

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 Holzschnitzel 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.

Um die Energie von 750MWh zu erzeugen, muss der Kessel mit ca. 1500h-Vollast betrieben werden. Das ergibt ca. 3500h Stand By-Betrieb.
Aus diesen Grundlagen errechnen sich folgende Wirkungsgrade:



Anlage
Kesseltyp: Unterschub
Leistung: 500kW
Anlagentyp: Monovalent mit Relaissteuerung Ein / Aus

<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%;">Wassergehalt-Brennstoff</td> <td style="width: 50%;">80% ATRO</td> </tr> <tr> <td>T Heizraum</td> <td>20°C</td> </tr> </table>	Wassergehalt-Brennstoff	80% ATRO	T Heizraum	20°C	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%; text-align: center;"> <input type="text"/>% 20.5% <input type="text"/>°C 101.1% <input type="text"/>kW </td> <td style="width: 50%;"></td> </tr> </table>	<input type="text"/> % 20.5% <input type="text"/> °C 101.1% <input type="text"/> kW		<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td colspan="2">Betriebsstunden:</td> </tr> <tr> <td style="width: 70%;">30-50%</td> <td style="width: 30%; text-align: right;">0h</td> </tr> <tr> <td>55-75%</td> <td style="text-align: right;">0h</td> </tr> <tr> <td>80-100%</td> <td style="text-align: right;">1500h</td> </tr> <tr> <td>Stand By/Aus</td> <td style="text-align: right;">3500h</td> </tr> </table>	Betriebsstunden:		30-50%	0h	55-75%	0h	80-100%	1500h	Stand By/Aus	3500h																							
Wassergehalt-Brennstoff	80% ATRO																																								
T Heizraum	20°C																																								
<input type="text"/> % 20.5% <input type="text"/> °C 101.1% <input type="text"/> kW																																									
Betriebsstunden:																																									
30-50%	0h																																								
55-75%	0h																																								
80-100%	1500h																																								
Stand By/Aus	3500h																																								
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%; text-align: center;"> <input type="text"/>% 20.5% <input type="text"/>°C 101.1% <input type="text"/>kW </td> <td style="width: 50%;"></td> </tr> </table>	<input type="text"/> % 20.5% <input type="text"/> °C 101.1% <input type="text"/> kW		<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 70%;">Kessel-Nennleistung</td> <td style="width: 30%; text-align: right;">500kW</td> </tr> <tr> <td>Feuerungs-Wärmeleistung</td> <td style="text-align: right;">628kW</td> </tr> <tr> <td>Abstrahlverluste bei P=100%</td> <td style="text-align: right;">3%</td> </tr> <tr> <td>Abstrahlverluste bei P=100%</td> <td style="text-align: right;">15kWh</td> </tr> <tr> <td>Innere Auskühlverluste</td> <td style="text-align: right;"><input type="text"/>35kWh</td> </tr> <tr> <td>Abgasverluste</td> <td style="text-align: right;">191787kWh</td> </tr> <tr> <td>Abstrahlverluste während Betrieb</td> <td style="text-align: right;">22500kWh</td> </tr> <tr> <td>Abstrahlverluste bei Stand By</td> <td style="text-align: right;">52500kWh</td> </tr> <tr> <td>Innere Auskühlverluste ca.</td> <td style="text-align: right;">122500kWh</td> </tr> <tr> <td>Bruttowärme (Input)</td> <td style="text-align: right;">1139287kWh</td> </tr> <tr> <td>Erzeugte Wärme (Theorie)</td> <td style="text-align: right;">750000kWh</td> </tr> </table>	Kessel-Nennleistung	500kW	Feuerungs-Wärmeleistung	628kW	Abstrahlverluste bei P=100%	3%	Abstrahlverluste bei P=100%	15kWh	Innere Auskühlverluste	<input type="text"/> 35kWh	Abgasverluste	191787kWh	Abstrahlverluste während Betrieb	22500kWh	Abstrahlverluste bei Stand By	52500kWh	Innere Auskühlverluste ca.	122500kWh	Bruttowärme (Input)	1139287kWh	Erzeugte Wärme (Theorie)	750000kWh																
<input type="text"/> % 20.5% <input type="text"/> °C 101.1% <input type="text"/> kW																																									
Kessel-Nennleistung	500kW																																								
Feuerungs-Wärmeleistung	628kW																																								
Abstrahlverluste bei P=100%	3%																																								
Abstrahlverluste bei P=100%	15kWh																																								
Innere Auskühlverluste	<input type="text"/> 35kWh																																								
Abgasverluste	191787kWh																																								
Abstrahlverluste während Betrieb	22500kWh																																								
Abstrahlverluste bei Stand By	52500kWh																																								
Innere Auskühlverluste ca.	122500kWh																																								
Bruttowärme (Input)	1139287kWh																																								
Erzeugte Wärme (Theorie)	750000kWh																																								
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td colspan="2">Durchschnitt bei Leistung 100%</td> </tr> <tr> <td style="width: 50%;">O2</td> <td style="width: 50%; text-align: right;"><input type="text"/>10%</td> </tr> <tr> <td>CO2</td> <td style="text-align: right;">10.5%</td> </tr> <tr> <td>T Abgas</td> <td style="text-align: right;"><input type="text"/>250°C</td> </tr> <tr> <td>Feuerungstechn.WG</td> <td style="text-align: right;">79.6%</td> </tr> <tr> <td>Leistung</td> <td style="text-align: right;"><input type="text"/>500kW</td> </tr> </table>	Durchschnitt bei Leistung 100%		O2	<input type="text"/> 10%	CO2	10.5%	T Abgas	<input type="text"/> 250°C	Feuerungstechn.WG	79.6%	Leistung	<input type="text"/> 500kW	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td colspan="2">Wirkungsgrade (WG) bez. Auf FW-Leistung</td> </tr> <tr> <td style="width: 70%;">Abgasverluste</td> <td style="width: 30%; text-align: right;">20.4%</td> </tr> <tr> <td>Feuerungstechnischer WG</td> <td style="text-align: right;">79.6%</td> </tr> <tr> <td>Abstrahlverluste während Betrieb</td> <td style="text-align: right;">1.9%</td> </tr> <tr> <td>Kessel-WG</td> <td style="text-align: right;">77.8%</td> </tr> <tr> <td>Stillstandsverluste</td> <td style="text-align: right;">11.9%</td> </tr> <tr> <td>Jahres-WG</td> <td style="text-align: right;">65.8%</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Wirkungsgrade (WG) bez. Auf Bruttowärme</td> </tr> <tr> <td>Abgasverluste</td> <td style="text-align: right;">16.8%</td> </tr> <tr> <td>Feuerungstechnischer WG</td> <td style="text-align: right;">83.2%</td> </tr> <tr> <td>Abstrahlverluste während Betrieb</td> <td style="text-align: right;">2.0%</td> </tr> <tr> <td>Kessel-WG</td> <td style="text-align: right;">81.2%</td> </tr> <tr> <td>Stillstandsverluste</td> <td style="text-align: right;">15.4%</td> </tr> <tr> <td>Jahres-WG</td> <td style="text-align: right;">65.8%</td> </tr> </table>	Wirkungsgrade (WG) bez. Auf FW-Leistung		Abgasverluste	20.4%	Feuerungstechnischer WG	79.6%	Abstrahlverluste während Betrieb	1.9%	Kessel-WG	77.8%	Stillstandsverluste	11.9%	Jahres-WG	65.8%	Wirkungsgrade (WG) bez. Auf Bruttowärme		Abgasverluste	16.8%	Feuerungstechnischer WG	83.2%	Abstrahlverluste während Betrieb	2.0%	Kessel-WG	81.2%	Stillstandsverluste	15.4%	Jahres-WG	65.8%
Durchschnitt bei Leistung 100%																																									
O2	<input type="text"/> 10%																																								
CO2	10.5%																																								
T Abgas	<input type="text"/> 250°C																																								
Feuerungstechn.WG	79.6%																																								
Leistung	<input type="text"/> 500kW																																								
Wirkungsgrade (WG) bez. Auf FW-Leistung																																									
Abgasverluste	20.4%																																								
Feuerungstechnischer WG	79.6%																																								
Abstrahlverluste während Betrieb	1.9%																																								
Kessel-WG	77.8%																																								
Stillstandsverluste	11.9%																																								
Jahres-WG	65.8%																																								
Wirkungsgrade (WG) bez. Auf Bruttowärme																																									
Abgasverluste	16.8%																																								
Feuerungstechnischer WG	83.2%																																								
Abstrahlverluste während Betrieb	2.0%																																								
Kessel-WG	81.2%																																								
Stillstandsverluste	15.4%																																								
Jahres-WG	65.8%																																								

Nicht berücksichtigt bei diesem Wirkungsgrad ist der Verlust durch gebundene Wärme . Bei schlechter Verbrennung (CO > 2000mg/m³) kann dieser Verlust zwischen 1 – 2% liegen. Bei heutigen Feuerungen mit CO-Werten < 500mg/m³ kann dieser Verlust vernachlässigt werden. Einzig bei vielen Starts und Abstellphasen kommt es zu erhöhten CO-Werten und dadurch zu höherem Verlust durch

gebundene Wärme. Darum ist es wichtig, die Feuerung solange wie möglich in der normalen Betriebsphase zu halten. Wie kann das erreicht werden?

Wir optimieren diese Feuerung durch eine neue Steuerung. Eine **SPS-Steuerung** mit modulierender Leistungsregelung von **30 – 100%** sowie einer Verbrennungsregelung mit Lambda-Sonde. Der Abgas-Ventilator wird über eine Unterdruckregelung mittels Frequenzumformer drehzahl geregelt. Die beiden Verbrennungsluft-Ventilatoren werden ebenfalls mittels Frequenzumformer drehzahl geregelt.

Durch diese Massnahme wird die Laufzeit der Feuerung massiv erhöht, da sie nicht mehr nur im Ein/Aus-Betrieb arbeitet.



Anlage

Kesseltyp: Unterschub

Leistung: 500kW

Anlagentyp: Monovalent mit Leistungs- und Verbrennungsregelung

Wassergehalt-Brennstoff	80% ATRO	Betriebsstunden:	
T Heizraum	20°C		30-50%
Durchschnitt bei Leistung 30-50% (40%)		55-75%	650h
O2	11%	80-100%	398h
CO2	9.5%	Stand By/Aus	2203h
T Abgas	130°C	Kessel-Nennleistung 500kW	
Feuerungstechn.WG	89.4%	Feuerungs-Wärmeleistung	570kW
Leistung	200kW	Abstrahlverluste bei P=100%	3%
Durchschnitt bei Leistung 55-75% (65%)		Abstrahlverluste bei P=100%	15kWh
O2	10%	Innere Auskühlverluste	35kWh
CO2	10.5%	Abgasverluste	105459kWh
T Abgas	180°C	Abstrahlverluste während Betrieb	42720kWh
Feuerungstechn.WG	85.8%	Abstrahlverluste bei Stand By	33045kWh
Leistung	325kW	Innere Auskühlverluste ca.	77105kWh
Durchschnitt bei Leistung 80-100% (90%)		Bruttowärme (Input)	1008679kWh
O2	9%	Erzeugte Wärme (Theorie)	750350kWh
CO2	11.5%	Wirkungsgrade (WG) bez. Auf FW-Leistung	
T Abgas	230°C	Abgasverluste	12.3%
Feuerungstechn.WG	82.7%	Feuerungstechnischer WG	87.7%
Leistung	450kW	Abstrahlverluste während Betrieb	4.2%
		Kessel-WG	83.5%
		Stillstandsverluste	9.1%
		Jahres-WG	74.4%
		Wirkungsgrade (WG) bez. Auf Bruttowärme	
		Abgasverluste	10.5%
		Feuerungstechnischer WG	89.5%
		Abstrahlverluste während Betrieb	4.2%
		Kessel-WG	85.3%
		Stillstandsverluste	10.9%
		Jahres-WG	74.4%

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
Feuerungstechn.WG	91.4	%
Leistung	200	kW

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

Durchschnitt bei Leistung 80-100% (90%)		
O2	9	%
CO2	11.5	%
T Abgas	180	°C
Feuerungstechn.WG	86.8	%
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 %
Feuerungstechnischer WG	90.3 %
Abstrahlverluste während Betrieb	4.4 %
Kessel-WG	85.9 %
Stillstandsverluste	9.6 %
Jahres-WG	76.3 %
Wirkungsgrade (WG) bez. Auf Bruttowärme	
Abgasverluste	8.2 %
Feuerungstechnischer WG	91.8 %
Abstrahlverluste während Betrieb	4.3 %
Kessel-WG	87.4 %
Stillstandsverluste	11.2 %
Jahres-WG	76.3 %

Der Wirkungsgradgewinn beträgt mit dieser Massnahme knapp 2%. Bei einem Brennstoffverbrauch von ca. 1100 Sm³ werden 22m³ eingespart – bei einem Preis von 35.-/Sm³ ergibt das eine jährliche Einsparung von 770.-. Die Wirbulatoren sind in diesem Fall in 1,5 Jahren amortisiert.

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

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

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

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

Betriebsstunden:	
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

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

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

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

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

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

Betriebsstunden:	
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

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

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

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

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

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

Betriebsstunden:	
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

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

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°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.