen PER-Faktoren besteht nun darin, dass diese abhängig von der jeweils betrachteten Energiedienstleistung bestimmt werden. Wie groß der Aufwand für die Ein- und Ausspeichervorgänge ausfällt, hängt nämlich vor allem von der

Energieanwendung und deren jahreszeitlichen Bedarfsstruktur ab. Daher wird im PER-Modell unterschieden zwischen:

- Heizung: Der Schwerpunkt der Energienutzung liegt im Kernwinter. Hier ist ein relevanter Anteil über saisonal gespeicherte Energie (z.B. EE-Methan aus der power-to-gas-Produktion) aufzubringen. Die PER-Faktoren liegen vergleichsweise hoch.
- Kühlung/Entfeuchtung: Die Energienutzung findet vor allem tagsüber im Sommer statt. Hier ist eine hohe Übereinstimmung zwischen Energiebedarf und solaren Strahlungsangebot vorhanden. Der Anteil der Direktnutzung ist hoch. Die PER-Faktoren liegen daher nahe 1,0.
- Warmwasser/Haushaltsstrom: hier ist die Energienutzung einigermaßen gleichmäßig über das ganze Jahr strukturiert mit ausgeprägten Spitzen am morgens, mittags und abends. Der Anteil der Direktnutzung ist beträchtlich, jedoch sind hier regelmäßig gewisse Anteile über Kurz- und Langzeitspeicherung zu decken. Die PER-Faktoren liegen im mittleren Bereich.

Zusätzlich werden die PER-Faktoren standortabhängig bestimmt, um sowohl auf der Bedarfs- als auch auf der Erzeugungsseite die klima- und regionalabhängigen Bedingungen abzubilden.

Nicht betrachtet wird jedoch der vorgelagerte energetische Aufwand für die Herstellung, Wartung und Ersatz der Erzeugungsanlagen (Windräder, PV-Anlagen, Wasserkraftwerke) und der Infrastruktur (Strom- und Gasnetze, Pumpspeicherwerke, Biogas- und power-to-gas-Anlagen). Daher unterscheidet sich die Systematik der alten Primärenergiefaktoren gemäß PHPP (z.B. auf Basis von GEMIS) in diesem Punkt von der der neuen PER-Faktoren.

Anhang 2: Kurzbeschreibung Passivhaus-Klassen

Dieser Abschnitt basiert wesentlich auf der Veröffentlichung von Benjamin Krick „Classic, Plus, Premium: Die neuen Passivhaus-Klassen und wie sie erreicht werden können“ (Krick 2015).

Anstelle des bisherigen einheitlich definierten Passivhausstandards werden nun im Zuge der PER-Bewertung mehrere Klassen von Passivhäusern unterschieden, die unterschiedliche Kombinationen von Gebäudeeffizienz und Energieproduktion darstellen. Entsprechend werden PER-Bedarf und PER-Eigenzeugung zunächst getrennt berechnet und anschließend einer kombinierten Wertung zugeführt.

Je höher die primärenergetische Gesamteffizienz und die Erzeugung erneuerbarer Energie am Gebäude (bzw. außerhalb des Gebäudes), desto höher die erreichte Passivhaus-Klasse. In einem gewissen Bereich (bis zu $\pm 15 \text{ kWh/m}^2_{\text{EBF}}\text{a}$) ist ein Ausgleich zwischen PER-Bedarf und PER-Erzeugung zulässig. Dies ist an den schräg verlaufenden Abgrenzungslinien zwischen den Passivhaus-Klassen in Abb. 24 erkennbar. Von besonderer Bedeutung ist dies in der Passivhaus-Klasse „Classic“ und dem „PHI-Energiehaus-Standard“. Obwohl hier zunächst keine Erzeugung gefordert wird, kann mit einer thermischen Solar- oder Fotovoltaikanlage ein höherer PER-Bedarfswert kompensiert werden. Analog wird in den Klassen „Plus“ und „Premium“ vorgegangen bzw. kann alternativ ein Erzeugungsdefizit durch höhere Effizienz ausgeglichen werden. Zudem ist es weiterhin möglich, Gebäude nach dem bisherigen Verfahren auf der Basis der nicht erneuerbaren Primärenergie zu bewerten und zu zertifizieren.

Die Einordnung des konkret projektierten Gebäudes erfolgt in graphischer Form im sog. PER-Diagramm. Auf der x-Achse

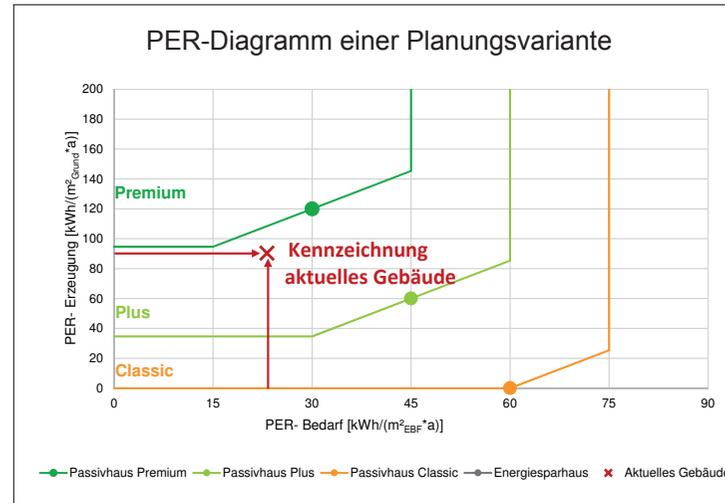


Abbildung 24:

Die neuen Passivhausklassen mit ihren Anforderungsprofilen, die immer gleichzeitig den PER-Bedarf und die PER-Erzeugung umfassen.

Zu beachten ist, dass der PER-Bedarf als Bezugsgröße die Energiebezugsfläche (Einheit $\text{kWh}/\text{m}^2_{\text{EBF}}\cdot\text{a}$) aufweist, die PER-Erzeugung jedoch die überbaute Fläche durch Gebäude (Einheit $\text{kWh}/\text{m}^2_{\text{Grund}}\cdot\text{a}$) aufweist. Quelle: (Krick 2015, S. 402).

Im gezeigten Beispiel weist das Gebäude einen PER-Bedarf von $24,5 \text{ kWh}/\text{m}^2_{\text{EBF}}\cdot\text{a}$ und eine PER-Erzeugung von $92,3 \text{ kWh}/\text{m}^2_{\text{Grund}}\cdot\text{a}$ auf. Es wird somit in die Passivhaus-Klasse „Plus“ eingestuft.

wird der PER-Bedarf angetragen, auf der y-Achse die PER-Erzeugung. Wichtig ist hierbei zu beachten, dass dabei Energiekennwerte mit unterschiedlichen Bezugsgrößen (Bedarf: Energiebezugsgröße; Erzeugung: überbaute Fläche) in Beziehung gesetzt werden.

Tabelle 6:

Anforderungen an den PER-Bedarf und die PER-Erzeugung in den neuen Passivhaus-Klassen.

Quelle: Passivhaus-Institut

	PER-Bedarf in $\text{kWh}/(\text{m}^2_{\text{EBF}}\cdot\text{a})$	PER-Erzeugung in $\text{kWh}/(\text{m}^2_{\text{Grund}}\cdot\text{a})$
PHI-Energiesparhaus	≤ 75	Keine Anforderung
Passivhaus Classic	≤ 60	Keine Anforderung
Passivhaus Plus	≤ 45	≥ 60
Passivhaus Premium	≤ 30	≥ 120

Tabellen 7 8 und 9 (auch S. 47):
Kalkulation der PER-Kennwerte für
die drei Fallbeispiele (EFH, RH und
MFH) aus Abschnitt 2.1

Ermittlung der PER-Bedarfswerte im PHPP (ab Version 9)

Zur Ermittlung des PER-Bedarfs werden für alle Energiedienstleistungen im Gebäude (Heizen, Lüften, Kühlen, Warmwasser, Hilfsstrom und alle sonstigen Stromanwendungen im Betrieb) zunächst die Endenergieerträge ermittelt und anschließend mit den neuen PER-Faktoren multipliziert. Dies erfolgt seit der Version 9 des PHPP in einem separaten Tabellenblatt.

Das gewählte Verfahren für die Zuteilung des Biomasse-Budgets auf die einzelnen Energiedienstleistungen ist relativ kompliziert. Biomasse wird im PER-System als allen gleichermaßen zur Verfügung stehende Ressource interpretiert wird, deren Qualität als speicherbarer Energieträger vor allem im Winter zum Zuge kommen soll um den saisonalen Speicher zu entlasten. Die Zuordnung des Budgets erfolgt daher so, dass konsequent (nur) die Winternutzungen von dem Budget profitieren. Für die ganzjährigen Energienutzungen (Warmwasser,

Haushaltsstrom) wird deren Winteranteil mit einem „Biomasse-Budget-Nutzungsfaktor“ herausgerechnet. Das Biomasse-Budget wird im PER-Berechnungsblatt nacheinander auf die Anwendungen Heizung, Warmwasser und Haushalts- sowie Hilfsstrom verteilt.

Erst nachdem das Biomasse-Budget verteilt wurde, werden die dann noch verbleibenden Endenergiebeträge mit den PER-Faktoren der tatsächlich vorgesehenen Energieträger multipliziert.

Für mit Fernwärme oder Blockheizkraftwerke auf der Basis Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) versorgte Gebäude wird der primärenergetische Vorteil durch die gekoppelte Erzeugung von Wärme und Strom über eine Stromgutschrift der Wärme zugeordnet. Bei der Wärmeversorgung werden die Wärmeverluste durch die Verteilung bis zur Übergabestation ermittelt und sind als Wärmeverluste zusätzlich von der KWK-Anlage aufzubringen. Die Kalkulation der PER-Faktoren von KWK-Systemen erfolgt im PHPP-Tabellenblatt „Fernwärme“.

Thermische Solaranlagen werden über einen Effizienzvergleich mit einer alternativen PV-Anlage über einen eigenen Berechnungsansatz bewertet. Bei klein dimensionierten Solaranlagen ist der Ertrag deutlich größer, als der Ertrag einer PV-Anlage. Entsprechend klein fallen dann die PER-Faktoren für die genutzte Solarwärme im Gebäude aus, die – weil erneuerbar – nun auf der Bedarfsseite mitgezählt werden soll. Typische Werte liegen bei 0,2 – 0,3. Vergrößert man die thermische Solaranlage um z.B. höhere solare Heizbeiträge zu erzielen, werden die PER-Faktoren immer größer. Im PHPP erfolgt die Berechnung des projektspezifischen PER-Faktors einer Solaranlage im Tabellenblatt „SolarWW“.

Der gesamtenergetische Aufwand ergibt sich aus der Summe der Einzelwerte aus Biomasse-Budget und den Restbeiträgen der eingesetzten Energieträger. Hier soll nochmals klar gestellt

Kalkulation PER - Energiekennwerte

Nutzenergie	[kWh/(m²a)]
Raumwärme	13,2
Warmwasser	17,4
Hilfsstrom	2,3
Haushaltsstrom	11,7
Summe	44,6

Projekt:	Variante
EFH Energieautarkes Passivhaus, Bachhauserwies	wie gebaut

PER - Energiebedarf	[kWh/(m²a)] Endenergie	[kWh _{PER} /kWh _{EE}] PER-Faktor	[kWh/(m²a)] PER	
Heizung	2,4	* 1,10	2,6	Biomasse-Budget
Hilfsstrom (Winter)	1,3	* 1,10	1,4	Biomasse-Budget
Warmwasser	4,0	* 1,23	4,9	anteilig Biomasse-Budget
Hilfsstrom (ganzjährig)	0,2	* 1,23	0,2	anteilig Biomasse-Budget
Haushaltsstrom	11,7	* 1,23	14,4	anteilig Biomasse-Budget
Hilfsstrom (Sommer)	0,8	* 1,30	1,0	
Kühlung		*		
Summe / Mittelwert	20,4	1,20	24,5	

PER - Energieerzeugung	[kWh/a] Jahresertrag	[m²] Grundfläche	[kWh/(m² _{GRa})] spez. Ertrag	[kWh _{PER} /kWh _{EE}] PER-Faktor	[kWh/(m² _{GRa})] PER
PV-Anlage	8000	/ 86,7	92,3	* 1,00	92,3
Therm. Solaranlage		/		*	
Summe		/		*	92,3

werden, dass es sich um die Bewertung innerhalb eines fiktiven Energiesystems handelt, d.h. der tatsächliche Primärenergieaufwand des heutigen Energiesystems spielt keine Rolle. Das gilt im Grunde so lange, bis eine vollständig erneuerbare Energieversorgung Wirklichkeit geworden ist, in der dann vermutlich andere Systemzusammenhänge vorliegen als im PER-Modell angenommen.

Im Gegensatz zur alten Primärenergiebewertung ist die Ermittlung der PER-Kennwerte, um es salopp auszudrücken, nicht mehr „bierdeckeltauglich“. Sie ist zwar in allen Einzelschritten nachvollziehbar (z.B. wenn man die versteckten Zellen „aufklappt“), weist nun aber eine ungewohnte Komplexität auf, weil alle Energieanwendungen getrennt ermittelt und zusätzlich auch noch das Biomasse-Budget „abgearbeitet“ werden muss. Daher weichen die in Ansatz gebrachten mittleren PER-Faktoren von denen der eingesetzten Energieträger mehr oder weniger stark ab.

Einführung einer neuen Bezugsgröße für die PER-Erzeugung (z.B. Solaranlage, PV-Anlage, sonstige Systeme)

Im Gegensatz zur alten Primärenergiebewertung von Passivhäusern wird im neuen PER-Modell die Eigenerzeugung erneuerbarer Energien auf dem Bau- bzw. Siedlungsgrundstück bewusst miteinbezogen. Als Bezugsgröße wird - anders als beim PER-Bedarf - nicht die Nutzfläche (Energiebezugsfläche) sondern die (versiegelte) Grundfläche des Gebäudes verwendet. Dafür sprechen eine Reihe von Gründen:

- Die eigentlich knappe Ressource ist nicht die Energie sondern die Fläche (Boden).
- Solare Systeme können, sofern sie einigermaßen verschattungsfrei und in zusammenhängenden Flächen installiert werden sollen, hauptsächlich auf Dachflächen vorgesehen werden.

Kalkulation PER - Energiekennwerte

Nutzenergie	[kWh/(m²a)]
Raumwärme	12,8
Warmwasser	17,4
Hilfsstrom	4,4
Haushaltsstrom	17,6
Summe	52,2

PER - Energiebedarf	[kWh/(m²a)]	Endenergie
Heizung	4,1	
Hilfsstrom (Winter)	2,7	
Warmwasser	4,0	
Hilfsstrom (ganzjährig)	0,4	
Haushaltsstrom	17,6	
Hilfsstrom (Sommer)	1,3	
Kühlung		
Thermische Solaranlage	11,0	
Summe / Mittelwert	41,1	

PER - Energieerzeugung	[kWh/a]	Jahresertrag
PV-Anlage	2160	
Therm. Solaranlage	13906	
Summe		

Nutzenergie	[kWh/(m²a)]
Raumwärme	14,9
Warmwasser	17,8
Hilfsstrom	5,4
Haushaltsstrom	18,4
Summe	56,5

PER - Energiebedarf	[kWh/(m²a)]	Endenergie
Heizung	16,6	
Hilfsstrom (Winter)	3,0	
Warmwasser	30,3	
Hilfsstrom (ganzjährig)	1,2	
Haushaltsstrom	18,4	
Hilfsstrom (Sommer)	1,2	
Kühlung		
Summe / Mittelwert	70,7	

PER - Energieerzeugung	[kWh/a]	Jahresertrag
PV-Anlage	7800	
Therm. Solaranlage		
Summe		

Projekt:	Variante
RH Stadtgestalten-Ackermannbogen	wie gebaut

[kWh _{PER} /kWh _{EE}]	[kWh/(m²a)]
PER-Faktor	PER
1,10	4,5
1,10	3,0
1,23	4,9
1,23	0,5
1,23	21,6
1,30	1,7
0,31	3,4
0,96	39,6

Biomasse-Budget
Biomasse-Budget
anteilig Biomasse-Budget
anteilig Biomasse-Budget

[m²]	[kWh/(m² _{GRA})]	[kWh _{PER} /kWh _{EE}]	[kWh/(m² _{GRA})]
Grundfläche	spez. Ertrag	PER-Faktor	PER
469,6	4,6	1,00	4,6
469,6	29,6	1,00	29,6
			34,2

Projekt:	Variante
MFH Stadtgestalten - Domagkpark München	wie gebaut

[kWh _{PER} /kWh _{EE}]	[kWh/(m²a)]
PER-Faktor	PER
0,85	14,1
1,10	3,3
1,09	33,1
1,30	1,6
1,30	23,9
1,30	1,6
1,10	77,5

Biomasse-Budget
Biomasse-Budget
anteilig Biomasse-Budget

[m²]	[kWh/(m² _{GRA})]	[kWh _{PER} /kWh _{EE}]	[kWh/(m² _{GRA})]
Grundfläche	spez. Ertrag	PER-Faktor	PER
410,3	19,0	1,00	19,0
			19,0

Tabelle 10 (seite 49):
Zusammenstellung der Objektdaten und der energetischen Kennwerte für die 58 zertifizierten Passivhäuser, die in Abschnitt 2.2 und 4.4 näher vorgestellt und ausgewertet werden. Die Datensätze wurden vom Passivhaus-Institut und der Passivhaus-Dienstleistungs-GmbH für die Dissertation des Autors (Vallentin 2011) zur Verfügung gestellt.

- Abhängig von der Geschosshöhe sind die nutzflächenbezogenen Solarerträge bei niedrigen Gebäuden viel höher als in hohen Gebäuden. Um hier eine Privilegierung zersiedelnder Bauformen zu vermeiden ist die Wahl der Grundfläche als Bezugsgröße sinnvoll.
- Um Freiaufstellungen von Solaranlagen zu vermeiden, ist es sinnvoll bauliche Flächen (Dächer, Fassaden) doppelt zu nutzen. Bei thermischen Solaranlagen kommt hinzu, dass die Wege zu den Wärmespeichern möglichst kurz sein sollten, um die solaren Leitungsverluste möglichst gering zu halten.

Für den Passivhaus-Nachweis wird ausdrücklich zugelassen, dass die Eigenerzeugung auch außerhalb des Bau- oder Siedlungsgrundstück erfolgen kann, z.B. durch Beteiligung an einer Windkraftanlage in der Region. Auch dies ist aus wenigstens drei Gründen sinnvoll:

- Im Einzelfall kann es mit großen Schwierigkeiten verbunden sein, aktiv-solare Systeme in Dach- bzw. Fassadenkonstruktionen zu integrieren, speziell bei Gebäuden in der kompakten Stadt (Aufzugsüberfahrten, sonstige technische Anlagen auf den Dächern, geforderte Seitenabstände) und bei energetischen Modernisierungen im Bestand (Statik, vorhandene Dachflächenfenster bzw. Gauben).
- Für den Ausbau der erneuerbaren Energien ist es von Vorteil einen Energiemix sich ergänzender Technologien aufzubauen, der in der Lage ist, den Lastgang möglichst angenähert nachzufahren. Dafür sind auch Anlagen außerhalb der Bau- und Siedlungsgrundstücke notwendig (z.B. Wind- und Wasserkraft, Geothermie).
- Aus der Perspektive energetischer Nachhaltigkeit wäre eine Beteiligung in solche Anlagen in den Entwicklungsländern geboten, die in der Lage sind, einen Beitrag zur Energiegerechtigkeit und Überwindung der Armut zu leisten.

Ermittlung der PER-Erzeugung im PHPP (ab Version 9)

Die z.B. auf dem Dach mit PV-Zellen oder thermischen Kollektoren erzeugte Energie wird mit dem PER-Faktor 1,0 multipliziert (d.h. sie betritt gemäß der 100%-Regel als Primärenergie das System, z.B. als Einspeisung in das Netz, in eine Batterie bzw. in einen Wärmespeicher).

Indirekt wird daran erkennbar, dass der vor- und nachgelagerte Energieaufwand, wie er bei den bisherigen Primärenergiefaktoren f_p auf der Grundlage des KEV bzw. KEA miteingerechnet ist, im PER-Modell generell nicht mehr berücksichtigt wird. Auch bei sonstigen erneuerbaren Stromerzeugern (z.B. Windkraft) wird der ins Netz eingespeiste Strom mit dem PER-Faktor 1,0 versehen.

Unabhängig davon, ob die Erzeugung auf dem Bau- oder Siedlungsgrundstück erfolgt oder in Form einer Beteiligung an einer räumlich entfernten Anlage wird der Beitrag der PER-Erzeugung auf die überbaute Fläche durch das Gebäude (= Grundfläche) bezogen.

PER-Berechnung Fallbeispiele

Die PER-Kennwerte zu den drei Fallbeispiele (EFH, RH, MFH) und zu den 58 zertifizierten Passivhäuser wurden mit PHPP (Version 9.2) berechnet:

- Für die drei Wohngebäude ist die Aufgliederung der Nutz- und Endenergie-Kennwerte (getrennt nach Schwerpunkt der jahreszeitlichen Nutzung) sowie die Ermittlung der PER-Bedarfs- und Erzeugungswerte in den Tabellen 6 - 8 ?? dargestellt. Wegen der Zuordnung des Biomasse-Budgets ergeben sich teilweise gegenüber den gewählten Energieträgern abweichende (gemittelte) PER-Faktoren.
- Für die 58 zertifizierten Passivhäuser sind die wichtigsten Objektdaten und Energie-Kennwerte in Tabelle 9 zusammengefasst.

Allgemeines			Versorgungslösung			E n d e n e r g i e b e d a r f (kWh/m²a)						Primärenergiebedarf (kWh/m²a)		Primary Energy Renewable		Global Warming Potential	
Lfd. Nr.	Geb.-typ	EBF (m²)	Wärmeversorgung	Thermische Solaranlage?	Fotovoltaikanlage?	Heizung Winter	Hilfsstrom Winter	Warmwasser ganzjährig	Hilfsstrom ganzjährig	Haushaltsstrom ganzjährig	Hilfsstrom Sommer	nicht-ern. [PHP 9.2]	nicht ern. (30a) [Valentin 2016]	PER-Bedarf (kWh/m² _{EBF,a})	PER-Erzeugung (kWh/m² _{Grundfl,a})	CO ₂ -äquiv.-Emission [PHEP 9.2] (kg/m²a)	CO ₂ -äquiv.-Emission (30a) [Valentin 2016] (kg/m²)
1	RH	1266	Wärmepumpe (LKG)	x	x	4,1	2,7	4,0	0,4	17,6	1,3	78,3	47,4	39,6	34,2	20,1	362
4	REH	131	Wärmepumpe (LKG)			7,5	1,1	9,5	1,1	17,9	1,1	99,3	61,1	46,0		26,0	459
5	RMH	131	Wärmepumpe (LKG)			4,8	1,1	9,5	1,1	17,9	1,1	92,3	56,8	42,8		24,1	426
11	EFH	153	Wärmepumpe (LKG)			7,0	1,4	8,3	1,4	17,7	1,4	96,7	59,3	44,3		25,2	444
12	EFH	181	Wärmepumpe (LKG)	x		7,4	1,0	8,9	1,0	17,2	1,0	94,9	42,4	46,7	k.A.	18,0	318
15	MFH	1967	Wärmepumpe	x	x	2,6	1,9	7,3	1,9	23,1	1,9	100,6	54,0	50,6	k.A.	22,5	426
16	DH	289	Wärmepumpe	x		3,1	1,4	3,2	1,4	24,1	1,4	90,0	55,2	41,9	k.A.	23,5	414
20	EFH	149	Wärmepumpe	x		2,7	1,9	4,4	1,9	16,7	1,9	76,7	47,0	35,6	k.A.	20,0	354
21	EFH	282	Wärmepumpe	x		2,8	1,1	3,4	1,1	15,6	1,1	65,3	40,5	30,3	k.A.	17,2	303
27	DH	178	Wärmepumpe (LKG)			4,5	0,8	10,5	0,8	17,5	0,8	90,7	55,8	42,2		23,7	420
28	MFH	377	Wärmepumpe (LKG)	x		4,9	1,3	9,4	1,3	11,0	1,3	75,9	46,9	35,1	k.A.	19,9	351
33	RMH	162	Wärmepumpe (LKG)			5,2	1,4	9,7	1,4	20,1	1,4	101,9	62,7	47,3		26,7	471
34	REH	163	Wärmepumpe (LKG)			7,9	1,4	9,6	1,4	20,2	1,4	108,9	66,9	50,8		28,4	501
35	EFH	176	Wärmepumpe (LKG)			5,7	1,2	7,3	1,2	21,6	1,2	99,3	61,0	46,0		25,9	456
36	EFH	205	Wärmepumpe (LKG)	x		6,6	0,8	7,4	0,8	13,7	0,8	78,3	48,0	36,0	k.A.	20,4	360
40	REH	161	Wärmepumpe (LKG)			6,2	1,2	9,2	1,2	21,1	1,2	104,3	64,2	48,5		27,3	480
41	RMH	160	Wärmepumpe (LKG)			4,5	1,2	9,3	1,2	20,8	1,2	99,3	61,1	46,2		26,0	459
42	REH	162	Wärmepumpe (LKG)			6,3	1,2	9,3	1,2	20,7	1,2	103,7	63,8	48,0		27,1	480
44	EFH	165	Wärmepumpe (LKG)	x		5,4	1,7	7,8	1,7	21,2	1,7	102,7	63,2	51,3	k.A.	26,9	474
45	EFH	188	Wärmepumpe (LKG)			6,3	1,4	8,3	1,4	14,3	1,4	86,1	52,8	39,7		22,4	396
50	RMH	151	Wärmepumpe (LKG)	x		3,3	1,6	5,6	1,6	22,9	1,6	95,2	58,7	47,7	k.A.	25,0	441
51	REH	157	Wärmepumpe (LKG)	x		4,6	1,6	5,7	1,6	21,9	1,6	96,2	59,0	48,0	k.A.	25,1	444
52	DH	173	Wärmepumpe (LKG)	x		4,0	1,4	6,7	1,4	23,8	1,4	100,6	62,1	50,2	k.A.	26,4	465
53	EFH	275	Wärmepumpe	x		3,4	2,3	4,1	2,3	14,8	2,3	75,9	46,6	38,5	k.A.	19,8	348
2	EFH	196	Gas	x		13,3	1,0	22,3	1,0	10,7	1,0	78,8	53,8	68,7	k.A.	18,1	378
13	MFH	1278	Gas			16,3	2,4	26,5	2,4	18,0	2,4	112,2	78,7	96,9		27,8	558
14	MFH	1540	Gas			13,5	1,8	18,7	1,8	18,9	1,8	98,6	67,7	77,3		24,5	483
17	MFH	1032	Gas			13,2	1,7	29,9	1,7	17,8	1,7	107,0	75,6	94,1		26,4	534
18	MFH	975	Gas			13,3	1,8	30,5	1,8	17,5	1,8	107,7	77,0	95,4		26,9	546
19	MFH	975	Gas			12,7	1,8	30,5	1,8	17,9	1,8	108,1	76,4	94,9		26,8	540
22	REH	163	Gas	x		8,2	1,0	10,5	1,0	8,5	1,0	50,5	35,2	42,3	k.A.	12,5	249
29	MFH	300	Gas			18,4	1,5	25,0	1,5	22,4	1,5	117,7	76,6	99,6		26,5	555
32	REH	127	Gas			20,4	1,6	28,0	1,6	16,7	1,6	109,1	78,0	101,6		26,7	549
37	REH	157	Gas			20,9	1,4	24,9	1,4	19,0	1,4	110,7	78,5	99,2		27,3	555
38	RMH	156	Gas			13,7	1,4	25,4	1,4	18,9	1,4	103,1	72,3	87,3		25,6	513
39	RMH	124	Gas			17,8	1,6	29,0	1,6	16,7	1,6	107,4	76,7	98,8		26,4	540
48	RH	836	Gas			17,9	1,3	26,3	1,3	22,9	1,3	117,5	82,0	100,6		29,0	582
49	MFH	440	Gas			16,5	1,3	20,5	1,3	21,2	1,3	106,0	73,6	86,1		26,4	525
54	MFH	1262	Gas			18,1	1,5	24,2	1,5	22,6	1,5	117,0	81,3	98,2		28,9	579
30	MFH	1400	Brennstoffzelle			16,0	1,9	20,1	1,9	17,6	1,9	100,3	74,3	82,5		19,9	402
57	MFH	1437	Brennstoffzelle + Strom direkt (WW)			14,8	1,6	17,8	1,6	22,4	1,6	106,6	78,0	81,3		28,8	561
6	RH	338	Biomasse	x		14,5	1,5	19,1	1,5	14,5	1,5	56,1	53,0 / (37,3)*	75,8	k.A.	14,7	279
7	RH	419	Biomasse	x		13,5	1,3	19,2	1,3	14,4	1,3	54,1	51,4 / (36,0)*	73,2	k.A.	14,1	270
23	MFH	998	Biomasse	x		10,8	1,0	17,8	1,0	12,6	1,0	45,3	42,6 / (30,8)*	62,4	k.A.	12,1	231
31	REH	155	Biomasse	x		14,7	2,1	14,8	2,1	18,9	2,1	71,4	58,6 / (49,2)*	77,0	k.A.	19,4	366
43	EFH	165	Biomasse			19,1	1,5	19,6	1,5	20,5	1,5	72,7	67,7 / (49,9)*	89,2		19,0	360
46	MFH	1244	Biomasse			19,3	1,6	47,6	1,6	26,9	1,6	95,8	109,2 / (63,9)*	147,3		24,8	480
47	EFH	179	Biomasse + Strom direkt (WW)			19,1	1,5	30,0	1,5	21,7	1,5	77,9	81,9 / (54,3)*	112,3		21,4	408
55	MFH	607	Biomasse			25,0	1,1	25,4	1,1	28,2	1,1	92,0	90,9 / (65,7)*	117,9		30,4	645
56	EFH	115	Biomasse			27,1	2,1	39,9	2,1	23,7	2,1	91,4	107,7 / (61,6)*	148,8		23,8	462
3	MFH	2157	Fernwärme (85% KWK)			15,6	2,6	40,1	2,6	23,0	2,6	112,9	88,1	96,3		17,0	252
8	REH	150	BHKW (35% KWK)			18,5	1,0	19,5	1,0	21,0	1,0	99,4	80,4	86,3		21,3	438
9	RMH	150	BHKW (35% KWK)			13,0	1,0	19,7	1,0	21,0	1,0	93,6	74,5	75,9		20,6	417
10	MFH	870	BHKW (70% KWK)			16,9	0,8	22,6	0,8	26,1	0,8	100,0	77,0	80,0		28,8	624
24	MFH	870	BHKW (70% KWK)			15,7	2,4	20,8	2,4	21,4	2,4	94,2	74,9	76,8		28,2	606
25	REH	118	BHKW (60% KWK)	x		9,3	0,9	24,6	0,9	14,4	0,9	64,8	54,5	59,5	k.A.	19,8	450
26	RMH	97	BHKW (60% KWK)	x		7,2	1,1	26,2	1,1	16,0	1,1	69,7	57,6	71,8	k.A.	21,1	471
58	MFH	1545	Fernwärme (85% KWK)		x	16,9	1,4	31,9	1,4	18,4	1,4	64,0	41,5	77,5	19,0	20,4	426

LKG: Lüftungs-Kompakt-Gerät

* ohne Biomasse-Budget

k.A.: keine Angabe möglich, weil Grundfläche nicht bekannt