

## Energieeffizienz in Betrieben – Kosteneinsparung und Umweltschutz

**Prof. Dr.- Ing. Markus Brautsch**  
**Kaiser-Wilhelm-Ring 23**

**92224 Amberg**

**[m.brautsch@haw-aw.de](mailto:m.brautsch@haw-aw.de)**

**[www.ifeam.de](http://www.ifeam.de)**

## **Inhaltsübersicht**

### **Vorstellung Institut für Energietechnik**

### **Energieeffizienz in Betrieben**

- 1. Die Energieversorgung im Ist-Zustand**
- 2. Energieeffizienzsteigerung in der betrieblichen Energieverteilung**
- 3. Technische Dimensionierung künftiger Energieversorgungsvarianten**
- 4. Wirtschaftlichkeitsbetrachtung**
- 5. CO<sub>2</sub>- Bilanz**
- 6. Zusammenfassung - Systemempfehlung**

## **Vorstellung Institut für Energietechnik (IfE)**

### **Arbeitsschwerpunkte**

- Kommunale Energiekonzepte / Nahwärmeverbundlösungen
- Energieeffizienzkonzepte für Industrie, Gewerbe und Dienstleistung
- Wissenschaftlich Begleitforschung in Demonstrations- und Entwicklungsvorhaben
- Angewandte Forschung und Entwicklung
- Wissens- und Technologietransfer
- 10 Diplom Ingenieure und Wissenschaftler



## Referenzen im Bereich Energieeinsparkonzepte/Nahwärmekonzepte

### Kommunale Liegenschaften

Gemeinde Bad Heilbrunn	Bauhof Wiesau	Markt Plössberg
Rathaus Gebenbach	Gemeinde Kirchweihdach	Markt Mindelstetten
Markt Wernberg Köblitz	Stadt Schnaittenbach	Stadt Straubing
Gasthaus Stangl Ingolstadt	Stadtwerke Burglengenfeld	Stadtwerke Amberg
Gemeinde Neukirchen	Studentenwohnheim Weiden	Stadtwerke Neuburg a.d. Donau
Gemeinde Poppenricht	Mehrzweckhalle Reichling	Dr. Decker Schulen Amberg
Gemeinde Königstein	Nahwärmenetz Stadt	Amtsgericht Tirschenreuth
Gemeinde Edelsfeld	Vohenstrauß	Stadt Berching
Gemeinde Ursensollen	Stadt Pleystein	KHG Gebäude Regensburg
Schloss Theuern	Schule Dietfurt a.d. Altmühl	Stadtwerke Eichstätt
Schulzentrum Sulzbach- Rosenberg	Schulzentrum Eschenbach	Stadt Weiden
Gemeinde Hahnbach	Nahwärmenetz Neuburg a.d. Donau	Markt Kirchenthumbach
Gemeinde Schmidmühlen	Markt Pförring	Stadt Eschenbach
Gemeinde Rieden	Gärtnerei Stadt Weiden	Stadt Beilngries
Gemeinde Hohenburg	Gemeinde Tapfheim	Schulen Sulzbach-Rosenberg
Nahwärmeverbund Stadt Amberg	Gemeinde Sengenthal	Wirtschaftsschule Amberg
Gemeinde Kastl	Nahwärme Stadt Betzenstein	Stadt Kemnath
Markt Schwarzenfeld	Nahwärme Bad Endorf	Markt Buchbach
Gemeinde Saaldorf- Surheim	Nahwärme Stadt Weiden	Gemeinde Otting



### **Kirchliche Liegenschaften**

Kolpinghotel Lambach  
Kolpinghaus Cham  
Kolpinghaus Regensburg  
Musikhaus Kloster Ensdorf  
Pfarrgemeinde St. Michael Amberg  
St. Marien Schule Regensburg  
Exerzitienhaus Johannisthal  
Kloster Rebdorf  
kirchliche Liegenschaften Mindelstetten  
Diözese Eichstätt  
Kloster Plankstetten  
Pfarrei Sinzing  
KHG Gebäude Regensburg  
Dr. Decker Schulen Amberg  
Maristen Schulen Cham

### **Krankenhäuser**

Klinik St. Anna Sulzbach- Rosenberg  
Klinikum Eichstätt  
Krankenhaus Eschenbach  
Krankenhaus Neustadt a.d. Waldnaab  
Krankenhaus Vohenstrauß  
Klinikum Weiden

### **Vereine/Sonstiges**

VHS Amberg- Sulzbach LCC  
Alpenhof Hindelang  
Seehaus Fichtelgebirge  
Riemann Haus DAV  
Weidener Hütte DAV  
Glorer Hütte DAV  
Tegernseer Hütte DAV  
Sudetendeutsche Hütte des DAV  
Studentenwohnheim Amberg  
Studentenwohnheim Weiden  
Kurhaus Wöhrder Wiese Nürnberg  
Sportzentrum Rothenstadt

## Energieeffizienzkonzepte für Industrie, Gewerbe und Dienstleistung

Dokumentation der Energieversorgung im Ist-Zustand

Infrastruktur, Kosten, Lieferverträge, Primärenergiebedarf, CO<sub>2</sub>-Ausstoß

Energieeffizienzsteigerung in der betrieblichen Energieverteilung

Druckluft, Wärme, Dampf, Kälte, Regelungstechnik, Abwärmenutzung, Lastmanagement

Energieeffizienzsteigerung in der betrieblichen Energieerzeugung

BHKW-Lösungen, Biomassensysteme, Zweistoffbrenner, Kombilösungen

Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

Investitionsprognosen, Vollkostenrechnung, Sensitivitätsanalysen

Rechtliche Rahmenbedingungen

EEG, KWKG, EnEV, Wärmegesetz

Fördermöglichkeiten

CO<sub>2</sub>- und Primärenergiebilanz im Soll-Zustand



## Betriebe

Fa. Grammer AG, Amberg  
Betriebshof Stadt Amberg  
Müller Porzellan  
Schönacher Neuburg a. d. Donau  
Ernst Vögel GmbH  
Fa. Guttenberger & Partner GmbH, Freystadt  
Fa. Suspa Compart GmbH, Sulzbach Rosenberg  
BBL- Oberflächentechnik GmbH, Roth  
Arbogast Bauunternehmen, Amberg  
Hotel Allgäu Stern  
Rohrwerk Maxhütte, Sulzbach-Rosenberg  
BHS Corrugated GmbH, Weiherhammer  
Brauerei Bruckmüller, Amberg  
Domspitzmilch Amberg  
Stadtwerke Amberg  
Stadtwerke Eichstätt  
Stadtwerke Neuburg  
Klingele Papierwerke, Hilpoltstein  
Zapf Fertigaragen, Weidenberg  
Fürst Wallerstein  
Speck Pumpen, Roth

Kaiserhof Abenberg  
Takeo GmbH, Dietfurt a.d. Altmühl  
Auto Siegl GmbH, unterdolling  
Systec GmbH, Karlstadt  
Adellmann GmbH, Karlstadt  
Autohaus Bögl Neumarkt i.d. Opf.  
Brauerei Kundmüller  
Nutrichem Roth  
JK Industrielackierungen Weißenburg  
Siemens AG Medical Solution Kemnath  
Chema Prozess- und Systemtechnik Arnstadt  
Fila Industrielackierungen GmbH, Wernberg-Köblitz  
Haslinger Metallbau GmbH Aldersbach-Uttigkofen  
Flexipack International GmbH & Co KG, Baar-  
Ebenhausen  
Smurfit Kappa Rheinwelle GmbH, Neuburg a.d.  
Donau  
Wipag GmbH, Neuburg a.d. Donau  
Meier Betonwerke GmbH, Lauterhofen  
Siemens AG, Kemnath  
Kerb-Konus-Vertriebs GmbH Amberg



## **Wissenschaftlich-messtechnische Begleitforschung von Demonstrations- und Entwicklungsvorhaben im mehrjährigen Versuchsbetrieb**

Demonstration vernetzter Dampf-, Strom-, Druckluft- und Kälteproduktion zur Effizienzsteigerung in der **BHS Corrugated GmbH in Weiherhammer**, Laufzeit 2007 – 2010,  
Gefördert vom Bayerischen Staatsministerium für Wirtschaft, Infrastruktur, Verkehr und Technologie

Errichtung, Erprobung und Optimierung eines ganzheitlich vernetzten thermischen Ringleitungsnetzes in der **Grammer AG in Hasemühl**, Laufzeit 2006 – 2009,  
Gefördert vom Bayerischen Staatsministerium für Wirtschaft, Infrastruktur, Verkehr und Technologie

Verbrauchs- und Betriebsoptimierung von **BHKW-Anlagen für den Einsatz in Kommunen und mittelständischen Betrieben**, Laufzeit 2006 – 2009,  
Gefördert vom Bayerischen Staatsministerium für Wirtschaft, Infrastruktur, Verkehr und Technologie

Anlagen- und Betriebsoptimierung eines BHKW-Systems im **Familienhotel in Lambach**, Laufzeit 2006-2008,  
Gefördert von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt

Effiziente Vernetzung innovativer Strom- und Wärmeproduktion in **kommunalen Liegenschaften, Stadt Eschenbach i. d. Opf.**  
Gefördert vom Bayerischen Staatsministerium für Wirtschaft, Infrastruktur, Verkehr und Technologie,  
Laufzeit 2008-2010



●rationelle Energiewandlung ●Erneuerbare Energien ●Energieeffizienz

## 1. Die Energieversorgung im Ist-Zustand



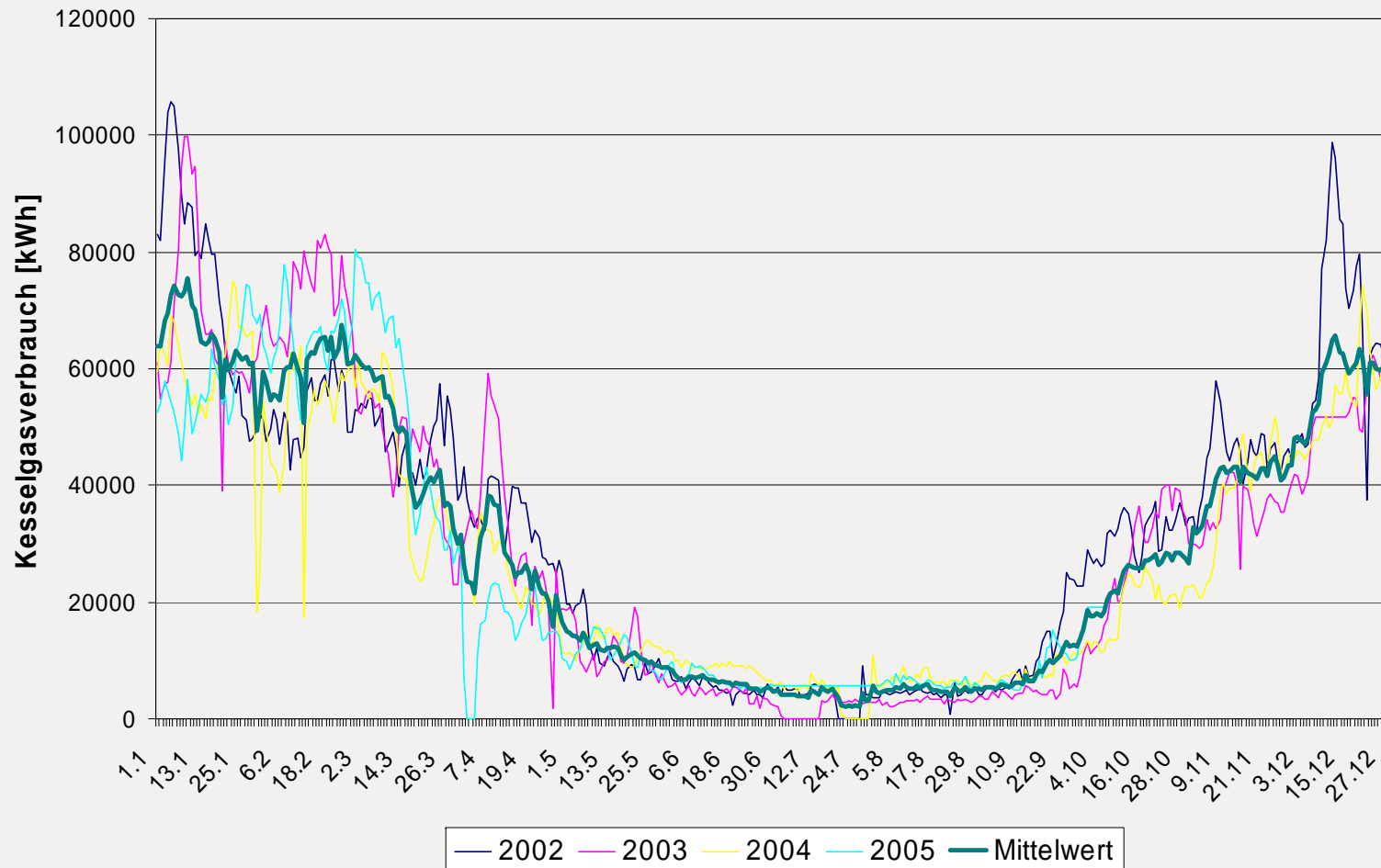
(c) Bayerische Vermessungsverwaltung

Hochdruck-Dampfkessel mit einem Zweistoffbrenner (Bj. 1987) 8,25 MW

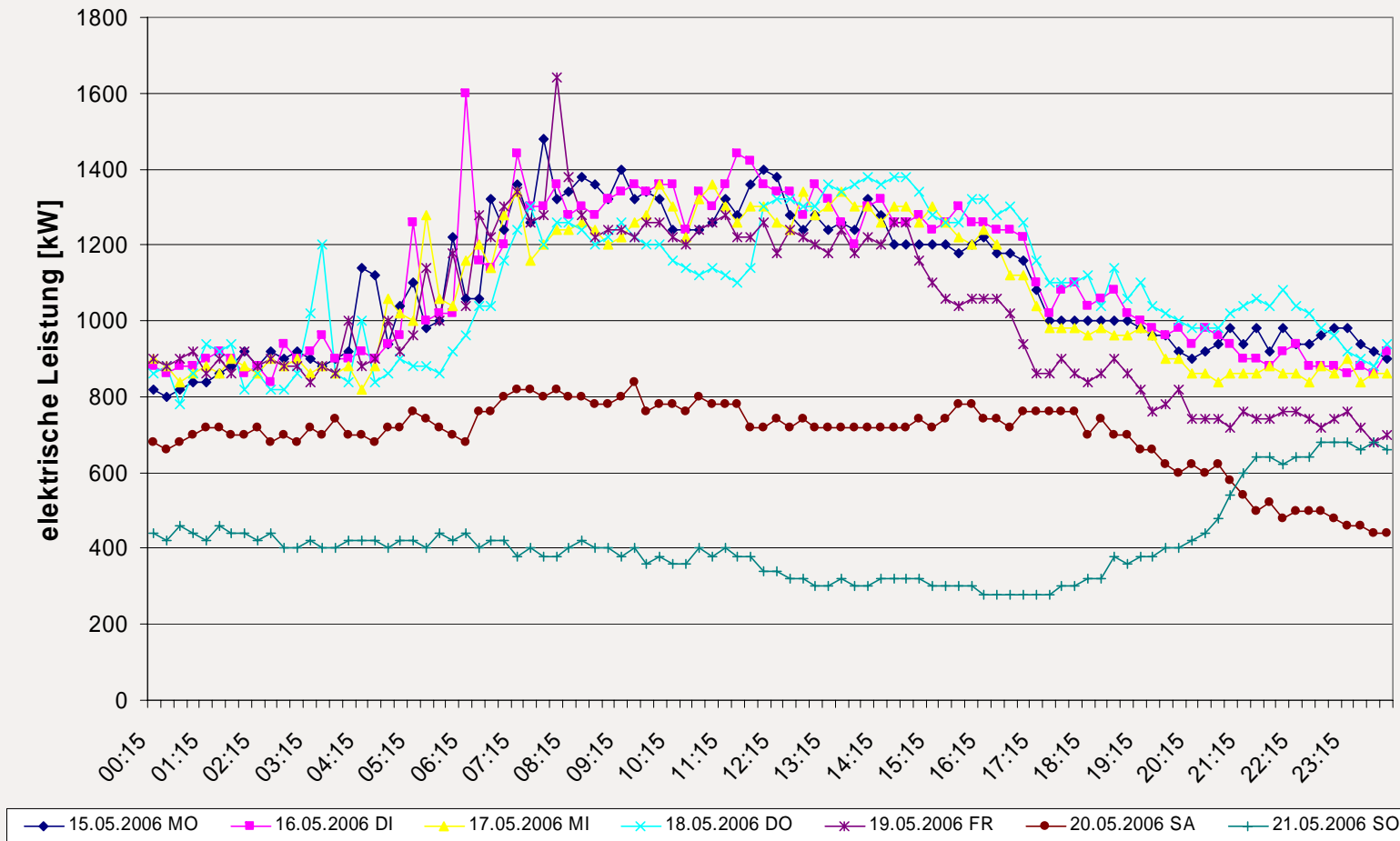
Steilrohr-Heißwasserkessel mit Ölbrenner (Bj. 1987) von 5,8 MW



## Der Kesselgasverbrauch der Jahre 2002-2005



## Ein exemplarischer elektrischer Tageslastgang



## Der CO<sub>2</sub>- Ausstoß und Primärenergieumsatz

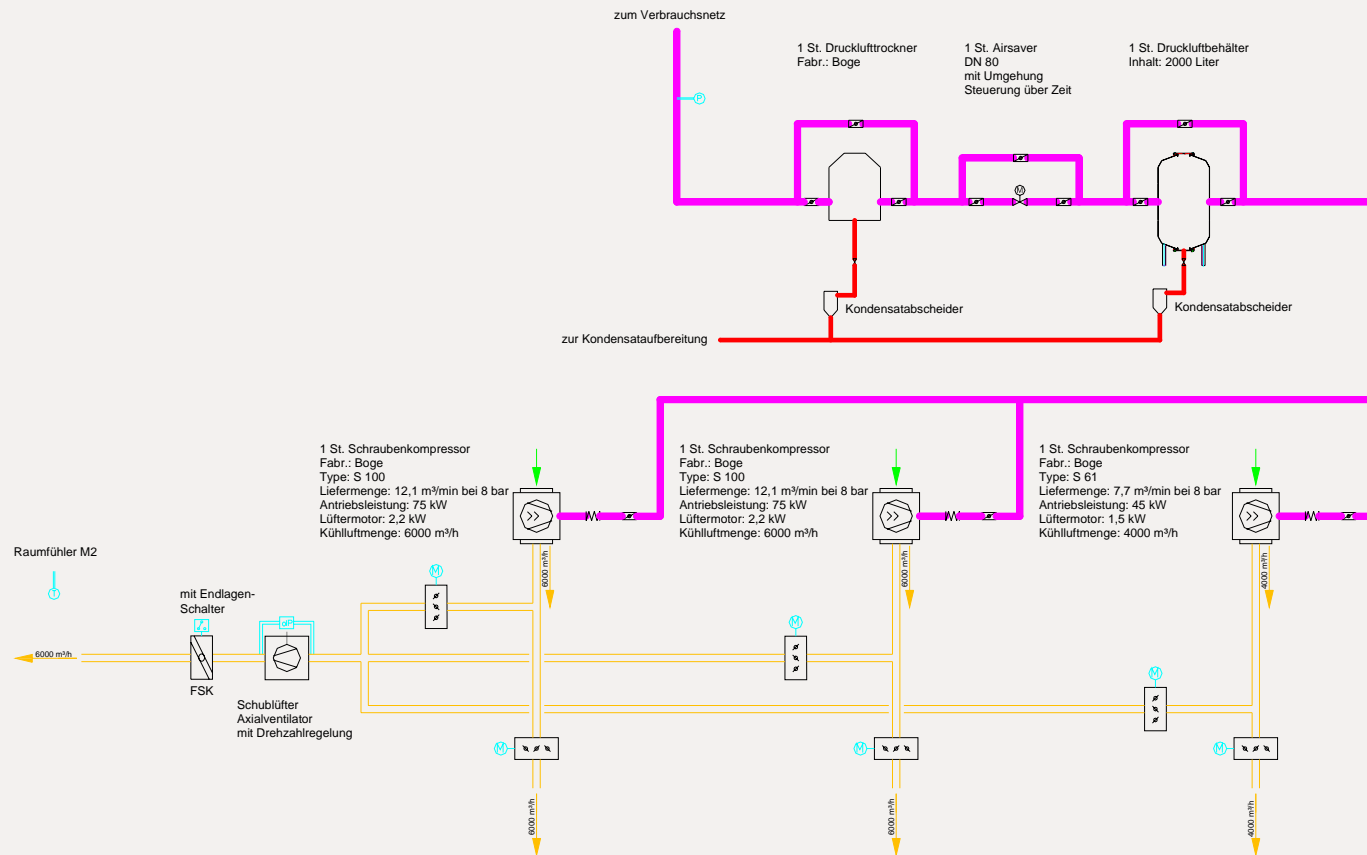
	Kesselgas	Heizöl	Strom	Einheit
<b>Verbrauch</b>	10.035.621	149.974	7.615.864	[kWh/a]
<b>CO<sub>2</sub>- Äquivalent</b>	247	311	683	[g/kWh]
<b>CO<sub>2</sub>- Ausstoß</b>	2.479	47	5.202	[t]
<b>Primärenergiefaktor</b>	1,1	1,1	3,0	[ ]
<b>Primärenergieumsatz</b>	11.039.183	164.971	22.847.591	[kWh/a]

**Projektziel: 40 % Einsparung Primärenergie durch maximale Effizienz in der Energieerzeugung und Energieverteilung**

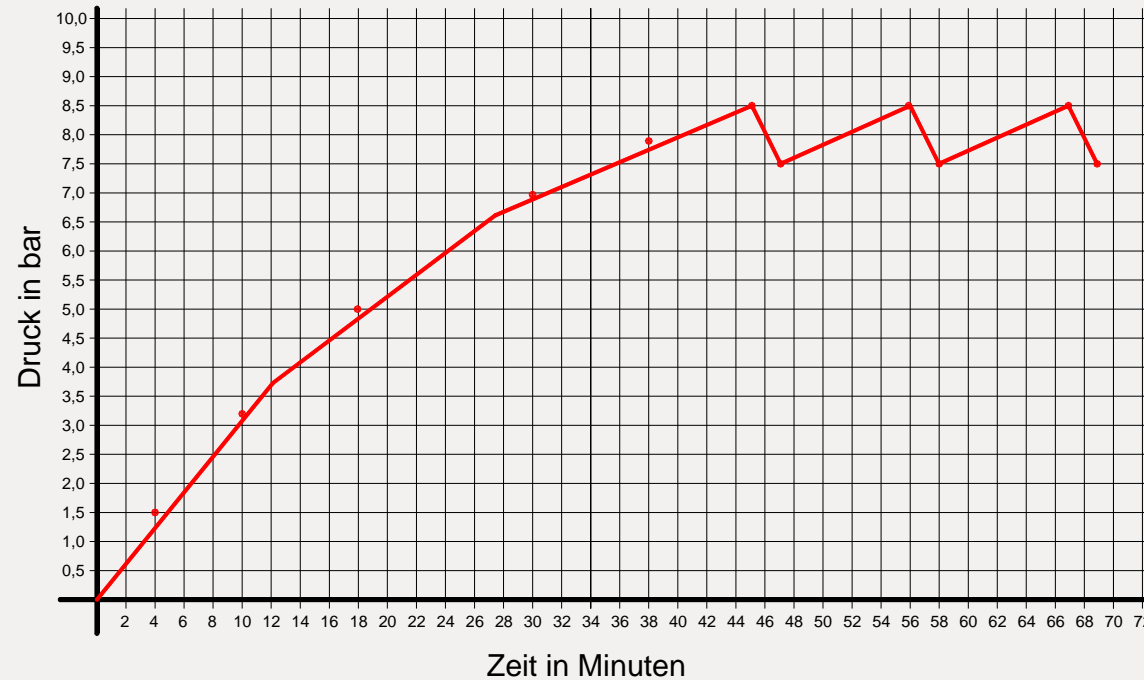
## 2. Energieeffizienzsteigerung in der betrieblichen Energieverteilung

### Optimierung der Druckluftversorgung

#### Schema Druckluft



Druckverlauf nach Wiedereinschalten Anlage (Kompressor S 61)



- Leckluftvolumenstrom von  $5,7 \text{ m}^3/\text{min}$  ( Leckagen, Blindleistungen von Maschinen )
- Leckageverluste von 35 % bzw. ca. 12.000 Euro / a

## Optimierungsschritte:

- Einbau eines Airsavers
  - > Absperren der gesamten Druckluftleitung nach den Kompressoren während der Betriebsruhephasen auch für einzelne Hallen
- Umbau und Ergänzung der Abluftkanäle zur Wärmenutzung in der Montagehalle
- Reduzierung des Anlagendruckes ( 1 bar Reduzierung entspricht 10 % Einsparung )
- Regelmäßiges Warten der Kupplungen
- Reduzierung von Leerlaufzeiten der Kompressoren durch optimale Kompressorregelung





## Schnelldampferzeuger zur Walzenaufheizung

- Gasverbrauch ca. 60.000 m<sup>3</sup> / a bzw. 5.000 m<sup>3</sup> / M konstant
- Kondensatablauf ohne Wärmerückgewinnung
- Wärmeeinspeisung in den Rücklauf des Ringleitungsnetzes
- Wärmerückgewinnung aus Kondensat durch Brüdenwärmetauscher



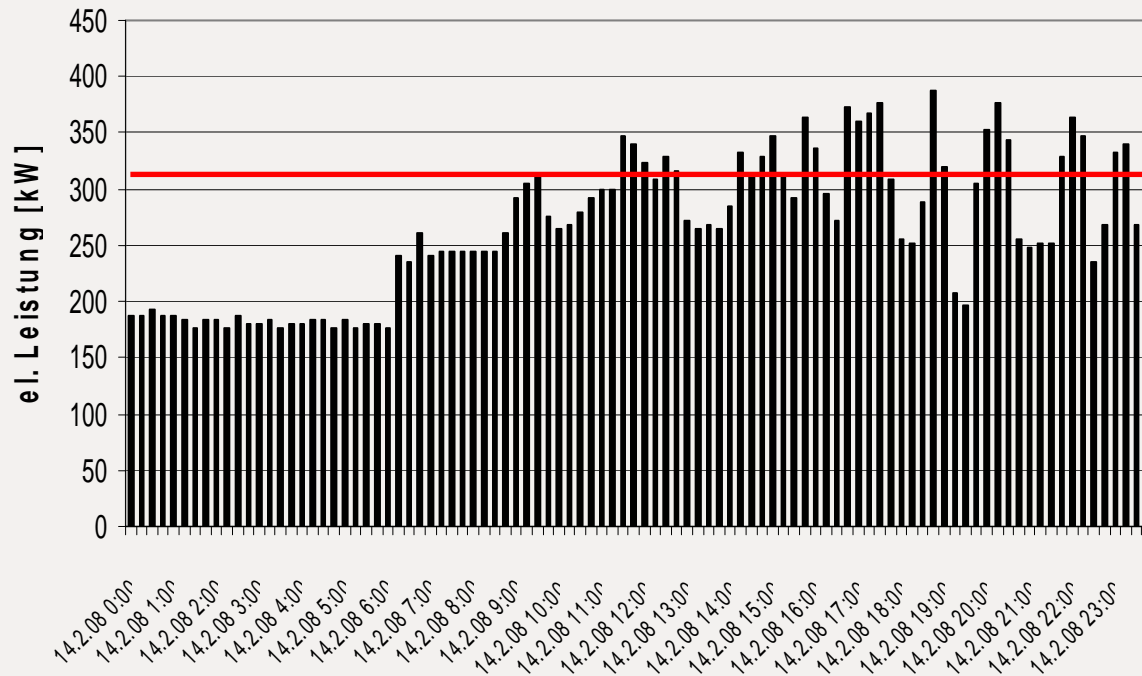
## Hallenklimatisierung in Halle M6

- Austausch der Kompressorkälteanlage gegen eine Absorptionskälte mit Anbindung an die Ringleitung
- Nutzung des Kältepotentials der Außenluft

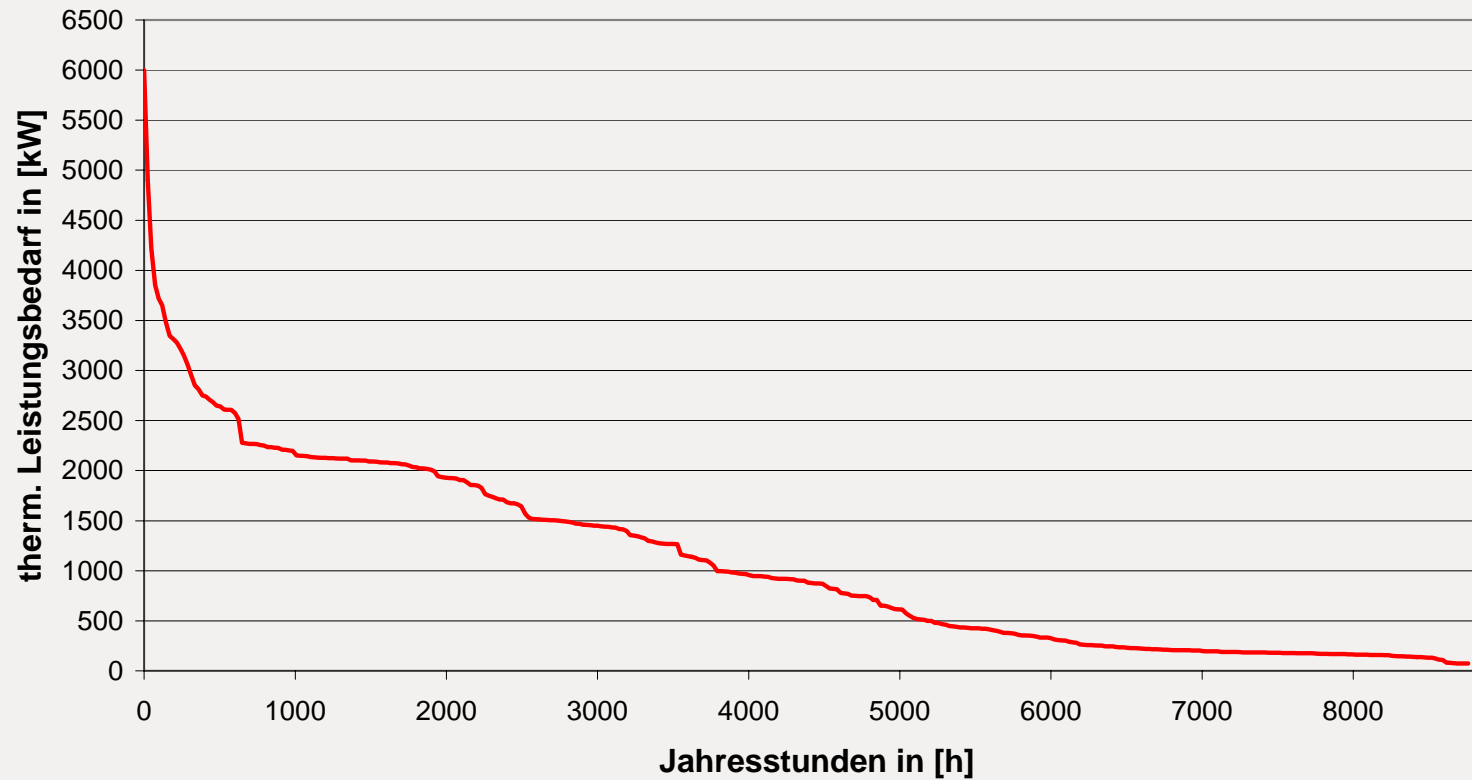


## Analyse der el. Lastgänge

Einsatz eines Lastmanagement / Maximumwächters zur Reduzierung der Spitzenleistung



### 3. Technische Dimensionierung künftiger Energieversorgungsvarianten

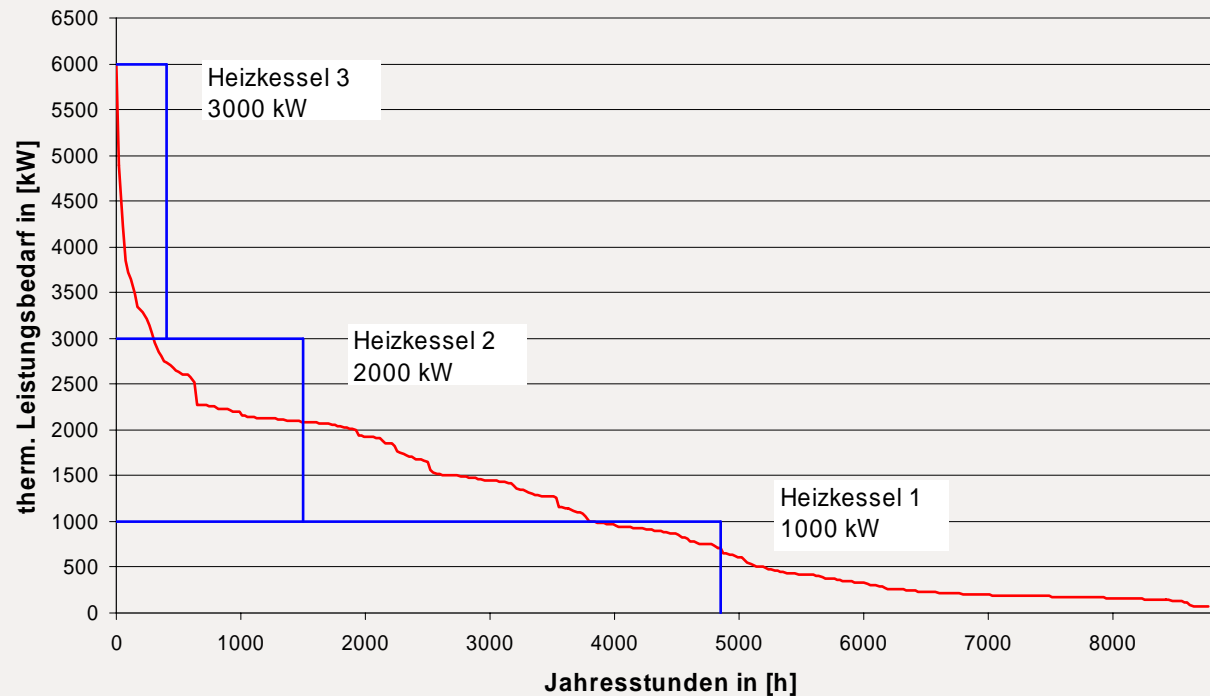


## künftige Energieversorgungsvarianten

	Grundlast	Mittellast	Spitzenlast
<b>Variante 1.0</b>	Heizkessel 1000 kW	Heizkessel 2000 kW	Heizkessel 3000 kW
<b>Variante 2.0</b>	Gas- BHKW 200 kW <sub>th</sub> 140 kW <sub>el</sub>	Heizkessel 1000 kW Heizkessel 2000 kW	Heizkessel 3000 kW
<b>Variante 3.0</b>	2 Gas- BHKW je 200 kW <sub>th</sub> 140 kW <sub>el</sub>	Heizkessel 1000 kW Heizkessel 2000 kW	Heizkessel 3000 kW
<b>Variante 4.0</b>	Biokraftstoff- BHKW 240 kW <sub>th</sub> 240 kW <sub>el</sub>	Heizkessel 1000 kW Heizkessel 2000 kW	Heizkessel 3000 kW
<b>Variante 5.0</b>	2 2 Biokraftstoff- BHKW je 200 kW <sub>th</sub> 200kW <sub>el</sub>	Heizkessel 1000 kW Heizkessel 2000 kW	Heizkessel 3000 kW
<b>Variante 6.0</b>	Hackgutkessel Heißwasser 2000 kW	Heizkessel 1000 kW	Heizkessel 3000kW
<b>Variante 7.0</b>	Hackgut- ORC-Anlage 1000 kW	Heizkessel 2000 kW	Heizkessel 3000kW

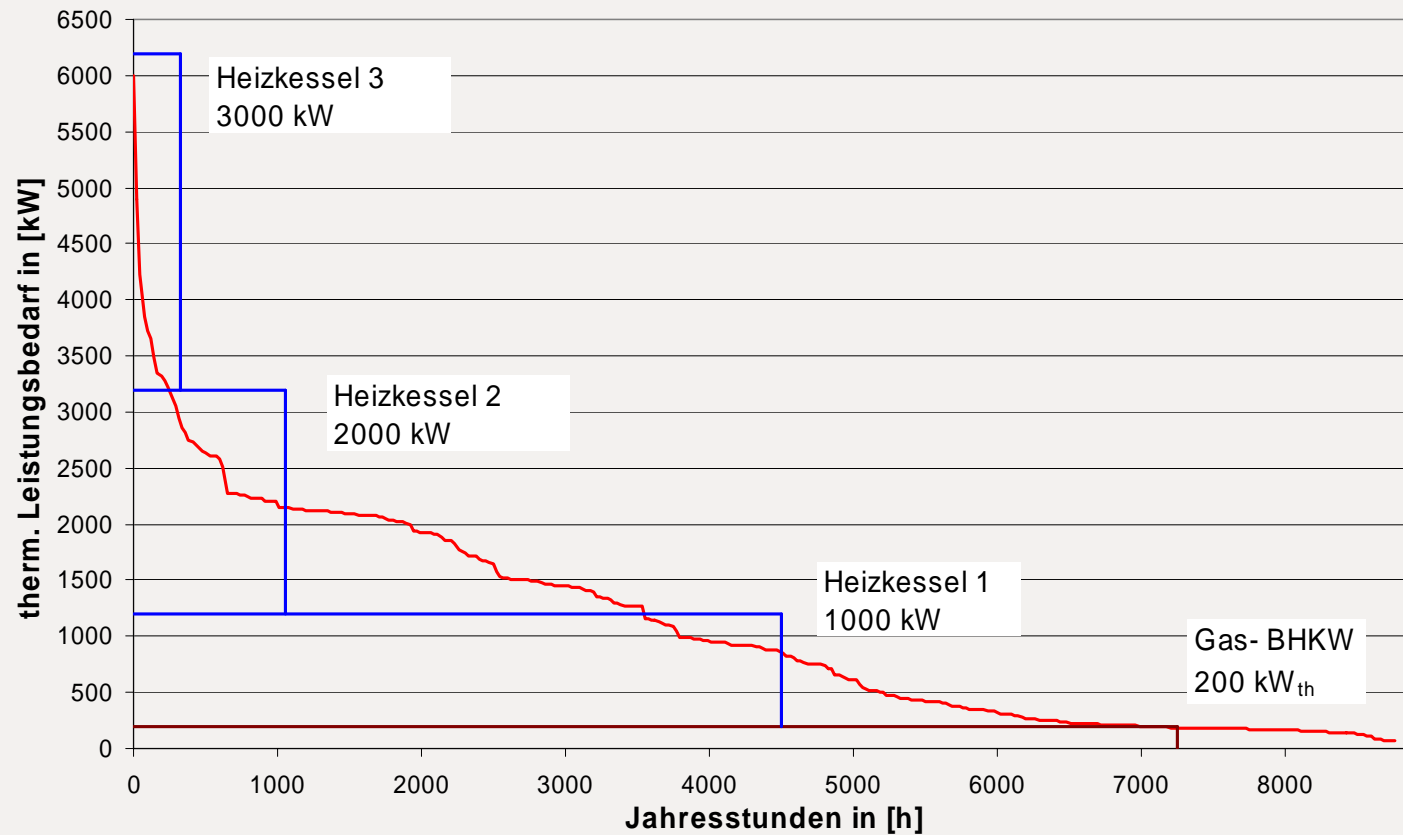
## Die Variante 1.0 (Standardvariante)

Jährlicher Gasverbrauch: ca. 944.000 m<sup>3</sup>



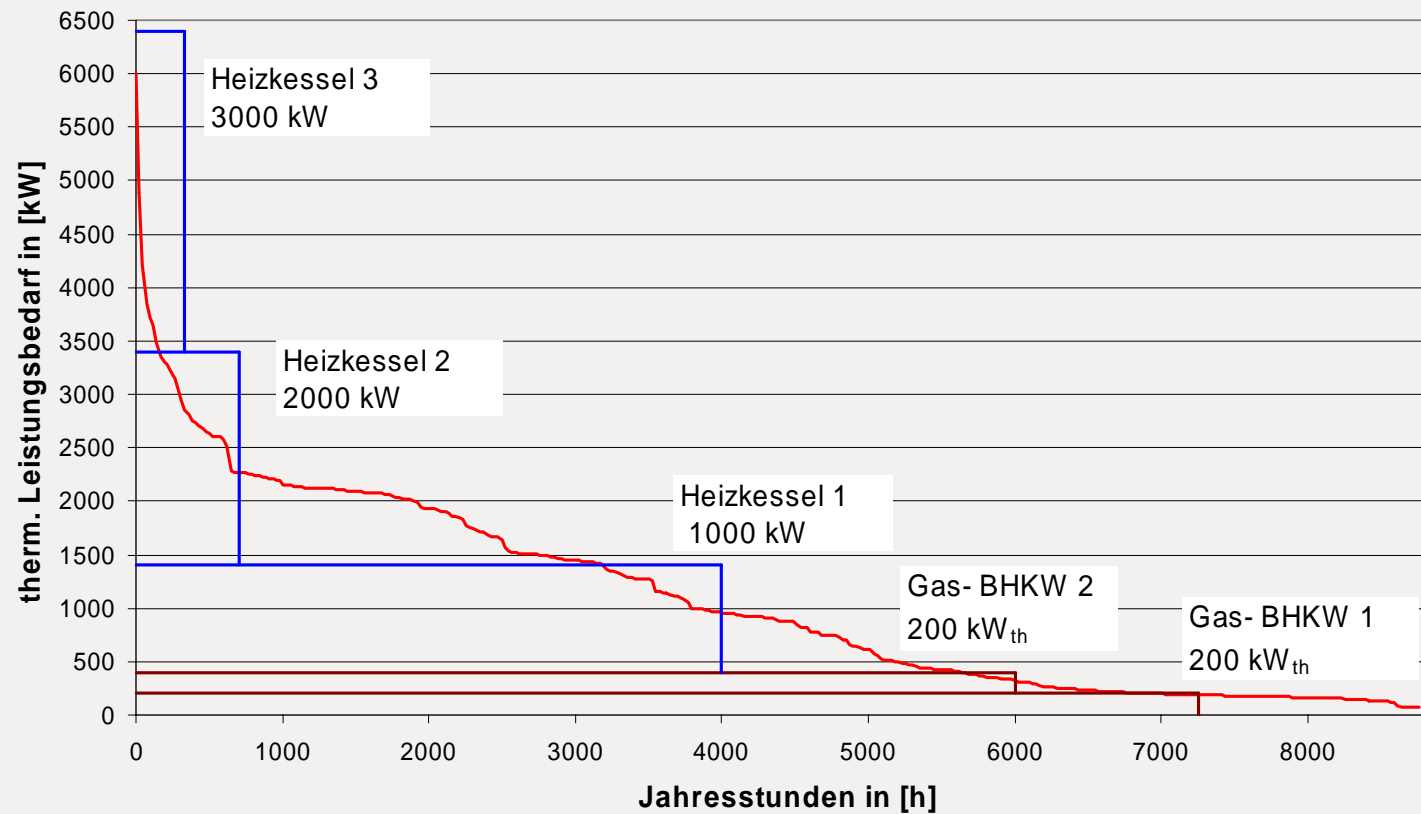
## Die Variante 2.0

Jährlicher Gasverbrauch: ca. 1.060.000 m<sup>3</sup>



## Die Variante 3.0

Jährlicher Gasverbrauch: ca. 1.160.000 m<sup>3</sup>

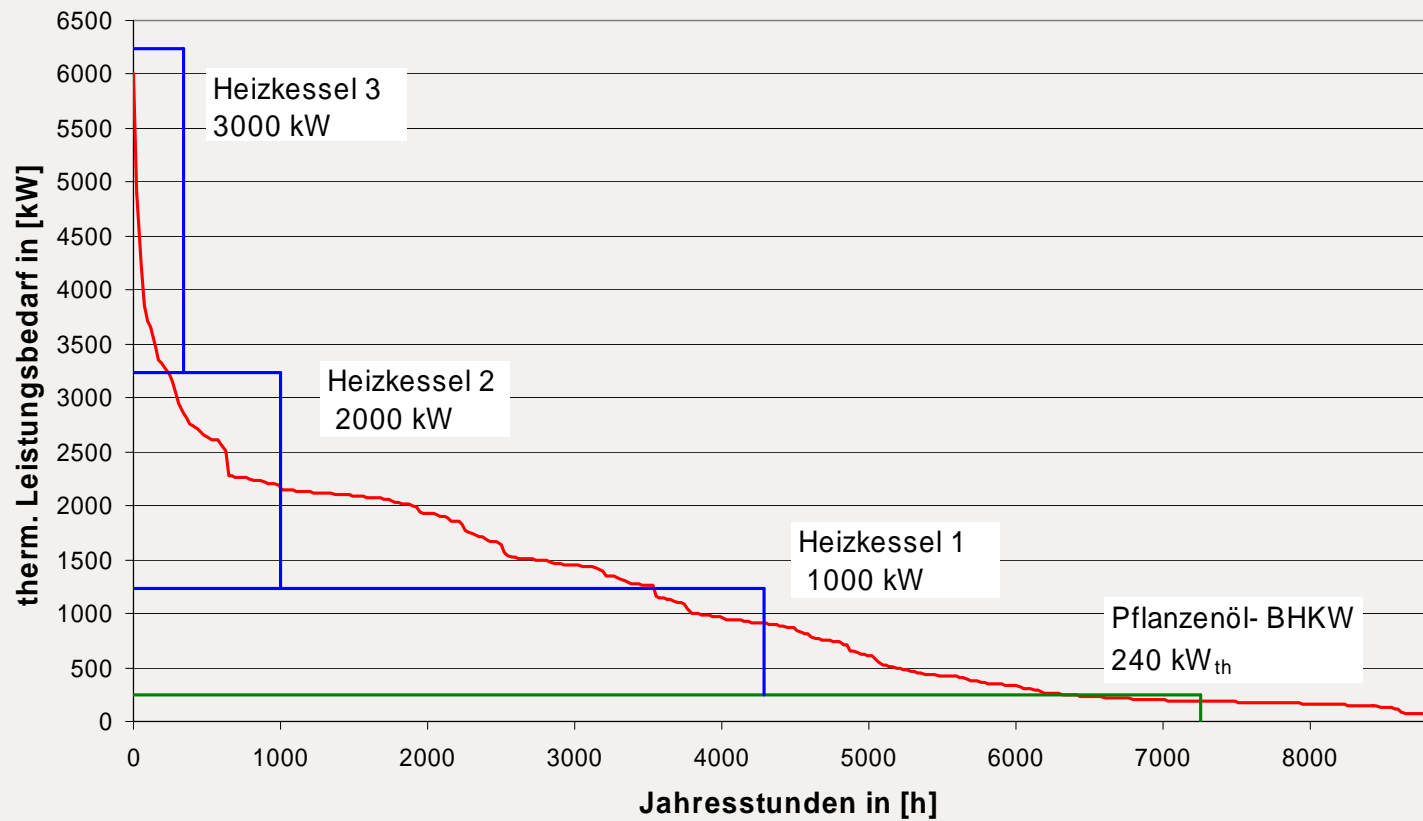




## Die Varianten 4.0

Jährlicher Gasverbrauch: ca. 765.000 m<sup>3</sup>

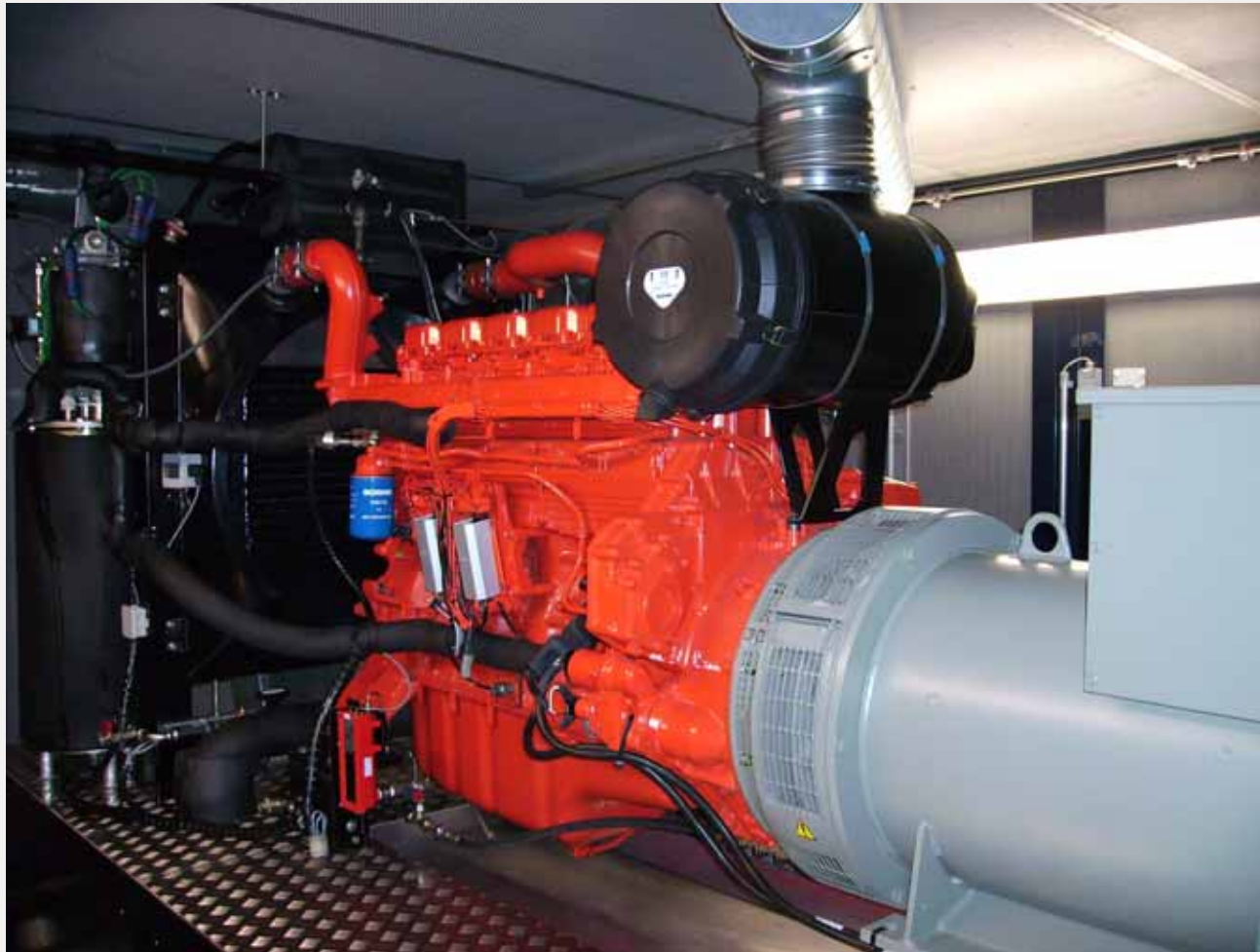
Jährlicher Biokraftstoffverbrauch: ca. 460.000 l



●rationelle Energiewandlung ●Erneuerbare Energien ●Energieeffizienz

## BHKW Neuentwicklung mit Abgasturbine

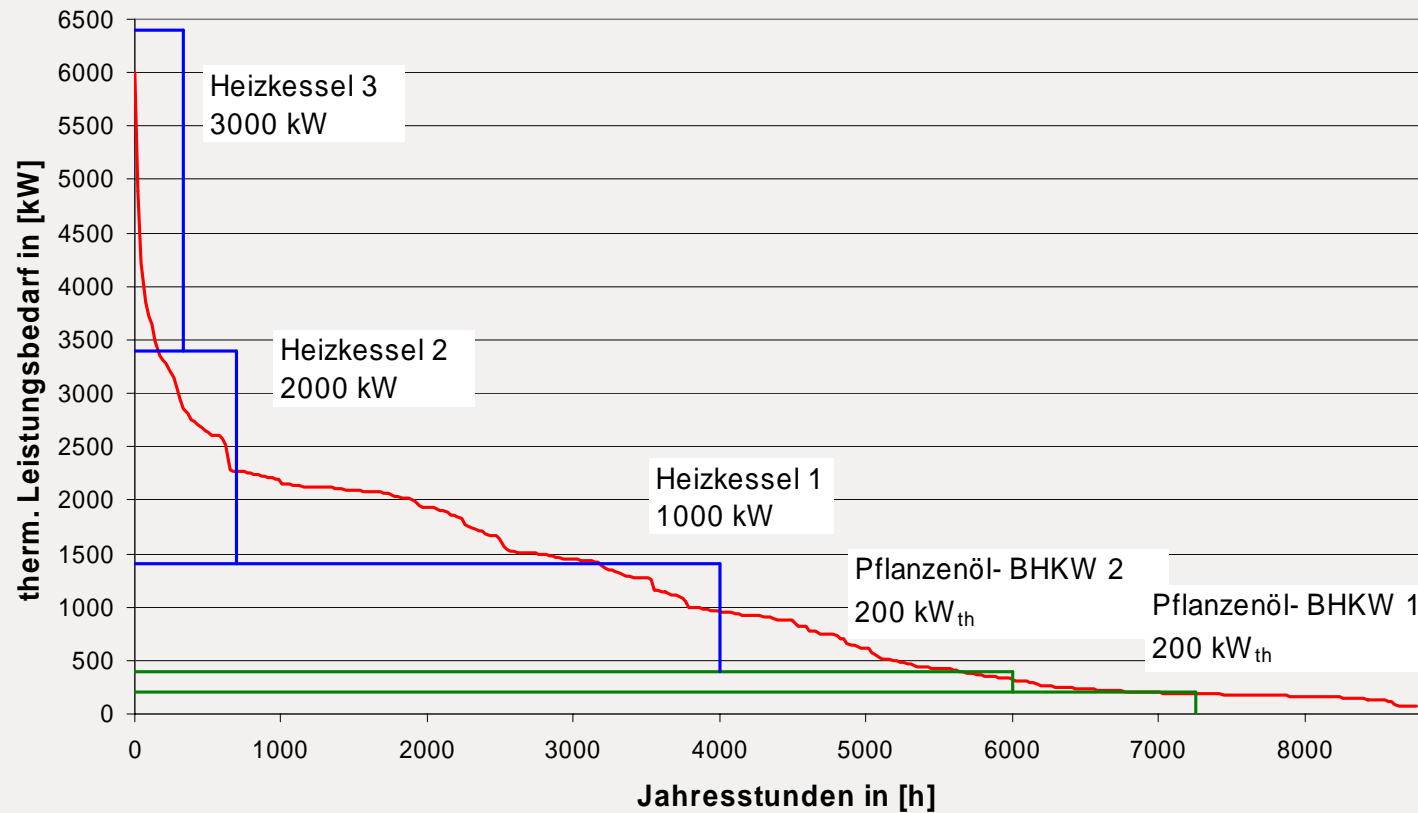
$\eta$  elektrisch 45 %



## Die Variante 5.0

Jährlicher Gasverbrauch: ca. 670.000 m<sup>3</sup>

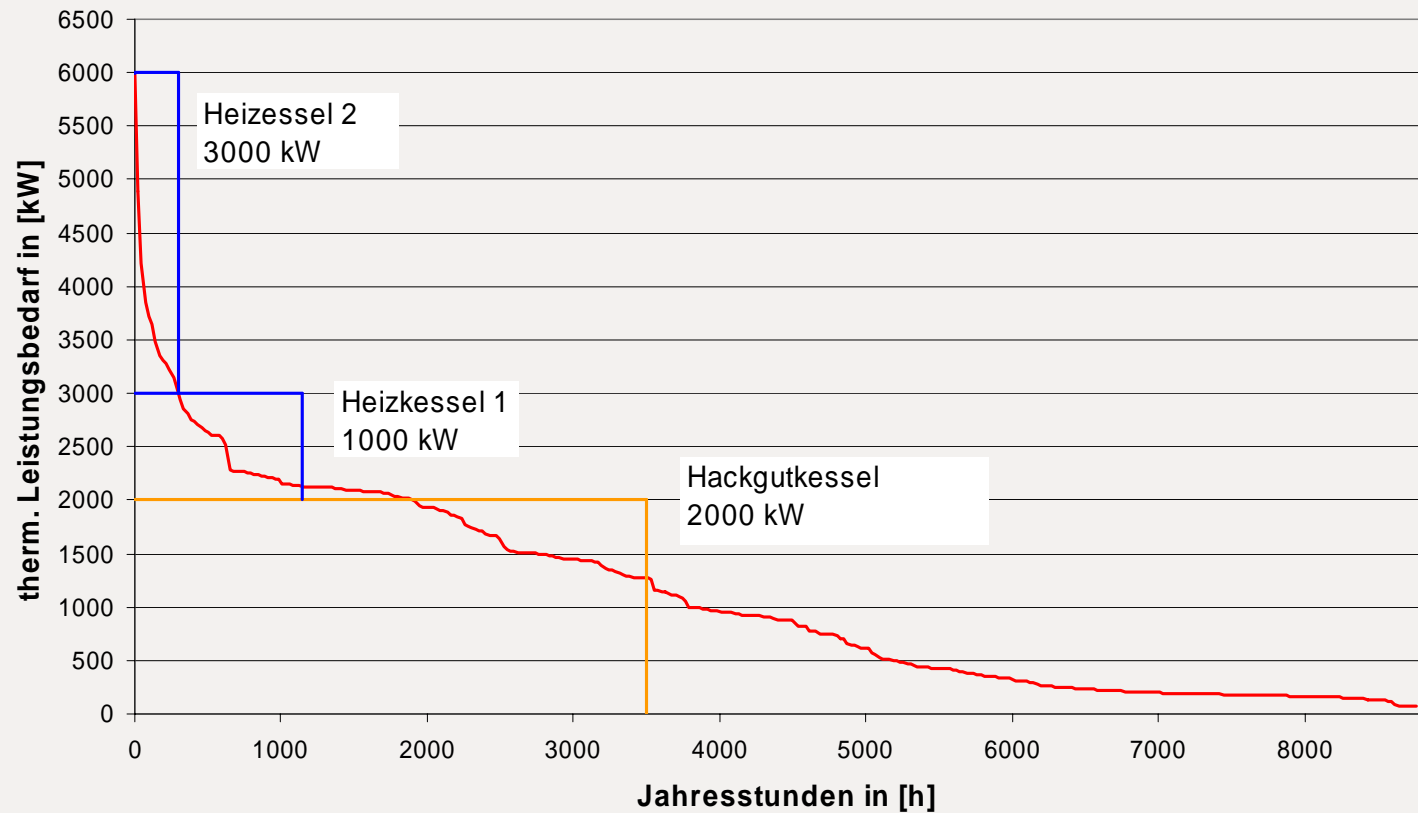
Jährlicher Biokraftstoffverbrauch: ca. 700.000 l



## Die Variante 6.0

Jährlicher Gasverbrauch: ca. 213.000 m<sup>3</sup>

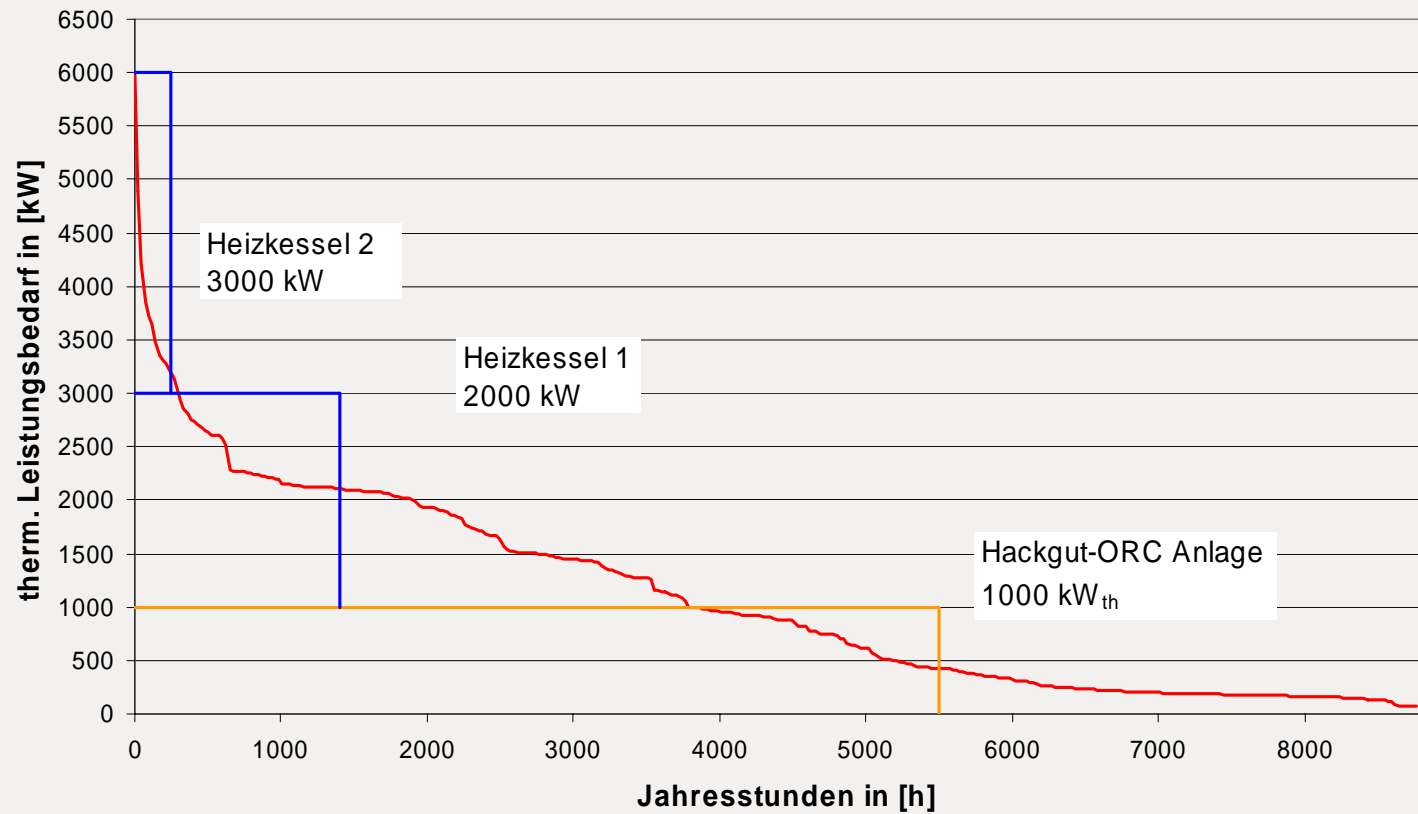
Jährlicher Hackschnitzelverbrauch: ca. 2.200 t



## Die Variante 7.0

Jährlicher Gasverbrauch: ca. 371.000 m<sup>3</sup>

Jährlicher Hackschnitzelverbrauch: ca. 2.100 t



## 4. Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

**Methodik:** Ermittlung der spezifischen Wärmegestehungskosten mittels einer Vollkostenrechnung nach der Annuitätenmethode gemäß VDI 2067

**Grundannahmen:** Betrachtungszeitraum 20 Jahre

Investitionen vollständig fremdfinanziert

Kalkulatorischer Zinssatz 4,5%

Lineare Abschreibungen

Brennstoffkosten konstant, Preisänderungen gesondert über Sensitivitätsanalyse betrachtet

## Erläuterungen zur Vorgehensweise

### Betrachtete Kosten:

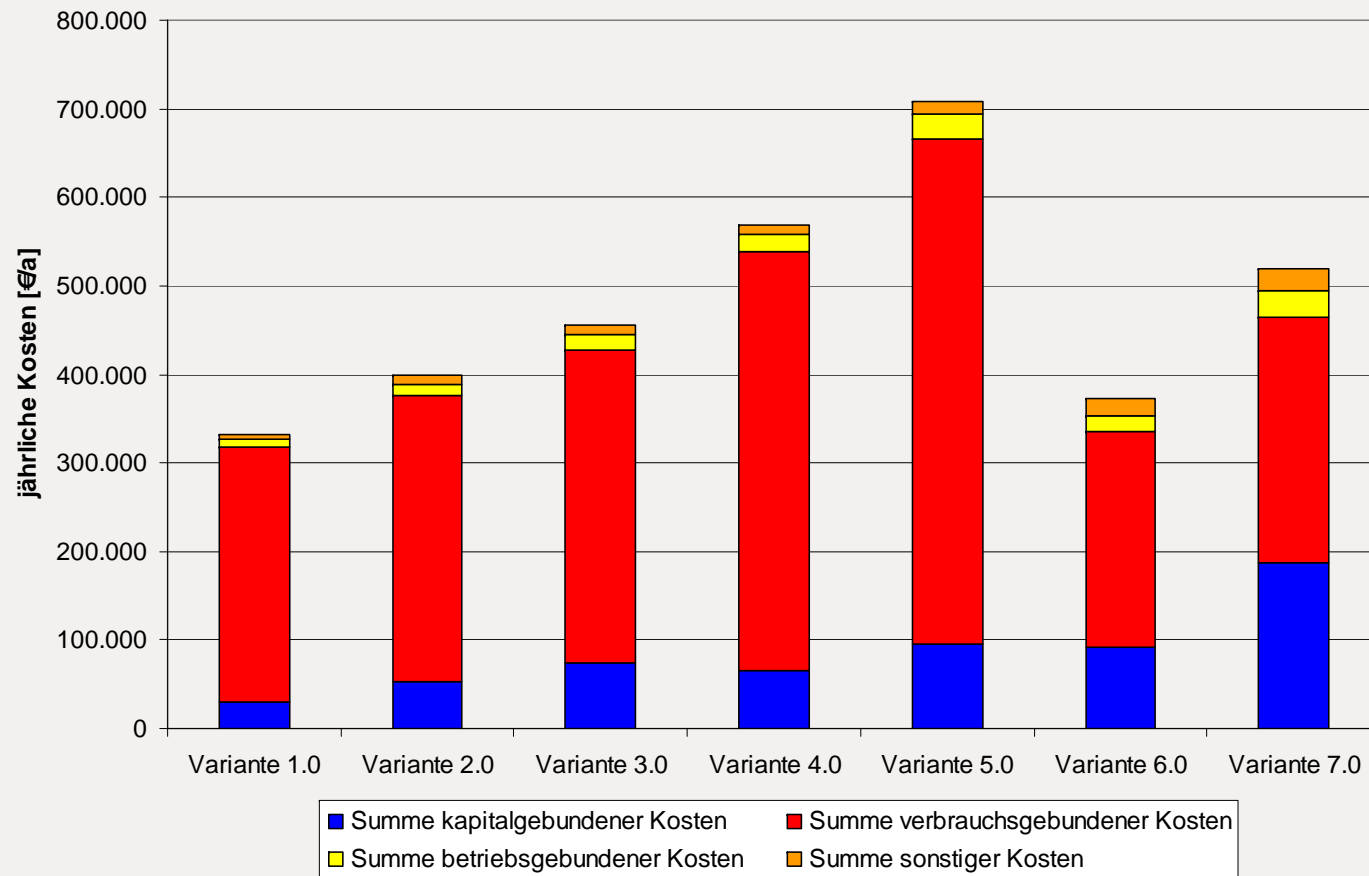
- Investitionskosten inkl. Instandhaltung:
  - Heizkessel, KWK- Anlagen, Hackgutkessel bzw. Heizkraftwerk
  - Wärmeleitung und Grundstück bei den Varianten 6.0 und 7.0\*
  - Pufferspeicher
  - Lagertanks, Tankheizung
  - Hackgutbunker bzw. Lagerhalle
  - MSR- Technik
  - Technische Installationskosten
  - Projektentwicklung
  - Sicherheitszuschlag

Die Investitionskosten der baulichen Maßnahmen für das neu zu errichtende Heizhaus sind für alle Varianten **nicht** berücksichtigt.

- Betriebsgebundene Kosten (Wartung, Bedienung, Kaminkehrer)
- Verbrauchsgebundene Kosten (Brennstoffe, Hilfsenergie)
- Sonstige Kosten (Verwaltung, Versicherung)

### Keine Berücksichtigung von Förderungen

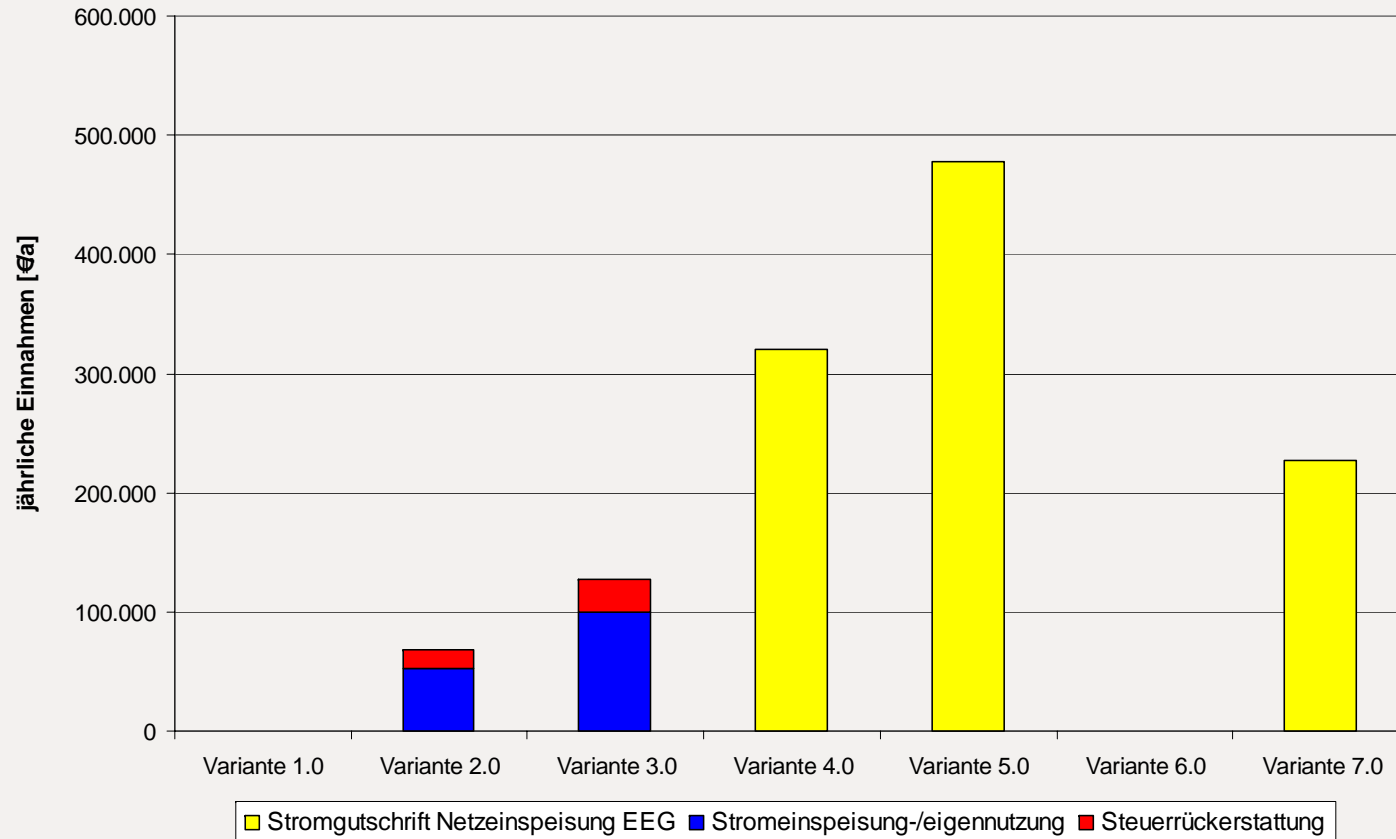
## Die jährlichen Ausgaben



V 1.0	V 2.0	V 3.0	V 4.0	V 5.0	V 6.0	V 7.0
Heizkessel	Gas- BHKW	2 Gas- BHKW	Biokraftstoff- BHKW	2 Biokraftstoff BHKW	Hackgutkessel	Biomasse- ORC

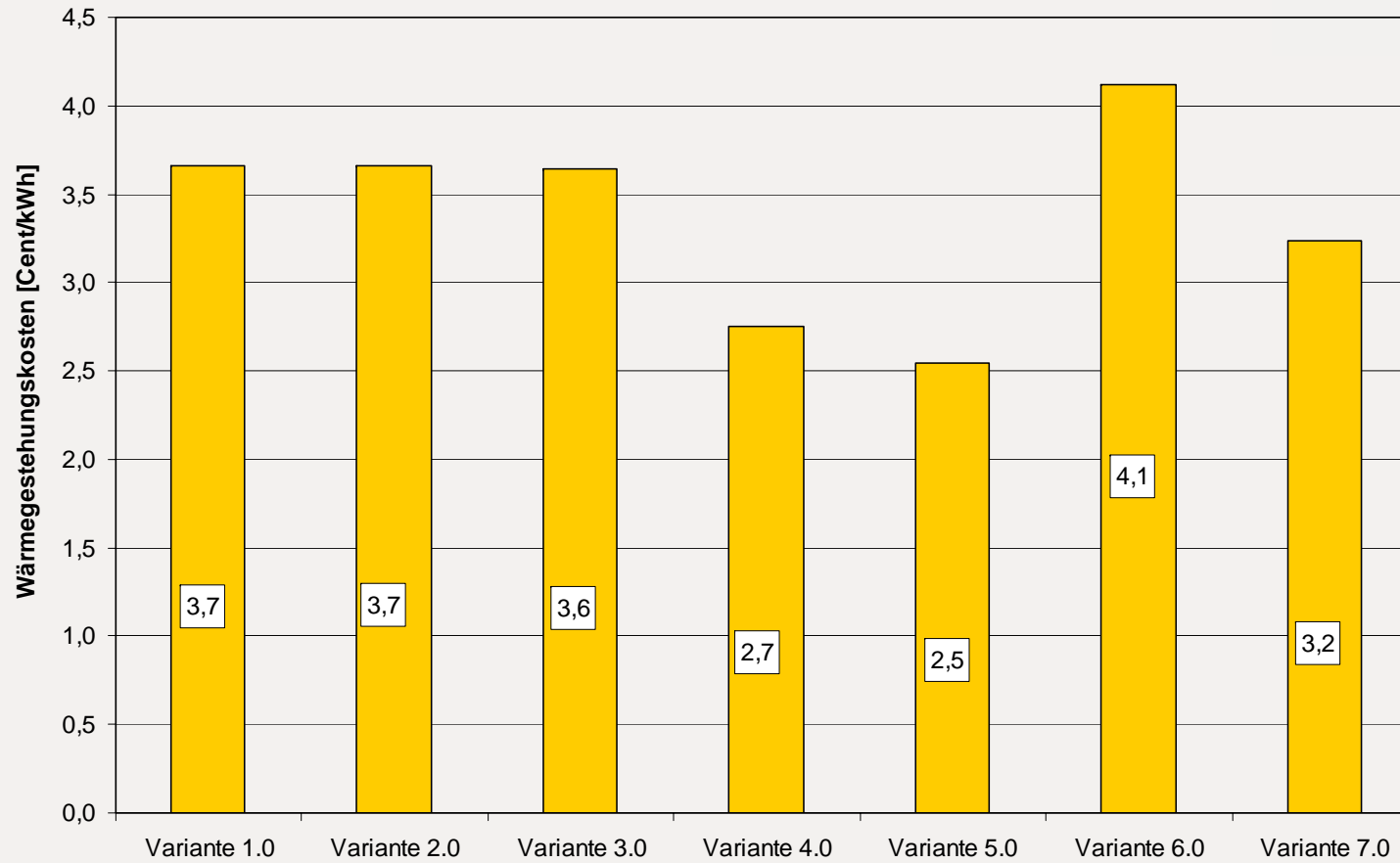


## Die jährlichen Einnahmen



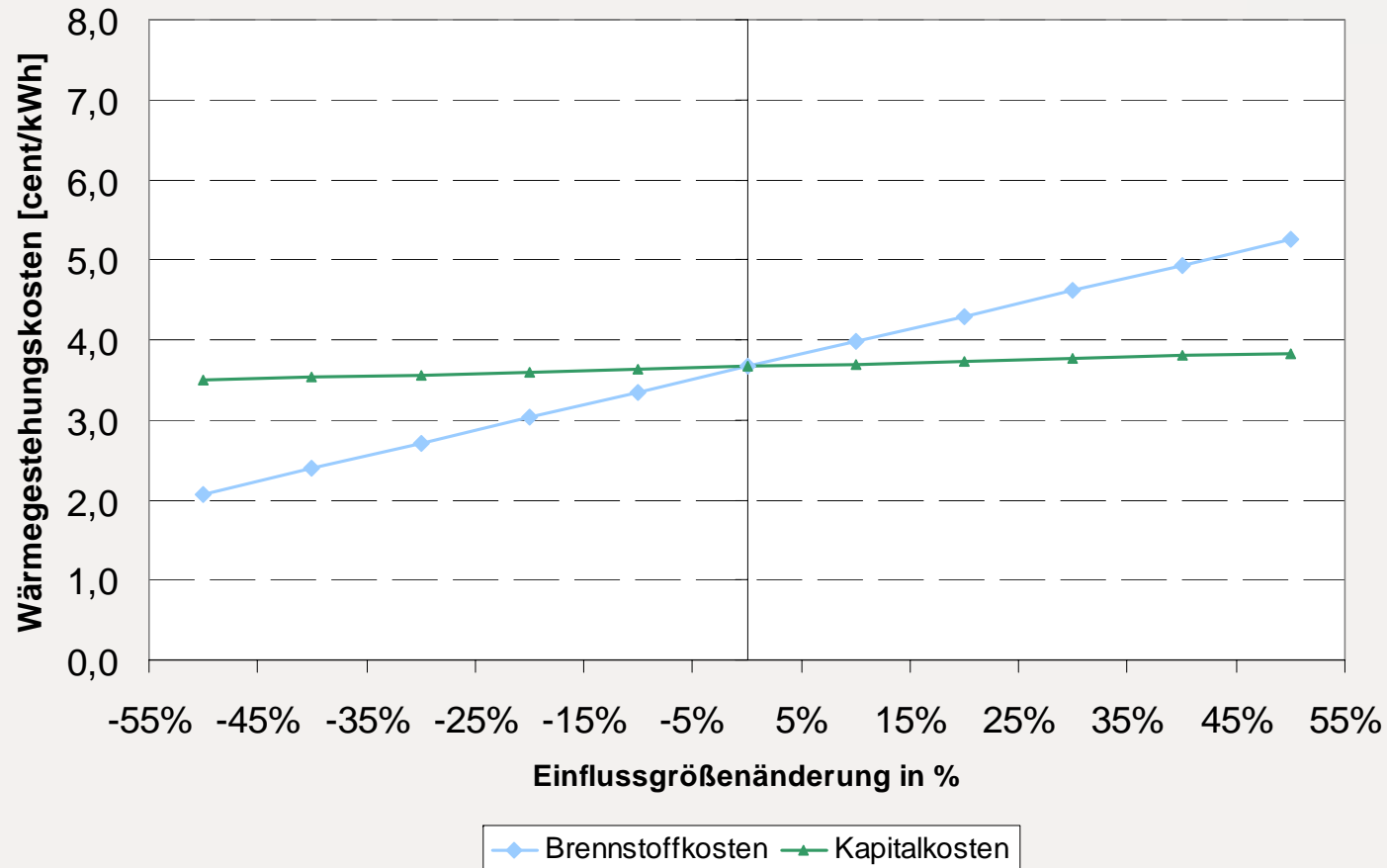
V 1.0	V 2.0	V 3.0	V 4.0	V 5.0	V 6.0	V 7.0
Heizkessel	Gas- BHKW	2 Gas- BHKW	Biokraftstoff- BHKW	2 Biokraftstoff BHKW	Hackgutkessel	Biomasse- ORC

## Die Wärmegestehungskosten



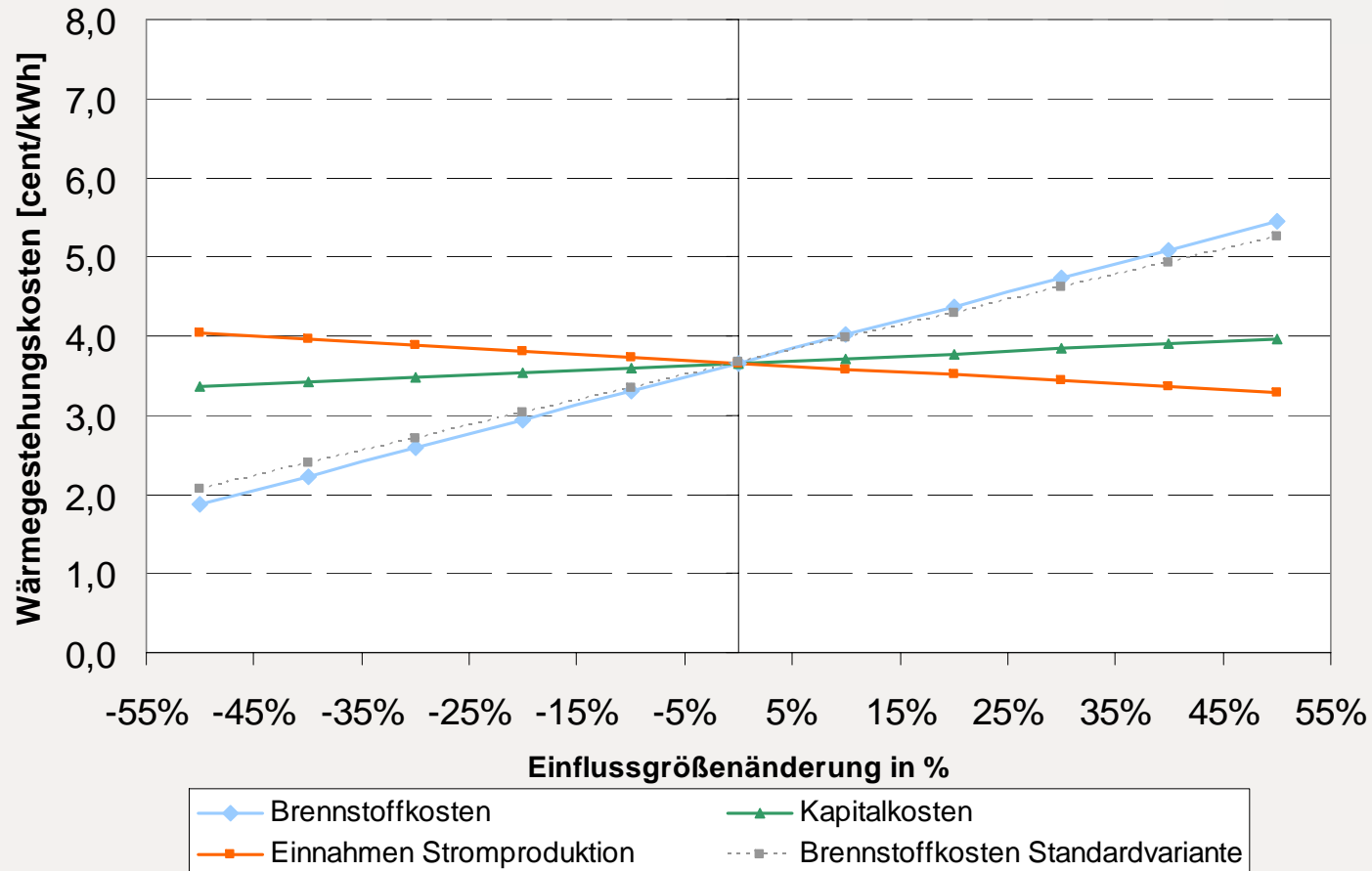
V 1.0	V 2.0	V 3.0	V 4.0	V 5.0	V 6.0	V 7.0
Heizkessel	Gas- BHKW	2 Gas- BHKW	Biokraftstoff- BHKW	2 Biokraftstoff BHKW	Hackgutkessel	Biomasse- ORC

## Die Sensitivitätsanalyse der Variante 1.0



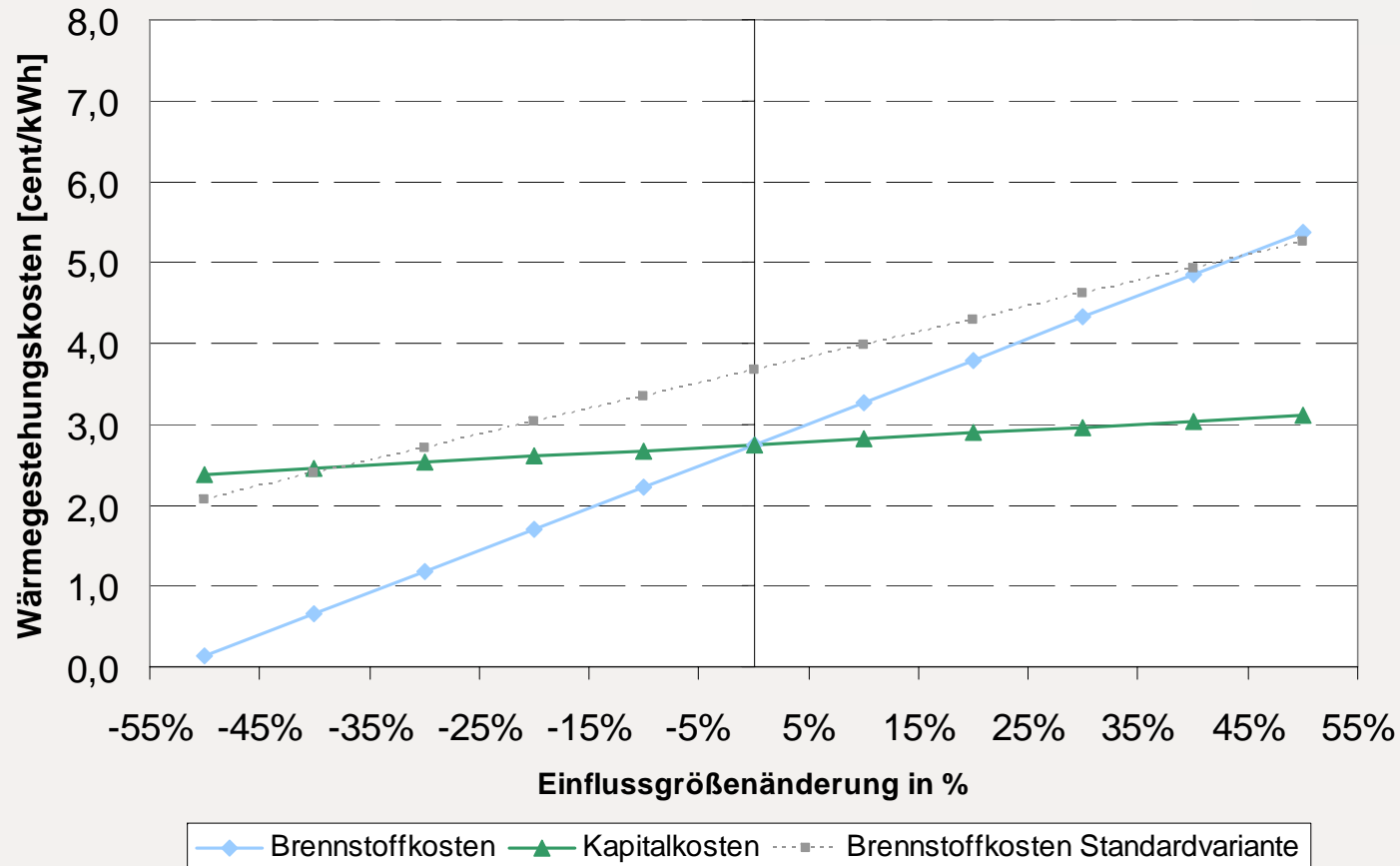
V 1.0	V 2.0	V 3.0	V 4.0	V 5.0	V 6.0	V 7.0
Heizkessel	Gas- BHKW	2 Gas- BHKW	Biokraftstoff- BHKW	2 Biokraftstoff BHKW	Hackgutkessel	Biomasse- ORC

## Die Sensitivitätsanalyse der Variante 2.0



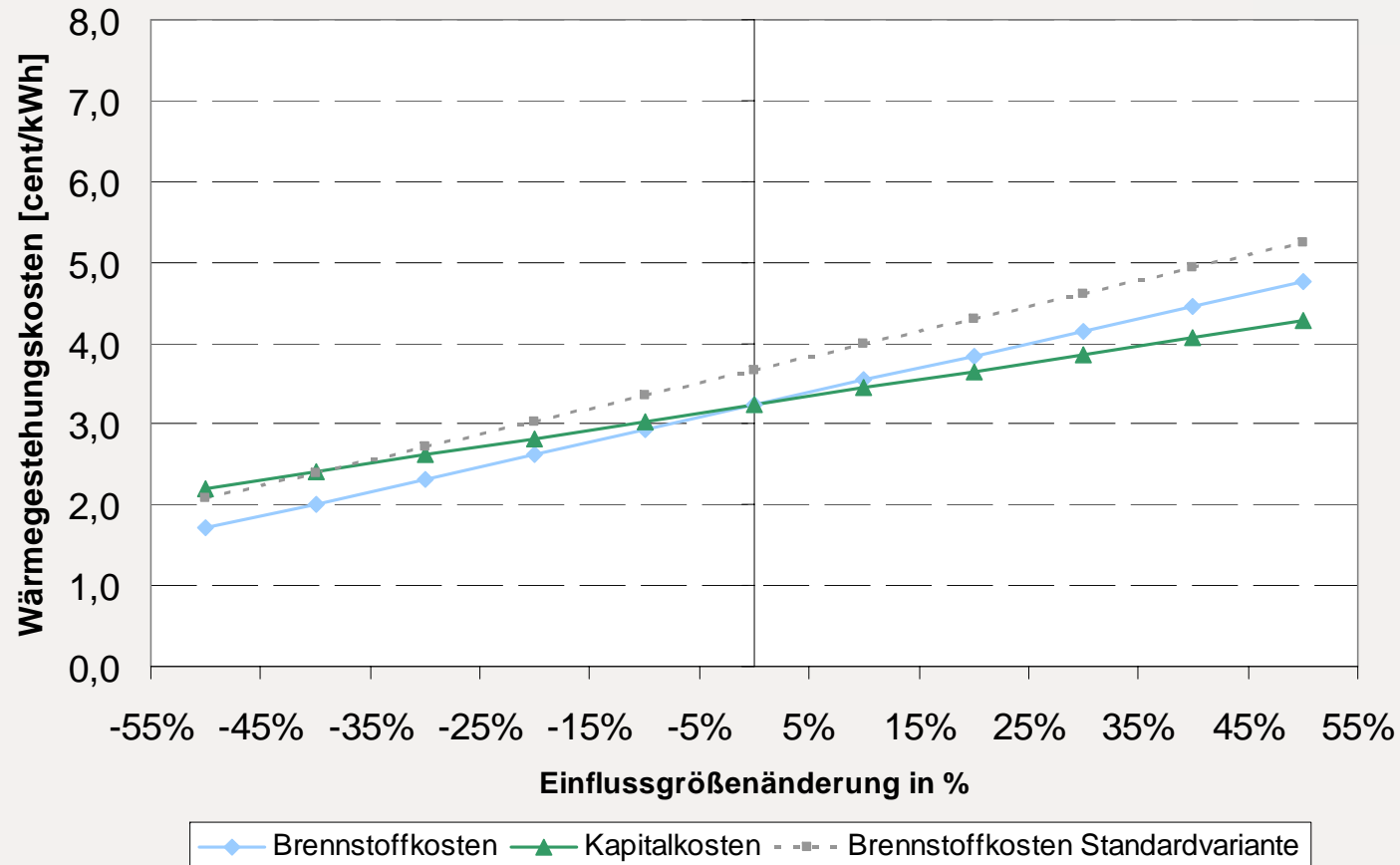
V 1.0	V 2.0	V 3.0	V 4.0	V 5.0	V 6.0	V 7.0
Heizkessel	Gas- BHKW	2 Gas- BHKW	Biokraftstoff- BHKW	2 Biokraftstoff BHKW	Hackgutkessel	Biomasse- ORC

## Die Sensitivitätsanalyse der Variante 4.0



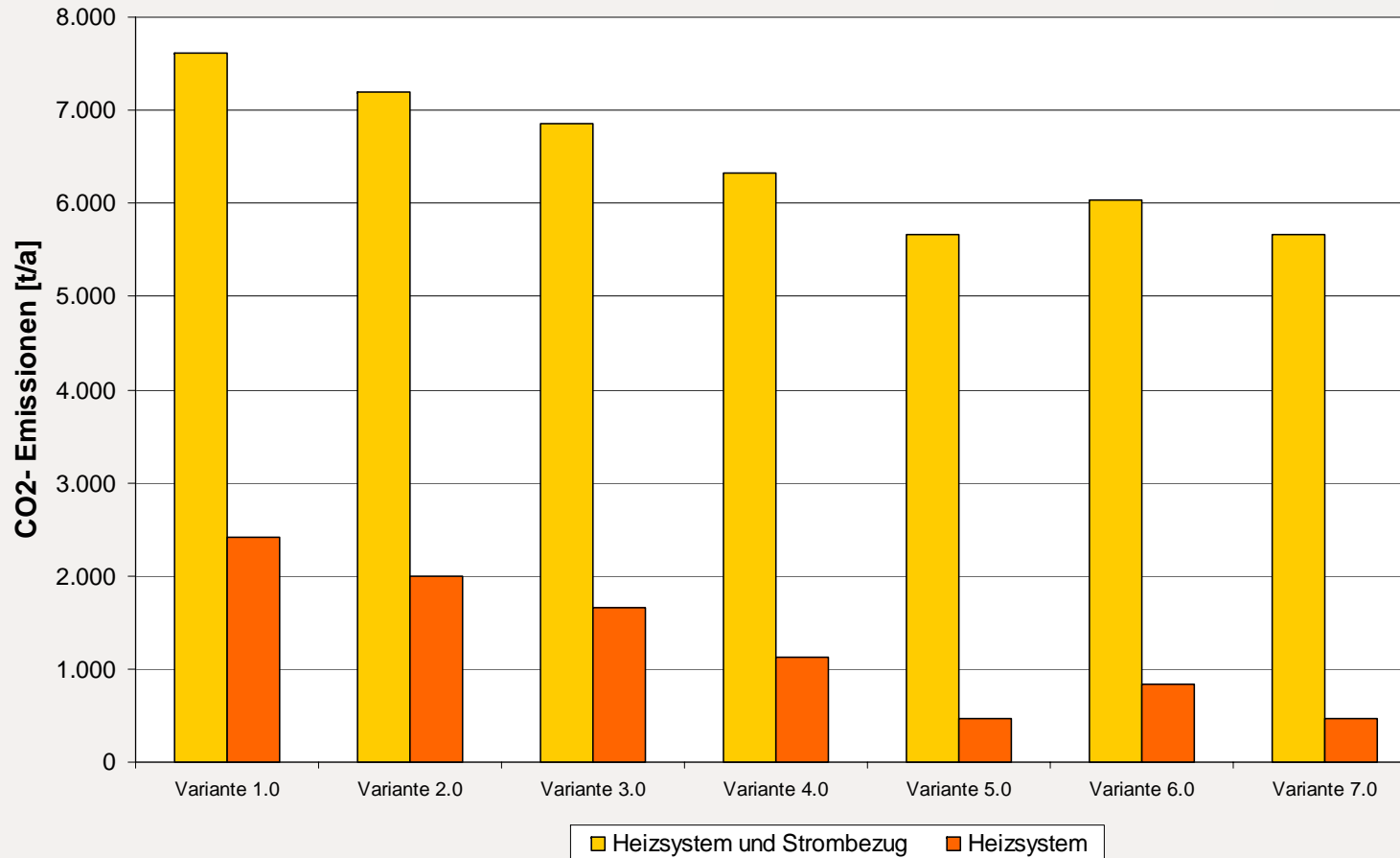
V 1.0	V 2.0	V 3.0	V 4.0	V 5.0	V 6.0	V 7.0
Heizkessel	Gas- BHKW	2 Gas- BHKW	Biokraftstoff- BHKW	2 Biokraftstoff BHKW	Hackgutkessel	Biomasse- ORC

## Die Sensitivitätsanalyse der Variante 7.0



V 1.0	V 2.0	V 3.0	V 4.0	V 5.0	V 6.0	V 7.0
Heizkessel	Gas- BHKW	2 Gas- BHKW	Biokraftstoff- BHKW	2 Biokraftstoff BHKW	Hackgutkessel	Biomasse- ORC

## 5. Die CO<sub>2</sub>- Bilanz



V 1.0	V 2.0	V 3.0	V 4.0	V 5.0	V 6.0	V 7.0
Heizkessel	Gas- BHKW	2 Gas- BHKW	Biokraftstoff- BHKW	2 Biokraftstoff BHKW	Hackgutkessel	Biomasse- ORC

## 7. Zusammenfassung - Systemempfehlung

- **Dokumentation der Energieversorgung im Ist-Zustand**
- **Energieeffizienzsteigerung in der betrieblichen Energieverteilung**
  - **Druckluft**
  - **Klimatisierung**
  - **Dampferzeugung**
- **Energieeffizienzsteigerung in der betrieblichen Energieerzeugung**

Variante	Investitionskosten	Jahresgesamtkosten	Wärmegestehungskosten	CO <sub>2</sub> - Emissionen
	in [€]	in [€/a]	in [Cent/kWh]	in [t/a]
<b>Variante 1.0</b>	317.000	332.000	3,7	2.410
<b>Variante 2.0</b>	494.000	331.000	3,7	1.997
<b>Variante 3.0</b>	646.000	330.000	3,6	1.659
<b>Variante 4.0</b>	582.000	249.000	2,7	1.130
<b>Variante 5.0</b>	785.000	231.000	2,5	463
<b>Variante 6.0</b>	973.000	373.000	4,1	833
<b>Variante 7.0</b>	1.960.000	293.000	3,2	460

V 1.0	V 2.0	V 3.0	V 4.0	V 5.0	V 6.0	V 7.0
Heizkessel	Gas- BHKW	2 Gas- BHKW	Biokraftstoff- BHKW	2 Biokraftstoff BHKW	Hackgutkessel	Biomasse- ORC



- **Biokraftstoff-BHKW mit Abgasturbine und 45 % el. Wirkungsgrad**
  - **Stromeinspeisung nach EEG**
  - **Stromeigennutzung zur Spitzenlastsenkung**
- **Biokraftstoff-Erdgas Zweistoffbrenner**
- **Flexibilität in der Wahl des Energieträgers**
- **Höchste Anlageneffizienz mit vernetzter thermischer Ringleitung**
- **Ca. 1500 t/a CO<sub>2</sub> Ersparnis**
- **3 jährige wissenschaftlich messtechnische Betreuung mit permanenter Anlagenoptimierung und Demonstration**

Vielen Dank  
für Ihre Aufmerksamkeit!