

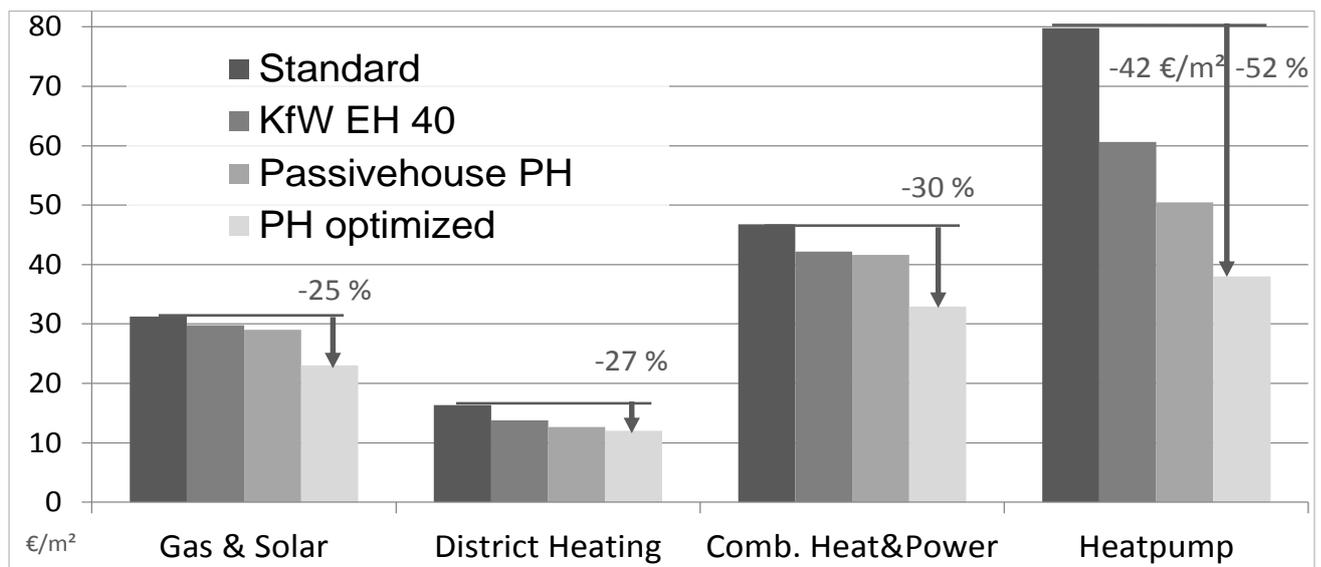
# Zukunftsfähige Versorgungssysteme im Geschosswohnungsbau

Dr. Burkhard Schulze Darup, schulze darup & partner architekten Berlin – Nuremberg  
Sundgauer Straße 54, 14169 Berlin, Germany  
Phone: +491792052873, email: schulze-darup@schulze-darup.de

Dr.-Ing. Benjamin Krick, Passivhaus Institut  
Rheinstr. 44/46, 64283 Darmstadt  
Phone: +49(0)6151/826 99-0, email: benjamin.krick@passiv.de

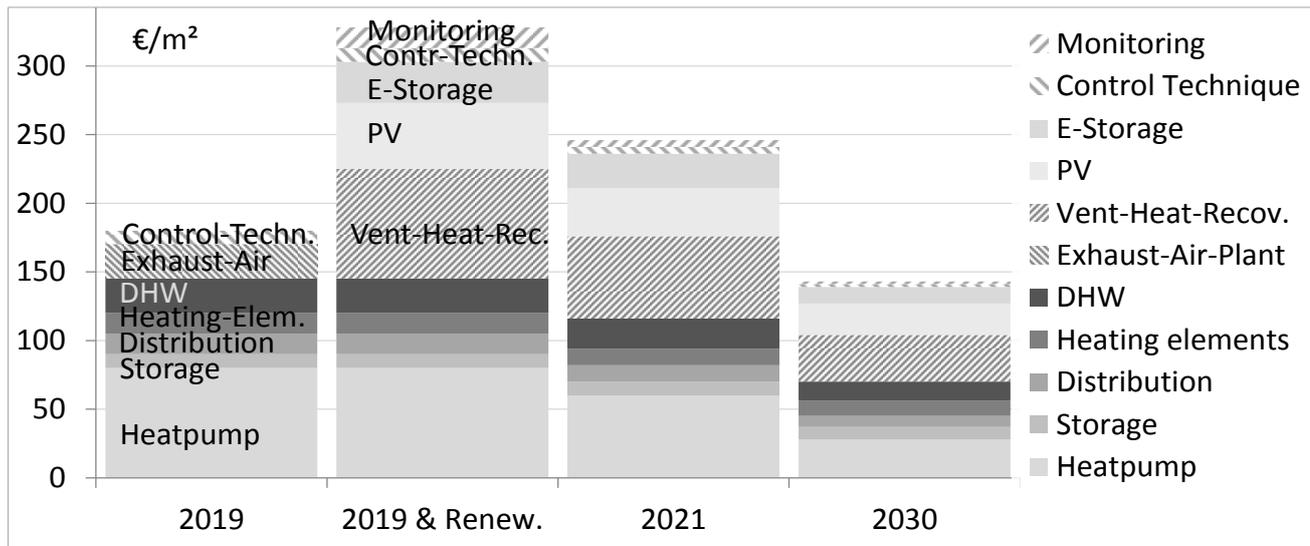
## Versorgungstechnik – Ausgangssituation und Kostenentwicklung

Der Wechsel von der brennstoffbasierten fossilen Energieversorgung zur zukünftigen erneuerbaren Bereitstellung von Energie ist eine Generationenaufgabe. Die Umstellung auf erneuerbar-strombasierte Systeme bietet große Chancen. Besondere Bedeutung hat dabei die sehr geringe Heizlast von Passivhäusern.



**Figure 1 Hohe Energieeffizienz reduziert die Heizlast und mithin die Investitionskosten für die zentrale Systemtechnik. Besonders hohe Einsparungen sind bei Wärmepumpentechnik möglich [€/m²].**

Heizsysteme für Passivhäuser ermöglichen 25 bis 50 Prozent Kostenreduktion (Figure 1) gegenüber Standardgebäuden. Insbesondere Wärmepumpensysteme erlauben deutliche Einsparungen, da Primärkreis, Zentrale und Verteilung / Übergabe jeweils kostengünstig erstellt werden können [Schulze Darup 2019]. Darüber hinaus zeigt Figure 2, dass Plusenergietechnik („2019 & Renewables“) derzeit noch als kostenträchtiges Add-On zu konventioneller Haustechnik („2019“) geplant wird. Kurzfristig ist es möglich, durch integrale Systemlösungen ca. 25 Prozent Kosten einzusparen („2021“). Darüber hinaus werden die Komponenten innerhalb weniger Jahre zunehmend kostengünstiger. Insbesondere bei elektrobasierenden Systemen wird sich ein Wechsel von der manufakturrellen zur industriellen Produktion einstellen, was zu einer deutlichen Kostenreduktion bei der Gebäudetechnik führen wird.



**Figure 2** Aktuell wird erneuerbare Gebäudetechnik („2019 & Renewables“) additiv zu bisherigen Komponenten (2019) geplant. Kurzfristig können durch Systemlösungen (2021) und langfristig durch deutlich günstigere Komponenten die Kosten (2030) gesenkt werden [€/m²].

## Komfortlüftung (Zu-/Abluftanlagen mit Wärmerückgewinnung)

Gebäude mit einer Passivhaus-Gebäudehülle weisen bei Einsatz von Abluftanlagen in mitteleuropäischen und vergleichbaren Klimazonen einen Heizwärmebedarf von ca. 40 kWh/(m²a) auf. Durch Zu-/Abluftanlagen mit Wärmerückgewinnung verringert sich der Wert auf 15 kWh/(m²a). Dadurch reduziert sich zugleich die Heizlast entscheidend und ermöglicht die oben beschriebene kostengünstige Heiztechnik. Nebenbei wird der Komfort deutlich erhöht. Den Mehrinvestitionen für die Komfortlüftung, die bei optimierter Planung 20 bis 40 €/m²<sub>Wohnfläche</sub> betragen [Schulze Darup 2018], steht ein Einsparungspotenzial bei den Investitionskosten für die Heizanlage in gleicher Größenordnung entgegen.

## Heiztechnik in Zeiten erneuerbarer Energieversorgung

Innerhalb von zwei bis drei Jahrzehnten muss die Umstellung auf erneuerbare Energieversorgung realisiert werden, um die Klimaschutzziele zu erreichen. Die Wärmewende geht einher mit weitgehender Umstellung auf strombasierte Versorgungssysteme. Das ist eine hohe Herausforderung, bietet zugleich aber ungeheure Chancen. In weiten Teilen kann statt komplexer Wärmenetze kleinteilige Wärmepumpentechnik eingesetzt werden. Es ist naheliegend, dass diese Technik modular in hoher Stückzahl industriell gefertigt werden kann. Außerdem bietet sich der Vorteil, dass Heizen und Kühlen effizient zu verbinden ist, was in warmen und feuchten Klimazonen Synergien ermöglicht. In bisher gemäßigten Klimata werden sich bei steigenden Temperaturen und zukünftigen sommerlichen Hitzeperioden ebenfalls Kühlanforderungen stellen.

Gegenüber zentraler Versorgung haben dezentrale Lösungen den Vorteil der geringeren Investitions- und Betriebskosten der Verteilnetze. Nachteilig sind die größere Anzahl an Technischen Geräten und der damit höhere Investitions- und Wartungsaufwand für die einzelnen Komponenten. Als Lösung stellt sich die Entwicklung möglichst wartungsfreier Plug & Play-Geräte dar, deren Verschleißteile nach ca. 15 Jahren als Modul ausgetauscht werden können.

## Warmwasserbereitung übernimmt die Schlüsselrolle bei der Wärme

Geschosswohnungsbau im Passivhaus-Standard weist einen höheren Jahresbedarf für die Warmwasserbereitung als für die Heizung auf. Besonders bei zentralen Versorgungssystemen mit Vorlauftemperaturen von über 60 °C und Zirkulationsleitungen stehen dem Nutzenergiebedarf von etwa 16 kWh/(m²a) oftmals Anlagenverluste von mehr als 100 Prozent gegenüber. In Figure 3 wird aufgezeigt, welche Endenergiekennwerte Warmwassersysteme aufweisen. Anlagen mit Gaskessel liegen zwischen 24 und 38 kWh/(m²a), in Verbindung mit Solarthermie können 10 bis 15 kWh/(m²a) erreicht werden. Durchlauferhitzer sind kostengünstig von den Investitionskosten und können mit minimierten Verlusten betrieben werden. In Verbindung mit Dusch-Wärmerückgewinnung ist ein Endenergiebedarf von etwa 10 kWh/(m²a) realistisch. Dezentrale Mini-Wärmepumpen in den Wohnungen ermöglichen eine Halbierung des Bedarfs. Das gleiche gilt für zentrale Wärmepumpen, wenn die Verteilsysteme optimiert und mit niedriger Systemtemperatur von 45 bis 50 °C betrieben werden, wie dies durch den Einsatz von Ultrafiltration möglich ist. In Verbindung mit Photovoltaik und Batteriespeichern können die drei in Fig. 3 beschriebenen elektrobasieren Systeme etwa 60 Prozent ihrer benötigten Energie vor Ort erneuerbar bereitstellen, sodass nur ein Restbedarf von 3 bis 4 kWh/(m²a) über extern geliefert werden muss [Schulze Darup 2019].

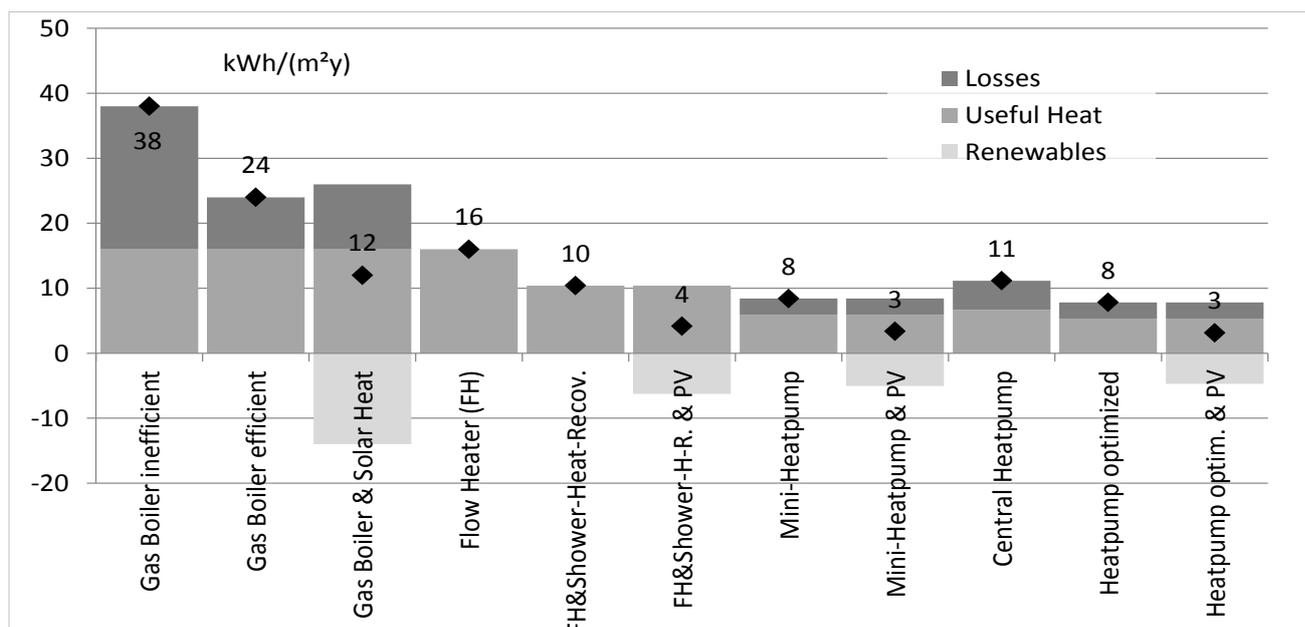


Figure 3 Endenergiebedarf von Versorgungsvarianten für die Warmwasserbereitung [kWh/(m²y)].

Die Primärenergiebetrachtung weist für die elektrobasieren Systeme bereits bei aktuellen Rahmenbedingungen günstige Werte aus. Werden Photovoltaik und Batteriespeicher in die Planungsüberlegungen einbezogen, können ausgesprochen günstige Werte für die Warmwasserbereitung erzielt werden (Fig. 4). Noch deutlicher wird der Vorteil bei der PER-Betrachtung eines zukünftig erneuerbaren Versorgungssystems. Dagegen führt Gasversorgung nicht nur zu nochmals erhöhten Primärenergiekennwerten, sondern konterkariert auch die Synergien zwischen erneuerbarer Energiegewinnung, Lastmanagement und sinnvoller örtlicher PV-Nutzung (Fig. 5).

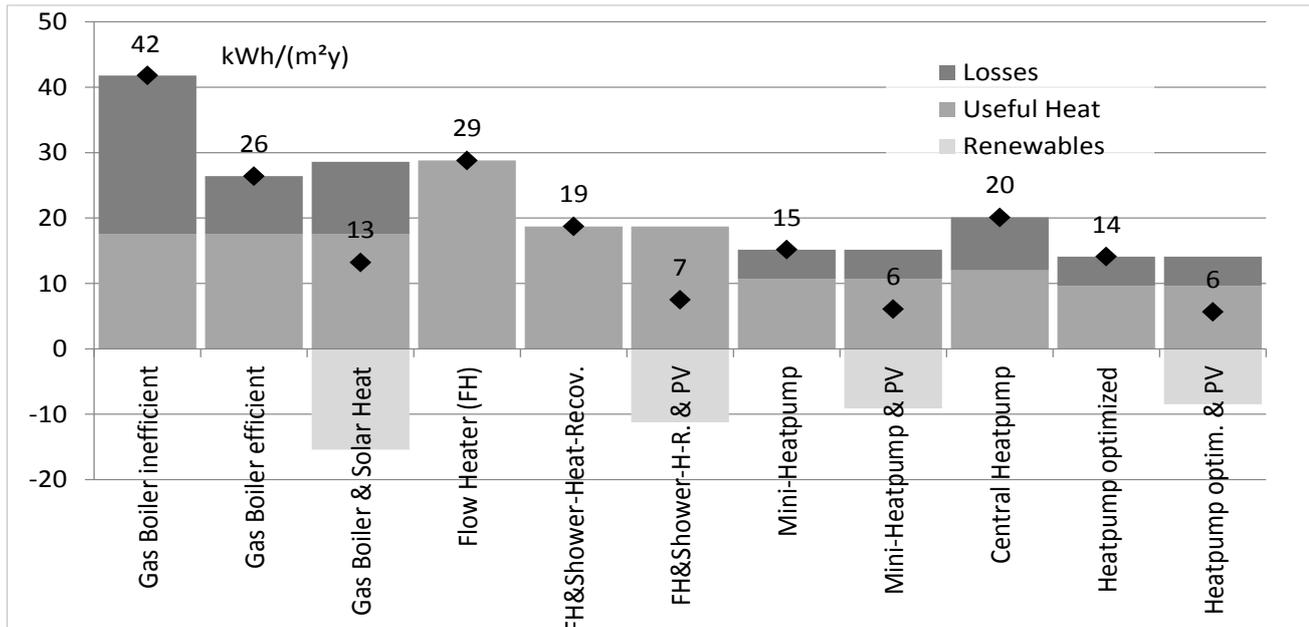


Figure 4 Primärenergiebedarf von Versorgungsvarianten für die Warmwasserbereitung nach aktuellen Primärenergie-Faktoren [kWh/(m²y)].

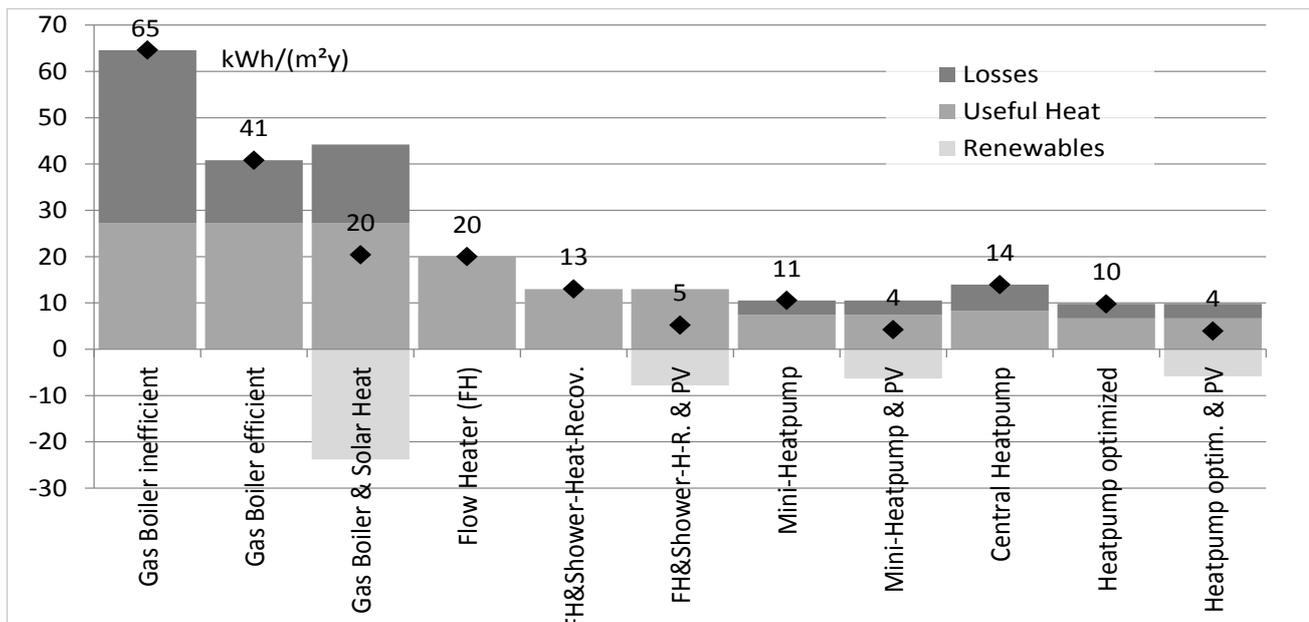
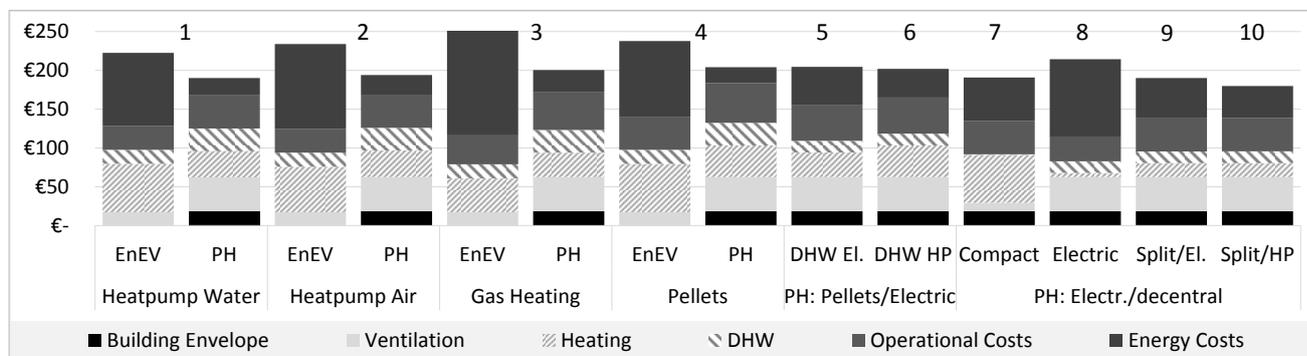


Figure 5 Primärenergiebedarf von Versorgungsvarianten für die Warmwasserbereitung nach erneuerbarer Primärenergie-Betrachtung (PER) [kWh/(m²y)].

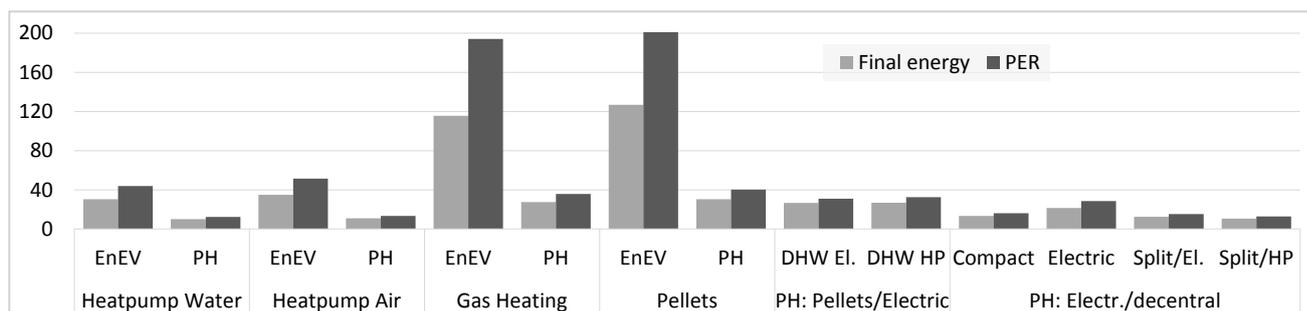
## Lebenszykluskosten von Wärmeversorgungs-lösungen in MFH

In [Krick, Schulze Darup 2019 ] werden die Lebenszykluskosten von Wärmeversorgungssystemen mittels Barwertmethode für unterschiedliche Gebäudestandards ermittelt (Fig. 6). Verglichen wurden ein Standardgebäude nach EnEV mit einem Heizwärmebedarf von 68 kWh/(m²a), Heizlast 30 W/m² und ein Passivhaus mit 12 kWh/(m²a) und 9 W/m². Der Nutzenergiebedarf für Warmwasser beträgt in beiden Fällen 16 kWh/(m²a). Die Kennwerte wurden mit PHPP 9.7 für ein unterkellertes 4-geschossiges Mehrfamilienhaus mit 1440 m² Energiebezugsfläche und 16 Wohneinheiten ermittelt. Die investiven Mehrkosten der

Gebäudehülle für den Passivhaus-Standard betragen 40 €/m<sup>2</sup><sub>EBF</sub>, für die Passivhaus-Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung ebenfalls 40 €/m<sup>2</sup><sub>EBF</sub>. Als Grundlage dienen im Wesentlichen Kosten aus [Schulze-Darup 2019] sowie [Krick 2017]. Weitere Randbedingungen der Barwertberechnung: Realzins: 1,19%, Energiepreise: Gas & Öl 0,07 €/kWh; Pellet 0,05 €/kWh; Strom: 0,30 €/kWh; Wärmepumpenstrom: 0,19 €/kWh.



**Figure 6 Vergleich von Gebäudestandards und der Versorgungssysteme für die Lebenszykluskosten nach Barwertmethode [€/m<sup>2</sup><sub>Wohnfläche</sub>]. Alle Standardgebäude nach EnEV liegen ungünstiger als die Passivhaus-Varianten. Wärmepumpenvarianten weisen sehr günstige Ergebnisse auf. Direktelektrische Warmwasserversorgung mit innovativen Systemen schneiden ebenfalls günstig ab. In Verbindung mit Photovoltaik verbessern sich die elektro-basierten Systeme nochmals.**



**Figure 7 Endenergie- und PER-Bedarf der untersuchten Varianten [kWh/(m²y)].**

Alle Passivhaus-Varianten stellen sich in der Lebenszyklusbetrachtung nach Barwertmethode deutlich günstiger dar als die Standardgebäude mit geringeren Investitionskosten. Für die Betriebs- und Energiekosten liegen alle Passivhaus-Lösungen (außer Var. 8) sehr nah beieinander. Folgende Konstellationen wurden verglichen (Nummerierung s. Figure 6):

1. Wasser-Wärmepumpe für Heizen und Warmwasserversorgung im Vergleich eines Standard-Gebäudes (EnEV) gegenüber dem Passivhaus-Standard. Lebenszykluskosten und Primärenergiebetrachtung fallen für das Passivhaus sehr günstig aus.
2. Gleiche Betrachtung für eine Luft-Wärmepumpe mit sehr ähnlichem Gesamtergebnis.
3. Gas-Brennwerttechnik im Vergleich EnEV- versus Passivhaus-Standard: Lebenszykluskosten und Betriebs-/Energiekosten liegen am Ende der Skala, insbesondere bei Betrachtung der PER-Bilanz für eine erneuerbare Versorgung.
4. Versorgung mit Pellets: Die Ergebnisse liegen eher im ungünstigen Bereich, zumal davon auszugehen ist, dass mittelfristig Biomasse nur noch bedingt für Niedertemperaturwärme zur Verfügung stehen wird, die Kosten also steigen werden.
5. Zentrale Pelletheizung mit Luftverteilsystem, Warmwasser direktelektrisch (Passivhaus): Tendenziell gilt die relativierende Aussage zu Punkt 4 auch für dieses Mischsystem.

6. Pelletheizung mit Betonkernaktivierung, dezentrale Warmwasser-Wärmepumpe (PH): Aussage wie vor trotz der günstigen Heizverteilung und dezentralen Wärmepumpe.
7. Wärmepumpenkompaktaggregat für Heizung (Luftverteilung) und Warmwasser (PH): bei guter Arbeitszahl liegt diese Variante mit an der Spitze der Bewertung.
8. Heizung direktelektrisch mit Verteilung über die Luft, Warmwasser direktelektrisch (PH): niedrigen Investitionskosten stehen erhöhte Energiekosten und eine hohe Heizlast bei Dunkelflaute gegenüber, was zu mittelfristig steigenden Folgekosten führt.
9. Heizung mit Splitgerät und Warmwasserbereitung direktelektrisch (PH): sehr günstige Variante insbesondere hinsichtlich der Investitionskosten.
10. Heizung mit Splitgerät, Warmwasserbereitung über dezentrale Mini-Wärmepumpe (PH): beste dezentrale Variante mit niedrigeren Investitionskosten als bei zentralen Wärmepumpen, sehr guter Gesamtbilanz und sehr günstigen Betriebs-/Energiekosten.

## Synergien durch Quartierslösungen & Einbeziehung Strom und Mobilität

Zukünftige erneuerbare Versorgungstechnik muss neben Heizen / Kühlen / Warmwasser auch Stromnutzungen und Mobilität einbeziehen. Wenn zudem der Betrachtungsrahmen auf Quartiere ausgedehnt und die erneuerbare Energiebereitstellung einbezogen wird, können zahlreiche Vorteile generiert werden: zentrales Lastmanagement in Verbindung mit Batteriespeichern, Elektrolyse, Wasserstoffspeicher für Mobilität und Rückverstromung in Zeiten von Dunkelflaute ermöglichen zahlreiche positive Synergien. Gleichzeitigkeitsfaktoren sind besser nutzbar und hohe kurzfristige Lastanforderungen für Gebäude und E-Mobilität können durch die Batteriekapazität ausgeglichen werden. Diese Art der Quartiersversorgung ermöglicht die Reduktion voluminöser Wärmenetze und erhöht Optionen für die Sektorenkopplung und eine wirtschaftliche erneuerbare Energieversorgung auf regionaler Ebene. In feuchtheißen und warmen Klimazonen verbessert sich diese Bilanz aufgrund des günstigen PV-Angebots. Das Werkzeug DISTRICT-PH des Passivhaus Instituts ermöglicht eine Erfassung all dieser Aspekte und ermöglicht Empfehlungen für zukünftige Versorgungssysteme. Erste Ergebnisse davon werden bei der Tagung vorgestellt.

## References

Krick, Schulze Darup 2019	Krick, Schulze Darup: 25 years of cost degression and life cycle costs – from pilot project to universally affordable consumer good for all. – Darmstadt / Berlin 2019
Krick 2017	Krick, Benjamin: Wärmeversorgungskonzepte in Niedrigenergie- und Passivhäusern im ökonomischen Vergleich. Ein Eigenprojekt des Passivhaus Instituts. Darmstadt 2017
Schulze Darup 2018	Schulze Darup, Burkhard: Passivhaus – Quo vadis? – In: Tagungsreader Internationale Passivhaustagung München 2018
Schulze Darup 2019	Schulze Darup, Burkhard: Kostengünstiger und zukunftsfähiger Geschosswohnungsbau im Quartier. – Projektbericht zum Forschungsvorhaben, gefördert durch die Deutsche Bundesstiftung Umwelt DBU AZ 33119/01-25, Berlin 2019

# **Zukunftsfähige Versorgungssysteme im Geschosswohnungsbau**

Dr. Burkhard Schulze Darup, schulze darup & partner architekten Berlin – Nuremberg  
Sundgauer Straße 54, 14169 Berlin, Germany  
Phone: +491792052873, email: schulze-darup@schulze-darup.de

Dr.-Ing. Benjamin Krick, Passivhaus Institut  
Rheinstr. 44/46, 64283 Darmstadt  
Phone: +49(0)6151/826 99-0, email: benjamin.krick@passiv.de

## **Zusammenfassung**

Der Paradigmenwechsel von brennstoffbasierter fossiler Gebäudetechnik zur erneuerbaren Versorgung ermöglicht neue dezentrale Techniken mit sehr günstiger Lebenszyklusbewertung. In den nächsten Jahren gilt es, diese Chance zu ergreifen und zukunftsfähige Techniken in industriellem Maßstab in den Markt zu bringen.