

UNIVERSITÄT
DUISBURG
ESSEN

Titel

LUAT
Lehrstuhl für
Umweltverfahrens-
technik und
Anlagentechnik
Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil.
Klaus Görner

ef.Ruhr
Universitäten
■ Bochum
■ Dortmund
■ Duisburg-Essen

gwi
Gaswärme-Institut

DPG
Frühjahrsitzung
des AKE
Bad Honnef
26./27.04.2006
Folie 1

**Einsatz der Mikro-KWK-
Technik im Wohnbereich**
- Dezentrale gekoppelte Erzeugung von
Strom und Wärme für Gebäude -

Klaus Görner
Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil.

Lehrstuhl für Umweltverfahrenstechnik und Anlagentechnik LUAT
Universität Duisburg-Essen
Gaswärme-Institut Essen

Deutsche Physikalische Gesellschaft
Frühjahrsitzung des Arbeitskreises Energie
27. April 2006

UNIVERSITÄT
DUISBURG
ESSEN

Inhalt

LUAT
Lehrstuhl für
Umweltverfahrens-
technik und
Anlagentechnik
Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil.
Klaus Görner

ef.Ruhr
Universitäten
■ Bochum
■ Dortmund
■ Duisburg-Essen

gwi
Gaswärme-Institut

DPG
Frühjahrsitzung
des AKE
Bad Honnef
26./27.04.2006
Folie 2

- Hintergrund
- Zentrale Kraft-Wärme-Kopplung (KWK)
- Bedeutung der dezentralen Energiewandlung
- Mikro-Kraft-Wärme-Kopplung (μ -KWK)
- Technisch / Wirtschaftliche Anforderungen
- Zusammenfassung

LUAT

Lehrstuhl für
Umweltverfahrens-
technik und
Anlagentechnik
Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil.
Klaus Görner

ef.Ruhr

Universitäten
Bochum
Dortmund
Duisburg-Essen



DPG

Frühjahrsitzung
des AKE

Bad Honnef
26./27.04.2006

Folie 3

Die EU verfolgt im Bereich Energie 4 Strategien

- **Intelligenter Umgang mit Energie**
 - ohne Einschränkung des Lebensstandards
- **CO₂-arme Verbrennung**
 - in allen Leistungsbereichen
 - alle zur Verfügung stehenden Technologien
- **Erneuerbare Energien**
 - in allen Leistungsbereichen
 - alle zur Verfügung stehenden Technologien
- **Kernenergieeinsatz**

Dr. Linkohr, EU-Berater, VGB Kraftwerke 2005, Krakau

LUAT

Lehrstuhl für
Umweltverfahrens-
technik und
Anlagentechnik
Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil.
Klaus Görner

ef.Ruhr

Universitäten
Bochum
Dortmund
Duisburg-Essen



DPG

Frühjahrsitzung
des AKE

Bad Honnef
26./27.04.2006

Folie 4

CO₂-Emissionen in Deutschland und Kyoto-Ziel in Mio t/a

Die energieverbrauchsbedingten CO₂-Emissionen in Deutschland sind 2004 praktisch unverändert geblieben: Kyoto-Ziel in Gefahr



DIW-Wochenbericht 08/2003

LUAT

Lehrstuhl für
Umweltverfahrens-
technik und
Anlagentechnik
Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil.
Klaus Görner

ef.Ruhr

Universitäten
■ Bochum
■ Dortmund
■ Duisburg-Essen



DPG

Frühjahrsitzung
des AKE

Bad Honnef
26./27.04.2006

Folie 5

CO₂-Minderungspotentiale

Wie können die energieverbrauchsbedingten CO₂-Emissionen in Deutschland weiter gesenkt werden?

■ **Durch Energieeinsparung**

- Absenkung des Wärmebedarfs (Energieeinsparverordnung)
- Verwendung hoch-effizienter, innovativer Gerätetechnik



■ **Verstärkte Nutzung „CO₂-emissionsarmer“ Energieträger**

- Erneuerbare Energien
- Erdgas

LUAT

Lehrstuhl für
Umweltverfahrens-
technik und
Anlagentechnik
Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil.
Klaus Görner

ef.Ruhr

Universitäten
■ Bochum
■ Dortmund
■ Duisburg-Essen



DPG

Frühjahrsitzung
des AKE

Bad Honnef
26./27.04.2006

Folie 6

Energieeinsparung

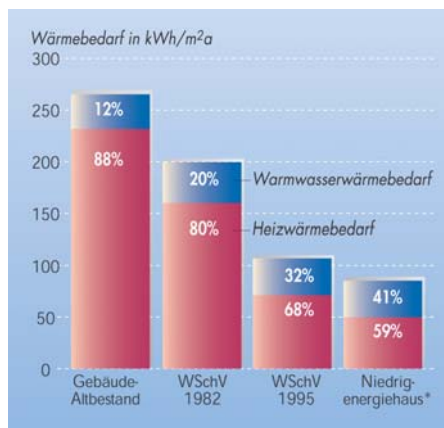
Gemäß der **Energieeinsparverordnung (EnEV)** ist der Heizwärmebedarf von Wohnungen / Gebäuden deutlich gesenkt worden

Neubaubereich

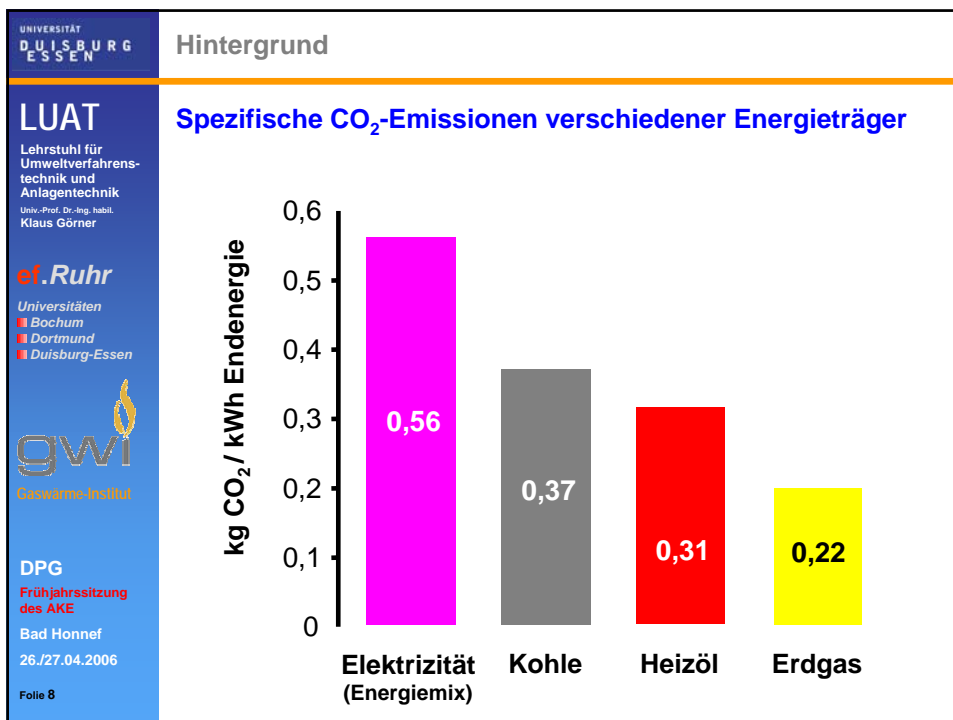
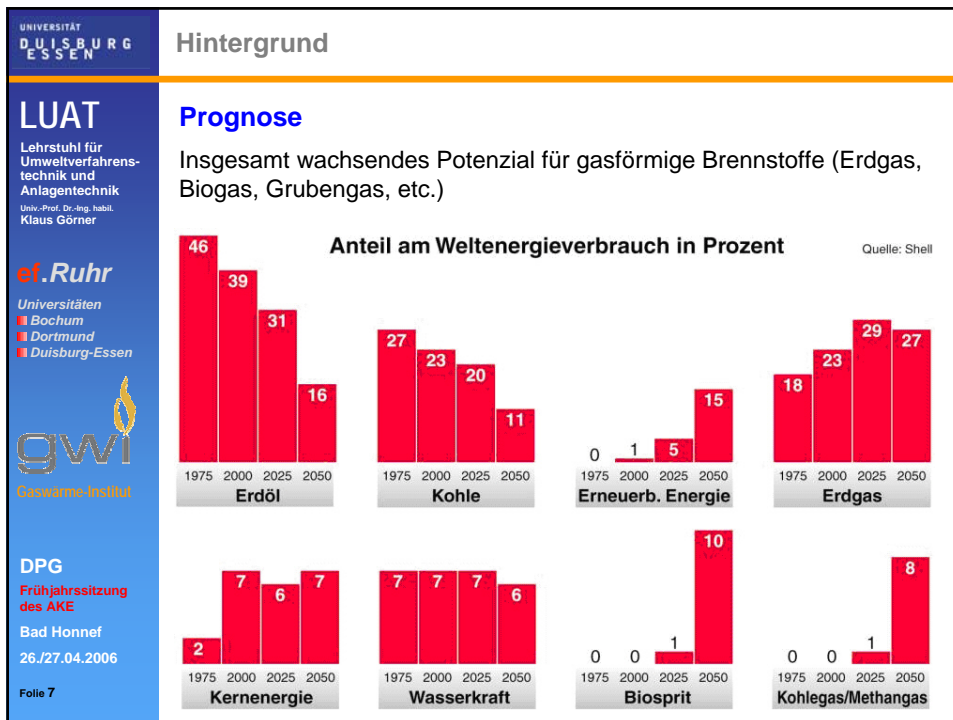
Senkung des Energiebedarfs um bis zu 30 % durch moderne Heiztechnik und / oder verbesserten Wärmeschutz

Altbaubereich

Austausch alter Heizgeräte; Dämmung von Geschossdecken / Warmwasserleitungen



Quelle: ASUE



LUAT

Lehrstuhl für
Umweltverfahrens-
technik und
Anlagentechnik
Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil.
Klaus Görner

ef.Ruhr

Universitäten
■ Bochum
■ Dortmund
■ Duisburg-Essen



DPG

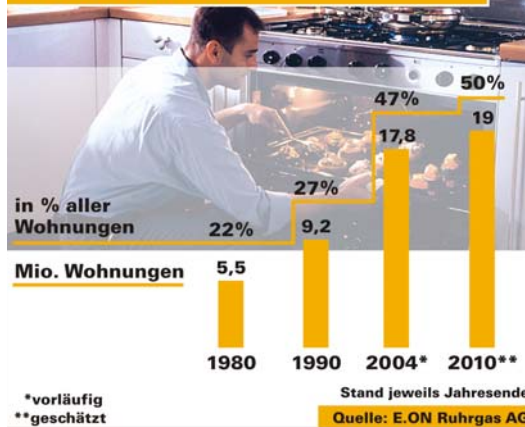
Frühjahrsitzung
des AKE

Bad Honnef
26./27.04.2006

Folie 9

Bedeutung des Energieträgers Erdgas für die häusliche Energieversorgung

Wohnungen mit Erdgasheizung in Deutschland



LUAT

Lehrstuhl für
Umweltverfahrens-
technik und
Anlagentechnik
Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil.
Klaus Görner

ef.Ruhr

Universitäten
■ Bochum
■ Dortmund
■ Duisburg-Essen



DPG

Frühjahrsitzung
des AKE

Bad Honnef
26./27.04.2006

Folie 10

- Hintergrund
- **Zentrale Kraft-Wärme-Kopplung (KWK)**
- Bedeutung der dezentralen Energiewandlung
- Mikro-Kraft-Wärme-Kopplung (μ -KWK)
- Technisch / Wirtschaftliche Anforderungen
- Zusammenfassung

LUAT

Lehrstuhl für
Umweltverfahrens-
technik und
Anlagentechnik
Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil.
Klaus Görner

ef.Ruhr

Universitäten
Bochum
Dortmund
Duisburg-Essen

gwi
Gesamtschulort

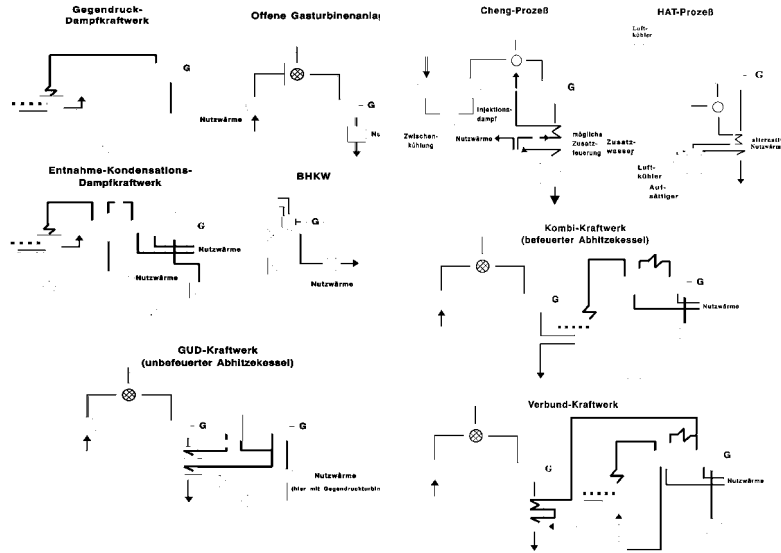
DPG

Frühjahrsitzung
des AKE

Bad Honnef
26./27.04.2006

Folie 11

Verschiedene Varianten



LUAT

Lehrstuhl für
Umweltverfahrens-
technik und
Anlagentechnik
Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil.
Klaus Görner

ef.Ruhr

Universitäten
Bochum
Dortmund
Duisburg-Essen

gwi
Gesamtschulort

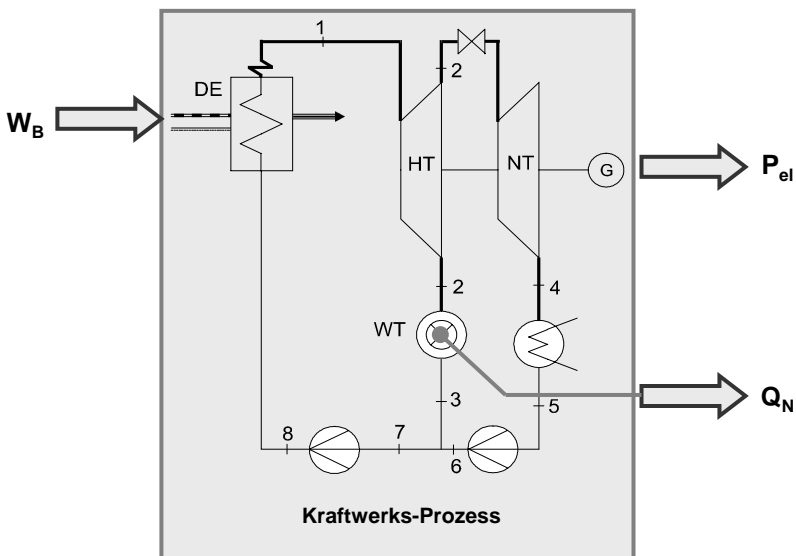
DPG

Frühjahrsitzung
des AKE

Bad Honnef
26./27.04.2006

Folie 12

Kennzahlen der Kraft-Wärme-Kopplung



LUAT

Lehrstuhl für
Umweltverfahrens-
technik und
Anlagentechnik
Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil.
Klaus Görner

ef.Ruhr

Universitäten
Bochum
Dortmund
Duisburg-Essen

gwi
Gesamthochschule

DPG

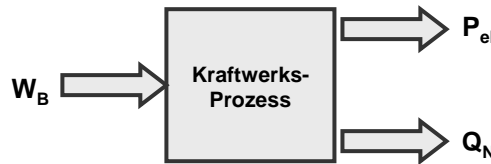
Frühjahrsitzung
des AKE

Bad Honnef
26./27.04.2006

Folie 13

Kennzahlen der Kraft-Wärme-Kopplung

Energetische Betrachtung



Exergetische Betrachtung



P_{el}	elektr. Arbeit
Q_N	Nutzwärme
W_B	Brennstoff-energiestrom (therm. Input) $m_B \cdot H_U$
E_B	Brennstoff-exergiestrom $m_B \cdot e_{xU}$

LUAT

Lehrstuhl für
Umweltverfahrens-
technik und
Anlagentechnik
Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil.
Klaus Görner

ef.Ruhr

Universitäten
Bochum
Dortmund
Duisburg-Essen

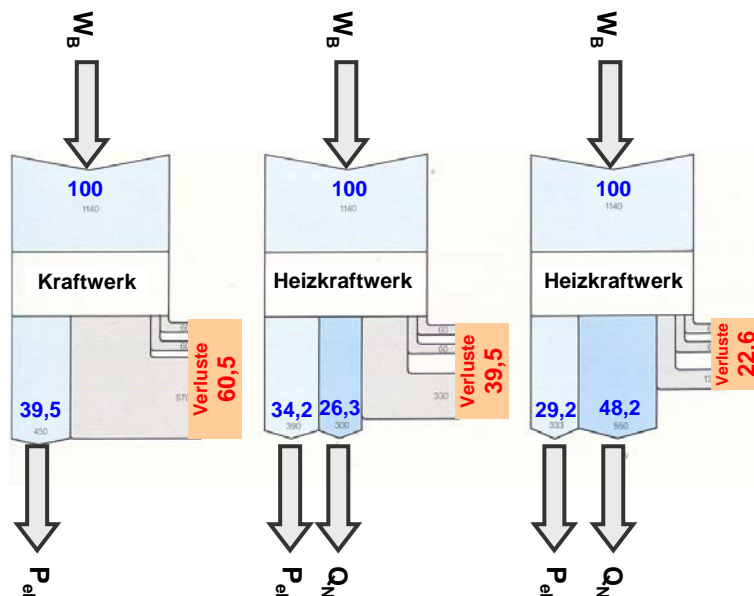
gwi
Gesamthochschule

DPG

Frühjahrsitzung
des AKE

Bad Honnef
26./27.04.2006

Folie 14



LUAT

Lehrstuhl für
Umweltverfahrens-
technik und
Anlagentechnik
Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil.
Klaus Görner

ef.Ruhr

Universitäten
Bochum
Dortmund
Duisburg-Essen



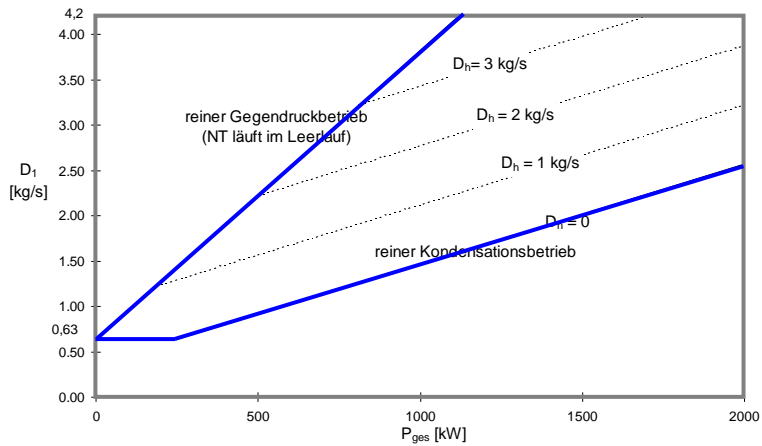
DPG

Frühjahrsitzung
des AKE

Bad Honnef
26./27.04.2006

Folie 15

Entnahmediagramm



LUAT

Lehrstuhl für
Umweltverfahrens-
technik und
Anlagentechnik
Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil.
Klaus Görner

ef.Ruhr

Universitäten
Bochum
Dortmund
Duisburg-Essen



DPG

Frühjahrsitzung
des AKE

Bad Honnef
26./27.04.2006

Folie 16

Kennzahlen der Kraft-Wärme-Kopplung

- **Stromkennzahl** $\sigma = \frac{P_{el}}{\dot{Q}_N}$
- **Stromausbeute** (elektrischer Wirkungsgrad) $\eta_{el} = \beta = \frac{P_{el}}{\dot{W}_B}$
- **Wärmeausbeute** $\gamma = \frac{\dot{Q}_N}{\dot{W}_B}$
- **Brennstoffnutzungsgrad** (energetischer Wirkungsgrad) $\omega = \frac{P_{el} + \dot{Q}_N}{\dot{W}_B}$
- **exergetischer Nutzungsfaktor** (exergetischer Wirkungsgrad, Gütegrad) $\xi = \frac{P_{el} + \dot{E}_N}{\dot{E}_B}$

P_{el}	elektr. Arbeit
\dot{Q}_N	Nutzwärme
\dot{W}_B	Brennstoff- energiestrom (therm. Input) $m_B \cdot H_U$
\dot{E}_B	Brennstoff- exergiestrom $m_B \cdot e_{xU}$

KWK-System	Elektrische Leistung	Elektrischer Wirkungsgrad	Stromkennzahl	Brennstoffnutzungsgrad
	P_{el} [MW]	η_{el} [-]	P_{el}/Q_N [-]	$(P_{el}+Q_N)/W_B$ [-]
Dampf-KW mit Gegen-druckturbine	10 - 300	0,15 – 0,33	0,3 – 0,6	0,8 – 0,9
Dampf-KW mit Entnahme-kondensations-turbine	10 - 300	0,32 – 0,36	0,8 – 2,5	0,55 – 0,7
GT-KW mit Abhitze-nutzung (offene GT)	0,5 - 250	0,15 – 0,35	0,3 – 0,7	0,7 – 0,85
Gas-/Dampf-KW mit Abhitze-nutzung	ca. 370 je Modul	0,35 – 0,42	0,7 – 2,7	0,6 – 0,9
BHKW Gas- oder Dieselmotor	0,01 - 20	0,25 – 0,43	0,3 – 1,2	0,8 – 0,95

Zentrale Kraft-Wärme-Kopplung

CO₂-Bilanz

$$\Delta c_{CO_2} = 1 - \frac{C_{KWK} \left(1 + \frac{1}{\sigma}\right)}{\frac{c_{el}}{\eta_{el}} + \frac{c_{th}}{\sigma \eta_{th}}}$$

c_{CO_2} spez. Emissionskoeff. des jeweil. Brennstoffs

C_{el} getrennte Stromerzeugung

C_{th} getrennte Wärmeerzeugung

$$\sigma = \frac{P_{el}}{Q_N} \quad \eta_{el} = \beta = \frac{P_{el}}{W_B} \quad \omega = \frac{P_{el} + \dot{Q}_N}{W_B}$$

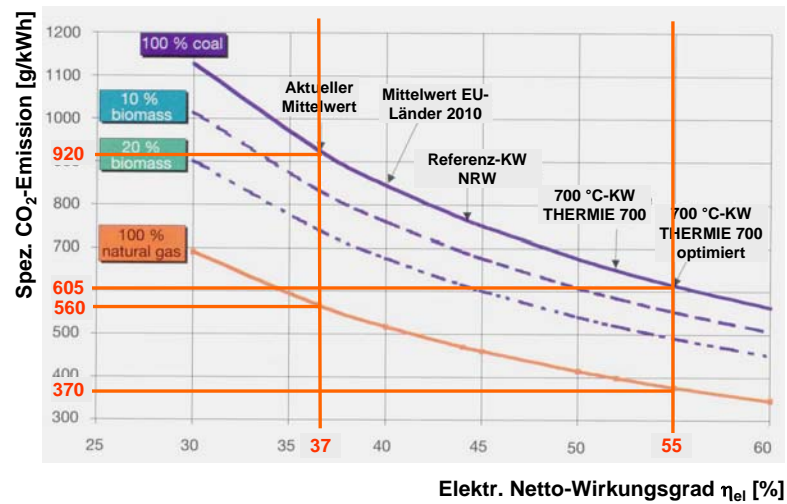
kg CO₂/ kWh Endenergie

Strom	Kohle	Heizöl	Erdgas
0,56	0,37	0,31	0,22

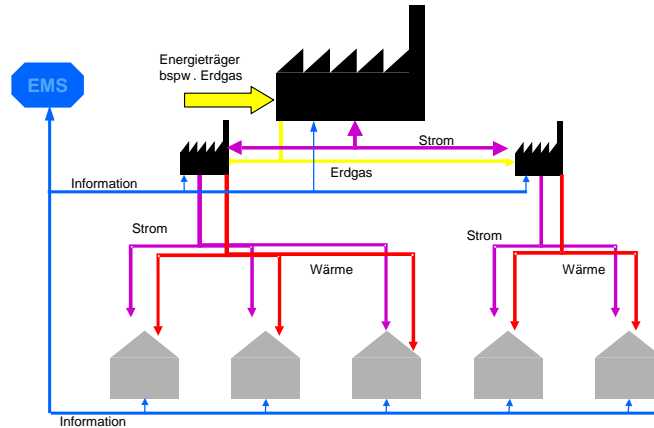
KWK-System	Relative Brennstoffenergieeinsparung $\Delta \omega_B$ [-]	Relative CO ₂ -Emissionsminderung Δc_{CO_2} [%]
Dampf-KW mit Gegendruckturbine	17	-35
Dampf-KW mit Entnahmekondensationsturbine	27	27
BHKW Gas- oder Dieselmotor	44	49

Zentrale Kraft-Wärme-Kopplung

Spez. CO₂-Emissionen für reine Stromerzeugung



- Hintergrund
- Zentrale Kraft-Wärme-Kopplung (KWK)
- **Bedeutung der dezentralen Energiewandlung**
- Mikro-Kraft-Wärme-Kopplung (μ-KWK)
- Technisch / Wirtschaftliche Anforderungen
- Zusammenfassung



Quelle: Handschin, Universität Dortmund

Einbindung ins
Niederspannungsnetz

Einsatzbereiche

Monovalenter Betrieb

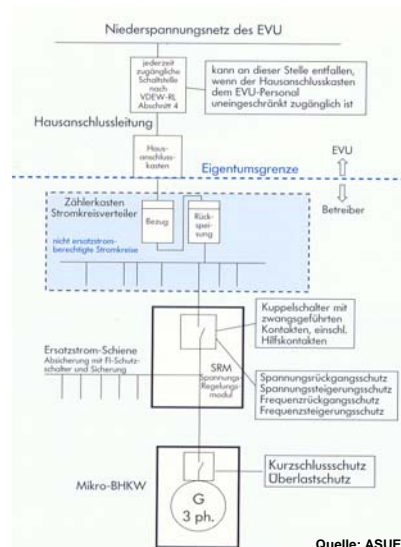
- Gebäudeheizung
(stromerzeugende Heizung)

Netzersatzbetrieb

- Rettungsdienst, Feuerwehr, Polizei
- Banken (EDV)
- Verwaltungsgebäude (EDV)
- Produktionsbetriebe mit
empfindlichen Verbrauchern

Inselbetrieb

- Hütten auf Bergen oder Inseln



Quelle: ASUE

LUAT

Lehrstuhl für
Umweltverfahrens-
technik und
Anlagentechnik
Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil.
Klaus Görner

ef.Ruhr

Universitäten
■ Bochum
■ Dortmund
■ Duisburg-Essen



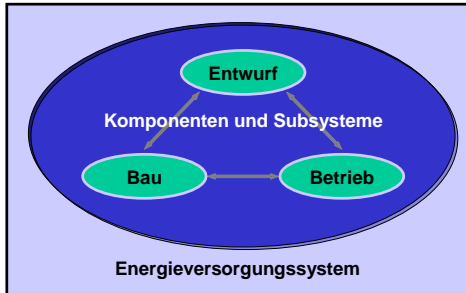
DPG

Frühjahrsitzung
des AKE

Bad Honnef
26./27.04.2006

Folie 23

Gesamthafte Betrachtung und Optimierung von Versorgungsnetzen



Beispielhafte Anwendungsfelder:

- Dezentrale, integrierte Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung
- Dynamisches Verhalten von Offshore-Windkraftanlagen
- Verfügbarkeitsoptimierung von Kraftwerksanlagen

- Integrale Behandlung von Systemen, Subsystemen und Komponenten der Energieversorgung
- Verbesserung der Anwendbarkeit numerischer Berechnungsmethoden bezüglich ihres Zeit- und Ressourcenaufwandes
- Anwendung von Verfahren der CI
- Höhere Detailtreue bei der Berücksichtigung wesentlicher, ansonsten vernachlässigter physikalischer Effekte

Quelle: Handschin, Universität Dortmund

LUAT

Lehrstuhl für
Umweltverfahrens-
technik und
Anlagentechnik
Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil.
Klaus Görner

ef.Ruhr

Universitäten
■ Bochum
■ Dortmund
■ Duisburg-Essen



DPG

Frühjahrsitzung
des AKE

Bad Honnef
26./27.04.2006

Folie 24

- Hintergrund
- Zentrale Kraft-Wärme-Kopplung (KWK)
- Bedeutung der dezentralen Energiewandlung
- **Mikro-Kraft-Wärme-Kopplung (μ -KWK)**
- Technisch / Wirtschaftliche Anforderungen
- Zusammenfassung

LUAT

Lehrstuhl für
Umweltverfahrens-
technik und
Anlagentechnik
Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil.
Klaus Görner

ef.Ruhr

Universitäten
Bochum
Dortmund
Duisburg-Essen



DPG

Frühjahrsitzung
des AKE

Bad Honnef
26./27.04.2006

Folie 25

Definition und Leistungsbereich

Definition

KWK-Anlagen zeichnen sich durch eine zeitgleiche Erzeugung von Strom (allg. mechanische / elektrische Arbeit) und Nutzwärme aus.

Leistungsbereiche

Bisher keine allgemein akzeptierte Definition.

<u>Motorische Anlagen</u>	< 10 kW _{el} 10 – 100 kW _{el}	Mikro-KWK (μ-KWK) Mini-KWK
<u>Brennstoffzellen-Anlagen</u>	< 10 kW _{el} 10 – 100 kW _{el}	Mikro-KWK (μ-KWK) Mini-KWK <i>Entwicklungsschritte von kleinen zu großen Leistungen</i>
<u>Gasturbinen-Anlagen</u>	< 100 kW _{el}	Mikro-KWK (μ-KWK) <i>Entwicklungsschritte von großen zu kleinen Leistungen</i>

LUAT

Lehrstuhl für
Umweltverfahrens-
technik und
Anlagentechnik
Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil.
Klaus Görner

ef.Ruhr

Universitäten
Bochum
Dortmund
Duisburg-Essen



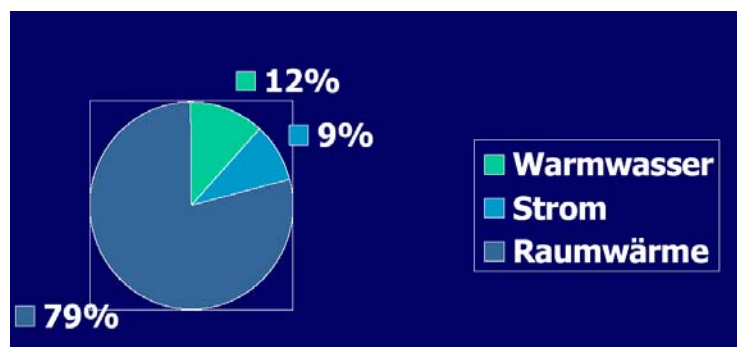
DPG

Frühjahrsitzung
des AKE

Bad Honnef
26./27.04.2006

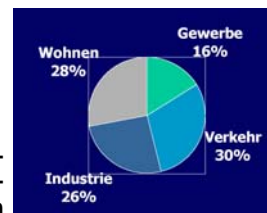
Folie 26

Energiebedarf für Gebäude



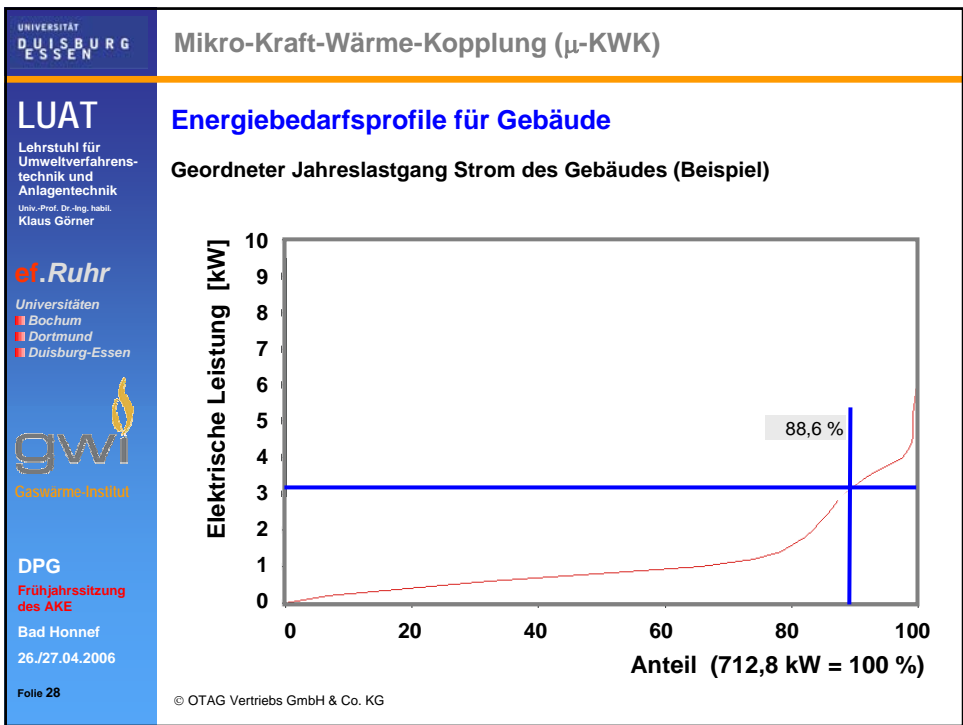
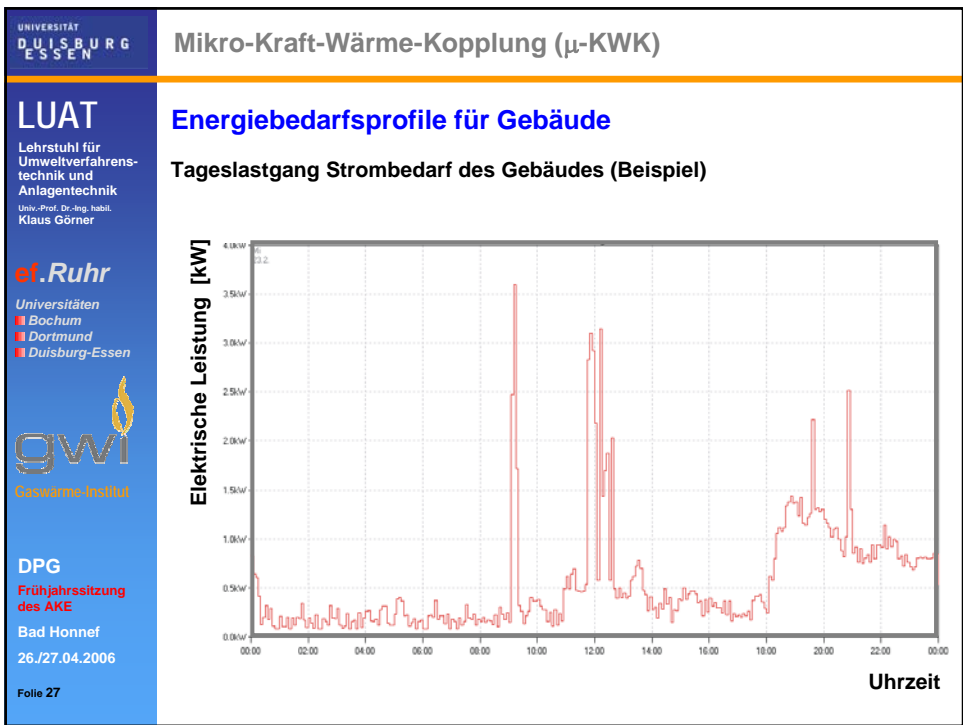
Endenergieverbrauch

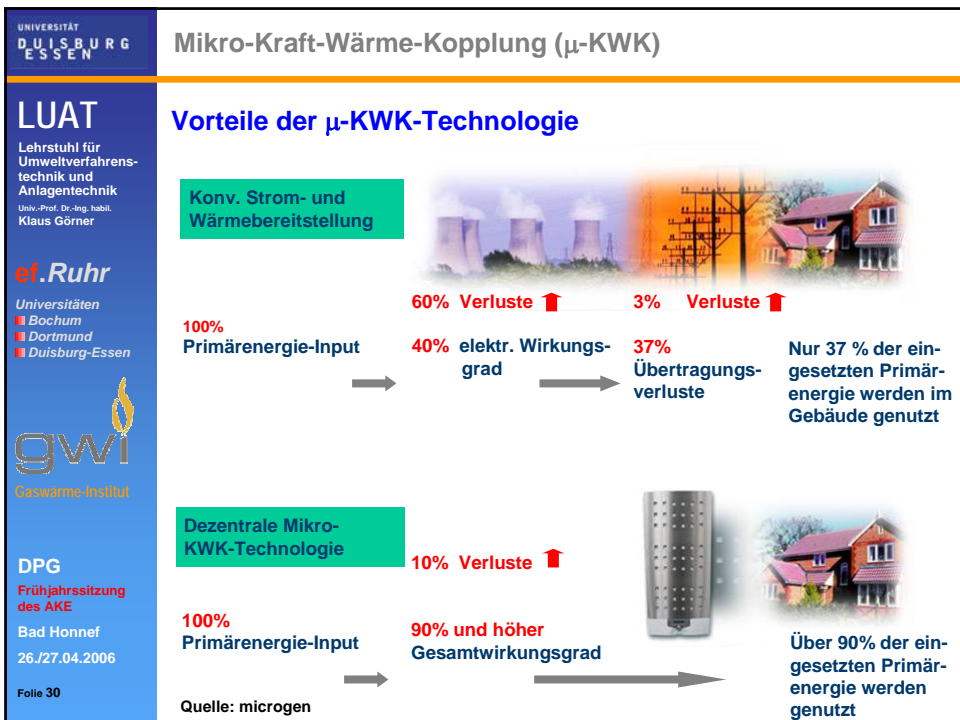
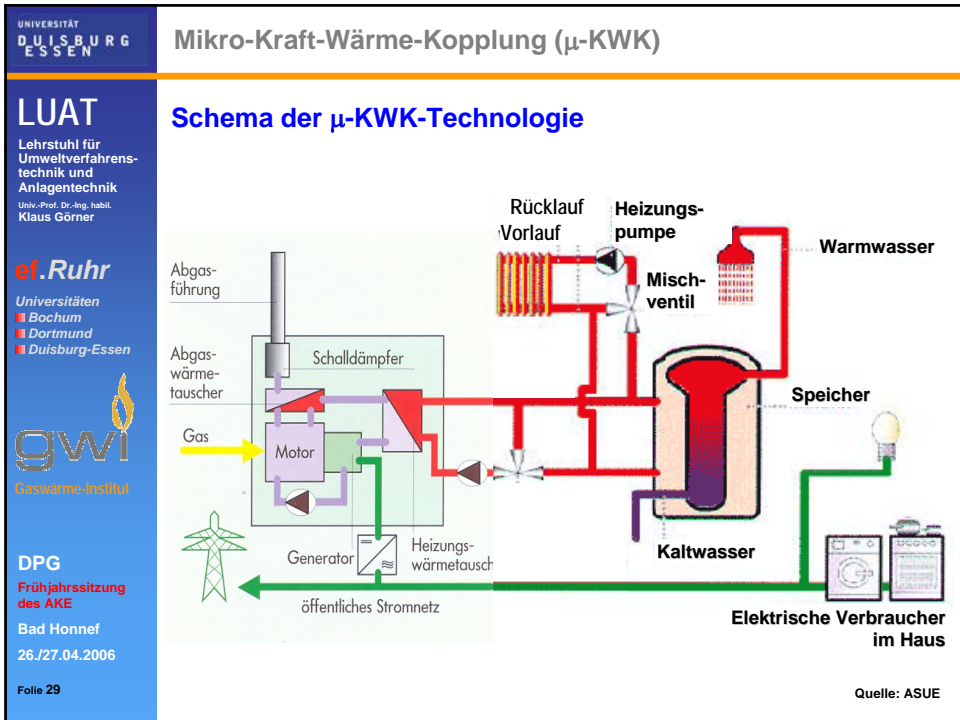
Strom- / Raumwärmebedarf:
1 / 9



Primärenergieverbrauch

Quelle: www.ea-nrw.de/_database/





LUAT

Lehrstuhl für
Umweltverfahrens-
technik und
Anlagentechnik
Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil.
Klaus Görner

ef.Ruhr

Universitäten
Bochum
Dortmund
Duisburg-Essen



DPG

Frühjahrsitzung
des AKE

Bad Honnef
26./27.04.2006

Folie 31

Technologische Entwicklungsstufen

Sinkender Wärmebedarf erfordert kleine und hocheffiziente Gasgeräte

■ **Stand der Technik**

Brennwerttechnik
Motorisches BHKW



■ **„Brückentechnologie“**

Gasbetriebene
Wärmepumpe

■ **Zukunftstechnologien**

Mikro-KWK-Technologien (langfristig)
- Stirlingmotoren, dampfbetriebene und
gasmotorisch betriebene KWK-Anlagen
- Mikro-Gasturbinen
- Brennstoffzelle



LUAT

Lehrstuhl für
Umweltverfahrens-
technik und
Anlagentechnik
Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil.
Klaus Görner

ef.Ruhr

Universitäten
Bochum
Dortmund
Duisburg-Essen



DPG

Frühjahrsitzung
des AKE

Bad Honnef
26./27.04.2006

Folie 32

Stand der Technik

Gasmotorisch betriebene μ -KWK-Anlagen

ecopower

Leistungsdaten

- elektr. Leistung 1,3 – 4,7 kW
- therm. Leistung 4,0 – 12,5 kW
- Brennstoff Erdgas
Flüssiggas (Propan)
- Brennstoffleistung 8,8 – 19 kW



Honda



LUAT

Lehrstuhl für
Umweltverfahrens-
technik und
Anlagentechnik
Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil.
Klaus Görner

ef.Ruhr

Universitäten
Bochum
Dortmund
Duisburg-Essen

gwi
Gesamthochschule

DPG

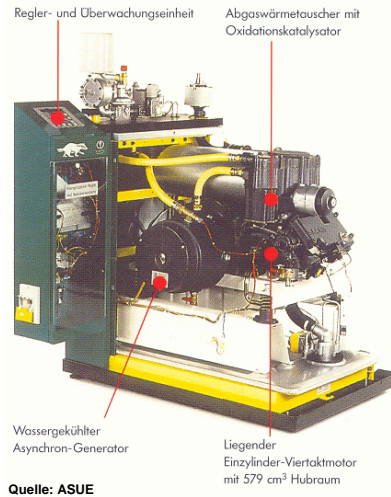
Frühjahrsitzung
des AKE

Bad Honnef
26./27.04.2006

Folie 33

Stand der Technik

Motorisches BHKW
(Benzin-/Diesel-Motor)



Leistungsdaten

- Otto-1-Zylinder-Viertaktmotor
- Elektr. Leistung bis 10 kW
- Lebensdauer bis 80.000 h
- Wartungsintervalle bis 4.000 h (entspricht ca. 100.000 h Fahrleistung beim PKW)

Einsatzbereiche

Monovalenter Betrieb

- Gebäudeheizung (stromerzeugende Heizung)

Netzersatzbetrieb

- Rettungsd., Feuerwehr, Polizei
- Banken (EDV)
- Verwaltungsgebäude (EDV)
- Produktionsbetriebe mit empfindlichen Verbrauchern

Inselbetrieb

- Hütten auf Bergen oder Inseln

LUAT

Lehrstuhl für
Umweltverfahrens-
technik und
Anlagentechnik
Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil.
Klaus Görner

ef.Ruhr

Universitäten
Bochum
Dortmund
Duisburg-Essen

gwi
Gesamthochschule

DPG

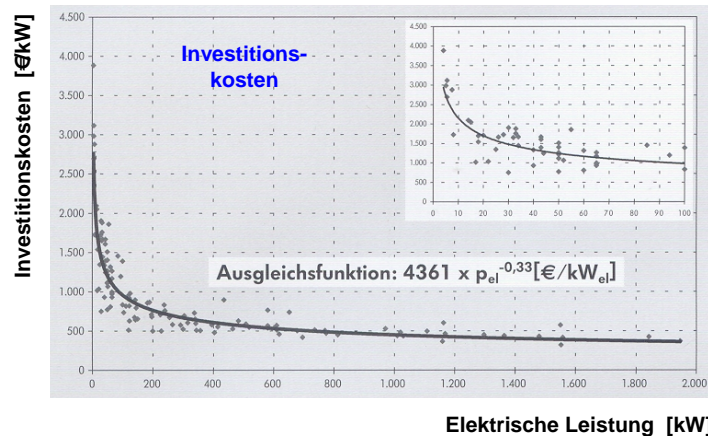
Frühjahrsitzung
des AKE

Bad Honnef
26./27.04.2006

Folie 34

Stand der Technik

Motorisches BHKW (Erdgas-Motor)

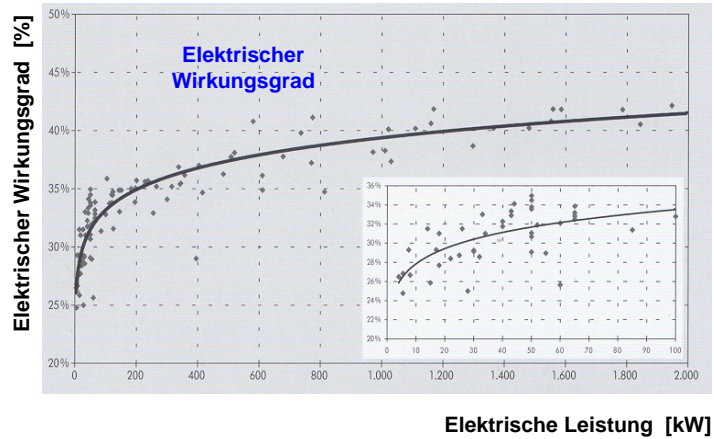


Quelle: ASUE

Mikro-Kraft-Wärme-Kopplung (μ -KWK)

Stand der Technik

Motorisches BHKW (Erdgas-Motor)

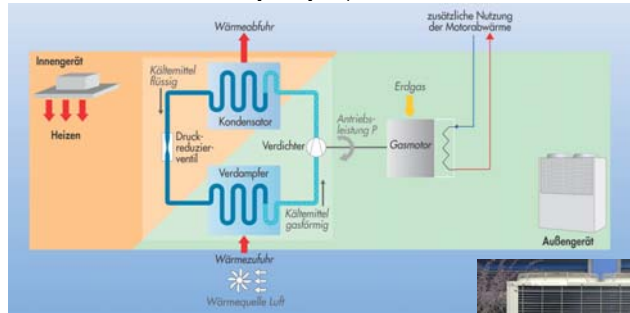


Quelle: ASUE

Mikro-Kraft-Wärme-Kopplung (μ -KWK)

„Brückentechnologie“

Gasbetriebene Wärmepumpe (Heizen / Kühlen / Klimatisierung)



Quelle: ASUE



Quelle: GWI

LUAT

Lehrstuhl für
Umweltverfahrens-
technik und
Anlagentechnik
Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil.
Klaus Görner

ef.Ruhr

Universitäten
Bochum
Dortmund
Duisburg-Essen



DPG

Frühjahrsitzung
des AKE

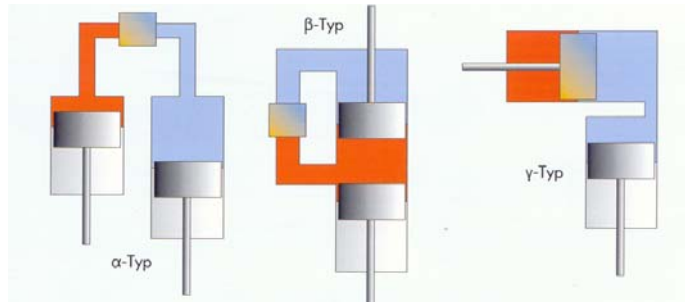
Bad Honnef

26./27.04.2006

Folie 37

Zukunftstechnologien

Stirlingmotoren



Verschiedene Anordnungen von Kolben, Zylinder und Regeneratoren

Stirlingprinzip

Quelle: ASUE

LUAT

Lehrstuhl für
Umweltverfahrens-
technik und
Anlagentechnik
Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil.
Klaus Görner

ef.Ruhr

Universitäten
Bochum
Dortmund
Duisburg-Essen



DPG

Frühjahrsitzung
des AKE

Bad Honnef

26./27.04.2006

Folie 38

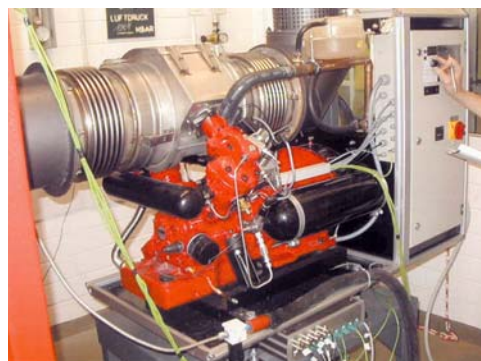
Zukunftstechnologien

Stirlingmotoren

WhisperGen



Stirling



Quelle: ASUE

LUAT

Lehrstuhl für
Umweltverfahrens-
technik und
Anlagentechnik
Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil.
Klaus Görner

ef.Ruhr

Universitäten
■ Bochum
■ Dortmund
■ Duisburg-Essen



DPG

Frühjahrsitzung
des AKE

Bad Honnef
26./27.04.2006

Folie 39

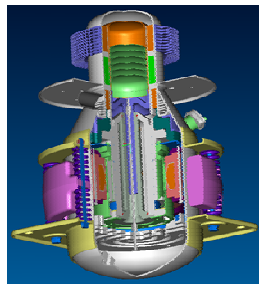
Zukunftstechnologien

Stirlingmotoren

MicroGen

Leistungsdaten:

- elektr. Leistung 1 kW
- therm. Leistung 15 kW
- 24 kW
- 36kW
- Markteinführung 2007



LUAT

Lehrstuhl für
Umweltverfahrens-
technik und
Anlagentechnik
Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil.
Klaus Görner

ef.Ruhr

Universitäten
■ Bochum
■ Dortmund
■ Duisburg-Essen



DPG

Frühjahrsitzung
des AKE

Bad Honnef
26./27.04.2006

Folie 40

Zukunftstechnologien

Stirlingmotoren

MicroGen

Leistungsdaten (erreicht)

- **Brennstoffnutzungsgrad**
- 98%
- **Elektrische Leistung**
- nominal 1 kW bei 230V
- **Elektrischer Wirkungsgrad**
- 16%
- **Geräuschpegel**
- 41,8 dB(A)
- **Schadstoffemissionen**
- NO_x <60 mg/kWh

LUAT

Lehrstuhl für
Umweltverfahrens-
technik und
Anlagentechnik
Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil.
Klaus Görner

ef.Ruhr

Universitäten
Bochum
Dortmund
Duisburg-Essen



DPG

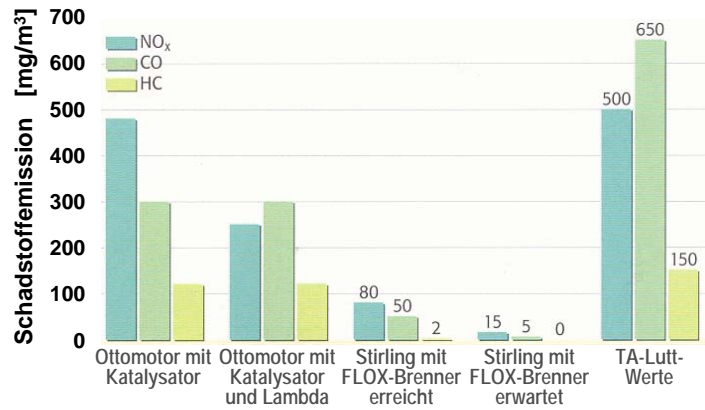
Frühjahrsitzung
des AKE

Bad Honnef
26./27.04.2006

Folie 41

Zukunftstechnologien

Stirlingmotoren Emissionen



LUAT

Lehrstuhl für
Umweltverfahrens-
technik und
Anlagentechnik
Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil.
Klaus Görner

ef.Ruhr

Universitäten
Bochum
Dortmund
Duisburg-Essen



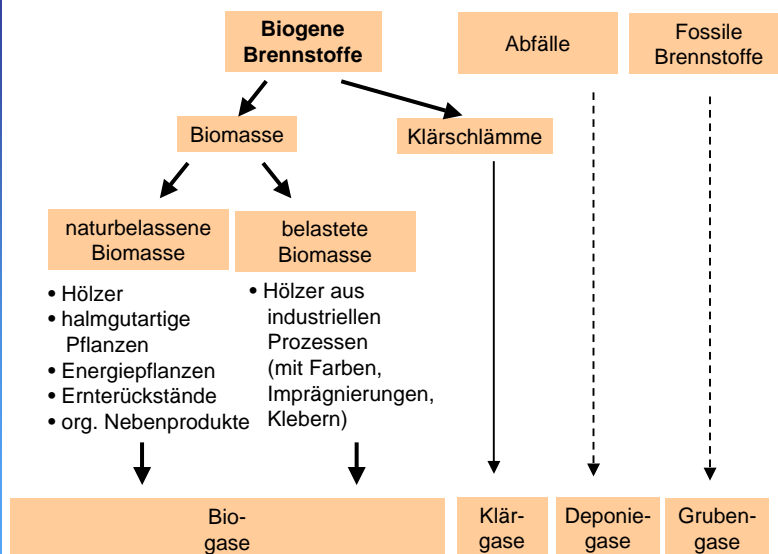
DPG

Frühjahrsitzung
des AKE

Bad Honnef
26./27.04.2006

Folie 42

Stirling-Motor als „Allesfresser“ bzgl. des Brennstoff-Portfolios



LUAT

Lehrstuhl für
Umweltverfahrens-
technik und
Anlagentechnik
Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil.
Klaus Görner

ef.Ruhr

Universitäten
■ Bochum
■ Dortmund
■ Duisburg-Essen



DPG

Frühjahrsitzung
des AKE

Bad Honnef
26./27.04.2006

Folie 43

Biogas

Zusammensetzung

Methan **55 - 70%**
CO₂ **25 - 35%**

Restliche

Bestandteile.

- im wesentlichen
Wasser

Begleitstoffe:

- BTEX
- NH₃
- Schwefel-
verbindungen



Biogasanlage Hof Loick

Quelle:
Fhg UMSICHT, Oberhausen

LUAT

Lehrstuhl für
Umweltverfahrens-
technik und
Anlagentechnik
Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil.
Klaus Görner

ef.Ruhr

Universitäten
■ Bochum
■ Dortmund
■ Duisburg-Essen



DPG

Frühjahrsitzung
des AKE

Bad Honnef
26./27.04.2006

Folie 44

Klärgas

Zusammensetzung

CH₄ **55 - 70%**
CO₂ **20 - 35%**

Begleitstoffe in

Abwässern:

- Siloxane
- BTEX
- Schwefelver-
bindungen,
- Halogenide
(Chlor, Fluor)
- Schwermetalle



Quelle:
Fhg UMSICHT, Oberhausen

LUAT

Lehrstuhl für
Umweltverfahrens-
technik und
Anlagentechnik
Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil.
Klaus Görner

ef.Ruhr

Universitäten
■ Bochum
■ Dortmund
■ Duisburg-Essen



DPG

Frühjahrsitzung
des AKE

Bad Honnef
26./27.04.2006

Folie 45

Grubengas

Zusammensetzung

CH ₄	40 - 75%
CO ₂	10 - 15%
N ₂	10 - 40%

Entstand durch
Inkohlungsprozess
(Karbon) bei hohen
Temperaturen und
Drücken

Adsorptiv in der
Kohle und im
Gestein eingelagert



Quelle:
Fhg UMSICHT, Oberhausen

LUAT

Lehrstuhl für
Umweltverfahrens-
technik und
Anlagentechnik
Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil.
Klaus Görner

ef.Ruhr

Universitäten
■ Bochum
■ Dortmund
■ Duisburg-Essen



DPG

Frühjahrsitzung
des AKE

Bad Honnef
26./27.04.2006

Folie 46

Deponiegas

Zusammensetzung

Methan	45 - 60%
CO ₂	30 - 40%
Stickstoff	1 - 15%

Restliche Bestandteile
im wesentlichen Wasser

Begleitstoffe:

- Siloxane
- BTEX
- Halogenide
(Chlor-, Fluor- oder
Schwefelverbindungen)
- höhere Kohlenwasser-
stoffe.



LUAT

Lehrstuhl für
Umweltverfahrens-
technik und
Anlagentechnik
Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil.
Klaus Görner

ef.Ruhr

Universitäten
■ Bochum
■ Dortmund
■ Duisburg-Essen

gwi
Gesamthochschule

DPG

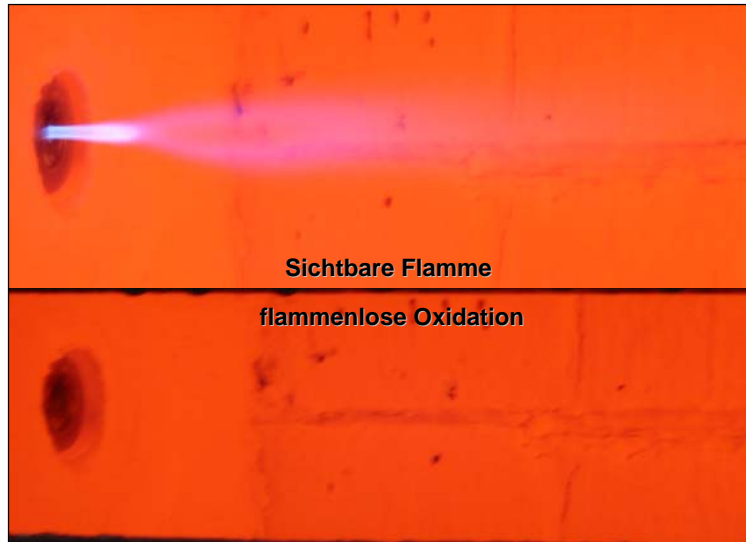
Frühjahrsitzung
des AKE

Bad Honnef

26./27.04.2006

Folie 47

Flammlose Oxidation, mild combustion, distributed combustion



LUAT

Lehrstuhl für
Umweltverfahrens-
technik und
Anlagentechnik
Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil.
Klaus Görner

ef.Ruhr

Universitäten
■ Bochum
■ Dortmund
■ Duisburg-Essen

gwi
Gesamthochschule

DPG

Frühjahrsitzung
des AKE

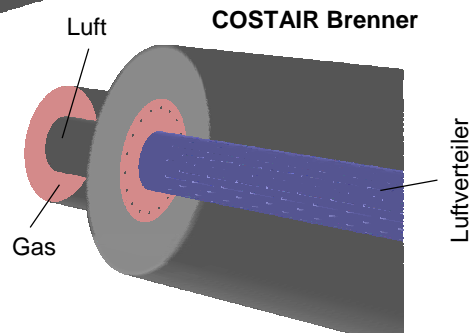
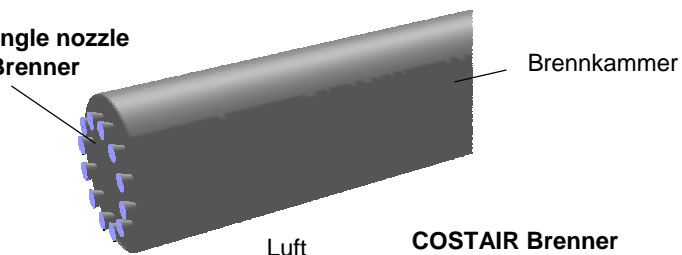
Bad Honnef

26./27.04.2006

Folie 48

Modellierung der Untersuchten Brenner

**Multi single nozzle
FLOX Brenner**



UNIVERSITÄT
DUISBURG
ESSEN

LUAT

Lehrstuhl für
Umweltverfahrens-
technik und
Anlagentechnik
Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil.
Klaus Görner

ef.Ruhr

Universitäten
■ Bochum
■ Dortmund
■ Duisburg-Essen

gwi

Gaswerts Institut

DPG

Frühjahrsitzung
des AKE

Bad Honnef
26./27.04.2006

Folie 49

Mikro-Kraft-Wärme-Kopplung (μ -KWK)

Luftverteiler- und Flammenform des COSTAIR-Brenners



UNIVERSITÄT
DUISBURG
ESSEN

LUAT

Lehrstuhl für
Umweltverfahrens-
technik und
Anlagentechnik
Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil.
Klaus Görner

ef.Ruhr

Universitäten
■ Bochum
■ Dortmund
■ Duisburg-Essen

gwi

Gaswerts Institut

DPG

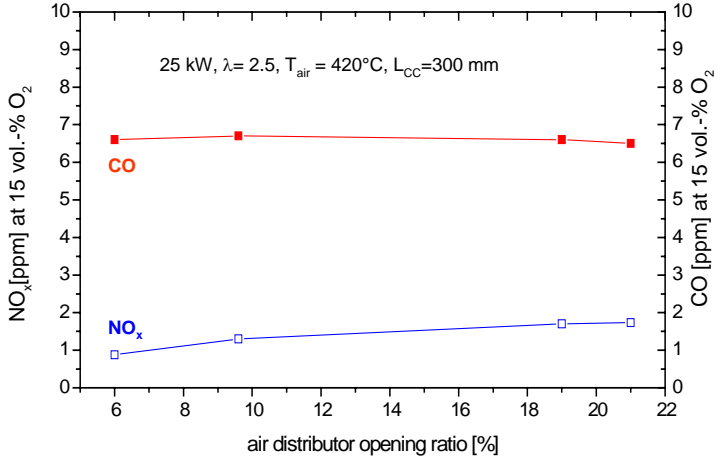
Frühjahrsitzung
des AKE

Bad Honnef
26./27.04.2006

Folie 50

Mikro-Kraft-Wärme-Kopplung (μ -KWK)

Gemessene NO_x - und CO-Emissionen des COSTAIR-Brenners



Air distributor opening ratio [%]	CO [ppm] at 15 vol.-% O ₂	NO _x [ppm] at 15 vol.-% O ₂
6	~6.5	~0.8
10	~6.8	~1.2
19	~6.5	~1.6
21	~6.3	~1.7

LUAT

Lehrstuhl für
Umweltverfahrens-
technik und
Anlagentechnik
Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil.
Klaus Görner

ef.Ruhr

Universitäten
Bochum
Dortmund
Duisburg-Essen



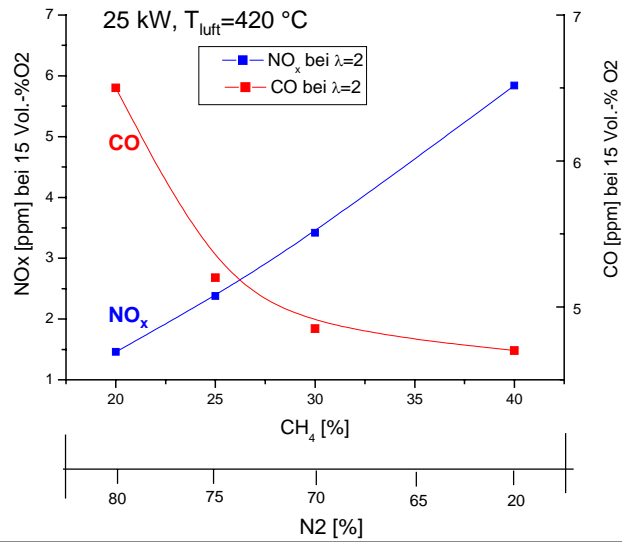
DPG

Frühjahrsitzung
des AKE

Bad Honnef
26./27.04.2006

Folie 51

Gemessene NO_x - und CO-Emissionen für den COSTAIR-Brenner



LUAT

Lehrstuhl für
Umweltverfahrens-
technik und
Anlagentechnik
Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil.
Klaus Görner

ef.Ruhr

Universitäten
Bochum
Dortmund
Duisburg-Essen



DPG

Frühjahrsitzung
des AKE

Bad Honnef
26./27.04.2006

Folie 52

Zukunftstechnologien

Dampfbetriebene μ -KWK-Anlagen



enginjon

Innovative Komponente:
Dampfmotor



OTAG

Innovative Komponente:
Linator

LUAT

Lehrstuhl für
Umweltverfahrens-
technik und
Anlagentechnik
Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil.
Klaus Görner

ef.Ruhr

Universitäten
Bochum
Dortmund
Duisburg-Essen



DPG

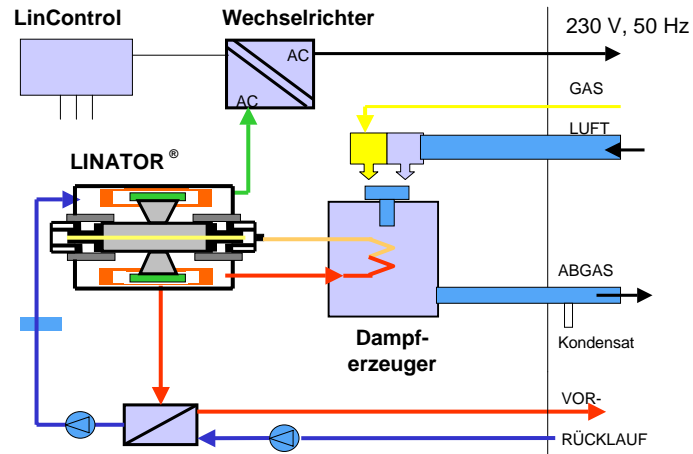
Frühjahrsitzung
des AKE

Bad Honnef
26./27.04.2006

Folie 53

Zukunftstechnologien

Dampfbetriebene μ -KWK-Anlagen - OTAG-Linator



© OTAG Vertriebs GmbH & Co. KG

LUAT

Lehrstuhl für
Umweltverfahrens-
technik und
Anlagentechnik
Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil.
Klaus Görner

ef.Ruhr

Universitäten
Bochum
Dortmund
Duisburg-Essen



DPG

Frühjahrsitzung
des AKE

Bad Honnef
26./27.04.2006

Folie 54

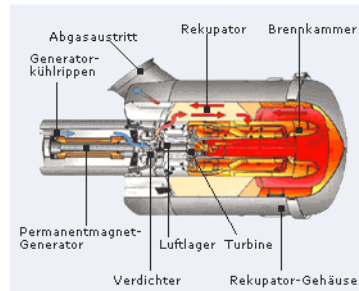
Zukunftstechnologien

Mikro-Gasturbine (μ -GT)



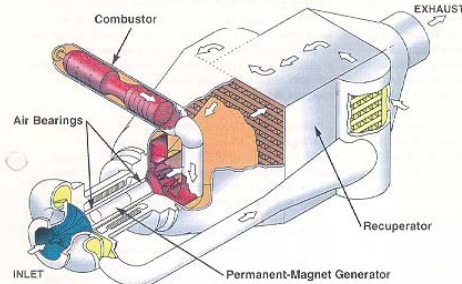
MODEL 330
Grid-Connect
Natural Gas

Capstone



Quelle: Allied Signal

TurboGenerator Power Unit



LUAT

Lehrstuhl für
Umweltverfahrens-
technik und
Anlagentechnik
Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil.
Klaus Görner

ef.Ruhr

Universitäten
Bochum
Dortmund
Duisburg-Essen

gwi
Gaswäme Institut

DPG

Frühjahrsitzung
des AKE

Bad Honnef
26./27.04.2006

Folie 55

Zukunftstechnologien

Mikro-Gasturbine (μ -GT)



Quelle: ASUE

Leistungsdaten

- Drehzahlbereich 70.000 bis 100.000 U/min
- Elektr. Leistung ab 28 kW
- Gasvordruck 3,8 - 8,5 bar
- Abgastemperatur 270 - 680 °C
- Wartungsintervalle 4.000 - 8.000 h

Einsatzbereiche

Gewerbliche Anwendungen zur Strom- und Dampferzeugung

- Wäschereien
- Brauereien
- Großtrockner
- Krankenhäuser
- Hotels
- Verwaltungsgebäude

LUAT

Lehrstuhl für
Umweltverfahrens-
technik und
Anlagentechnik
Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil.
Klaus Görner

ef.Ruhr

Universitäten
Bochum
Dortmund
Duisburg-Essen

gwi
Gaswäme Institut

DPG

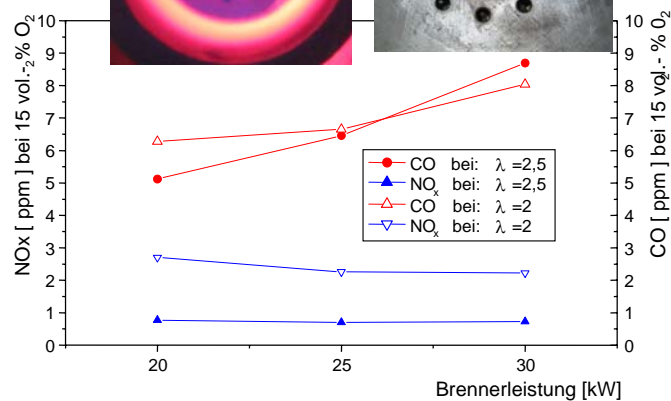
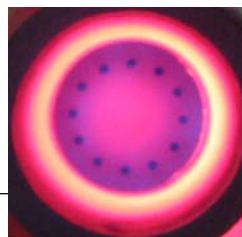
Frühjahrsitzung
des AKE

Bad Honnef
26./27.04.2006

Folie 56

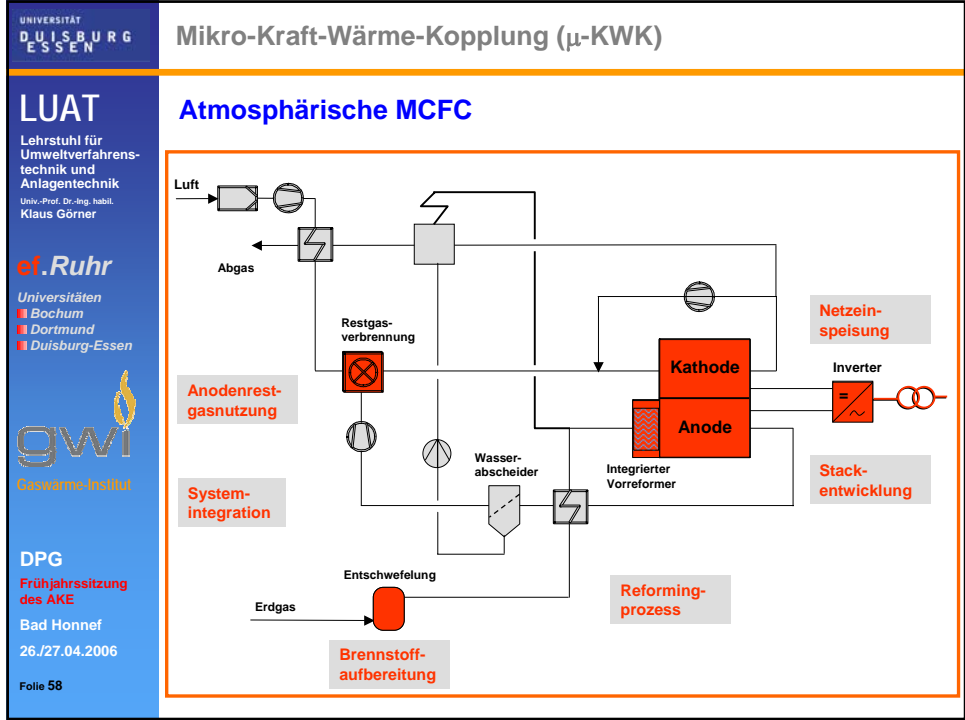
Zukunftstechnologien - Mikro-Gasturbine (μ -GT)

Gemessene NO_x- und CO-Emissionen des Mehrdüsen-FLOXbrenners



Quelle: GWI

Mikro-Kraft-Wärme-Kopplung (μ -KWK)					
Zukunftstechnologien					
Brennstoffzelle (Einteilung und Wirkungsgrade)					
	Niedertemperatur-Brennstoffzellen			Hochtemperatur-Brennstoffzellen	
	AFC	PEMFC	PAFC	MCFC	SOFC
Brennstoffzellen-Typ	Alkalisch	Membran	Phosphorsauer	Schmelzkarbonat	Oxidkeramisch
Elektrolyt	30%-ige Kalilauge	protonenleitende Membran	konzentrierte Phosphorsäure	Alkali-karbonat-schmelzen	Yttrium-stabilisiertes Zirkondioxid
Arbeitstemperatur [°C]	60 - 80	70 - 90	170 - 200	650	900 - 1000
Brennstoff	Reinstwasserstoff	Wasserstoff, Erdgas, Methanol	Wasserstoff, Erdgas, Sondergase	Wasserstoff, Erdgas, Sondergase	Wasserstoff, Erdgas, Sondergase
el. Anlagenwirkungsgrad	ca. 60 %	40 - 50%	40 - 45%	55 - 60%	60 - 70%
Einsatzbereiche	Raumfahrt	KfZ-Antrieb, Kleinstanw., BHKW	BHKW	BHKW, Kraftwerke	BHKW, Kraftwerke



LUAT

Lehrstuhl für
Umweltverfahrens-
technik und
Anlagentechnik
Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil.
Klaus Görner

ef.Ruhr

Universitäten
Bochum
Dortmund
Duisburg-Essen



DPG

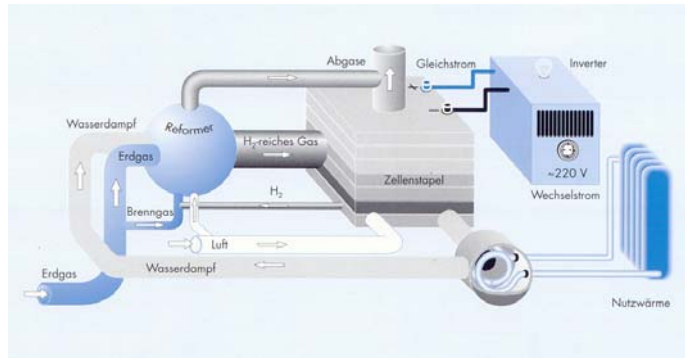
Frühjahrsitzung
des AKE

Bad Honnef

26./27.04.2006

Folie 59

PEMFC



LUAT

Lehrstuhl für
Umweltverfahrens-
technik und
Anlagentechnik
Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil.
Klaus Görner

ef.Ruhr

Universitäten
Bochum
Dortmund
Duisburg-Essen



DPG

Frühjahrsitzung
des AKE

Bad Honnef

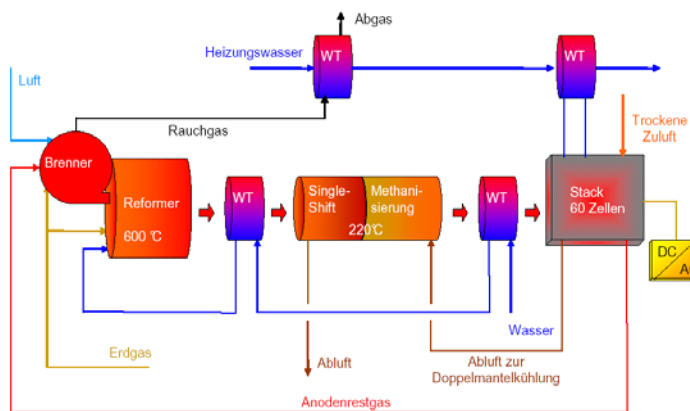
26./27.04.2006

Folie 60

Zukunftstechnologien

Brennstoffzelle

Viessmann



Quelle: Viessmann

UNIVERSITÄT
DUISBURG
ESSEN

LUAT
Lehrstuhl für
Umweltverfahrens-
technik und
Anlagentechnik
Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil.
Klaus Görner

ef.Ruhr
Universitäten
■ Bochum
■ Dortmund
■ Duisburg-Essen

gwi
Gesamtschritt

DPG
Frühjahrsitzung
des AKE
Bad Honnef
26./27.04.2006
Folie 61

Mikro-Kraft-Wärme-Kopplung (μ -KWK)

Zukunftstechnologien

Brennstoffzelle

Viessmann



UNIVERSITÄT
DUISBURG
ESSEN

LUAT
Lehrstuhl für
Umweltverfahrens-
technik und
Anlagentechnik
Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil.
Klaus Görner

ef.Ruhr
Universitäten
■ Bochum
■ Dortmund
■ Duisburg-Essen

gwi
Gesamtschritt

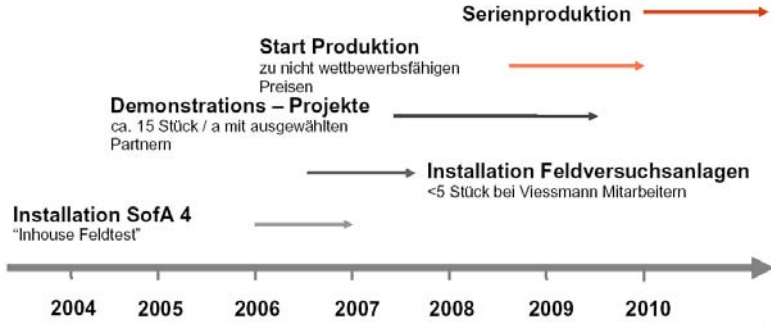
DPG
Frühjahrsitzung
des AKE
Bad Honnef
26./27.04.2006
Folie 62

Mikro-Kraft-Wärme-Kopplung (μ -KWK)

Zukunftstechnologien

Brennstoffzelle (zeitliche Umsetzung)

Viessmann



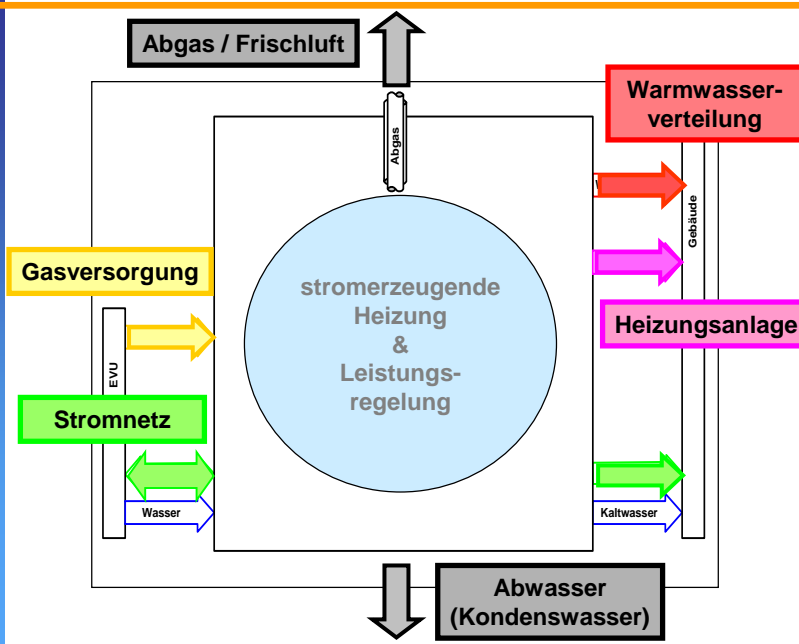
Installation SofA 4 "Inhouse Feldtest" (2006)
Demonstrations – Projekte ca. 15 Stück / a mit ausgewählten Partnern (2006-2008)
Start Produktion zu nicht wettbewerbsfähigen Preisen (2008-2009)
Serienproduktion (ab 2009)
Installation Feldversuchsanlagen <5 Stück bei Viessmann Mitarbeitern (ab 2007)

2004 2005 2006 2007 2008 2009 2010

Technisch / wirtschaftliche Anforderungen

- Hintergrund
- Zentrale Kraft-Wärme-Kopplung (KWK)
- Bedeutung der dezentralen Energiewandlung
- Mikro-Kraft-Wärme-Kopplung (μ -KWK)
- **Technisch / Wirtschaftliche Anforderungen**
- Zusammenfassung

Technisch / wirtschaftliche Anforderungen



UNIVERSITÄT
DUISBURG
ESSEN

Technisch / wirtschaftliche Anforderungen

LUAT
Lehrstuhl für
Umweltverfahrens-
technik und
Anlagentechnik
Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil.
Klaus Görner

ef.Ruhr
Universitäten
■ Bochum
■ Dortmund
■ Duisburg-Essen

gwi
Gesamthochschule

DPG
Frühjahrsitzung
des AKE
Bad Honnef
26./27.04.2006
Folie 65

**Abwasser
(Kondenswasser)** Gegebenenfalls **Neutralisation** erforderlich.

Stromnetz

Hausanschlussbereich
ENS muss in Mikro-KWK-Maschine integriert sein.
Ideal: Anschluss mittels Stecker, d.h. kein fester Anschluss.
Bis 4,7 kW einphasige, darüber dreiphasige Einspeisung.
Zähler für Einspeisung erforderlich (ausser netzgepufferter Betrieb)

Gasversorgung

Hausanschlussbereich
Auslegung von Zähler und GS sind zu überprüfen.

Abgas / Frischluft

Abgasabführung
Ideal: Anschluss an ggf. vorh. Standardsystem (LAS).
Verbrennungsluftzufuhr über LAS.
Zusammenführung aller Abgase im Aufstellraum.

UNIVERSITÄT
DUISBURG
ESSEN

Technisch / wirtschaftliche Anforderungen

LUAT
Lehrstuhl für
Umweltverfahrens-
technik und
Anlagentechnik
Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil.
Klaus Görner

ef.Ruhr
Universitäten
■ Bochum
■ Dortmund
■ Duisburg-Essen

gwi
Gesamthochschule

DPG
Frühjahrsitzung
des AKE
Bad Honnef
26./27.04.2006
Folie 66

**Warmwasser-
verteilung**

Bei direkter Warmwasserbereitung

- kleines Warmwassernetz
- sofort verfügbare, hohe Leistung,
- Toleranz gegenüber häufigen Starts/Stopps.

Bei indirekter Warmwasserbereitung (Speicher)

- Warmwassernetz mit Zirkulationsleitung,
- zusätzliche Pumpe erforderlich.

Heizungsanlage

Bei direkter Einbindung

- sofort verfügbare Leistung,
- Toleranz gegenüber häufigen Starts/Stopps.

Bei indirekter Einbindung (Speicher)

- zusätzliche Pumpe erforderlich.

UNIVERSITÄT DUISBURG ESSEN

Technisch / wirtschaftliche Anforderungen

LUAT
Lehrstuhl für Umweltverfahrenstechnik und Anlagentechnik
Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Klaus Görner

ef.Ruhr
Universitäten
■ Bochum
■ Dortmund
■ Duisburg-Essen

gwi
Gesamthochschule

DPG
Frühjahrsitzung des AKE
Bad Honnef
26./27.04.2006
Folie 67

Alle weitergehenden Anforderungen an die stromerzeugende Heizung sind sehr abhängig von der Einbindung in die Energieversorgung des Gebäudes und können nicht verallgemeinert werden.

Hierzu zählen folgende Merkmale:

- Lastwechselfähigkeit
- Startverhalten
- Anzahl möglicher Starts/Stopps pro Jahr
- Variabilität der Kraft-Wärme-Kopplung
- Direkte / Indirekte Warmwasserbereitung

UNIVERSITÄT DUISBURG ESSEN

Technisch / wirtschaftliche Anforderungen

LUAT
Lehrstuhl für Umweltverfahrenstechnik und Anlagentechnik
Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Klaus Görner

ef.Ruhr
Universitäten
■ Bochum
■ Dortmund
■ Duisburg-Essen

gwi
Gesamthochschule

DPG
Frühjahrsitzung des AKE
Bad Honnef
26./27.04.2006
Folie 68

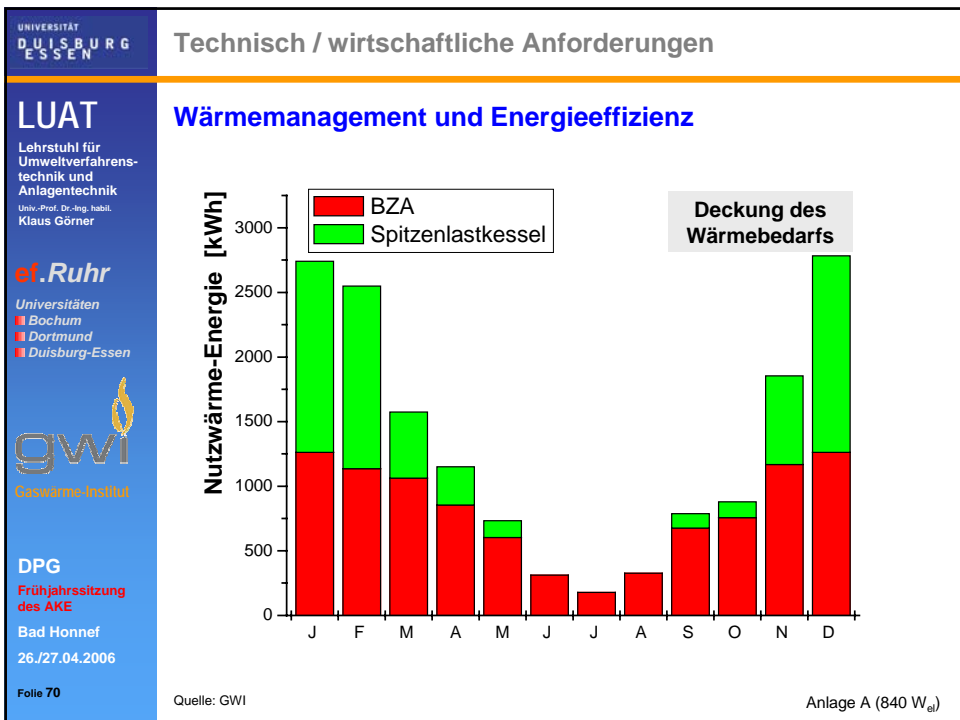
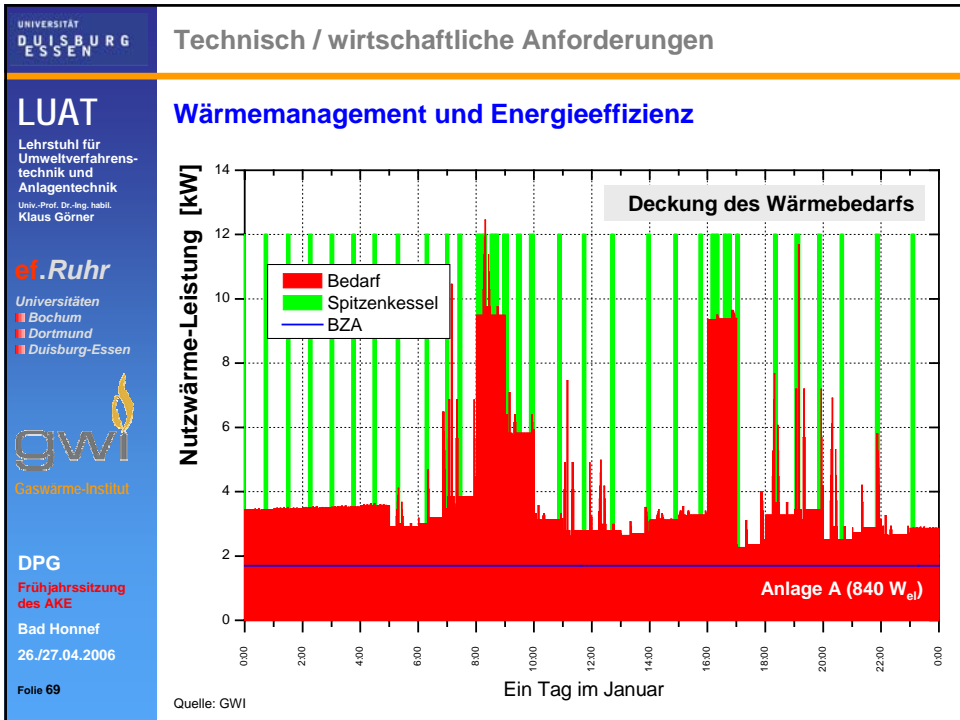
Wärmemanagement und Energieeffizienz

Struktur der Einbindung einer BZ-Heizanlage in die Wärme- und Stromversorgung

The diagram illustrates the energy flow from three input sources to an 'Objekt' (Object):

- Top Path:** Erdgas (yellow arrow) enters a 'Gasheizung 12 kW, nicht modulierend' (grey box). It produces 'Wärme' (orange arrow) which goes to a 'Wärmespeicher' (blue box). The 'Wärmespeicher' then provides 'Wärme Heizung + Warmwasser' (orange arrow) to the 'Objekt'.
- Middle Path:** Erdgas (yellow arrow) enters a 'BZA' (blue box). It produces 'Wärme' (orange arrow) which goes to the 'Wärmespeicher'. Additionally, it produces 'Direktstrom' (green arrow) which goes directly to the 'Objekt'.
- Bottom Path:** Brennstoffmix (yellow arrow) enters a 'KW' (blue box). It produces 'Verluste' (grey arrow pointing down) and 'Netzstrom' (green arrow) which goes to the 'Objekt'.
- Additional Flow:** 'Netzeinspeisung' (green arrow) also goes from the BZA area to the 'Objekt'.

Quelle: GWI



LUAT

Lehrstuhl für
Umweltverfahrens-
technik und
Anlagentechnik
Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil.
Klaus Görner

ef.Ruhr

Universitäten
Bochum
Dortmund
Duisburg-Essen



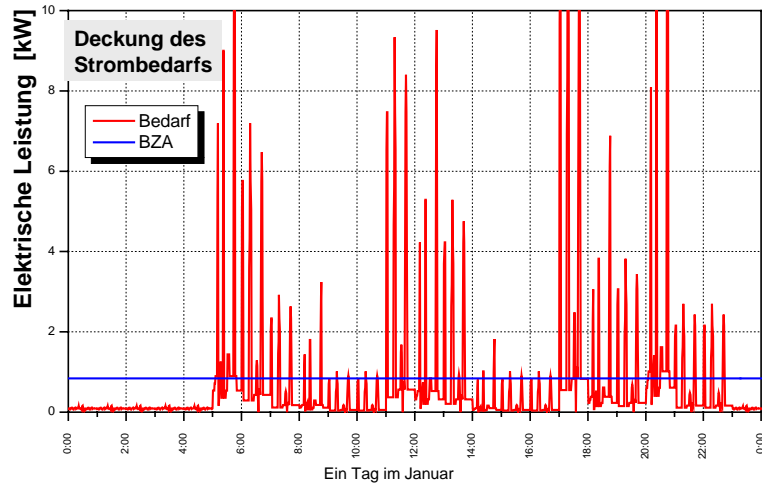
DPG

Frühjahrsitzung
des AKE

Bad Honnef
26./27.04.2006

Folie 71
Quelle: GWI

Wärmemanagement und Energieeffizienz



Trotz Stromerzeugung über Bedarfsmenge beträgt der Deckungsgrad nur 43,5 %

Anlage A (840 W_{el})

LUAT

Lehrstuhl für
Umweltverfahrens-
technik und
Anlagentechnik
Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil.
Klaus Görner

ef.Ruhr

Universitäten
Bochum
Dortmund
Duisburg-Essen



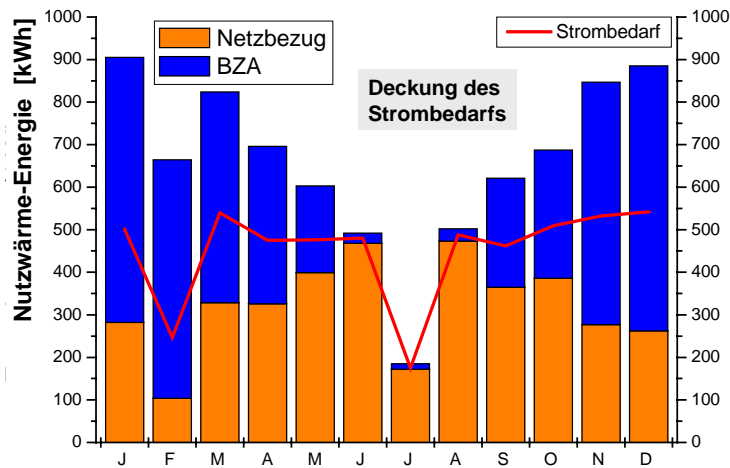
DPG

Frühjahrsitzung
des AKE

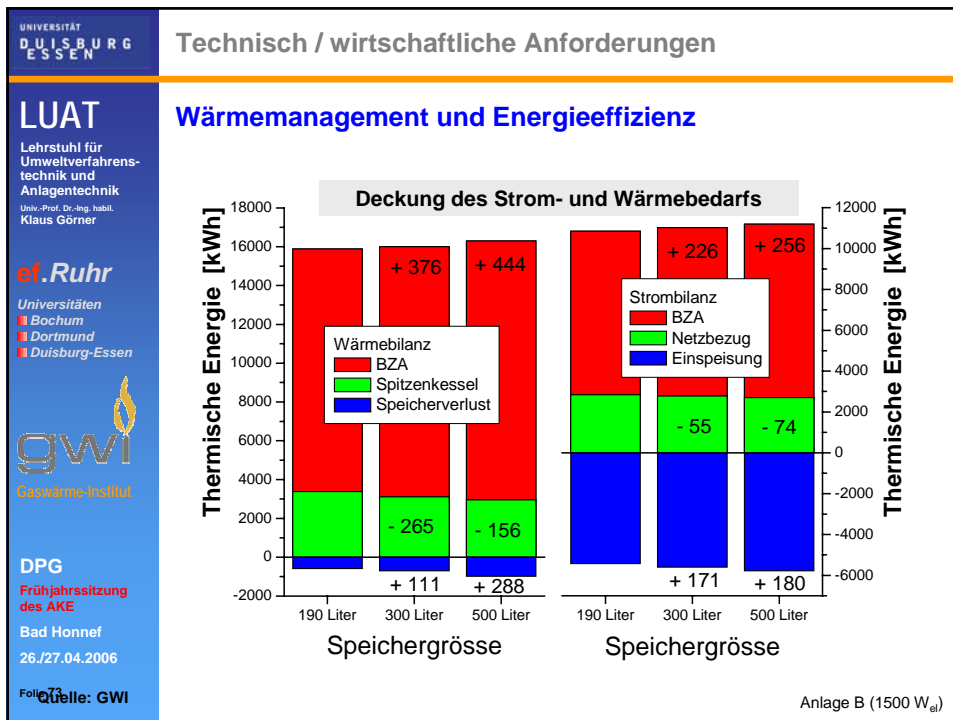
Bad Honnef
26./27.04.2006

Folie 72
Quelle: GWI

Wärmemanagement und Energieeffizienz



Anlage A (840 W_{el})



UNIVERSITÄT DUISBURG ESSEN

Inhalt

LUAT
Lehrstuhl für Umweltverfahrenstechnik und Anlagentechnik
Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Klaus Görner

ef.Ruhr
Universitäten
Bochum
Dortmund
Duisburg-Essen

gwi
Gesamthochschule

DPG
Frühjahrsitzung des AKE
Bad Honnef
26./27.04.2006

Folie 74

Zusammenfassung

- Hintergrund
- Zentrale Kraft-Wärme-Kopplung (KWK)
- Bedeutung der dezentralen Energiewandlung
- Mikro-Kraft-Wärme-Kopplung (μ -KWK)
- Technisch / Wirtschaftliche Anforderungen
- **Zusammenfassung**

<p>UNIVERSITÄT DUISBURG ESSEN</p> <p>LUAT Lehrstuhl für Umweltverfahrens- technik und Anlagentechnik <small>Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Klaus Görner</small></p> <p>ef.Ruhr <small>Universitäten ■ Bochum ■ Dortmund ■ Duisburg-Essen</small></p> <p>gwi <small>Gesamthochschule</small></p> <p>DPG Frühjahrsitzung des AKE Bad Honnef 26./27.04.2006 Folie 75</p>	<p>Zusammenfassung</p>
	<ul style="list-style-type: none"> ■ Die Kraft-Wärme-Kopplung ist eine bedeutende und weit genutzte Technologie mit einer hohen Effizienz. ■ Die Vorteile der KWK-Anlagen resultieren aus einer thermodynamisch günstigen, gleichzeitigen, in einer Anlage stattfindenden Erzeugung von Wärme und Strom. ■ Um die Vorteile der Kraft-Wärme Kopplung effizient nutzen zu können, ist es wichtig sicherzustellen, dass die erzeugte Wärme und auch Elektrizität dem tatsächlichen Bedarf entsprechen. ■ Für den Bereich Heizungstechnik und damit die Wärme- bzw. Energieversorgung von Wohngebäuden ist zu bedenken, dass eine Mikro-KWK-Anlage als „Heizung“ anzusehen ist (wärmegeführte Anlage).

<p>UNIVERSITÄT DUISBURG ESSEN</p> <p>LUAT Lehrstuhl für Umweltverfahrens- technik und Anlagentechnik <small>Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Klaus Görner</small></p> <p>ef.Ruhr <small>Universitäten ■ Bochum ■ Dortmund ■ Duisburg-Essen</small></p> <p>gwi <small>Gesamthochschule</small></p> <p>DPG Frühjahrsitzung des AKE Bad Honnef 26./27.04.2006 Folie 76</p>	<p>Ende</p>
	<div style="text-align: center; background-color: #cccccc; padding: 20px;"> <p>Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit</p> </div>