

# Haus unter Strom

MIT STROMBASIERTEN VERSORGUNGSKONZEPTEN ZU  
EFFIZIENTEN UND WIRTSCHAFTLICHEN LÖSUNGEN  
von Benjamin Krick

Foto: Krick/Maxim\_Kazmin/Fotolia.com



Alle Rechte an diesem e-Magazine bei

laible verlagsprojekte

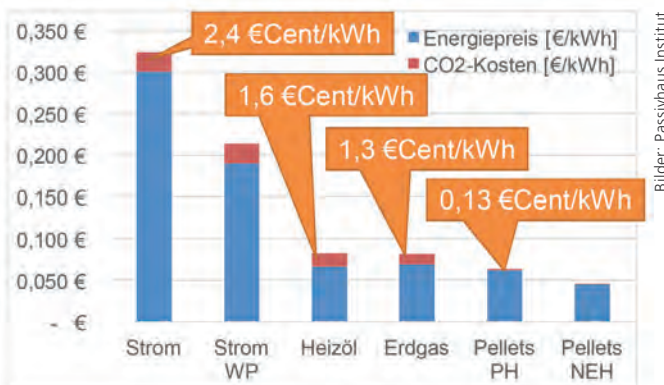
[www.verlagsprojekte.de](http://www.verlagsprojekte.de)

## KLIMABELASTUNGEN UND LEBENSZYKLUSKOSTEN unterschiedlicher

Wärmeversorgungskonzepte in Verbindung mit Passivhäusern und Niedrigenergiehäusern werden in diesem Beitrag mittels einer Parameterstudie untersucht.

Als Energiebilanztool wird das Passivhaus-Projektierungspaket (PHPP) genutzt. Preise (Endverbraucherpreise inkl. MwSt.) stammen aus Internet- und Literaturrecherchen, Publikationen des Autors und des Passivhaus Instituts (PHI) sowie aus Abrechnungen. Für die Ermittlung der Lebenszykluskosten wird die Barwertmethode (1,5 % Realzins) verwendet. Diese Methodik umfasst Investitions-, Betriebs- und Wartungskosten über definierte Zeiträume. Dabei werden Nutzungsdauern von 80 Jahren für Gebäudestruktur, Dämmung unter der Bodenplatte, nicht wasser- oder kühlmittelführende Leitungen, Wand- und Dachdämmung angenommen sowie für wasserführende Leitungen 50 Jahre und für Gebäudetechnik 20 Jahre. Für Splittergeräte, Durchlauferhitzer und Öl-Radiatoren wurden zwölf Jahre angesetzt. Der Betrachtungszeitraum beträgt 20 Jahre. Die Klimawirkung wird durch CO<sub>2</sub>-Kompensationskosten abgebildet, die Bewertung nach dem System der Erneuerbaren Primärenergie (PER-System) gibt Hinweise auf die Tauglichkeit im vollständig regenerativen Energiesystem.

Die Energiepreise sind entweder statistische Mittelwerte des Jahres 2015 für Deutschland oder stammen aus Internetrecherchen. Für Strom stellte sich heraus, dass spezielle Wärmepumpentarife für Passivhäuser aufgrund der zusätzlichen Grundgebühr und des geringen Bedarfes nicht lohnend sind, für ein Niedrigenergiehaus (NEH) dagegen schon. Pellets kosten als lose Ware weniger als in Säcken, jedoch ist im ersten Fall ein Pellet-Lager notwendig. Dies miteinberechnet, ist es im Passivhaus günstiger, Sackware, im NEH lose Ware zu verwenden. Klimaschäden wurden durch CO<sub>2</sub>-Kompensationskosten von 50 €/t CO<sub>2</sub>eq berücksichtigt. Die Abbildung zeigt die daraus resultierenden Kosten für die unterschiedlichen Energieträger.



Energie- und Kompensationskosten

### Gebäudemodell im Klima Frankfurt am Main

Als Basis des Gebäudemodells für diese Studie dient das Haus des Autors in den Varianten Passivhaus (PH) und Niedrigenergiehaus (NEH). Für das PH wurde ein Heizwärmebedarf von 15 kWh/(m<sup>2</sup>a) und eine Heizlast von 10 W/m<sup>2</sup> errechnet, für das NEH 78 kWh/(m<sup>2</sup>a) und 36 W/m<sup>2</sup>. Das Gebäude mit offenem Grundriss im EG hat 5 Zimmer, eine Wohnküche, ein Duschbad und ein Gäste-WC, in dem sich auch die Gebäudetechnik befindet.

Es ist selbstverständlich, dass die Kosten für die Passivhausvariante wegen der verbesserten Fenster und der dickeren Dämmung höher sind. Die Mehrkosten betragen in diesem Fall knapp 12 000 Euro. Durch die geringeren Energie- und Kompensationskosten ergibt sich jedoch über einen Betrachtungszeitraum von 20 Jahren ein Netto-Kostenvorteil von deutlich über 3000 Euro.

### Lüftung des Gebäudes

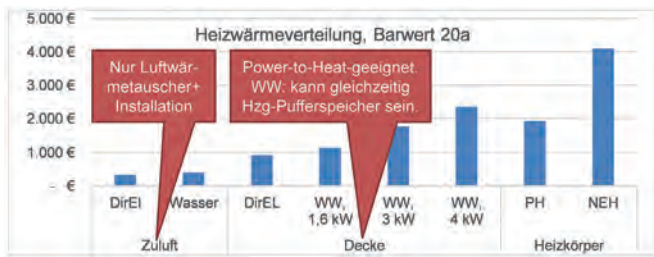
Das NEH wird über eine Abluftanlage, das PH über eine Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung (WRG) belüftet. Für die Abluftanlage ist eine hohe Luftdichtheit nicht relevant, anders für die Lüftung mit WRG. Die erhöhte Gebäudeluftdichtheit wird daher im Zusammenhang mit der Lüftungsanlage mit WRG betrachtet. Trotz der um ca. 4000 Euro höheren Investitionskosten schneidet die Lüftungsanlage mit WRG aufgrund der hohen Energieeinsparung resultierend aus höherer Luftdichtheit und der Wärmerückgewinnung in der Lebenszyklusbetrachtung deutlich besser ab als die Abluftanlage.

### Heizwärmeverteilung

Untersucht wurde die Heizwärmeverteilung über Heizkörper und für die Variante Passivhaus zusätzlich über eine Deckenaktivierung und über die Lüftungsanlage, diese beiden Varianten sind wegen der hohen Heizlast im NEH nicht möglich. Die Zuluftheizung ist bezüglich der Investitionskosten die günstigste Variante. Die Deckenheizung kann Wärme zum Ausgleich von Wärmebedarf und Wärmeerzeugung sowie für eine „Power-to-Heat“-Strategie (überschüssiger erneuerbarer Strom wird als Wärme gespeichert) puffern. Die Grafik zeigt die Barwerte für unterschiedliche Heizleistungen. Die teuerste Option ist die Beheizung über Heizkörper.

### Heizwärmeerzeugung

Zunächst werden Systeme zur Heizwärmeerzeugung ohne Warmwasserbereitung betrachtet. Für brennstoffgestützte Systeme zeigt die nächste Grafik einen deutlich höheren Barwert für die NEH-Varianten. Die Kosten für die Passivhausvarianten sind unabhängig vom Energieträger und vom Wärmeverteilungssystem ähnlich. Die Ausnahme bildet der Ölkessel, der aufgrund höherer Investitions- und Betriebskosten schlechter abschneidet. Wegen der geringen Investitionskosten liefern die direktelektrischen Systeme trotz der hohen Energiekosten für das Passivhaus die bisher besten Ergebnisse. Die Gesamtkosten für das NEH sind mit über 74 000 Euro exorbitant. Dies zeigt, wie empfindlich das NEH auf hohe Energiepreise und damit auch auf Energiepreisschwankungen reagiert. Aufgrund des guten CO<sub>2</sub>eq-Faktors des künftigen Strommixes spielen die Kompensationskosten auch bei den direkt elektrischen Systemen im Passivhaus eine untergeordnete Rolle, während sie im Niedrigenergiehaus den Barwert der Investition inkl. Lüftung deutlich übersteigen.



Kosten unterschiedlicher Heizwärmeverteilungssysteme

Der Barwert der Investitions- und Wartungskosten der Wärmepumpensysteme liegt für die PH-Varianten zwischen den Brennstoff- und den direktelektrischen Modellen. Bei der Variante PH Luft-Luft-WP wurde ein handelsübliches Klima-Split-Gerät verwendet. Sie ist die preisgünstigste der hier untersuchten, da sie sehr geringe Investitionskosten des Massenproduktes Split-Gerät mit dessen Effizienz durch einen modulierenden Kompressor vereint. Ebenfalls kostengünstiger als die direkt elektrische Lösung ist eine eigentlich für die Trinkwarmwasserbereitung vorgesehene direktverdampfende Kleinsterdwärmepumpe, die mit sehr geringer Vorlauftemperatur auf die Decke arbeitet. Die Variante, in der mit der gleichen Wärmepumpe über die Zuluft beheizt wird, schneidet aufgrund der höheren Vorlauftemperatur und damit niedrigerer Jahresarbeitszahl signifikant schlechter ab. Zu einem ähnlichen Ergebnis kommt die Variante mit einem Split-Gerät mit Wassersatz (Luft-Wasser-WP), welcher auf die Decke arbeitet.

Warmwasser

Die dezentrale Warmwasserverteilung ist kostengünstiger als die zentrale. Besonders teuer sind zentrale Netze mit Zirkulation. Sie sollten in Einfamilienhäusern vermieden werden. In der Gesamtbetrachtung sind die Investitionskosten für das Verteilnetz jedoch nicht entscheidend.

In jedem Fall lohnend sind Wasserspararmaturen. Hier wurde ein Sparduschkopf mit 6 l Durchfluss angenommen. Als zusätzliche Sparmaßnahmen wurden eine Duschwasser-Wärmerückgewinnung (DWRG) und eine thermische Solaranlage betrachtet. Während für die DWRG Energieeinsparungskosten bei 35 % Einsparung zwischen 7 und 8 Cent/kWh errechnet wurden, beträgt der Energieeinsparpreis der Solaranlage 19 Cent/kWh bei 67 % Einsparung. Ein Vorteil der DWRG ist, dass sie auch im Winter, also dann, wenn das Energieangebot knapp ist, beim Einsparen hilft, während die Solaranlage ihre Einsparungen im Sommer realisiert, wenn ohnehin Energie im Überfluss vorhanden ist. Zudem wird durch die Solaranlage Fläche belegt, die auch

durch eine PV-Anlage genutzt werden kann. Aus wirtschaftlichen Gründen kann eine thermische Solaranlage für Wohngebäude nicht empfohlen werden.

Die Untersuchung verschiedene Varianten zur Warmwasserbereitung zeigen, dass, wo möglich, Heizwärme und Warmwasser in kombinierten Systemen erzeugt werden sollten. Wo dies nicht möglich ist, führt die direktelektrische Warmwasserbereitung in Verbindung mit der DWRG zum besten Ergebnis. Bei Systemen, welche mit einer Warmwasser-Luftwärmepumpe arbeiten (verwendet wird die Raumluft), kann diese im Sommer gratis kühlen. Im Winter dagegen steigt durch diese Maßnahme der Heizwärmebedarf. Dies wurde bereits miteingerechnet. Alle mit Wärmepumpen arbeitenden Systeme sind zum einen „Power-to-Heat“-fähig, zum anderen ermöglichen sie eine Erhöhung des Eigenverbrauches selbst erzeugten PV-Stromes, wodurch die Energiekosten im Mittel sinken, was hier jedoch nicht berücksichtigt wurde.

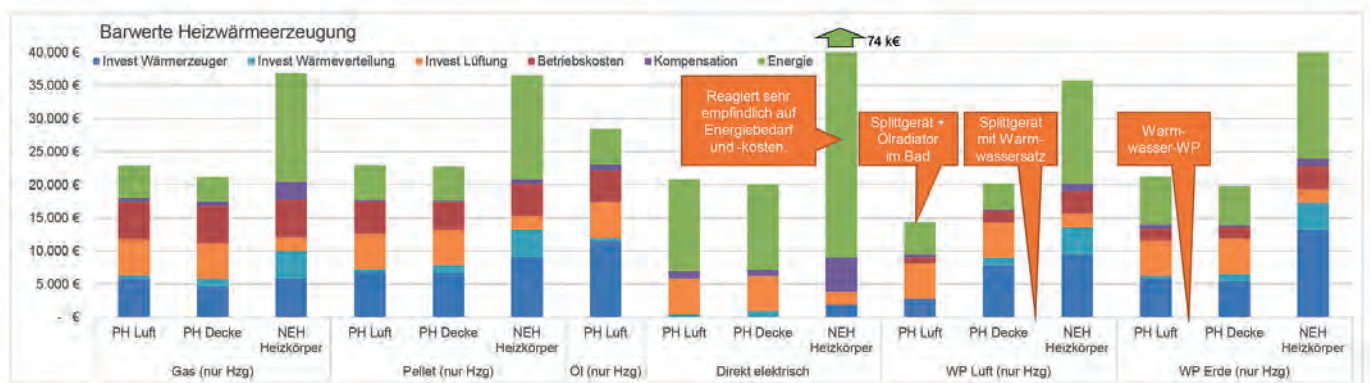
Systemkombinationen

Trotz der geringeren Investitionskosten für Gebäudehülle und Lüftung sind die Niedrigenergiehausvarianten aufgrund der höheren Investition in die Wärmeversorgung und der höheren Energiekosten deutlich teurer als die Passivhausvarianten – dies zeigt die folgende Grafik.

Mit dem geringsten Barwert schneidet die Variante mit Beheizung über das Split-Gerät in Kombination mit Durchlauferhitzern und der DWRG zur Warmwasserbereitung ab. Geringe Investitionskosten in Verbindung mit hoher Effizienz ermöglichen dieses Ergebnis. Das Split-Gerät ermöglicht auch eine sommerliche Kühlung ohne investive Mehrkosten. Mit einem PER-Bedarf von nur 31 kWh/(m²a) ist das Passivhaus Premium erreichbar.

An zweiter Stelle folgen praktisch gleichwertig die anderen gewählten Wärmepumpenvarianten und die Gasheizung. Bei einer Wärmepumpe ist die Kombination Niedertemperatur Deckenheizung und Warmwasserbereitung nur dann sinnvoll, wenn es zwei getrennte Heizkreise gibt, durch welche das niedrige Temperaturniveau der Deckenheizung genutzt werden kann. Auch bei der Luft-Wasser-WP ist eine Kühlung ohne Zusatzinvestition möglich. Durch die hohe Speichermasse der aktivierten Decke und durch den Warmwasserspeicher ist dieses System „Power-to-Heat“-fähig. In Verbindung mit einer PV-Anlage lassen sich deren Eigenstromnutzung verbessern und so Energiekosten weiter senken. Das Passivhaus Premium kann mit einem PER-Bedarf von 27 kWh/(m²a) erreicht werden.

Bei der direktverdampfenden Erdreichwärmepumpe wurde zur Entlastung der Quelle Erdreich zusätzlich eine DWRG vor-



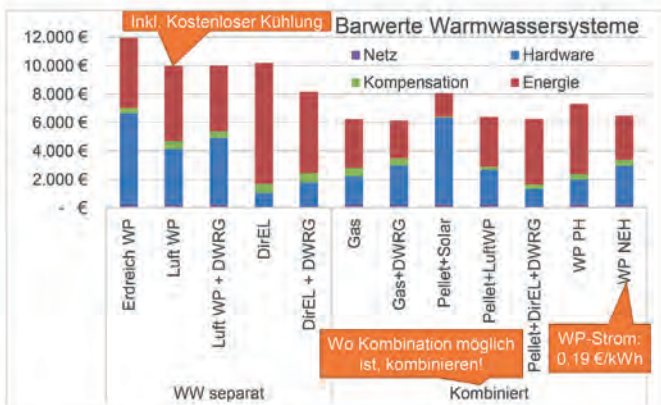
Barwerte der untersuchten Heizwärmeerzeugungen

	Gas		Pellet		DirEL	Wärmepumpe			
	PH Decke + DWRG	NEH Heizk. + DWRG	PH Luft + WWP + DWRG	NEH Heizk. + WWP + DWRG		PH Split + DLE + DWRG	PH Luft WP Decke	NEH Luft WP Heizk	PH Erd WP Decke + DWRG
Kosten	0	-	0	-	0	+	0	-	0
Th. Komfort	+	-	+	-	+	+	+	-	+
Kühlung			+	+		+	+	+	
Power To Heat			0	0	0	0	+	+	+
Klima	+	-	+	+	0	+	+	-	+
PH Classic	+	-	+	-	+	+	+	-	+
PH Plus	0	-	0	-	0	+	+	-	+
PH Premium	-	-	-	-	-	0	+	-	+

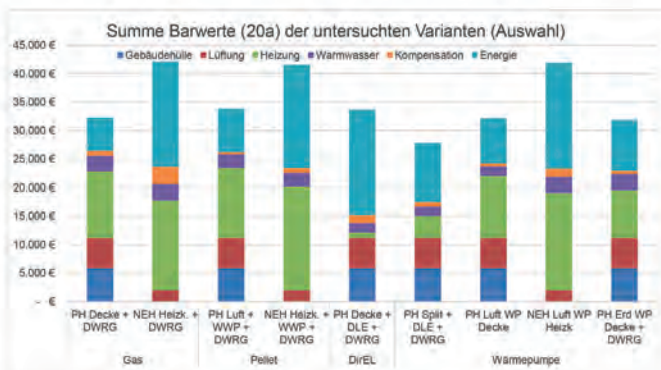
gesehen. Der dennoch höhere Energiebedarf resultiert aus der schlechteren Jahresarbeitszahl Wärmepumpe und der Koppelung von Heizung und Warmwasser. Das System ist „Power-to-Heat“-fähig, eine Kühlung ist mit der Direktverdampfung nicht möglich. Das PH Premium kann erreicht werden.

in einer „Power-to-Heat“-Strategie zu nutzen. Mit einem PER-Bedarf von 57,4 handelt es sich um ein Passivhaus Classic, das jedoch z. B. mit einer großen PV-Anlage zum Passivhaus Plus werden kann.

Zusammen mit der komplett direktelektrischen Variante ist die Pelletheizung die teuerste Option bei den Passivhäusern, bei den Niedrigenergiehäusern ist die Pelletvariante der Gasheizung aufgrund der dann geringeren Energiekosten geringfügig überlegen. Die Pelletvariante bringt die vielfach gewünschte Feuerromantik in das Haus. Allein dies wird vielen Bauherren die geringen Mehrkosten wert sein. Über die Raumluft-WW-WP wird das System „Power-to-Heat“-fähig und erhält eine Kühlmöglichkeit ohne zusätzliche Energiekosten. Auch bei dieser Variante ist das Passivhaus Plus z. B. mit einer großen PV-Anlage erreichbar.



Barwert der untersuchten Warmwassersysteme



Barwert der untersuchten Systemkombinationen. In „Heizung“ sind die Kosten für Wartung, Instandhaltung, evtl. Gasanschluss, Schornstein inkludiert. „Warmwasser“ enthält die zusätzlichen Kosten für die Warmwasserbereitung ohne Energiekosten. „Energie“ enthält den Barwert der Energie für Heizung, Warmwasser und den Hilfsstrom für WW und Hzg.

Die Gasvariante ist trotz der hier geringsten Energiekosten aufgrund der hohen laufenden Kosten (Gasanschluss, Schornsteinfeger) und des benötigten Schornsteins den Wärmepumpenlösungen bei einem Passivhaus unterlegen. Hier besteht weder die Möglichkeit, zusätzlich zu kühlen, noch das Gebäude

## Fazit

Die Passivhauslösungen sind den Niedrigenergiehäusern auch kostenmäßig überlegen, da sie erheblich weniger Energie brauchen und zudem eine Vereinfachung des Heizsystems ermöglichen.

Als Heizwärmeverteilsysteme sollten in Passivhäusern Luft- oder Flächenheizsysteme zum Einsatz kommen. Heizwärme und Warmwasser sollten nach Möglichkeit gemeinsam bereit werden. Bei Pelletheizung ist ein zusätzliches System sinnvoll (besser eine Warmwasserwärmepumpe als eine thermische Solaranlage). Bei Wärmepumpensystemen im Kombination mit Flächenheizungen sollte auf eine Trennung von Heiz- und Warmwasserkreis geachtet werden. Duschwarmwasser-Wärmerückgewinnungen können in allen Systemen empfohlen werden, bei hoch effizienten Wärmepumpen ergeben sich aber keine relevanten Kostenvorteile.

Die hier untersuchten Wärmepumpenlösungen sind im Lebenszyklus am kostengünstigsten. Viele ermöglichen zusätzlich eine „Power-to-Heat“-Strategie und eine Gebäudekühlung. Zu geringen Mehrkosten ist auch eine Pellet-Heizung möglich, die zusätzlich zu geringen Klimabelastungen eine Feuerromantik bringt. Die obestehende Tabelle versucht einen Überblick über die Ergebnisse zu geben.



DR.-ING. BENJAMIN KRICK

arbeitet als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Passivhaus Institut Darmstadt, wo er die Arbeitsgruppe Komponentenzertifizierung leitet und sich mit der nachhaltigen Bewertung der Energieversorgung von Gebäuden beschäftigt. Er studierte und lehrte an der Hochschule Darmstadt und der Universität Kassel, wo er 2008 im Bereich des experimentellen Bauens promovierte.  
www.passiv.de