

# **Bewertung der Effizienzsteigerung durch Abgasnachverstromung an Biogas-BHKW auf Basis einer Datenerhebung an 6 real ausgeführten Anlagen**

Prof. Dr.-Ing. Bernd Thomas

Reutlinger Energiezentrum REZ

Hochschule Reutlingen

email: [bernd.thomas@reutlingen-university.de](mailto:bernd.thomas@reutlingen-university.de)

- Einführung
- Technologien zur Abgasnachverstromung
- 6 ausgeführte Anlagen
- Ergebnisse
- Fazit



# Einführung

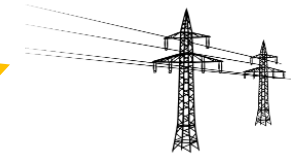


# Einführung



© 2013 ARCANUM Energy

Wertprodukt:  
elektr. Strom



Wärme  
Nutzung ?

Ziel: möglichst hoher Anteil Stromerzeugung



# Einführung

=> **Zusätzliche Stromerzeugung aus der Abwärme des BHKWs  
(Nachverstromung oder Abgasnach- / Abwärmeverstromung)**



Baden-Württemberg

MINISTERIUM FÜR UMWELT, KLIMA UND ENERGIEWIRTSCHAFT

Im Rahmen des Bioenergiewettbewerbs wurde die Umsetzung dieser Technologie an 6 praktischen Anlagen in Baden-Württemberg vom Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft gefördert.

=> Ergebnisse in einer Studie der Hochschule Reutlingen zusammengefasst.



# Technologien zur Abgasnachverstromung an BHKW



# Abgasnachverstromung – ORC-Anlage

Nutzung der Abgasenergie durch Einkopplung in einen ORC-Prozess

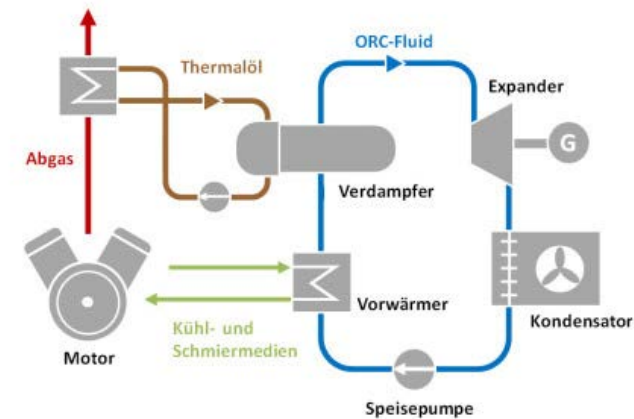
=> HT-Anlagen: elektrischer Wirkungsgrad bis 22%, Abwärmenutzung möglich

=> NT-Anlagen mit Wärmeentnahme aus dem Motorkühlwasser erreichen  $\eta_{el} = 7-10\%$  Abwärmenutzung nicht mehr möglich

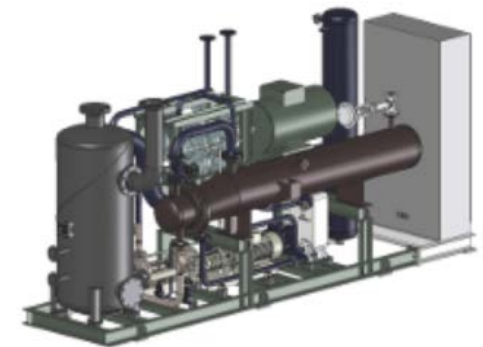
=> Hoher Anlagenaufwand

=> am Markt verfügbar, mehrere Anbieter

[www.orc-fachverband.de](http://www.orc-fachverband.de)



Quelle: ORC-Fachverband e.V.



Quelle: GMK GmbH



# Abgasnachverstromung - Dampfmotor

Nutzung der Abgasenergie durch Einkopplung in einen Dampfkraftprozess

=> Dampfmotor mit ca. 30 kW Leistung, elektrischer Wirkungsgrad ca. 15%

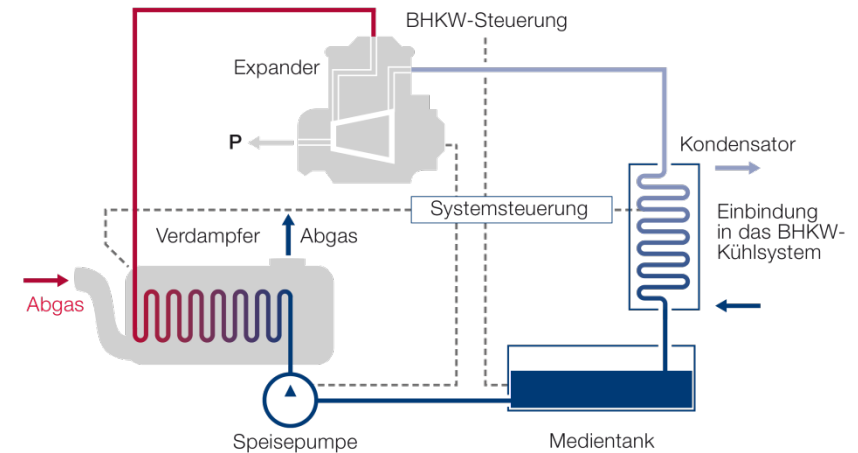
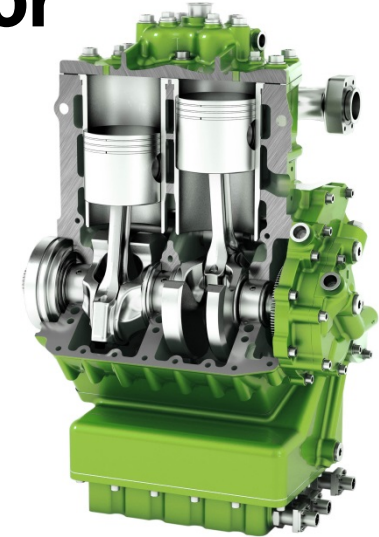
=> unbedenkliches Arbeitsmedium, hohe Drücke (max. 60 bar)

=> Abwärmenutzung möglich

=> SteamTrac oder SteamDrive

=> Direktverdampfung

[www.steamdrive.de](http://www.steamdrive.de)



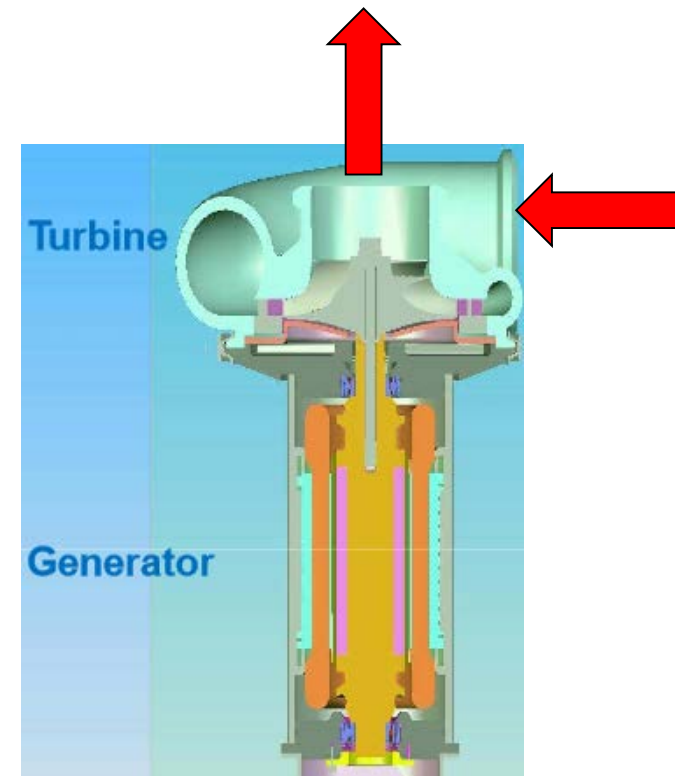
Quelle: SteamDrive GmbH

# Abgasnachverstromung - Gasturbine

Nutzung der Abgasenergie in separater Turbine mit eigenem Generator

- => Abgasgegendruck erforderlich  
bislang nur für Zündstrahlmotoren,  
mittlerweile auch für hoch-  
aufgeladene Gas-Ottomotoren
- => Steigerung des elektr. Wirkungsgrades  
um bis zu 4 Prozentpunkte
- => vergleichsweise einfaches System
- => auf BHKW-Motor abzustimmen
- => am Markt verfügbar

[www.schnellmotor.de](http://www.schnellmotor.de)



Quelle: Schnell Motoren AG





# Ausgeführte Anlagen



# Ausgeführte Anlagen: Übersicht

Anlage	BHKW-Typ	Abgasnachverstromungsanlage
Biogasanlage Grundsheim	Biogas- Ottomotor	Dampfmotor, Fa. SteamDrive, Typ SteamTrac
Biogasanlage Riedlingen-Bechingen	Biogas- Ottomotor	Dampfmotor, Fa. SteamDrive, Typ SteamDrive
Kläranlage Heidenheim-Mergelstetten	Klärgas- Ottomotor	Dampfmotor, Fa. SteamDrive, Typ SteamTrac
Biogasanlage Bräunlingen	Biogas- Ottomotor	ORC-Anlage, Fa. LTi ADATURB
Biogasanlage Dentinggen	Biogas- Ottomotor	ORC-Anlage, Fa. Bosch KWK Systeme
Biogasanlage Kornwestheim	Biogas- Ottomotor	ORC-Anlage, Fa. Dürr



# Ausgeführte Anlagen: Biogasanlage Grundsheim

## Dampfmotor SteamTrac

(zum Zeitpunkt der Besichtigung demontiert)



Daten BHKW-Anlage	
BHKW-Typ	MAN V 12
elektr. Leistung / Wirkungsgrad	360 kW / 39 %
therm. Leistung / Wirkungsgrad	432 kW / 46,8 %
Brennstoffleistung	923 kW
Dampfmotor	SteamTrac 30
Mechan. Bruttoleistung Dampfmotor (Nennwert)	30 kW

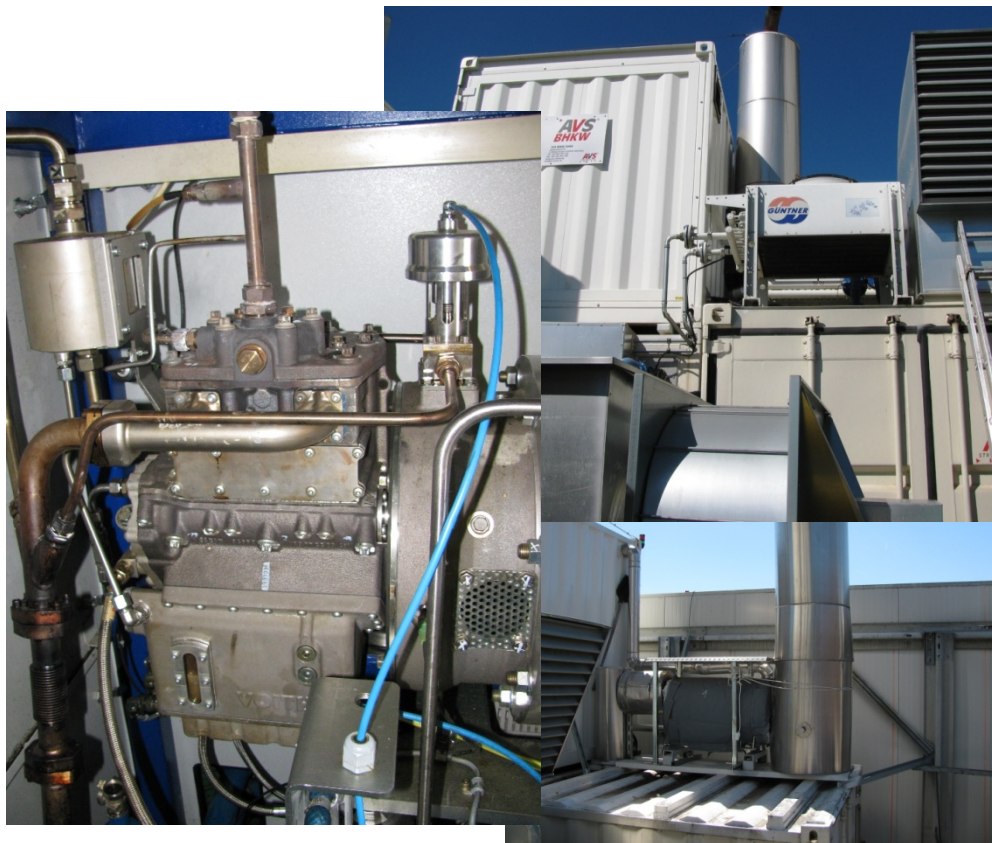
## Wärmenutzung (unvollständig):

- Beheizung des Stalls
- im Sommer Holz Trocknung



# Ausgeführte Anlagen: Biogasanlage Riedlingen

## Dampfmotor SteamDrive



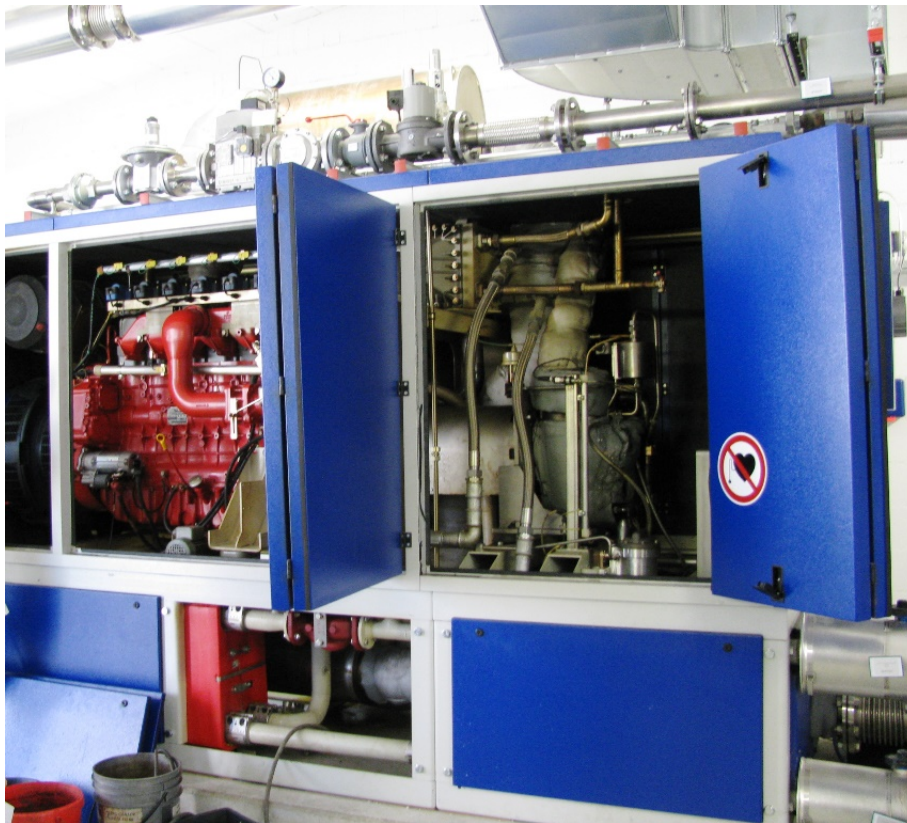
Daten BHKW-Anlage	
BHKW-Typ	MAN BGW 210 MAN BGW 190
elektr. Leistung / Wirkungsgrad	210 kW / 38,5 % 191 kW / 38,5 %
therm. Leistung / Wirkungsgrad	222 kW / 40,7 % 216 kW / 43,6 %
Brennstoffleistung	545 kW 495 kW
Dampfmotor	SteamDrive 30
elektrische Bruttoleistung Dampfmotor (Messwert, nur 1 BHKW angeschl.)	16,7 kW

### Wärmenutzung (vollständig):

- Wärmenetz zur Beheizung umliegender Wohngebäude und des Stalls
- im Sommer: Holz Trocknung

# Ausgeführte Anlagen: Kläranlage Heidenheim

## Dampfmotor SteamTrac



Daten BHKW-Anlage	
BHKW-Typ	LIEBHERR G946
elektr. Leistung / Wirkungsgrad	235 kW / 40,1 %
therm. Leistung / Wirkungsgrad	270 kW / 46,1%
Brennstoffleistung	585,9 kW
Dampfmotor	SteamTrac 30
Mechan. Bruttoleistung Dampfmotor (Messwert)	10,7 kW

## Wärmenutzung (unvollständig):

- an der Kläranlage



# Ausgeführte Anlagen: Biogasanlage Bräunlingen

ORC-Anlage LTi ADATURB TG30+  
(HT/NT-Anlage)

(zum Zeitpunkt der Besichtigung demontiert)



Daten BHKW-Anlage	
BHKW-Typ	MAN2842LE 312
elektr. Leistung / Wirkungsgrad	355 kW / 38,5 %
therm. Leistung / Wirkungsgrad	432 kW / 46,8 %
Brennstoffleistung	923kW
ORC-Anlage (HT/NT)	LTi ADATURB
elektrische Bruttoleistung ORC-Anlage (Messwert)	25,5 kW

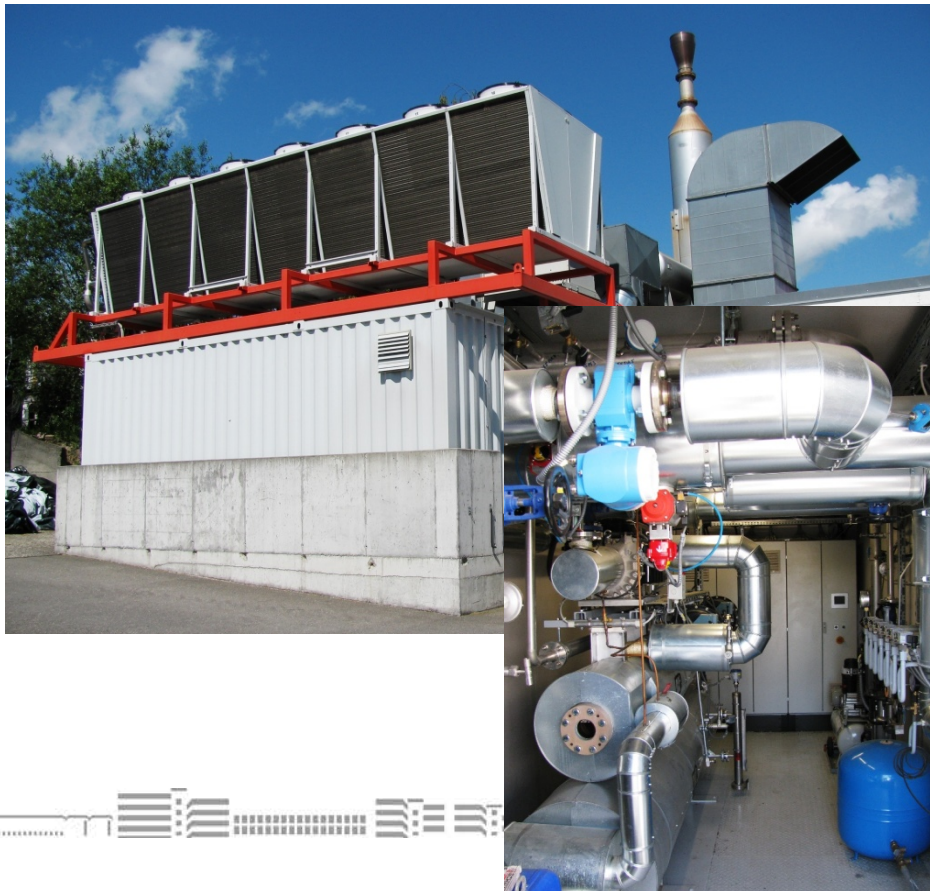
Wärmenutzung: (unvollständig)

- Beheizung des Wohnhauses



# Ausgeführte Anlagen: Biogasanlage Dentingen

ORC-Anlage Bosch KWK Systeme  
(NT-Anlage)



Daten BHKW-Anlage	
BHKW-Typ	Jenbacher J 312
elektr. Leistung / Wirkungsgrad	526 kW / 40,4 %
therm. Leistung / Wirkungsgrad	558 kW / 42,9 %
Brennstoffleistung	1301 kW
ORC-Anlage (NT)	WHR OR 75
elektrische Bruttoleistung ORC-Anlage (Messwert)	40,8 kW

Wärmenutzung: (unvollständig)

- Beheizung des Wohnhauses

# Ausgeführte Anlagen: Biogasanlage Kornwestheim

ORC-Anlage Dürr Cyplan  
(HT-Anlage mit Direktverdampfung)



Daten BHKW-Anlage	
BHKW-Typ	Jenbacher J 312
elektr. Leistung / Wirkungsgrad	625 kW / 39,7 %
therm. Leistung / Wirkungsgrad	646 kW / 41,1 %
Brennstoffleistung	1572 kW
ORC-Anlage (HT, Direktverdampfung)	ORC 70 HT KWK
elektrische Bruttoleistung ORC-Anlage (Messwert)	57 kW

Wärmenutzung: (vollständig)

- Anschluss an ein Wärmenetz, Versorgung einer Schule und eines Industriebetriebs



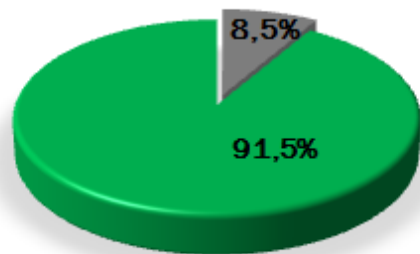


# Ergebnisse

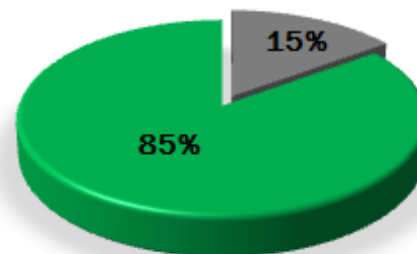


# Ergebnisse: elektrische Hilfsenergie

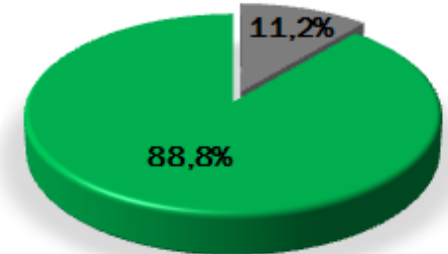
Grundsheim (DM)



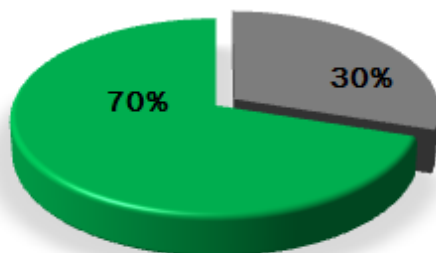
Riedlingen-Bechingen (DM)



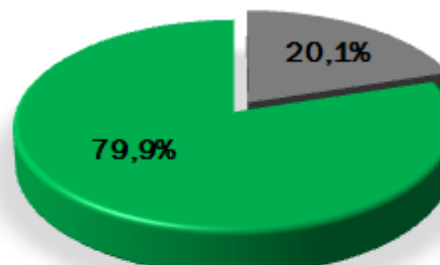
Heidenheim-Mergelstetten (DM)



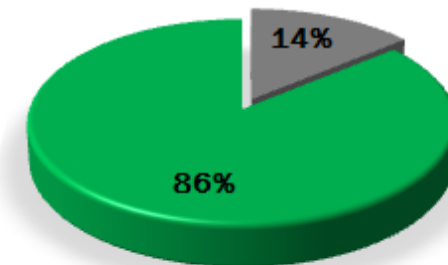
Bräunlingen (ORC)



Dentingen (ORC)

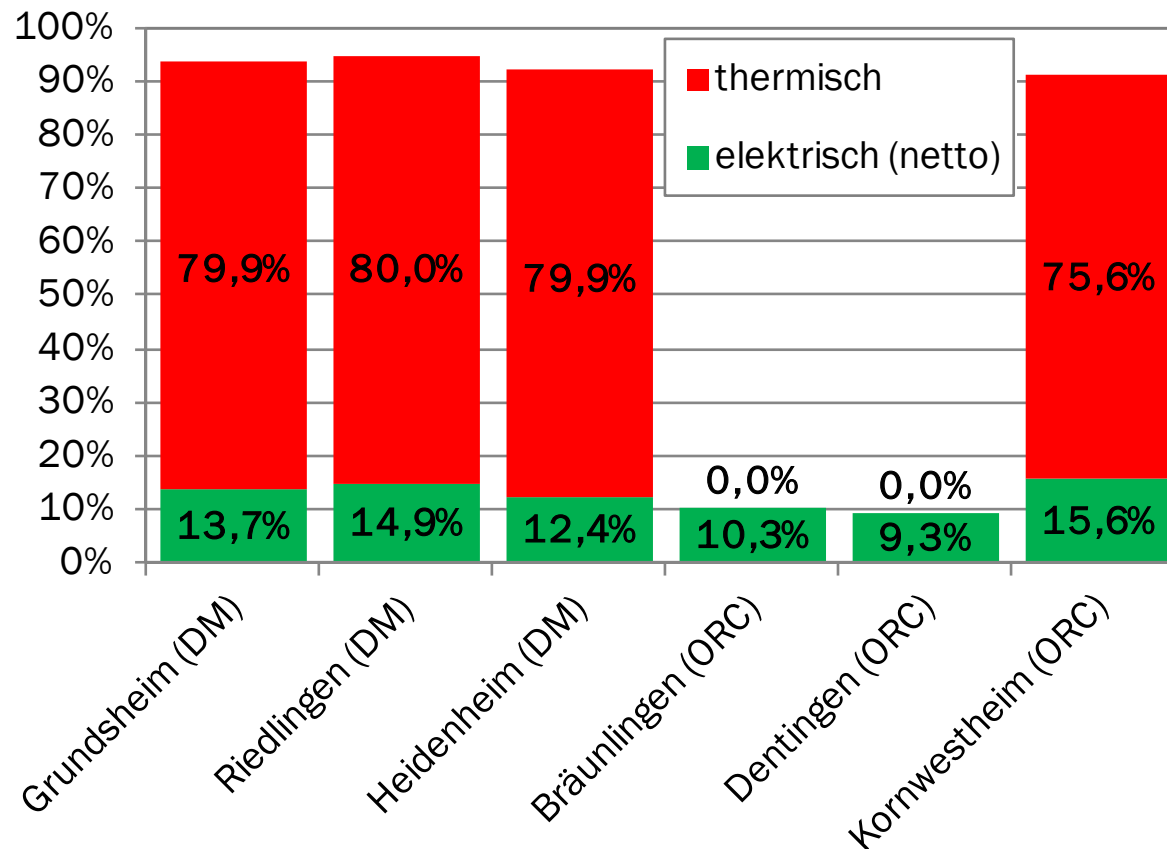


Kornwestheim (ORC)



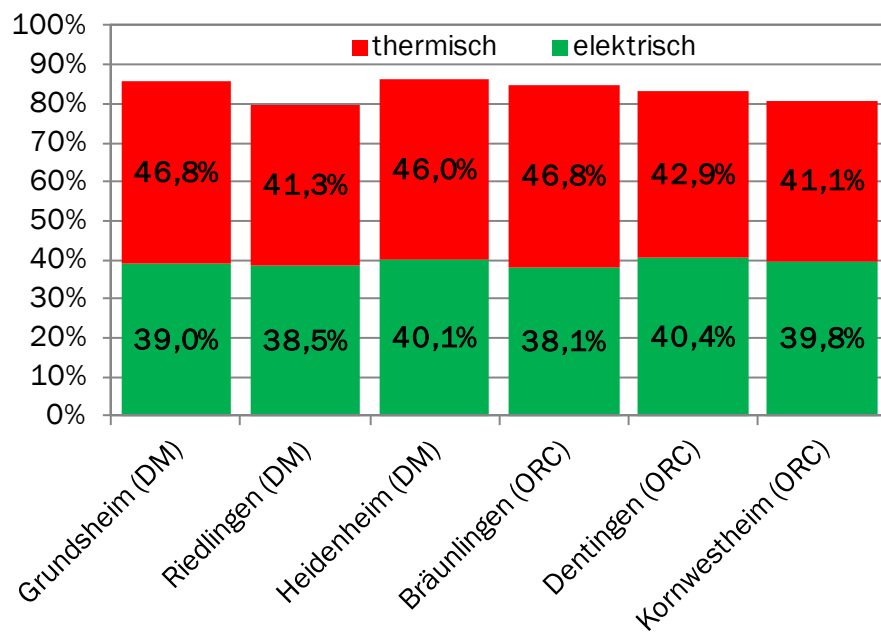
# Ergebnisse: Wirkungsgrad Abgasnachvertr.anlage

Wirkungsgrade Abgasnachverstr. (ANVA)

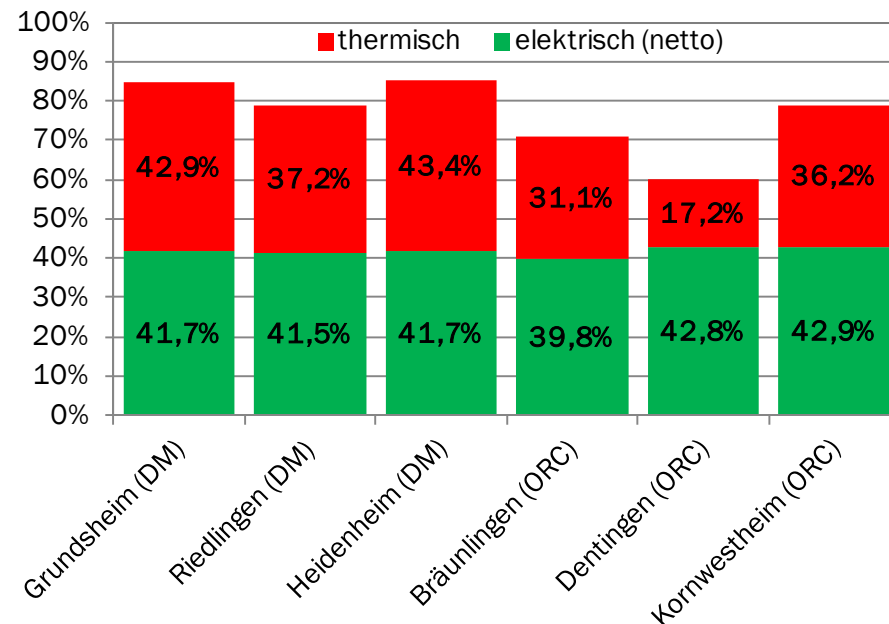


# Ergebnisse: Wirkungsgrad BHKW – BHKW + ANVA

Wirkungsgrade BHKW



Wirkungsgrade BHKW+ANVA



=> **Zunahme elektr. Wirkungsgrad** um 1,6 – 3,1 Prozentpunkte

=> **Abnahme thermischer Wirkungsgrad**

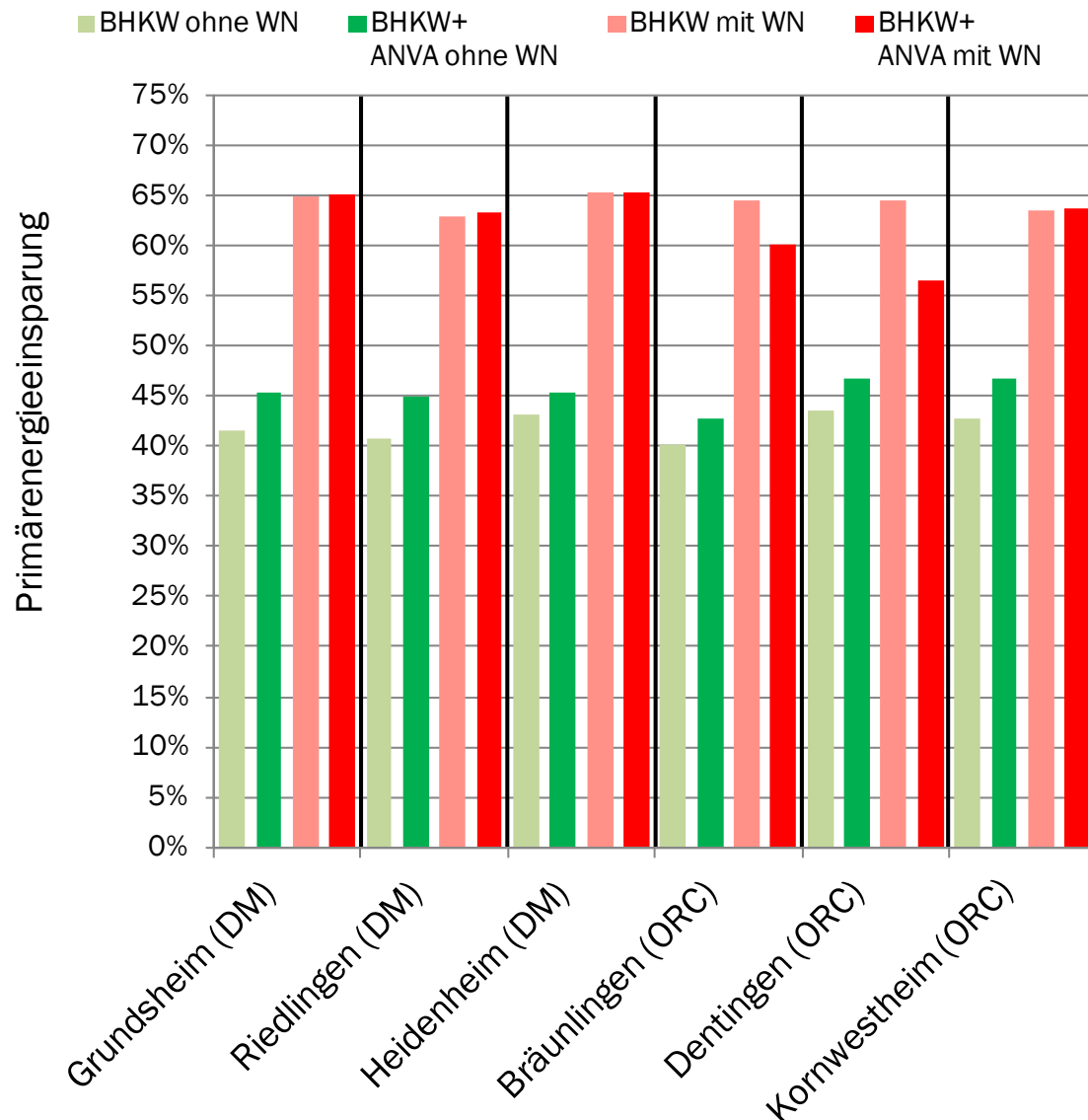
# Ergebnisse: Primärenergie- einsparung

Berechnung der Primärenergieein-  
sparung nach EU-Effizienzrichtlinie  
2012/27/EU

Mit den Primärenergiefaktoren  
nach DIN V 18599-1:

Erdgas:  $f_p = 1,1$

Biogas:  $f_p = 0,5$



# Ergebnisse: Verminderung CO<sub>2</sub>-Emissionen

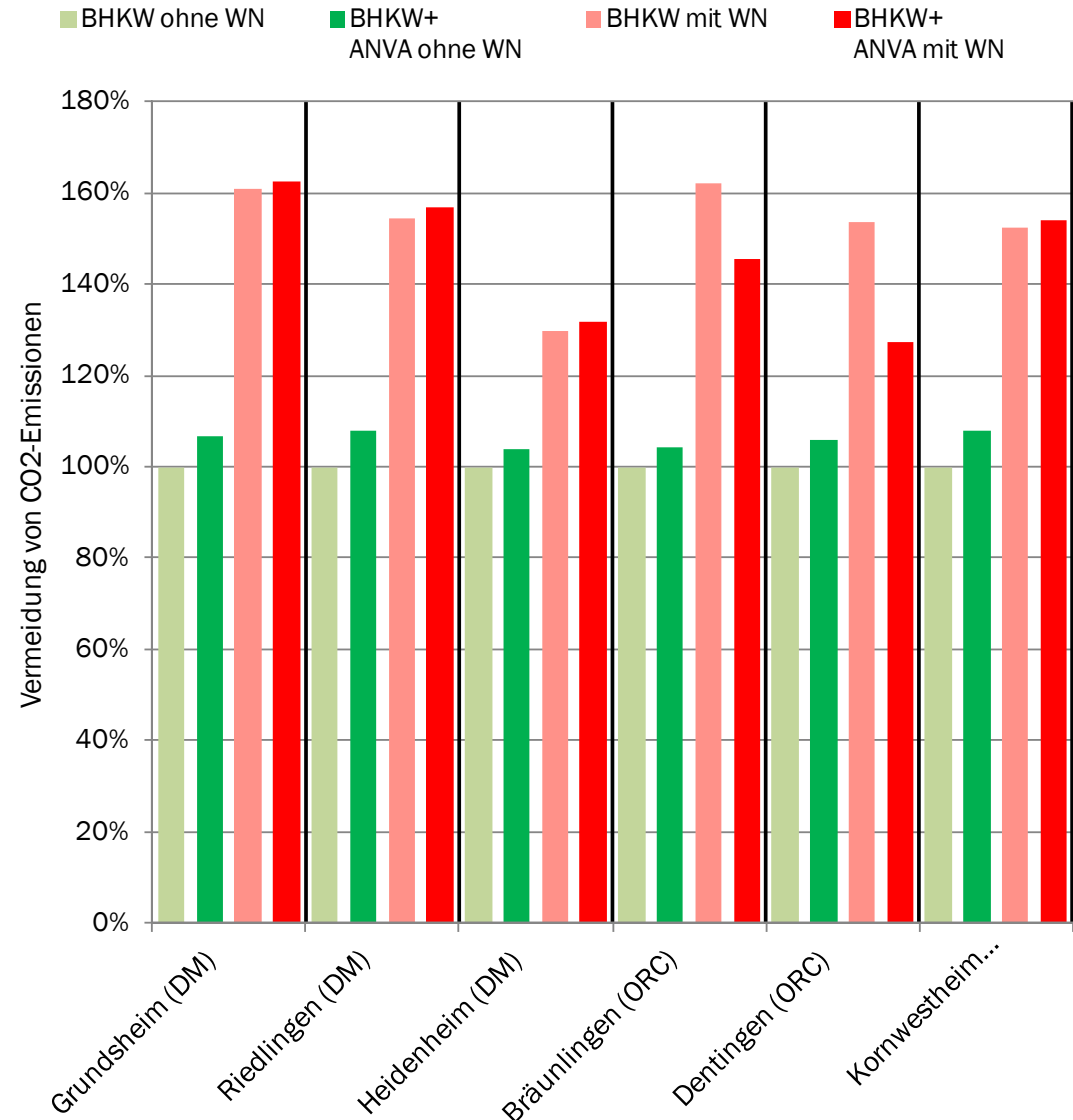
## Spez. CO<sub>2</sub>-Vermeidungsfaktor

Biogas-BHKW-Strom	400,28 g/kWh <sub>el</sub>
Klärgas-BHKW-Strom	787,44 g/kWh <sub>el</sub>
Biogas-BHKW-Wärme	202,9 g/kWh <sub>th</sub>
Klärgas-BHKW-Wärme	202,9 g/kWh <sub>th</sub>

(Studie Umweltbundesamt  
Climate Change 15/2013)

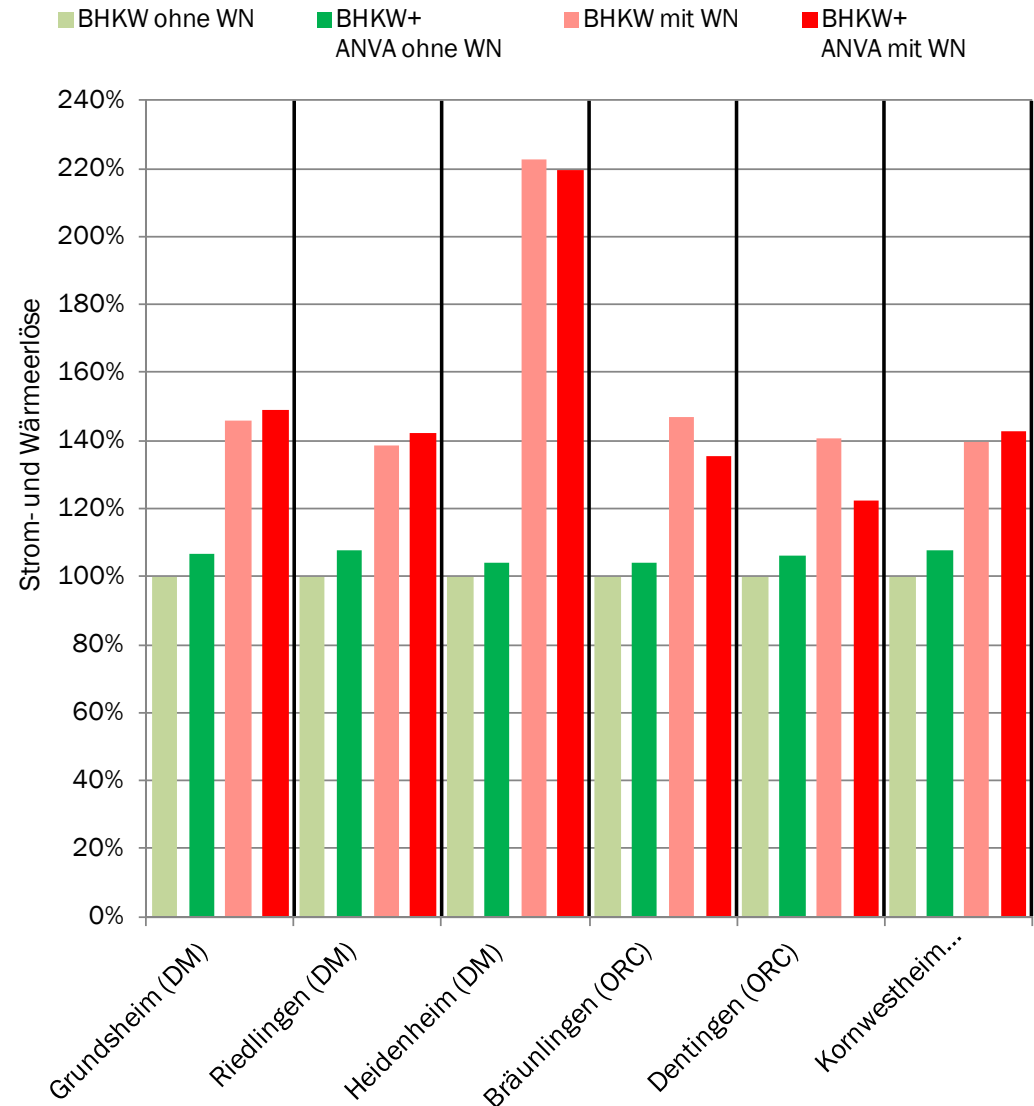
## CO<sub>2</sub>-Äquivalente

Strommix in D.	562 g/kWh
Erdgas H	242 g/kWh



# Ergebnisse: Strom- & Wärme- erlöse

BiogasStrom bis 500 kW: 11,78 ct/kWhel  
 BiogasStrom bis 5 MW: 10,55 ct/kWhel  
 KlärgasStrom bis 500 kW: 6,69 ct/kWhel  
 (nach EEG 2014)  
 BHKW-Wärme: 7,3 ct/kWhth  
 (repräsentativer Mittelwert)



# Fazit





## Fazit

- An den betrachteten Anlagen reichte die Bandbreite der Funktionalität von „nicht vorhanden“ bis „sehr gut“. Mittlerweile ist die Technologie ausgereifter
- Kleine/mittlere BHKW mit 350-400 kW<sub>el</sub>: Dampfmotor  
große BHKW >500 kW<sub>el</sub>: ORC-Anlage
- Primärenergieeinsparung, CO<sub>2</sub>-Emissionen, Strom/Wärmeerlöse:  
=> keine oder unvollständige Wärmenutzung: ANVA vorteilhaft  
=> vollständige Wärmenutzung:
  - Verwendung eines Dampfmotors oder einer ORC-HT-Anlage mit Wärmenutzung zwingend erforderlich
  - insgesamt verminderte Vorteilhaftigkeit der ANVA

