

# Energieeffizienz bei automatischen Holzfeuerungen

## Erfahrungen aus der angewandten Praxis

Referat von: Oskar Leiser - ErnEL GmbH, Betriebsoptimierungen, 4410 Liestal

Was ist überhaupt Energieeffizienz? – bezogen auf die Wärmeerzeugung mit Holzenergie.

Kurz gesagt – eine möglichst hohe Ausnutzung der eingesetzten Bruttoenergie.

Bei der Holzenergie kann man bei der Bruttoenergie von 2 Werten ausgehen.

1. Oberer Energieinhalt  $H_o$  ( Brennwert ) = Energieinhalt bei absolut trockenem Holz
2. Unterer Heizwert  $H_u$  = Energieinhalt bei absolut trockenem Holz abzüglich der Energie, die eingesetzt werden muss um das Wasser im Holz zu verdampfen

Je höher der Wassergehalt im Holz ist umso kleiner ist der untere Heizwert  $H_u$ .

Dieser Zusammenhang wird wichtig, wenn wir später etwas über die Abgas-Kondensation hören werden und von Wirkungsgraden, die weit über 100% liegen.

Wir werden in der Folge immer vom unteren Heizwert  $H_u$  reden als Bruttoenergie.

Wie gut die Energieeffizienz ist, wird durch den Jahres-Wirkungsgrad ersichtlich.

Was ist ein Jahres-Wirkungsgrad? Er setzt sich folgendermassen zusammen:

Feuerungstechnischer Wirkungsgrad ( Ft-WGt ) = Bruttoenergie – Abgasverluste durch das Kamin.

Kessel-Wirkungsgrad ( K-WG ) = Bruttonenergie - Abgasverluste – Abstrahlverluste

Jahres-Wirkungsgrad ( J-WG ) = Bruttonenergie - Abgasverluste – Abstrahlverluste – innere Auskühlverluste bei Stand By - Betrieb

Was für Vorteile bietet nun eine optimale Energieeffizienz?

1. Weniger Brennstoffverbrauch = Kostenersparnis
2. Weniger Emissionen wie Staub, CO und NOx = schont die Umwelt

Soweit zur Theorie – gehen wir nun zur Praxis.

Betrachten wir eine 20 Jahre alte monovalente Feuerung mit Relaissteuerung. Die Feuerung kann nur mit Vollast oder Stand By betrieben werden. Die Kesselleistung wurde nach damaligem Wissensstand mit 500kW festgelegt. Der Wärmebedarf des Wärmenetzes beträgt durchschnittlich 750MWh/Jahr. Als Brennstoff werden Holzsplit mit einem durchschnittlichen Wassergehalt von 80% ATRO eingesetzt.

Da die Anlage monovalent ist, wird sie vom 1. Oktober – 1. Mai betrieben. Das ergibt eine gesamte Betriebsdauer von ca. 5000h.





Der Jahres-Nutzungsgrad wird durch diese Massnahme von 65,8% auf 74,4% erhöht  
= 8,8% Gewinn.

In einem weiteren Schritt erhöhen wir den Ft-WG indem wir Wirbulatoren in die Rauchrohre einsetzen. Diese Drallkörper sorgen für Verwirbelungen in den Rauchrohren und dadurch für höhere Gasgeschwindigkeiten und dadurch für einen besseren Wärmeübergang. In der Regel werden die Abgastemperaturen zwischen 20 – 50°C reduziert. Zu beachten sind bei dieser Optimierung die Reserven des Abgasventilators sowie die Dimensionierung der Rauchrohre. Es ist ebenfalls auf eine gute Zugänglichkeit zu achten, da diese **Wirbulatoren** regelmässig gedreht werden müssen, um Verschmutzungen vorzubeugen.



## Anlage

Kesseltyp: Unterschub

Leistung: 500kW

Anlagentyp: Monovalent mit SPS und Wirbulatoren

Wassergehalt-Brennstoff	80	% ATRO
T Heizraum	20	°C

Durchschnitt bei Leistung 30-50% ( 40% )		
O2	11	%
CO2	9.5	%
T Abgas	110	°C
<b>Feuerungstechn.WG</b>	<b>91.4</b>	<b>%</b>
Leistung	200	kW

Durchschnitt bei Leistung 55-75% ( 65% )		
O2	10	%
CO2	10.5	%
T Abgas	140	°C
<b>Feuerungstechn.WG</b>	<b>89.4</b>	<b>%</b>
Leistung	325	kW

Durchschnitt bei Leistung 80-100% ( 90% )		
O2	9	%
CO2	11.5	%
T Abgas	180	°C
<b>Feuerungstechn.WG</b>	<b>86.8</b>	<b>%</b>
Leistung	450	kW

Betriebsstunden:	
30-50%	1800 h
55-75%	650 h
80-100%	398 h
Stand By/Aus	2203 h

Kessel-Nennleistung	500	kW
Feuerungs-Wärmeleistung	554	kW
Abstrahlverluste bei P=100%	3	%
Abstrahlverluste bei P=100%	15	kWh
Innere Auskühlverluste	35	kWh
Abgasverluste	80838	kWh
Abstrahlverluste während Betrieb	42720	kWh
Abstrahlverluste bei Stand By	33045	kWh
Innere Auskühlverluste ca.	77105	kWh
Bruttowärme (Input)	984058	kWh
Erzeugte Wärme (Theorie)	750350	kWh

Wirkungsgrade ( WG ) bez. Auf FW-Leistung	
Abgasverluste	9.7 %
<b>Feuerungstechnischer WG</b>	<b>90.3 %</b>
Abstrahlverluste während Betrieb	4.4 %
<b>Kessel-WG</b>	<b>85.9 %</b>
Stillstandsverluste	9.6 %
<b>Jahres-WG</b>	<b>76.3 %</b>
Wirkungsgrade ( WG ) bez. Auf Bruttowärme	
Abgasverluste	8.2 %
<b>Feuerungstechnischer WG</b>	<b>91.8 %</b>
Abstrahlverluste während Betrieb	4.3 %
<b>Kessel-WG</b>	<b>87.4 %</b>
Stillstandsverluste	11.2 %
<b>Jahres-WG</b>	<b>76.3 %</b>

Der Wirkungsgradgewinn beträgt mit dieser Massnahme knapp 2%. Bei einem Brennstoffverbrauch von ca. 1100 Sm<sup>3</sup> werden 22m<sup>3</sup> eingespart – bei einem Preis von 35.-/Sm<sup>3</sup> ergibt das eine jährliche Einsparung von 770.-. Die Wirbulatorien sind in diesem Fall in 1,5 Jahren amortisiert.

Bei Anlagen mit besserer Auslastung sehen diese Zahlen natürlich noch besser aus, da die Wirbulatorien bei Vollast die grösste Temperaturreduktion erzielen.

Ein wichtiger Faktor ist die regelmässige Reinigung des Wärmetauschers um die maximale Energieeffizienz zu gewährleisten. Hier setzt man bei älteren wie natürlich bei den neuen Holzfeuerungen automatische Reinigungseinrichtungen ein. In der Regel werden hier **Druckluft-Abreinigungen** eingesetzt, die in regelmässigen Abständen durch starke Druckluftstösse die Ablagerungen an den Rauchrohren wirkungsvoll entfernen. Somit kann der Ft-WG konstant gehalten werden.

Damit sind die sinnvollen Massnahmen zur Optimierung von sehr alten Anlagen ausgeschöpft. Bei der Erstellung von Neuanlagen sind noch viele weitere Optimierungs-Massnahmen aktuell. Betrachten wir nun ein Beispiel einer neueren Feuerungsanlage. Um den Vergleich zur vorher betrachteten Anlage zu haben – wieder mit einem Leistungsbedarf von 750MWh.

Heute würde man solch eine Anlage folgendermassen auslegen:



## Anlage

Kesseltyp: Unterschub

Leistung: 350kW

Anlagentyp: Monovalent mit SPS und Wirbulatoren

Speicher und autom. Zündung

Wassergehalt-Brennstoff	80% ATRO	<b>Betriebsstunden:</b>		
T Heizraum	20°C		30-50%	2500h
<b>Durchschnitt bei Leistung 30-50% ( 40% )</b>			55-75%	1000h
O2	10%		80-100%	547h
CO2	10.5%		Stand By/Aus	953h
T Abgas	100°C			
<b>Feuerungstechn.WG</b>	<b>92.9%</b>	<b>Kessel-Nennleistung</b>	350	kW
Leistung	140kW	<b>Feuerungs-Wärmeleistung</b>	382	kW
		<b>Abstrahlverluste bei P=100%</b>	2.5	%
		<b>Abstrahlverluste bei P=100%</b>	8.75	kWh
		<b>Innere Auskühlverluste</b>	15	kWh
		<b>Abgasverluste</b>	68680	kWh
		<b>Abstrahlverluste während Betrieb</b>	35411.25	kWh
		<b>Abstrahlverluste bei Stand By</b>	8338.75	kWh
		<b>Innere Auskühlverluste ca.</b>	14295	kWh
		<b>Bruttowärme (Input)</b>	877030	kWh
		<b>Erzeugte Wärme (Theorie)</b>	750305	kWh
		<b>Wirkungsgrade ( WG ) bez. Auf FW-Leistung</b>		
		<b>Abgasverluste</b>	8.4	%
		<b>Feuerungstechnischer WG</b>	91.6	%
		<b>Abstrahlverluste während Betrieb</b>	3.8	%
		<b>Kessel-WG</b>	87.8	%
		<b>Stillstandsverluste</b>	2.3	%
		<b>Jahres-WG</b>	85.6	%
		<b>Wirkungsgrade ( WG ) bez. Auf Bruttowärme</b>		
		<b>Abgasverluste</b>	7.8	%
		<b>Feuerungstechnischer WG</b>	92.2	%
		<b>Abstrahlverluste während Betrieb</b>	4.0	%
		<b>Kessel-WG</b>	88.1	%
		<b>Stillstandsverluste</b>	2.6	%
		<b>Jahres-WG</b>	85.6	%
<b>Durchschnitt bei Leistung 55-75% ( 65% )</b>				
O2	9%			
CO2	11.5%			
T Abgas	140°C			
<b>Feuerungstechn.WG</b>	<b>90.1%</b>			
Leistung	228kW			
<b>Durchschnitt bei Leistung 80-100% ( 90% )</b>				
O2	8%			
CO2	12.5%			
T Abgas	170°C			
<b>Feuerungstechn.WG</b>	<b>88.4%</b>			
Leistung	315kW			

Eine **monovalente Holzfeuerung** sollte heute zwingend mit einem **Speicher** und einer **intelligenten Speicherregelung** ausgerüstet werden sowie einer **autom. Zündung**. Bedingung bei der autom. Zündung sind Holzschnitzel mit einer max. Feuchte von 80% ATRO, besonders in der Übergangszeit, bei der es zu vielen Zündvorgängen kommt.

Da infolge der besseren Feuerungsgeometrie mit einem tieferen Lambda gefahren werden kann und durch die optimalere Auslegung des Wärmetauschers tiefere Abgastemperaturen erreicht wird der Ft-WG massiv gesteigert.

Durch die bessere Isolation der Feuerung sinken die Verluste durch Abstrahlung beim Betrieb und in der Stand By - Phase. Die Abstrahlverluste werden durch den Speicher leicht erhöht, die Vorteile des Speichers sind aber markant grösser. Am Tag wird der Speicher auf ca. 30% Ladung gehalten und erst bei der Nachtabenkung fängt der Kessel an seine Überschussenergie an den Speicher abzugeben und diesen durchzuladen. Bei der Aufheizspitze am Morgen wird die fehlende Leistung des Kessels durch den Speicher kompensiert.

Die inneren Auskühlverluste werden durch die Abschaltung und die Absenkung der Kesselwassertemperatur reduziert.

Der Jahres-Wirkungsgrad fällt um knapp 10% höher aus gegenüber der alten optimierten Anlage.

Eine weitere sinnvolle Auslegung ist **bivalent**. Die Grundlast wird mit **Holz** abgedeckt und die **Spitzenlast** mit einem **Oel- oder Gaskessel**.

Bei der folgenden Auslegung werden 90% der Energie mit Holz erzeugt = 675MWh  
Der Rest wird durch den Oelkessel erzeugt = 75MWh

Im Herbst sowie im Frühling werden die einzelnen kalten Tage mit der Oelfeuerung abgedeckt. Daher kann die Holzfeuerung später eingeschaltet resp. Früher abgestellt werden. Daraus ergibt sich eine Reduktion der gesamten Betriebszeit um ca. 4 Wochen = 720h = neue Betriebszeit von 4280h.



## Anlage

Kesseltyp: Unterschub

Leistung: 250kW

Anlagentyp: Bivalent mit Oel-Spitzenlastkessel

Holzessel 250kW / Oelkessel 350kW

Wassergehalt-Brennstoff	80	% ATRO
T Heizraum	20	°C

<b>Durchschnitt bei Leistung 30-50% ( 40% )</b>		
O2	10	%
CO2	10.5	%
T Abgas	100	°C
<b>Feuerungstechn.WG</b>	<b>92.9</b>	<b>%</b>
Leistung	100	kW

<b>Durchschnitt bei Leistung 55-75% ( 65% )</b>		
O2	8.5	%
CO2	12	%
T Abgas	140	°C
<b>Feuerungstechn.WG</b>	<b>90.4</b>	<b>%</b>
Leistung	162	kW

<b>Durchschnitt bei Leistung 80-100% ( 90% )</b>		
O2	7	%
CO2	13.5	%
T Abgas	180	°C
<b>Feuerungstechn.WG</b>	<b>88.3</b>	<b>%</b>
Leistung	225	kW

<b>Betriebsstunden:</b>	
30-50%	1150 h
55-75%	1300 h
80-100%	1550 h
Stand By/Aus	280 h

Kessel-Nennleistung	250	kW
Feuerungs-Wärmeleistung	277	kW
Abstrahlverluste bei P=100%	2	%
Abstrahlverluste bei P=100%	5	kWh
Innere Auskühlverluste	10	kWh
Abgasverluste	72153	kWh
Abstrahlverluste während Betrieb	20000	kWh
Abstrahlverluste bei Stand By	1400	kWh
Innere Auskühlverluste ca.	2800	kWh
Bruttowärme (Input)	770703	kWh
Erzeugte Wärme (Theorie)	674350	kWh

<b>Wirkungsgrade ( WG ) bez. Auf FW-Leistung</b>	
Abgasverluste	9.7 %
<b>Feuerungstechnischer WG</b>	<b>90.3 %</b>
Abstrahlverluste während Betrieb	2.4 %
<b>Kessel-WG</b>	<b>88.0 %</b>
Stillstandsverluste	0.5 %
<b>Jahres-WG</b>	<b>87.5 %</b>
<b>Wirkungsgrade ( WG ) bez. Auf Bruttowärme</b>	
Abgasverluste	9.4 %
<b>Feuerungstechnischer WG</b>	<b>90.6 %</b>
Abstrahlverluste während Betrieb	2.6 %
<b>Kessel-WG</b>	<b>88.0 %</b>
Stillstandsverluste	0.5 %
<b>Jahres-WG</b>	<b>87.5 %</b>

Der J-WG ist gegenüber der Variante monovalent mit Speicher und Zündung nochmals um knapp 2% höher, da der Kessel nur noch wenig Stillstand aufweist und dadurch fast keine Stillstandverluste hat.

Um den J-WG nochmals zu steigern müsste der Holzessel noch knapper ausgelegt werden und mit einem **Zusatz-Wärmetauscher** ausgerüstet werden. 75% der benötigten Energie würde mit Holz erzeugt werden = 562MWh, 25% mit Oel = 188MWh.



## Anlage

Kesseltyp: Unterschub

Leistung: 180kW

Anlagentyp: Bivalent mit Oel-Spitzenlastkessel

Holzessel 180kW / Oelkessel 350kW

Wassergehalt-Brennstoff	80	% ATRO
T Heizraum	20	°C

<b>Durchschnitt bei Leistung 30-50% ( 40% )</b>		
O2	10	%
CO2	10.5	%
T Abgas	100	°C
<b>Feuerungstechn.WG</b>	<b>92.9</b>	<b>%</b>
Leistung	72	kW

<b>Durchschnitt bei Leistung 55-75% ( 65% )</b>		
O2	8.5	%
CO2	12	%
T Abgas	100	°C
<b>Feuerungstechn.WG</b>	<b>93.6</b>	<b>%</b>
Leistung	117	kW

<b>Durchschnitt bei Leistung 80-100% ( 90% )</b>		
O2	7	%
CO2	13.5	%
T Abgas	100	°C
<b>Feuerungstechn.WG</b>	<b>94.2</b>	<b>%</b>
Leistung	162	kW

<b>Betriebsstunden:</b>	
30-50%	600 h
55-75%	1000 h
80-100%	2475 h
Stand By/Aus	205 h

Kessel-Nennleistung	180	kW
Feuerungs-Wärmeleistung	192	kW
Abstrahlverluste bei P=100%	2.5	%
Abstrahlverluste bei P=100%	4.5	kWh
Innere Auskühlverluste	8	kWh
Abgasverluste	36772	kWh
Abstrahlverluste während Betrieb	18337	kWh
Abstrahlverluste bei Stand By	922.5	kWh
Innere Auskühlverluste ca.	1640	kWh
Bruttowärme (Input)	618822	kWh
Erzeugte Wärme (Theorie)	561150	kWh

<b>Wirkungsgrade ( WG ) bez. Auf FW-Leistung</b>	
Abgasverluste	6.2 %
<b>Feuerungstechnischer WG</b>	<b>93.8 %</b>
Abstrahlverluste während Betrieb	2.8 %
<b>Kessel-WG</b>	<b>91.1 %</b>
Stillstandsverluste	0.4 %
<b>Jahres-WG</b>	<b>90.7 %</b>
<b>Wirkungsgrade ( WG ) bez. Auf Bruttowärme</b>	
Abgasverluste	5.9 %
<b>Feuerungstechnischer WG</b>	<b>94.1 %</b>
Abstrahlverluste während Betrieb	3.0 %
<b>Kessel-WG</b>	<b>91.1 %</b>
Stillstandsverluste	0.4 %
<b>Jahres-WG</b>	<b>90.7 %</b>

Mit dieser Auslegung können die Betriebszeiten nochmals verlängert werden und dadurch der J-WG um ca. 3% gesteigert werden. Zu beachten ist jedoch, dass mit dieser Variante mehr Oel eingesetzt werden muss um den Wärmebedarf zu decken. Der Einsatz eines Zusatz-Wärmetauschers ist hier sinnvoll, da der Holzessel mehrheitlich bei Vollast betrieben wird und dadurch der Energiegewinn beim Ft-WG infolge der Reduktion der Abgastemperatur von 180°C auf 100°C deutlich grösser ist wie der zusätzliche Verlust des Wärmetauschers durch die Abstrahlung. Wenn ein Zusatz-Wärmetauscher bei Anlagen mit mehrheitlich Teillast oder Stand By eingesetzt wird, kann sogar eine Reduktion des J-WG entstehen.

Als letzte Variante wollen wir eine bivalente Anlage mit **Abgas-Kondensation** betrachten. Die Grundlast wird mit Holz abgedeckt und die Spitzenlast mit einem Oel- oder Gaskessel.

Bei der folgenden Auslegung werden 90% der Energie mit Holz erzeugt = 675MWh  
Der Rest wird durch den Oelkessel erzeugt = 75MWh



## Anlage

Kesseltyp: Unterschub

Leistung: 250kW

Anlagentyp: Bivalent mit Oel-Spitzenlastkessel und Abgas-Kondensation

Holzessel 250kW / Oelkessel 350kW

Wassergehalt-Brennstoff	80	% ATRO
T Heizraum	20	°C

<b>Durchschnitt bei Leistung 30-50% ( 40% )</b>		
O2	10	%
CO2	10.5	%
T Abgas	50	°C
<b>Feuerungstechn.WG</b>	<b>97.8</b>	<b>%</b>
Leistung	100	kW

<b>Durchschnitt bei Leistung 55-75% ( 65% )</b>		
O2	8.5	%
CO2	12	%
T Abgas	50	°C
<b>Feuerungstechn.WG</b>	<b>98.0</b>	<b>%</b>
Leistung	162	kW

<b>Durchschnitt bei Leistung 80-100% ( 90% )</b>		
O2	7	%
CO2	13.5	%
T Abgas	50	°C
<b>Feuerungstechn.WG</b>	<b>98.2</b>	<b>%</b>
Leistung	225	kW

<b>Betriebsstunden:</b>	
30-50%	1150 h
55-75%	1300 h
80-100%	1550 h
Stand By/Aus	280 h

Kessel-Nennleistung	250	kW
Feuerungs-Wärmeleistung	255	kW
Abstrahlverluste bei P=100%	2	%
Abstrahlverluste bei P=100%	5	kWh
Innere Auskühlverluste	8	kWh
Abgasverluste	13695	kWh
Abstrahlverluste während Betrieb	20000	kWh
Abstrahlverluste bei Stand By	1400	kWh
Innere Auskühlverluste ca.	2240	kWh
Bruttowärme (Input)	711685	kWh
Erzeugte Wärme (Theorie)	674350	kWh

<b>Wirkungsgrade ( WG ) bez. Auf FW-Leistung</b>	
Abgasverluste	2.0 %
<b>Feuerungstechnischer WG</b>	<b>98.0 %</b>
Abstrahlverluste während Betrieb	2.8 %
<b>Kessel-WG</b>	<b>95.2 %</b>
Stillstandsverluste	0.5 %
<b>Jahres-WG</b>	<b>94.8 %</b>
<b>Wirkungsgrade ( WG ) bez. Auf Bruttowärme</b>	
Abgasverluste	1.9 %
<b>Feuerungstechnischer WG</b>	<b>98.1 %</b>
Abstrahlverluste während Betrieb	2.8 %
<b>Kessel-WG</b>	<b>95.3 %</b>
Stillstandsverluste	0.5 %
<b>Jahres-WG</b>	<b>94.8 %</b>

Der feuerungstechnische Wirkungsgrad beträgt hier 98% ohne Berücksichtigung der Verdampfungsenergie, die wieder zurückgewonnen wird. Die Entscheidung ob eine AGK sinnvoll ist oder nicht, hängt von verschiedenen Faktoren ab.

Entscheidend für eine hohe Energieausnutzung sind:

Brennstofffeuchte – je höher die Feuchte umso grösser die Wärmerückgewinnung  
Bei trockenem Brennstoff praktisch keine Wirkung

Netz-Rücklauftemperatur – je tiefer die Temperatur umso grösser der Wirkungsgrad  
Bei einer Rücklauftemperatur von  $> 50^{\circ}\text{C}$  wird zwar die gebundene Wärme zurückgewonnen, das ergibt bereits einen Energiegewinn von 7 – 10% je nach Abgastemperatur, die Kondensationswärme wird jedoch erst bei Temperaturen von  $< 45^{\circ}\text{C}$  freigesetzt zur Rückgewinnung. Bei einer Rücklauftemperatur von z.B.  $40^{\circ}\text{C}$  Einem Lambda von 1,5 und einem Wassergehalt im Brennstoff von 100% ATRO kann ein Ft-WG bei optimalen Bedingungen von ca. 113% bezogen auf den unteren Heizwert erreicht werden.

Die Abgas-Kondensation wird jedoch nicht nur zur Energiegewinnung eingesetzt, sondern sie reduziert auch wirkungsvoll den Staubgehalt in den Abgasen.

Schlussendlich sind natürlich auch die jeweiligen Kosten wichtig zur Entscheidung welche Variante zur Effizienzsteigerung gewählt wird.

Alle die vorgängig aufgezeigten Massnahmen sind nur solange sinnvoll wenn die Feuerungsanlage möglichst störungsfrei läuft, regelmässig gewartet und überwacht wird. Durch die regelmässige **Fernüberwachung** werden Probleme rechtzeitig erkannt und die notwendigen Massnahmen getroffen, dass die Anlage optimal und störungsfrei läuft.

Zum Abschluss nochmals ein paar wichtige Hinweise:

Mit einer optimalen Auslegung der Holzfeuerungsanlage wird eine sehr hohe Energieeffizienz erreicht.

Wenn zum Beispiel der Jahres-Wirkungsgrad um 10% erhöht wird, bietet das folgende Vorteile:

- 10% weniger Brennstoffverbrauch
- 10% mehr Leistung steht zur Verfügung
- 10% weniger Staubemissionen
- 10% weniger CO
- 10% weniger NOx
- 10% weniger Asche zum Entsorgen
- 5% weniger Stromverbrauch

**Es lohnt sich also auf jeden Fall, ob eine Holzfeuerung alt ist oder neu gebaut wird, über eine optimale Energieeffizienz nachzudenken.**