

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

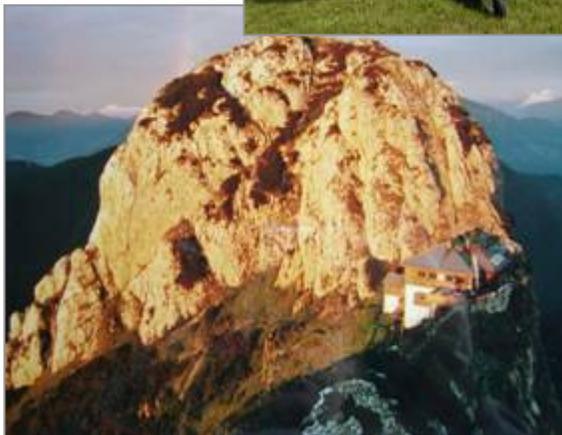
- I. Vorstellung**
 - II. Einführung**
 - III. Pflanzenöl als Kraftstoff in Motorsystemen**
 - IV. Aufbau und die Funktionsweise von BHKW-Systemen**
 - V. Motorische Modifikationen für die Nutzung von Pflanzenölen**
 - VI. Stand der Technik**
 - VII. Zukünftige Entwicklungen**
 - VIII. Der Holzgas-Pflanzenöl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

I. Vorstellung

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



I. Vorstellung



- Planung
- Entwicklung
- Machbarkeitsstudien, Konzepte
- Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen

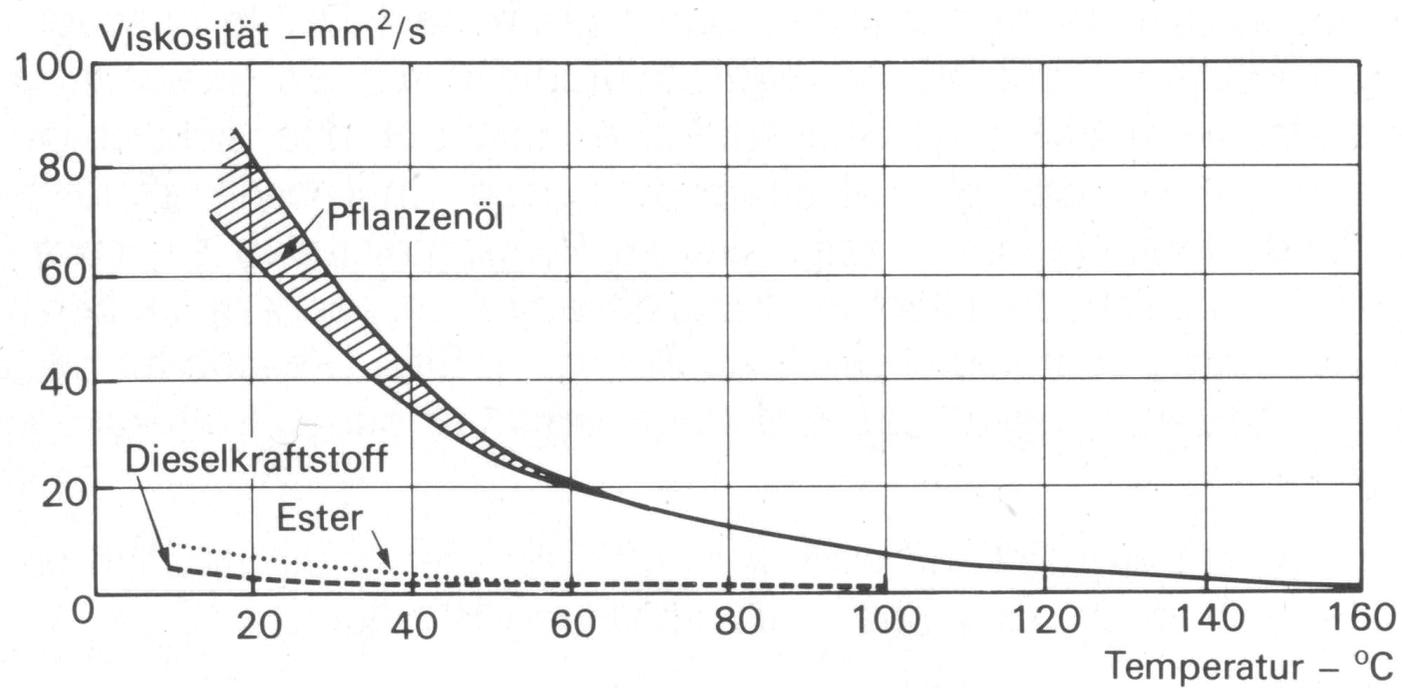
III. Pflanzenöl als Kraftstoff in Motorsystemen

Physikalisch-chemische Kraftstoffeigenschaften im Vergleich mit Diesel und Biodiesel

	Einheit	Diesel	Rapsöl	Biodiesel
Dichte	g/cm^3	0,83	0,900 - 0,930	0,875 - 0,900
Kinematische Viskosität (40 °C)	mm^2/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

 LTV-Arbeitskreis Dezentrale Pflanzenölgewinnung, Weihenstephan		in Zusammenarbeit mit:		 	
Eigenschaften / Inhaltsstoffe	Einheiten	Grenzwerte		Prüfverfahren	
für Rapsöl charakteristische Eigenschaften					
Dichte (15 °C)	kg/m ³	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 ² /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	
variable Eigenschaften					
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

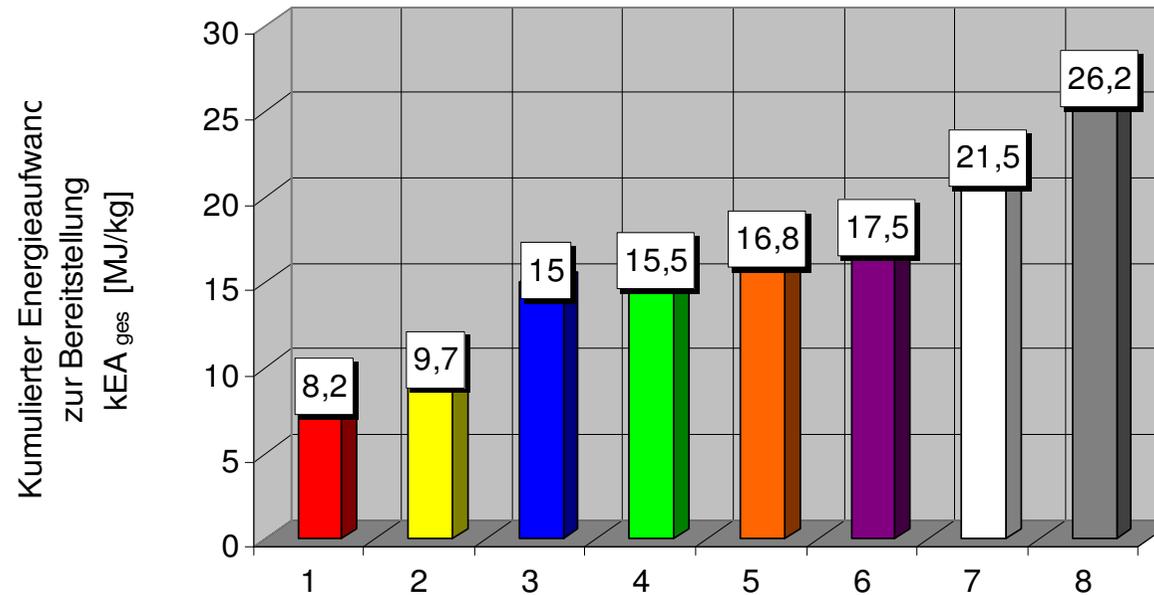
Bereitstellungsnutzungsgrad g :

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

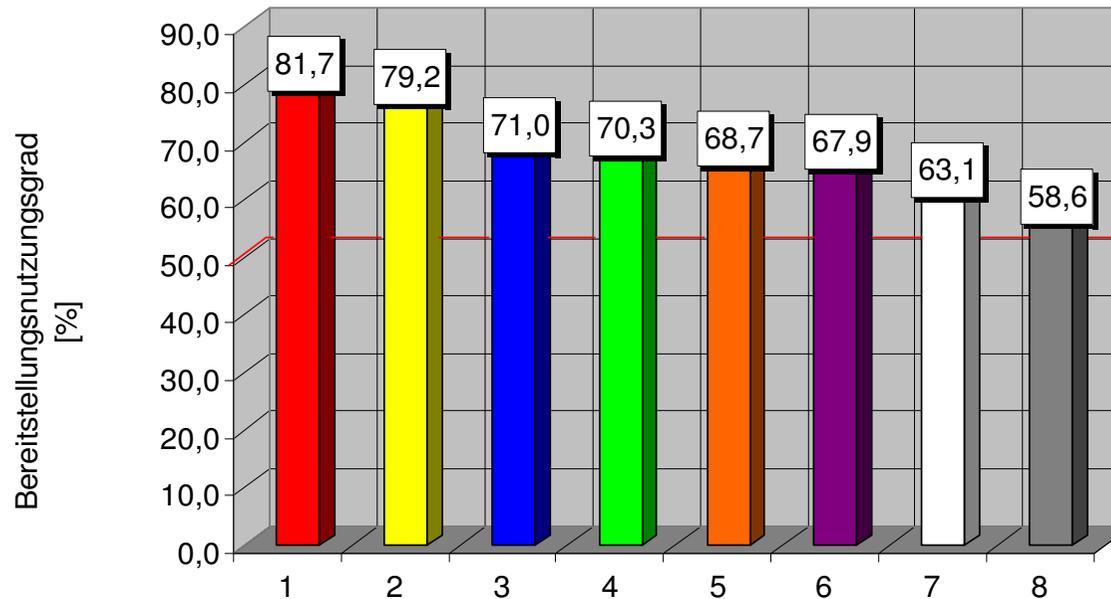
7 zentral gepresstes Rapsölvollraffinat,
Mineraldünger

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

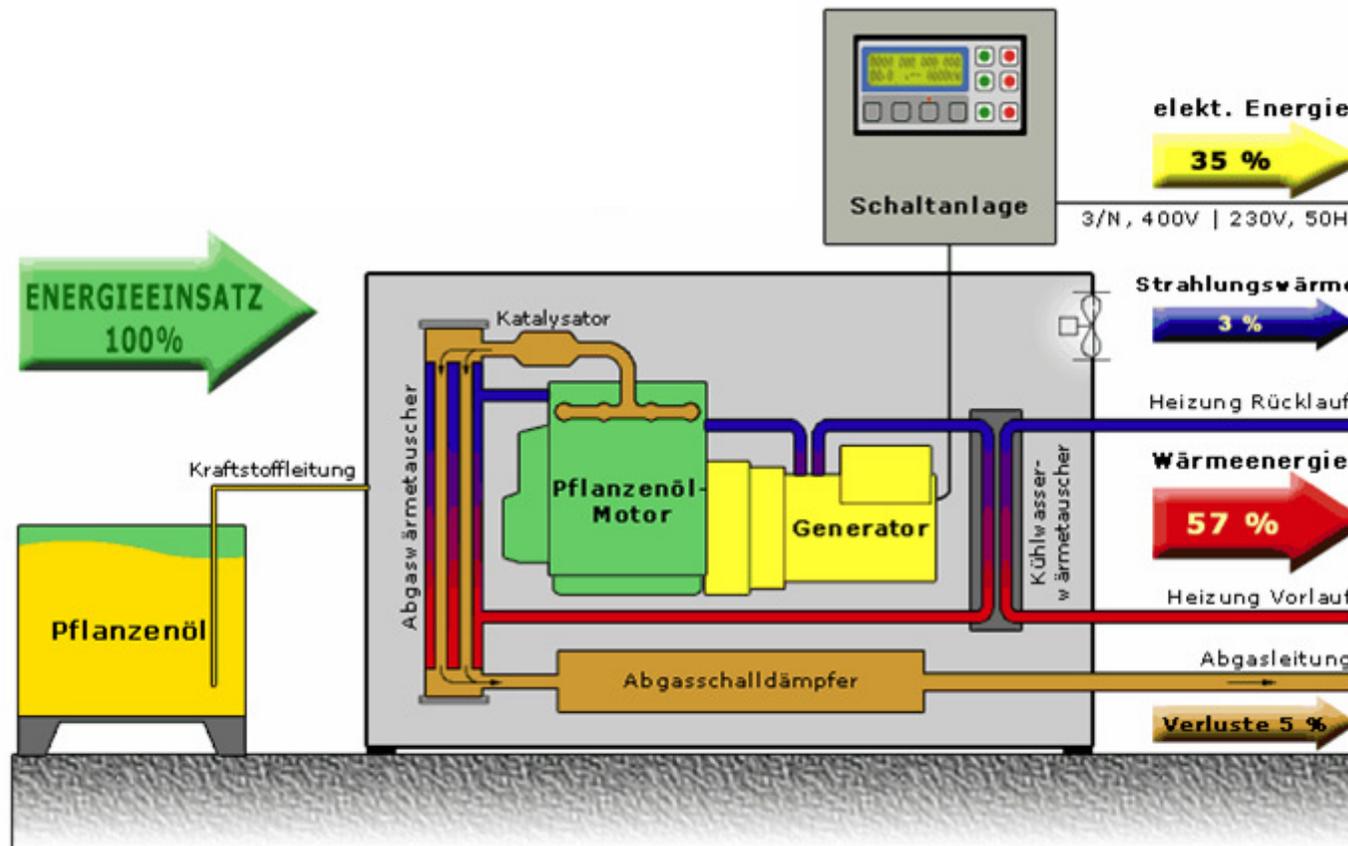
7 zentral gepresstes Rapsölvollraffinat,
Mineraldünger

8 Biodiesel - ungünstigste Variante

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

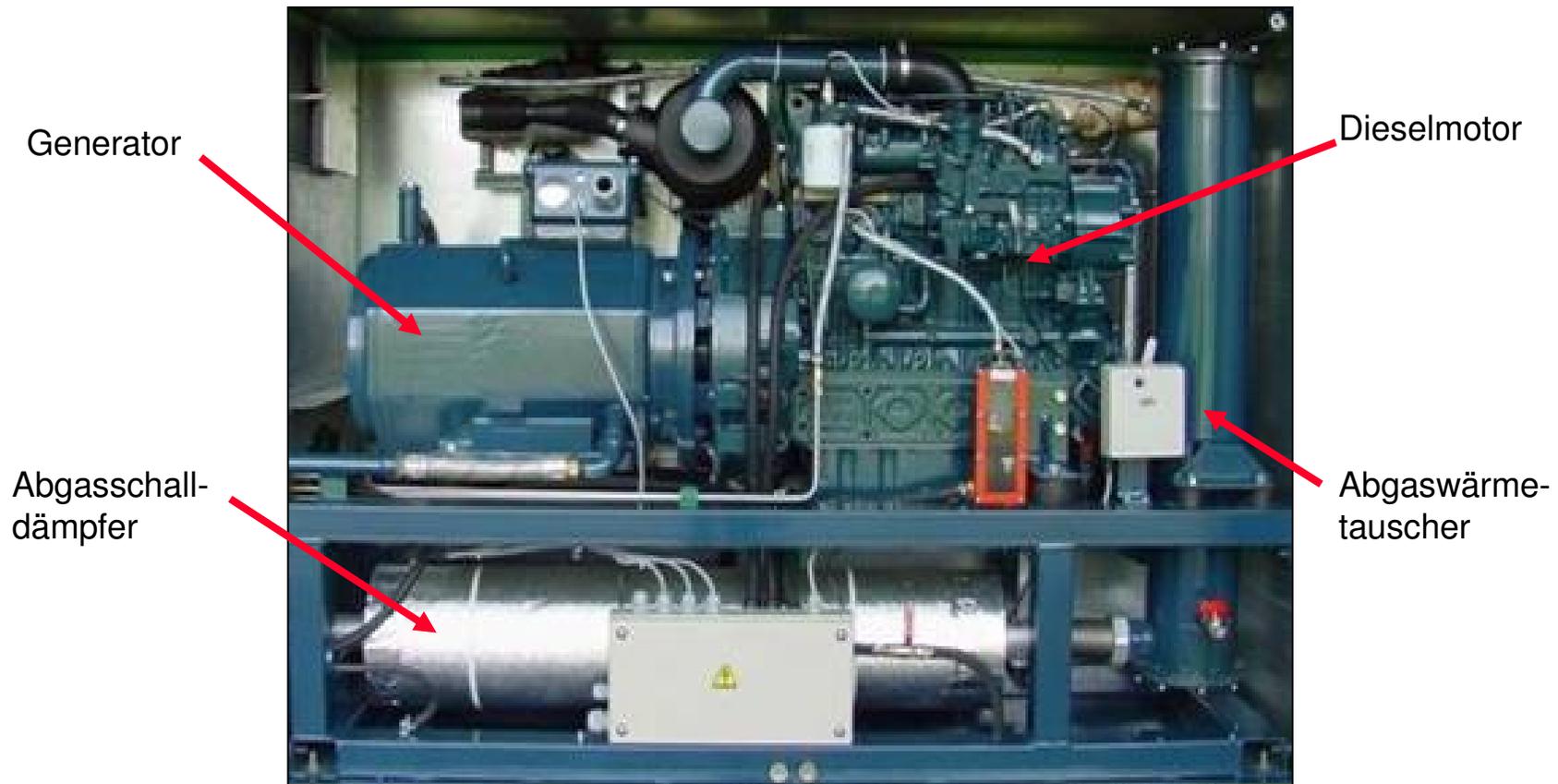
IV. Aufbau und Funktionsweise von BHKW-Systemen

Schematischer Aufbau einer BHKW-Anlage



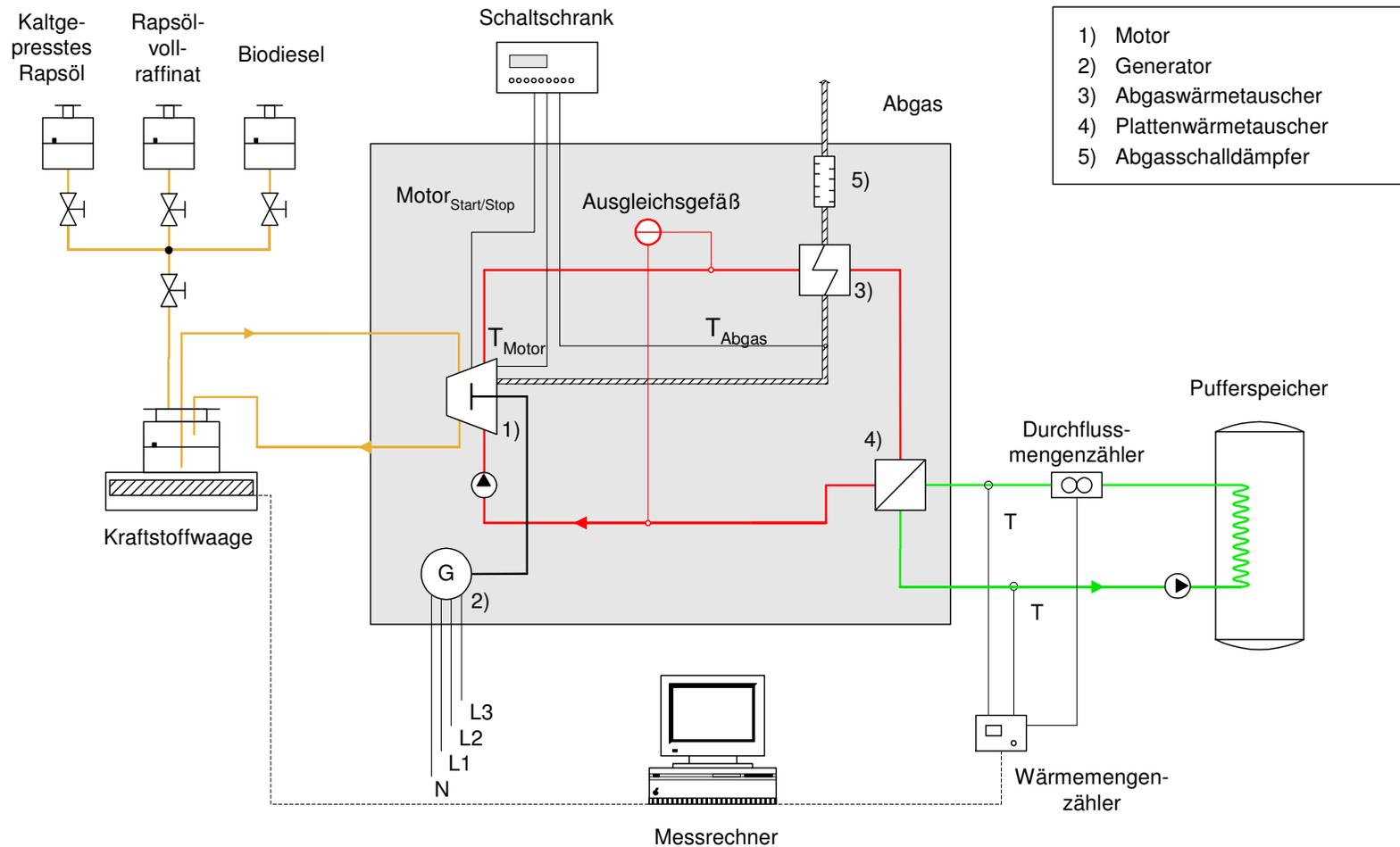
IV. Aufbau und Funktionsweise von BHKW-Systemen

Beispiel für ein Pflanzenöl-BHKW



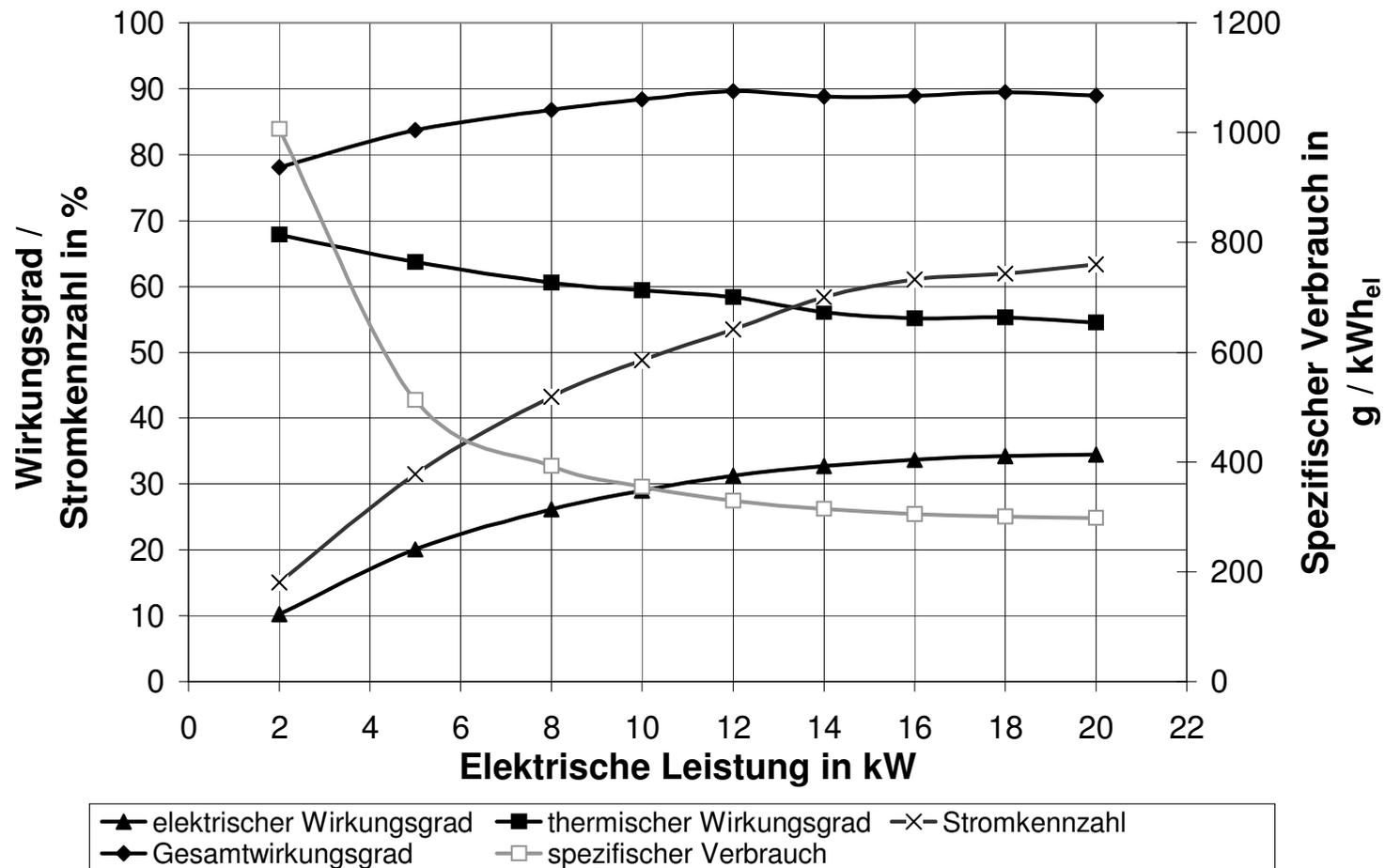
IV. Aufbau und Funktionsweise von BHKW-Systemen

Schema eines BHKW-Prüfstands an der FH Amberg



IV. Aufbau und Funktionsweise von BHKW-Systemen

Kenngroößen von BHKW-Systemen

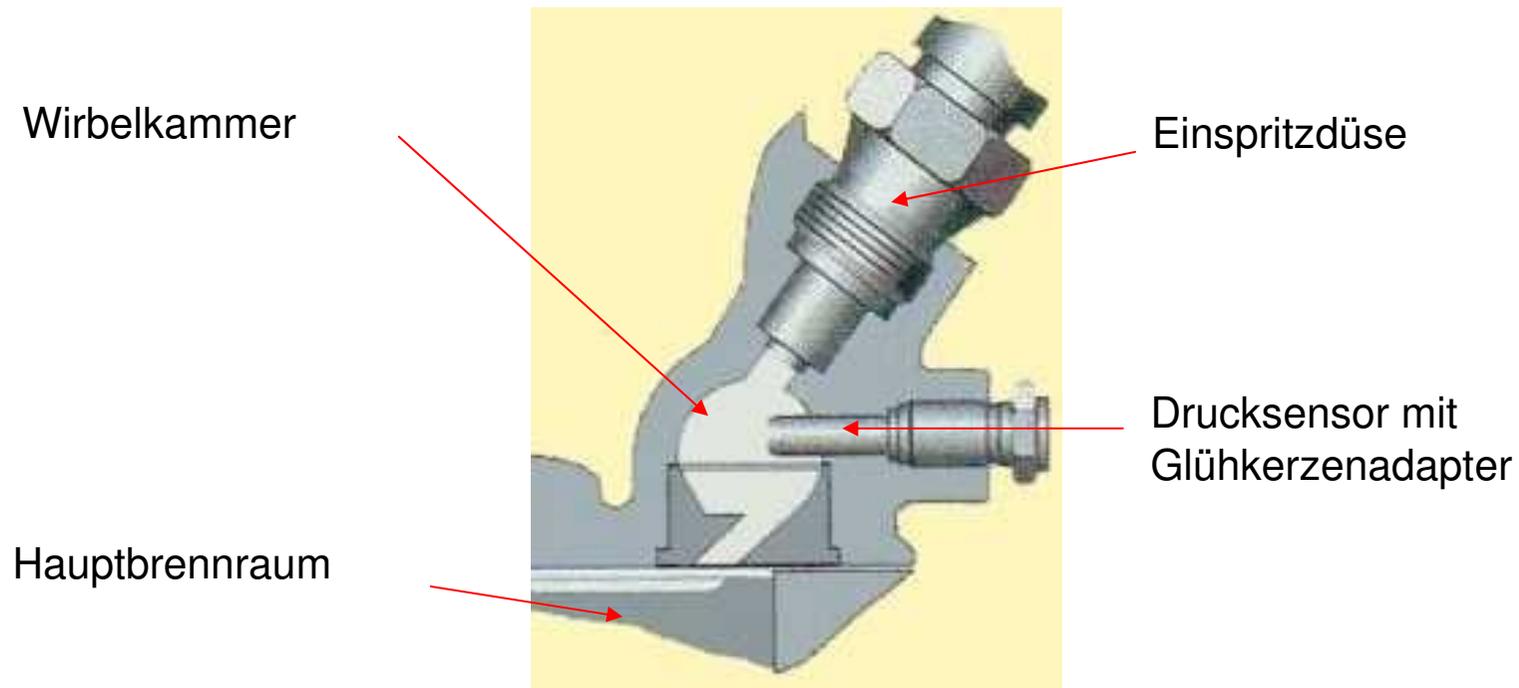


V. Motorische Modifikationen für die Nutzung von Pflanzenölen

- 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
-

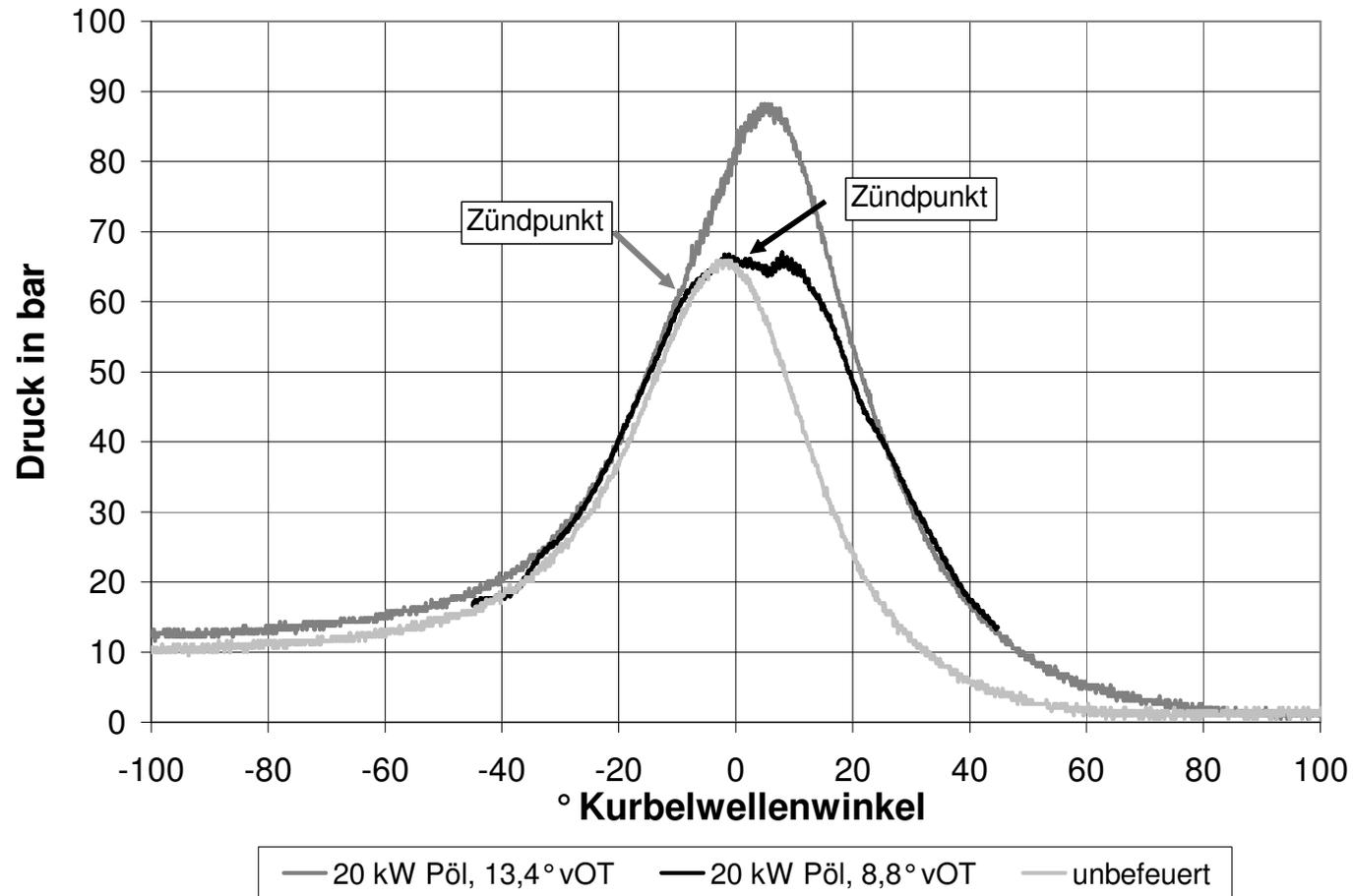
V. Motorische Modifikationen für die Nutzung von Pflanzenölen

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



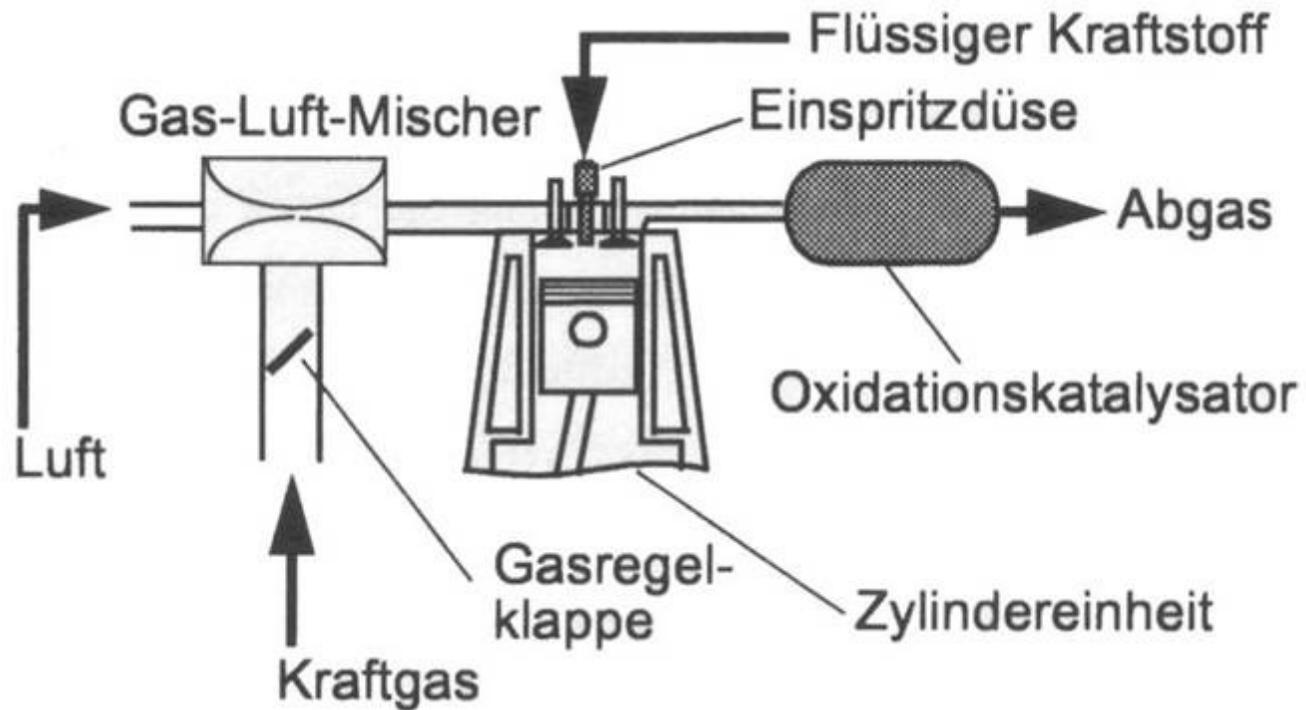
Völkl Multi-Fuel-Modul

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
-

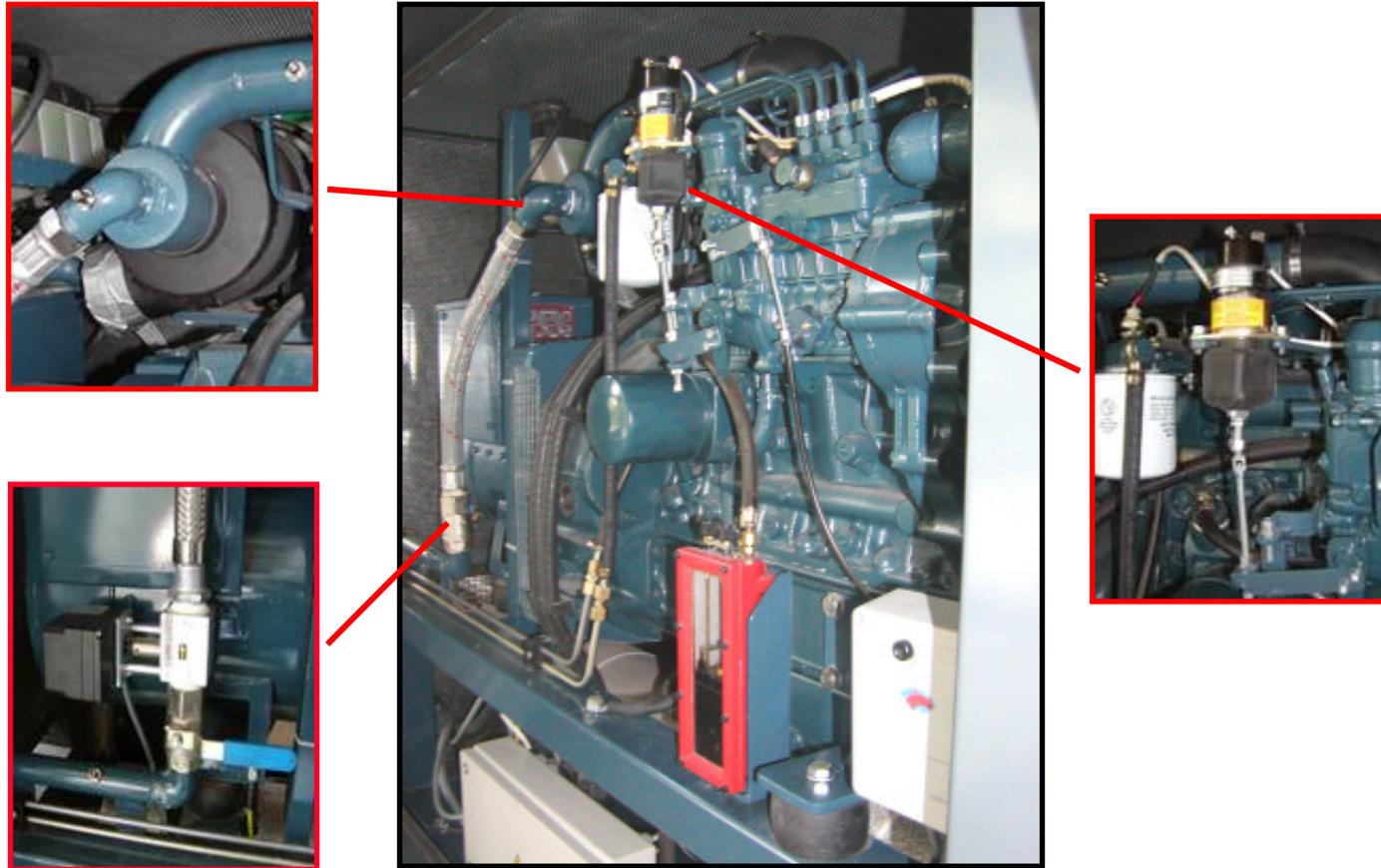
VIII. Der Holzgas-Pflanzenöl dual fuel Betrieb

Schema eines dual fuel Motors (Zündstrahlmotor)



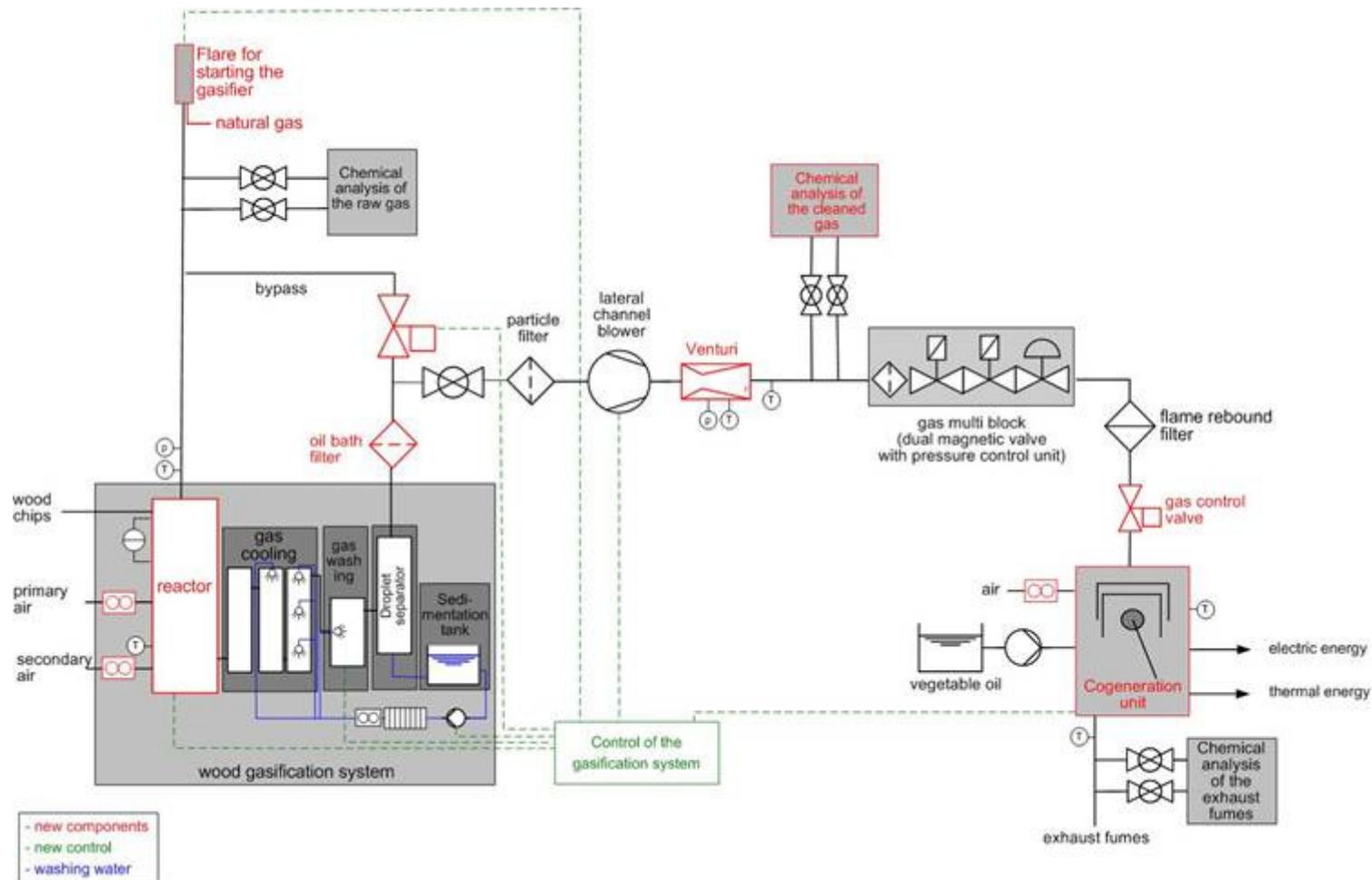
VIII. Der Holzgas-Pflanzenöl dual fuel Betrieb

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

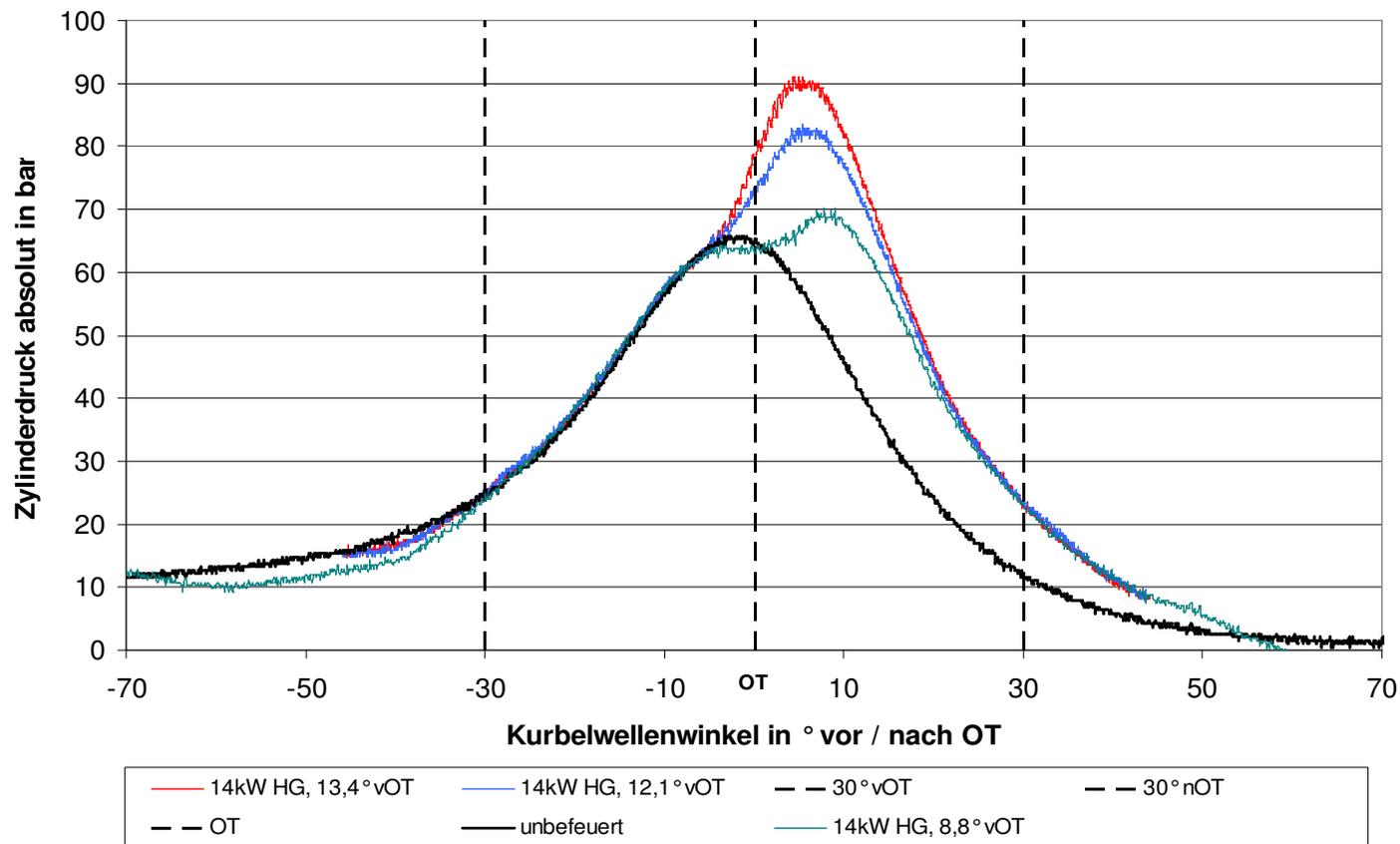
Die Versuchsanlage an der FH Amberg



VIII. Der Holzgas-Pflanzenöl dual fuel Betrieb

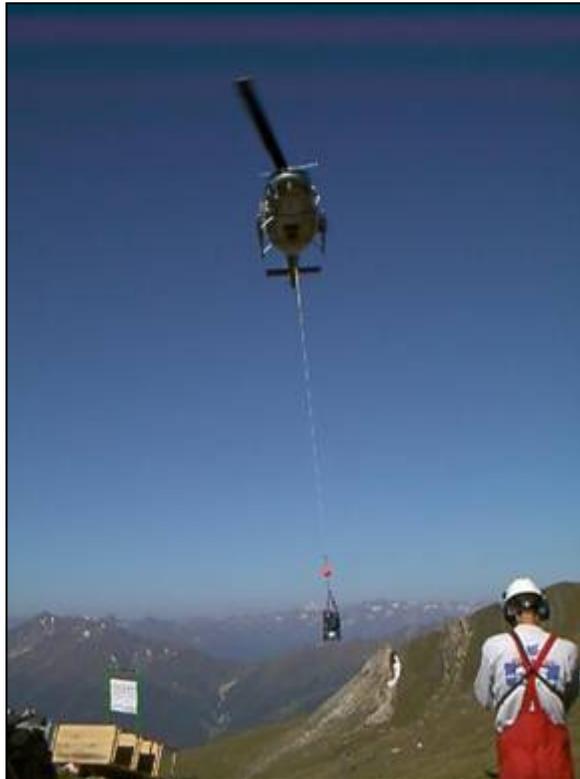
Zylinderdruckverlauf im dual fuel Betrieb bei verschiedenen Einspritzzeitpunkten

Zylinderdruckverlauf im Brennraum des Motors bei 1500 min⁻¹

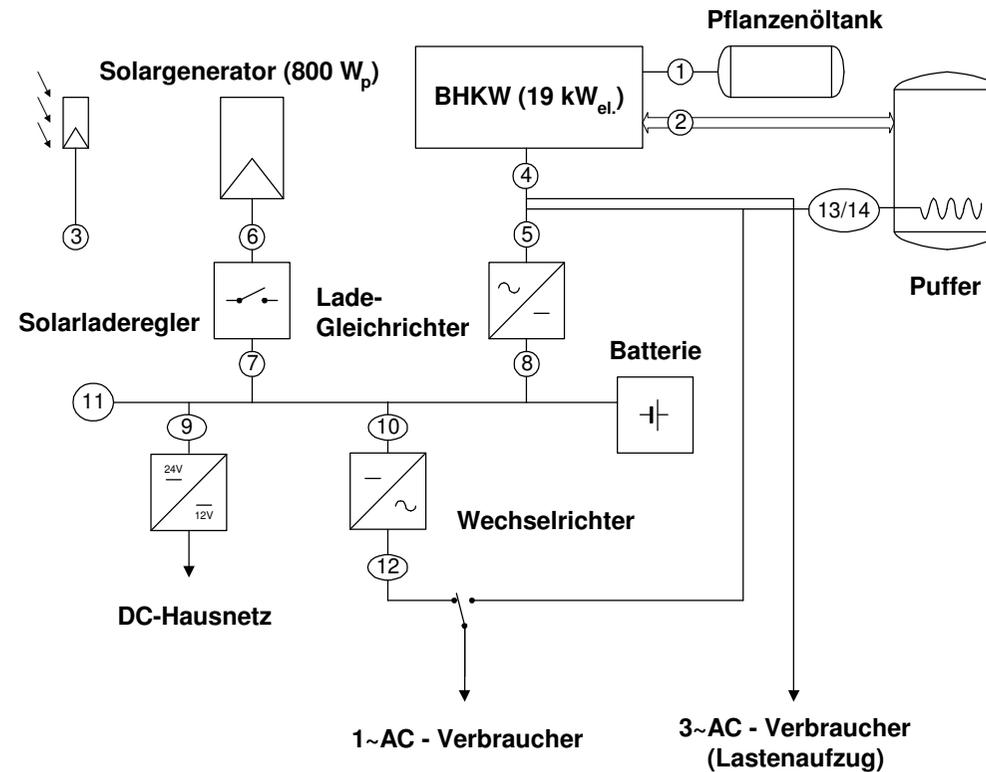


IX. Projektbeispiele – Glorer Hütte

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

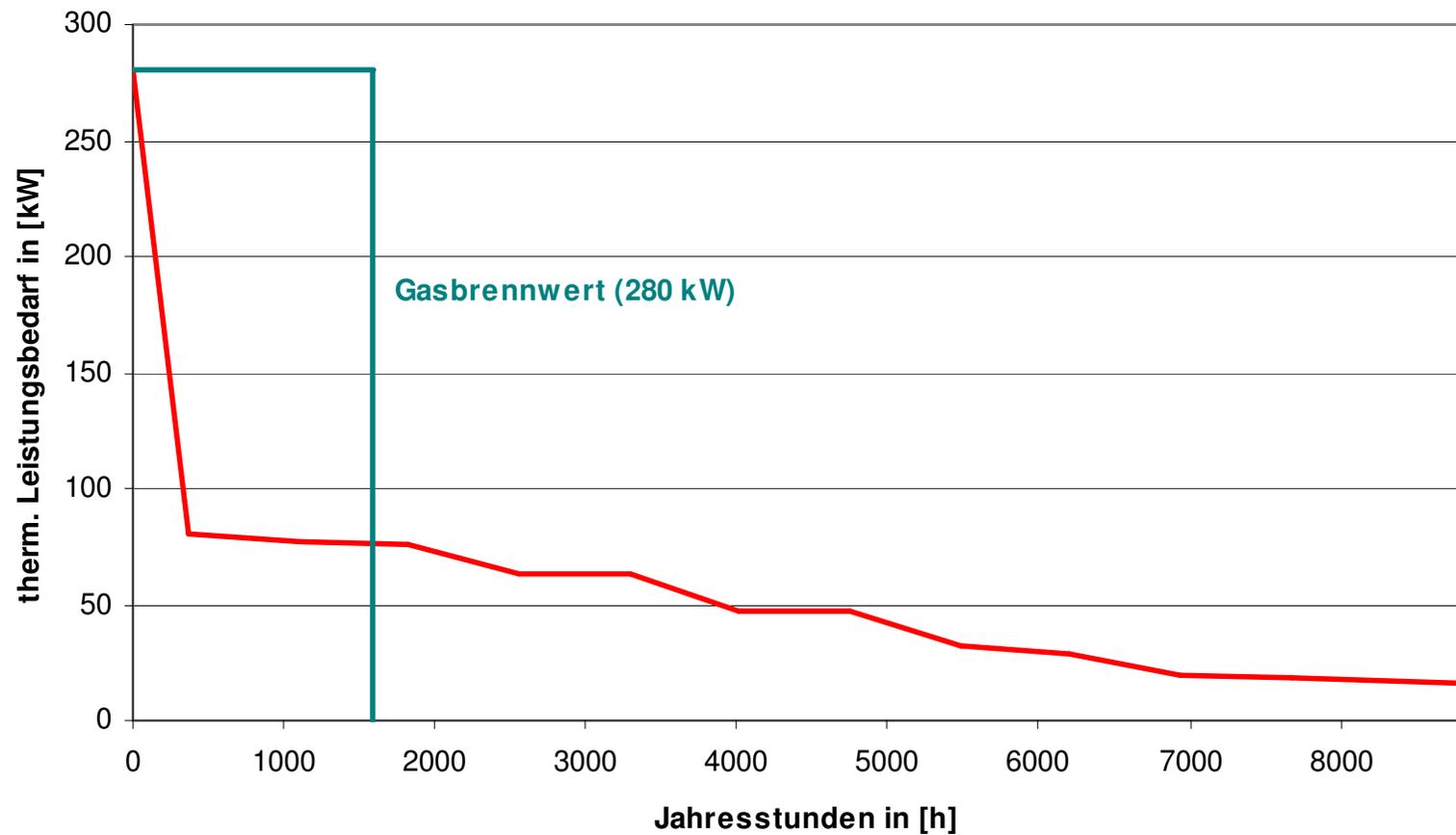
Glorer Hütte	20 kVA_{el} 45 kW_{th}	Mindelheimer Hütte	28 kVA_{el} 54 kW_{th}
Coburger Hütte	25 kVA_{el} 50 kW_{th}	Karl v. Edel Hütte	10 kVA_{el} 19 kW_{th}
Riemann Haus	28 kVA_{el} 54 kW_{th}	Brunnsteinhütte	Lastenaufzug
Sudetend. Hütte	22 kVA_{el} 42 kW_{th}	Kölner Haus	50 kVA_{el} 100 kW_{th}
Stüdl Hütte	6 kVA_{el} 12 kW_{th}	Staufen Haus	12 kVA_{el} 22 kW_{th}
Priener Hütte	22 kVA_{el} 42 kW_{th}	Neue Magdeburger	12 kVA_{el} 22 kW_{th}
Kaiserjochhaus	10 kVA_{el} 19 kW_{th}	Schiestelhaus	12 kVA_{el} 22 kW_{th}
Ingolstädter Haus	28 kVA_{el} 54 kW_{th}		
Kärlinger Haus	28 kVA_{el} 54 kW_{th}		

IX. Projektbeispiele – Studentenwerk Oberfranken, Wohnheim Amberg

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

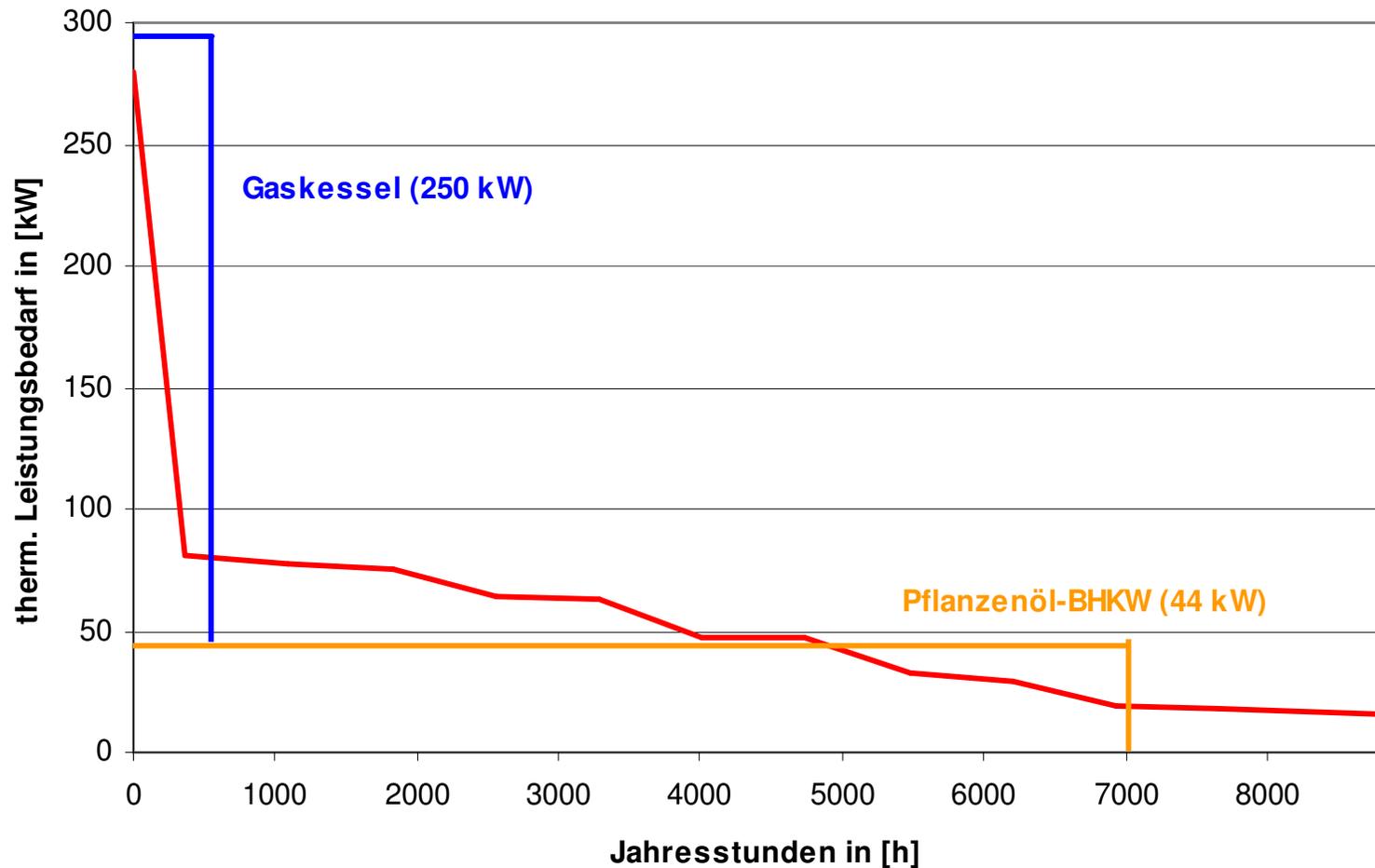
IX. Projektbeispiele – Studentenwerk Oberfranken, Wohnheim Amberg

Standardvariante: Gasbrennwertkessel



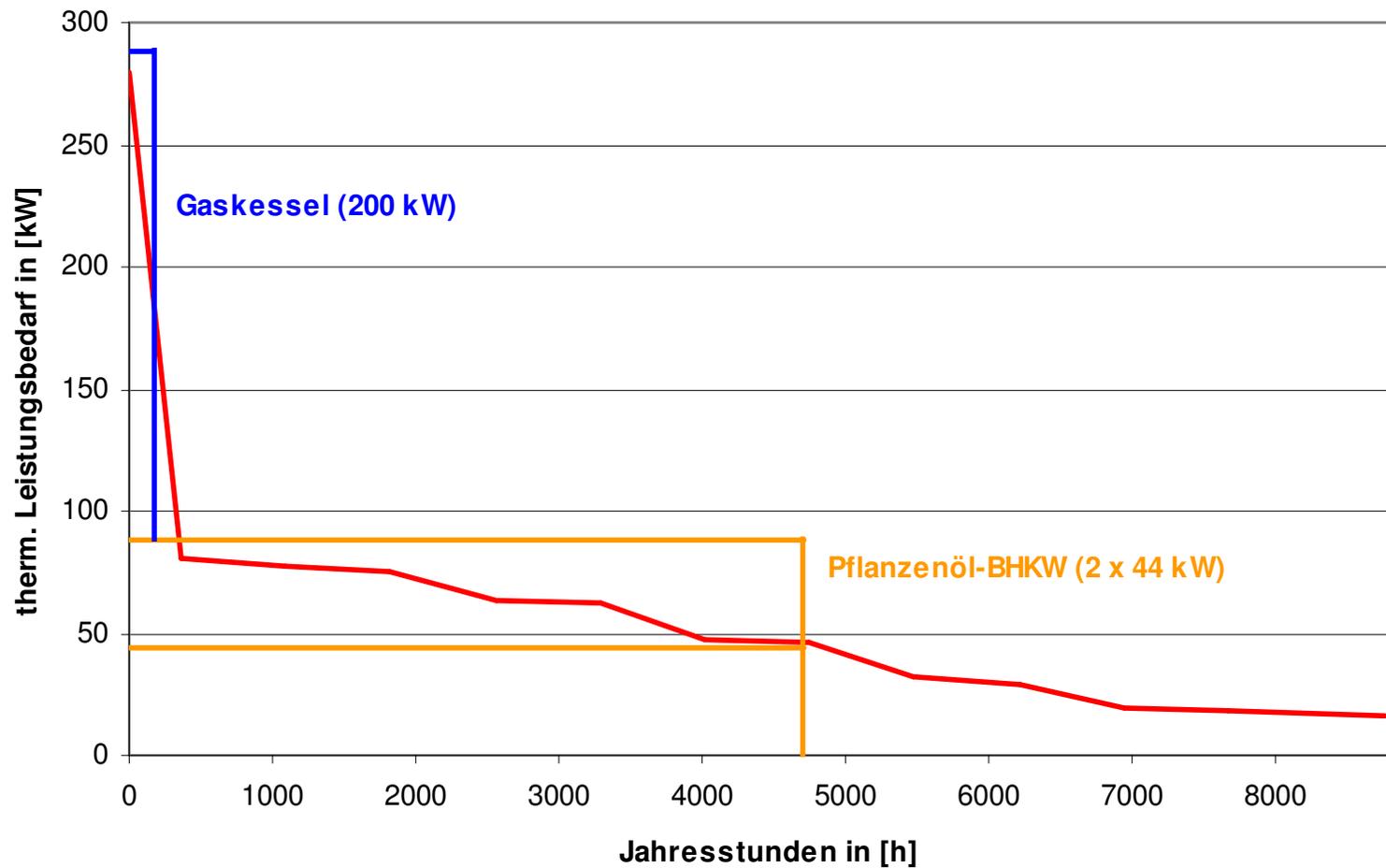
IX. Projektbeispiele – Studentenwerk Oberfranken, Wohnheim Amberg

KWK-Variante: Pflanzenöl-BHKW + Gasbrennwertkessel



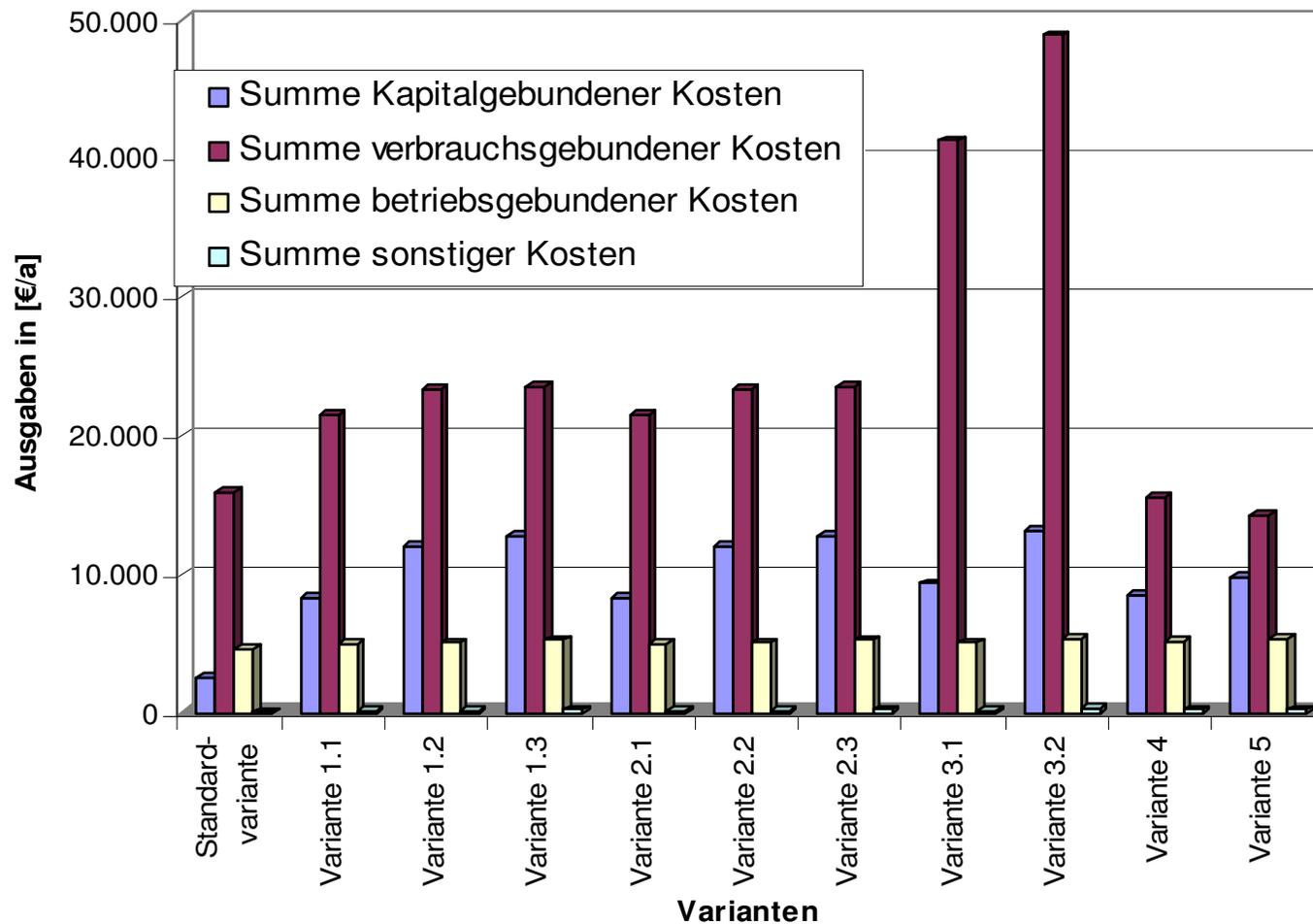
IX. Projektbeispiele – Studentenwerk Oberfranken, Wohnheim Amberg

KWK-Variante: 2 x Pflanzenöl-BHKW + Gasbrennwertkessel



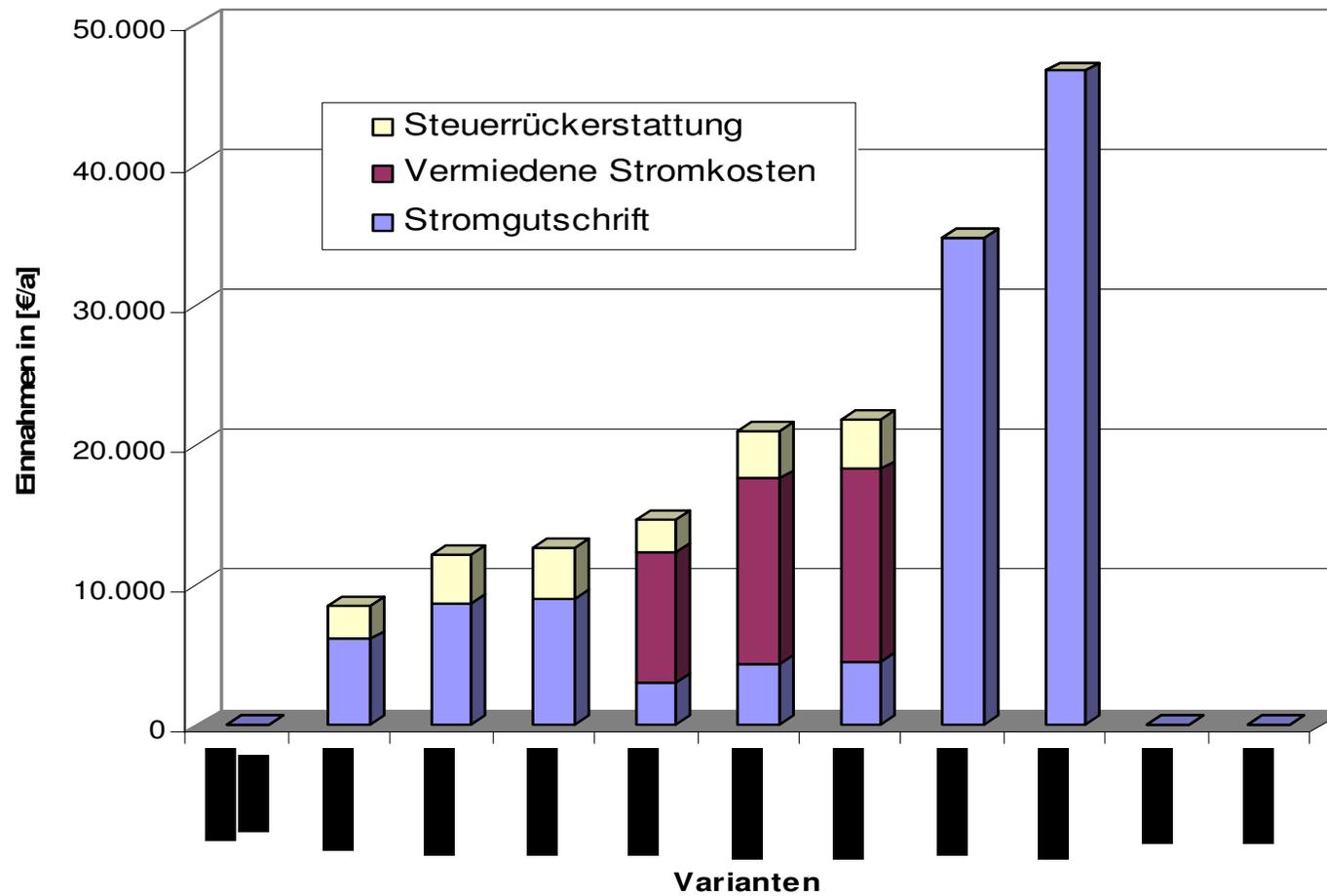
IX. Projektbeispiele – Studentenwerk Oberfranken, Wohnheim Amberg

Jahresgesamtkosten



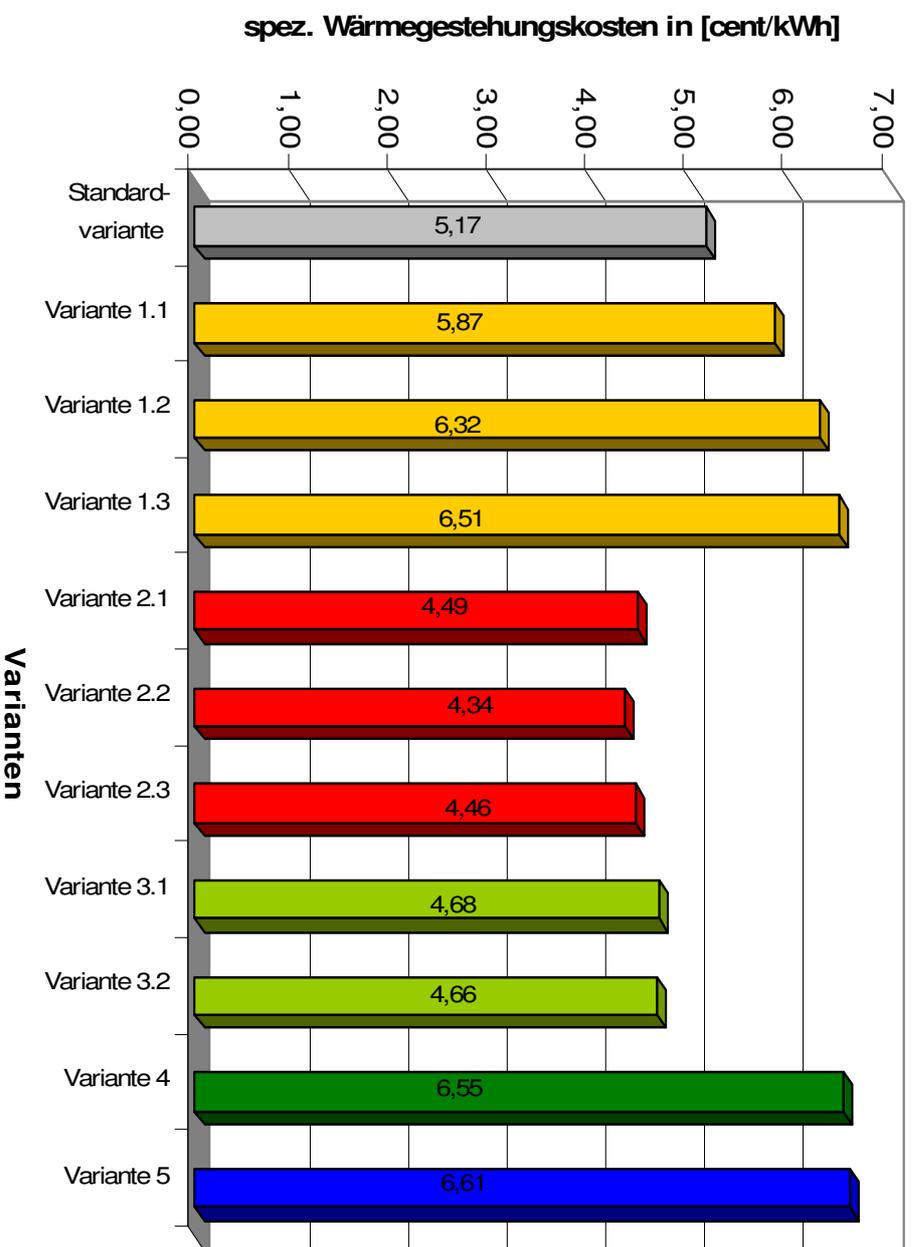
IX. Projektbeispiele – Studentenwerk Oberfranken, Wohnheim Amberg

Einnahmen aus der Stromproduktion



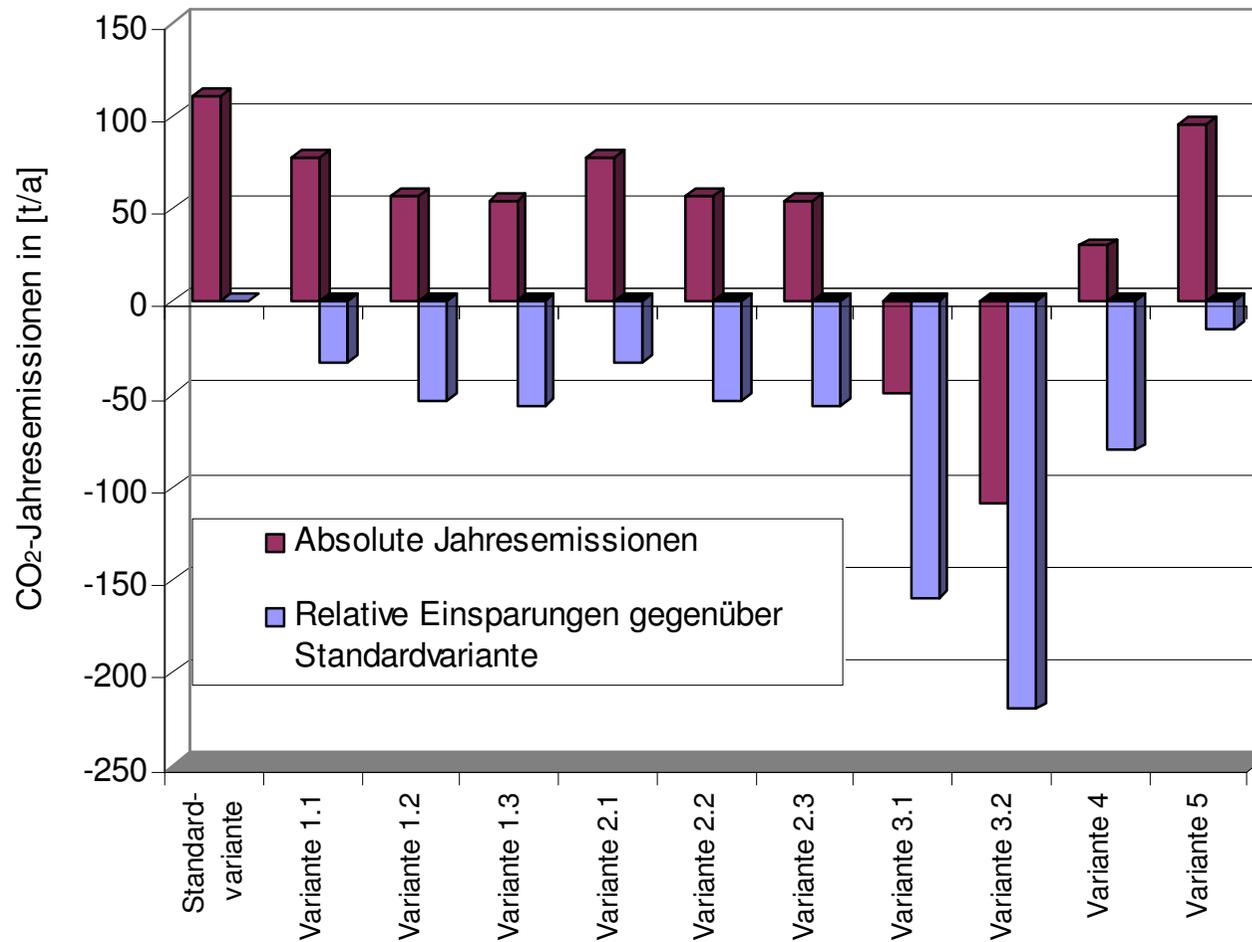
IX. Projektbeispiele – Studentenwerk Oberfranken, Wohnheim Amberg

Spezifische Wärmegestehungskosten



IX. Projektbeispiele – Studentenwerk Oberfranken, Wohnheim Amberg

CO₂-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!
