

Dr. Bodo Groß

**„ Biomassekessel/Stirlingmotor Kombination
Stand der Technik und Perspektiven “**

- Innovation „Biomasse- Stirling“ ?!
- Überblick
- Stirling Danmark/ Mawera/ BIOS
- HOVAL
- Stand der Technik und Perspektiven

Was ist „Innovation“?

Innovation heißt wörtlich „**Neuerung**“ oder „**Erneuerung**“. Das Wort ist von den lateinischen Begriffen *novus* „neu“ und *innovatio* „etwas neu Geschaffenes“ abgeleitet. Im deutschen Sprachgebrauch wird Innovation heute im Sinne von „**neuen Ideen und Erfindungen**“ sowie deren „**wirtschaftliche Umsetzung**“ verwendet.

Nach dem Volkswirt Josef Schumpeter („Theorie der wirtschaftlichen Entwicklung“, 1911) versteht man unter **Innovation** die **Durchsetzung** einer **technischen oder organisatorischen Neuerung**, nicht allein ihre Erfindung.

Es ist zwischen **Invention** und **Innovation** zu unterscheiden. **Inventionen** umfassen neue Ideen bis einschließlich Prototypenbau beziehungsweise konkreter Konzeptentwicklung in einer vormarktlischen Phase. **Innovationen** ergeben sich aus deren Umsetzung und Verwertung.

Die Begriffe **Innovation** oder **innovativ** sind derzeit fast ausschließlich positiv besetzt. Sie werden gerne als universelle Schlagwörter missbraucht, oft zusammen mit den Begriffen „**Nachhaltigkeit**“ oder „**Effizienz**“, um Konzepte, Produkte, Personen etc. in ein positives Licht zu setzen, auch wenn es an konkreten diesbezüglichen Fakten mangelt.



Leipzig, den 24. April 2009

- Dampfmaschine (1690)
- Stirlingmotor (1816)
- Brennstoffzelle (1838)
- Motor BHKW
- Mikrogasturbine

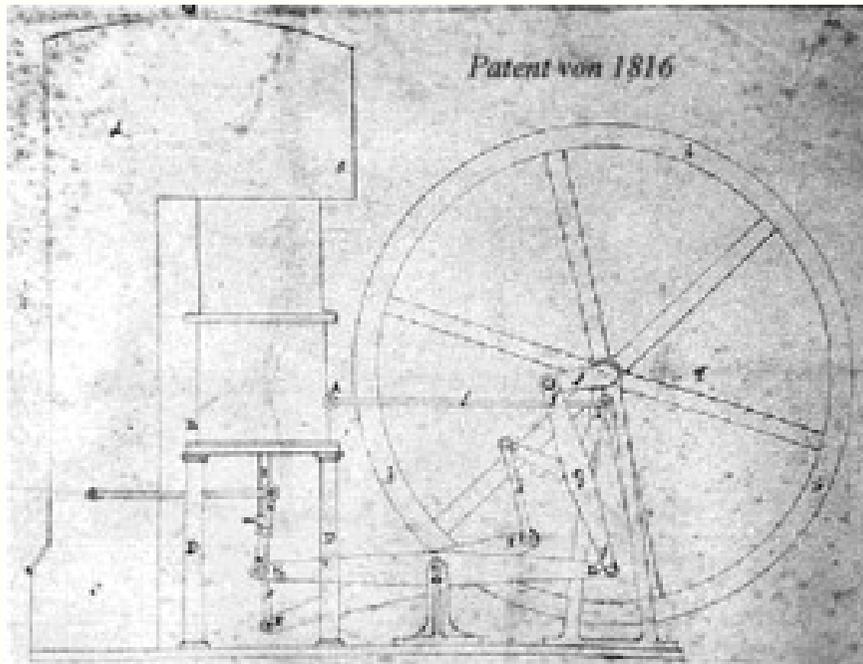
• Quelle:

Die Feuerzangenbowle
(Heinz Rühmann),
Deutschland 1944

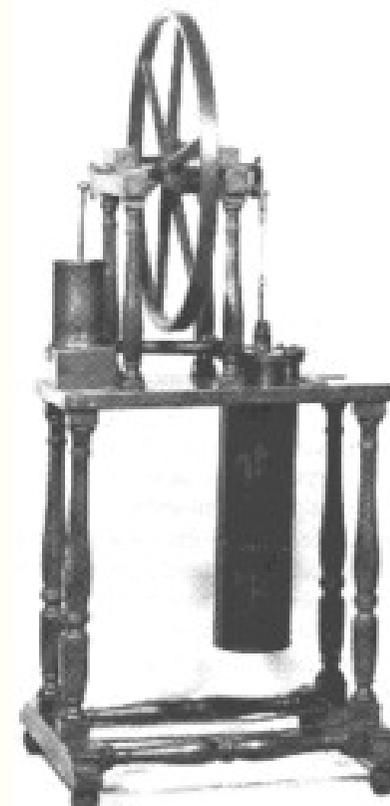
technische Innovation: Der Stirlingmotor!

- Erteilung des Patents für den Stirlingmotor im Jahr 1816
- der Motor ist benannt nach dem Erfinder Robert Stirling

- erste Einsätze der „Innovation Stirlingmotor“ als Ersatz von Dampfmaschinen in Bergwerken



Leipzig, den 24. April 2009



- Innovation „Biomasse- Stirling“ ?!
- Überblick
- Stirling Danmark/ Mawera/ BIOS
- HOVAL
- Stand der Technik und Perspektiven

Pelletmaschinen

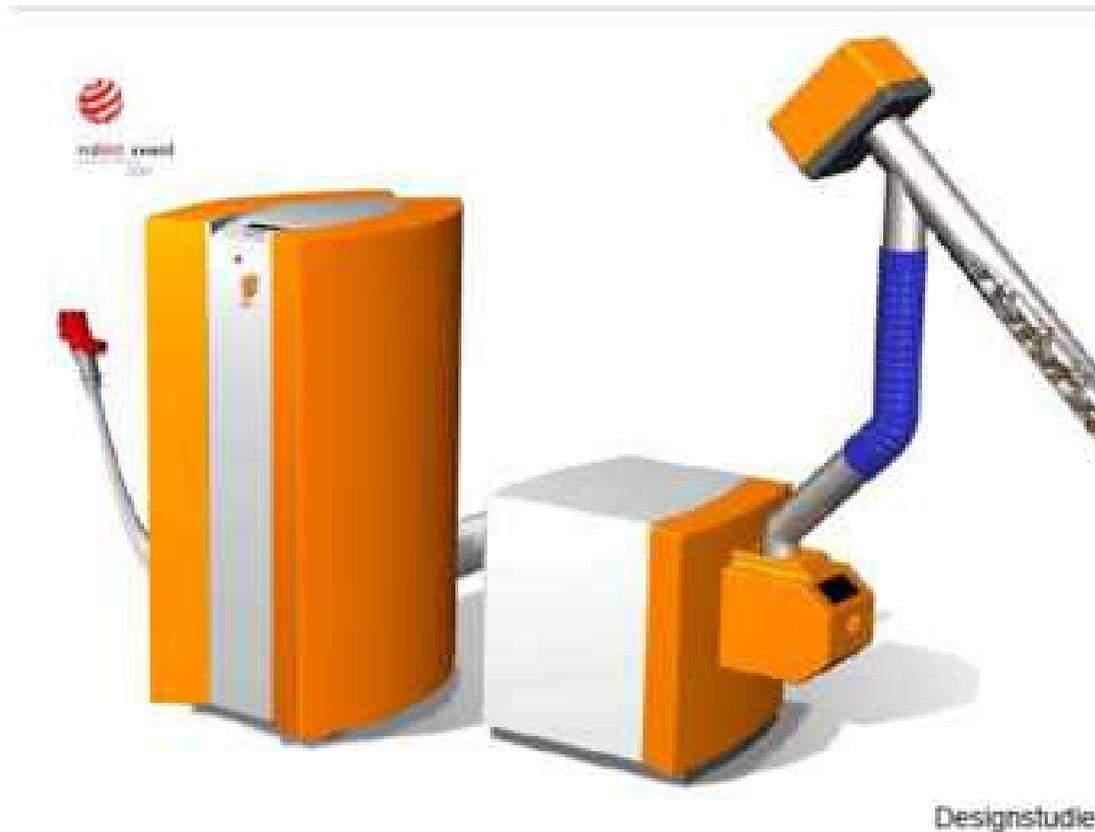
-  OTAG lion Pelletversion (Dampfkraftprozess)
-  Stirling Power Module/KWB
-  Sunmaschine

sonstige

-  Joanneum Research (Holzhackschnitzel)
-  EU Projekt NANOSTIR (Energiekorn & weitere Biobrennstoffe)
-  Enerlyt 4- Zyklen Ericsson Motor (Pflanzenöl)

Pellet „Dampfmotor“ von OTAG

Pellet - lion® .. 100 % weniger CO2



- der Pellet lion® befindet sich derzeit in der Entwicklungsphase
- Leistungsdaten des Erdgasmotors (Zielwerte):
0,3 – 2,0 kW elektrisch
3,0 – 16 kW thermisch
- Nutzungsgrade (Prof. Thomas):
~ 8% elektrisch; ~ 95% gesamt
- abgeschlossener Wasser-Dampf-Kreislauf
- derzeit Markteinführungsphase

Quelle: www.stirlingpowermodule.com

- Stirlingmotor wurde nachträglich in einen Serienpelletkessel von KWB integriert
- KWK- System mit Brennstoff Holzpellets
- Anzahl Zylinder: 4
- Arbeitsgas: Stickstoff
- Nennleistung: ~ 1,0 kW elektrisch
~ 15 kW thermisch
- Bei dieser Anlage handelt es sich derzeit noch um ein reines Forschungsobjekt. Die Anlage ist noch nicht im Handel erhältlich, die Markteinführung angekündigt für 2009



Pelletstirling von Stirling Power Module/ KWB

Stadien der Entwicklung Versionen: X6 März 2006, X7 März 2007, X8 in 2008



Leipzig, den 24. April 2009

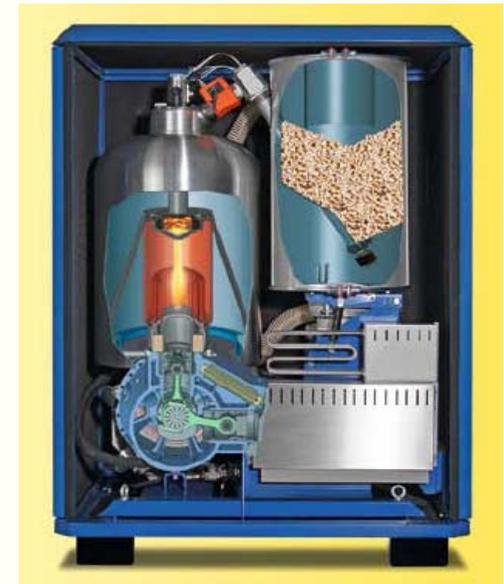
Quelle: www.stirlingpowermodule.com 10

Pelletstirling von Sunmaschine

Quelle: Sunmaschine

vollintegriertes KWK- System zur Verbrennung von Holzpellets

Feuerungsleistung:	14,9 kW
Hubraum:	~ 520 ccm
Anzahl Zylinder:	1
Arbeitsgas:	Stickstoff bei 33 bar
Nennleistung:	1,5 – 3 kW elektrisch 4,5 – 10,5 kW thermisch
Nutzungsgrad elektrisch:	~ 20 – 25
Vorlauftemperatur:	max. 75 °C
Kühlwassertemperatur:	max. 60 °C
Serienfertigung angekündigt für 2008!	



Leipzig, den 24. April 2009

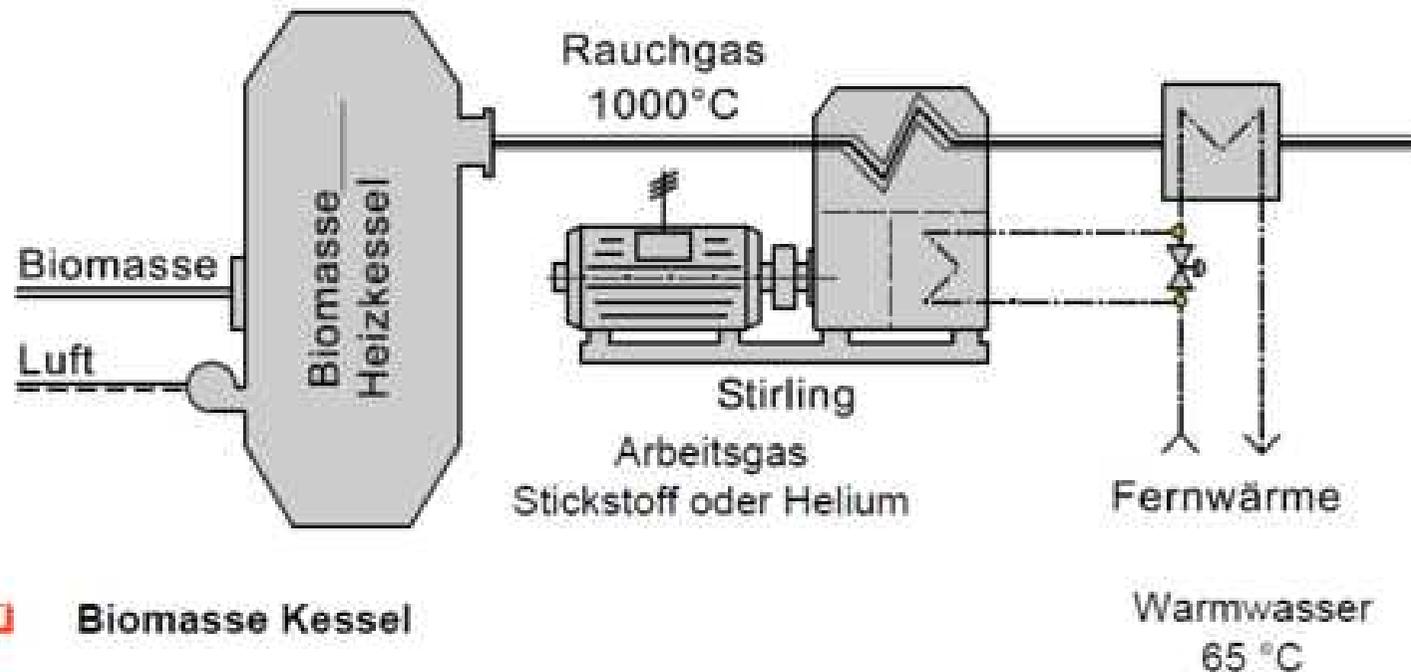
Feuerungsleistung Kessel:	880 kW
Kolbendurchmesser:	400 mm
Kolbenhub:	100 mm
Hubraum:	~ 12.570 ccm
Anzahl Zylinder:	1
Arbeitsgas:	Helium bei ~ 20 bar
Nennleistung:	30 kW elektrisch
zweite Anlagegröße mit 3,0 kW elektrisch wird derzeit im EU Projekt POLYsmart entwickelt/erprobt	
Nutzungsgrad elektrisch:	~ 26 %
Erhitzerkopftemperatur:	~ 800 °C
Kühlwassertemperatur:	40 – max. 65 °C

30 kW Anlage
realisiert im
Ökopark Hartberg



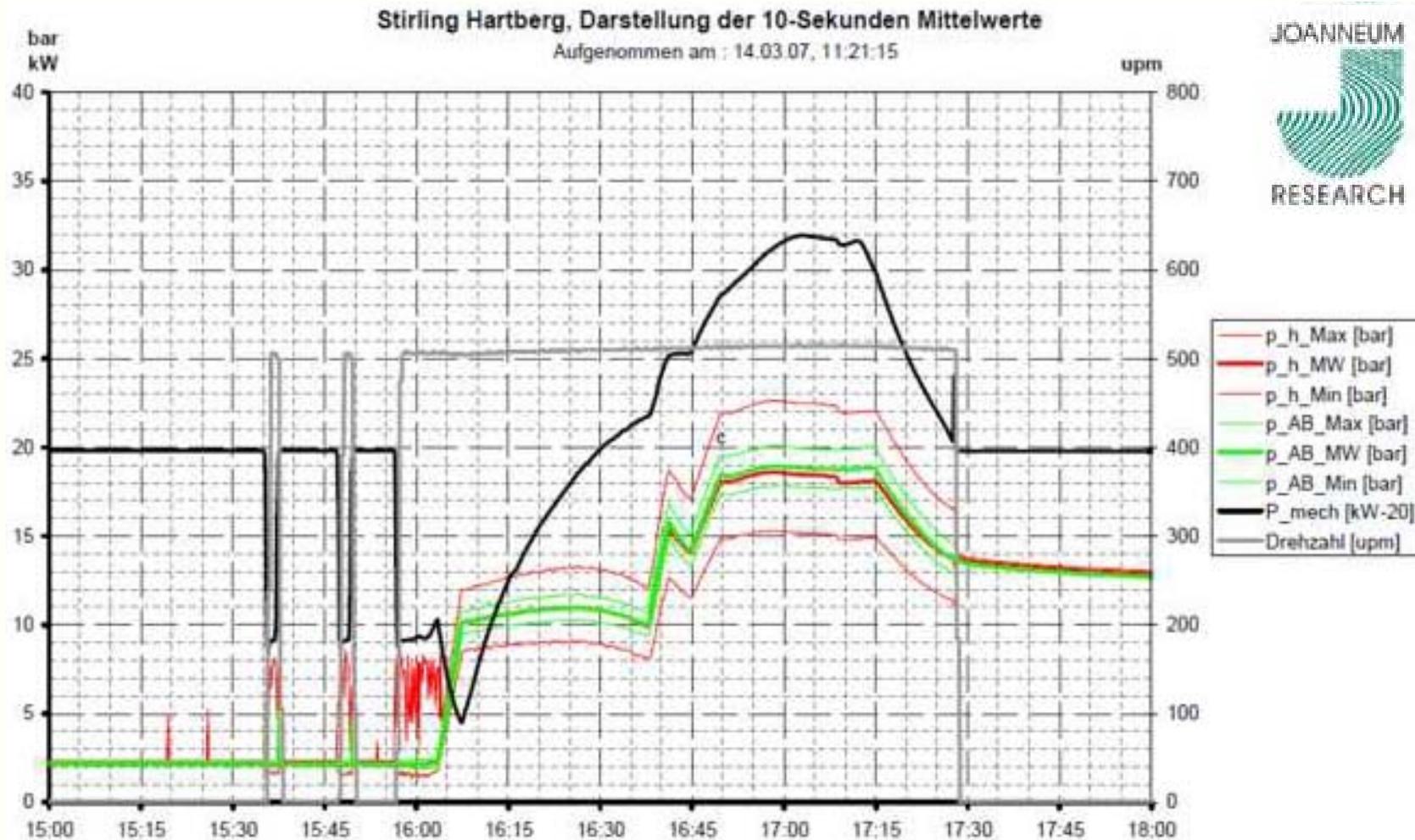
Joanneum Research: Schema der Anlage „Ökopark Hartberg“

Stirlingmotor am Ökopark Hartberg Schema der Gesamtanlage



- **Biomasse Kessel**
 - Hersteller: TM-Feuerungsanlagen, Sebersdorf
 - Brennstoff-Wärmeleistung: 880 kW
 - Brennstoff: Holzhackgut, W35

Joanneum Research: Erste Testergebnisse der Anlage „Ökopark Hartberg“



NANOSTIR KWKK- Lösung (EU- Projekt)

KWKK- System zur Verbrennung von Energiekorn und weiteren festen Biomassen in Kombination mit einem Stirlingmotor und einer Absorptionskältemaschine

Bei dieser Anlage handelt es sich derzeit noch um ein reines Forschungsobjekt. Die Anlage ist noch nicht im Handel erhältlich!

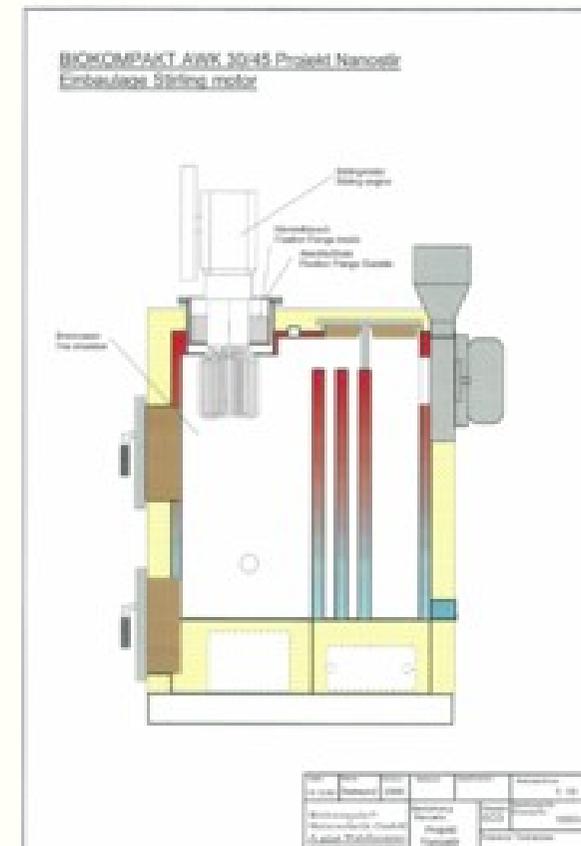
Anzahl Zylinder Stirling: 1

Arbeitsgas: Stickstoff

Nennleistung Stirling: ~ 1,0 kW elektrisch
~ 3,0 kW thermisch

Feuerungsleistung Kessel: 45 kW

Kälteleistung: ~ 10 – 15 kW bei ca. 2°C

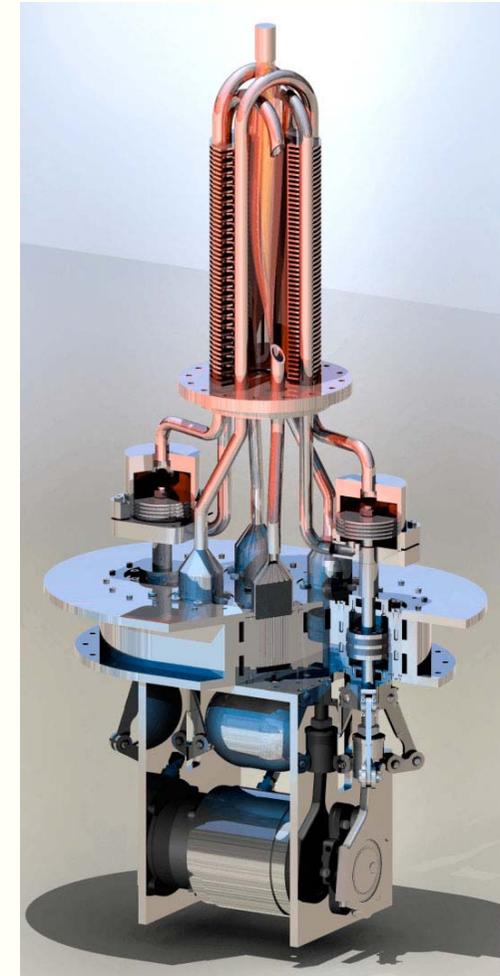


Pflanzenöl 4-Zyklen-Ericssonmotor von Enerlyt

Quelle: Enerlyt Technik GmbH

integriertes KWK- System zur Verbrennung von Pflanzenöl

Feuerungsleistung:	5,0 kW
Hubraum:	~ 1.640 ccm
Anzahl Zylinder:	2
Arbeitsgas:	Helium bei 4,5 bar
Temperatur Erhitzerkopf:	~ 750 °C
Nennleistung:	1,0 kW elektrisch 3,5 kW thermisch
Nutzungsgrad elektrisch:	~ 20 %
Vorlauftemperatur:	max. 73 °C



- Innovation „Biomasse- Stirling“
- Überblick
- Stirling Danmark/ Mawera/ BIOS
- HOVAL
- Stand der Technik und Perspektiven

- ✚ 1990 Beginn der Forschungsarbeiten an der Technischen Universität Dänemark unter Leitung von Prof. Henrik Carlsen
- ✚ September 1995 erster Test mit einem Biomasse befeuerten Stirlingmotor mit einer elektrischen Leistung von 35 kW (Zusammenarbeit mit BIOS und Mawera)
- ✚ 2004 erfolgt die Gründung von Stirling Danmark
- ✚ Ab 2009 erstes kommerzielles Produkt mit 35 kW elektrisch erhältlich
- ✚ Für 2009 (2010) sind folgende Produkte geplant/erhältlich:
 - ✚ „Biogas Stirling“ 9 kW elektrisch
 - ✚ 35 kW (75 kW) elektrisch; System mit direkter Holzhackschnitzelfeuerung (Kessel von Mawera/Viessmann)
 - ✚ 35 kW (75 kW) elektrisch; System mit Holzvergaser (entwickelt von SD, gebaut von Danstoker)

Technische Daten Biogasmaschine von Stirling Danmark

Quelle: Prof. Thomas, HS Reutlingen/Stirling Danmark

Kolbendurchmesser:	114 mm
Kolbenhub:	54 mm
Hubraum:	~ 550 ccm
Anzahl Zylinder:	1-Zylinder β -Konfiguration
Arbeitsgas:	Helium bei 80 bar
Nennleistung SM5A (SD5):	9 kW elektrisch
Nutzungsgrad elektrisch:	21,1 %
Nutzungsgrad gesamt:	86,3 % (VL/RL 45°C/30°C)
Erhitzerkopftemperatur:	~ 700 °C
Kühlwassertemperatur:	max. 65°C
Prototyp war deutlich über 6.000 h in Betrieb	
Markteinführung geplant für Mitte 2010	

Leipzig, den 24. April 2009



Technische Daten SD3-E4 von Stirling Danmark

Quelle: Stirling Danmark

Feuerungsleistung Kessel:	250 kW
Kolbendurchmesser:	142 mm
Kolbenhub:	76 mm
Hubraum:	~ 4800 ccm
Anzahl Zylinder:	4
Arbeitsgas:	Helium bei 45 bar
Nennleistung SD4E:	35 kW elektrisch
Nennleistung SD8E:	75 kW elektrisch
Nutzungsgrad elektrisch:	~ 14 % Gesamtsystem
Erhitzerkopftemperatur:	~ 700 °C
Kühlwassertemperatur:	40 – 60 °C



Leistungsdaten des Prototypen

Dauer des Leistungstests: 9 h

Feuerungsleistung Kessel: 210 kW

max. Erhitzerkopftemperatur
während des Testbetriebs: 650 °C

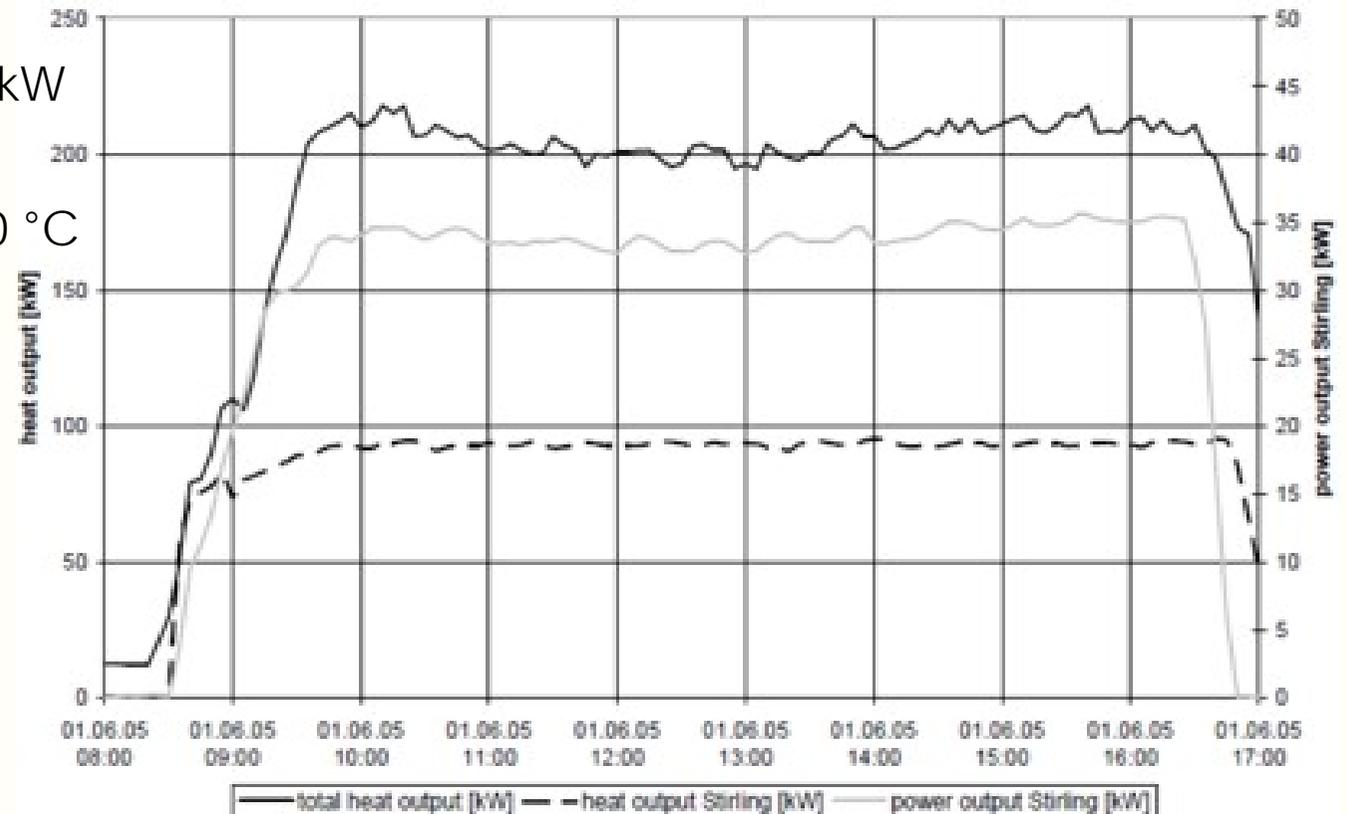
Wärmeleistung Stirling: 90 kW

elektrische Leistung: 35 kW

elektrischer Nutzungsgrad
Stirling: 27 %

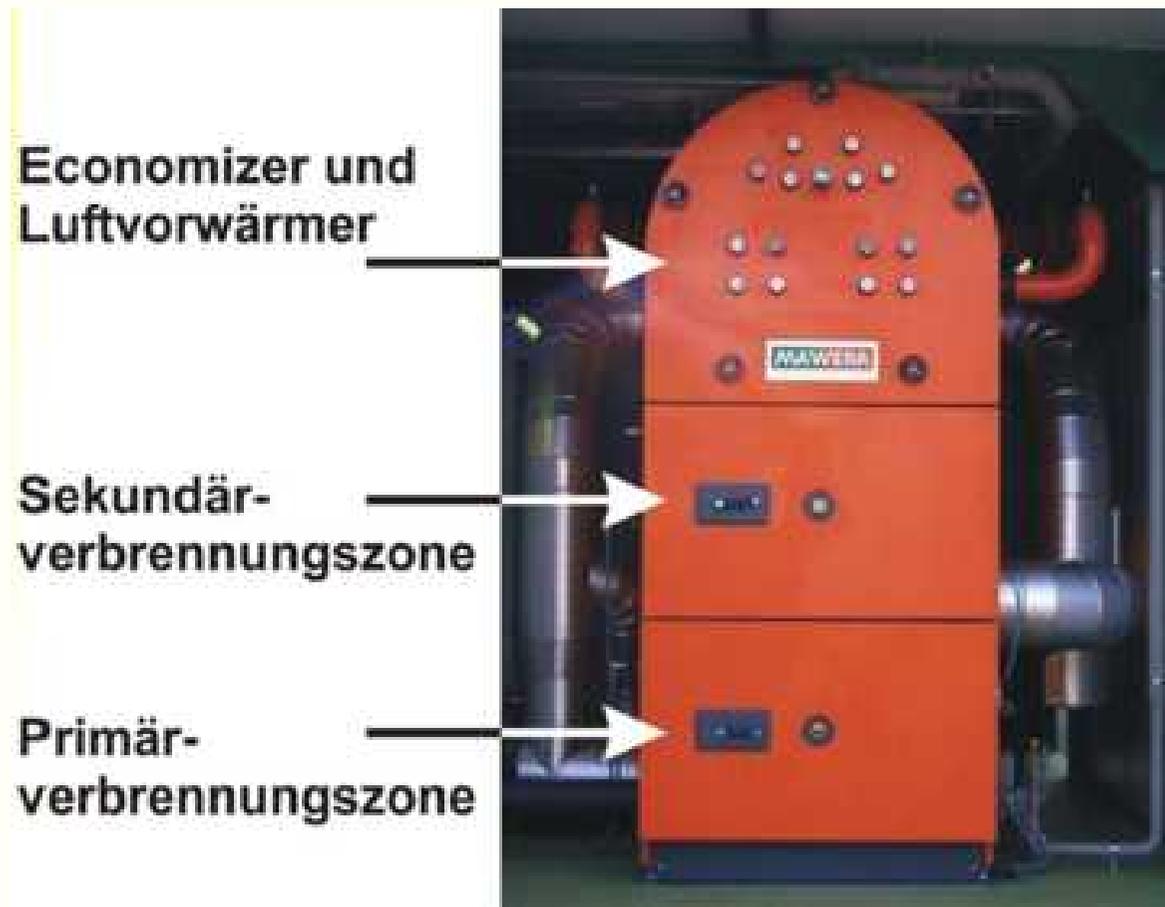
elektrischer Nutzungsgrad
Gesamtsystem: 13 %

Gesamtnutzungsgrad: 92 %



Praxisbeispiel SD/Mawera/BIOS Anlage: Betrieb mit einem Hackschnitzelkessel

Elektrische Leistung : 75 kW; Feuerungsleistung Kessel: ~ 600 kW



Leipzig, den 24. April 2009

Quelle: Mawera, BIOS 22

Praxisbeispiel: SD3-E4 in Castel d'Aiano, Betrieb in Kombination mit einem Vergaser

Die Anlage wurde im Dezember 2008 in Castel d'Aiano (Italien) in Betrieb genommen.

eingesetzter Brennstoff: Holzhackschnitzel

jährlich angestrebte

Volllastbetriebstunden: > 6000 h

notwendige Brennstoffmenge (-leistung)
bei 40 % Feuchte: 70 kg/h oder 420 t/a
(210 kW)

maximale Nutzenergieerzeugung:
210 MWh/a bei 35 kW_{el} und 840 MWh/a
bei 144 kW_{th}

Nutzungsgrad elektrisch: 17 %

Nutzungsgrad gesamt: 85 %



Praxisbeispiel: SD3-E4 in Castel d'Aiano, Betrieb in Kombination mit einem Vergaser



Leipzig, den 24. April 2009

Quelle: Stirling Danmark 24

- Innovation „Biomasse- Stirling“
- Überblick
- Stirling Denmark/ Mawera/ BIOS
- HOVAL
- Stand der Technik Perspektiven

Prototypenbau und erste Testphase

Im Labortest wurde der Motor von Mai 2001 bis November 2003 im simulierten Alltagsbetrieb über etwa 2 500 Betriebsstunden in zwei Phasen betrieben.

In der ersten Testphase wurde der Motor ~ 1300 h betrieben, im Anschluss komplett zerlegt, auf Verschleiß untersucht und anschließend ohne Teiletausch wieder zusammengesetzt und in einer zweiten Phase für weitere 1200 h betrieben.



Kleinstserie und zweite Testphase

2004: Entscheidung das Projekt weiterzuführen. Dazu wurden sieben weitere Stirlingmotoren (2. Generation) produziert. Der Feldtest startete Mitte 2005 an sechs privaten Standorten in DE, FL und CH.

Zwei dieser Anlagen wurden mit umfangreicher Messtechnik ausgestattet und über zwei Jahre wissenschaftlich durch die IZES gGmbH begleitet.

Das Projekt wurde durch die Fachagentur für Nachwachsende Rohstoffe begleitet und mit Mitteln des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz unter FKZ 220 176 05 gefördert.



Stückholzkessel Stirling Kombination von HOVAL

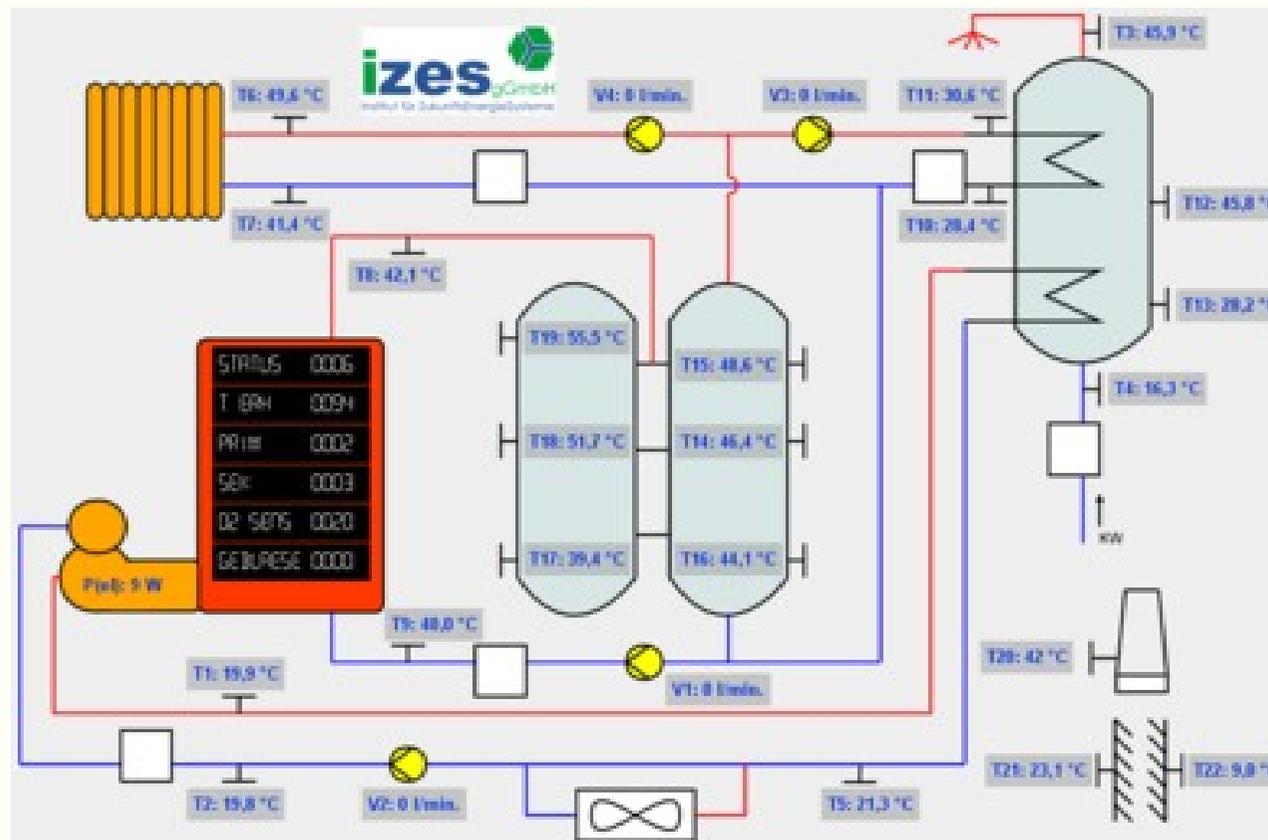
- Leistungsdaten Stirlingmotor:
max. 1,0 kW elektrisch abhängig
von der Erhitzkopftemperatur
- derzeitige Nutzungsgrade (Quelle IZES)
> 16 % elektrisch; ~ 80 % gesamt
- 1-Zylinder β -Konfiguration
- Arbeitsgas Stickstoff mit 12 bar
Nenndruck
- Feuerung: HOVAL AgroLyt Stückholz-
vergaserkessel mit 25 kW Nennleistung



Stückholzkessel Stirling Kombination von HOVAL



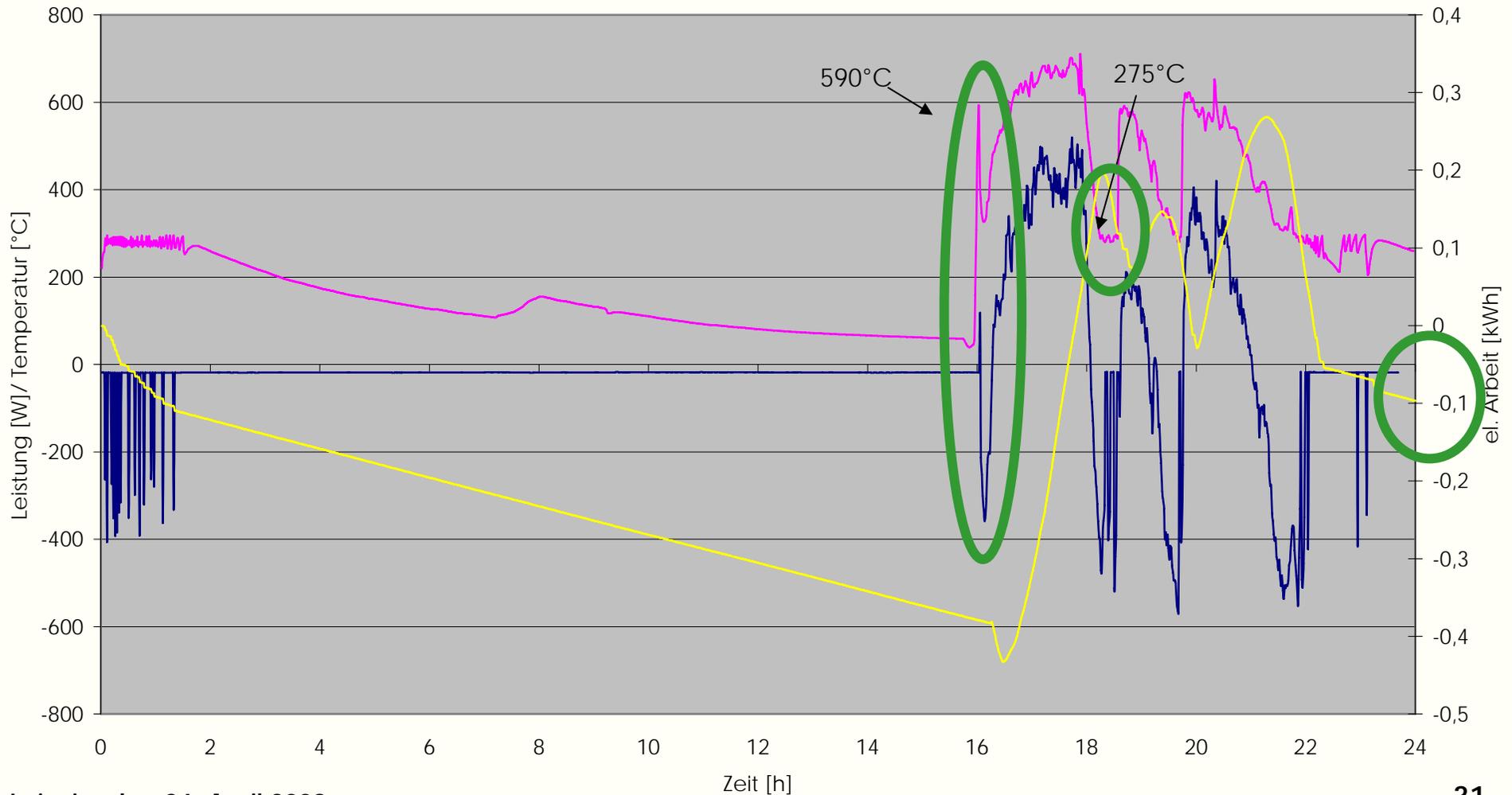
Leipzig, den 24. April 2009



Dr. Bodo Groß, IZES gGmbH, Leitung Arbeitsfeld Energiesystemtechnik
Altenkesseler Straße 17, D-66115 Saarbrücken
Telefon: +49 681 9762 851 Mobil: +49 172 6839048 Fax: +49 681 9762 175
Email: gross@izes.de, <http://www.izes.de>

Ergebnisse: Verlauf Stirlingleistung und Erhitzerkopftemperatur zu Beginn des Feldtests

Leistung, Temperatur und elektr. Arbeit des Stirlingmotors
17.03.2007



Leipzig, den 24. April 2009

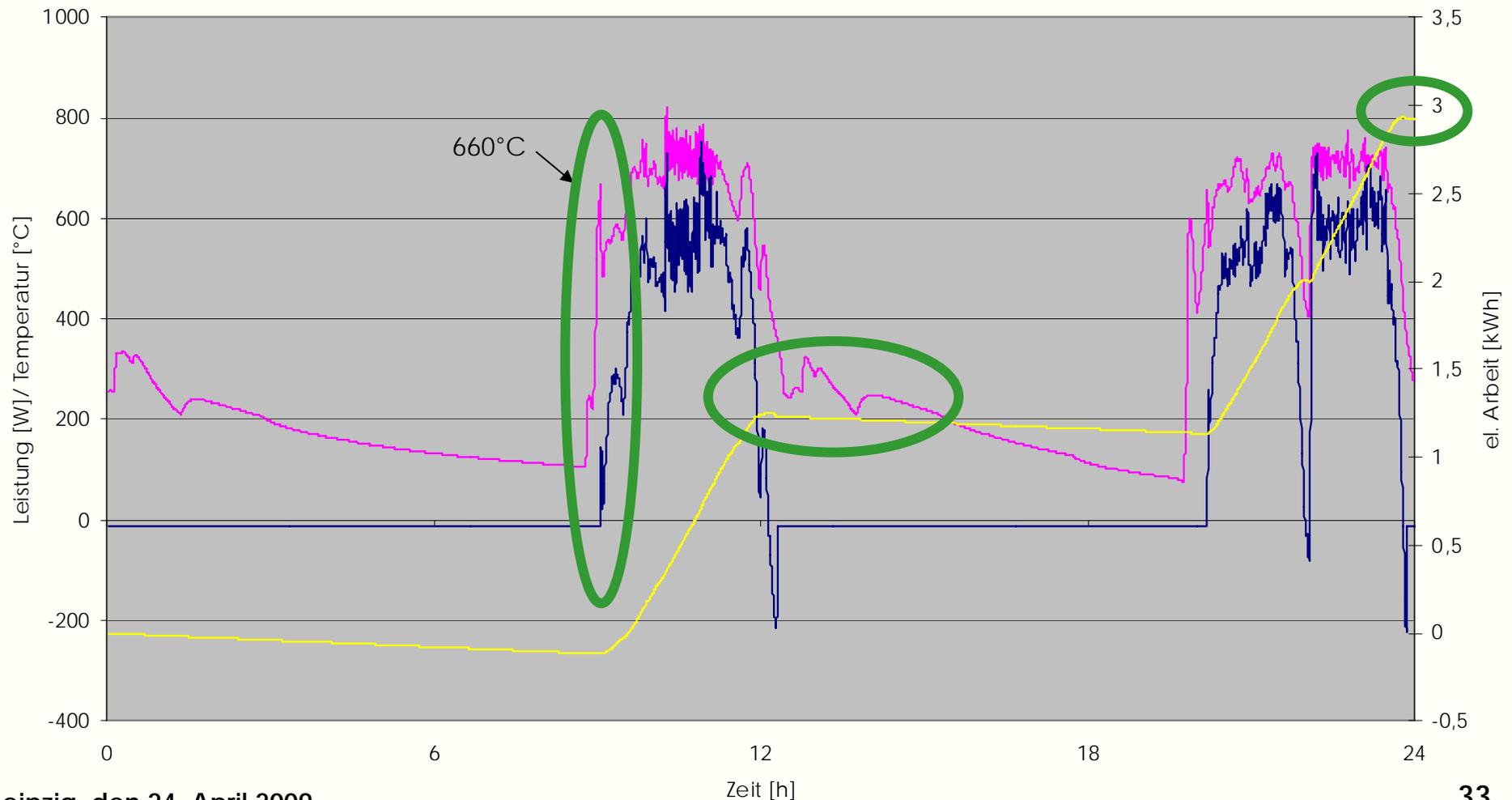
— T_Erhitzerkopf — Leistung_Stirling — Elektrische_Arbeit

Parameter der Kesselsteuerung bzgl. Ein- und Ausschalttemperaturen des Stirlings

-  Einschalttemperaturen nach Optimierung:
 -  Kaltstart bei **660°C** (vorher 590°C)
 -  Warmstart bei **385°C** (vorher 285°C)
-  Ausschalttemperatur nach Optimierung:
 -  bei **375°C** (vorher 275°C)
-  Kriterium für Warmstart nach Optimierung:
Erhitzerkopftemperatur > **260°C** (vorher 130°C)

Ergebnisse: Verlauf Stirlingleistung und Erhitzerkopftemperatur nach der Optimierung

Leistung, Temperatur und elektr. Arbeit des Stirlingmotors
03.01.2008



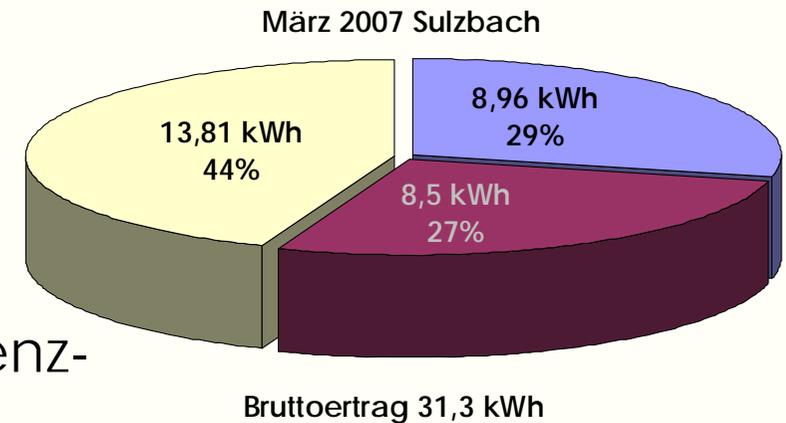
Leipzig, den 24. April 2009

T_Erhitzerkopf Leistung_Stirling Elektrische_Arbeit

Auswirkungen der Optimierungen bezüglich des Stromertrags

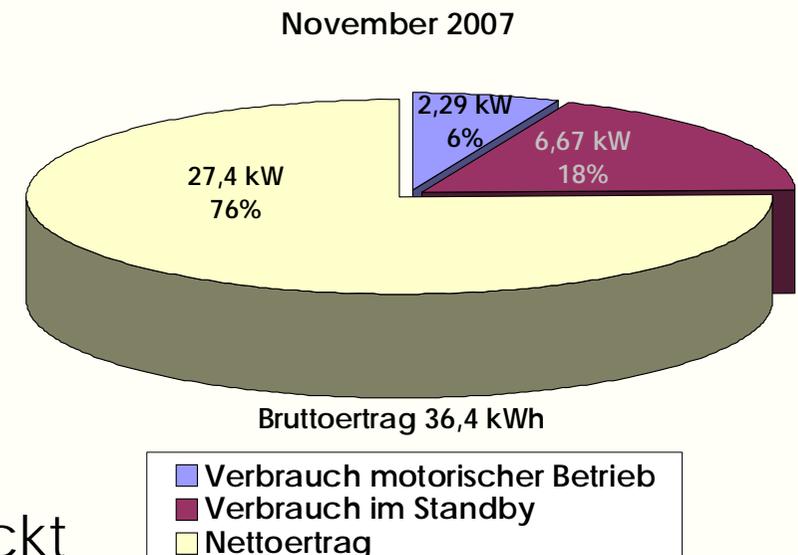
vorher:

- lange Laufzeiten im motorischen Betriebsmodus → hoher Stromverbrauch
- häufiges Takten im Temperaturgrenzbereich → hohe mechanische Belastung



nachher:

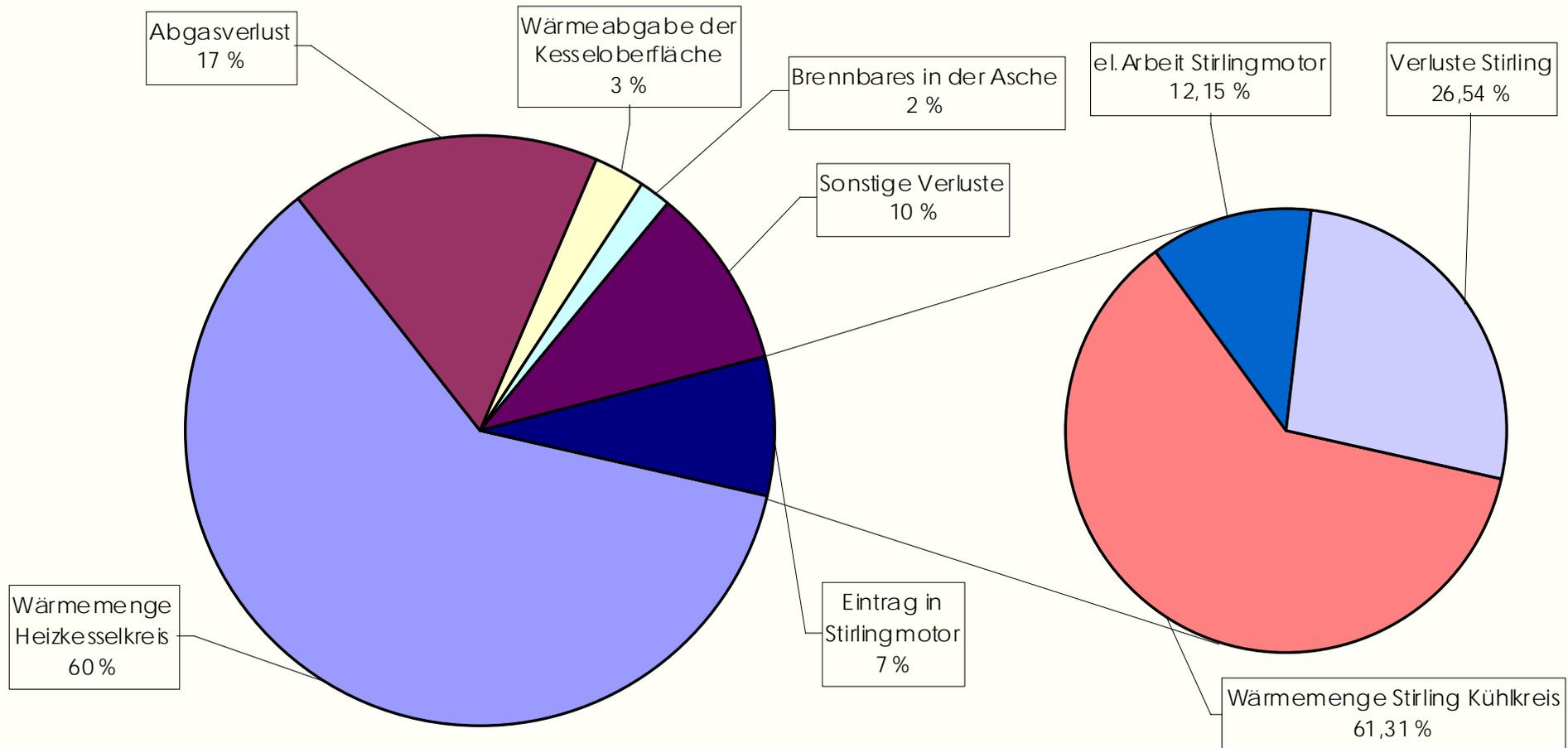
- kurze Laufzeiten im motorischen Betriebsmodus → Stromverbrauch deutlich gesenkt
- Takten im Temperaturgrenzbereich nahezu vollständig unterdrückt



Bilanzierung der Gesamtanlage im Dezember 2007

Gesamteintrag durch Brennholz 255 kWh

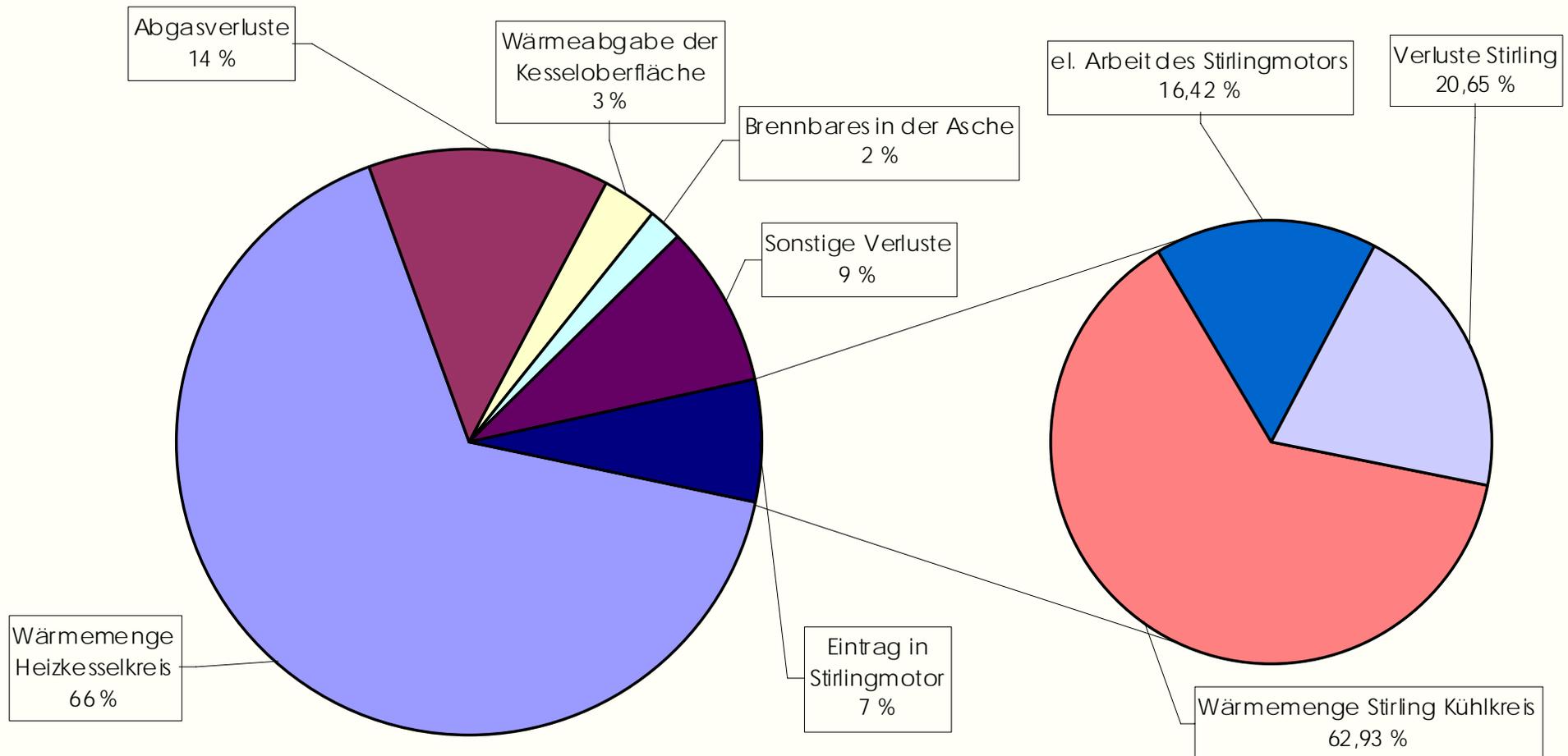
Eintrag in Stirlingmotor 18,8 kWh



Bilanzierung der Gesamtanlage im Dezember 2008

Gesamteintrag durch Brennholz 192 kWh

Eintrag in Stirlingmotor 13,1 kWh



Weitere notwendige Optimierungen und Ausblick

- Erhöhung des elektrischen Nutzungsgrads des Stirlingmotors
 - bei gleichzeitiger Steigerung des Gesamtnutzungsgrads
- Erhöhung der elektrischen und Gesamtleistung des Stirlingmotors
 - bei gleichzeitiger Reduzierung der Erhitzerkopftemperatur
 - und dadurch verminderter Abgasverluste
 - Verbesserung der Strömungsverhältnisse im Heizkessel
- Reduzierung des elektrischen Eigenbedarfs
 - Verbesserung des Schaltschranks, bzw. Integration der notwendigen Elektronik in die Kesselsteuerung
- Ausblick/ derzeitige Aktivitäten
 - Kleinserienproduktion und Verkauf der Stückholzkessel/Stirling Kombination mit verbesserter Anlagenleistung; www.hoval.com

- Innovation „Biomasse- Stirling“
- Überblick
- Stirling Denmark/ Mawera/ BIOS
- HOVAL
- Stand der Technik und Perspektiven

- einige Systeme befinden auf dem Weg zur Serienreife
- technisches Optimierungspotenzial ist vorhanden und zum Teil identifiziert
- überwiegende Entwicklungsarbeiten wurden bisher von kleinen Betrieben oder Einzelpersonen durchgeführt

- Die angestrebten Produkte < 3,0 kW elektrische Leistung sind „massenmarkttauglich“
- Im größeren Leistungsbereich sind die Marktchancen aufgrund der hohen Flexibilität der Technik positiv zu bewerten
- Bei Marktdurchdringung ergeben sich erweiterte Möglichkeiten für Peripheriekomponenten; z.B. Beschichtungs- und Abgasreinigungssysteme.
- Marktchancen ergeben sich vor allem im Bereich fester und „problematischer“ Biobrennstoffe

- öffentliche Förderung ist (im Gegensatz zum Beispiel bei Brennstoffzellen) gering
- derzeit aufgrund zu hoher spezifischer Investitionen (noch) kein wirtschaftlicher Betrieb möglich
- entsprechende Standzeiten und über die Lebensdauer „konstante“ Nutzungsgrade für Serienprodukte müssen noch nachgewiesen werden

Kraft-Wärme-Kopplung: Vom Händler in den Pelletbunker

Vielen Dank für's Zuhören!



Dr. Bodo Groß
IZES gGmbH
Altenkesseler Straße 17
D-66115 Saarbrücken
Telefon: +49 681 9762 851
Fax: +49 681 9762 175
Mobil: +49 172 6839048
Email: gross@izes.de
<http://www.izes.de>