

# „Performance report“ für die biomassegefeuerte Energiezentrale 400+

Energiezentrale400+

M. Miltner  
M. Harasek

Berichte aus Energie- und Umweltforschung

## 50a/2013

**Impressum:**

Eigentümer, Herausgeber und Medieninhaber:  
Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie  
Radetzkystraße 2, 1030 Wien

Verantwortung und Koordination:  
Abteilung für Energie- und Umwelttechnologien  
Leiter: DI Michael Paula

Liste sowie Downloadmöglichkeit aller Berichte dieser Reihe unter  
<http://www.nachhaltigwirtschaften.at>

# „Performance report“ für die biomassegefeuerte Energiezentrale 400+

DI Martin Miltner, DI Dr. Michael Harasek  
TU Wien, Institut für Verfahrenstechnik, Umwelttechnik  
und Technische Biowissenschaften  
Forschungsbereich Thermische Verfahrenstechnik und Simulation

Im Auftrag von  
Federspiel Ökotechnology Consulting GmbH

Wien, Mai 2013

Ein Projektbericht im Rahmen des Programms



im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie



## Vorwort

Der vorliegende Bericht dokumentiert die Ergebnisse eines Projekts aus dem Forschungs- und Technologieprogramm *Haus der Zukunft* des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie.

Die Intention des Programms ist, die technologischen Voraussetzungen für zukünftige Gebäude zu schaffen. Zukünftige Gebäude sollen höchste Energieeffizienz aufweisen und kostengünstig zu einem Mehr an Lebensqualität beitragen. Manche werden es schaffen, in Summe mehr Energie zu erzeugen als sie verbrauchen („Haus der Zukunft Plus“). Innovationen im Bereich der zukunftsorientierten Bauweise werden eingeleitet und ihre Markteinführung und -verbreitung forciert. Die Ergebnisse werden in Form von Pilot- oder Demonstrationsprojekten umgesetzt, um die Sichtbarkeit von neuen Technologien und Konzepten zu gewährleisten.

Das Programm *Haus der Zukunft Plus* verfolgt nicht nur den Anspruch, besonders innovative und richtungsweisende Projekte zu initiieren und zu finanzieren, sondern auch die Ergebnisse offensiv zu verbreiten. Daher werden sie in der Schriftenreihe publiziert und elektronisch über das Internet unter der Webadresse [www.HAUSderZukunft.at](http://www.HAUSderZukunft.at) Interessierten öffentlich zugänglich gemacht.

DI Michael Paula  
Leiter der Abt. Energie- und Umwelttechnologien  
Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie

---



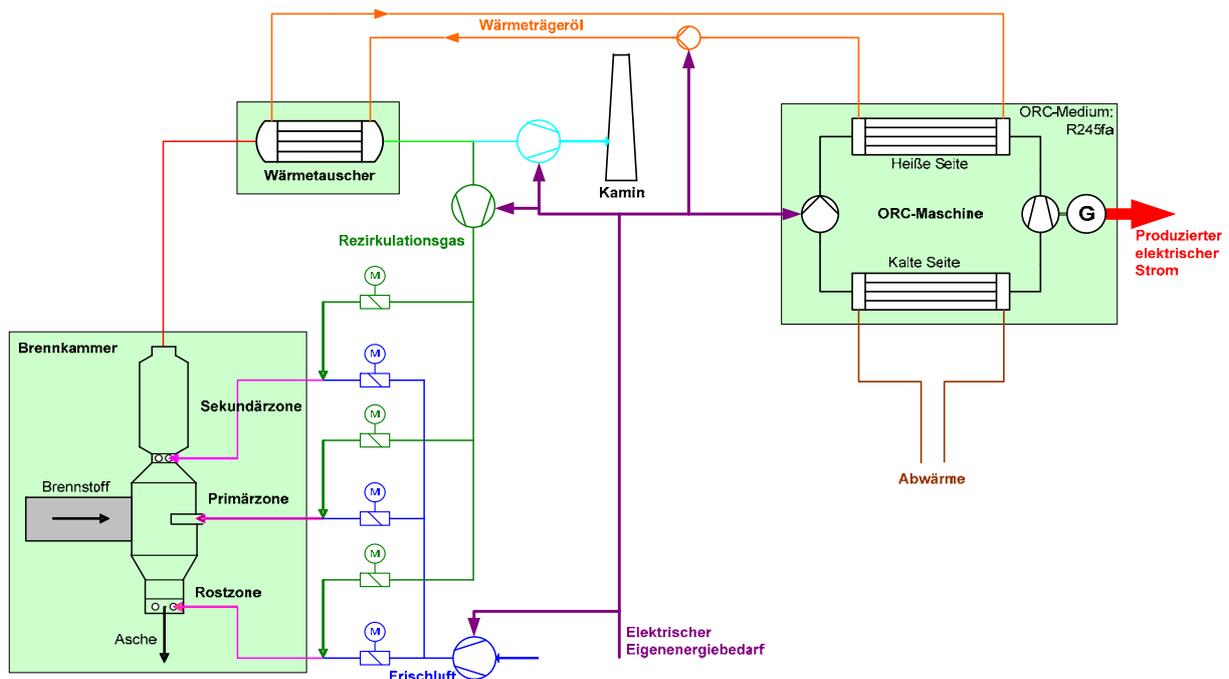
Das vorliegende Werk wurde sorgfältig erarbeitet. Dennoch übernehmen die Autoren für die Richtigkeit von Angaben, Hinweisen und Ratschlägen sowie für eventuelle Druckfehler keine Haftung.

© Technische Universität Wien, Institut für Verfahrenstechnik, Umwelttechnik und Technische Biowissenschaften, A-1060 Wien, Getreidemarkt 9/166 (2013).

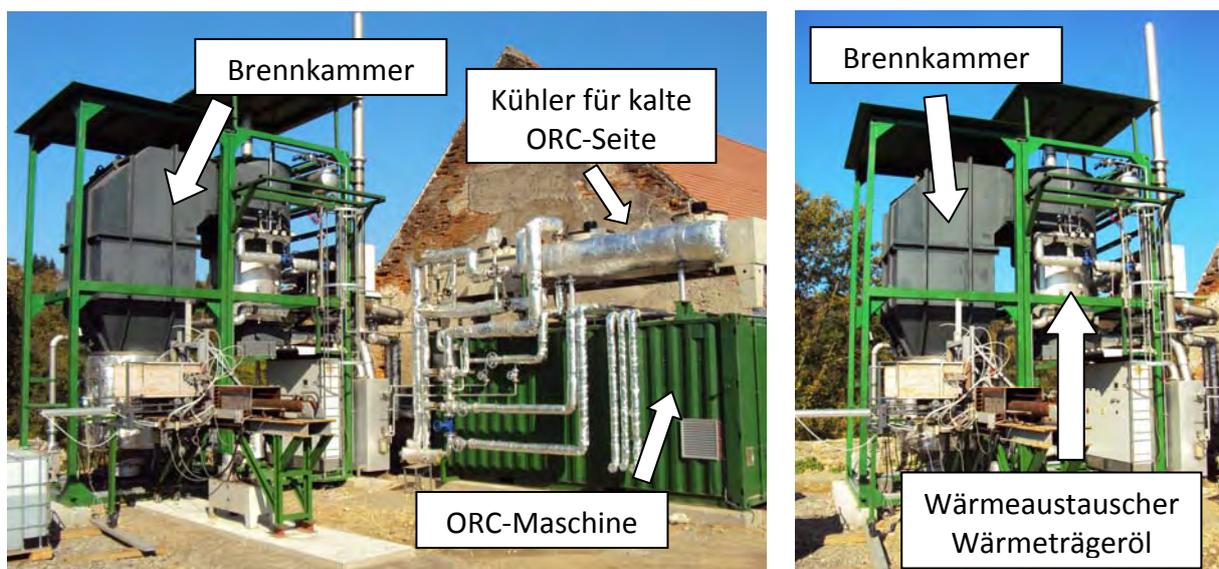
Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen oder vollständigen Wiedergabe (Fotokopie, Mikrokopie), der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, im Internet und das der Übersetzung, sind dem/den Autor(en) vorbehalten.

Dieser Bericht ist zum internen Gebrauch für den Auftraggeber bestimmt. Ein auszugsweiser oder vollständiger Nachdruck zum Zwecke der Weitergabe an Dritte, die auszugsweise oder vollständige Wiedergabe (Fotokopie, Mikrokopie), die Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, im Internet und die Übersetzung zum Zwecke der Weitergabe an Dritte bedarf der ausdrücklichen schriftlichen Genehmigung durch den/die Autor(en).

Das im Rahmen des gegenständlichen Projektes untersuchte Verfahren zur vielseitigen Energiebereitstellung „Energiezentrale 400+“ beruht auf einem innovativen Verbrennungskonzept für verschiedenste ballenförmige biogene Brennstoffe und der Nutzung der erzeugten thermischen Energie durch Umwandlung in elektrische Energie und Abwärme mittels eines ORC-Prozesses (Organic Rankine Cycle). Die Koppelung des Verbrennungsteiles (Brennkammer) mit dem ORC-Prozess geschieht durch Zwischenschaltung eines Wärmeträgeröl-Kreislaufes mit den entsprechenden Wärmeaustauschern. Ein vereinfachtes Verfahrensfliessbild dieses experimentell und theoretisch untersuchten Konzeptes ist in Abbildung 1 dargestellt.



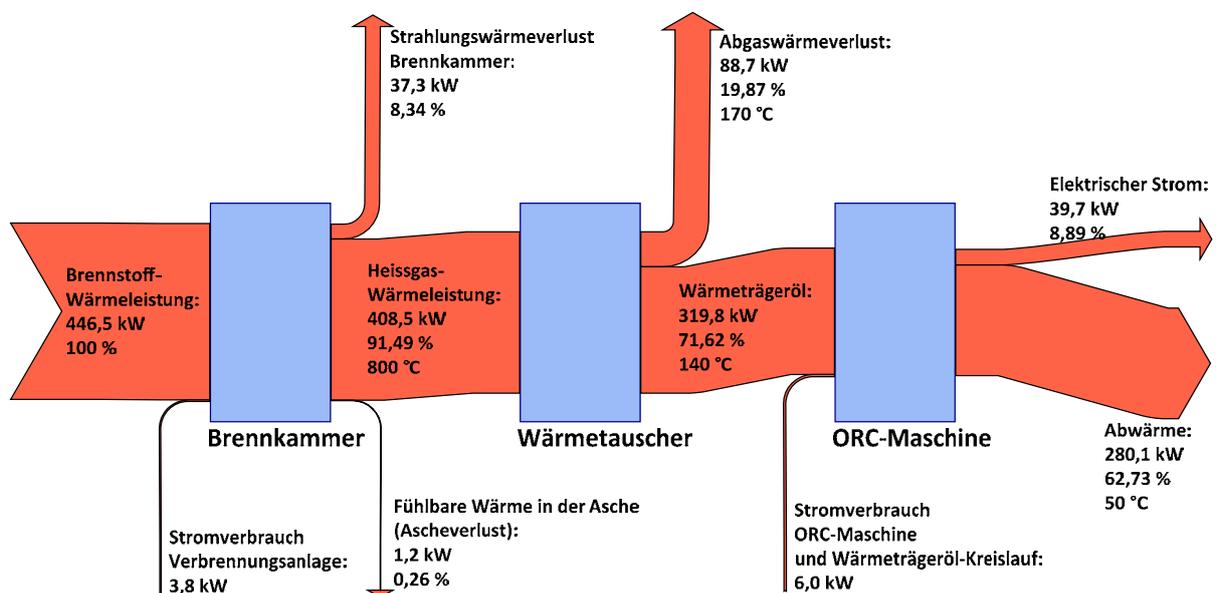
**Abbildung 1: Vereinfachtes Verfahrensfliessbild der Verbrennungsanlage mit integriertem ORC-Prozess (Energiezentrale 400+)**



**Abbildung 2: Fotos der Energiezentrale 400+ am Standort im Meierhof in Leiben mit Bezeichnungen der wesentlichsten Anlagenteile**

Zwei Fotos des vollständigen Anlagenaufbaus der Energiezentrale 400+ sind in Abbildung 2 gegeben. Zu erkennen sind darauf die wesentlichsten Anlagenteile wie Brennkammer, Wärmeaustauscher für den Wärmeträgeröl-Kreislauf, ORC-Maschine sowie ein Kühler für die kalte Seite des ORC-Prozesses. Hier fällt als Abwärme der Stromproduktion mittels ORC ein Niedertemperaturwärmestrom an (etwa 50 bis 80°C), der zur Maximierung der Stromausbeute mittels Luftkühler an die Umgebung abgegeben werden kann (zur Vereinfachung des Versuchsbetriebes hier angewandt), oder aber in ein Nahwärmenetz eingespeist werden kann. Die verwendete ORC-Maschine verfügt in diesem Zusammenhang über genügend Flexibilität zur Einstellung eines stromgeführten- oder aber eines wärmegeführten Betriebes.

Für diese beschriebene Anlagenkette wurde für den Auslegungsbetriebszustand neben einer detaillierten Bilanzrechnung auch noch eine Energiestromanalyse durchgeführt. Unter Annahme der zu erwartenden Strahlungsverluste des Verbrennungsapparates ist das resultierende Energieflußdiagramm in Abbildung 3 dargestellt. Die Betriebsweise für die Energienutzung ist hierbei stromgeführt, das heisst mit der bestehenden ORC-Maschine wurde durch Minimierung der Abwärme-Temperatur der Strom-Output maximiert. Bei einer Brennstoffwärmeleistung von 447kW (Heizwert der verwendeten Weizenstroh-Ballen mit einem mittleren Brennstoff-Wassergehalt von 15%) werden knapp 40kW elektrische Energie und 280kW thermische Energie bei einer Temperatur von 50°C bereitgestellt. Der elektrische Eigenenergiebedarf der Anlage beträgt hierbei 9,8kW (inklusive aller Gebläse und Pumpen, Stellorgane, Messtechnik und Anlagenautomatisierung).



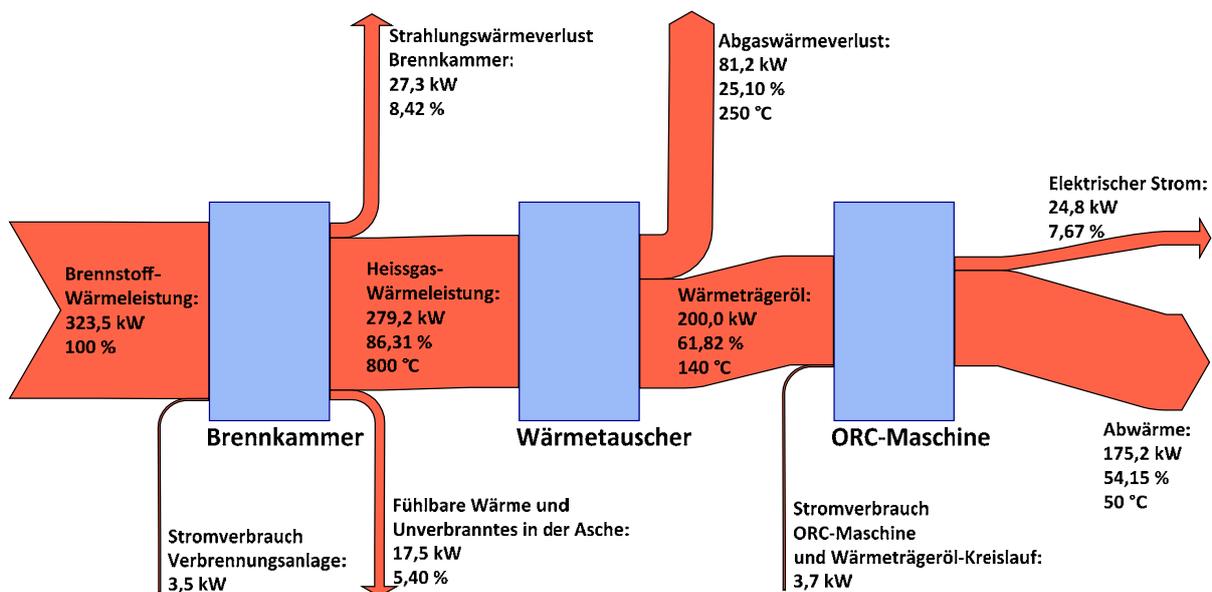
**Abbildung 3: Energieflußdiagramm der Verbrennungsanlage mit integriertem ORC-Prozess (Energiezentrale 400+) für den Auslegungsbetriebszustand**

Die aus einem Vorprojekt verfügbare Verbrennungsanlage war mit einem Heissgas-Wärmetauscher ausgestattet, welcher aus Kostengründen nicht auf die volle Leistung der Brennkammer ausgelegt war, sondern deutlich kleiner dimensioniert war. Statt der erforderlichen Leistung von 320kW ist dieser Wärmetauscher bei den infrage kommenden Betriebsparametern nur für eine Leistung von etwa 200kW ausgelegt (bis 250kW bei höheren Rauchgastemperaturen). Um für das gegenständliche Projekt die Kosten niedrig zu halten, wurde dieser Wärmetauscher an der Anlage belassen und lediglich durch einen

zusätzlichen kleinen Gaswärmetauscher (Größenordnung 30kW) ergänzt.

Um die Kapazität dieser beiden Wärmetauscher möglichst auszunutzen, wurden Versuche mit deutlich höheren Rauchgastemperaturen als im Auslegungszustand (170°C) gefahren, teilweise bis 250°C. Dadurch konnte auch die Brennkammer in einem höheren und repräsentativeren Leistungsbereich (70 bis 90%) betrieben werden. Teillastbereiche bis 70% stellen dabei für die Verbrennungstechnologie keine wesentlichen Probleme dar. Aufgrund der höheren Rauchgastemperaturen ergeben sich natürlich auch höhere Verluste durch fühlbare Wärme im Rauchgas (sog. Abgaswärmeverlust). Diese Verluste sind für eine zu Versuchszwecken betriebene Anlage zu berücksichtigen; in einer kommerziellen Anlage wird dieser Verlust selbstverständlich durch eine möglichst tiefe Rauchgastemperatur (durch technologische Randbedingungen limitiert) minimiert. Zusätzlich zeigt der Versuchsbetrieb auch, dass mit einem gewissen Anteil von unverbranntem Kohlenstoff in der ausgetragenen Bodenrasche und entsprechend mit einem Energieverlust zu rechnen ist. Dieser Energieverlust wurde auf Basis der experimentellen Ergebnisse zunächst auf etwa 5% des Rohbiomasse-Heizwertes abgeschätzt.

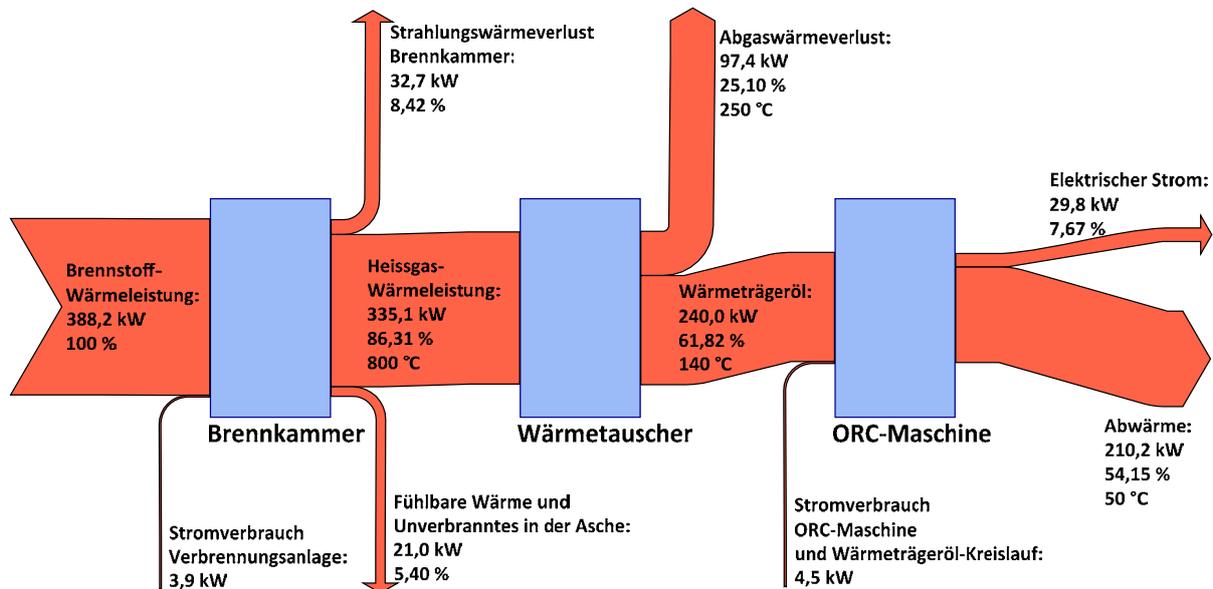
Basierend auf diesen Randbedingungen, den Ergebnissen einiger repräsentativer Versuchsfahrten sowie Ergebnissen aus der begleitenden Prozesssimulation wurden für den Teillastbereich von 72% sowie 87% ebenfalls entsprechende Energiestromanalysen durchgeführt; die Ergebnisse hiervon sind in Abbildung 4 und Abbildung 5 dargestellt.



**Abbildung 4: Energieflußdiagramm der Verbrennungsanlage mit integriertem ORC-Prozess (Energiezentrale 400+) für einen typischen Betriebszustand bei 72% Teillast in der Brennkammer**

Es ist an dieser Stelle anzumerken, dass der elektrische Wirkungsgrad der ORC-Maschine relativ stark von der Temperatur der beheizten Seite abhängig ist. Wird der ORC-Prozess wie im vorliegenden Fall bei einer Wärmeträgeröl-Temperatur von 140°C betrieben, so ist für das ORC-Medium eine Temperatur von 120°C bzw. ein Arbeitsdruck von 19,3bar anzusetzen. Mit diesen Betriebsbedingungen ergibt sich für einen einfachen ORC-Kreis ohne Regenerator ein idealer elektrischer Wirkungsgrad von 13,8%. Für die reale Anlage kann weiters ein mechanischer Wirkungsgrad von 90% angenommen werden. Wird die Temperatur des

Wärmeträgeröls hingegen auf 120°C reduziert, so reduziert sich die Temperatur des ORC-Arbeitsmediums auf 100°C (Arbeitsdruck 12,8bar) und der ideale elektrische Wirkungsgrad kommt bei etwa 11,1% zu liegen. Die Auslegung des Wärmeträgeröl-Kreislaufes hat also auf eine relativ hohe Temperatur abzielen. Das Limit hierbei ist der kritische Punkt des ORC-Arbeitsmediums, im konkreten Fall bei R245fa (1,1,1,3,3-Pentafluorpropan) liegt dieser bei einer Temperatur von 155°C.



**Abbildung 5: Energieflußdiagramm der Verbrennungsanlage mit integriertem ORC-Prozess (Energiezentrale 400+) für einen typischen Versuchsbetriebszustand bei 87% Teillast in der Brennkammer**

Desweiteren ist anzumerken, dass eine Erhöhung des Temperaturniveaus der wärmeabgebenden („kalten“) Seite des ORC-Kreislaufes den elektrischen Wirkungsgrad der Anlage ebenfalls drastisch reduziert. Fährt die Anlage beispielsweise wärmegeführt bei einer Abwärmtemperatur von 70°C, so reduziert sich der ideale elektrische Wirkungsgrad auf 10,2%, bei einer Temperatur von 90°C sogar auf 6,5%.

**Tabelle 1: Energetische Bilanzierung der Energiezentrale 400+ (Jährliche Input- und Output-Energiemengen für Strom und Wärme sowie Effizienzen)**

Parameter	Einheit	Auslegung	Betrieb 72%	Betrieb 87%
Input Brennstoffenergie	MWh/a	3.572	2.588	3.106
Input Strom	MWh/a	78	58	67
Output Strom	MWh/a	318	199	238
Output Wärme	MWh/a	2.241	1.401	1.682
Effizienz Strom bezogen auf Gesamt-Input	%	8,70	7,51	7,51
Effizienz Wärme bezogen auf Gesamt-Input	%	61,39	52,97	53,01
Effizienz Strom+Wärme bezogen auf Gesamt-Input	%	70,09	60,47	60,52

Basierend auf den Energieströmen für die betrachteten drei Fälle (Volllast Auslegungsbetrieb, realer Teillastbetrieb bei 72%, realer Teillastbetrieb bei 87%) kann eine energetische Jahresbilanzierung für die Energiezentrale 400+ ausgearbeitet werden. Als Jahresverfügbarkeit wird hierfür für die Gesamtanlage ein Wert von 8.000h/a (91,3%) angesetzt. Die Ergebnisse dieser Analyse sind schliesslich in Tabelle 1 zusammengefasst.

Es wird deutlich, dass die Effizienz hinsichtlich elektrischer Energie aufgrund des niedrigen ORC-Wirkungsgrades relativ bescheiden ist. Die Gesamteffizienz von 60 bis 70% ist in Anbetracht der relativ kleinen Leistungsklasse, des flexiblen Gesamtanlagenkonzepts und des eingesetzten (aufgrund des niedrigen Ascheschmelzpunktes unvorteilhaften) Brennstoffes aber durchaus attraktiv.