2. Schweizer ORC-Symposium 2015

Praktische Erfahrungen in Planung und Betrieb von zwei ORC-Holzkraftwerken

Urs Zwingli

Eidg. Dipl. Heizungsplaner

Mitglied Geschäftsleitung Calorex AG

Ingenieurbüro für Energietechnik

9500 Wil (SG)

Woher kommen wir…

Rückblick…

2007: Machbarkeitsstudie Holzkraftwerk Wärmeverbund Nesslau
mit ORC-Modul 600kW(el)

2009: Machbarkeitsstudie Holzkraftwerk Lehmann AG Gossau
mit ORC-Modul 1`000kW(el)

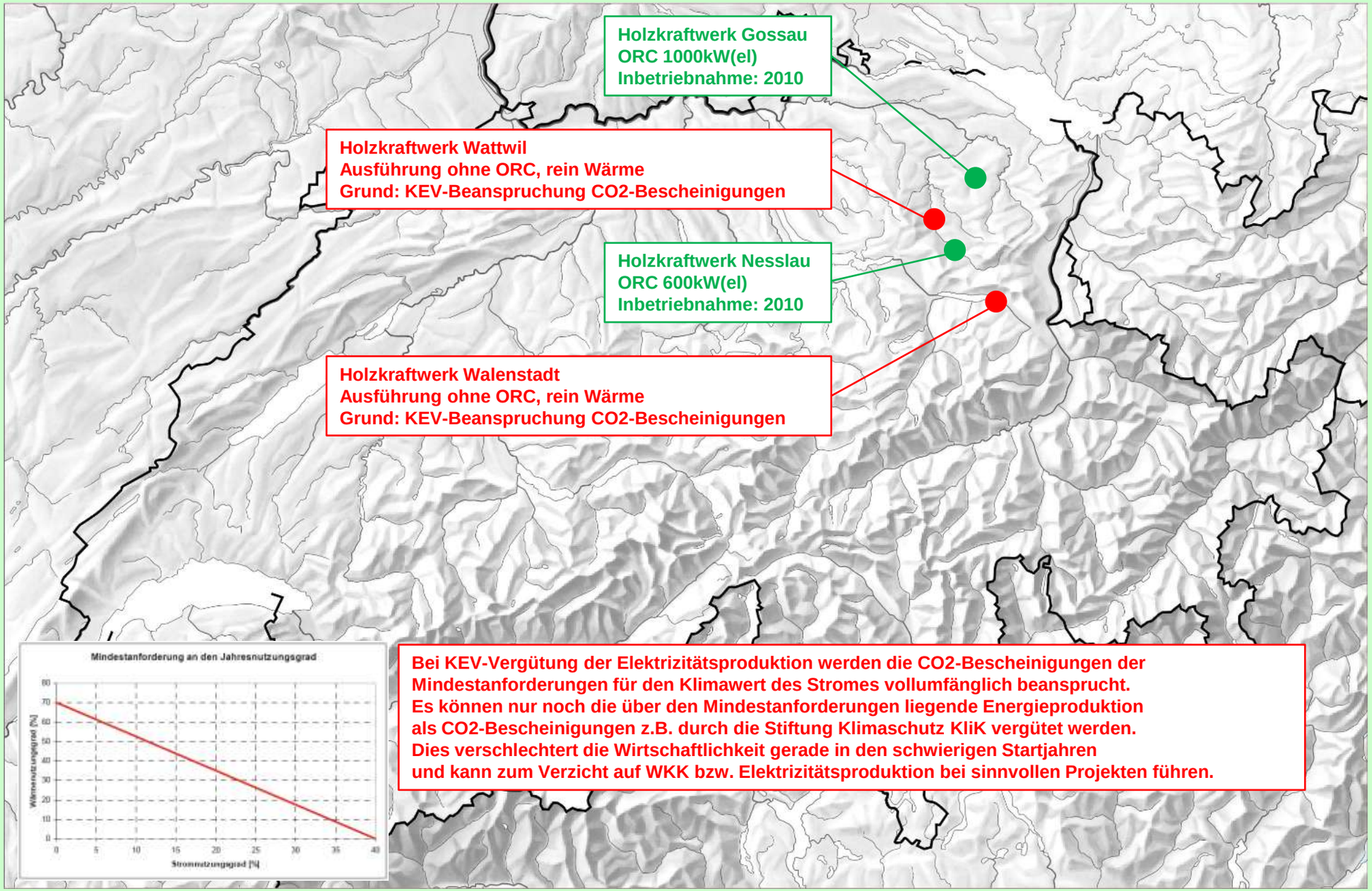
> ORC-Technik wurde zu dieser Zeit in der Schweiz kaum angewendet
Wenig Informationen und Fachwissen vorhanden
Grundlagen für Konzept, Dimensionierung und Thermoölanlagen
mussten zuerst neu aufgearbeitet werden

2010: Inbetriebnahme Holzkraftwerk Wärmeverbund Nesslau

2010: Inbetriebnahme Holzkraftwerk Lehmann AG Gossau

Danke allen Beteiligten für den Mut und das Vertrauen !

Übersicht

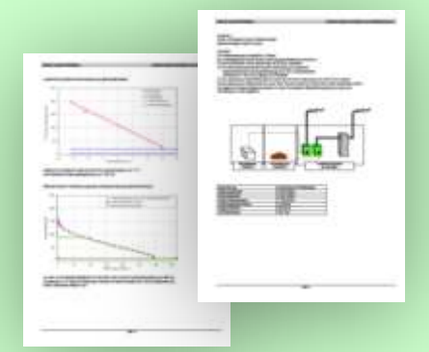


Bei KEV-Vergütung der Elektrizitätsproduktion werden die CO2-Bescheinigungen der Mindestanforderungen für den Klimawert des Stromes vollumfänglich beansprucht. Es können nur noch die über den Mindestanforderungen liegende Energieproduktion als CO2-Bescheinigungen z.B. durch die Stiftung Klimaschutz KliK vergütet werden. Dies verschlechtert die Wirtschaftlichkeit gerade in den schwierigen Startjahren und kann zum Verzicht auf WKK bzw. Elektrizitätsproduktion bei sinnvollen Projekten führen.

Zauberformel ?

Realität

Optimales Konzept, Businessplan…



Erfahrung…

Aufwendige Anlagetechnik…

Kein Goldesel…

Rappengeschäft…

Holzkraftwerk/Wärmeverbund

9650 Nesslau-Neu St. Johann

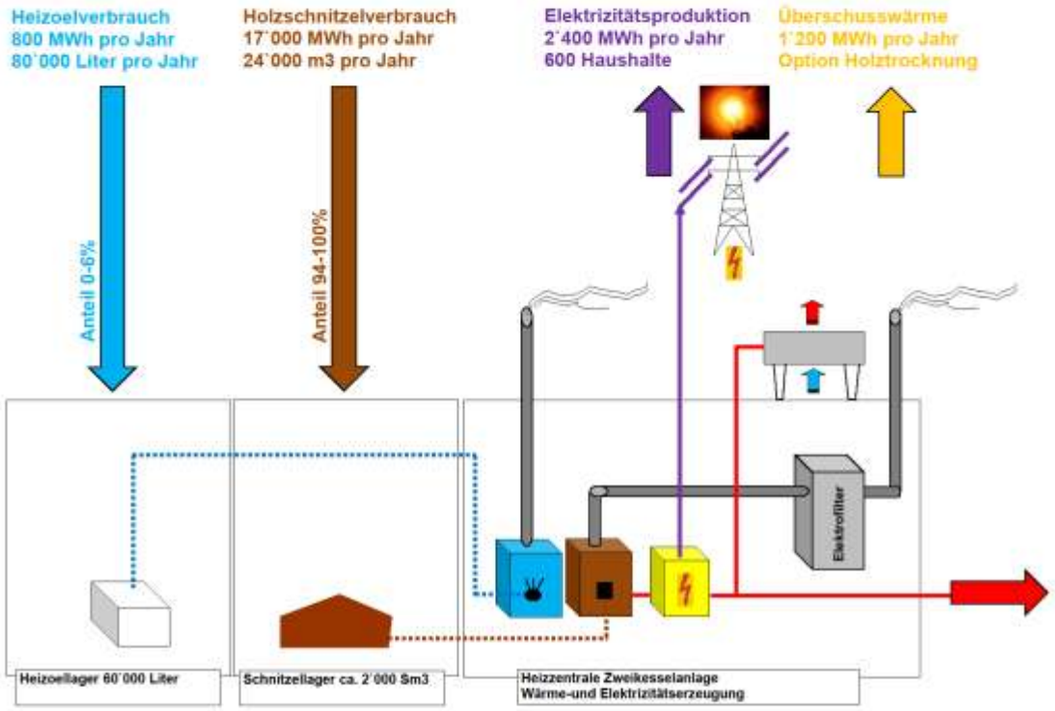
Bivalente Holzschnitzelfeuerung, Feuerungsleistung 4`000 kW
Elektrizitätsproduktion mit ORC-Verfahren, Thermoölanlage
Elektrische Leistung 600 kW, Thermische Leistung 2`600 kW
Oelheizkessel 4`000 kW
Fernwärmenetz 6`500 Tm, 90 Wärmebezüger (Stand 2010)
Fertigstellung: 2010

Holzschnitzelbedarf: ca. 25`000 m3/a
Wärmeproduktion: 11`000 MWh/a
Elektrizitätsproduktion: 2`400 MWh/a
Gesamtinvestitionskosten: ca. Fr. 16 Mio.

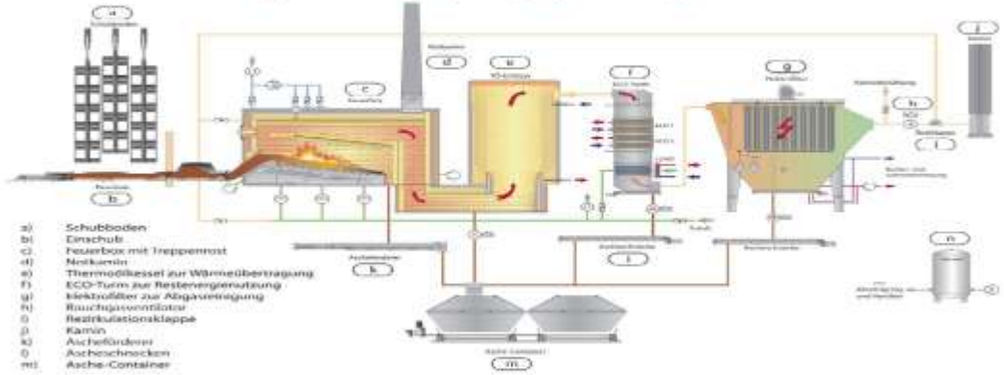
Spezielles:
Pilotanlage, Bauzeit Spatenstich-Inbetriebnahme nur 12 Monate !

WÄRMEVERBUND NESSLAU - KONZEPT ENERGIEERZEUGUNG

Wärme-und Elektrizitätsproduktion Holzkraftwerk:

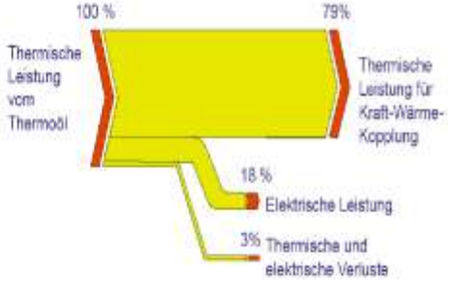


Aufbau Holzschnitzelfeuerung (Beschickung, Abgasreinigung, Entaschung):



Wärmeproduktion
11'000 MWh pro Jahr
Raumheizung und Warmwasser
Verteilung über das Fernwärmenetz
Ganzjähriger Betrieb 90/60°C
Leistung: 4'000 kW

ORC-Verfahren zur Elektrizitätsproduktion



Holzschnitzelfeuerung, Thermische Leistung Thermoöl 3'250 kW

ORC-Modul, Elektrische Leistung 600 kW, Thermische Leistung 2'600 kW

Oelheizkessel, Thermische Leistung 4'000 kW

Versorgungssicherheit von 100% durch zwei unabhängige Wärmeerzeuger (Holz und Heizoel)

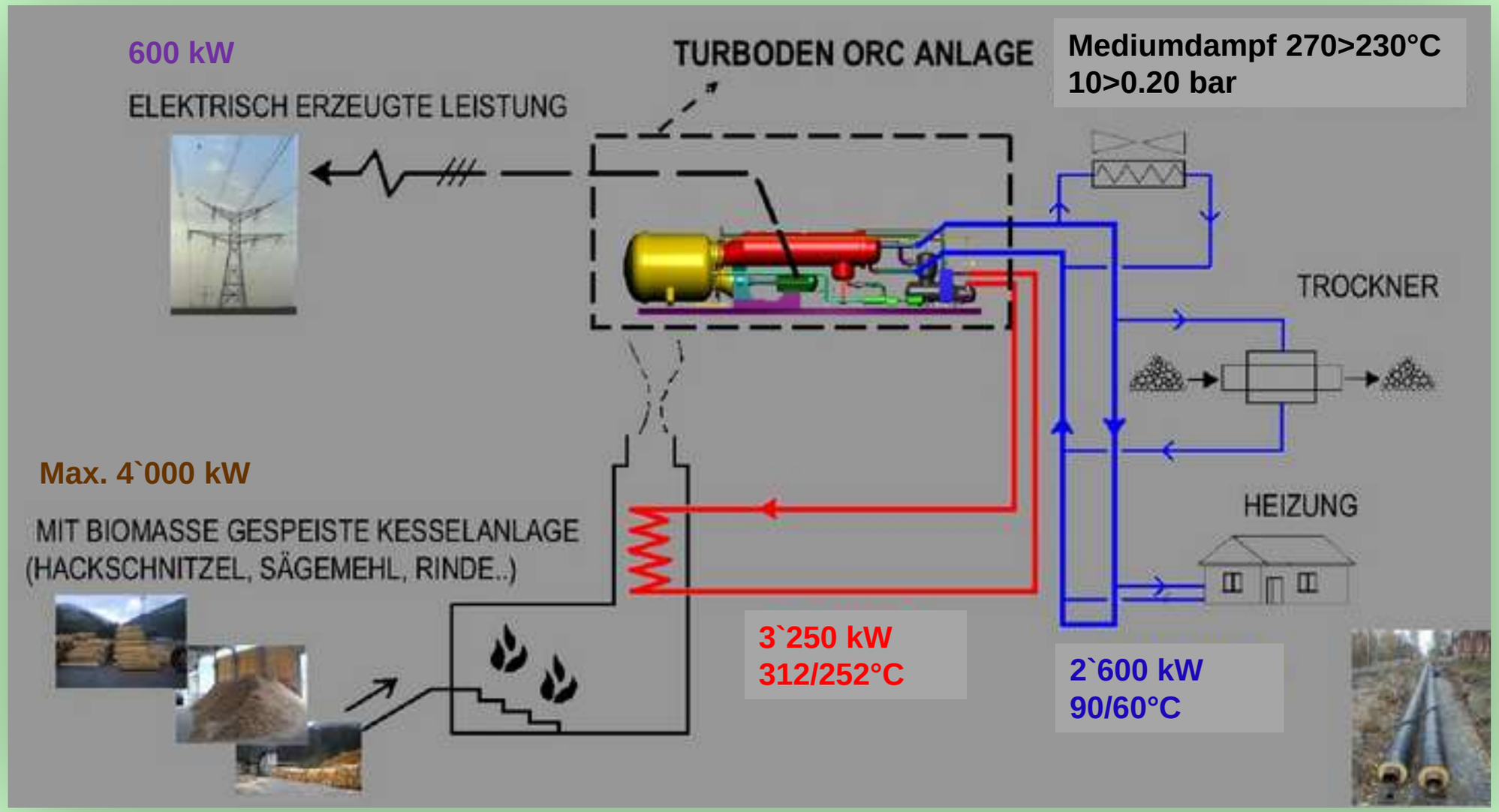
Anlagegrösse und Fakten Holzkraftwerk mit Wärmeverbund gemäss heutigem Stand:

- Heizoelsubstitution von ca. 1'250'000 Liter pro Jahr
- Nutzenergie Raumheizung und Warmwasser ca. 11'000 MWh pro Jahr
- Wärmeleistung 4'000 kW, Total 6'600 kW
- CO2-Reduktion ca. 3'000 Tonnen pro Jahr
- Fernwärmenetz ca. 6'500 Tm
- Elektrizitätsproduktion 2'400 MWh pro Jahr (Verbrauch von ca. 600 Haushalten)
- Regionale Wertschöpfung Holzschnitzelverkauf ca. Fr. 600'000 pro Jahr

Holzschnitzelfeuerungsanlage 3'250 kW

ORC-Modul 600 kW

Technik: Übersicht



Heizzentrale mit Schnitzellagerhalle nach der Fertigstellung:

Feuerungsanlage mit Thermoölerhitzer:

ORC-Modul Turboden T6 Split:

Oelheizkessel 4`000 kW und Notstromdieselaggregat:

Feuerbox mit Notkamin, im Inneren der Feuerbox:

Entaschung mit Saugsystem:

Holzschnitzellagerhalle 2`000 m3 mit vollautomatischer Krananlage:

Anlagebetrieb

Ganzjähriger Betrieb und Versorgung des Wärmeverbundes

Holzschnitzelfeuerung, Wärme-und Stromproduktion ORC:
Min. 50 Wochen ununterbrochener Betrieb 24h pro Tag, 8`400h pro Jahr

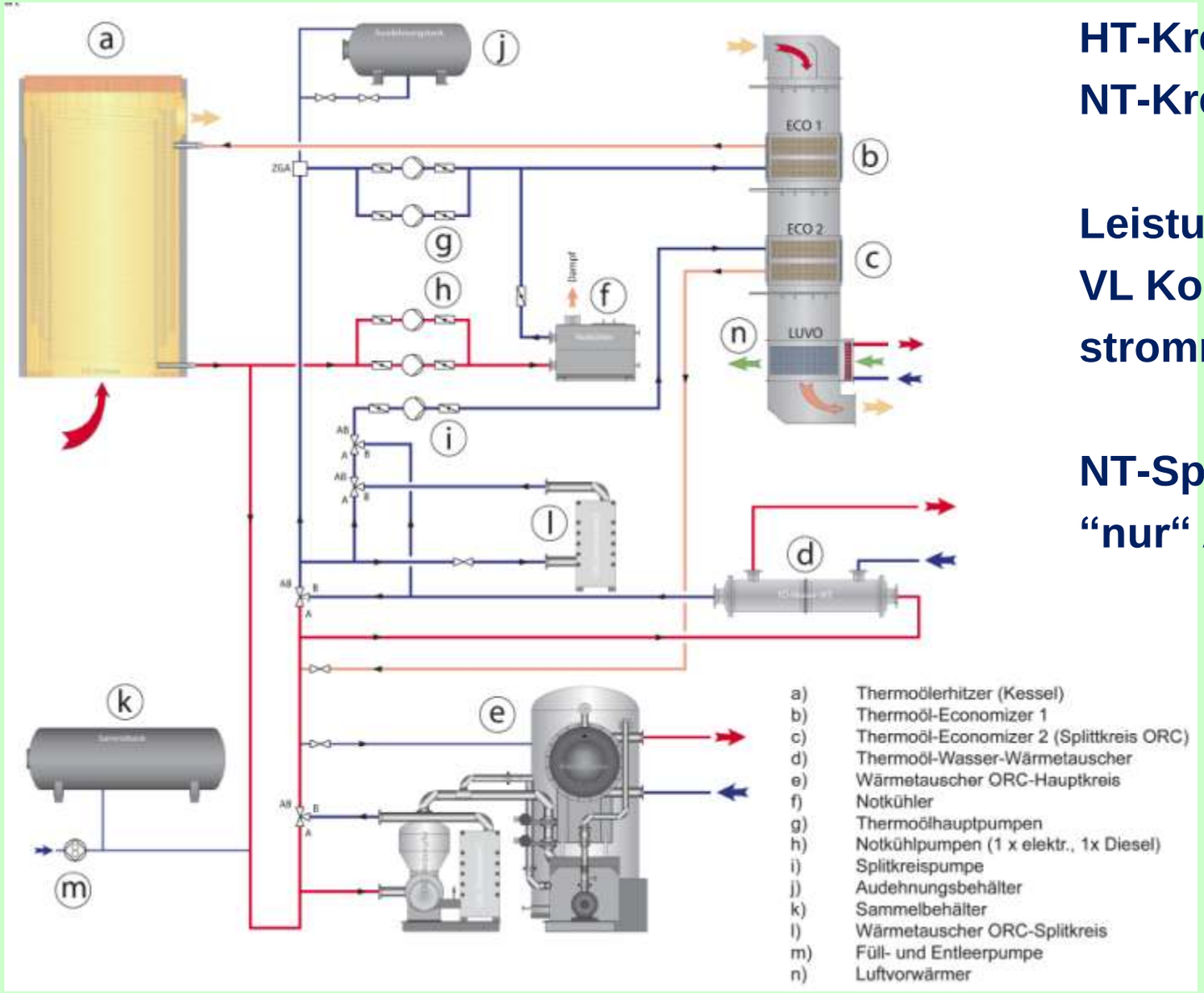
Max. 2 Wochen Abschaltung pro Jahr für Reinigung und Revision

Betriebskonzept:

Wärmegeführter Betrieb, es wird soviel Elektrizität erzeugt wie auch Wärme abgenommen werden kann, keine Überschusswärme.
In Ausnahmefällen bei Schwachlast im Sommer teilstromgeführter Betrieb

Die Feuerungsanlage ist dauernd in kontinuierlichen Betrieb, dadurch weniger Verschleiss und Emissionen, keine Stopp-und Start- oder Feuerunterhaltsphasen !

Thermoölanlage



HT-Kreis mit Eco 1: 312/252°C
NT-Kreis mit Eco 2: 252/132°C

Leistungsregelung ORC:
VL Konstant mit Volumen-stromregulierung

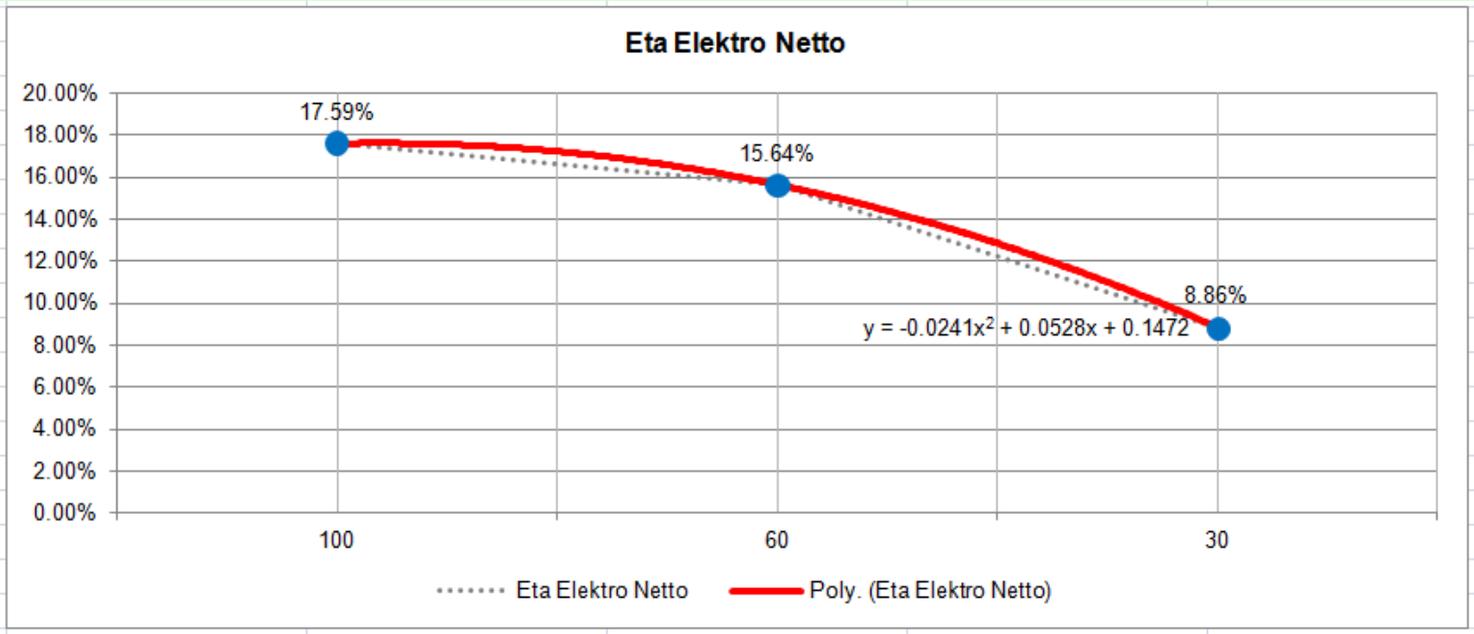
NT-Split-Kreis reduziert
“nur“ Abgasverluste

ORC-Modul

Turboden T6 CHP Split

Technische Angaben bei 312/252°C und 252/132°C:

ORC-Last (%)	Input TÖ HT (kW)	Input TÖ NT (kW)	Input TÖ Total (kW)	Elektro Netto (kW)	Eta Elektro Netto
100	2965	275	3240	570	17.59%
60	1779	165	1944	304	15.64%
30	889	82	971	86	8.86%



"Nur" 3 Betriebspunkte – Keine Angaben bei abweichenden Parametern, z.B. tieferen TÖ-oder Wassertemperaturen

Weitere Berechnungen sind Aufgabe des Planers…

Leistungs-und Energieberechnungen

als Grundlage für die Dimensionierung aufgrund Heizgradtagen (HGT) und Monatswerten, Basis für spätere Energiebuchhaltung

- **Zwingend notwendig**
- **Keine Leistungsreserven und Überdimensionierung**
- **Optimierung Stromproduktion, ORC min. 4`000-5`000 Volllaststunden**
- **Deckungsgrad Anteil Holz (ORC)**
- **Überschusswärme (Rückkühler im Sommerbetrieb)**

Basisdaten HGT 20/12 für Energieberechnungen:

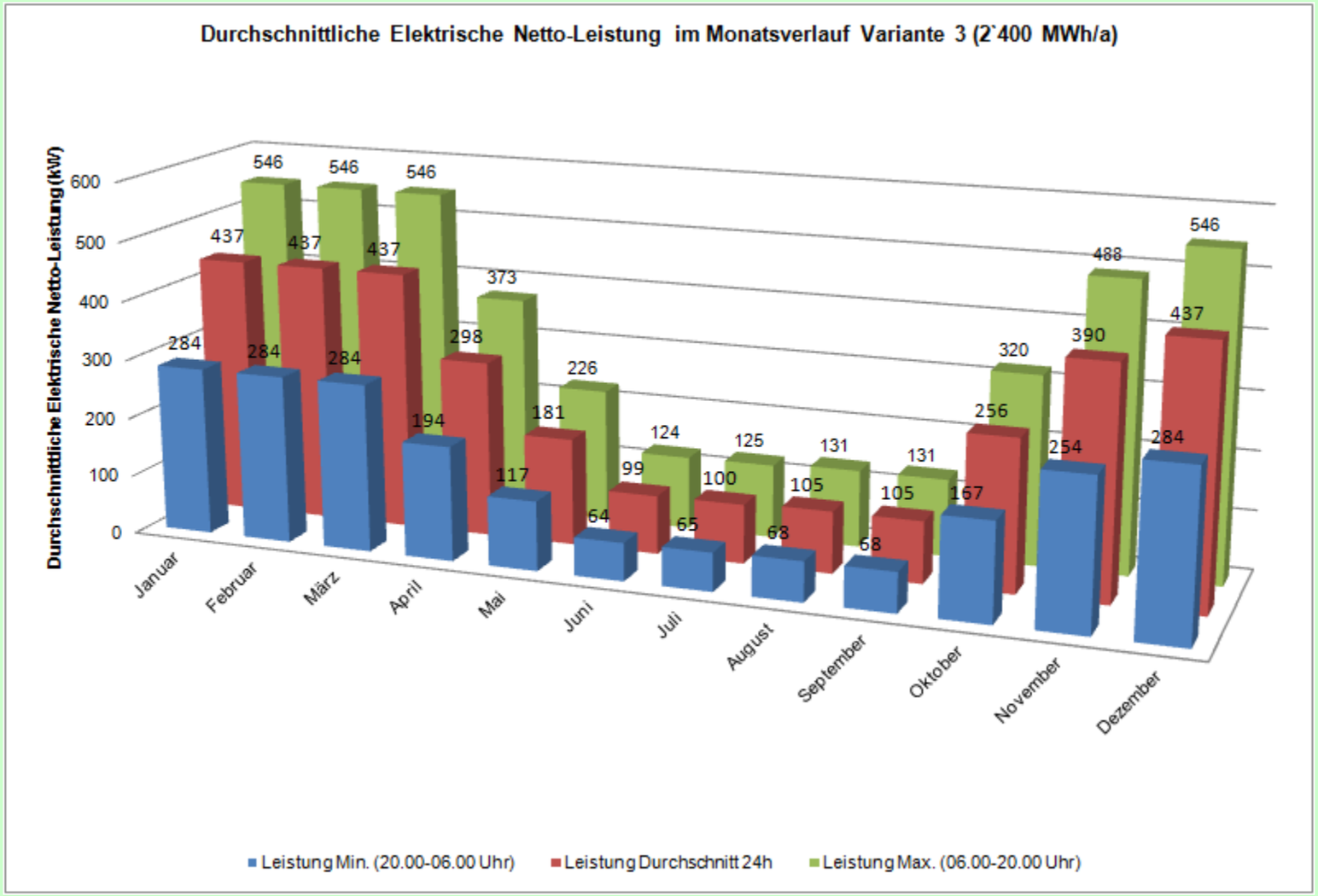
Nutzenergiebedarf Raumheizung	10'000'000	kWh/a
Nutzenergiebedarf Warmwasser	1'000'000	kWh/a
Total	11'000'000	kWh/a
Fernleitungsverluste	1'000'000	kWh/a
Total	12'000'000	kWh/a

	Januar	Februar	März	April	Mai	Juni	Juli	August	September	Oktober	November	Dezember
HGT 20/12	675	559	538	346	222	72	34	45	106	306	474	669
ta	-1.8	0.1	2.6	7.6	11.2	14.9	16.6	15.5	13.5	9	3.9	-1.6
Anteil	16.68%	13.82%	13.30%	8.55%	5.49%	1.78%	0.84%	1.11%	2.62%	7.56%	11.72%	16.53%
Raumheizung	1'668'314	1'381'611	1'329'708	855'166	548'690	177'954	84'034	111'221	261'987	756'303	1'171'527	1'653'485
Warmwasser	83'333	83'333	83'333	83'333	83'333	83'333	83'333	83'333	83'333	83'333	83'333	83'333
Fernleitungsverluste	83'333	83'333	83'333	83'333	83'333	83'333	83'333	83'333	83'333	83'333	83'333	83'333
Zwischentotal	1'834'981	1'548'278	1'496'375	1'021'832	715'357	344'620	250'700	277'888	428'654	922'969	1'338'194	1'820'152
Total Nutzenergie Netz	1'834'981	1'548'278	1'496'375	1'021'832	715'357	344'620	250'700	277'888	428'654	922'969	1'338'194	1'820'152
Leistung (18h/d)	3'336	2'815	2'721	1'858	1'301	627	456	505	779	1'678	2'433	3'309
Anteil Holz	1'430'000	1'430'000	1'430'000	1'021'832	715'357	344'620	250'700	277'888	428'654	922'969	1'338'194	1'430'000
Anteil Spitze (ohne ORC)	404'981	118'278	66'375	0	0	0	0	0	0	0	0	390'152
Max. Leistung Th. ORC	2'600	2'600	2'600	1'858	1'301	627	456	505	779	1'678	2'433	2'600
Rückkühler	0	0	0	0	50'000	250'000	350'000	350'000	200'000	0	0	0
Anteil Holz inkl. RK und ORC	1'430'000	1'430'000	1'430'000	1'021'832	765'357	594'620	600'700	627'888	628'654	922'969	1'338'194	1'430'000
⌀ Leistung ORC	1'986	1'986	1'986	1'419	1'063	826	834	872	873	1'282	1'859	1'986
⌀ Last ORC	76%	76%	76%	55%	41%	32%	32%	34%	34%	49%	71%	76%
Eta Kondensator	22%	22%	22%	21%	17%	12%	12%	12%	12%	20%	21%	22%
Stromproduktion	314'600	314'600	314'600	214'585	130'111	71'354	72'084	75'347	75'438	184'594	281'021	314'600
Nutzenergie Holz	1'744'600	1'744'600	1'744'600	1'236'417	895'468	665'974	672'784	703'235	704'092	1'107'563	1'619'215	1'744'600
Nutzenergie Spitze (ohne ORC)	404'981	118'278	66'375	0	0	0	0	0	0	0	0	390'152
Elektroverbrauch	60'020	56'579	55'957	50'262	46'584	42'135	41'008	41'335	43'144	49'076	54'058	59'842
Leistung Elektr. Durchschnitt	431	431	431	294	178	98	99	103	103	253	385	431

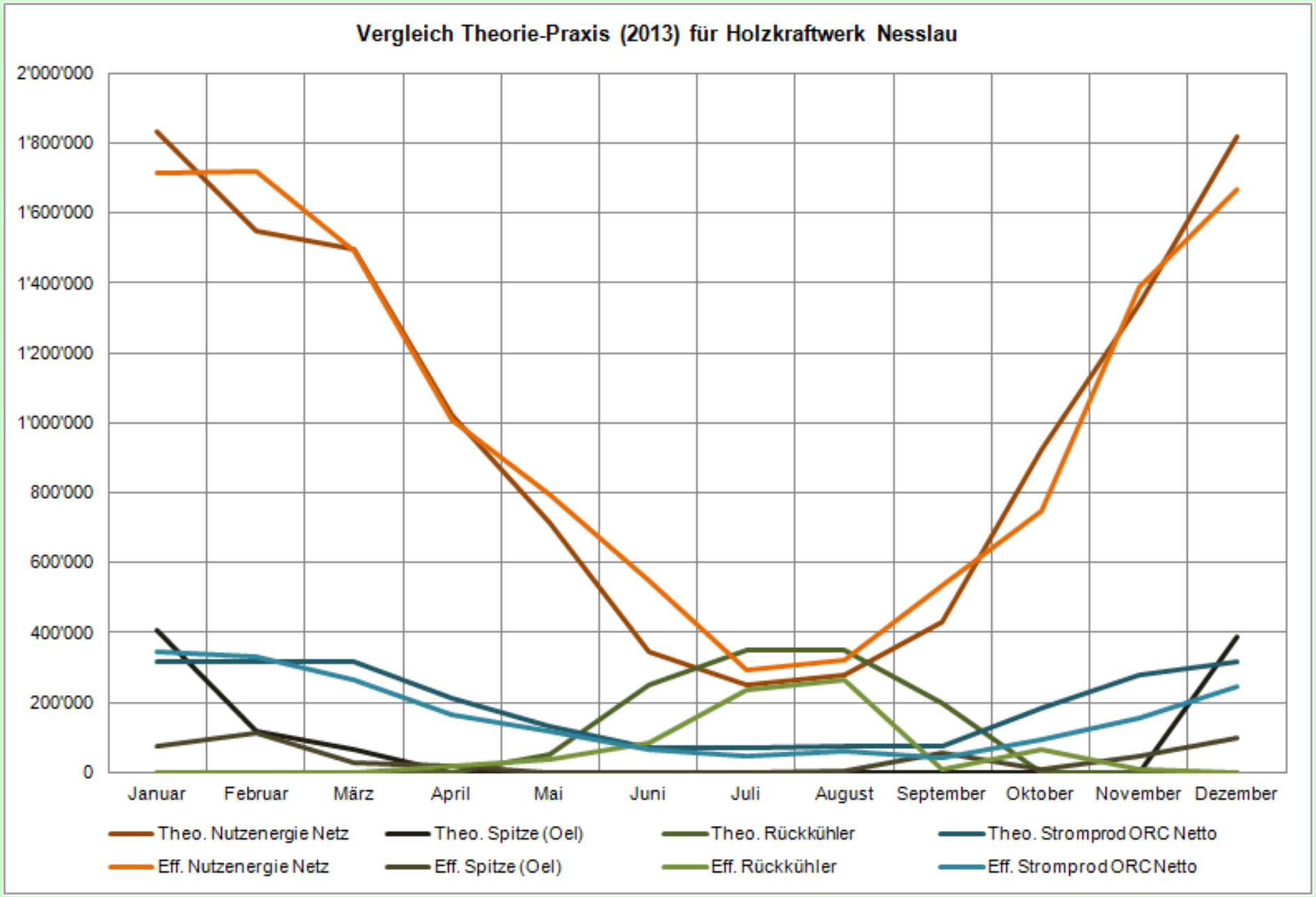
Leistungs-und Energieberechnungen

Beachtung des Tagesverlaufes, Einfluss Nachtabsenkungen

- ORC-Stromproduktion in Nachtabsenkung tiefer



Vergleich Theorie - Praxis



Erfahrungen Theorie - Praxis

- Leistungs-und Energieberechnungen nach HGT mit Monatswerten ergeben in der Praxis gute Genauigkeit
- Energiebuchhaltung, laufender Vergleich, frühe Erkennung von Abweichungen
- Massgebende Abweichung -20% bei der Stromproduktion, das ist für alle Beteiligten unbefriedigend…

Ursachen für die zu tiefe Stromproduktion?

- Abnahmeprozedere des ORC-Lieferanten basiert hauptsächlich auf Nachweis der Volllast

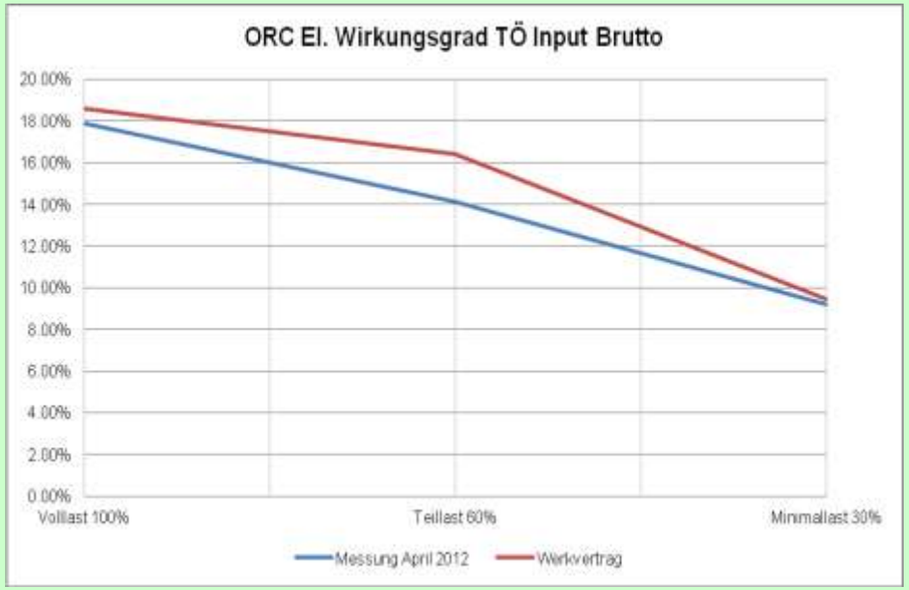
- Der Nachweis der Leistung garantiert noch lange nicht dasselbe beim Wirkungsgrad !

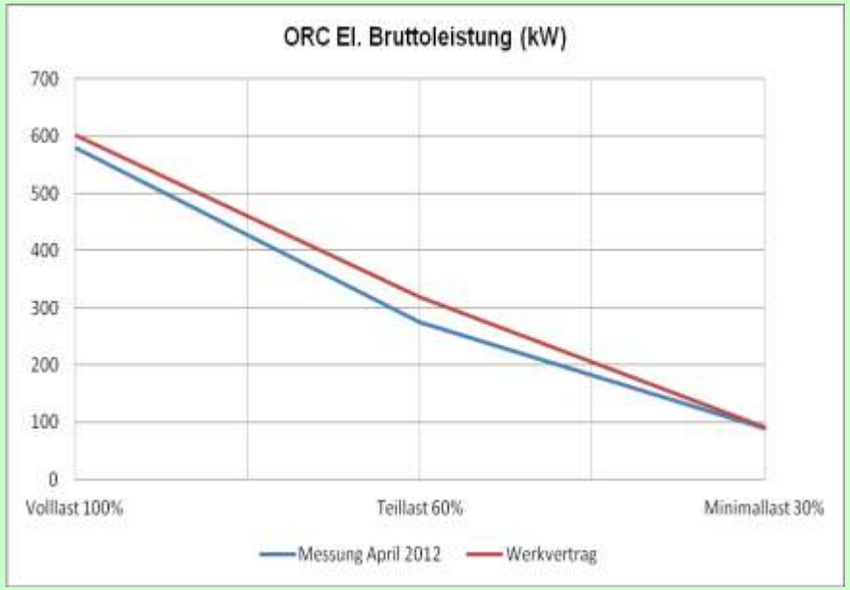
Anmerkung:
Im Werkvertrag sind “nur“ die Leistungen aufgeführt…

Erfahrungen Theorie - Praxis

Wie ging es weiter ?

Über 3 Jahre detaillierte Auswertungen und Analysen, um dem ORC-Lieferanten darzulegen, dass die Vertragswerte nicht eingehalten werden…





Durch den ORC-Lieferanten wurden Optimierungen vorgenommen, auffällig war, dass auf die Leistungstest`s Silikonöl nachgefüllt wurde, die Leistung danach knapp nachgewiesen wurde, innerhalb der nächsten Monate sich aber wieder deutlich verschlechterte.

Erfahrungen Theorie - Praxis

Beharrlich wurden der Anlagebetrieb weiter verfolgt und analysiert.
Anfangs 2014 stellte sich eine erneute rapide Leistungsverschlechterung ein.
Mittels Thermoöl-Analyse konnte dem ORC-Lieferanten aufgezeigt werden,
dass eine Leckage im ORC-Modul zwischen TÖ und Silikonöl vorhanden sein muss.
>Defekt: Leckage Plattenwärmetauscher Vorwärmer > Ersatz Herbst 2014

Laborbericht FRAGOL

Analyse gebrauchter Wärmeträgermedien (DIN 51529)

Auftraggeber: Holzenergiezentrum Triggenburg
Herr Rutz
CH – 9652 Neu St. Johann
E-Mail: jakob.rutz@hevetia.ch
sh.heyment@bluewin.ch

Proben-Auftrags-Nr.: Holzkraftwerk Hesisen

Fragen-Nr.: 14-002
Stichtag-Nr.: NPT-2014-004 Datum & Uhrzeit: 21.01.2014

Produktbezeichnung: Marstherm SH

Einsatzbedingungen: Vorlauftemperatur: 312°C Rücklauftemperatur: 280°C
Volumen gesamt: 12 m³ Alter Flüssigkeit: ~3 Jahre

Messergebnisse:

Parameter	Methode	Einheit	Ergebnis	Grenzwert
Neutralisationszahl	ASTM D664	mg KOH/g	0,06	< 0,10
kin. Viskosität bei 40°C (100)	ASTM D445	mm²/s	18,18	~ 32,0
Wasseranteil	ASTM D4377	ppm	150	< 200
Farbzahl	ASTM D51	-	2,0	< 2,5
Asphalt unlösliche Anteile		mg/100g	18,97	< 400
Verdampfungsrückstand	ASTM 4743	%	0,30	< 5
Flüchtanteil	ASTM 4743	%	3,70	< 10

Intervention Planer zwingend !
Für Betreiber schwierig…

Ausblick - Erfahrungen

- Betrieb ORC muss weiter analysiert werden > Zeitaufwendig
- ORC-Lieferant nicht immer sehr kooperativ
- Anlagetechnik für Betreiber (Nesslau) komplex, Personal, Heizwart
- Begleitung durch Fachspezialisten erforderlich
- Leistungen und Wirkungsgrade etc. vertraglich besser regeln…
- bessere Zusammenarbeit zwischen ORC-Lieferant, Planer und Betreiber nötig
- trotz "Standardmodul" eben doch nicht so einfach
- Schwankungen auf der Wärmeseite wirken sich direkt auf ORC aus
- Neue Regelkonzepte Leistung ORC Thermoölseite:
  - -Volumenstromregulierung mit Temperatur konstant (Ist-Zustand)
  - -Volumenstromregulierung mit Temperaturregulierung nach Last (Testphase)
  - -Volumenstrom konstant mit Temperaturregulierung

- Wärmespeicher oder Optimierung der Netzspeicherung anzustreben
  Regelschwankungen im Gesamtsystem wirken lange und nachteilig auf das ORC
- 👍 Regelbereich für ORC 10-100% problemlos, Wirkungsgrad beachten
- 👍 ORC ist sicher und robust aufgebaut

Holzkraftwerk “Zündholz“ Erlenhof

9200 Gossau

Bivalente Holzschnitzelfeuerung, Feuerungsleistung 6`000 kW
Elektrizitätsproduktion mit ORC-Verfahren, Thermoölanlage
Elektrische Leistung 1`000 kW, Thermische Leistung 4`200 kW
Fertigstellung: 2010

Holzschnitzelbedarf: ca. 55`000 m3/a
Wärmeproduktion: 24`000 MWh/a
Elektrizitätsproduktion: 5`000 MWh/a
Gesamtinvestitionskosten: ca. Fr. 10 Mio.

Spezielles:
Pilotanlage, Bauzeit Spatenstich-Inbetriebnahme nur 10 Monate !
Integration in bestehende Heizzentrale, Gesamtleistung neu 10`000 kW

Holzkraftwerk “Zündholz“ mit Schnitzellagerhalle:

ORC-Modul Turboden T10 CHP Split, 1`000kW(el):

Holzkraftwerk “Zündholz“ mit Schnitzellagerhalle bei Nacht: