



Hanse
Wärme

BSU ‚Unternehmen für Ressourcenschutz‘ / Handelskammer Hamburg

Auslegungskriterien für wirtschaftliche BHKW

Dipl.- Ing. Christian Hein, E.ON Hanse Wärme GmbH

25.09.2008

Inhalt

1. Kurzvorstellung der E.ON Hanse Wärme GmbH
2. Bedingungen für wirtschaftliche Kraft- / Wärmekopplung
3. Anlagenbeispiele
4. Dimensionierung einer KWK- Anlage
5. Primärenergieeinsparung und Emissionsminderung
6. Herstell- und Wartungskosten
7. Brennstoffkosten und Wärmegutschrift
8. Stromvergütung und –erträge
9. Wirtschaftlichkeit
10. Ausblick

E.ON Hanse Wärme

Die E.ON Hanse Wärme GmbH ist die Spezialistin für kundenorientiert angepasste Wärmedienstleistungen im Teilkonzern E. ON Hanse AG und das größte Spartenunternehmen dieser Art im E.ON-Regionalbereich.

Bilanzsumme (2007)	150 Mio. €
Umsatzerlöse (2007)	140 Mio. €
Mitarbeiter	145
Betriebene Anlagen	ca. 1.000
Nah- und Fernwärmenetze	ca. 120
Blockheizkraftwerke (BHKW)	ca. 155
Firmensitz	Hamburg

Standorte

Wärme Standorte



Produkte und Leistungsspektrum

- **Wärme** (Heißwasser 130 °C, 110 °C und 90 °C, Dampf bis 20 bar)
- **Kälte** (Kaltwasser 6 °C, Tiefkälte –20 °C)
- **Strom** aus Blockheizkraftwerken mit Erd,- Deponie-, Klär- und Biogasfeuerung
- **Notstromanlagen**
- **Betriebsführung** von Anlagen
- **BHKW- Service**
- Planung und Beratung
- Vermietung mobiler Heizzentralen

Qualifikationen und Mitgliedschaften

- Integriertes Qualitäts-, Arbeitsschutz- und Umweltmanagementsystem nach DIN EN ISO 9001 / 14001 und OHSAS 18001, zertifiziert 2003...2009



- Hamburger Umweltpartnerschaft 2003
- Hamburger Arbeitsschutzpartnerschaft 2005



Inhalt

1. Kurzvorstellung der E.ON Hanse Wärme GmbH
2. Bedingungen für wirtschaftliche Kraft- / Wärmekopplung
3. Anlagenbeispiele
4. Dimensionierung einer KWK- Anlage
5. Primärenergieeinsparung und Emissionsminderung
6. Herstell- und Wartungskosten
7. Brennstoffkosten und Wärmegutschrift
8. Stromvergütung und –erträge
9. Wirtschaftlichkeit
10. Ausblick

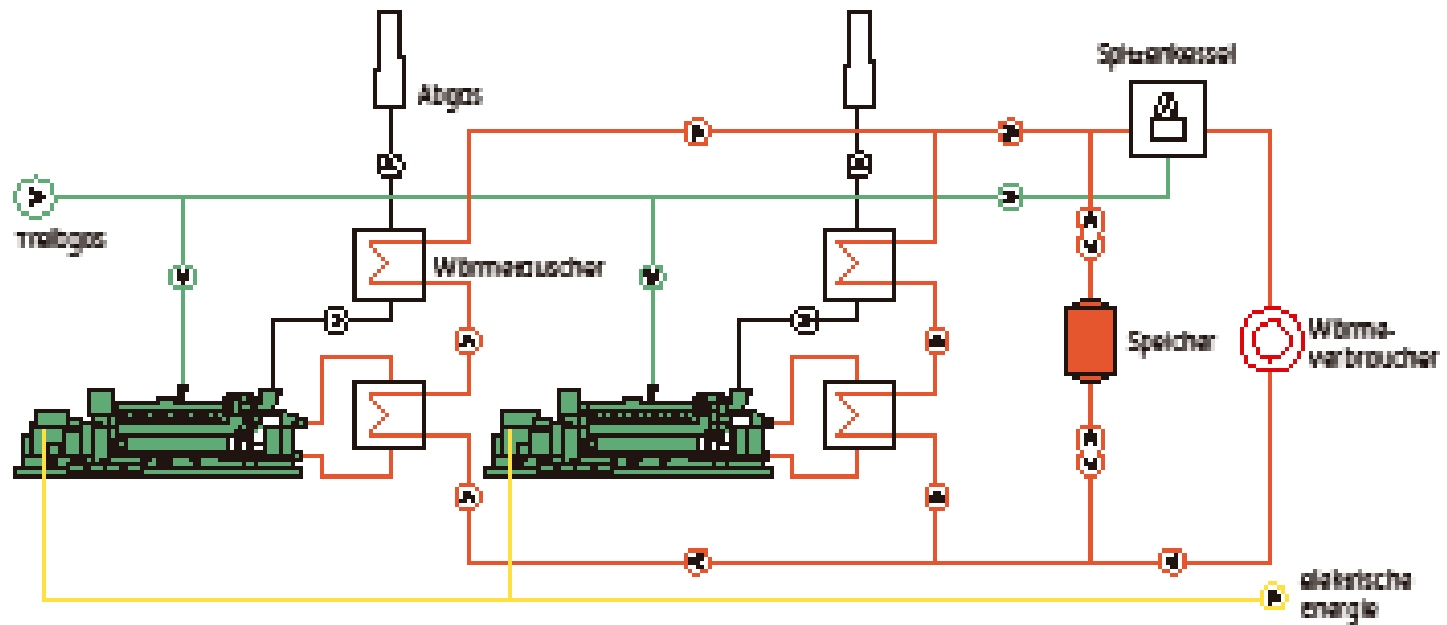
Kraft- / Wärmekopplung (KWK)

- Definition: KWK = Erzeugung von elektrischer Energie unter Nutzung des Koppelprodukts Wärme

Beispiele:

- Dampfturbine im Gegendruckbetrieb [Kraftwerkstechnik]
- Gasturbine mit Abhitzeessel [wärmeintensive Produktion, z.B. Ölmühle, Zement- oder Papierindustrie], Leistungsbereich 1.000 bis 150.000 kW
- Blockheizkraftwerk (BHKW) mit Gas- oder Dieselmotor, gekoppelt mit einem Generator, Leistungsbereich (Gas) 15 bis 3.800 kW je Aggregat
- Mikro- KWK (Stirlingmotor 1,5 kW, Senertec- BHKW 5 kW, Brennstoffzelle 1,5 kW)

Verfahrensschema der Kraft- / Wärmekopplung [BHKW]



Bedingungen für wirtschaftliche Kraft- Wärmekopplung

1. Das Temperaturniveau des Koppelprodukts Wärme muss dem der Heizprozesse entsprechen [Auswahl des geeigneten Aggregats / Prozesses]
2. Die Wärmeleistung des KWK- Prozesses muss dem Grundlast-Wärmebedarf der angeschlossenen Verbraucher entsprechen [Dimensionierung].
3. Die Befreiung von der (erhöhten) Mineralölsteuer für motorische Verwendung und die Erstattung der Mineralölsteuer ist von Mindest- Nutzungsgraden abhängig. Die Wärmeabfuhr über Kühler ist daher zu vermeiden [Beachtung der gesetzlichen Rahmenbedingungen].
4. Die Anschlüsse an Strom- und Gasnetze bilden im Regelfall die geringsten Restriktionen.

Wärmeauskopplung und Temperaturniveau

- Dampf- oder Gasturbine: Dampf bis 10...12 bar / Umformung auf Heißwasser bis 140 °C möglich
- Blockheizkraftwerk mit Verbrennungsmotor:
Ladeluftkühler oder Gemischkühler: bis 70 °C
Schmieröl: bis 80 °C
Kühlwasser: bis 95 °C
Abgaswärme: bis 110 °C
- Brennstoffzelle: bis 50 °C

Bei Dampf- oder Gasturbinenprozessen fällt Wärme fast ausschließlich im Hochtemperaturbereich an, also universelle Einsatzmöglichkeit. Beim BHKW fällt die Wärme in mehreren Temperaturstufen an; Systemauslegung mit 70 / 90 °C oder 70 / 110 °C; die Wärmetauscher sind in Reihe geschaltet.

Motorentchnik

- Aktuell werden vorwiegend Otto- Gasmotoren im Leistungsbereich bis 2.500 kW je Aggregat angeboten. Diesel- / Gasmotoren dominieren im Bereich von 4.500 bis 7.500 kW Aggregatleistung.
- Vorherrschend sind schnell- laufende Gasmotoren mit einer Drehzahl von 1.500 1 / min. Diese sind ausreichend standfest bis 50.000 Betriebsstunden. Mittelschnell- laufende Motoren (Drehzahl 1.000 1 / min. bzw. 750 1 / min.) sind im Leistungsbereich bis 2.500 kW kaum konkurrenzfähig.
- Im Leistungsbereich bis 250 kW sind Saugmotoren mit λ -1- Regelung und Dreiwegekatalysator verfügbar, darüber nur noch stark abgemagerte Turbomotoren (λ bis 1,7) mit Oxidationskatalysator.
- Durch Erhöhung des effektiven Mitteldrucks auf Werte über $p_{me} = 18$ bar wurden enorme Leistungssteigerungen der Maschinen möglich.

Inhalt

1. Kurzvorstellung der E.ON Hanse Wärme GmbH
2. Bedingungen für wirtschaftliche Kraft- / Wärmekopplung
3. Anlagenbeispiele
4. Dimensionierung einer KWK- Anlage
5. Primärenergieeinsparung und Emissionsminderung
6. Herstell- und Wartungskosten
7. Brennstoffkosten und Wärmegutschrift
8. Stromvergütung und –erträge
9. Wirtschaftlichkeit
10. Ausblick



Aktuell maximale Baugröße für Gas-
Ottomotoren: GE Jenbacher JMS 624 GS; ca.
3.800 kW_e



Deponiegastechnik



BHKW Modul JMS 312; 600 kW_e



Biogas- BHKW

BHKW: Standardmodul 120 kW



Mikro- KWK



Mikro- KWK
„whisperGen“ 1,5
kW



Klein- KWK „EC Power“ 15 kW

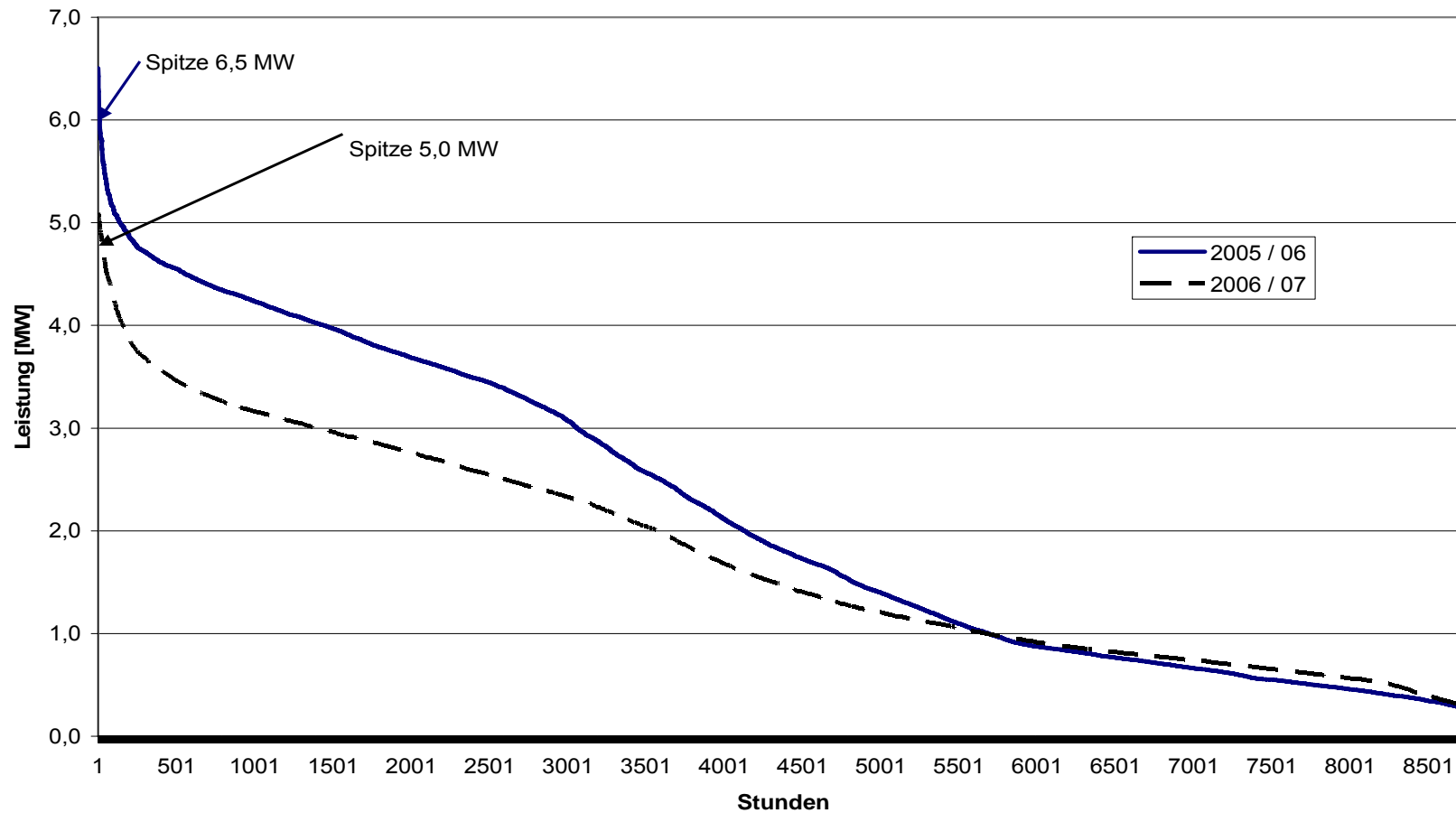
Inhalt

1. Kurzvorstellung der E.ON Hanse Wärme GmbH
2. Bedingungen für wirtschaftliche Kraft- / Wärmekopplung
3. Anlagenbeispiele
4. Dimensionierung einer KWK- Anlage
5. Primärenergieeinsparung und Emissionsminderung
6. Herstell- und Wartungskosten
7. Brennstoffkosten und Wärmegutschrift
8. Stromvergütung und –erträge
9. Wirtschaftlichkeit
10. Ausblick

Dimensionierung einer KWK- Anlage

- Entscheidend für die Rentabilität der Anlage ist die genaue Erfassung der Wärmesenke [System, an das die KWK- Wärme abgegeben wird].
- Erfassung von Leistung, zeitlichem Verlauf [Tagesbedarf im Durchschnitt], Vor- und Rücklauftemperaturen
- Idealerweise liegen Messwerte oder Messreihen zum Wärmebedarf vor [Wärmemengenzähler, hilfsweise Gaszähler]
- Für Großkunden, die nach gemessener Leistung abgerechnet werden, hat der Erdgas- Netzbetreiber (oder Messstellenbetreiber) im Regelfall exakte Messwerte [Messperiode: 1 Stunde] und archiviert diese für einen kurzen Zeitraum.
- Dasselbe gilt für den Strom- Netzbetreiber (Messperiode: 15 Minuten)

Gemessene Jahresdauerlinie des Wärmebedarfs (2 Extreme)



Auswertung der Jahresdauerlinie

- Die Jahresdauerlinie auf der Basis von Messwerten umfasst 8.760 Messperioden (Gas oder Wärme) bzw. 35.040 Perioden (Strom)
- Der Datensatz wird nach der Messwertgröße sortiert und als Häufigkeitsverteilung grafisch dargestellt.
- Messwerte: Höchstleistung 6.500 kW (1 Stunde) bei -11,5 °C Tagesmitteltemperatur; Wärmebedarf : 18.000 MWh
- Aussage der vorangestellten Dauerlinie: z.B. in ca. 5.700 Stunden ist der Wärmebedarf größer als 1.000 kW; in weiteren rd. 2.300 Stunden ist der Wärmebedarf größer als 500 kW
- Maximale Dimensionierung als Einmotorenanlage: 1.000 kW_{th} / ca. 800 kW_e
- Als Zweimotorenanlage: 2 x ca. 500 kW_e
- Pufferspeicher für ca. 500 kW_{th} Regelleistung = 25 - 30 m³ Inhalt

Quick Check: Faustformeln aus der Praxis

Gelten für die üblichen Heizwärmebedarfskennlinien

- **25 / 75- Regel:** Mit 25 % der Wärme- Spitzenleistung werden 75 % des Wärmebedarfs gedeckt.
- **15 / 50- Regel:** mit 15% der Wärme- Spitzenleistung werden 45 - 50 % des Wärmebedarfs gedeckt. Im Beispiel: Höchstleistung 6.500 kW bei – 11,5 °C → 1.000 kW / 8.000 MWh
- **1 / 15- Regel:** Die KWK- Leistung (thermisch, in kW) soll bei etwa 1 / 15 des Jahreswärmebedarfs (in MWh) liegen.

Vorangestelltes Beispiel (Jahresdauerlinie): 18.000 MWh / a, davon 1 / 15 = 1.200 kW; gewählt: 1.000 kW min.; 1.300 kW max.

Dimensionierung nach dem Elektroenergiebedarf?

Eine häufig gestellte Frage bezieht sich auf die Dimensionierung nach dem (Spitzen-) bedarf an elektrischer Energie [Spitzen abfahren usw.]

- Eine solche Auslegung führt immer zu überdimensionierten und damit zu teuren Anlagen.
- Anlagen dieser Art haben ein Vielzahl von Starts und dadurch extrem erhöhten Verschleiß.
- Das Risiko, dass das BHKW in der Bedarfsperiode (Spitzenlast) aus technischen Gründen oder mangelndem Wärmebedarf nicht am Netz ist, ist äußerst hoch!
- Grundsätzlich gibt es kaum eine KWK- Anlage mit Verbrennungsmotor, die wesentlich zu einer Senkung der Bezugsleistung [Jahreshöchstwerte] beiträgt.

Inhalt

1. Kurzvorstellung der E.ON Hanse Wärme GmbH
2. Bedingungen für wirtschaftliche Kraft- / Wärmekopplung
3. Anlagenbeispiele
4. Dimensionierung einer KWK- Anlage
5. **Primärenergieeinsparung und Emissionsminderung**
6. Herstell- und Wartungskosten
7. Brennstoffkosten und Wärmegutschrift
8. Stromvergütung und –erträge
9. Wirtschaftlichkeit
10. **Ausblick**

Primärenergieeinsparung PEE nach RL 2004 / 8 / EG („Effizienzrichtlinie“)

$$\text{PEE} = 1 - \left\{ \frac{1}{\frac{\text{KWK } W \eta}{\text{Ref. } W \eta} + \frac{\text{KWK } E \eta}{\text{Ref. } E \eta}} \right\} \times 100 \%$$

Mit:

- KWK $W \eta$ = Wärme- Nutzungsgrad der KWK (z.B. 50%)
- Ref. $W \eta$ = Referenz- Wärme- Nutzungsgrad bei getrennter Erzeugung (z.B. 90 %)
- KWK $E \eta$ = Elektrischer Nutzungsgrad der KWK (z.B. 38 %)
- Ref. $E \eta$ = Elektrischer Nutzungsgrad des besten verfügbaren Kraftwerks (z.B. Moorburg 2012 : 46 %)

CO₂- Emissionen Elektroenergieerzeugung*

Braunkohlekraftwerk	1.153g / kWh
Steinkohlekraftwerk	949g / kWh
Erdgaskraftwerk	428g / kWh
Photovoltaik	101g / kWh
Erdgas- Blockheizkraftwerk	49g / kWh
Wasserkraftwerk	40g / kWh
Kernkraftwerk	32g / kWh
Windpark	24g / kWh

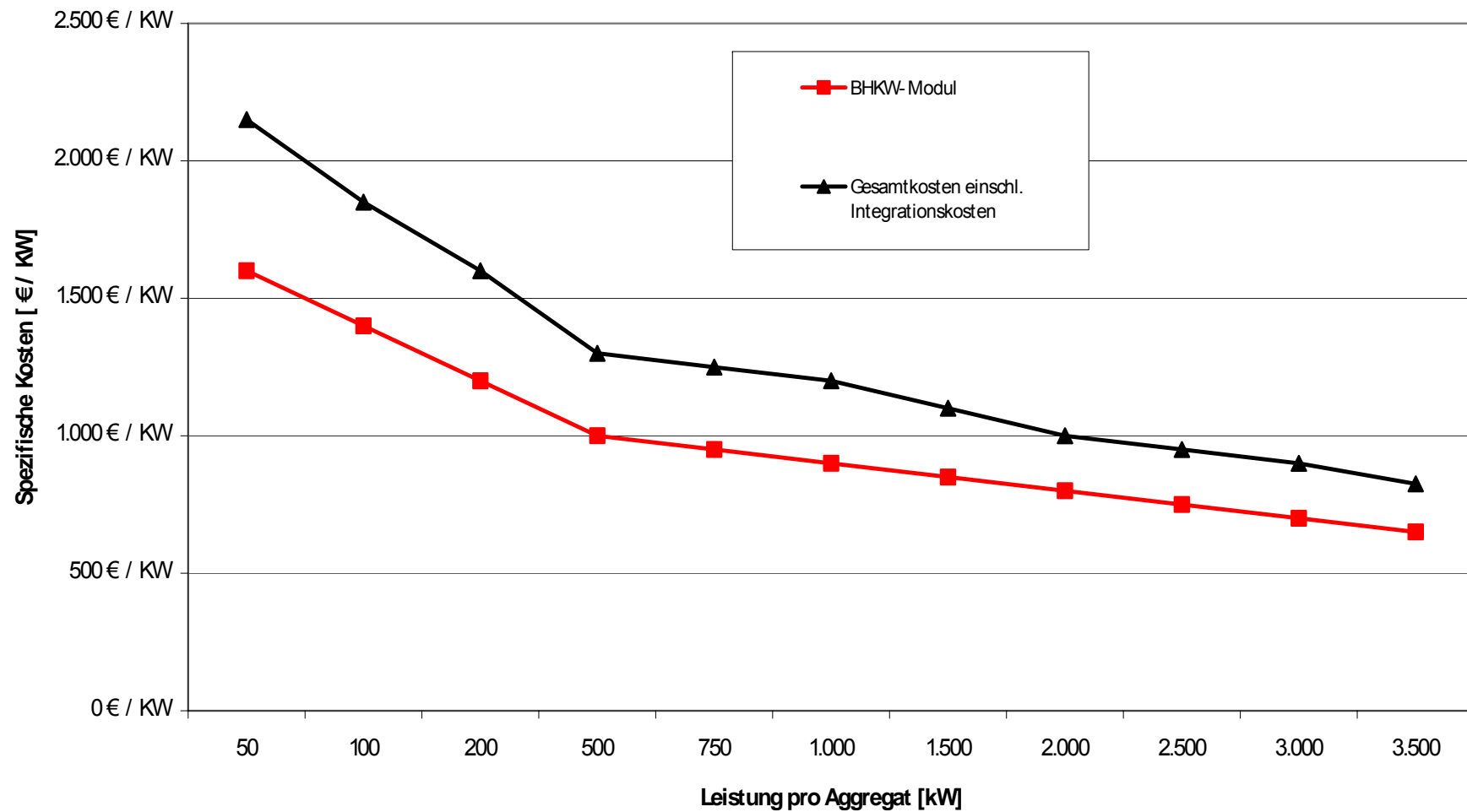
*Lebenszyklus

**Quelle: Der Spiegel 12 / 2007; Öko- Institut, Darmstadt

Inhalt

1. Kurzvorstellung der E.ON Hanse Wärme GmbH
2. Bedingungen für wirtschaftliche Kraft- / Wärmekopplung
3. Anlagenbeispiele
4. Dimensionierung einer KWK- Anlage
5. Primärenergieeinsparung und Emissionsminderung
6. Herstell- und Wartungskosten
7. Brennstoffkosten und Wärmegutschrift
8. Stromvergütung und –erträge
9. Wirtschaftlichkeit
10. Ausblick

Spezifische Kosten von BHKW



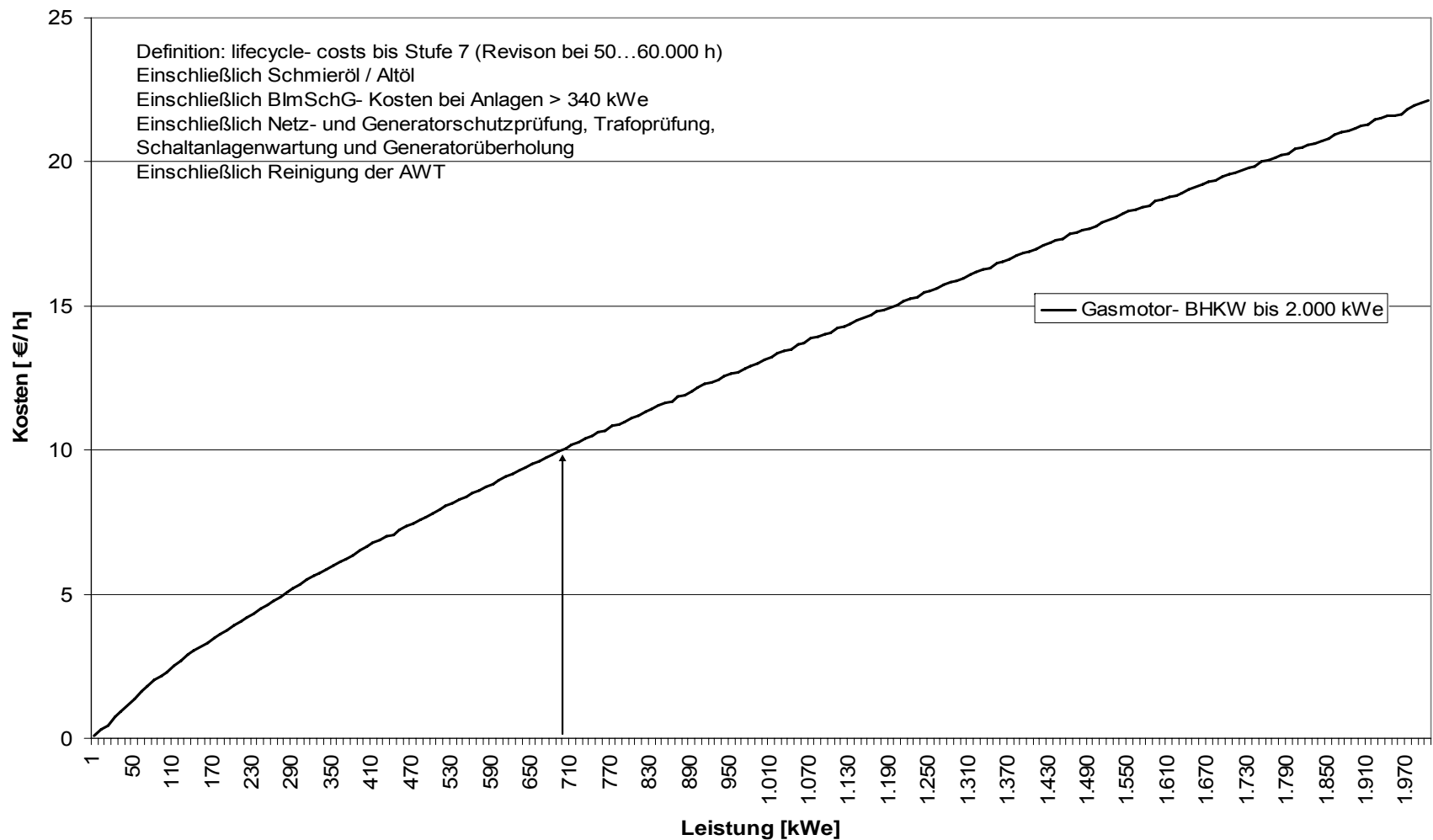
Wartungs- und Instandsetzungskosten

- Die Kosten der Wartung und Instandsetzung hängen vom gewählten Aggregat [Standzeiten der Bauteile, Wartungszyklen], den Ersatzteilkosten, Lohnkosten, Schmierölverbrauch und Schmierölpreisen ab. Für identische Leistungsgrößen sind, abhängig vom Hersteller, Abweichungen von mehr als 50% möglich!

Die W + I- Kosten fallen zyklisch an:

- Regelservice alle 1.000 , 2.000 oder 3.000 Stunden (je nach Aggregat)
- Instandsetzungen in 3 Stufen : Zylinderkopfüberholung, Kolben- / Laufbuchsenüberholung und Grundüberholung (z.B. 12.000 / 24.000 / 48.000 Stunden). Letztere wird als Stufe 7 bezeichnet.
- Die Kosten der Wartung und Instandsetzung sind abhängig von den Betriebsstunden [Maßeinheit: € / h]. Die Maßeinheit Ct / kWh kann nur eine Hilfsgröße sein

Lifecycle- costs BHKW



Inhalt

1. Kurzvorstellung der E.ON Hanse Wärme GmbH
2. Bedingungen für wirtschaftliche Kraft- / Wärmekopplung
3. Anlagenbeispiele
4. Dimensionierung einer KWK- Anlage
5. Primärenergieeinsparung und Emissionsminderung
6. Herstell- und Wartungskosten
7. **Brennstoffkosten und Wärmegutschrift**
8. Stromvergütung und –erträge
9. Wirtschaftlichkeit
10. **Ausblick**

Wärmekostengutschrift

- Die Kosten der Kraft- / Wärmekopplung bestimmen sich aus den zusätzlichen Brennstoffkosten (./. MinÖSt- Gutschrift), den Kapitalkosten sowie den Wartungs- und Instandsetzungskosten.
- Die Erträge bestimmen sich aus dem Wert der Substitute (Strom aus Netzbezug sowie Wärme aus einer Kesselfeuerung).
- Werden für die Wärmeerzeugung im Kessel und im BHKW identische Brennstoffe eingesetzt, bestimmt sich die Wärmegutschrift der KWK ausschließlich über den vermiedenen Brennstoffeinsatz. Von einer Kostenrechnung für die Wärmegutschrift ist abzusehen.
- Werden Brennstoffe mit unterschiedlichen Preisen eingesetzt, so ist die Wärmegutschrift der KWK mit dem spezifischen Preis der Kesselfeuerung sowie dem Jahresnutzungsgrad zu ermitteln.

Inhalt

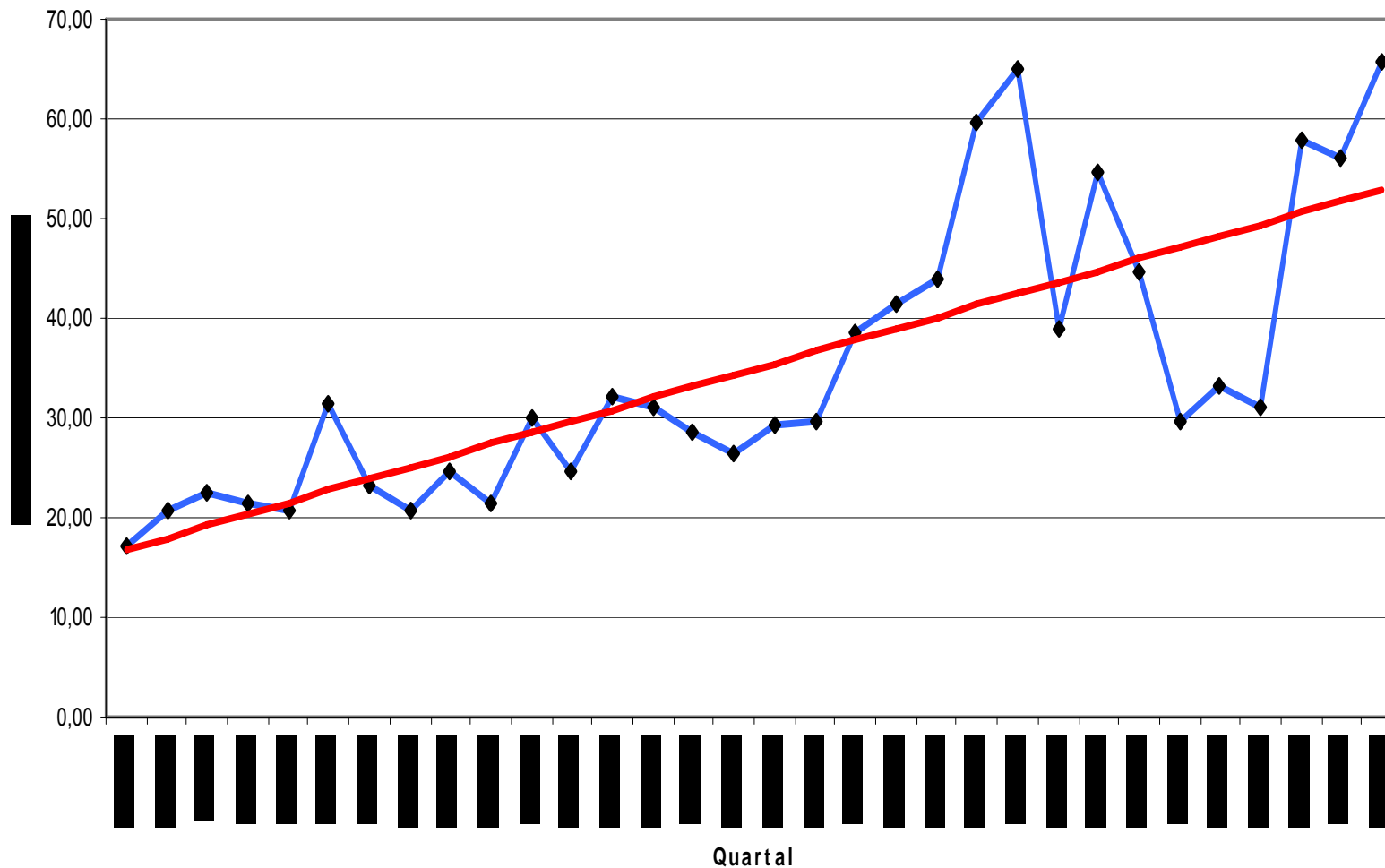
1. Kurzvorstellung der E.ON Hanse Wärme GmbH
2. Bedingungen für wirtschaftliche Kraft- / Wärmekopplung
3. Anlagenbeispiele
4. Dimensionierung einer KWK- Anlage
5. Primärenergieeinsparung und Emissionsminderung
6. Herstell- und Wartungskosten
7. Brennstoffkosten und Wärmegutschrift
8. Stromvergütung und –erträge
9. Wirtschaftlichkeit
10. Ausblick

Stromvergütung bei Netzeinspeisung

- Aktuelle Grundlage: KWK- Gesetz 2002
- Geplante Novellierung ab 2009

- Börsenpreis Leipzig EEX, Grundlaststrom im Vierteljahresdurchschnitt [base load quarterly, „gesetzlicher Preis“]
- + vermiedene Netznutzung [abhängig vom Netzbetreiber, bis 0,7 Ct / kWh Mittelspannungsnetz, bis 2,0 Ct / kWh Niederspannungsnetz]
- + KWK- Zulage nach KWKG und Anlagengröße und -baujahr

Strom- Börsenpreise 2000 – 2008 (base load)



Stromvergütung bei Eigenversorgung

Entscheidend für die Rentabilität der Kraft- /
Wärmekopplung ist der Preis der Substitute:

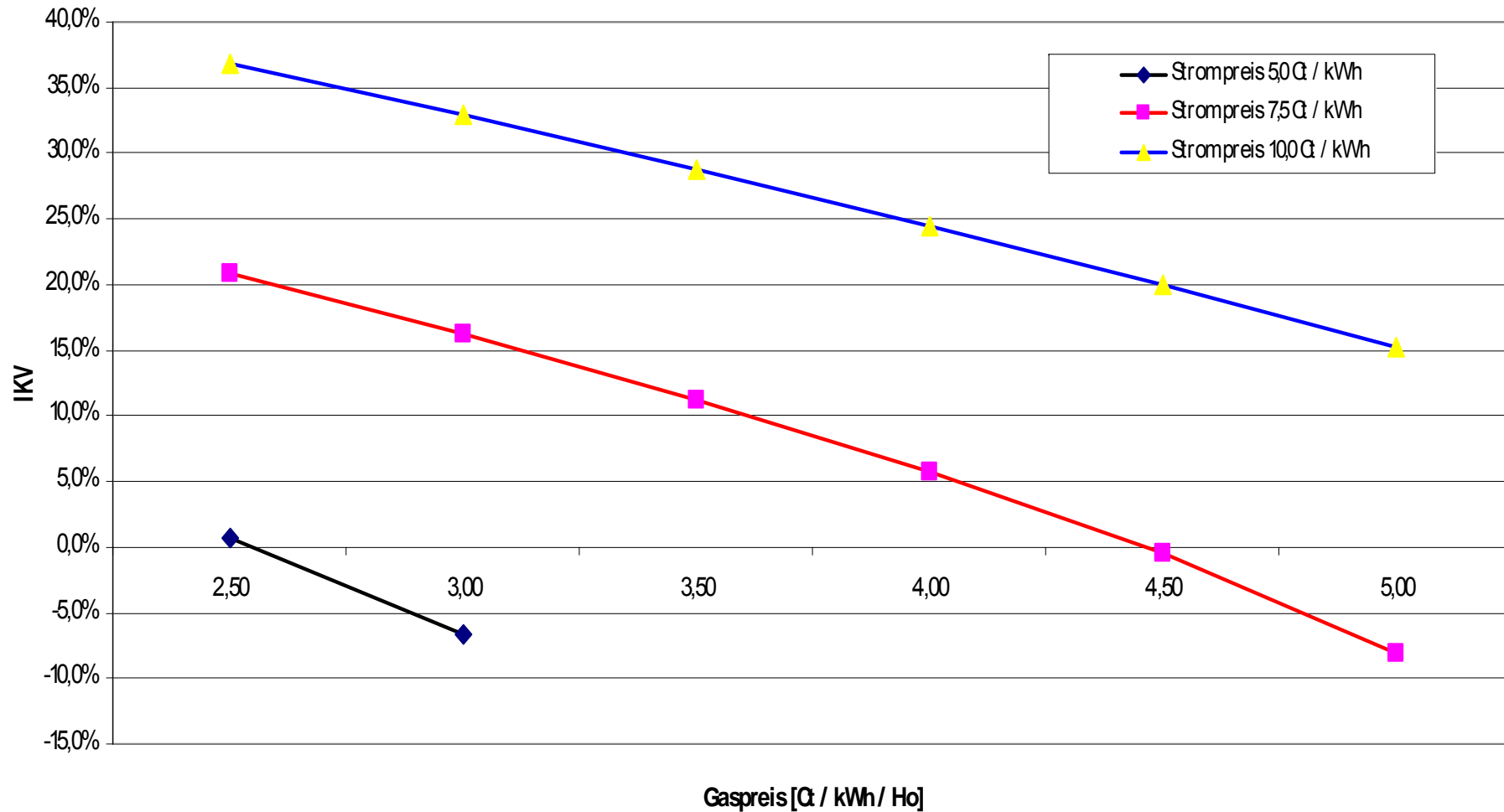
- Wärme: der Preis bestimmt sich über den Preis der Wärmeerzeugung im Heizkessel (Brennstoffkostenanteil) bzw. den Fernwärme- Lieferpreis
- Strom: der Preis bestimmt sich über den Bezugspreis (nur Arbeitspreis, da der Leistungsbezug im Regelfall nicht vermieden wird!)
- Die Eigenerzeugte elektrische Energie ist frei von EEG- und KWK- Umlage, Netznutzungsentgelten und Stromsteuer!

Inhalt




1. Kurzvorstellung der E.ON Hanse Wärme GmbH
2. Bedingungen für wirtschaftliche Kraft- / Wärmekopplung
3. Anlagenbeispiele
4. Dimensionierung einer KWK- Anlage
5. Primärenergieeinsparung und Emissionsminderung
6. Herstell- und Wartungskosten
7. Brennstoffkosten und Wärmegutschrift
8. Stromvergütung und –erträge
9. **Wirtschaftlichkeit**
10. Ausblick

Interne Kapitalverzinsung; Anlage 2 x 1.000 kW; 1.400 €/ kW; 7.300 h /

a



Quick Check: Rentabilität [7.500 h / a]

Verhältnis S / G	Rentabilität
> 2,5	
> 2,0	
< 1,9	

Strompreis S [Ct / kWh]; Gaspreis G [Ct / kWh / Ho] incl.
MinÖSt

Inhalt

1. Kurzvorstellung der E.ON Hanse Wärme GmbH
2. Bedingungen für wirtschaftliche Kraft- / Wärmekopplung
3. Anlagenbeispiele
4. Dimensionierung einer KWK- Anlage
5. Primärenergieeinsparung und Emissionsminderung
6. Herstell- und Wartungskosten
7. Brennstoffkosten und Wärmegutschrift
8. Stromvergütung und –erträge
9. Wirtschaftlichkeit
10. **Ausblick**

Ausblick

- Kraft- / Wärmekopplung mit Blockheizkraftwerken spielt nach wie vor im Produzierenden Gewerbe eine äußerst untergeordnete Rolle [Ausnahme: wärmeintensive Betriebe, z.B. Lebensmittelindustrie].
- Gründe sind u.a. der im Vergleich zum Elektroenergiebedarf geringe Wärmebedarf und die betreuungsintensive Technik bei problematischer Investitionsentscheidung durch Bindung der Strom- an die Brennstoffkosten.
- Die Steuerbefreiung der Eigenerzeugten elektrischen Energie [StrSt 2,03 Ct / kWh] spielt für das Produzierende Gewerbe meist keine Rolle, wenn die Energiesteuern [MinÖSt, StrSt] im Wege des Vorwegabzugs und des Spitzenausgleichs ohnehin weitgehend erstattet werden.
- Ein akzeptabler Steuervorteil ist die volle Erstattung der MinÖSt auf Erdgas [0,55 Ct / kWh / Ho] bei gasmotorischer Verwendung in KWK.

Ausblick

- Im Entwurf des neuen KWK- Gesetzes ist zwar erstmals eine KWK-Zulage von 1,5 Ct / kWh für den Eigenerzeugten Strom im produzierenden Gewerbe vorgesehen, jedoch sinkend um - 0,2 Ct / kWh p.a.. Es ist kaum anzunehmen, dass das Gesetz einen nennenswerten Investitionsanreiz bringt. Die Zulagen sind fast marginal und zeitlich begrenzt. Die Zielerreichung des Gesetzes (KWK- Strom von 12 auf 25% Anteil verdoppeln) ist mehr als fraglich.
- Das ab 01.01.2009 geplante Erneuerbare- Energien- Wärmegesetz [EEWärmeG] verpflichtet jeden Gebäudeeigentümer bei wesentlichen Änderungen (auch beim Austausch eines Heizkessels!) zur Umsetzung von Energiesparmaßnahmen bzw. zum Einsatz regenerativer Energien. Eine der zulässigen Ersatzmaßnahmen ist die Wärmebereitstellung im Wege der Kraft- / Wärmekopplung („überwiegend KWK“). Von diesem Gesetz könnte ein Impuls für die KWK ausgehen.

Ausblick

Der Wärmebezug aus subventionsgestützten Anlagen nach dem Erneuerbare Energien- Gesetz [EEG; Novellierung ab 01.01.2009] ist zukünftig mit Unsicherheiten verbunden, sofern flüssige Brennstoffe eingesetzt werden. Unproblematisch ist der Wärmebezug aus Biogas- oder Holzfeuerungsanlagen.

- Flüssige Biomasse [Biodiesel, Rapsöl] aus heimischem Anbau ist relativ teuer, so dass sich die Verstromung kaum noch lohnt.
- Flüssige Biomasse aus Importen [Soja- oder Palmöl] steht auf einer Negativliste und ist zukünftig nur noch dann als Brennstoff in EEG-förderfähigen Anlagen zulässig, wenn die Anforderungen nach § 67 Satz 1 Nr. 2 b EEG- Entwurf erfüllt werden [„Nachhaltige Bewirtschaftung“].
- Nach dem heutigen Stand der Projektentwicklung wird Biomethan im Erdgasnetz erst deutlich nach 2010 in größeren Mengen verfügbar sein.

e.on

Hanse
Wärme

Vielen Dank für Ihre
Aufmerksamkeit