

## TONNENWEISE ENERGIE!

**ENERGIEGEWINNUNG AUS ENTSORGUNGSSTOFFEN:  
EFFIZIENT & UMWELTFREUNDLICH.**

Die Kosten für Energie steigen und steigen. Umso wichtiger wird es für Unternehmen und Kommunen, nach günstigen Brennstoff-Alternativen zur Energieversorgung zu suchen. Wir kennen sie: Haus- und Gewerbemüll, Industrie-Reststoffe oder Ersatzbrennstoffe. Und seit vielen Jahren beweisen wir, wie sich aus ihnen über thermische Verwertungsprozesse Nutzenergie zur Erzeugung von Strom, Prozessdampf oder Fernwärme gewinnen lässt.

Mehr Infos und Referenzen unter: [www.standardkessel-baumgarte.de](http://www.standardkessel-baumgarte.de)



# Effizientes Dampferzeugerkonzept mit externem Überhitzer am Beispiel der MVA Oulu

Jörg Eckardt

1.	Abfall, Energieträger der Zukunft.....	173
2.	Einleitung.....	174
3.	Einflussgrößen für die Auslegung.....	175
4.	Das Gesamtkonzept <i>Oulu</i> .....	176
5.	Das Dampferzeugerkonzept <i>Oulu</i> .....	178
6.	Der externe Überhitzer .....	179
7.	Wirkungsgradvergleich .....	179
8.	Zusammenfassung .....	180

## 1. Abfall, Energieträger der Zukunft

Abfälle entstehen nahezu überall und bedürfen wegen deren Schädigungspotential für Mensch und Umwelt der besonderen Behandlung. Sie sind ein bedeutender Energieträger der Neuzeit. Ihr energetisches Potential dient der Strom- und Wärmeerzeugung und ersetzt Primärbrennstoffe wie Kohle, Öl oder Gas.

Durch die thermische Verwertung von Abfällen wird die Entstehung von Treibhausgasen verringert und vermieden. Verringert, weil die bei der Deponierung der Abfälle entstehenden zusätzlichen Emissionen verhindert werden, und vermieden, weil durch Substitution weniger fossile Brennstoffe verbrannt werden.

Nahezu die Hälfte der deutschen Stromerzeugung basiert auf dem Einsatz von Stein- und Braunkohle. Der Heizwert deutscher Rohbraunkohlen liegt zwischen 6,5 und 10 MJ/kg und somit in einer ähnlichen Größenordnung wie der von unbehandeltem Hausabfall.

Aufbereitete Abfälle haben mit Heizwerten von 11 bis 18 MJ/kg sogar ein noch größeres energetisches Potential.

Die elektrische Energie aus Abfall- und Ersatzbrennstoffanlagen unterliegt keinen jahreszeitlichen Schwankungen und ist nicht von Sonne oder Wind abhängig. Zudem kann Hausabfall aufgrund des hohen biogenen Anteiles zum Teil sogar als CO<sub>2</sub> neutral eingestuft werden.

Den neuen Entwicklungen vom Entsorgungsmarkt zum Verwertungsmarkt folgend haben sich die kommunalen und privaten Entsorger zum Energiedienstleister gewandelt. Industriekunden, insbesondere energieintensiver Industrien, entdecken nahezu weltweit Abfälle als Energiequelle und als wirtschaftliche Alternative zu den fossilen Brennstoffen.

Für die Herstellung ihrer Produkte benötigen die Industriekunden Energie in Form von Strom und/oder Dampf. Die Anlage in Stavenhagen [1] versorgt einen Lebensmittelhersteller seit Anfang 2007 zuverlässig mit Dampf und Strom, hergestellt aus Ersatzbrennstoffen. Im Chemiepark Bitterfeld liefert eine EBS Anlage Strom und Dampf für dort ansässige Industrieunternehmen [2] und am Standort Bernburg [6] sichern 3 Linien mit je 70 MW thermischer Verbrennungsleistung die Energieversorgung für ein Chemieunternehmen. Die Dampfzentrale Weener [4] wie auch die Ignis Anlage [7] der Spree Recycling GmbH in Spremberg versorgen Papierfabriken mit Prozessdampf, erzeugt aus kommunalen und industriellen Abfällen.

Den Betreibern ist die sichere Versorgung ihrer Prozesse wichtig, so dass eine ausgereifte und verlässliche Technik zum Einsatz kommen muss.

## 2. Einleitung

Als traditioneller Kesselbauer mit mehr als 78-jähriger Geschichte, verbindet Baumgarte seine Erfahrungen aus mehr als einhundert errichteten Abfallkesseln zu einem technologischen Gesamtkonzept für die Hauptkomponenten der Verbrennungsanlagen. Der Verbrennungsrost wird hierbei ebenso integriert wie die Abgasreinigungsanlage.

Das Konzept basiert auf einem Vorschub- Rost und vorzugsweise einem mit horizontalem Konvektionszug ausgeführten Dampferzeuger.

Die Rostverbrennung hat über Jahrzehnte den Nachweis erbracht, dass sie den Anforderungen der Abfallverbrennung am besten gerecht wird. Der Vorschubrost kann in luft- oder wassergekühlter Ausführung den jeweiligen Brennstoffanforderungen angepasst werden.

Eine konservative, auf Betriebssicherheit bedachte Auslegung und Konstruktion ist ein wesentliches Merkmal.

Ein sehr gutes Beispiel für Beständigkeit und Innovation ist, neben den verschiedensten eigenen Patenten, die Anlage AVA – Frankfurt / Main wo nun schon die dritte Generation Baumgarte Kessel betrieben wird. Der erste Kessel aus dem Jahre 1964 ist dabei überhaupt nicht mehr vergleichbar mit den heutigen Standards. Die realisierten Heißdampfparameter von 5,9 MPa und 500 °C bei einer Dampfleistung von 67,2 t/h setzten jedoch damals schon Maßstäbe.

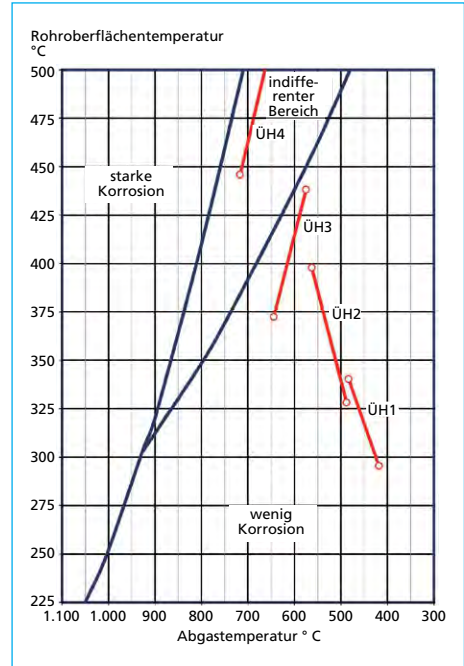
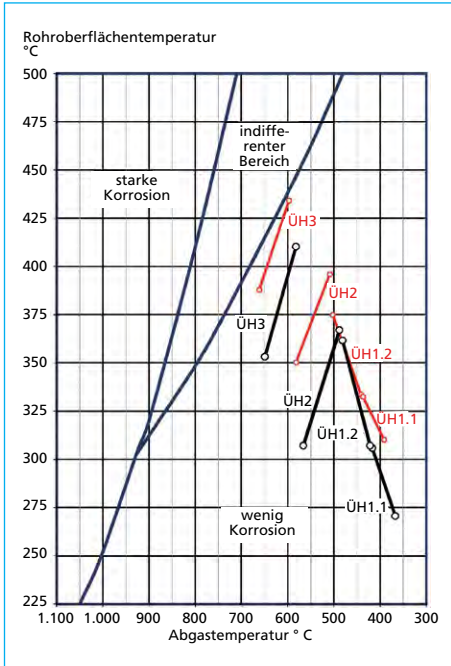


Bild 1: Korrosionsdiagramm, Kessel mit 400 °C/40 bar (schwarz) und mit 420 °C/88 bar (rot)

Bild 2: Korrosionsdiagramm, Kessel mit 500 °C/60 bar am Ende der Reisezeit (8.000 h)

Das Kesselkonzept ist ein speziell für die Ausnutzung der Abwärme aus der Verbrennung von Abfällen und Reststoffen entwickeltes Kesselsystem.

Die Übertragung der Abgaswärme erfolgt über ein *Tailend-Kesselsystem* in drei- oder vierzugbauweise. Die Umfassungswände der zwei oder drei vertikalen Strahlungszüge sowie des waagerechten Berührungszuges werden in gasdicht geschweißter Rohr-Steg-Rohr-Konstruktion ausgeführt. Für auftretende gassetige Unter- und Überdrücke werden die Umfassungswände mit Bandagen verstärkt. Das gesamte System mit den Rohrwänden, Sammlern, Fall- und Überströmleitungen wird als Naturumlaufsystem ausgelegt. Eine großzügig dimensionierte Dampftrommel ist querliegend oberhalb des zweiten Zuges angeordnet und sorgt über das Fallrohrsystem für die Wasserverteilung auf die Sammler der Wände und Verdampferheizflächen.

## 3. Einflussgrößen für die Auslegung

Der spätere Verwendungszweck der Anlage, also der Bedarf des Kunden, ist der grundlegende Entscheidungsfaktor an dem sich alle weiteren Parameter orientieren. Hat in früheren Jahren lediglich die zu entsorgende Abfallmenge die Anlagengröße

bestimmt, so definieren heute auch der Strom- und Wärmebedarf das Anlagenkonzept für thermische Verwertungsanlagen. Ebenso wie es für die klassischen Kraftwerke schon immer der Fall ist.

Das Anlagenkonzept wird demnach maßgeblich durch die Anforderungen an den Bedarf und die erforderliche Verfügbarkeit der Strom- und Dampflieferung beeinflusst.

Die Verfügbarkeit ist der Schlüssel zum wirtschaftlichen Betrieb und somit ein Schlüssel zum Projekterfolg. Anlagen mit hohen Dampfparametern bezahlen oft den Vorteil des besseren Wirkungsgrades mit höheren Ausfallraten wegen Korrosionsschäden.

Für die Beurteilung des Korrosionsrisikos im Bereich der Überhitzer wird häufig das Korrosionsdiagramm herangezogen. In diesem Korrosionsdiagramm wird die Temperatur des Heizflächenrohres im Verhältnis zur Abgastemperatur aufgetragen. Das Diagramm ist in Bereiche unterschiedlicher Korrosionsgefährdung eingeteilt. Vergleicht man die Korrosionsdiagramme für Heißdampftemperaturen von 400, 420 und 500 °C Heißdampfperatur wird deutlich, dass bei Heißdampfperaturen über 420 °C mit erheblichen Korrosionsangriffen am Endüberhitzer zu rechnen ist, sofern nicht teure Schutzmaßnahmen, wie zB. Cladding oder Vernickelung der Heizflächenrohre durchgeführt werden. Anders als im Bereich der Strahlräume ist die Instandhaltung und Pflege dieser Schutzschichten im Bereich der konvektiven Heizflächen aufgrund der eingeschränkten Zugänglichkeit zudem aufwändig und teuer.

Diesen Grundlagen folgend, also unter Berücksichtigung der gegebenen Randbedingungen und unter Beachtung der speziellen Wirkmechanismen korrosionsfördernder Abgasbestandteile, wurde für die Abfallverwertungsanlage in Oulu / Finnland eine besonders Dampferzeugerkonzept gewählt.

## 4. Das Gesamtkonzept Oulu

In der finnischen Stadt Oulu betreibt der lokale Energieversorger Oulun Energia Oy., verschiedene Dampferzeuger zur Strom- und Fernwärmeversorgung der Stadt und umliegender Betriebe. Über eine Dampfsammelschiene, mit Frischdampfparametern von 8,3 MPa und 515 °C, werden zwei Dampfturbinen mit insgesamt 25 MW elektrischer Leistung angetrieben und 100 MW thermisch an das Fernwärmenetz ausgekoppelt.

Für die Entsorgung der kommunalen Abfälle wurde eine Abfallverbrennungsanlage mit etwa 130.000 Jahrestonnen konzipiert die in das vorhandene System mit den genannten hohen Dampfparametern integriert werden musste.

Unter Beachtung dieser Aufgabenstellung entstand das besondere Dampferzeugerkonzept mit moderater Dampfperatur (420 °C) am Endüberhitzer des Abfallkessels und der nachfolgenden Überhitzung auf 515 °C durch einen externen Überhitzer. Dieser externe Überhitzer wird mit einem Schwachgas, einem Abfallprodukt aus der chemischen Produktion, befeuert welches vorher abgefackelt wurde.

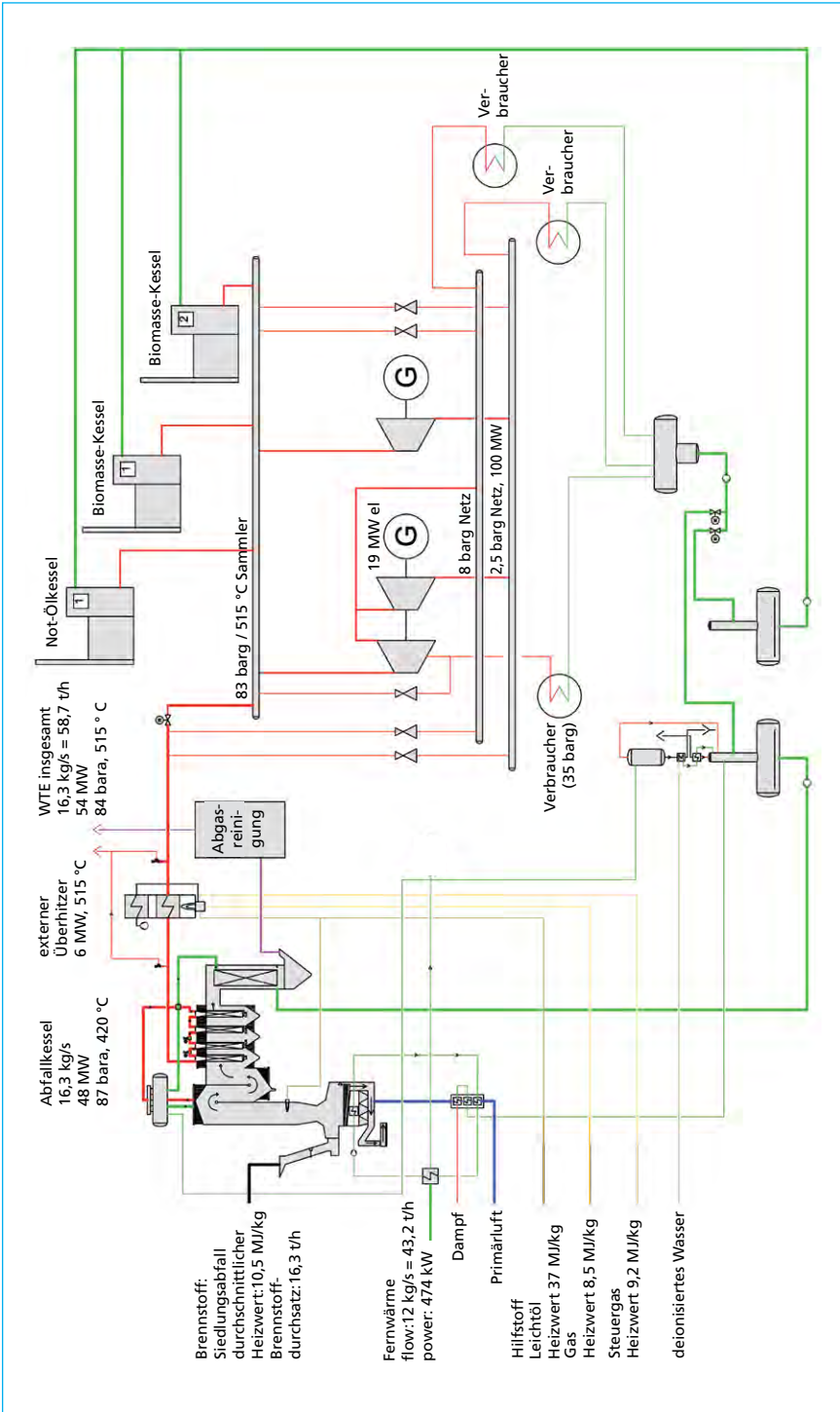


Bild 3: Verfahrenstechnische Übersicht Oulu

## 5. Das Dampferzeugerkonzept Oulu

Der Einfluss der Dampfparameter auf das Korrosionsverhalten ist hinlänglich bekannt. Bei vielen Projekten wurden deshalb moderate Dampftemperaturen und Drücke gewählt. Auch die Kesselanlage in Oulu wird mit bewährten, vergleichsweise moderaten Dampftemperaturen betrieben. Lediglich der Dampfdruck des Kessels musste angehoben werden.

Durch den hohen Druck im Kessel erhöhen sich die Siedetemperatur in den Verdampferwänden und damit das Korrosionsrisiko im Bereich hoher Abgastemperaturen. Daher wurden im ersten Kesselzug die Membranwände des Kessels großzügig durch keramische Auskleidung bzw. durch Schweißplattierungen mit Nickel-Basis-Legierungen vor korrosiven Angriffen geschützt.

Der Dampferzeuger ist in der als Tailend-Kessel bekannte Bauform konzipiert, also in der Kombination aus vertikalen Strahlungszügen und horizontal angeordnetem Abgaszug mit den dort eingebauten Konvektionsheizflächen. Der nachgeschaltete Economiser befindet sich in einem Vertikalzug.

Die Tailend-Bauform bietet den Vorteil, dass die Reinigung der konvektiven Verdampfer- und Überhitzerheizflächen im Horizontalzug durch eine Klopfanlage erfolgen kann und Dampf für Rußblasen nicht erforderlich ist. Der Dampf kann so vollständig dem Kundenprozess zur Verfügung gestellt werden und verbessert damit die Anlageneffizienz und den Erlös. Auch im Hinblick auf die Durchführung der Wartung und Instandhaltung erweist sich diese Art der Heizflächenkonstruktion als ökonomisch. Die Harfen sind einzeln aufgehängt und leicht zugänglich.

Diese Bauform wirkt sich vorteilhaft auf die Reisezeit aus, so dass die Wirtschaftlichkeit des Anlagenbetriebes durch geringere An- und Abfahrkosten / -zeiten und dem dadurch erzielbaren größeren Brennstoffdurchsatz positiv beeinflusst wird. Die Vertikalzüge sind frei von Einbauten (Schotten). Diese Leerzüge werden durch Wassersprüheinrichtungen gereinigt. Dies hat zwei wichtige

Wirkungen: anhaftende Verunreinigung an den Wänden der Strahlzügen werden im laufenden Kesselbetrieb regelmäßig gesäubert, was die Bildung von großen Schlackewächten verhindert, und bei Kesselstillständen und Revisionen die Reinigung der Strahlzüge erheblich vereinfacht und beschleunigt. Noch wesentlicher aber ist der positive Einfluss auf die Abgastemperatur am Eintritt in den Konvektionszug und das Korrosionsverhalten der Überhitzer, das erfahrungsgemäß durch die Absenkung der Abgastemperatur weniger intensiv von statten geht.

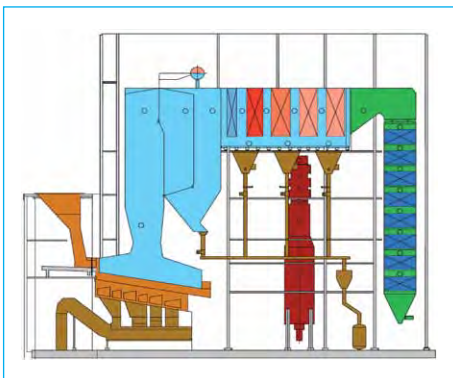


Bild 4: Anordnung des externen Überhitzers (rot) neben dem Abfallkessel

Anders als die Überhitzer ist der Economiser in einem vertikalen Blechkanal eingebaut. In diesem Bereich sind Flugstäube sehr fein und nicht klebrig, so dass die Reinigung mit einer Kugelregenanlage erfolgen kann. Diese Heizflächen sind vergleichsweise günstig in der Herstellung und aufgrund der höheren Abgasgeschwindigkeiten sehr effektiv. Aus diesen Gründen ist es möglich den Kessel mit äußerst niedrigen Abgastemperaturen zwischen 150 und 160 °C zu konzipieren und so einen sehr hohen Kesselwirkungsgrad zu erreichen.

## 6. Der externe Überhitzer

Der ext. Überhitzer ist mit einer Bodenfeuerung ausgestattet. Verbrannt wird hauptsächlich ein Schwachgas aus der chemischen Produktion. Im Anfahrbetrieb kann leichtes Heizöl oder Erdgas eingesetzt werden. Neben den im oberen Bereich angeordneten Konvektionsheizflächen für die Dampfüberhitzung wurden zur besseren Ausnutzung der Abgaswärme Luftvorwärmer zur Vorwärmung der eigenen Verbrennungsluft eingebaut.

Der Betrieb mit dieser kombinierten Technik stellt sich als sehr unkompliziert dar. Die Abgase des Erhitzers werden in den Feuerraum des Kessels eingeleitet und die enthaltene Wärme dort genutzt. Die Verbrennungsluft zum Kessel wird entsprechend reduziert, so dass der Abgasverlust des Kessels unverändert niedrig bleibt.

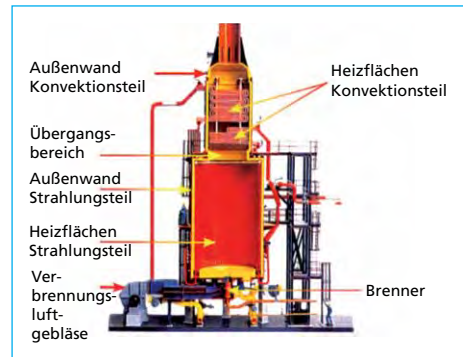


Bild 5: Externer Überhitzer

## 7. Wirkungsgradvergleich

Zur Veranschaulichung der Effizienzverbesserung durch den Einbau eines externen Überhitzers werden nachfolgend drei verschiedene Varianten miteinander verglichen.

Als Basis werden die Standard Parameter 40 bar für Druck und 400 °C für die Heißdampf Temperatur gewählt. Diese werden dann variiert auf 62 bar / 420 °C ohne externe Überhitzung und schließlich verglichen mit den Betriebsparametern der Anlage in Oulu 84 bar / 515 °C.

Die Verbesserung des Wirkungsgrades und insbesondere der mit über 53 Prozent sehr hohe Ausnutzungsgrad des Zusatzbrennstoffes im externen Überhitzer sprechen eindeutig für die hohe Effizienz eines solchen Systems.



Tabelle 1: Wirkungsgradvergleich der drei Varianten

	Einheit	Standard	Oulun ohne ext. ÜH	Oulun mit ext. ÜH
Dampfdruck	MPa	4,0	6,2 <sup>1</sup>	8,4
Dampftemperatur	°C	400	420	515
thermische Leistung DE	MW <sub>th</sub>	48,0	48,0	48,0
thermische Leistung externer Überhitzer	MW <sub>th</sub>	0	0	4,7
elektrische Leistung	MW <sub>el</sub>	12,5	13,3	15,8
Wirkungsgrad	%	25,5	27,2	29,3
elektrische Wirkungsgrad des externen Überhitzers	%	0,0	0,0	53,2

<sup>1</sup> Der Dampfdruck wird durch die Dampfeuchte in der Turbinenendstufe bestimmt, bei 420°C kann ein Dampfdruck von 8,4 MPa nicht realisiert werden.

## 8. Zusammenfassung

Die optimale Auslegung einer Anlage zur Energieversorgung auf Basis von Abfällen und Reststoffen orientiert sich an betriebswirtschaftlichen Kenngrößen also den Investitions- und Betriebskosten, den Wartungskosten und dem Kapitaldienst. Eine Ausrichtung an nur einem Kriterium z.B. möglichst niedrigen Investitionskosten ist zwangsläufig zum Scheitern verurteilt. Die optimale Auslegung beginnt mit der Wahl des Anlagenkonzeptes, das den wirtschaftlichen Erfolg unter Beachtung aller Kennzahlen beeinflusst. Hierbei von entscheidender Bedeutung ist die Anlagenverfügbarkeit. Die Dampferzeugerbauf orm und die Dampfparameter haben auf die Verfügbarkeit und die Instandhaltungskosten einen wesentlichen Einfluss. Hohe Flexibilität bei den einsetzbaren Brennstoffen ermöglicht das Reagieren auf sich verändernde Marktbedingungen. Die richtige Auswahl der zum Einsatz kommenden Komponenten stellt frühzeitig die Weichen.

	Land - Standort	Thermische Leistung MW <sub>th</sub>	Dampfdruck bar	Dampf-temperatur °C
[1]	DE- Stavenhagen	1 x 47,5	43	400
[2]	DE- Bitterfeld	1 x 56	43	400
[3]	DE- Weener	1 x 70	27	320
[4]	BE- Oostende	1 x 70	42	402
[5]	DE- Frankfurt/Main	1 x 60	59	500
[6]	DE- EAB Bernburg	3 x 70	42	412
[7]	DE- IGNIS Spremberg	1 x 110	40	400
[8]	FIN- OULU	1 x 48	84	420 / 515
[9]	UK- MVA Plymouth	1 x 84	60	420

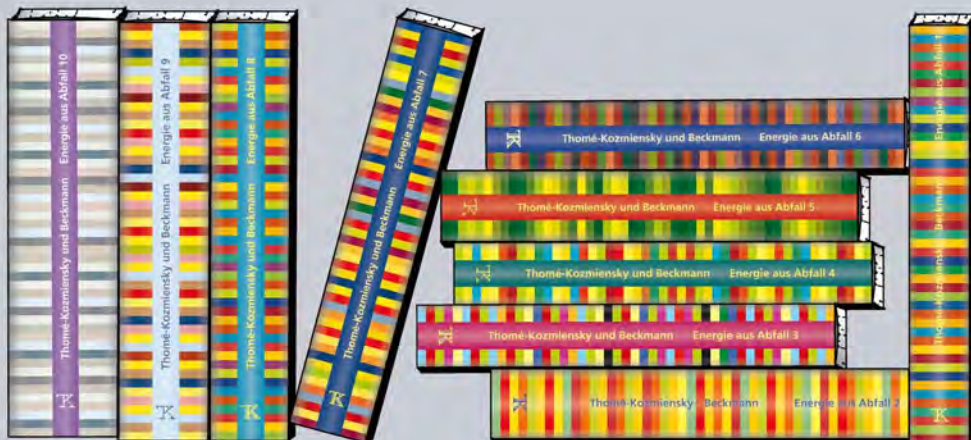
Tabelle 2:

Technische Daten ausgewählter Referenzanlagen (Auszug)

Die Dampferzeugeranlage in Oulu hat nach mehr als 15.000 Betriebsstunden eine Verfügbarkeit von 99,2 Prozent erreicht. Nach dem Einregeln des externen Überhitzers mit Heizöl konnte dieser ausschließlich mit dem als Reststoff anfallenden Schwachgas betrieben werden. Die zugesicherten Eigenschaften wurden ausnahmslos erreicht und konnten im Leistungstest nachgewiesen werden.

Tabelle 2 zeigt die technischen Daten ausgewählter Referenzanlagen.

# Energie aus Abfall



Herausgeber: Karl J. Thomé-Kozmiensky und Michael Beckmann • Verlag: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky

## Energie aus Abfall, Band 1

ISBN: 978-3-935317-24-5  
Erscheinung: 2006  
Gebundene Ausgabe: 594 Seiten mit farbigen Abbildungen  
Preis: 50,00 EUR

## Energie aus Abfall, Band 2

ISBN: 978-3-935317-26-9  
Erscheinung: 2007  
Gebundene Ausgabe: 713 Seiten mit farbigen Abbildungen  
Preis: 50,00 EUR

## Energie aus Abfall, Band 3

ISBN: 978-3-935317-30-6  
Erscheinung: 2007  
Gebundene Ausgabe: 613 Seiten mit farbigen Abbildungen  
Preis: 50,00 EUR

## Energie aus Abfall, Band 4

ISBN: 978-3-935317-32-0  
Erscheinung: 2008  
Gebundene Ausgabe: 649 Seiten mit farbigen Abbildungen  
Preis: 50,00 EUR

## Energie aus Abfall, Band 5

ISBN: 978-3-935317-34-4  
Erscheinung: 2008  
Gebundene Ausgabe: 821 Seiten mit farbigen Abbildungen  
Preis: 50,00 EUR

## Energie aus Abfall, Band 6

ISBN: 978-3-935317-39-9  
Erscheinung: 2009  
Gebundene Ausgabe: 846 Seiten mit farbigen Abbildungen  
Preis: 50,00 EUR

## Energie aus Abfall, Band 7

ISBN: 978-3-935317-46-7  
Erscheinung: 2010  
Gebundene Ausgabe: 765 Seiten mit farbigen Abbildungen  
Preis: 50,00 EUR

## Energie aus Abfall, Band 8

ISBN: 978-3-935317-60-3  
Erscheinung: 2011  
Gebundene Ausgabe: 806 Seiten mit farbigen Abbildungen  
Preis: 50,00 EUR

**Paketpreis 270,00 EUR**

Energie aus Abfall, Band 1 bis 10

statt 500,00 EUR

## Energie aus Abfall, Band 9

ISBN: 978-3-935317-78-8  
Erscheinung: 2012  
Gebundene Ausgabe: 809 Seiten mit farbigen Abbildungen  
Preis: 50,00 EUR

## Energie aus Abfall, Band 10

ISBN: 978-3-935317-92-4  
Erscheinung: 2013  
Gebundene Ausgabe: 1096 Seiten mit farbigen Abbildungen  
Preis: 50,00 EUR

Bestellungen unter [www.vivis.de](http://www.vivis.de)  
oder

**vivis**

TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky

Dorfstraße 51

D-16816 Nietwerder-Neuruppin

Tel. +49.3391-45.45-0 • Fax +49.3391-45.45-10

E-Mail: [tkverlag@vivis.de](mailto:tkverlag@vivis.de)

