

Mini-KWK in Gründerzeitgebäuden

Zum Ausgleich von fluktuierender Stromerzeugung



Ambitionierte Ziele in Bezug auf Energieeinsparung und Klimaschutz sind heute vor allem im Gebäudebereich wirkungsvoll zu realisieren. Große Einsparungen sind dann möglich, wenn die bestehenden Wohngebäude in großer Zahl energetisch ertüchtigt werden. Es wurde untersucht, inwiefern die Einbindung von Mini-KWK-Anlagen in Bestandsbauten wirtschaftlich sinnvoll ist.

Dipl.-Ing. Simon Arbach¹,
Dipl.-Wi.-Ing. (FH) Raphael
Hollinger, M.Sc., M. Eng.²,
Dr.-Ing. Christoph Wittwer³,
MSc. Eike Musall⁴,
Prof. Dr.-Ing. Karsten Voss⁵

¹Wissenschaftlicher Mitarbeiter
am Lehr- und Forschungsgebiet
Bauphysik und Technische Gebäu-
deausrüstung, Bergische Univer-
sität Wuppertal, neu: Fraunhofer-

Institut für Windenergie und
Energiesystemtechnik, Kassel,

²Wissenschaftlicher Mitarbei-
ter am Fraunhofer-Institut für
Solare Energiesysteme, Freiburg,

³Wissenschaftlicher Mitarbei-
ter am Fraunhofer-Institut für
Solare Energiesysteme, Freiburg,

⁴Wissenschaftlicher Mitarbeiter
am Lehr- und Forschungsge-
biet Bauphysik und Technische
Gebäudeausrüstung, Bergische
Universität Wuppertal,

⁵Lehr- und Forschungsgebiet
Bauphysik und Technische
Gebäudeausrüstung, Bergische
Universität Wuppertal

Emissionsminderung im Gebäudebestand

Die bestehenden Wohngebäude dominieren heute und auf lange Sicht das Szenario. Die bundesdeutsche Typologie der Wohngebäude weist etwa 10 % des Gebäudebestands der Klasse der Mehrfamilienhäuser in Massivbauweise mit einem Baujahr vor 1918 zu, in Wuppertal sind es ca. 17 % [1]. Zu diesen Wohngebäuden gehören mit den Gebäuden der Gründerzeit diejenigen, die in vielen Städten NRW prägend für das Stadtbild sind. Ihre gestalterischen Merkmale machen umfangreiche energetisch-bauliche Sanierungen vergleichsweise unwirtschaftlich bis unmöglich (Denkmalschutz). Neben einer moderaten, an die Erfordernisse angepassten energetischen Sanierung, können gebäudeintegrierte Mini-KWK-Anlagen den Wärmebedarf energieeffizient decken, da sie parallel Strom für den Eigenbedarf und/oder die Netzeinspeisung bereitstellen.

Steuerbare Erzeuger im Netz

Diese Mini-KWK-Anlagen können – sofern sie über eine geeignete Steuerung verfügen – als steuerbare Erzeuger in einem Stromnetz mit steigenden Anteilen fluktuierender Energieträger (Wind- und Solarstrom) zum lokalen Ausgleich zwischen Erzeugung und Verbrauch beitragen und so u.a. zu einer Reduktion des Netzausbaus beitragen [2]. Der Gesetzgeber hat die Bedeutung einer intelligenten Steuerung erkannt und eine kombinierte strom- und wärmegeführte Betriebsweise für Investitionszuschüsse verpflichtend gemacht [3].

Strom-Wärmegeführte Betriebsweise im Praxistest

Im Rahmen eines von der Stiftung Zukunft NRW geförderten Forschungsprojekts am Lehrstuhl „Bauphysik und technische Gebäudeausrüstung“ der Bergischen Universität Wuppertal wurde – in Zusammenarbeit mit dem Fraunhofer Institut für Solare Energiesysteme ISE und den Wuppertaler Stadtwerken WSW – in drei denkmalgeschützten Gründerzeitgebäuden in Wuppertal mit moderater energetischer Sanierung eine Mini-KWK-Anlage mit einer experimentellen Steuerung installiert. Die Deckung des gebäudeeigenen Wärme- und Warmwasserbedarfs wird durch eine Kostenoptimierung der dabei anfallenden Stromerzeugung ergänzt. Für diese – am Fraunhofer ISE entwickelte – Steuerung wird ein lokales Tarifsignal generiert, das sich aus den Strombezugskosten bei prognostizierter elektrischer Last im Gebäude und den möglichen Erlösen durch die Einspeisung in das Netz ergibt. Auf Basis der Day-Ahead EEX-Strompreise gilt (vgl. Formel 1).

$$A_d = \frac{[(P_{\text{Eigen}} \cdot K_{\text{Bezug}}) + (P_{\text{BHKW}} - P_{\text{Eigen}}) \cdot (EEX_{\text{Preis}} + vNNE)]}{P_{\text{BHKW}}} + \text{Bonus}_{\text{KWK}} \quad (1)$$

Für die Berechnung werden folgende Größen zu Grunde gelegt:

- zeitvariables Tarifsignal
- Prognose der elektrischen Last des Gebäudes/Bewohner
- Strombezugskosten des BHKW Betreibers (HT/NT-Tarif)
- Leistung des BHKWs (Nennleistung 5,5 kW_{el})
- Day-Ahead-Preise der Strombörse
- Vermiedene Netznutzungsentgelte
- KWK-Bonus von 5,11 ct/kWh

Wärmebedarf und Wärmebereitstellung

Die Messergebnisse und Betriebserfahrungen aus dem Feldtest werden hier exemplarisch an einer der drei Anlagen aufgezeigt. Das Gebäude verfügt über eine beheizte Wohnfläche von 465 m² und hatte vor den Umbaumaßnahmen einen mittleren witterungsbedingten Gasbezug von 145 kWh/m²a, bei Wärmebereitstellung über einen zentralen Heizkessel mit dezentraler Warmwasserbereitung über elektrische Durchlauferhitzer.

Im Rahmen des Forschungsprojektes wurde die Heizungsanlage durch eine KWK-Anlage ausgetauscht und die dezentrale auf eine zentrale Warmwasserbereitung umgestellt. Um eine gewisse Entkopplung von Strom- und Wärmebereitstellung zu ermöglichen, wurden zwei zusätzliche Wärmespeicher installiert.

Durch gründerzeitliche Bauten geprägtes Stadtbild in Wuppertal

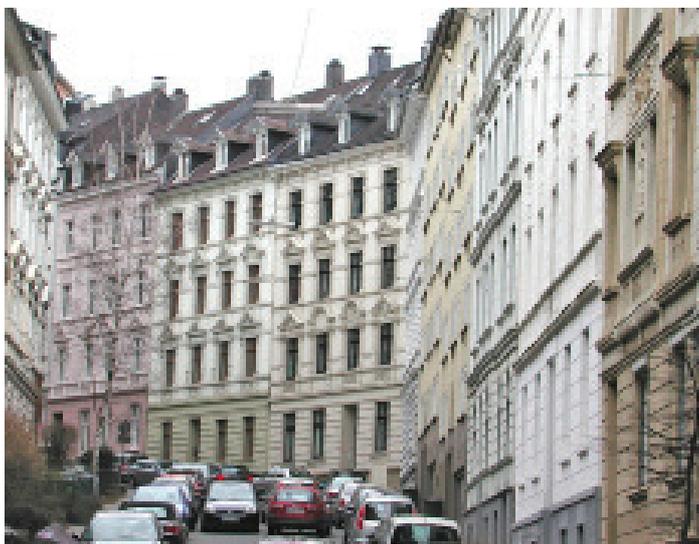
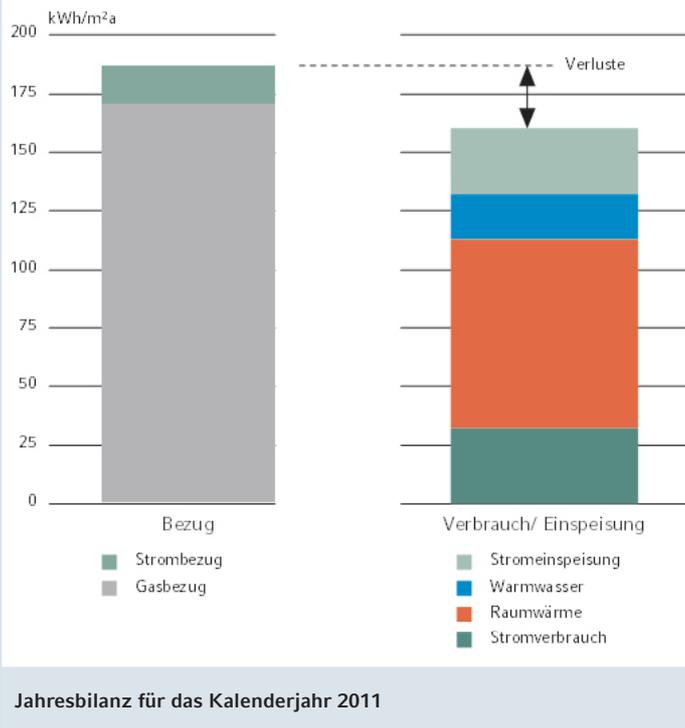


Foto: biga 2012, Universität Wuppertal

1 Endenergiebezug und -verbrauch



Weitere Maßnahmen zur energetischen Sanierung wurden nicht durchgeführt. Die ermittelte Endenergiebilanz für das Kalenderjahr 2011 ist in Bild 2 dargestellt.

Die Wärmebereitstellung fand fast ausschließlich über die KWK-Anlage statt, der Spitzenlastkessel wurde nur in den ersten Monaten (Januar und Februar) des Jahres eingesetzt. Da wärmeabnahmeseitig nur die Abnahme der Gesamtwärmemenge hinter dem Speicher und die Wärmemenge zur Warmwasserbereitung gemessen wurde, kann keine genaue Quantifizierung der Wärmespeicherverluste vorgenommen werden. In Bild 3 ist der monatliche Verlauf des thermischen Wirkungsgrades dargestellt.

Dieser ist hier definiert als Verhältnis von Gesamtwärmeabnahme hinter den Speichern zum Energieinhalt des bezogenen Erdgases. Der thermische Wirkungsgrad der KWK-Anlage selbst wird vom Hersteller bei Nutzung mit externem Abgaswärmetauscher mit 72 % angegeben. Im Rahmen des Projektes konnte durch die geringe Anzahl der Messpunkte keine detaillierte Analyse zur Ursache der thermischen Verluste vorgenommen werden. Die oben aufgezeigten Verluste konnten allerdings in den beiden anderen Gebäuden bestätigt werden bzw. lagen teilweise sogar noch

höher. Hier gilt es in weiteren Forschungsprojekten die genauen Ursachen zu identifizieren und die Option der größeren Flexibilität der KWK, die durch das größere Speichervolumen entsteht, den zusätzlichen Wärmeverlusten gegenüberzustellen. Die thermischen Verluste nehmen starken Einfluss auf die Emissionsminderungen, die durch die Umrüstung auf eine KWK-Anlage erreicht werden können. In Zukunft können Speicher mit deutlich höheren Energiedichten (z. B. PCM-Speicher) und/oder Komplettsysteme zu einer Verringerung der Speicherverluste und einer Steigerung der Systemeffizienz führen. Allerdings müssen hier die üblichen baulichen Restriktionen im Bereich der Sanierungen beachtet werden (Platzbedarf für Lieferung, Montage und Aufbau).

Für die Gebäude-Netzinteraktion als auch für den wirtschaftlichen Betrieb der Anlage sind besonders die Stromproduktion sowie die Eigenbedarfsdeckung von Bedeutung. In Bild 4 ist der jahreszeitliche Verlauf der Stromproduktion, der Stromeinspeisung ins Netz, des Strombezugs sowie der Eigenverbrauchsdeckung und die Eigenstromversorgung dargestellt. Dabei bezeichnet die Eigenverbrauchsdeckung den Anteil des Stromverbrauchs, der durch KWK-Strom gedeckt wird (Formel 2), und die Eigenstromversorgung den Anteil des vor Ort genutzten Stroms bezogen auf die gesamte Stromerzeugung (Formel 3).

$$\text{Eigenverbrauchsdeckung} = 1 - \frac{\text{Stromeinspeisung}}{\text{Stromverbrauch}} \quad (2)$$

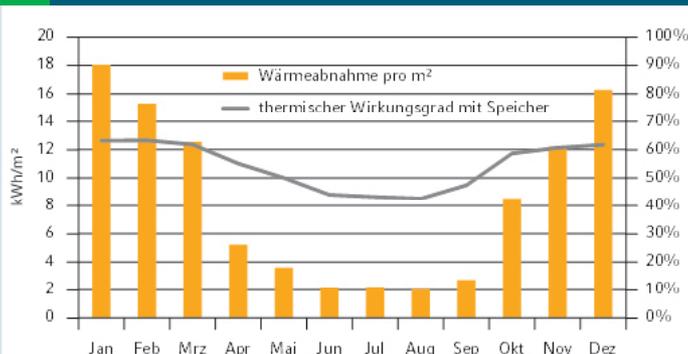
$$\text{Eigenstromversorgung} = 1 - \frac{\text{Strombezug}}{\text{Stromerzeugung}} \quad (3)$$

Elektrische Lastprofile und Gebäude-Netz-Interaktion

Derzeit werden kleine KWK-Anlagen meist wärmegeführt betrieben und über das Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz (KWKG) vergütet. Im Zuge der Energiewende wird aber zunehmend über den flexiblen strom-wärmegeführten KWK-Einsatz diskutiert, der beispielsweise durch eine Aggregation zahlreicher KWK-Anlagen am Energiemarkt erfolgt. Neben den Marktanreizen spielen aber auch die Eigenstromnutzung und der Beitrag von Netzdienstleistungen für den Verteilnetzbetrieb eine entscheidende Rolle für das zukunftsfähige Betriebsführungskonzept solcher Anlagen [4].

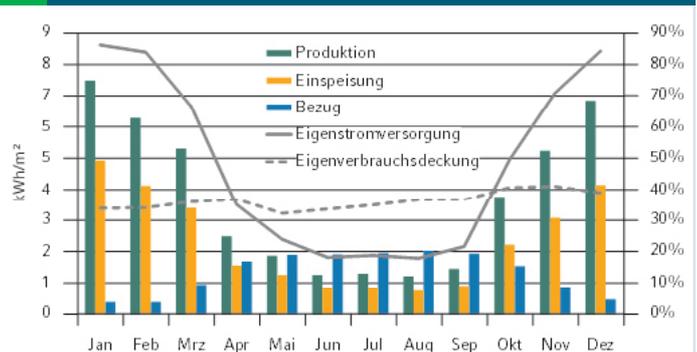
In Bild 5 ist der mittlere elektrische Tageslastgang und in Bild 4 die Jahresdauerlinie des Gebäudes dargestellt. Der Tages-

2 Saisonaler Verlauf



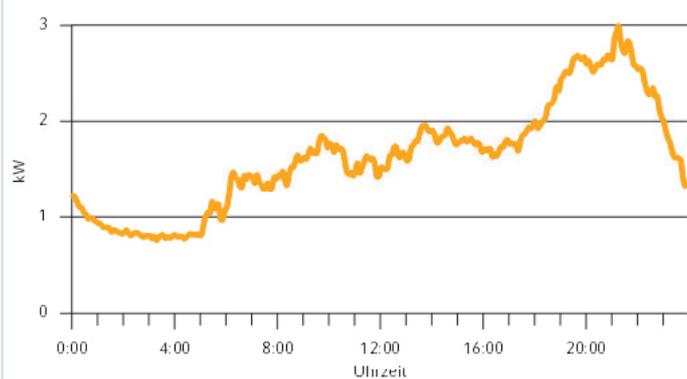
Thermischer Wirkungsgrad sowie spezifische Wärmeabnahme von den Speichern im Jahresverlauf

3 Saisonaler Verlauf



Spezifische Stromproduktion, -bezug und -einspeisung sowie Eigenverbrauchsdeckung und Eigenstromversorgung im Jahresverlauf

4 Mittlerer Tageslastgang



(Mittelwerte über 5 min)

lastgang weist ein Maximum um ca. 20:00 Uhr auf. Während der Tagesstunden von 7:00 bis 17:00 Uhr weist der Tagesgang nur geringe Fluktuationen auf und liegt zwischen 1100 und 1600 W.

Anhand der Jahresdauerlinie wird deutlich, dass während des Betrachtungszeitraums (Kalenderjahr 2011) nur an wenigen Stunden die Leistungsaufnahme des Gebäudes über der Nennleistung der KWK-Anlage liegt (5,5 kW_e). Dies führt dazu, dass bis auf wenige Ausnahmen, während des Betriebs der KWK-Anlage eine Überschusseinspeisung in das Netz stattfindet. Die Jahreshöchstlast (Stundenmittel) lag bei 8 kW.

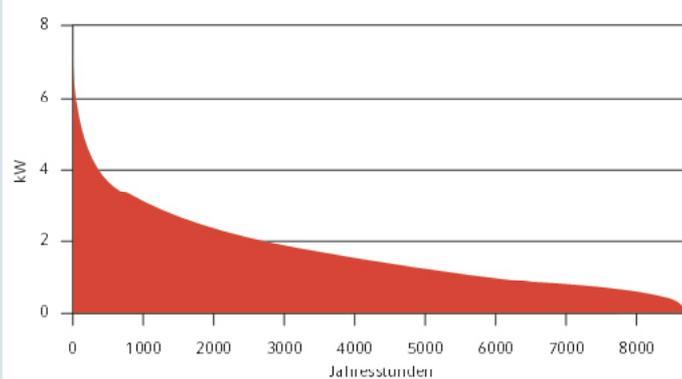
Im vorliegenden Fall wurde ein künstliches Anreizsignal geschaffen (vgl. Formel 1). Dieses beruht auf heute verfügbaren Daten (Day Ahead Preis, Strombezugskosten) und basiert auf dem Versuch den wirtschaftlichen Gewinn des Anlagenbetreibers zu maximieren (Minimierung der Strombezugskosten bzw. Maximierung der Erlöse auf Basis der Day-Ahead-Preise). Die EEX-Day-Ahead-Marktpreise lagen im Jahr 2011 zwischen 11,75 ct/kWh und -3,68 ct/kWh. In Bild 7 ist der mittlere Tagesgang des EEX-Preise dargestellt. Das Tarifsignal entspricht im hypothetischen Fall dem EEX-Preis, so dass das Gebäude keine Leistung aufnimmt und dann die gesamte Leistung der KWK-Anlage ins Netz eingespeist wird. Im Betriebsjahr lag das Tarifsignal zwischen 10,1 ct/kWh und 28,4 ct/kWh. Im tageszeitlichen

Verlauf hat der zugrunde gelegte Strombezugstarif mit Hochtarif- und Niedertarifzeiten (HT-NT) einen starken Einfluss auf die Schwankung des Tarifsignals, so dass sich deutliche Sprünge um 6:00 und 20:00 Uhr bei Wechsel des Bezugstarifs ergeben.

Durch die Steuerung wird erreicht, dass eine Stromproduktion zu Zeiten hoher Tarife stattfindet. Im Tagesverlauf treten maximale Preise in der Zeit vor 20:00 Uhr auf, in dieser Zeit war auch die Stromproduktion der KWK-Anlage maximal. In den Nachtstunden zwischen 0:00 und 6:00 Uhr – zu Zeiten geringer Tarife (unter 12 Cent) – war die Anlage nur in starken Kälteperioden mit erhöhtem Wärmebedarf des Gebäudes in Betrieb.

Im Winter ergibt sich – bedingt durch den hohen Wärmebedarf und erhöhten BHKW-Laufzeiten – eine hohe Stromeinspeisung in das öffentliche Netz. Der Strombezug ist in den Wintermonaten nahe Null. In den Sommermonaten sinkt die Einspeisung deutlich ab und der Strombezug nimmt entsprechend zu. Im Vergleich dazu ergibt sich bei einer Photovoltaikanlage (5,5 kW_p = identische Leistung zur installierten KWK-Anlage, 45° Südausrichtung), wie sie aufgrund der geometrischen Gegebenheiten auf diesem Gebäude installiert werden könnte, ein anderes saisonales Verhalten. Die Photovoltaikanlage produziert bei gleicher installierter Leistung ca. 5200 kWh (Simulation mit Wetterjahr 2011, Vergleichswert KWK 20800 kWh).

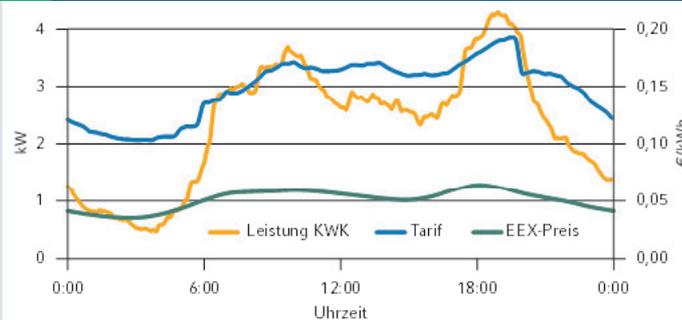
5 Jahresdauerlinie der elektrischen Last



Stundenmittelwerte

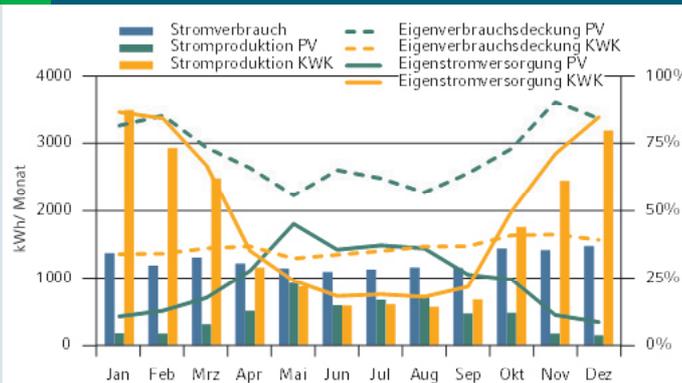
In Bild 8 sind die monatliche Produktion sowie die prozentuale Eigenverbrauchsdeckung und Eigenstromversorgung dargestellt (Stundenmittelwerte). Es ergibt sich eine Eigenverbrauchsdeckung von 68 % und eine Eigenstromversorgung von 24 %. Der hohe Eigenverbrauchsdeckungsanteil liegt über denen üblicher Anlagen auf Einfamilienhäusern (etwa 30 bis 40 %), da die Anlage verglichen mit der Wohnfläche kleiner dimensioniert ist. Die installierte Leistung von 5,5 kW_p setzt jedoch eine vollständige Nutzung der verfügbaren Dachfläche voraus und stellt für das Gebäude eine realistische Größe dar. Durch die geringere Stromproduktion der PV-Anlage gegenüber der KWK-Anlage ergeben sich deutlich höhere Strombezugsraten und somit ein geringerer

6 Mittlere Leistungsaufnahme



(5-min Werte), Tarifsignal sowie EEX-Preis im tageszeitlichen Verlauf

7 Saisonale Stromproduktion



Eigenverbrauchsdeckung und Eigenstromversorgung im Vergleich zwischen PV-Anlage und KWK-Anlage

Tabelle 1: Übersicht über Gebäudekenndaten und Anlagentechnik des untersuchten Gebäudes

Gebäudekenndaten	
Energiebezugsfläche (beheizte Wohnfläche)	465 m ²
Bewohner	12
Wohneinheiten	5
Baujahr	1900
Witterungsbereinigter Gasbezug vor Umbau	145 kWh/m ² a
Anlagentechnik	
Wärmebereitstellung vor KWK-Anlage	Zentraler Gaskessel
Warmwasserbereitstellung vor KWK-Anlage	Elektrische Durchlauferhitzer
Anlagenbezeichnung	SenerTec Dachs HKA G 5.5 S1 (MSR2)
Elektrische Leistung	5,5 kW
Thermische Leistung	14,8 kW (inkl. Abgaswärmetauscher)
Inbetriebnahme	Oktober 2010
Pufferspeicher	1000 l + 1000 l
Spitzenlastkessel (Gas)	14 kW

Eigenstromversorgungsanteil (KWK-Anlage 50 %). In Bild 9 ist der Einfluss der verschiedenen Erzeugungseinheiten auf die Leistung am Hausübergabepunkt (stündliches Mittel) dargestellt. Die maximal auftretende Leistungsaufnahme wird durch keine der Erzeugungseinheiten deutlich abgesenkt. Das BHKW erreicht eine Absenkung auf 7 kW (ohne Erzeugungseinheit 8 kW), die PV-Anlage hat nahezu keinen Einfluss (7,95 kW). Die Erzeugung führt in keinem der Fälle, auch nicht bei kombiniertem Einsatz von PV und BHKW zu einer wesentlich höheren Netzbelastung. Die maximale Einspeisung beträgt auch bei kombiniertem Einsatz maximal 8,6 kW.

Die derzeitigen energiewirtschaftlichen Rahmenbedingungen bieten keine Anreize für eine stromgeführte Betriebsweise. Standardmäßig werden die KWK-Anlagen nach dem mittleren Quartalspreis der EEX-Börse vergütet und erhalten somit keine volatile Vergütung. Die Fluktuationen des im Rahmen dieses Forschungsprojektes generierten Tarifsignals bieten nur geringe Anreize für eine Verschiebung der Stromerzeugung über die Möglichkeit der Wärmespeicherung. In Zukunft sind deutlich höhere Fluktuationen für die Einspeisung sowie den Strombezug zu erwarten, wobei die Rahmenbedingungen hierfür noch zu gestalten sind.

Möglich wäre beispielsweise in Zukunft eine Spreizung, die den aktuellen Primärenergie- oder Emissionsfaktor im Netz wiedergibt. Dieser kann dann zwischen Null (vollständige Energiebereitstellung aus erneuerbaren Energien) und 100 % fossilem Strom schwanken. Darüber hinaus könnten auch lokale Netzengpässe eingepreist werden, um eine lokale Deckung zu erreichen und keinen einheitlichen Preis für Gesamtdeutschland. Hier sind rechtliche und wirtschaftliche Rahmenbedingungen zu schaffen, die eine stärkere volatile und regionale Preisbildung ermöglichen und sowohl variable Preise für den Strombezug als auch für die Stromeinspeisung ermöglichen.

Emissionsminderung

Die Bedeutung der KWK-Technologie zur Senkung der CO₂-Emissionen wird von vielen Stellen hervorgehoben (vgl. Ziele der Bundesregierung). Durch den – theoretisch – hohen Gesamtwirkungsgrad ergeben sich im Vergleich zur getrennten Erzeugung Effizienzverbesserungen. Darüber hinaus ergeben sich weitere Verbesserungen durch die geringeren spezifischen Emissionen bei Stromerzeugung aus Erdgas gegenüber dem heutigen Brennstoffmix, der noch stark durch Kohle geprägt ist.

Im vorliegenden Fall wurden die Emissionen des Gebäudes für Strom- und Gasbezug witterungsbereinigt vor und nach der Sa-

nierung miteinander verglichen sowie für eine hypothetische energetische Sanierung (Renovierungszustand 70 kWh/m²a Nutzwärme für Warmwasser und Raumwärme) mit Netzstrombezug und einer Umstellung auf eine zentrale Warmwasserbereitung und modernen zentralen Heizungskessel (Bild 10). Gegenüber dem Ausgangszustand ergeben sich Einsparungen von ca. 50 %, die jedoch teilweise durch die Umstellung der Warmwasserbereitstellung von Strom auf Gas bedingt sind.

Insgesamt sind die Einsparungen stark abhängig von der Energieeffizienz der Anlagentechnik. Hohe thermische Verluste oder Zirkulationsverluste durch zentrale Warmwasserbereitung führen zu einer deutlichen Reduktion der Einsparung.

Anlagentechnik

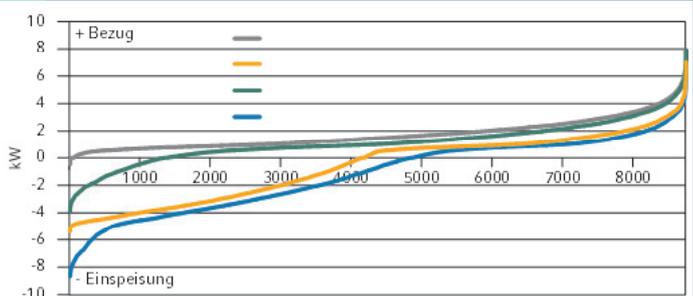
Perspektivisch sind bei der Beurteilung dieser Ergebnisse zwei weitere Punkte zu beachten: Zum

einen sinkt der Emissionsfaktor des Strommixes durch den Ausbau der erneuerbaren Energien, sodass bei weiterem Ausbau der erneuerbaren Energien die Einsparungen geringer ausfallen werden. Auf der anderen Seite können KWK-Anlagen, die mit gasförmigen Brennstoffen betrieben werden, wie im vorliegenden Fall, auch auf andere, erneuerbare Brennstoffe (erneuerbares Methan) umgestellt werden und somit in einer CO₂-freien Energieversorgung Anwendung finden.

Wirtschaftlichkeit

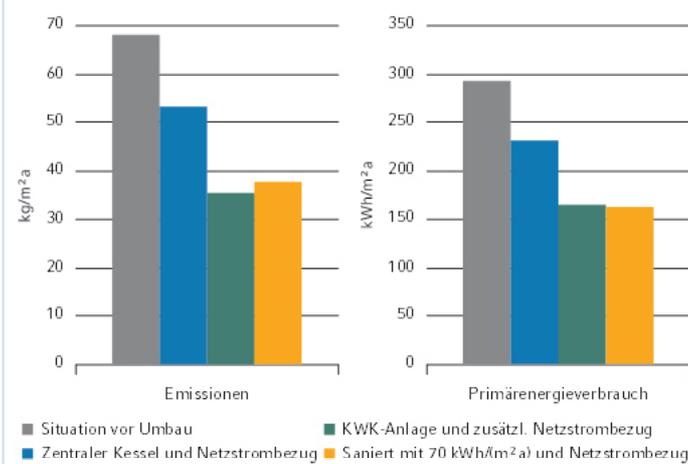
Die Investitionen für die Umrüstung der Anlagen lagen inklusive Wärmespeicher und Montage bei 25 000 € (netto). Für die Wirtschaftlichkeit der Anlage ist ein direkter Verkauf des produzierten Stroms an die Mieter eine wichtige Grundlage. Im vorliegenden Fall haben die Mieter gemeinsam mit dem Vermieter für den Betrieb der KWK-Anlage

8 Leistung



(Stundenmittelwerte, positiv Strombezug, negativ Stromeinspeisung) am Hausübergabepunkt bei unterschiedlichen dezentralen Erzeugungseinheiten

9 Emissionen und Primärenergieverbrauch



Daten aus Verbrauch und Gutschriften durch die Vor-Ort-Stromerzeugung verschiedener Sanierungszustände und Anlagentechnik

10 Kosten und Erlöse



Mini-KWK-Einsatz im Betriebsjahr 2011

eine GbR gegründet. Dies hat den wirtschaftlichen Vorteil, dass keine EEG-Umlage abgeführt werden muss. Alternativ kann der Vermieter auch direkt als Stromanbieter auftreten, in diesem Fall gilt es allerdings weitere gesetzliche Rahmenbedingungen zu beachten [5].

Bei einer dynamischen Kostenbetrachtung und Annahme der KWK-Anlage als Ersatzinvestition (also unter Berücksichtigung der vermiedenen Kosten einer konventionellen Heizung) weist die Anlage nach einem Betrachtungszeitraum von 15 Jahren ein positives Endvermögen von ca. 9500 € auf. Durch günstige Veränderungen am Strom- und Gasmarkt (steigende Strom- und Gaspreise, weniger stark steigende Gasbezugspreise) kann sich die Wirtschaftlichkeit verbessern. Ohne Anrechnung als Ersatzinvestition erreicht die Anlage kein positives Endvermögen.

In jedem Fall vergrößert eine KWK-Anlage gegenüber einer konventionellen Heizungsanlage den Verwaltungsaufwand während des Betriebs [6]. Die derzeitigen politischen und energiewirtschaftlichen Rahmenbedingungen müssen stärker auf kleine dezentrale KWK-Anlagen und deren Betriebskonzepte zugeschnitten werden. Der bürokratische Aufwand zum Betrieb der Anlage muss verringert werden. Das EEG bei der Photovoltaik hat gezeigt, dass einfache, übersichtliche Formalitäten und eine Planungssicherheit unterstützend wirken.

Verglichen mit anderen Maßnahmen zur CO₂-Minderung in Bestandsgebäuden ist die KWK konkurrenzfähig. Dies gilt insbesondere bei den tendenziell hohen Kosten baulicher Sanierungsmaßnahmen zur Energieeinsparung in gründerzeitlichen Gebäuden (denkmalschutzgerechte Fenster, Innendämmung,

Wärmebrückensanierung ...). Wird also im Kontext der Energiewende und des Klimaschutzes auch von dieser Gebäudeklasse zukünftig ein Beitrag gefordert, bieten KWK-Anlagen eine der wesentlichen Handlungsmöglichkeiten.

Ausblick

Der weitere Ausbau der Mini-KWK hängt stark von den gesetzlichen, energiewirtschaftlichen und politischen Rahmenbedingungen ab. Die aktuellen Entwicklungen sprechen dafür, dass dezentrale KWK-Anlagen einen Beitrag zur effektiven Stromerzeugung und Stabilisierung des Netzes leisten können. Richtig gesteuert können sie die Stromerzeugung aus den fluktuierenden und saisonal schwankenden Erneuerbaren Energien flankieren. Die Politik ist aufgefordert, diesen möglichen Beitrag zu erkennen und den Ausbau unter Beachtung innovativer Steuerungskonzepte zu unterstützen.

Danksagung an Förderer

Besonderer Dank gilt der Stiftung Zukunft NRW und den Wuppertaler Stadtwerken WSW, durch deren finanzielle Unterstützung dieses Projekt möglich geworden ist.

Literatur

- [1] ebök Ingenieurbüro für Energieberatung, Haustechnik und ökologische Konzepte: Klimaschutzkonzept Stadt Wuppertal. Haustypenblätter zur Gebäudetypologie. Bestandsaufnahme. Einsparmaßnahmen. Tübingen, 1995.
- [2] Einbindung von Zuhause Kraftwerken in Smart Grids. Kurzgutachten im Auftrag der Lichtblick AG. März 2012. http://www.lichtblick.de/h/aktuell_361.php?id_rec=226 (abgerufen am 20.11.2012)
- [3] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. Richtlinien zur Förderung von KWK-Anlagen bis 20 kW_{el}. Elektro-nischer Bundesanzeiger vom 17. Januar 2012. http://www.bafa.de/bafa/de/energie/kraft_waerme_kopplung/mini_kwk_anlagen/vorschriften/rili_minikwk.pdf (abgerufen am 04.11.2012)
- [4] VDE Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik e.V.: VDE Studie. Smart Distribution 2020, Virtuelle Kraftwerke in Verteilungsnetzen. Technische, regulatorische und kommerzielle Rahmenbedingungen. Frankfurt am Main, 2008.
- [5] Steuerliche Konzepte für Vermieter und BHKW-Betreiber, Vortrag im Rahmen der Veranstaltung Blockheizkraftwerke in Mehrfamilienhäusern am 11.05.2012 in Kaiserslautern, http://www.eor.de/fileadmin/downloads/2012/KWK-Offensive_2012/Mehrfamilienhaeuser_2012/04_Gerlach_Vortrag_Kaiserslautern_11.05.2012_-_Steuerliche_Konzepte.pdf (abgerufen am 19.11.2012)
- [6] Schlussbericht zum Vorhaben „Dezentrale Stromerzeugung im Kleinleistungsbereich als Beitrag zur Emissionsminderung im Gebäudebestand – Potentialanalyse und beispielhafte Umsetzung für Hauseigentümer in NRW.“ http://www.arch.uni-wuppertal.de/Forschungs_und_Lehrbereich/Bauphysik_und_technische_Gebaeudeausruestung/abgeschl_projekte/kwk/p_pics/Schlussbericht_westlb_120530.pdf (abgerufen am 20.11.2012)

Info

Abschlussbericht

Die Kurzfassung und der vollständige Abschlussbericht können auf der Homepage des Lehrstuhls Bauphysik und technische Gebäudeausrüstung abgerufen werden: http://www.arch.uni-wuppertal.de/Forschungs_und_Lehrbereich/Bauphysik_und_technische_Gebaeudeausruestung/abgeschl_projekte/kwk/