

# ***Pflanzenöl als Kraftstoff in Klein-BHKW-Systemen***

**13. C.A.R.M.E.N-Symposium am 4./5. Juli 2005 in Straubing**

**Dipl.-Ing. Raphael Lechner**

Techn. Thermodynamik / Erneuerbare Energien / Technikfolgenabschätzung  
Prof. Dr.-Ing. Markus Brautsch

Fachhochschule Amberg-Weiden  
Studiengang Maschinenbau/Umwelttechnik  
Kaiser-Wilhelm-Ring 23  
92224 Amberg  
r.lechner@fh-amberg-weiden.de

---

- I. Vorstellung**
  - II. Einführung**
  - III. Pflanzenöl als Kraftstoff in Motorsystemen**
  - IV. Aufbau und die Funktionsweise von BHKW-Systemen**
  - V. Motorische Modifikationen für die Nutzung von Pflanzenölen**
  - VI. Stand der Technik**
  - VII. Zukünftige Entwicklungen**
  - VIII. Der Holzgas-Pflanzenöl dual fuel Betrieb**
  - IX. Projektbeispiele**
  - X. Zusammenfassung**
-

## I. Vorstellung

- Pflanzenölbetriebene Blockheizkraftwerke
- Hybride Inselnetze
- Stirling-Motoren
- Photovoltaik
- Biomasse



## I. Vorstellung

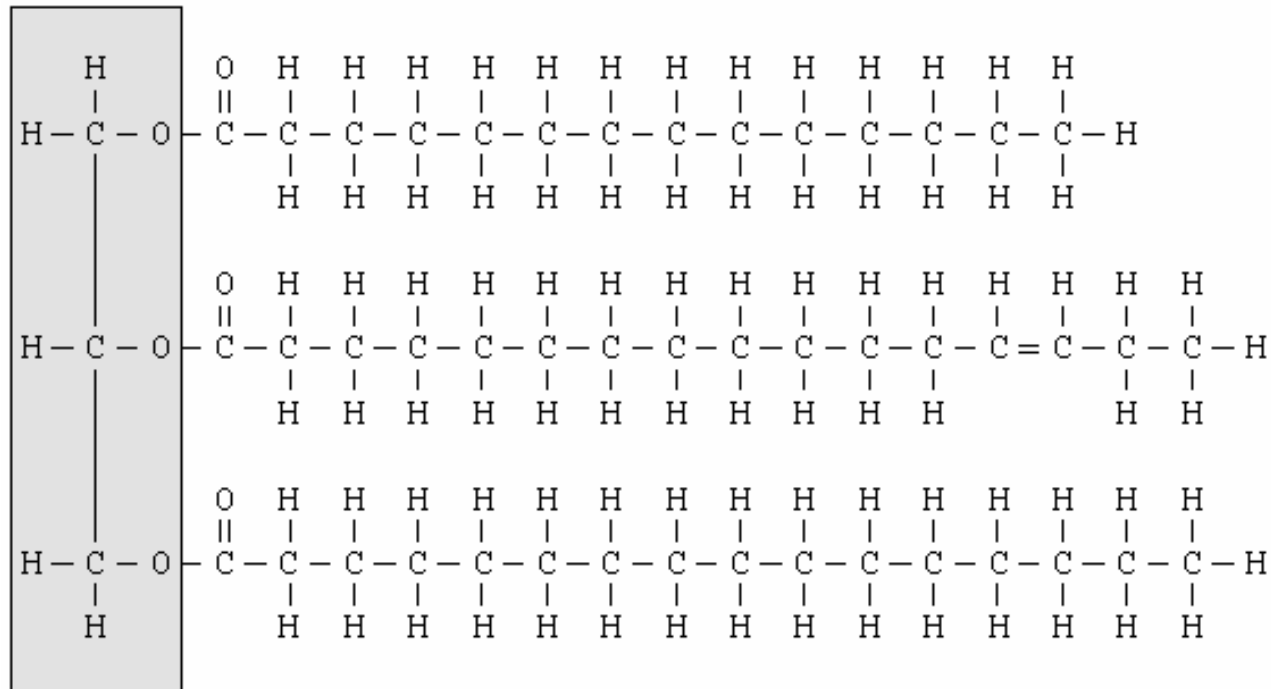


- Planung
- Entwicklung
- Machbarkeitsstudien, Konzepte
- Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen



### III. Pflanzenöl als Kraftstoff in Motorsystemen

#### Molekularstruktur von Pflanzenöl



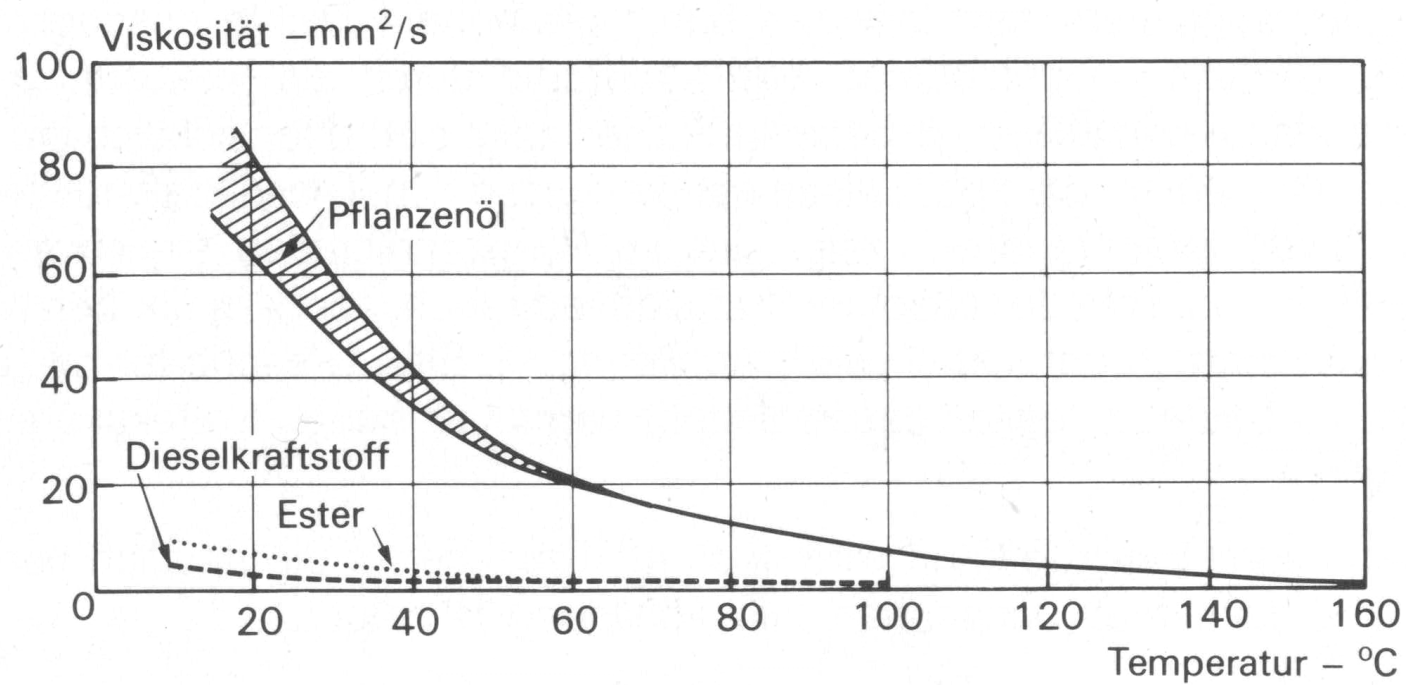
### III. Pflanzenöl als Kraftstoff in Motorsystemen

#### Physikalisch-chemische Kraftstoffeigenschaften im Vergleich mit Diesel und Biodiesel

	Einheit	Diesel	Rapsöl	Biodiesel
Dichte	$\text{g/cm}^3$	0,83	0,900 - 0,930	0,875 - 0,900
Kinematische Viskosität (40 °C)	$\text{mm}^2/\text{s}$	2 - 4	< 38	3,5 - 5
Heizwert	MJ/kg	42	> 35	> 36
Flammpunkt	°C	60	> 220	> 100

### III. Pflanzenöl als Kraftstoff in Motorsystemen

#### Viskositätsverlauf von Pflanzenöl





### III. Pflanzenöl als Kraftstoff in Motorsystemen

#### RK-Qualitätsstandard für Rapsöl als Kraftstoff

Eigenschaften / Inhaltsstoffe	Einheiten	Grenzwerte		Prüfverfahren
		min.	max.	
<b>für Rapsöl charakteristische Eigenschaften</b>				
Dichte (15 °C)	kg/m <sup>3</sup>	900	930	DIN EN ISO 3675 DIN EN ISO 12185
Flammpunkt nach P.-M.	°C	220		DIN EN 22719
Heizwert	kJ/kg	35000		DIN 51900-3
Kinematische Viskosität (40 °C)	mm <sup>2</sup> /s		38	DIN EN ISO 3104
Kälteverhalten				Rotationsviskosimetrie (Prüfbedingungen)
Zündwilligkeit (Cetanzahl)				Prüfverfahren wird evaluiert
Koksrückstand	Masse-%		0,40	DIN EN ISO 10370
Iodzahl	g/100 g	100	120	DIN 53241-1
Schwefelgehalt	mg/kg		20	ASTM D5453-93
<b>variable Eigenschaften</b>				
Gesamtverschmutzung	mg/kg		25	DIN EN 12662
Neutralisationszahl	mg KOH/g		2,0	DIN EN ISO 660
Oxidationsstabilität (110 °C)	h	5,0		ISO 6886
Phosphorgehalt	mg/kg		15	ASTM D3231-99
Aschegehalt	Masse-%		0,01	DIN EN ISO 6245
Wassergehalt	Masse-%		0,075	pr EN ISO 12937

### III. Pflanzenöl als Kraftstoff in Motorsystemen

#### Energetische Bewertungskriterien für biogene Flüssigkraftstoffe

**Kumulierter Bereitstellungsenergieaufwand  $KEA_H$ :**

**Primärenergieaufwand zur Herstellung eines biogenen Flüssigkraftstoffs**

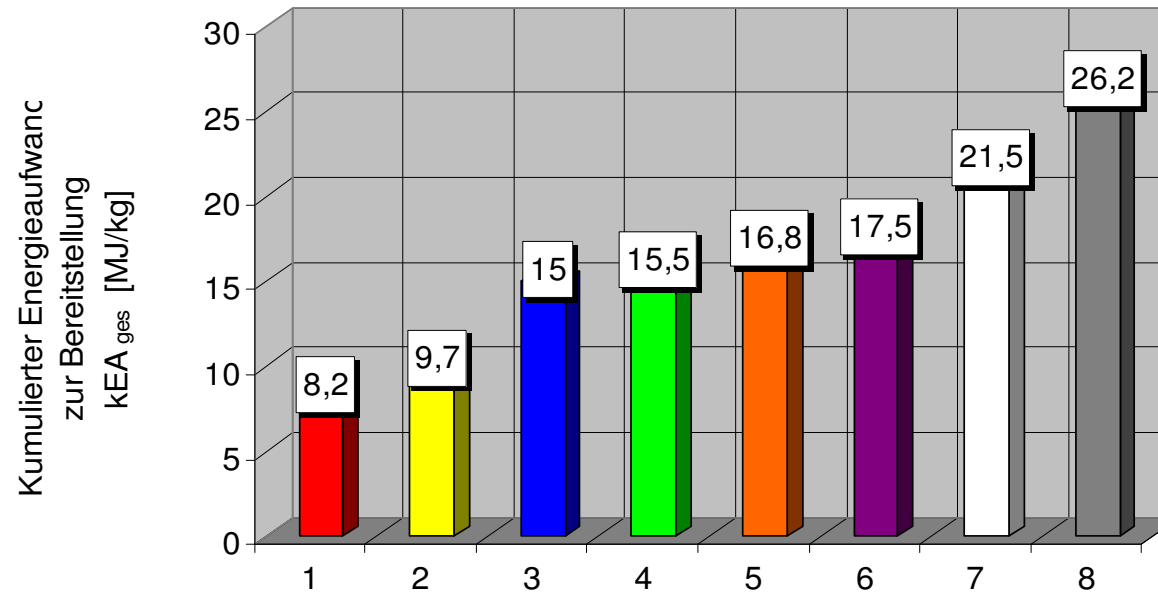
**Bereitstellungsnutzungsgrad  $g$ :**

**Verhältnis des Energieinhalts eines Brennstoffs zum Primärenergieaufwand für seine Bereitstellung**

$$g = \frac{\text{Heizwert}}{KEA_H + \text{Heizwert}}$$

### III. Pflanzenöl als Kraftstoff in Motorsystemen

#### Kumulierter Bereitstellungsenergieaufwand für biogene Flüssigkraftstoffe



1 dezentral kaltgepresstes Rapsöl,  
Wirtschaftsdünger Schweinemast

2 dezentral kaltgepresstes Rapsöl,  
Wirtschaftsdünger Rinderhaltung

3 dezentral kaltgepresstes Rapsöl,  
Mineraldünger

4 zentral gepresstes Rapsölvollraffinat,  
Wirtschaftsdünger Schweinemast

5 zentral gepresstes Rapsölvollraffinat,  
Wirtschaftsdünger Rinderhaltung

6 Biodiesel - günstigste Variante

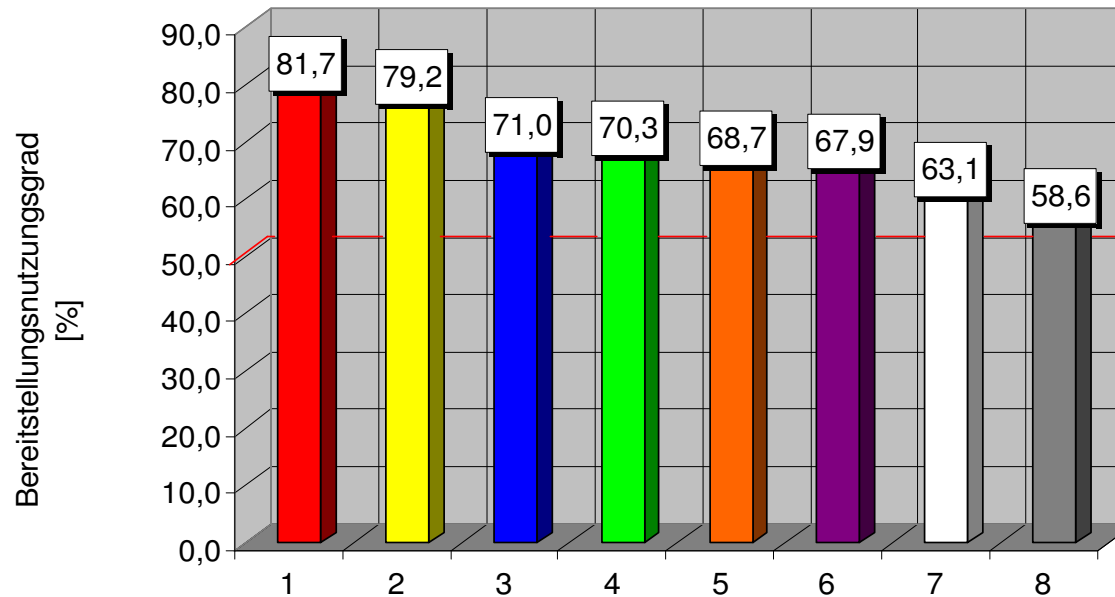
7 zentral gepresstes Rapsölvollraffinat,  
Mineraldünger

8 Biodiesel - ungünstigste Variante

Quelle: Brautsch, M: Eine vergleichende Gesamtenergiebilanz für  
Photovoltaik Module und Pflanzenölbioenergiekraftwerke

### III. Pflanzenöl als Kraftstoff in Motorsystemen

#### Bereitstellungsnutzungsgrade biogener Flüssigkraftstoffe



1 dezentral kaltgepresstes Rapsöl,  
Wirtschaftsdünger Schweinemast

2 dezentral kaltgepresstes Rapsöl,  
Wirtschaftsdünger Rinderhaltung

3 dezentral kaltgepresstes Rapsöl,  
Mineraldünger

4 zentral gepresstes Rapsölvollraffinat,  
Wirtschaftsdünger Schweinemast

5 zentral gepresstes Rapsölvollraffinat,  
Wirtschaftsdünger Rinderhaltung

6 Biodiesel - günstigste Variante

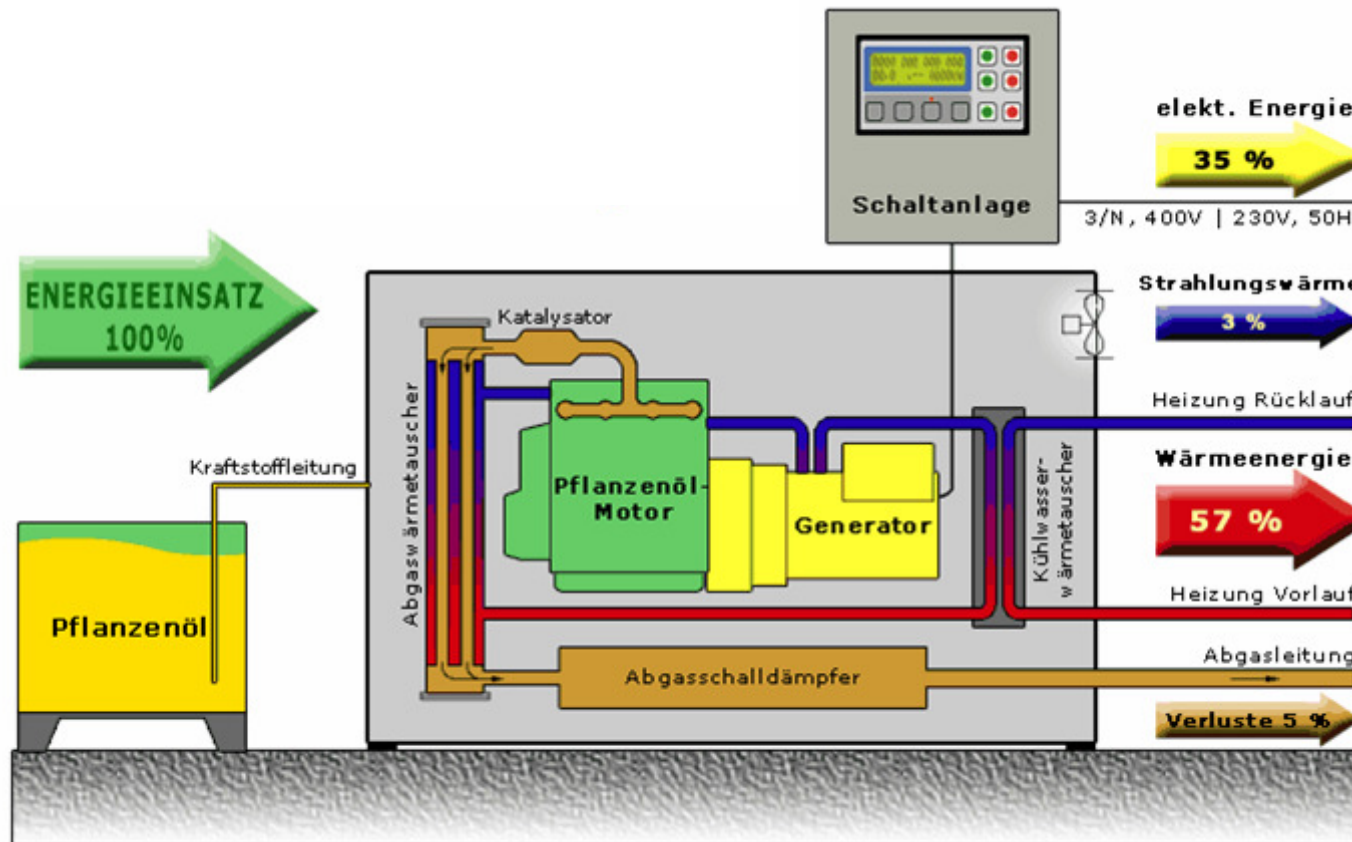
7 zentral gepresstes Rapsölvollraffinat,  
Mineraldünger

8 Biodiesel - ungünstigste Variante

Quelle: Brautsch, M: Eine vergleichende Gesamtenergiebilanz für  
Photovoltaik Module und Pflanzenölbioenergiekraftwerke

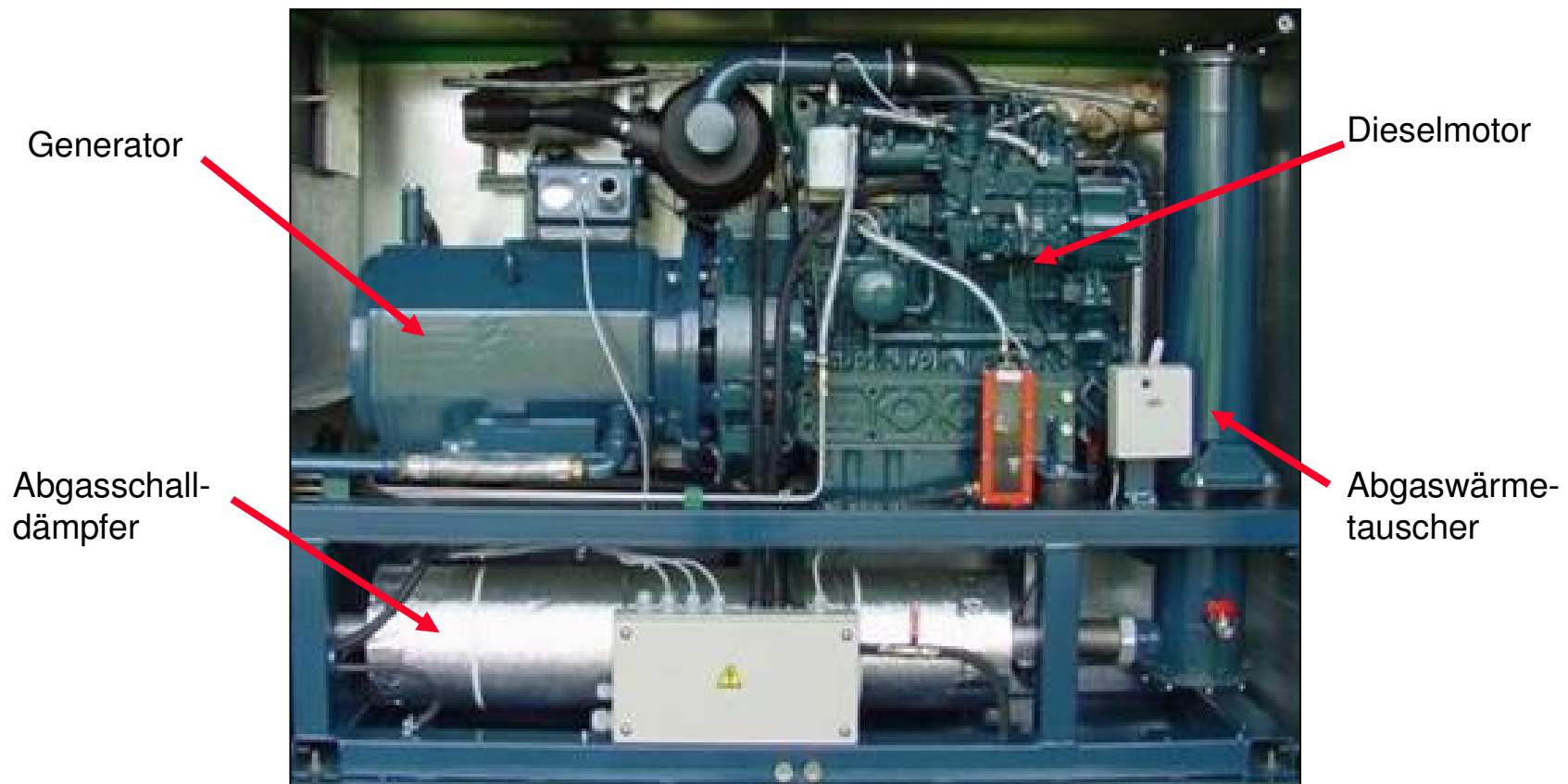
## IV. Aufbau und Funktionsweise von BHKW-Systemen

### Schematischer Aufbau einer BHKW-Anlage



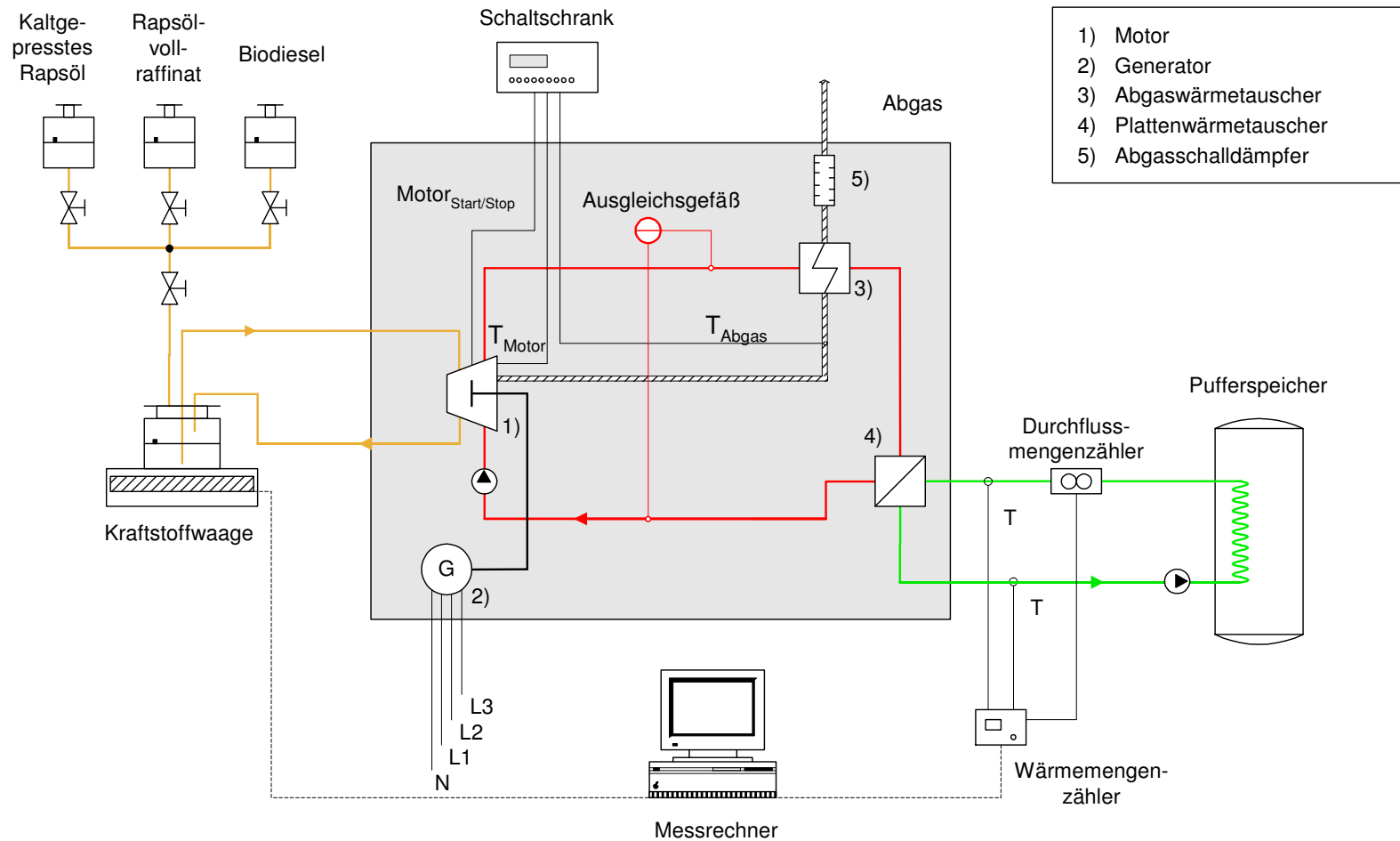
## IV. Aufbau und Funktionsweise von BHKW-Systemen

### Beispiel für ein Pflanzenöl-BHKW



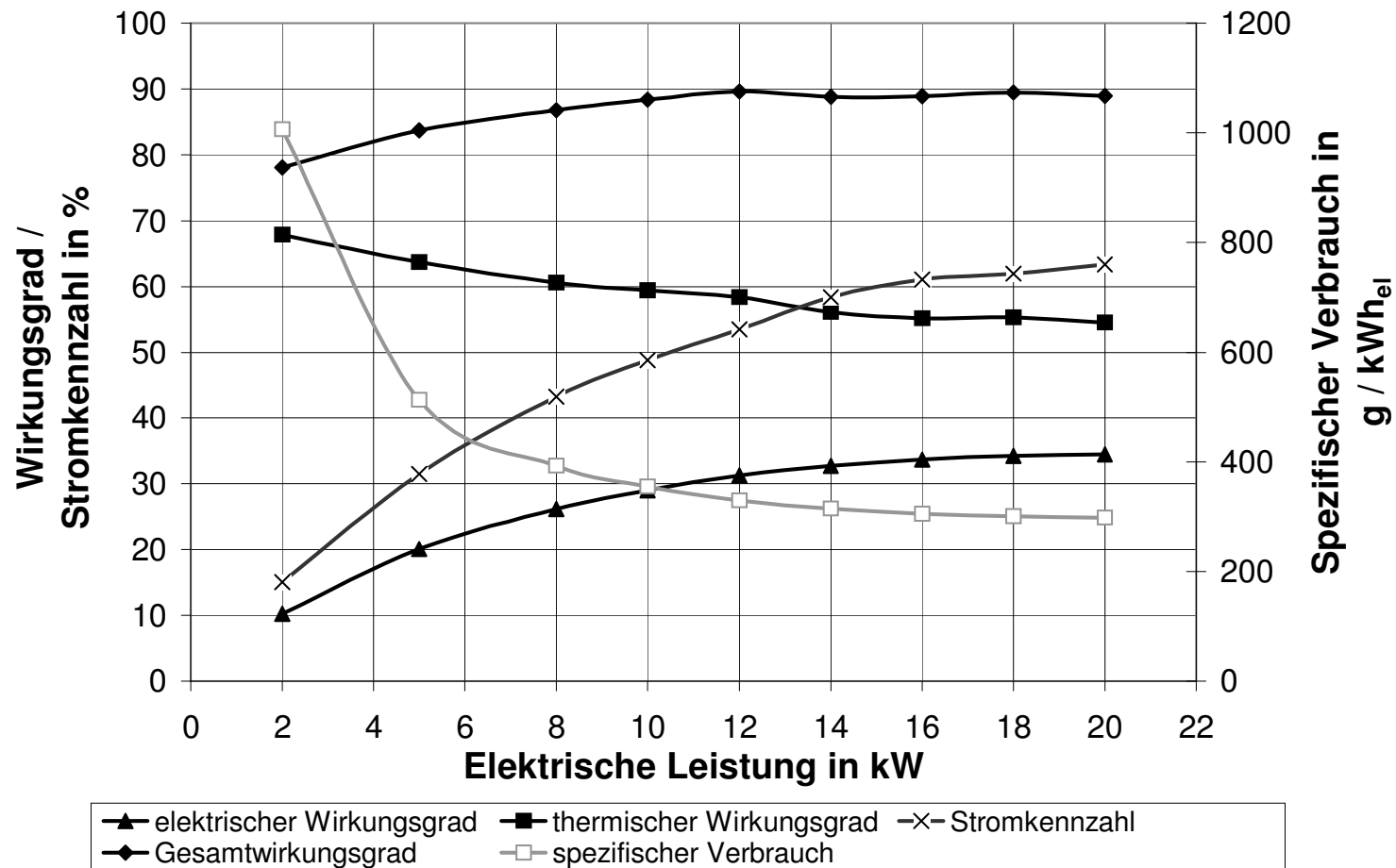
## IV. Aufbau und Funktionsweise von BHKW-Systemen

### Schema eines BHKW-Prüfstands an der FH Amberg



## IV. Aufbau und Funktionsweise von BHKW-Systemen

### Kenngroößen von BHKW-Systemen



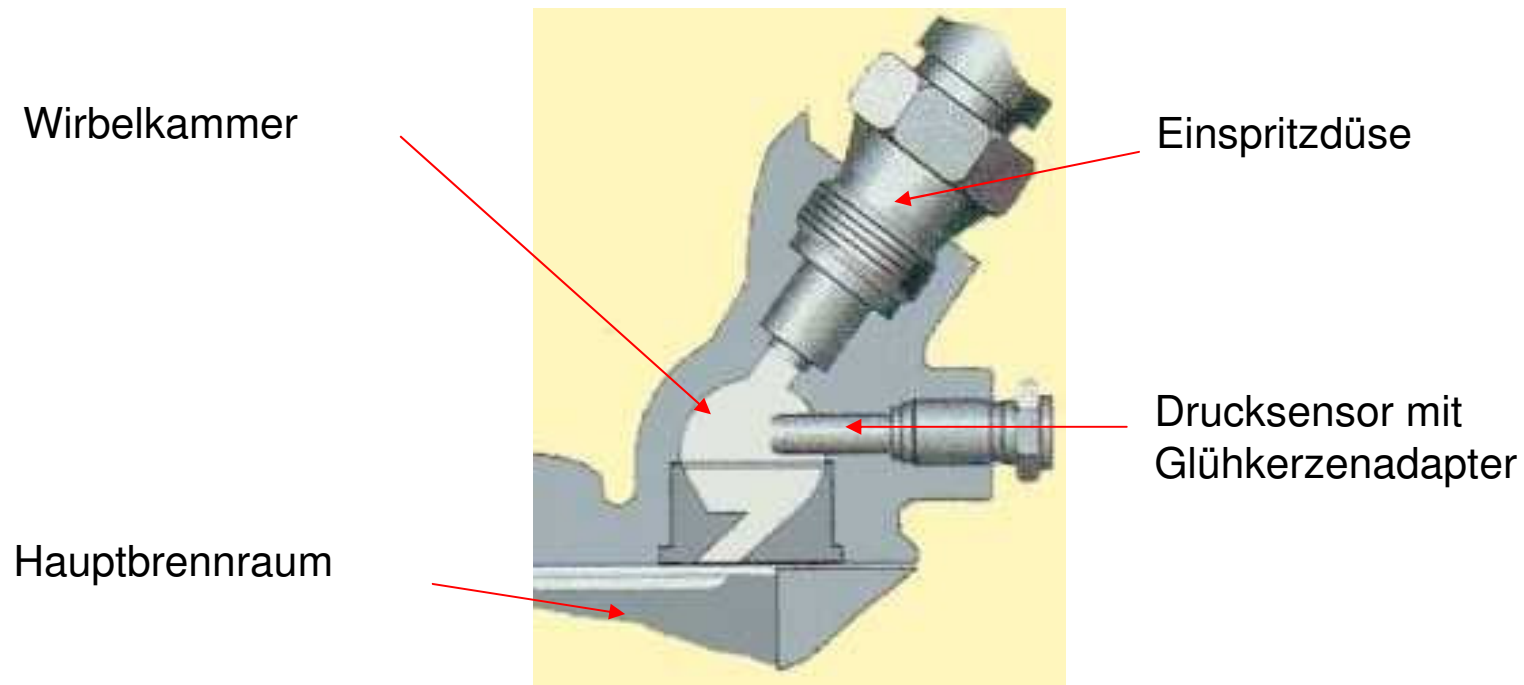


## V. Motorische Modifikationen für die Nutzung von Pflanzenölen

- Vergrößerung des Querschnitts der Kraftstoffleitungen
  - Kraftstoffvorwärmung
  - Externe Kraftstoffvorförderpumpe
  - Anpassung des Kraftstofffiltersystems
  - Kontinuierlicher Schmierölaustausch (Plantotronic-Verfahren)
  - Glühkerzenmodifikation zur Verbesserung des Kaltstartverhaltens
  - Zylinderkopfvorwärmung zur Verbesserung des Kaltstartverhaltens
  - Modifikation der Einspritzdüsen
  - Änderung der Einspritzdrücke
  - Optimierung der motorischen Verbrennung (Zylinderdruckindizierung)
  - Oberflächenbehandlung von Kolben und Zylindern
  - Kaltstart im Elektromotorbetrieb über das Netz
-

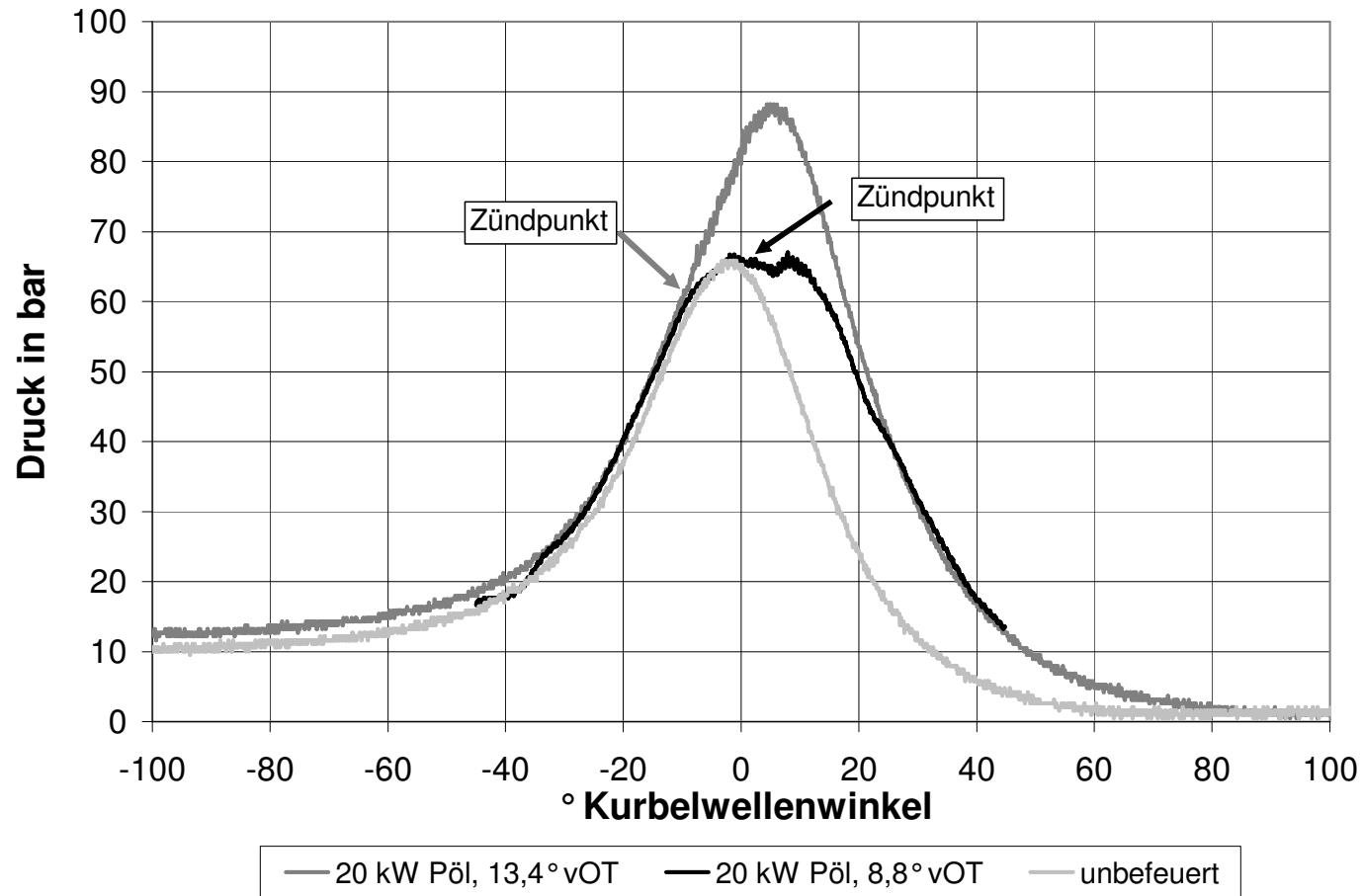
## V. Motorische Modifikationen für die Nutzung von Pflanzenölen

### Zylinderdruckindizierung in Abhängigkeit des Kurbelwellenwinkels



## V. Motorische Modifikationen für die Nutzung von Pflanzenölen

### Zylinderdruckindizierung in Abhängigkeit des Kurbelwellenwinkels



## VI. Stand der Technik

### ***Stand der Technik***

- Zuverlässige Vor- und Wirbelkammertechnik
- Erfahrungen bis ca. 45.000 Betriebsstunden im Netzparallelbetrieb
- Leistungsspektrum von 5-80 kW elektrische Leistung
- Geringfügig erhöhte Wartung gegenüber Heizölbetrieb
- Erfahrung mit ca. 50 Anlagen im Netzparallelbetrieb
- Erfahrung mit ca. 20 Anlagen im Inselbetrieb

### ***Voraussetzungen für störungsfreien Betrieb***

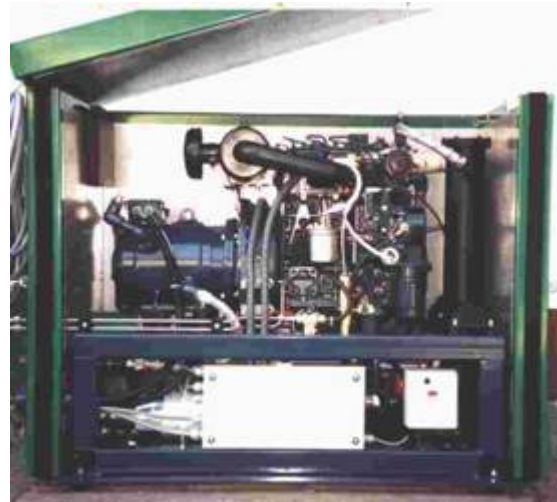
- Kontinuierlich gute Kraftstoffqualität (RK-Qualitätsstandard)!
  - Geeignete Kraftstofflagerung!
  - Geeignete Kraftstoffperipherie (keine Kupferleitungen)!
-

## VI. Stand der Technik

### Beispiele für Pflanzenöl-BHKW-Module verschiedener Anbieter



Giese Energator



KW Energietechnik



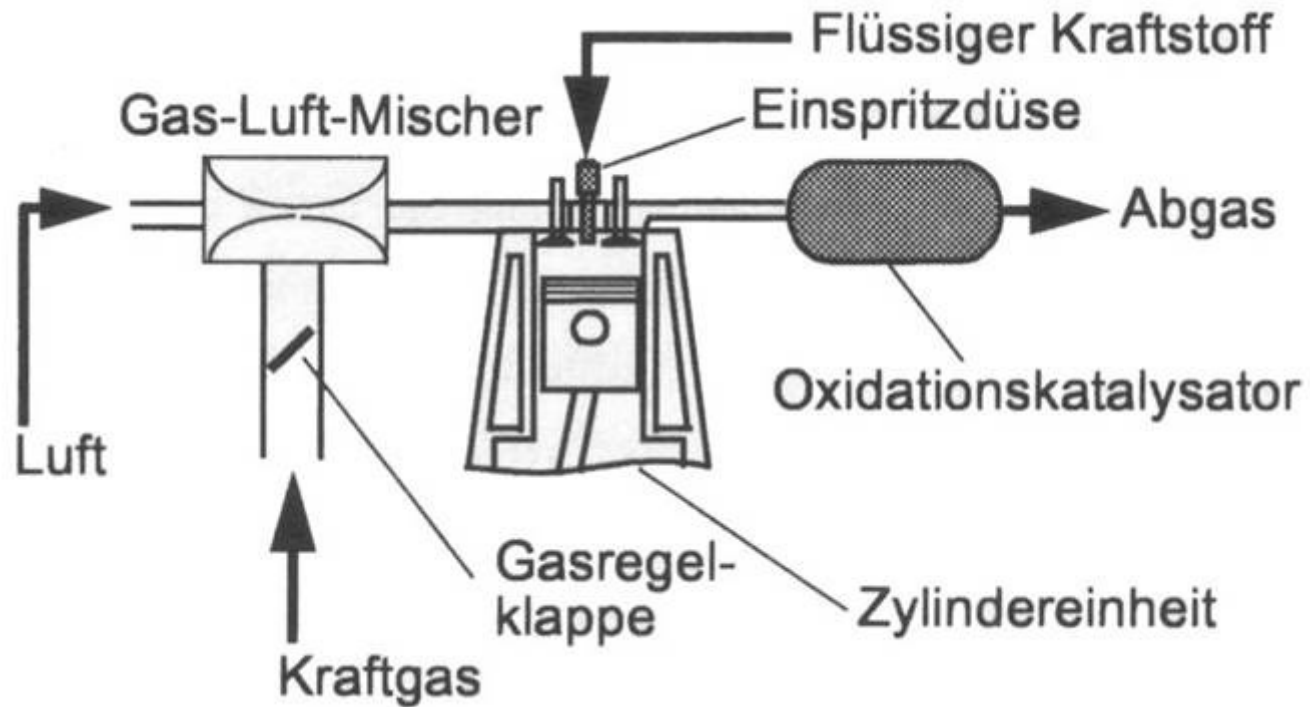
Vökl Multi-Fuel-Modul

## VII. Zukünftige Entwicklungen

- Übergang von Kammermotoren zu Direkteinspritzern
  - Nutzung moderner Hochdruckeinspritsysteme (Pumpe-Düse, Common-Rail)
  - Konsequente Optimierung der Pflanzenölverbrennung durch Nutzung der Möglichkeiten moderner Einspritzsysteme
  - Steigerung von elektrischem Wirkungsgrad und Stromkennzahl durch Applikation von Turboladern und modernen Einspritzsystemen
  - Reduzierung der Schallemissionen durch Voreinspritzungen
  - Reduktion der Abgasemissionen durch innermotorische Maßnahmen und Maßnahmen zur Abgasnachbehandlung (z.B. Rußpartikelfilter für Pflanzenöl)
  - Nutzung neuer Materialien und Beschichtungsmethoden
  - Nutzung anderer Pflanzenöle neben Rapsöl (z.B. Palmöl, Purgiernussöl)
  - Nutzung von Pflanzenölen in Kombination mit anderen Brennstoffen (z.B. Holzgas) im dual-fuel Betrieb
-

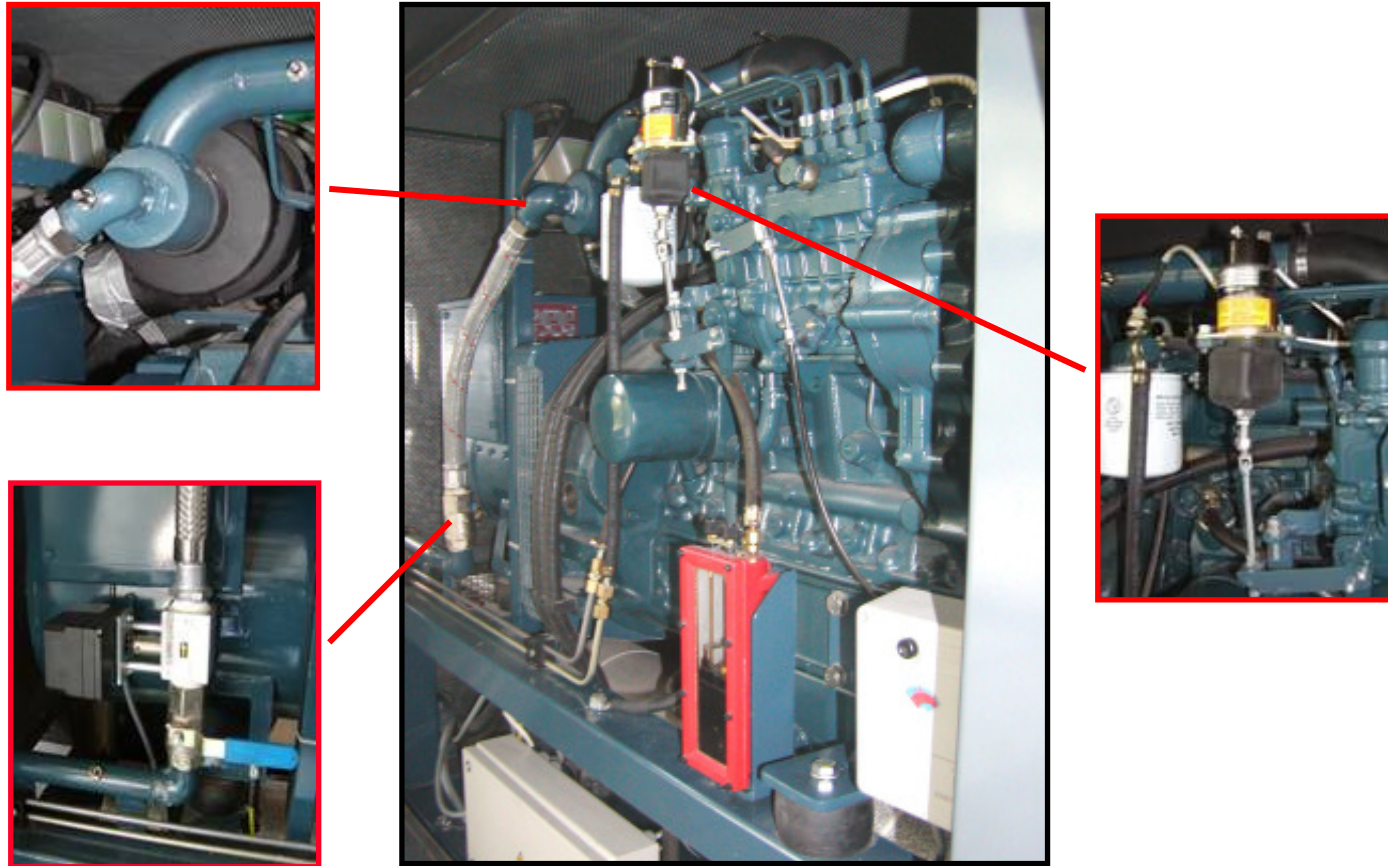
## VIII. Der Holzgas-Pflanzenöl dual fuel Betrieb

### Schema eines dual fuel Motors (Zündstrahlmotor)



## VIII. Der Holzgas-Pflanzenöl dual fuel Betrieb

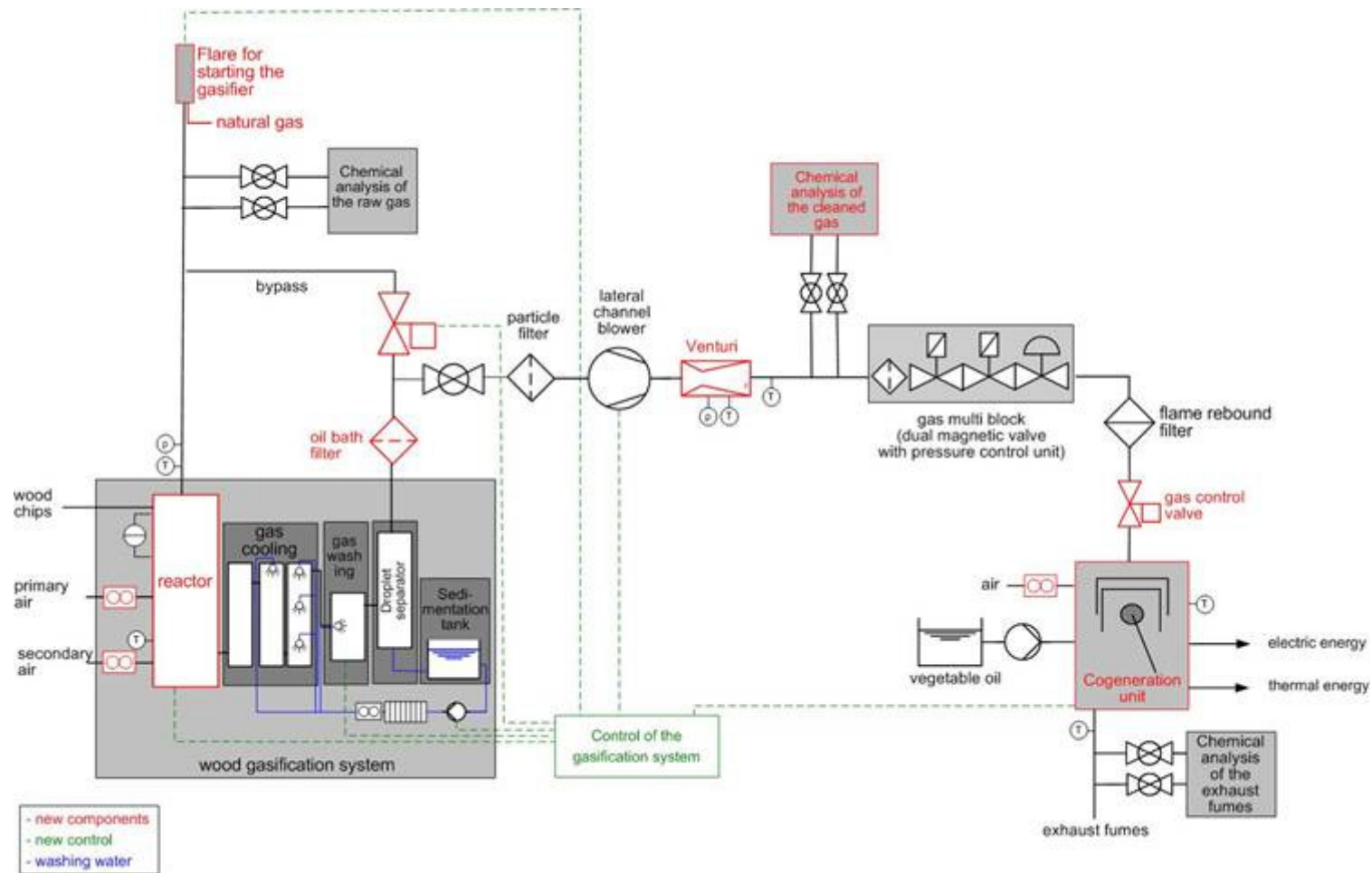
### Die Versuchsanlage an der FH Amberg





## VIII. Der Holzgas-Pflanzenöl dual fuel Betrieb

### Die Versuchsanlage an der FH Amberg



## VIII. Der Holzgas-Pflanzenöl dual fuel Betrieb

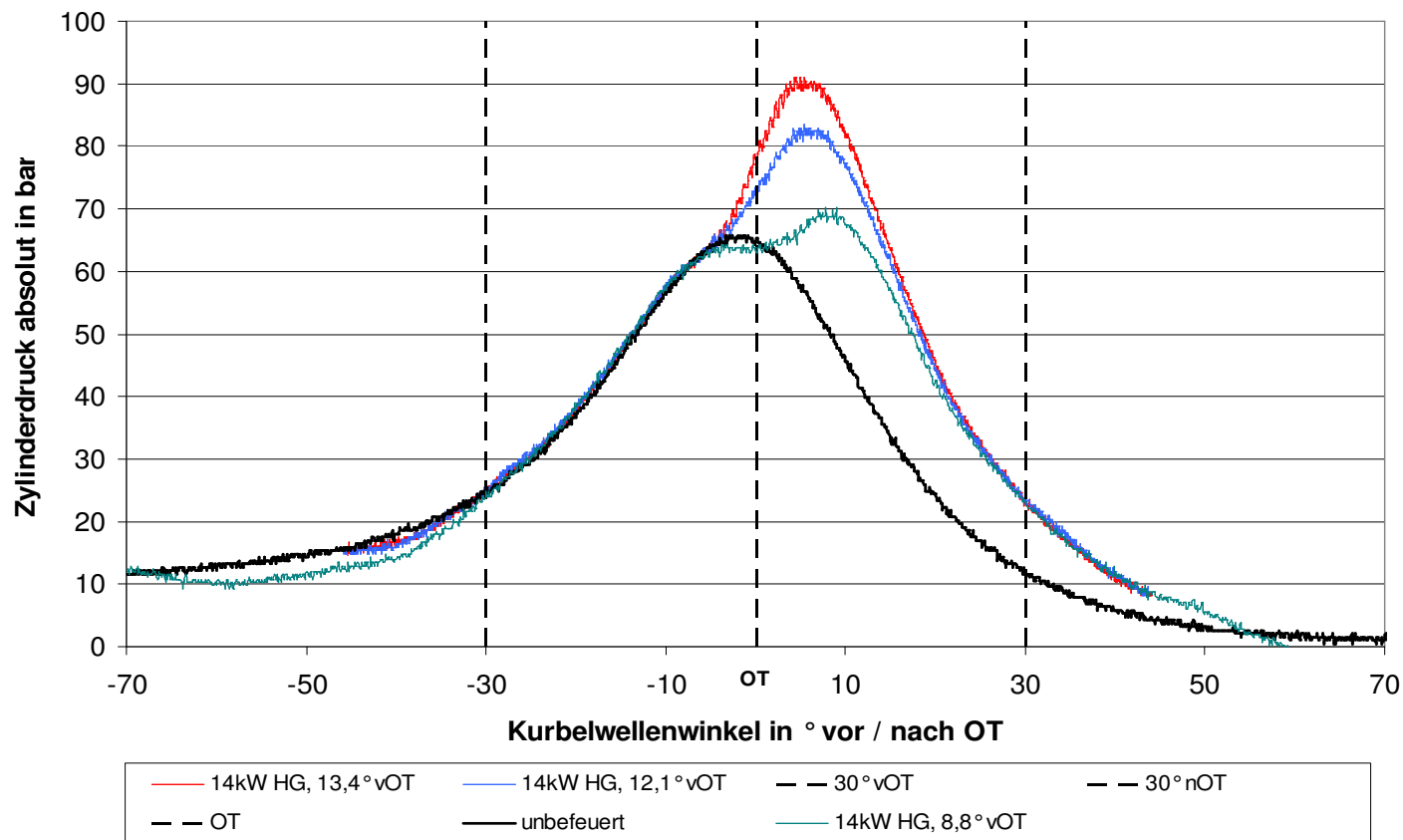
### Die Versuchsanlage an der FH Amberg



## VIII. Der Holzgas-Pflanzenöl dual fuel Betrieb

### Zylinderdruckverlauf im dual fuel Betrieb bei verschiedenen Einspritzzeitpunkten

Zylinderdruckverlauf im Brennraum des Motors bei 1500 min<sup>-1</sup>

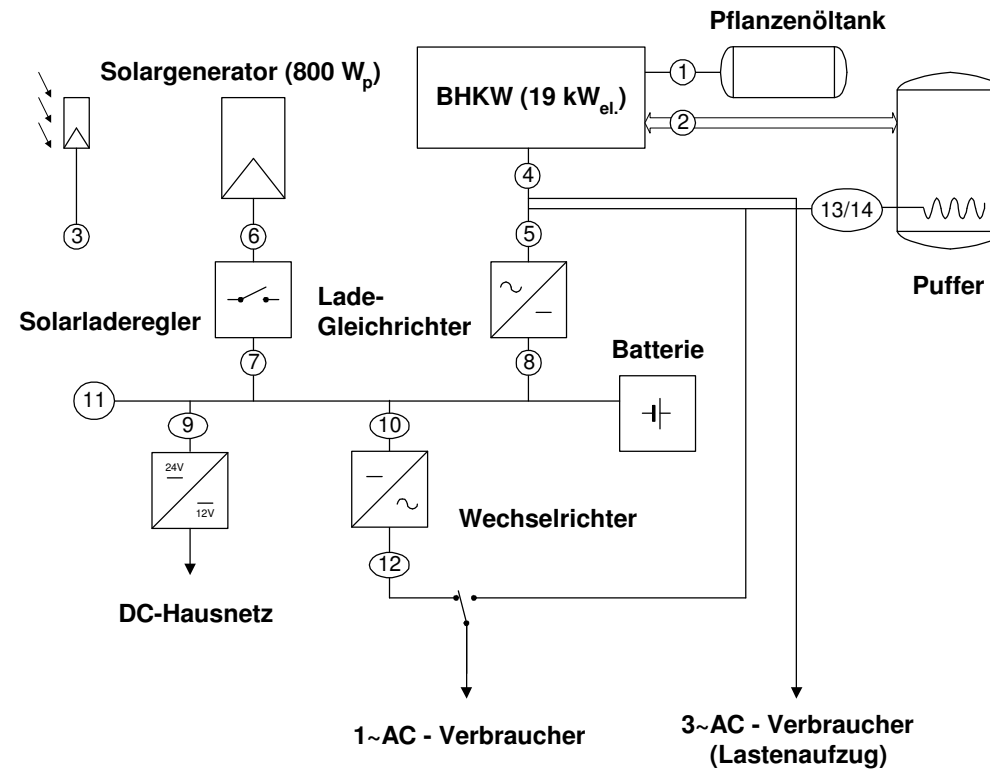


## IX. Projektbeispiele – Glorer Hütte

Glorer Hütte (Großglockner) - Sektion Eichstätt des DAV



## IX. Projektbeispiele – Glorer Hütte



- |                         |                              |
|-------------------------|------------------------------|
| 1. Kraftstoffzähler     | 6.-10. DC-Stromzähler        |
| 2. Wärmemengenzähler    | 11. Spannungsmesser          |
| 3. Einstrahlungssensor  | 12. AC-Stromzähler           |
| 4.-5. 3~Drehstromzähler | 13.-14. Einschaltzeitmessung |

## IX. Projektbeispiele – Hütten des DAV

Pflanzenöl BHKW-Systeme auf Hütten des DAV

<b>Glorer Hütte</b>	<b>20 kVA<sub>el</sub> 45 kW<sub>th</sub></b>	<b>Mindelheimer Hütte</b>	<b>28 kVA<sub>el</sub> 54 kW<sub>th</sub></b>
<b>Coburger Hütte</b>	<b>25 kVA<sub>el</sub> 50 kW<sub>th</sub></b>	<b>Karl v. Edel Hütte</b>	<b>10 kVA<sub>el</sub> 19 kW<sub>th</sub></b>
<b>Riemann Haus</b>	<b>28 kVA<sub>el</sub> 54 kW<sub>th</sub></b>	<b>Brunnsteinhütte</b>	<b>Lastenaufzug</b>
<b>Sudetend. Hütte</b>	<b>22 kVA<sub>el</sub> 42 kW<sub>th</sub></b>	<b>Kölner Haus</b>	<b>50 kVA<sub>el</sub> 100 kW<sub>th</sub></b>
<b>Stüdl Hütte</b>	<b>6 kVA<sub>el</sub> 12 kW<sub>th</sub></b>	<b>Staufen Haus</b>	<b>12 kVA<sub>el</sub> 22 kW<sub>th</sub></b>
<b>Priener Hütte</b>	<b>22 kVA<sub>el</sub> 42 kW<sub>th</sub></b>	<b>Neue Magdeburger</b>	<b>12 kVA<sub>el</sub> 22 kW<sub>th</sub></b>
<b>Kaiserjochhaus</b>	<b>10 kVA<sub>el</sub> 19 kW<sub>th</sub></b>	<b>Schiestelhaus</b>	<b>12 kVA<sub>el</sub> 22 kW<sub>th</sub></b>
<b>Ingolstädter Haus</b>	<b>28 kVA<sub>el</sub> 54 kW<sub>th</sub></b>		
<b>Kärlinger Haus</b>	<b>28 kVA<sub>el</sub> 54 kW<sub>th</sub></b>		

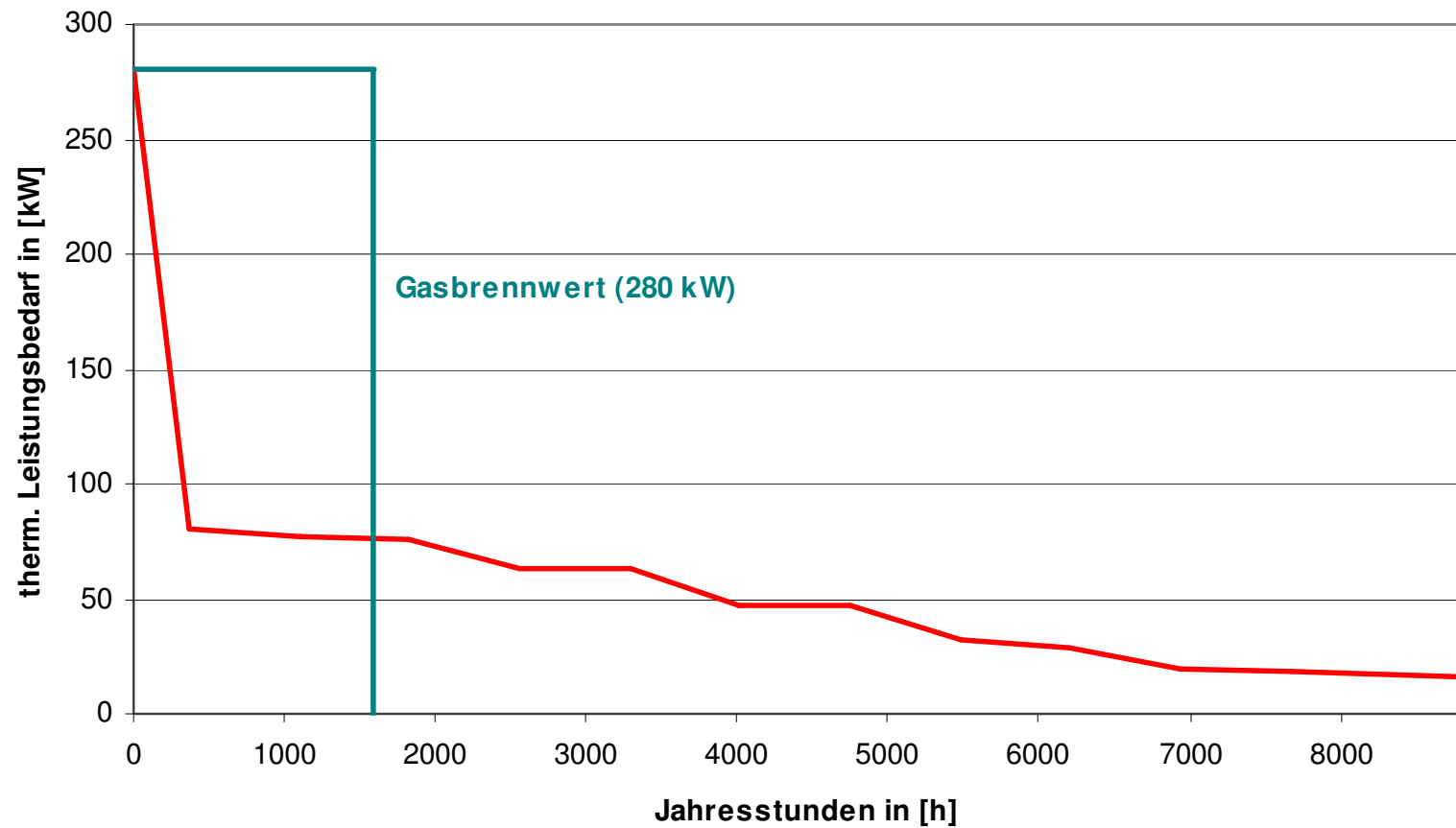
## IX. Projektbeispiele – Studentenwerk Oberfranken, Wohnheim Amberg

<b>Standardvariante</b>	<b>280 kW Gasbrennwerttechnik</b>
<b>Variante 1.1</b>	<b>40 kW therm. Gas-BHKW im Netzparallelbetrieb mit Spitzenlastkessel</b>
<b>Variante 1.2</b>	<b>60 kW therm. Gas-BHKW im Netzparallelbetrieb mit Spitzenlastkessel</b>
<b>Variante 1.3</b>	<b>2 x 40 kW therm. Gas-BHKW im Netzparallelbetrieb mit Spitzenlastkessel</b>
<b>Variante 2.1</b>	<b>40 kW therm. Gas-BHKW / 50 % Eigenstromnutzung</b>
<b>Variante 2.2</b>	<b>60 kW therm. Gas-BHKW / 50 % Eigenstromnutzung</b>
<b>Variante 2.3</b>	<b>2 x 40 kW therm. Gas-BHKW / 50 % Eigenstromnutzung</b>
<b><i>Variante 3.1</i></b>	<b><i>40 kW therm. Pflanzenöl-BHKW im Netzparallelbetrieb mit Spitzenlastkessel</i></b>
<b><i>Variante 3.2</i></b>	<b><i>2 x 40 kW therm. Pflanzenöl-BHKW im Netzparallelbetrieb mit Spitzenlastkessel</i></b>
<b>Variante 4</b>	<b>300 kW therm. Biomassefeuerung</b>
<b>Variante 5</b>	<b>280 kW therm. Gasbrennwerttechnik mit Solarthermie</b>

---

## IX. Projektbeispiele – Studentenwerk Oberfranken, Wohnheim Amberg

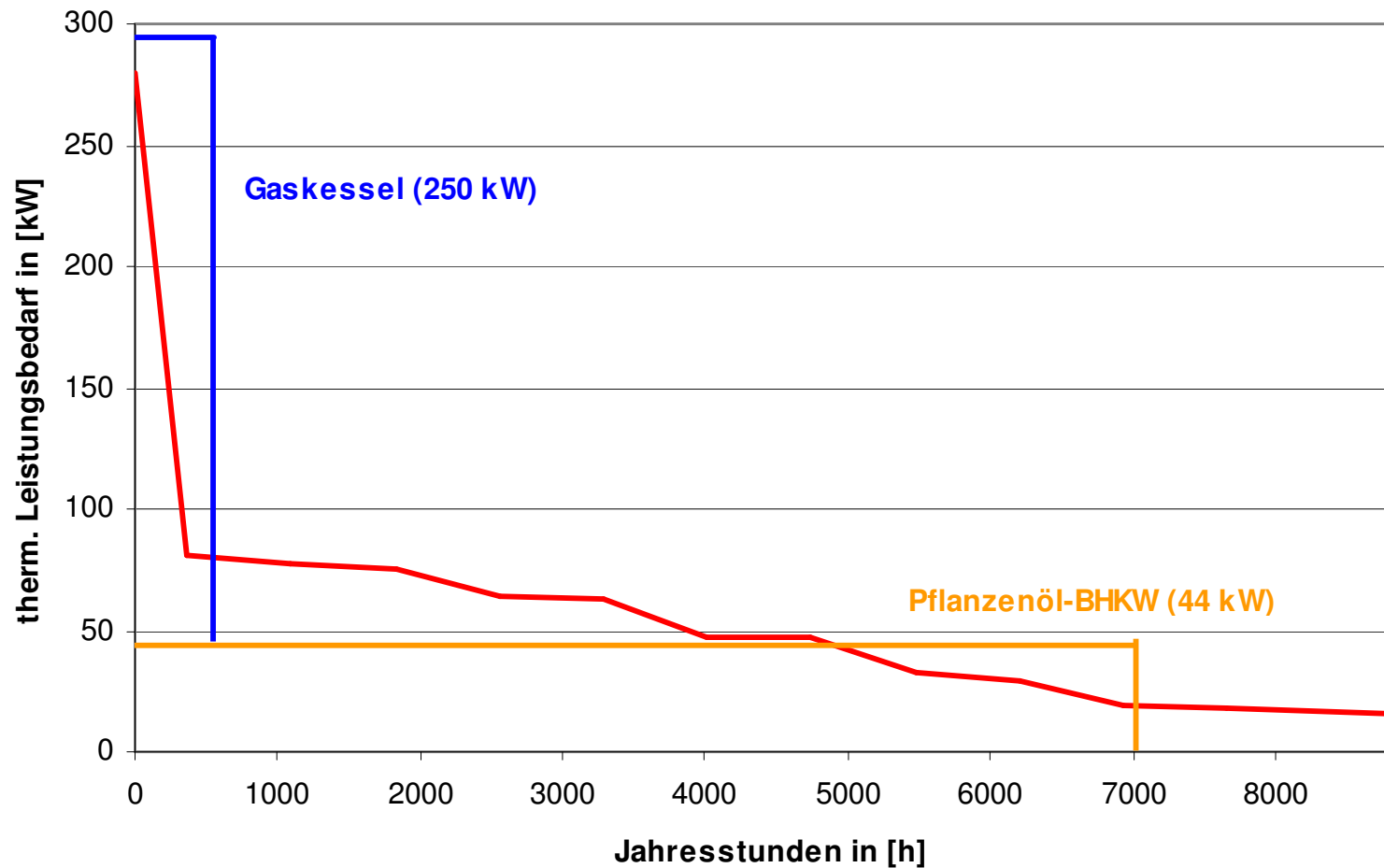
### Standardvariante: Gasbrennwertkessel





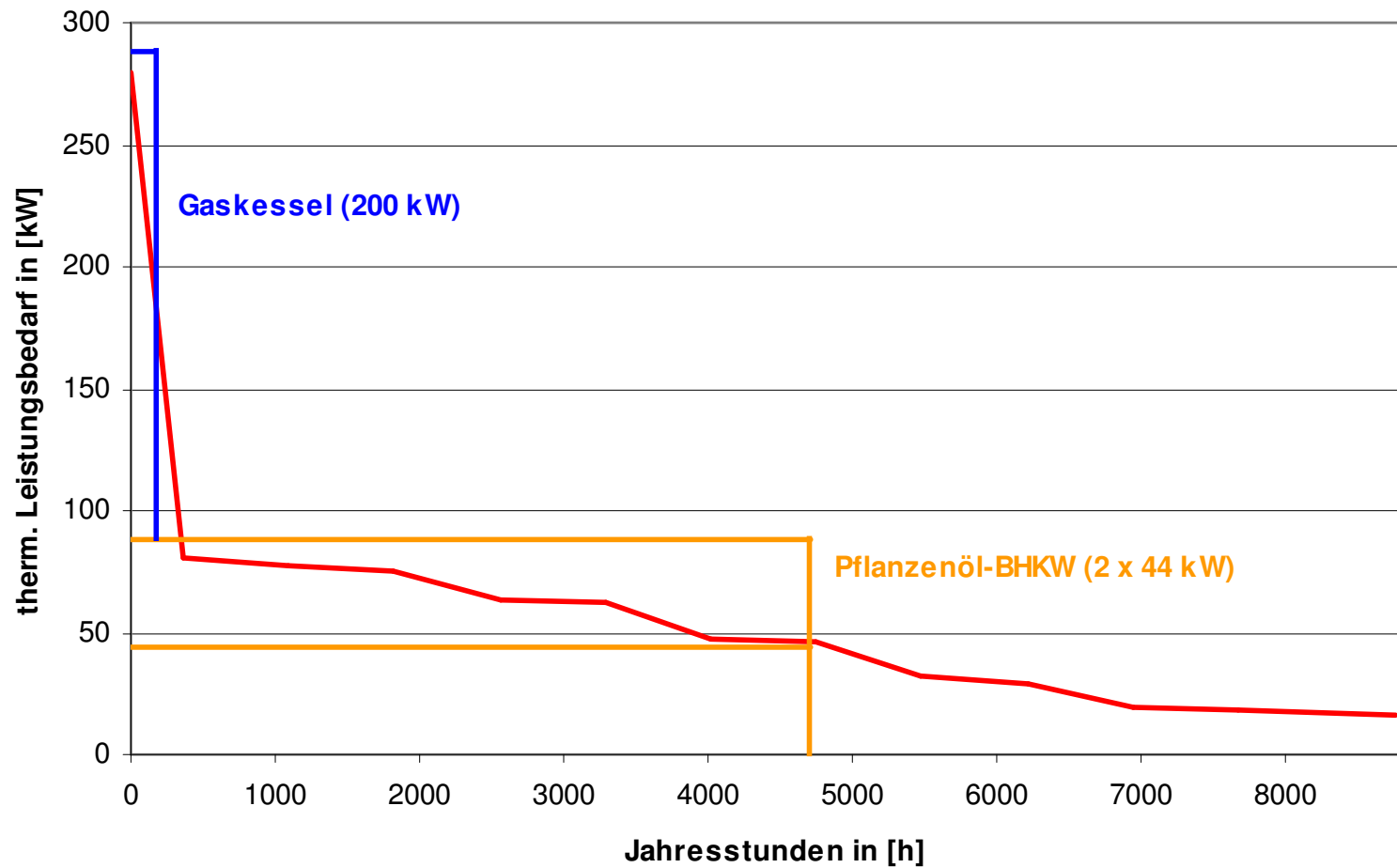
## IX. Projektbeispiele – Studentenwerk Oberfranken, Wohnheim Amberg

### KWK-Variante: Pflanzenöl-BHKW + Gasbrennwertkessel



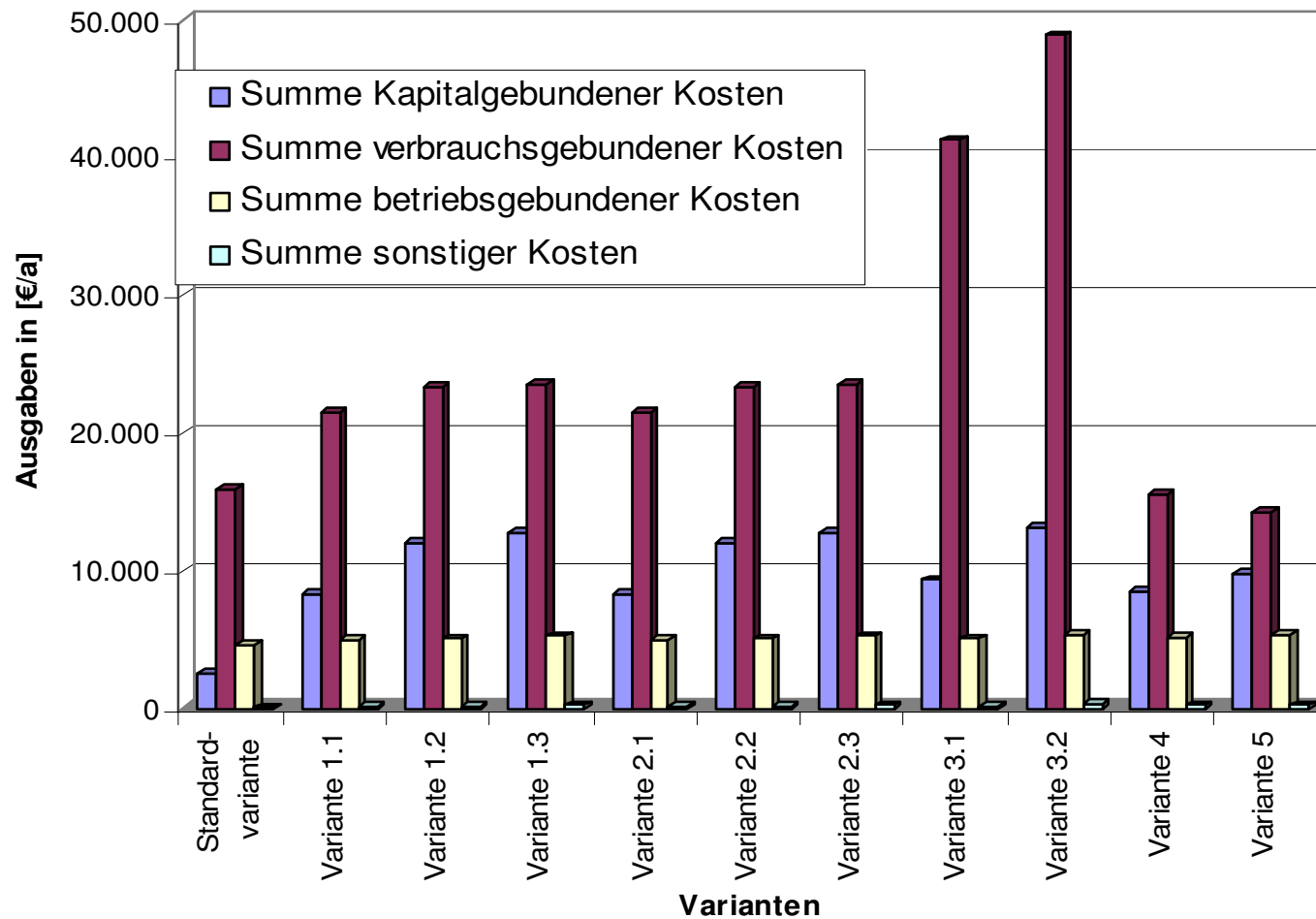
## IX. Projektbeispiele – Studentenwerk Oberfranken, Wohnheim Amberg

### KWK-Variante: 2 x Pflanzenöl-BHKW + Gasbrennwertkessel



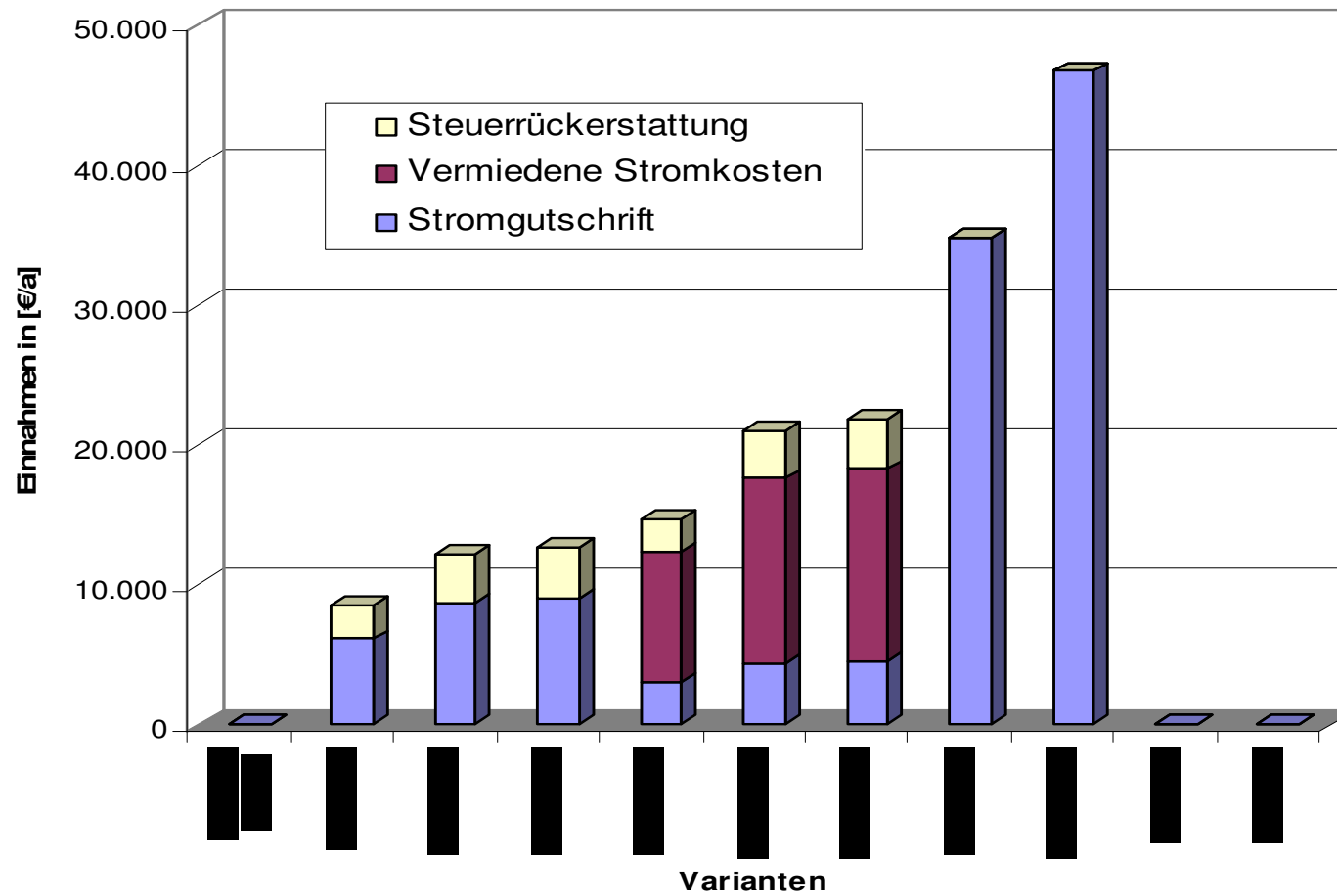
## IX. Projektbeispiele – Studentenwerk Oberfranken, Wohnheim Amberg

### Jahresgesamtkosten



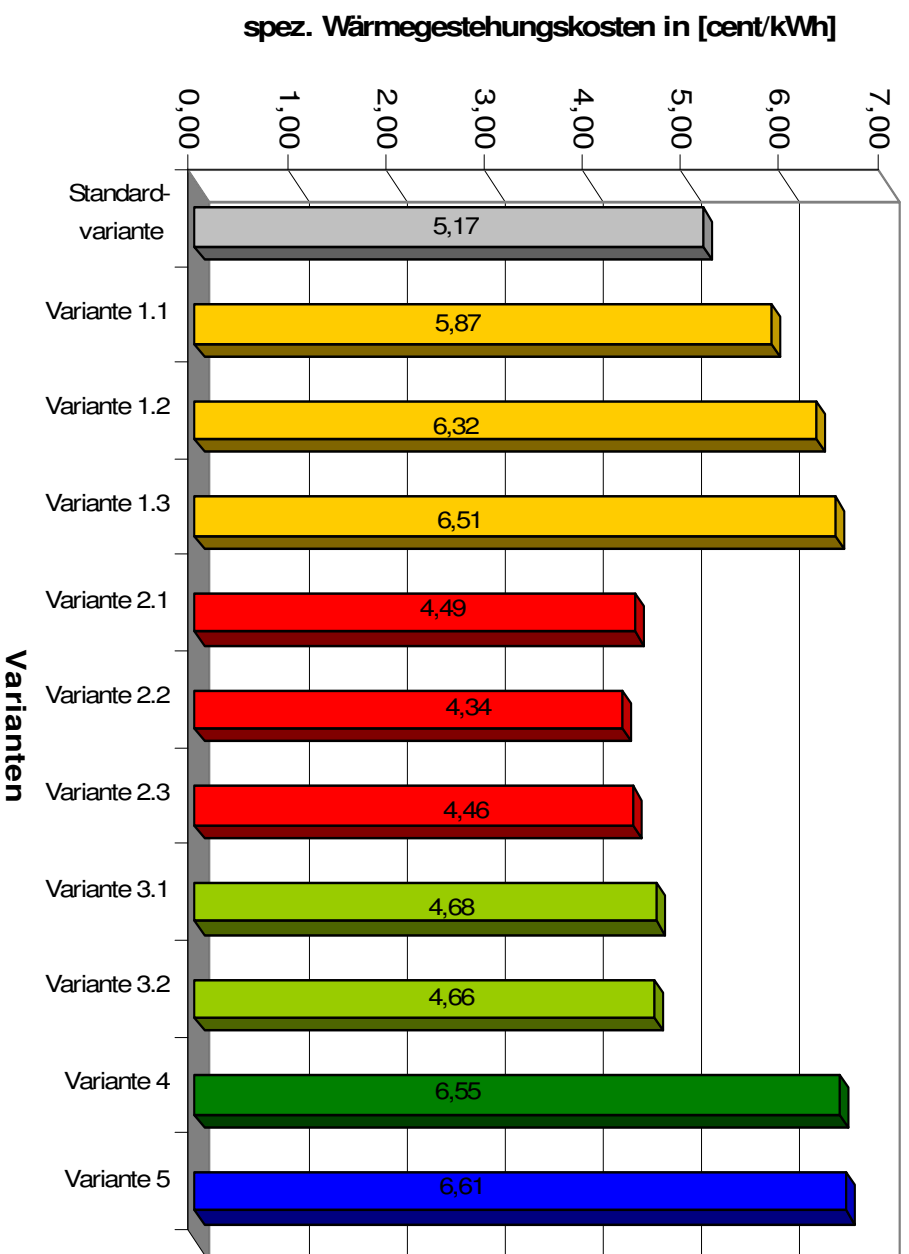
## IX. Projektbeispiele – Studentenwerk Oberfranken, Wohnheim Amberg

### Einnahmen aus der Stromproduktion



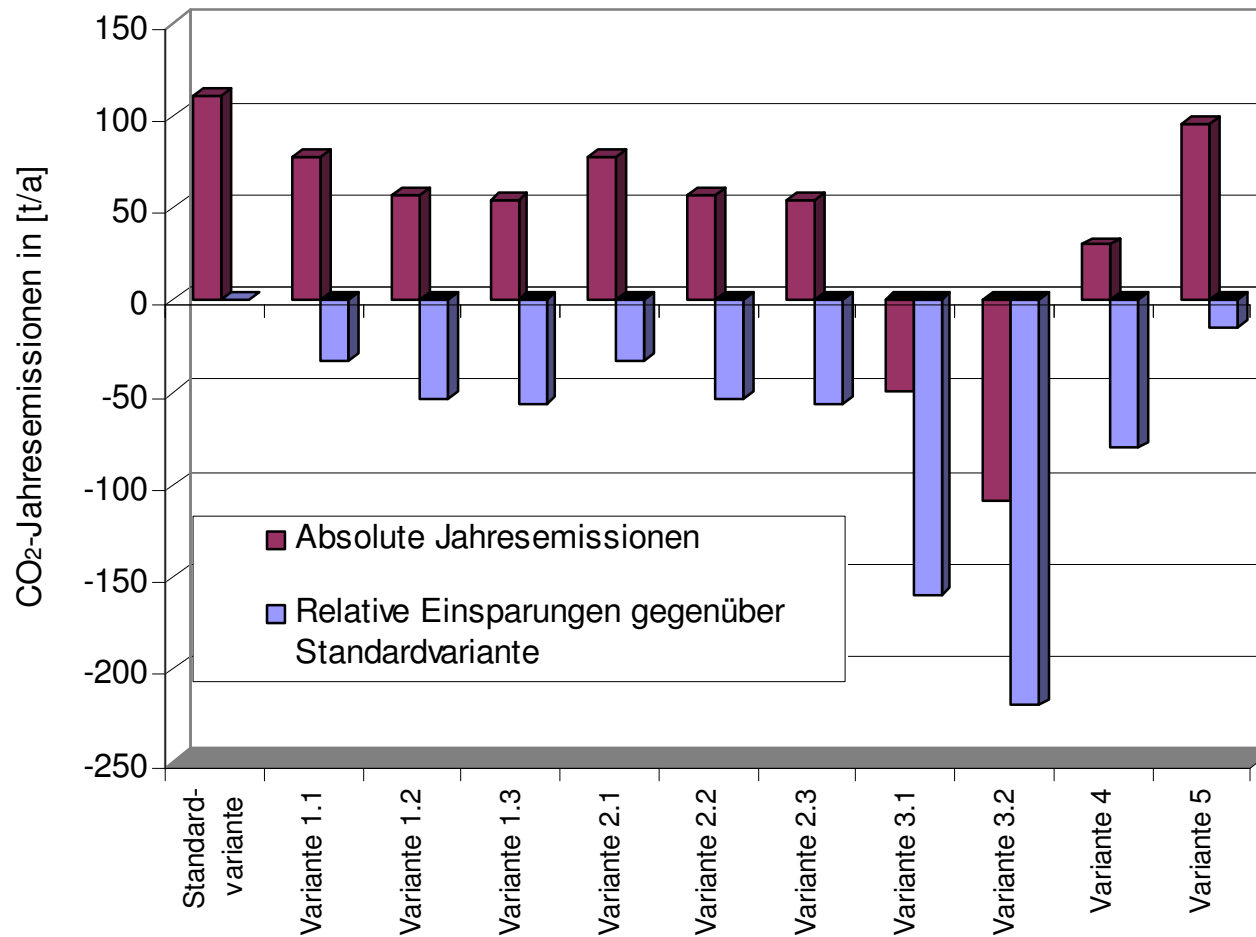
## IX. Projektbeispiele – Studentenwerk Oberfranken, Wohnheim Amberg

### Spezifische Wärmegestehungskosten



## IX. Projektbeispiele – Studentenwerk Oberfranken, Wohnheim Amberg

### CO<sub>2</sub>-Emissionen



## X. Zusammenfassung

- Kaltgepresste Pflanzenöle werden als eine Form erneuerbarer Energien uneingeschränkt den Forderungen einer nachhaltigen Energiequelle gerecht
  - Die kombinierte Strom- und Wärmebereitstellung in Blockheizkraftwerken ist hocheffizient und spart ca. 40 % Primärenergie gegenüber der konventionellen Energieversorgung
  - Konventionelle stationäre Seriendieselmotoren können an den Betrieb mit Pflanzenöl angepasst werden.
  - Technisch zuverlässige Systeme im Leistungsspektrum von 5-80 kW elektrisch
  - Neue technologische Ansätze im dual-fuel Betrieb und in der Modifikation direkteinspritzender Motoren
  - Ideale Energiequelle in ökologisch sensiblen Gebieten und Inselnetzen
  - Nach EEG-Novelle ist wirtschaftlicher Betrieb im Netzparallelbetrieb möglich
-

Vielen Dank  
für Ihre Aufmerksamkeit!

---