

***Nutzen und Kosten der Marktteilnahme von Endkunden
am Beispiel von Lastverlagerung und Mikro-KWK***

Patrick Himmes

Essen, 07.05.2013

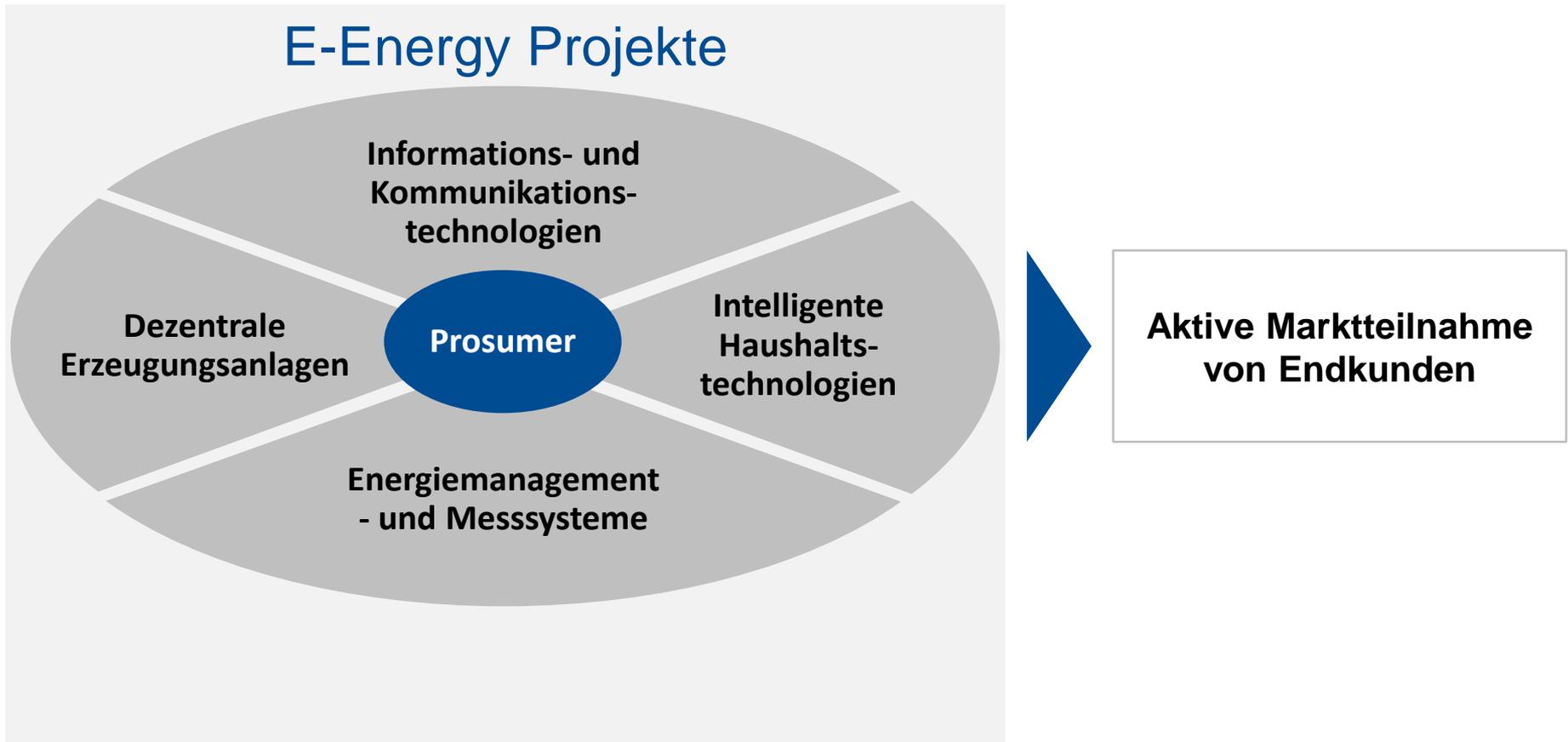
Gliederung/Agenda

1. Einführung - Möglichkeiten der Marktteilnahme für Endkunden
2. Kosten und Nutzen
 1. Lastverlagerung
 2. Mikro-KWK
3. Schlussfolgerungen

Gliederung/Agenda

1. Einführung - Möglichkeiten der Marktteilnahme für Endkunden
2. Kosten und Nutzen
 1. Lastverlagerung
 2. Mikro-KWK
3. Schlussfolgerungen

Einführung



Möglichkeiten zur Marktteilnahme

Aktive Marktteilnahme von Endkunden

Lastverlagerung

- Manuell
- Semi-automatisch
- Automatisch

Vermarktung Eigenerzeugung

- Photovoltaik
- Mikro-KWK
- ...

...

Gliederung/Agenda

1. Einführung - Möglichkeiten der Marktteilnahme für Endkunden
2. Kosten und Nutzen
 1. Lastverlagerung
 2. Mikro-KWK
3. Schlussfolgerungen

Lastverlagerung

Lastverlagerung – Demand Response

- „Nachfolger“ der Lastmanagement-Programme, die in den frühen 1980ern zum ersten Mal in den Vereinigten Staaten implementiert wurden
- Vorteile:
 - Endnutzer
 - Kurzfristige Eingriffe um Stromverbrauch insgesamt zu reduzieren
 - Verschiebung auf Zeiten, in denen die (System-) Kosten niedriger sind
 - Netzbetreiber:
 - Reduzierungen der Spitzenlast
 - Kurzfristige Vermeidung von netzseitigen Problemen
- Unterschiedliche Tarifgestaltungsmöglichkeiten
 - Time-of-use
 - Critical peak pricing
 - Real-time-pricing

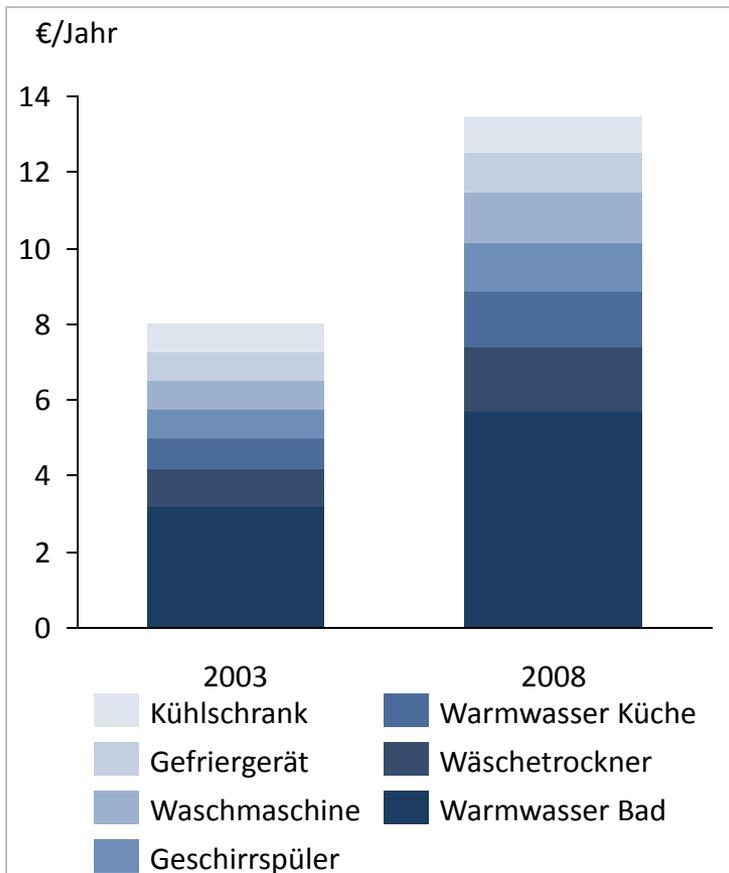
Lastverlagerung

Quantifizierung der potenziellen Wirkungen von Demand Response

- **Gerätedaten**
 - Fünf Elektrogroßgeräte
 - Kühlschrank, Gefriergerät, Waschmaschine, Wäschetrockner und Geschirrspüler
 - Elektrische Warmwasserbereitstellung
 - Unterteilt in Bad und Küche
 - Basierend auf BDEW-Daten (prognos 2009)
- **Stündlicher EEX-Preisverlauf**
 - Basis für die Bewertung der Verschiebungen
 - Stündlich
 - Tag → Nacht

Lastverlagerung

Berechnungsergebnisse



Ergebnisse 2008

- Geringes Potential auf Haushaltsebene:
 - 14€/Jahr
- Bundesweites Potential (basierend auf Sättigungsgrad)
 - 280 Mio. €/Jahr
- Durchlauferhitzer mit größtem Potenzial
 - Hoher spezifischer Verbrauch
 - Zusatzkosten durch Speicherbedarf
 - Geringe Sättigung in Deutschland
- Abhängig von Peak-Offpeak-Spread resp. stündlichen Veränderungen
 - Einfluss im Vergleich zu 2003 ersichtlich

Lastverlagerung

Schlussfolgerungen - Lastverlagerung

- Response bei freiwilligen Programmen am höchsten
 - „Self-Selection“ entscheidend: vor allem die Kunden die bereit sind einen Teil ihres Stromverbrauchs zu verlagern beteiligen sich an freiwilligen Demand-Response-Programmen
- Response in Abhängigkeit von
 - Ausstattung mit elektrischen Haushaltsgeräten
 - Klimaanlage (USA/Australien) mit hohem Einfluss
 - eMobile und Wärmepumpen in Zukunft potentiell nutzbar
 - Manueller oder automatischer Verlagerung
 - Externen Wettereinflüssen
- Ökonomische Attraktivität begrenzt durch derzeitige Spreads
 - Im Vergleich zu 2008 aktuell noch geringer
 - Potenziell jedoch interessant mit vermehrter fluktuierender Einspeisung

Gliederung/Agenda

1. Einführung - Möglichkeiten der Marktteilnahme für Endkunden
2. Kosten und Nutzen
 1. Lastverlagerung
 2. Mikro-KWK
3. Schlussfolgerungen

Vermarktung Eigenerzeugung – Mikro-KWK

- Mikro-KWK: kleinstes Leistungssegment von Kraft-Wärmekopplungsanlagen
 - Gebäudeintegrierter Einsatz in Ein- und Mehrfamilienhäusern
 - Elektrische Leistung <15kW
 - Thermische Leistung ausreichend um Wärmenachfrage zu decken
- Verbreitung relativ gering trotz hoher Förderung
 - Analyse der Wertreiber
 - Entwicklung von Geschäftsmodellen
 - Berechnung von jährlichen Erträgen

Mikro-KWK

Werttreiber

Gaspreis

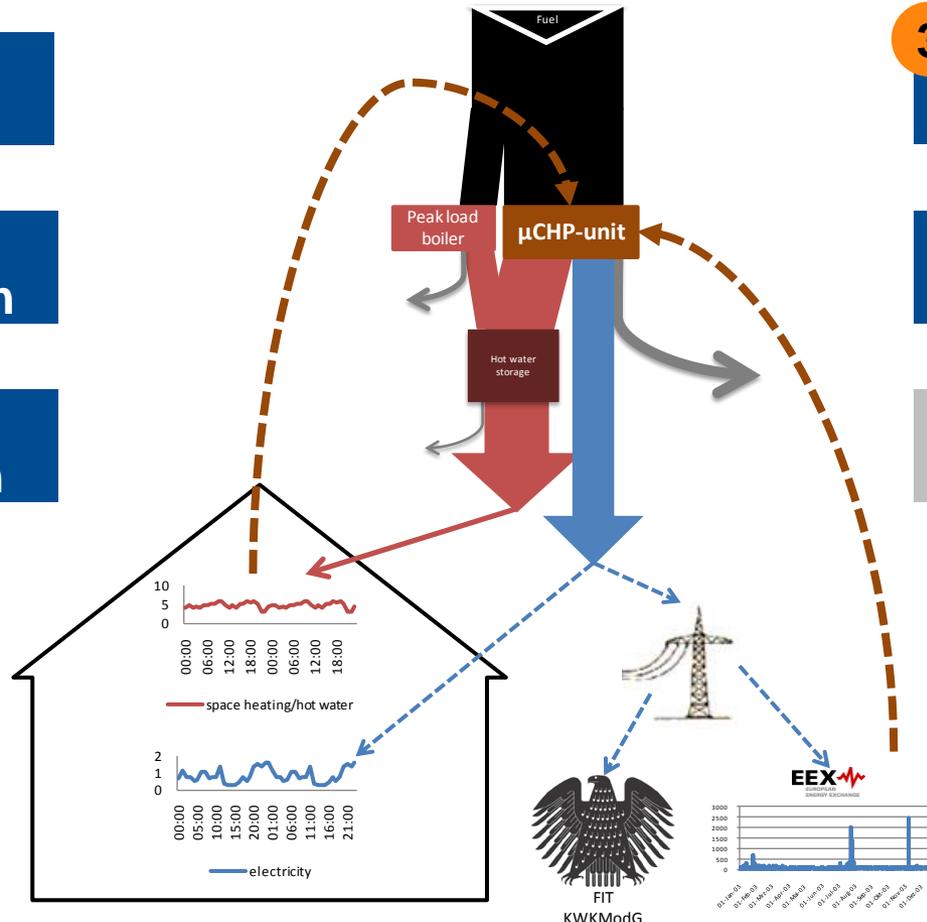
1 Wert
Wärmeproduktion

2 Wert
Stromproduktion

3 Kapitalkosten

Volllaststunden

Wert
Zusatzdienste



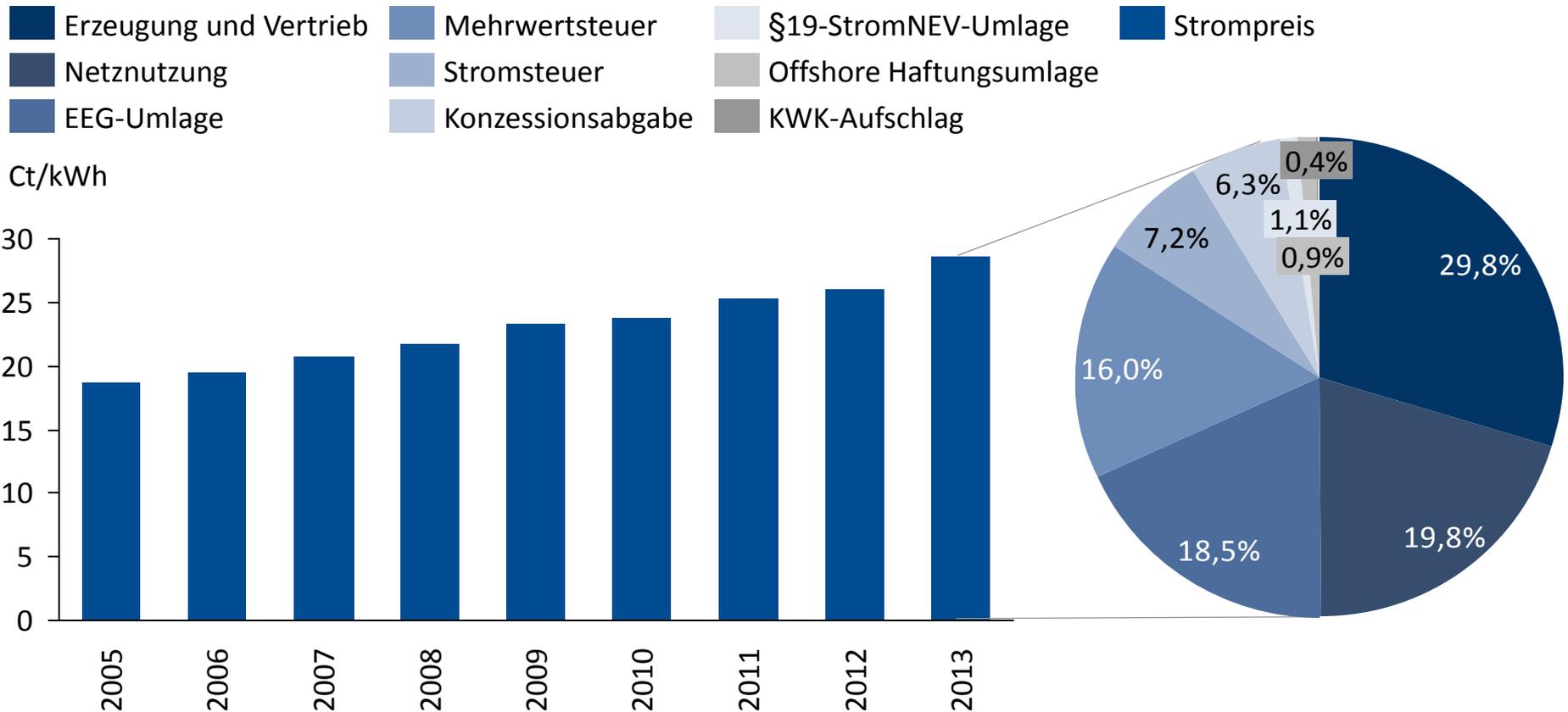
Wert Wärmeproduktion

- Ohne KWK-Anlage müsste die Wärmenachfrage mittels Heizkessel gedeckt werden
- Wert der KWK-Wärmeproduktion äquivalent zu Kosten für Wärmeproduktion mittels Kessel → Opportunitätskosten
 - Gaspreis inklusive Steuern und Abgaben für Heizkessel und Effizienz des Kessels bestimmen den ökonomischen Wert der produzierten Wärme
 - Gaspreis für KWK-Anlagen ist von Mineralölsteuer befreit (0,76 ct/kWh)

Wert Stromproduktion

- Kernfrage: Was ist der Wert des selbst erzeugten und verbrauchten Stroms?
- Vermiedene Kosten
 - Möglichkeiten:
 - Endkundenpreis (ca. 25 ct/kWh)
 - Großhandelspreis (ca. 6 ct/kWh) + vermiedene Netznutzungsentgelte
 - ...
 - Abhängig von:
 - Regulatorischen Rahmenbedingungen
 - Betreiber KWK-Anlage
 - Verträge mit dem eigentlichen Versorger

Elektrizitätspreis



Kapitalkosten

- KWK-Anlage ist ausgelegt um alle Spitzennachfragerwerte decken zu können
 - Zusätzlicher Heizkessel wird nicht benötigt
- Kosten für Heizkessel als vermiedene Kosten bei Kauf der KWK-Anlage
 - Investitionskosten Heizkessel werden von Anschaffungskosten KWK-Anlage abgezogen

Geschäftsmodelle

Ausprägungen

Konfiguration

- Investor und Betreiber KWK-Anlage
- Haushalt vs. Unternehmen

Szenario

- Regulatorisches Umfeld heute
- Zukünftige Möglichkeiten

Betriebsführung

- Wärmegeführt
- Stromgeführt
- Marktorientiert/Flexibel

Vielzahl möglicher
Geschäftsmodelle

Mikro-KWK

Übersicht möglicher Geschäftsmodelle

Konfiguration	Szenario					Markt- integration
	Aktuelle gesetzliche Rahmenbedingungen					
	0 _{KWK}	0 _{EEX}	1 _{EEX}	2 _{KWK}	3	
Basis	A	C	✕	✕	✕	✕
Contractor	B	E	✕	✕	✕	K
VPP Operator	✕	✕	E	G	I	L
VPP Operator & Investor	✕	✕	F	H	J	M

 = Flexible Betriebsführung



= nicht berechnet

 = Wärmegeführt

VPP = Virtual Power Plant

Szenarien

Aktuelle gesetzliche Rahmenbedingungen

- Potentielle Betriebsführungsmöglichkeiten unter gegebenen Bedingungen
- Selbstverbrauch der Eigenerzeugung als vermiedener Bezug
- Szenario 0_{EEX} nicht realistisch aufgrund fehlender Kompetenzen seitens Betreiber (Haushalt)
 - Grundlage für Berechnung des Flexibilitätswerts

Marktintegration

- Bewertung der produzierten Elektrizität zum Großhandelspreis
 - Bewertung des Selbstverbrauchs als vermiedene Bezugskosten auf lange Sicht unrealistisch
- Bonus auf stündlichen Großhandelspreis als Subventionierung
- Flexibilität wird in diesem Falle adäquat bewertet

Mikro-KWK

Konfigurationen – Bewertung vermiedener Bezug

Basis

- Einzelner Endkunde
 - Betreiber = Haushalt
- Einschließlich aller Gebühren, Steuern und Abgaben
 - Einschließlich Netznutzungsentgelte

→ 25 ct/kWh

Sonstige Konfigurationen

- Betreiber ist nicht Endkunde
- Niedrigerer Bezugspreis aufgrund Skaleneffekte
- Einige Gebühren, Steuern und Abgaben sind nicht „vermeidbar“
 - Konzessionsabgabe
 - EEG- und KWK-Umlage

→ 20 ct/kWh

Marktintegration

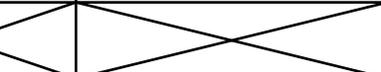
- Strompreis zum Großhandelspreis (X) bewertet
- Bonuszahlung
 - Idem zu KWK-Gesetz
 - 5,11 ct/kWh
- Prinzipiell schon unter aktuellem Gesetz möglich

→ X + 5,11 ct/kWh

EEX-Durchschnitt 2011: 5,112 ct/kWh

Mikro-KWK

Übersicht Ergebnisse – Einfamilienhaus 2011

Konfiguration	Szenario					Markt- integration
	Aktuelle gesetzliche Rahmenbedingungen					
	0 _{KWK}	0 _{EEX}	1 _{EEX}	2 _{KWK}	3	
Basis	A: 136	C: 60				
Contractor	B: 261	E : 186				K: -688
VPP Operator			E: 141	G: 210	I: 210	L: -718
VPP Operator & Investor			F: 262	H: 335	J: 335	M: -592

 = Flexible Betriebsführung



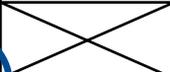
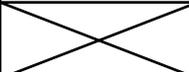
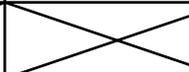
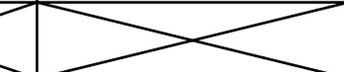
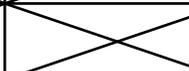
= nicht berechnet

 = Wärmegeführt

VPP = Virtual Power Plant

Mikro-KWK

Übersicht Ergebnisse – Einfamilienhaus 2011

Konfiguration	Szenario					Markt-integration
	Aktuelle gesetzliche Rahmenbedingungen					
	0 _{KWK}	0 _{EEX}	1 _{EEX}	2 _{KWK}	3	
Basis	A: 136	C: 60				
Contractor	B: 261	E: 186				K: -688
VPP Operator			E: 141	G: 210	I: 210	L: -718
VPP Operator & Investor			F: 262	H: 335	J: 335	M: -592

Erlöse
KWKG > EEX

 = Flexible Betriebsführung



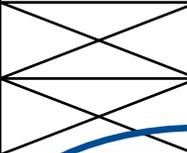
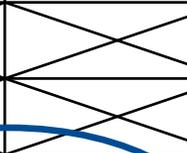
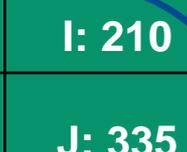
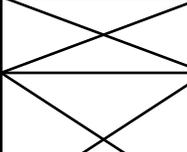
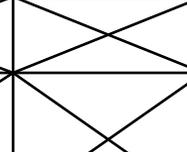
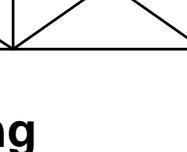
= nicht berechnet

 = Wärmegeführt

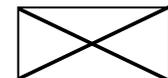
VPP = Virtual Power Plant

Mikro-KWK

Übersicht Ergebnisse – Einfamilienhaus 2011

KWKG oder Auswahl KWKG/EEEX kein Mehrwert	Szenario					Markt- integration
	Aktuelle gesetzliche Rahmenbedingungen					
Konfiguration	0 _{KWK}	0 _{EEEX}	1 _{EEEX}	2 _{KWK}	3	
Basis	A: 150	C: 60				
Contractor	B: 261	E: 186				K: -688
VPP Operator			E: 141	G: 210	I: 210	L: -718
VPP Operator & Investor			F: 262	H: 335	J: 335	M: -592

 = Flexible Betriebsführung

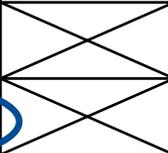
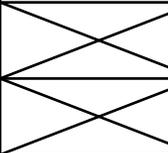
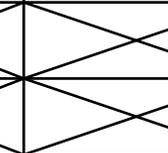
 = nicht berechnet

 = Wärmegeführt

VPP = Virtual Power Plant

Mikro-KWK

Übersicht Ergebnisse – Einfamilienhaus 2011

Konfiguration	Szenario					Markt-integration
	Aktuelle gesetzliche Rahmenbedingungen					
	0 _{KWK}	0 _{EEX}	1 _{EEX}	2 _{KWK}	3	
Basis	A: 136	C: 60				
Contractor	B: 261	E: 186				K: -688
VPP Operator			E: 141	G: 210	I: 210	L: -718
VPP Operator & Investor			F: 262	H: 335	J: 335	M: -592

Höhere Erträge bei Geschäftsmodellen mit Investor

 = Flexible Betriebsführung



= nicht berechnet

 = Wärmegeführt

VPP = Virtual Power Plant

Mikro-KWK

Übersicht Ergebnisse – Einfamilienhaus 2011

Unwirtschaftlich trotz/
wegen energiewirt-
schaftlich sinnvollen
Rahmenbedingungen

Konfiguration	Szenario					Markt- integration
	Aktuelle gesetzliche Rahmenbedingungen				3	
	0 _{KWK}	1 _{EEX}	2 _{KWK}	3		
Basis	A: 136	C: 60				
Contractor	B: 261	E: 186				K: -688
VPP Operator			E: 141	G: 210	I: 210	L: -718
VPP Operator & Investor			F: 262	H: 335	J: 335	M: -592

 = Flexible Betriebsführung



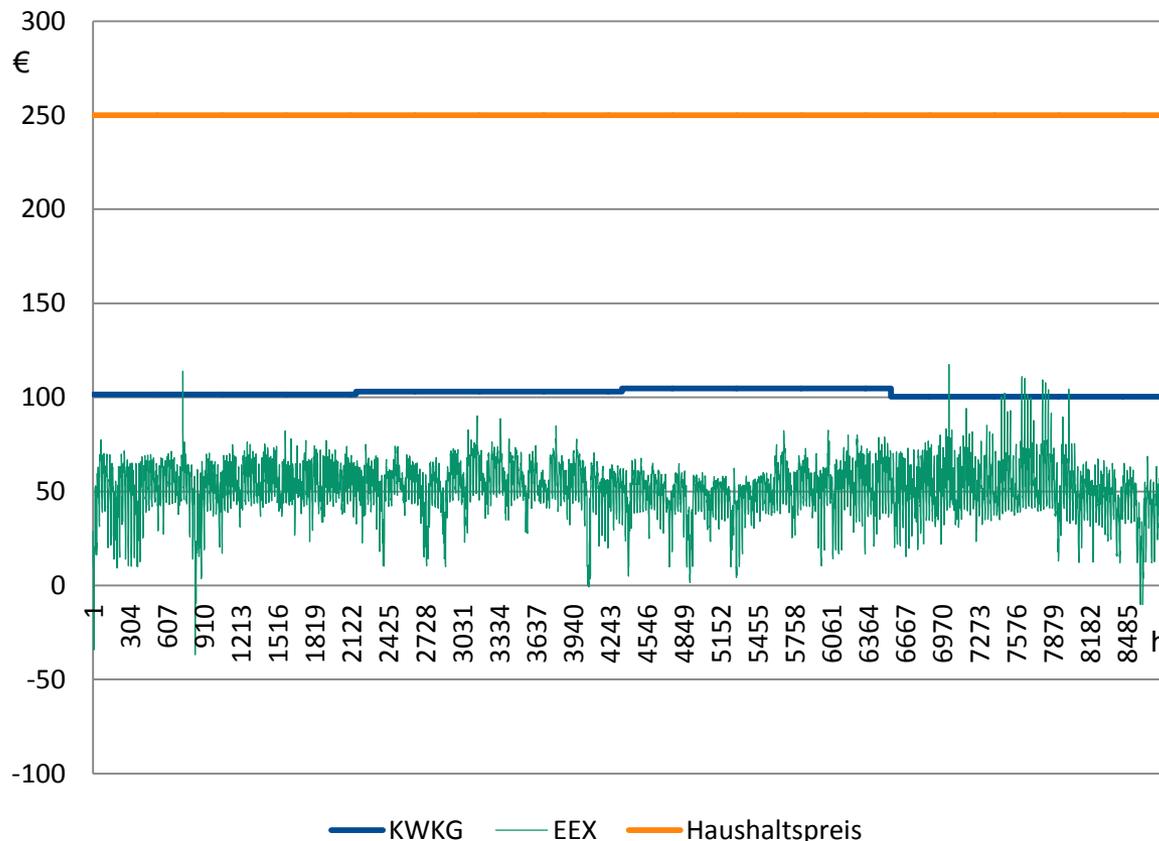
= nicht berechnet

 = Wärmegeführt

VPP = Virtual Power Plant

Mikro-KWK

Marktintegration



- In allen Fällen unter heutigen Rahmenbedingungen ist der vermiedene Bezug der Haupttreiber
- Nur sehr wenige Stunden in denen der Großhandelspreis über dem Bezugspreis liegt
 - 2011 lag der Großhandelspreis nur an rund 10 Stunden über KWKG

→ Marktintegration kann Kapitalkosten nicht aufbringen

Gliederung/Agenda

1. Einführung - Möglichkeiten der Marktteilnahme für Endkunden
2. Kosten und Nutzen
 1. Lastverlagerung
 2. Mikro-KWK
3. Schlussfolgerungen

Schlussfolgerungen

- Marktintegration unwirtschaftlich bei energiewirtschaftlich „sinnvollen“ Rahmenbedingungen
 - Geringere Anlagenkosten können auf lange Sicht zu besseren Ergebnissen führen
 - Einstweilen werden KWK-Anlagen (ebenso wie PV-Anlagen mit Eigenverbrauch) auf Kosten der Allgemeinheit betrieben
- Demand Response ist für typischen deutschen HH und bei derzeitigen Großhandelspreisen uninteressant
 - Durch veränderte Markt- und Preisstrukturen ist hier mit interessanteren Ergebnissen zu rechnen
 - Verbreitung von eMobility und Wärmepumpe fördert Möglichkeiten zur Lastverlagerung
- Neben gesamtwirtschaftlicher Rationalität zählt jedoch auch Zahlungsbereitschaft der Kunden

UNIVERSITÄT
DUISBURG
ESSEN

Offen im Denken

Vielen Dank!

Kontakt: Patrick Himmes

E-Mail: patrick.himmes@poyry.de

Tel.: +49 151 550 17 136

LEHRSTUHL FÜR
ENERGIEWIRTSCHAFT
PROF. DR. CHRISTOPH WEBER



Betriebsführung

- **Wärmegeführt**
 - Stromproduktion als Funktion der lokalen Wärmenachfrage
 - Kleinere Anlagen mit Fokus Wärmeproduktion
- **Stromgeführt**
 - Wärmeproduktion als Funktion der lokalen Stromnachfrage
 - Industrie-Anlagen mit Fokus Stromproduktion
- **Marktorientiert/Flexibel**
 - Erläsoptimierung unter Berücksichtigung von Wärmedeckung und Spotpreisen
 - Großanlagen im Fernwärmeverbund

Mikro-KWK

Betriebsführung und Treiber

Szenario	Betriebsführung	Treiber
0_{KWK}	Wärmegeführt	Vermiedener Bezug KWK-Gesetz
0_{EEX}	Wärmegeführt	Vermiedener Bezug Großhandelspreise (EEX)
1	Flexibel	Vermiedener Bezug Großhandelspreise
2	Flexibel	Vermiedener Bezug KWK-Gesetz
3	Flexibel	Vermiedener Bezug Großhandelspreise/KWK-Gesetz
Marktintegration	Flexibel	Großhandelspreise (plus Bonus)

Optimierungsproblem

- Zielfunktion:

$$\max(OCF) = \sum_{h=1}^{8760} R_h^{Spot} + \sum_{h=1}^{8760} R_h^{Feedin} + p_{el} Q_{El}^P + p_{fuel} \frac{1}{\eta^B} Q_{HT}^B - p_{fuel} \frac{1}{\eta_{El}^{CHP}} Q_{El}^{CHP}$$

- Nebenbedingungen:
 - Wärmenachfrage muss durch Produktion und Speicher gedeckt sein
 - Stromnachfrage muss durch Produktion und Netzbezug gedeckt sein
 - Produktion darf Kapazität nicht überschreiten

Substitutionseffekt

$$\ln\left(\frac{Q_p}{Q_o}\right) = \ln\left[\frac{WP}{1-WP}\right] - \beta * \ln\left(\frac{P_p}{P_o}\right) + \varepsilon$$

mit

K_p = Verbrauch während Peak-Periode

K_o = Verbrauch während Off-Peak-Periode

P_p = Preis in der Peak-Periode

P_o = Preis in der Off-Peak-Periode

β = Substitutionselastizität zwischen Peak- und Off-Peak-Perioden

W_p = Teil des Stromverbrauchs während der Peak-Periode bei Standardpreis-Kontrakten

ε = stochastische Variation in der Kundenpräferenz

Mikro-KWK

Wert der flexiblen Betriebsweise

Differenz zwischen flexiblem und wärmegeführtem Fall:



Aktuelle gesetzliche Rahmenbedingungen:

80 €/Jahr

(Fall F- Fall D)

Marktintegration:

96 €/Jahr

(Fall M – Fall K)