

# Null-Emissions-Strategie für ein Wohnquartier der 50/60er Jahre

Matthias Wohlfahrt<sup>1</sup>, Gunnar Harhausen<sup>2</sup>

<sup>1</sup> proKlima-Der enercity-Fonds, Glockseestraße 33, 30169 Hannover  
matthias.wohlfahrt@enercity.de

<sup>2</sup> Architektur- und TGA-Planungsbüro Carsten Grobe Passivhaus, Boulevard der EU 7,  
30539 Hannover, g.harhausen@passivhaus.de

## 1 Ausgangslage

Mit Blick auf eine Null-Emissions-Strategie für die Altbaumodernisierung wurde im Rahmen des EU-Projektes PassREg ([www.passreg.eu](http://www.passreg.eu)) eine Machbarkeitsstudie für ein typisches Wohnquartier der 50/60er Jahre in Hannover mit der zentralen Fragestellung erstellt: *Welche Versorgungskonzepte ergänzen technisch und wirtschaftlich sinnvoll eine hocheffiziente Modernisierung mit Passivhauskomponenten und erreichen das CO<sub>2</sub>-Null-Emissions-Niveau?*

Die Studie untersucht die Möglichkeiten zur Reduktion von Energiebedarf und CO<sub>2</sub>-Emissionen am Beispiel der Kernsanierung des Wohnquartiers „Quellengrund“ der Baugenossenschaft Oberricklingen eG in Hannover-Limmer. Die Strategie orientiert sich an den Anforderungen der EU-Gebäuderichtlinie (2010/31/EU), die für Neubauten ab 2020 „Fast-Nullenergie-Gebäude“ vorsieht.



Abbildung 1: Vor (links) und nach (rechts) der Sanierung der nördlichen Hauszeile

Das Wohnquartier umfasst 10 Mehrfamilienhäuser (Baujahr 1958-60) mit 64 Wohneinheiten und ist durch eine offene, südausgerichtete dreigeschossige Zeilenbebauung charakterisiert. Die derzeitige Wohn/- Nutzfläche beträgt ca. 3.820 qm. Im Jahr 2011 wurde nach den Plänen von bauart Architekten, Hannover die nördliche Zeile (2 Häuser mit je 12 Wohneinheiten) mit Passivhauskomponenten modernisiert. Das Quartier ist nicht an das Fernwärmenetz der Stadtwerke Hannover angebunden und wird aktuell über

Gasbrennwertkessel bzw. Gasttagenheizung in den unsanierten Häusern versorgt. Auf eine Einbindung von erneuerbaren Energien wie z.B. einer thermischen Solaranlage oder Photovoltaik (PV) wurde zunächst verzichtet. Die Baugenossenschaft plant in den nächsten Jahren eine schrittweise Modernisierung der weiteren Gebäude sowie auch das Wärmeversorgungskonzept neu aufzustellen. Die Studie fokussiert daher den noch unsanierten Teil des Quartiers. Der projektierte Heizwärmebedarf der Muster-Modernisierung liegt bei rund 30 kWh/(m<sup>2</sup>a). Die Bauteilkennwerte sind unter [www.passivhaus-plattform.de](http://www.passivhaus-plattform.de) veröffentlicht. Die angesetzten Stromkennwerte sind für sparsame, effiziente Haushaltsstromverbräuche mittels PHPP berechnet. Die Voruntersuchungen haben gezeigt, dass bei eher konventionellem Haushaltsstromverbrauch von größer 20 kWh/(m<sup>2</sup>a) eine Null-Emission-Variante hier nicht wirtschaftlich erreichbar ist. Die Haushaltsstromeffizienz ist daher ein wichtiger Baustein. Die Eingangsdaten nach Tabelle 1 und somit auch Ergebnisse der Studie sind daher bedingt übertragbar.

Heizwärmebedarf	30,0 kWh/(m <sup>2</sup> a)
Trinkwarmwasserbedarf	19,2 kWh/(m <sup>2</sup> a)
Wärmebedarf anlagenseitig (gesamt)	49,2 kWh/(m <sup>2</sup> a)
Strombedarf Haushaltsstrom einschl. Allgemeinbereiche	18,0 kWh/(m <sup>2</sup> a)
Strombedarf Lüftungsanlage	2,1 kWh/(m <sup>2</sup> a)
Strombedarf Variante Wärmepumpe (bei JAZ = 4,0)	12,5 kWh/(m <sup>2</sup> a)
Deckungsgrad Mini-BHKW, Deckungsgrad Wärmepumpe	75%, 100%
Jahresarbeitszahl (JAZ) Wärmepumpe	4,0
Stromerzeugung durch ein PV-Referenzdach (1 Dach = 104 m <sup>2</sup> , 16 kWp)	894 kWh/(kWp a)

**Tabelle 1: Bedarfskennwerte - Eingangsdaten für die Studie**

## 2 Methodik

Die CO<sub>2</sub>-Emissionen, die für den Gebäudebetrieb und Nutzung inkl. Haushaltstrom anfallen, sollen in der Jahresnetto Bilanz null betragen. Zugleich sollen die Konzepte wirtschaftlich und technisch praktikabel sein. Um eine Nullbilanz zu erreichen, wird im Umfang des bestehenden Restbedarfs Energie in das öffentliche Netz eingespeist und CO<sub>2</sub>-Emissionen bilanziell gutgeschrieben. Die Bilanzierung der CO<sub>2</sub>-Emissionen erfolgt auf lokal vorgegebenen CO<sub>2</sub>-Faktoren [Klima-Allianz, 2008], die Primärenergiefaktoren basieren auf [BMVBS, 2012]. Die Variantenberechnungen erfolgen barwertig im Lebenszyklus mit einem Zinsfuß von 4% im Betrachtungszeitraum von 20 Jahren. Energiepreissteigerungen und Inflation werden auf null gesetzt (pessimistische Betrachtung für energieeffiziente Varianten). Da die Studie vor der Novelle des Erneuerbaren Energien Gesetzes (EEG) im Sommer 2014 fertiggestellt wurde, basieren die Berechnungen und angesetzten Vergütungen noch auf der Gesetzeslage EEG 2012. Die Bearbeitung erfolgte in drei Schritten:

- Untersuchung von Effizienzmaßnahmen (z.B. Reduktion Verteilverluste)
- Aufstellung und Bewertung von Erzeugungsvarianten für Wärme- und Stromerzeugung
- Aufstellung und Bewertung von Gesamtvarianten (Erzeuger, Energiepreismodell)

Für die Wirtschaftlichkeit aller stromerzeugenden Varianten ist der Eigenverbrauchsanteil maßgebend. Er wurde daher auf Lastgangbasis berechnet (modelliert für WP, Mini-BHKW, PV und Haushaltsstrom) sowie die zeitliche Überschneidung von Stromverbrauch und Erzeugung berücksichtigt.

Es stehen vier unverschattete und vier teilverschattete Süd-Dächer für PV zur Verfügung. Die Dächer werden zu ca. 95% durch Modulfläche belegt, dies entspricht einer Modulfläche von 104 m<sup>2</sup> pro Dach. Der Ertrag für ein Referenzdach liegt bei 137 kWh/(m<sup>2</sup>a). Es wurde ein Indach-System mit Modulwirkungsgraden von 15,2 % kalkuliert. Zur Optimierung des resultierenden Eigenverbrauchsanteils (Gleichzeitigkeit statistisch verbessert) und der Zählerkosten wurden alle Anlagen und Verbraucher zusammengefasst.

## 3 Ergebnis

### 3.1 Null-Emissions-Konzepte

Das Erreichen des Null-Emissions-Ziels ist in der Jahresbilanz durch die stromseitige Überkompensation in vielen Anlagenkonzepten technisch möglich. Die Süd-Dächer müssen meistens nahezu komplett mit PV belegt werden. Die Wirtschaftlichkeit ist jedoch nur unter Beachtung enger Randbedingungen und für geeignete Kombinationen zu erreichen. Insbesondere ist das wirtschaftsrechtliche Verhältnis zwischen Netzbetreiber, Anlagenbetreiber (PV, Mini-BHKW) und Verbraucher (Mieter) entscheidend.

In einer Vordimensionierung wurde das Verteilnetz untersucht und ein Optimum abgeleitet. Für alle Varianten wurde unabhängig von der Wahl des Wärmeerzeugers berücksichtigt:

- Zeilenweise Wärmeversorgung; Eine quartierzentrale Lösung ist durch hohe Investitions- und Betriebskosten für ein Nahwärmenetz nicht empfehlenswert.
- Niedrige Netztemperatur (48°C) und erhöhte Rohrnetzisolierung (EnEV 200%), in Verbindung mit wohnungsweisen, groß dimensionierten Wärmeübergabestationen.

Aus 20 berechneten Varianten bilden sich folgende realisierbare Favoriten in Rangfolge:

- **Erdgas-Mini-BHKW mit Spitzenlastkessel + PV**

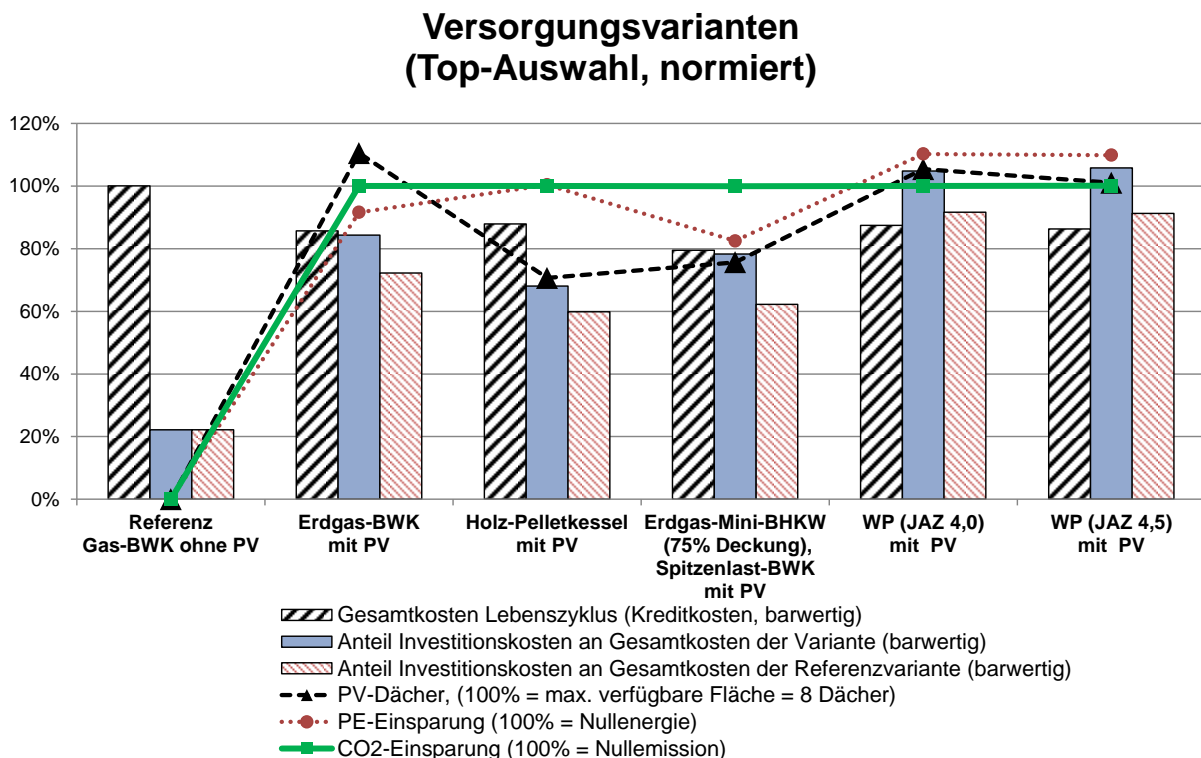
Das Konzept für zwei erdgasbetriebene Mini-BHKWs (je 1 kW<sub>el</sub>; 75% Deckungsgrad Wärme) mit kombinierten Spitzenlast-Brennwertkesseln (BWK) zeigt die beste Wirtschaftlichkeit. Vorteil: Geringe benötigte PV-Dachfläche (6,1 Dächer). Nachteil: Geringste primärenergetische Einsparung.

- **Holz-Pelletkessel + PV**

Der Einsatz von zwei Pelletkesseln (je 26 kW; Deckungsgrad 100%) weist eine mittlere Wirtschaftlichkeit auf. Vorteile: Geringste benötigte PV-Dachfläche (5,7 Dächer), hohe primärenergetische Einsparung. Nachteil: Platzbedarf und Betankung der Pelletlager.

- **Erdgekoppelte Wärmepumpe + PV**

Der Einsatz von zwei Wärmepumpen (je 26 kW<sub>therm</sub> mit 5 x 100m Erdwärmesonden) weist ebenfalls eine schlechtere Wirtschaftlichkeit auf als das Konzept Mini-BHKW und wird daher bedingt empfohlen. Vorteil: Größte primärenergetische Einsparung. Größtes Potenzial für Smart-Grid-Funktionalität (nicht berücksichtigt). Nachteile: hoher Platzbedarf für PV-Dachfläche (8,1 bis 8,4 Dächer) und „Effizienz-Sensibilität“ des Systems: Eine hohe Effizienz des Systems ist erforderlich, mindestens Jahresarbeitszahl (JAZ) = 4. Aufgrund der hocheffizienten Gebäudehülle, Einsatz von Frischwasserstationen und den geringen Verteilnetztemperaturen, ist die JAZ erreichbar. Eine deutliche Verbesserung der Wirtschaftlichkeit ist möglich durch einen günstigeren Stromtarif oder eine weitere Erhöhung der Anlageneffizienz (z.B. JAZ = 4,5).



**Abb. 2: Auswahl der Top-Versorgungsvarianten**

Die beschriebenen Top-Varianten erreichen das Null-Emissions-Niveau und weisen alle eine bessere Wirtschaftlichkeit auf als die Referenzvariante Gasbrennwertkessel (BWK) ohne PV. Die Gesamtkosten im Lebenszyklus liegen nahe beieinander. Durch Begrenzung der verfügbaren Dachflächen (8 Dächer) sind die Wärmepumpenvarianten kritisch zu

betrachten. Die Variante Gasbrennwertkessel mit PV scheidet grundsätzlich aufgrund hoher PV-Fläche (8,8 Dächer) aus. Die Senkung der CO<sub>2</sub>-Emissionen kann am effektivsten durch biogene Brennstoffe erreicht werden. Dann sind entsprechend kleinere PV-Anlagen nötig. Pelletkessel können hier als realisierbare aber nicht hohe wirtschaftliche Variante empfohlen werden. Biogas ist örtlich nicht verfügbar und wurde in der Studie daher weder für Gasbrennwertkessel noch für die Mini-BHKW berücksichtigt.

### 3.2 Einsatz und Wirtschaftlichkeit von Photovoltaik

Die PV-Anlagen bilden in allen Varianten den wesentlichen Baustein für die wirtschaftliche Darstellbarkeit der Versorgungskonzepte. Generell werden ein hoher PV-Ertrag und damit große Flächen für PV benötigt. Für die untersuchte PV-Anlagen-Konstellation resultieren Renditen zwischen 0,7 und 1,6 % p.a., wenn ein Stromabsatz an die Mietparteien erfolgt und Eigenverbrauchsquoten größer 25 % erreicht werden können.

Damit stellt sich die Frage, wie der Absatz eigen erzeugten Stroms an die Mieter technisch und vertrieblich sichergestellt werden kann. Die Möglichkeit die PV-Anlage als „Teilstromerzeugungsanlage“ an die Bewohner zu vermieten, scheidet aufgrund des hohen technischen und kostenmäßigen Aufwands generell aus.

Es verbleibt das Betreiberkonzept „Dritte vor Ort zu beliefern“. In dieser Konstellation wäre die Wohnungsgenossenschaft Eigentümer und Betreiber der PV-Anlage. Sie verkauft den solar erzeugten Strom und eingekauften Reststrom zu einem Mischpreis an die Mieter. Die Genossenschaft wird somit zum Stromhändler und privaten Messstellenbetreiber, woraus weitere gesetzliche Anzeige- und Mitteilungspflichten resultieren. Die einfachste Abrechnung des Eigenverbrauchs erfolgt im Modell der gleichteiligen Umlage des solaren Eigenverbrauchs (z.B. 3.500 kWh, verteilt auf 7 Wohneinheiten → 500 kWh pro WE). Die Abnahme des Mischtarifs kann für den Mieter aber nur interessant sein, wenn ein günstigerer Preis angeboten wird, als der lokale Grundversorgertarif. Dies kann erreicht werden, wie das folgende Beispiel aus den untersuchten Varianten zeigt (Nettopreise):

<b>Arbeitspreis Reststrom (EVU/Netz):</b>	25,00 ct/kWh
<b>Arbeitspreis PV-Strom:</b>	
12,73 ct/kWh Stromgestehungskosten PV (Anlageninvest, -betrieb, Messung)	
6,24 ct/kWh EEG-Umlage (Stand Frühjahr 2013)	23,00 ct/kWh
4,03 ct/kWh Gewinnaufschlag (Rendite)	

Der Gewinnaufschlag von ca. 4 ct/kWh ist erforderlich um eine positive PV-Rendite zu erlangen. Die Renditen werden in die Gesamtkostenbetrachtung aufgenommen und refinanzieren die Versorgungsvarianten. Unter Berücksichtigung des errechneten Eigenstromverbrauchs (hier für Variante Pelletkessel, ähnlich für alle Varianten ohne WP) errechnet sich eine Eigenverbrauchsquote von 34,3 %. Daraus entsteht folgender Mischstromtarif je kWh:  $34,3 \% \times 23 \text{ ct} + 65,7\% \times 25 \text{ ct} = 24,3 \text{ ct}$

Es besteht somit die Möglichkeit, dem Mieter einen um ca. 1 ct günstigeren Strompreis anzubieten, als der lokale Grundversorgungstarif. Bei leichter Anpassung der Renditeerwartung und Annäherung an die Gesamtkosten der Referenzvariante Gas-BWK kann die Preisdifferenz zu Gunsten der Mieter leicht ausgeweitet werden. Die Variante Wärmepumpe würde die Eigenverbrauchsquote auf 51% und den Mischstrompreis ebenfalls verbessern. Voraussetzung ist, dass die Effizienz der Wärmepumpen (Stromverbrauch) oder der PV-Flächen (Wirkungsgrade) steigt und die erforderliche PV-Fläche in den Dachgrenzen realisiert werden kann.

Im Nachgang der EEG Novelle wurde überprüft, ob die Wirtschaftlichkeit nach EEG 2014 noch gegeben ist: Die Autoren der Studie kommen zu dem Ergebnis, dass eine positive Rendite für die PV-Anlagen weiterhin möglich ist und dass insofern die Wirtschaftlichkeit der Gesamtkonzepte gegeben bleibt.

## 4 Fazit

Auch wenn bereits hocheffizient modernisiert wurde, ist das Erreichen einer Null-Emissions-Strategie nur möglich, wenn lokale Energieerzeugung mit bilanzieller CO<sub>2</sub>-Gutschrift erfolgt. Für eine Wirtschaftlichkeit sind ein relativ hoher Eigenverbrauch von PV- oder Mini-BHKW-Strom sowie ein geeignetes Stromvermarktungsmodell erforderlich. Dazu sind geringe Haushaltsstromverbräuche (< 20 kWh/m<sup>2</sup>a) entscheidend. Die positive Rendite der PV-Anlage trägt anteilig zu einer Finanzierung der wärmeversorgenden emissionsarmen Anlagentechnik bei. Zumal sich aufgrund der EEG-Novelle eine Verschlechterung der PV-Einspeisevergütung eingestellt hat, wird ersichtlich, wie komplex derzeit eine neutrale CO<sub>2</sub>-Bilanz unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten ist. Das Mini-BHKW ist trotz Einsatz des fossilen Brennstoffs Erdgas der wirtschaftliche Favorit. Allerdings liegen die Wirtschaftlichkeiten aller untersuchten Varianten nahe beieinander. Generell zeigt sich: Erst das Zusammenspiel von hocheffizienter Sanierung der Gebäudehülle, effizienter Anlagentechnik und Verkaufsmodell ermöglicht einen wirtschaftlichen dezentralen Null-Emissions-Ansatz.

## 5 Quellenverzeichnis

[Klima-Allianz, 2008] CO<sub>2</sub>-Faktoren Landeshauptstadt Hannover, Stand 30.10.2008,  
<http://www.hannover.de/content/download/39382/1279392/version/2/file/Klima-Allianz-Hannover-2020.pdf>

[BMVBS, 2012] Primärenergiefaktoren, BMVBS-Online-Publikation Nr. 12/2012,  
<http://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/Veroeffentlichungen/BMVBS/Online/2012/ON122012.html?nn=423048>

### Acknowledgements

PassREg wird gefördert unter der IEE Contract N°: IEE/11/072/SI2.615925. Die Autoren danken auch für die Unterstützung der Baugenossenschaft Oberricklingen eG, Hannover.

## **Kurze Zusammenfassung:**

Das Null-Emissions-Ziel ist mit einer hocheffizienten Sanierung und Einsatz von PV bilanziell einfach erreichbar. Die technische, wirtschaftliche Herausforderung besteht darin die Versorgungskonzepte auf begrenzte Dachflächen abzustimmen sowie die Abnahme der Eigenstromerzeugung zu gewährleisten.

[297 Zeichen mit Leerzeichen]