

## Prozessorientierte Biomassebewertung

Daniel Bernhardt, Angelika Lyczkowska, Hans-Joachim Gehrmann, Tobias Seufert und Stefan Vodegel

1.	Projektrelevante Biomassen.....	961
2.	Techniken der deutschen Holzheizkraftwerke.....	962
3.	Brennstoffanalysen.....	964
4.	Kalorische Werte.....	966
5.	Ascheschmelzverhalten.....	968
6.	Abschätzung Verschlackungsrisiko.....	971
7.	Ausblick.....	972
8.	Verwendete Quellen.....	972

Holzheizkraftwerke bilden eine bedeutende Grundlage für die Strom- und Wärmebereitstellung bei den regenerativen Energien. In Deutschland wird der weitere Ausbau durch die fehlende Marktverfügbarkeit von Holz zu wirtschaftlichen Preisen beschränkt. Darüber hinaus bedroht der Anstieg des Bezugspreises sogar die Existenz bestehender Kraftwerke. Wünschenswert ist zumindest der teilweise Ersatz durch andere Biomassen. Das Interesse an technischen Lösungsmöglichkeiten hierfür ist hoch.

Vier Partner verschiedener Forschungsinstitute bekommen seit Juli 2011 in einem durch das BMWi über die GVT geförderten Forschungsvorhaben die Gelegenheit, wissenschaftliche Grundlagen für die Brennstoffergänzungen zu erarbeiten. Die bei einer Verbrennung ablaufenden Vorgänge der Pyrolyse, Vergasung und Verbrennung sollen in verschiedenen Labor- und Technikumseinrichtungen für sechs verschiedene Biomassegruppen detailliert ermittelt werden.

### 1. Projektrelevante Biomassen

Um die Basis für den Biomassebezug der Kraftwerke möglichst breit zu gestalten, erfolgte die Definition von sechs Gruppen, deren Vertreter absehbar unterschiedliche Eigenschaften voneinander haben. Es handelt sich um:

1. Holzartige Biomassen mit einer Hackschnitzelsorte (HHS) als Referenz (z.B. KUPs),
2. Halmartige (z.B. Weizenstroh, Szarvasi, Switchgras),
3. Fruchtstämmige (z.B. Kirschkerne, Haselnusschalen),
4. Reste aus der landwirtschaftlichen Produktion (z.B. Grünschnitt, Getreidereststoffe),
5. Reste aus der Lebensmittelherstellung (z.B. Zuckerrübenschnitzel, Rohkaffeestäube, Birtreber),
6. Reste aus der anaeroben Zersetzung (Gärreste).

## 2. Techniken der deutschen Holzheizkraftwerke

Um die Auswirkung von Brennstoffwechseln abzuschätzen, soll als erstes ein Eindruck vermittelt werden, wieviele Kraftwerke mit welchen Technologien denn überhaupt betroffen sein könnten:

Nach einer Erhebung des DBFZ [1] waren bis Ende 2011 in Deutschland 260 Biomassekraftwerke am Netz. 66,5 % der Anlagen arbeiteten in der Leistungsklasse bis  $5 \text{ MW}_{\text{el}}$ , den Großteil der elektrischen Energie mit 53,6 % lieferten die großen Kraftwerke der Klasse 10 bis  $20 \text{ MW}_{\text{el}}$ . Gemäß einer Studie des VGB PowerTech [2], durchgeführt durch die Transferstelle Bingen, hängt die Wirtschaftlichkeit hauptsächlich von den Parametern elektrischer und thermischer Wirkungsgrad sowie der Verfügbarkeit ab. Reisezeitbegrenzende Kriterien liegen meist bei der Verschmutzung der Nachschaltheizflächen sowie Korrosion und Erosion, wenn v.a. Altholz eingesetzt wird. Bei naturbelassenem Holz ist die Störfälligkeit wesentlich geringer, wobei dann v.a. die Baugruppen Rost oder Wirbelschicht und Brennstoffweg genannt werden. Beim Wechsel von Holz auf andere Biomassen mit neuen mechanischen und thermischen Eigenschaften muss mit Störungen mindestens aller genannten Baugruppen gerechnet werden. Hinzu kommen die Auswirkungen auf die Gasreinigung.

Um Quantität und Qualität betroffener Technologien für Brennstoffergänzungen als Funktion der Anlagengröße zu ermitteln, wurde eine deutschlandweite Erhebung durchgeführt. Die Ergebnisse wurden mit Literaturwerten auf Plausibilität überprüft.

Die Datenlage umfasst bei weitem nicht den gesamten Anlagenbestand. Daher sind im Folgenden auch keine Prozentangaben gemacht. Trotzdem sind die Ergebnisse für die Fragestellung interessant. So zeigt die Auswertung für die Feuerungsarten, dass bis zu einer Leistung von  $15 \text{ MW}_{\text{el}}$  die Rostfeuerungen vorherrschen. Ab dieser Größenordnung steigt die Bedeutung von Wirbelschichten stark an (Abbildung 1), wobei Systeme mit Zirkulation dominieren.

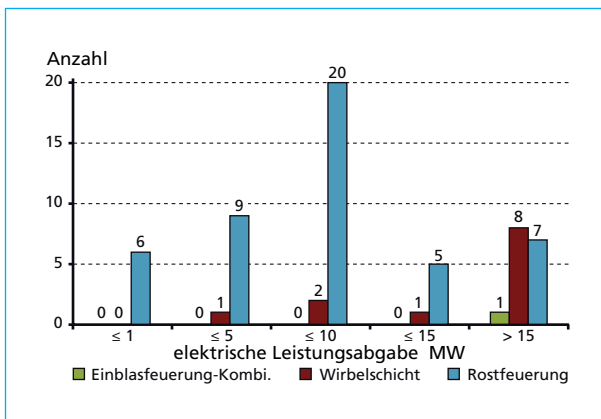


Abb. 1:

Verteilung der Feuerungstechniken als Funktion der elektrischen Leistungsabgabe

Bei den sehr kleinen Anlagen bis etwa  $0,3 \text{ MW}_{\text{el}}$  ist v.a. mit Unterschubrosten zu rechnen, ab  $16 \text{ kW}_{\text{el}}$  bis  $30 \text{ MW}_{\text{el}}$  mit Vorschubrosten sowie ab  $30 \text{ kW}_{\text{el}}$  bis  $30 \text{ MW}_{\text{el}}$  auch mit Vibrationsrosten. Wanderroste sind ab  $400 \text{ kW}_{\text{el}}$  bis  $35 \text{ MW}_{\text{el}}$  interessant (Bem.: alles ca-Werte) [3,4]. Rückschub- sowie Walzenroste spielen bei der Biomassefeuerung keine Rolle.

Bei den Stromerzeugungsarten hat sich in den letzten Jahren ein Wandel vollzogen: ORC-Anlagen gewannen im kleinen Bereich bis etwa  $5 \text{ MW}_{\text{el}}$  stark an Bedeutung (Abbildung 2).

Gemäß der Erhebung aus DBFZ; TLL [1] sind in Deutschland mittlerweile 85 Anlagen mit dieser Technologie in Betrieb.

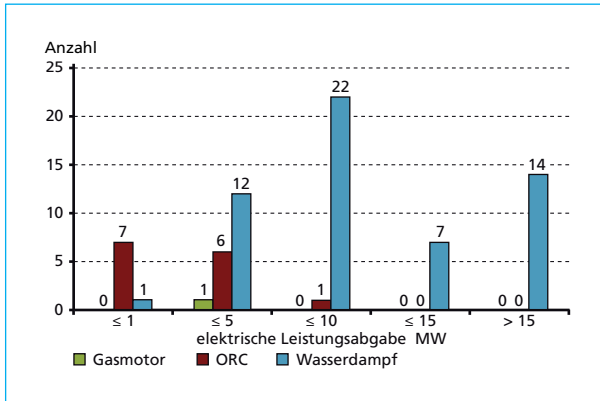


Abb. 2:

Stromerzeugungsarten als Funktion der elektrischen Leistungsabgabe

Mit der Holzvergasungsanlage in Senden ist in 2011 ein Blockheizkraftwerk einer Leistung von knapp 5 MW<sub>el</sub> hinzugekommen.

Besonders zu beachten sind die vorhandenen Abgasreinigungen, da Emissionen beim Wechsel von Holz auf andere Biomassen ansteigen werden. Viele Anlagen sind auf eine reine Entstaubung ausgelegt; unterstützt oft durch eine Entstickung (Abbildung 3).

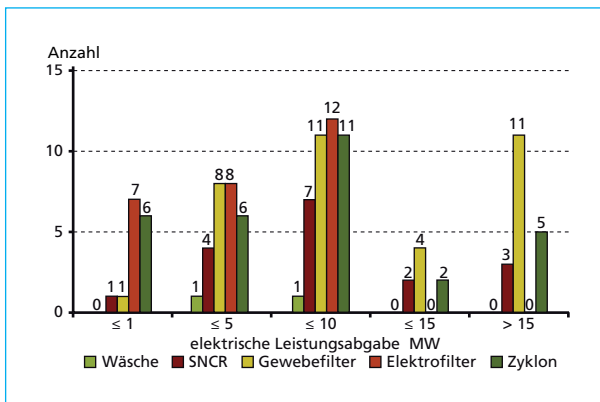


Abb. 3:

Abgasreinigungstechniken als Funktion der elektrischen Leistungsabgabe

Deutlich zu erkennen ist, dass Wäscher nahezu keine Rolle spielen. Vorherrschend sind trockene Abgasreinigungen mit Zyklon und Gewebefilter, wobei bei Anlagen mit A III- und A IV-Holz-Zulassung i.d.R. Adsorbens eingedüst wird, so dass das Filter als Filterschichtadsorber arbeiten kann. Zur Entstickung sind etwa 25 % der Anlagen gemäß dieser Erhebung mit einer SNCR ausgerüstet. Elektrofilter sind bis zu einer Leistungsklasse von 10 MW<sub>el</sub> stark vertreten.

Die Erhebung sowie vorliegende Literatur zeigen bei den existierenden Holzheizkraftwerken gewisse Strukturen in den eingesetzten Techniken. Die Forschungsarbeiten werden sich darauf einzustellen haben.

### 3. Brennstoffanalysen

Der Ablauf eines thermodynamischen Prozesses wird wesentlich durch die Elementarzusammensetzung sowie die verbrennungstechnischen und physikalisch-mechanischen Eigenschaften beeinflusst, durch die die Biomassen gekennzeichnet sind. Die Brennstoffanalysen, bestehend aus Immediat- und Elementaranalyse, sowie die Bestimmung des Heizwertes stellen die Grundlage für alle nachfolgenden Untersuchungen dieses Projektes dar. Diese Daten sind auch für die Erstellung von Massen- und Energiebilanzen notwendig. Die Ergebnisse der Analysen der Gehalte an Asche (A), Flüchtige Bestandteilen (FB) und Fixen Kohlenstoff (Cfix) sind der Abbildung 4 zu entnehmen.

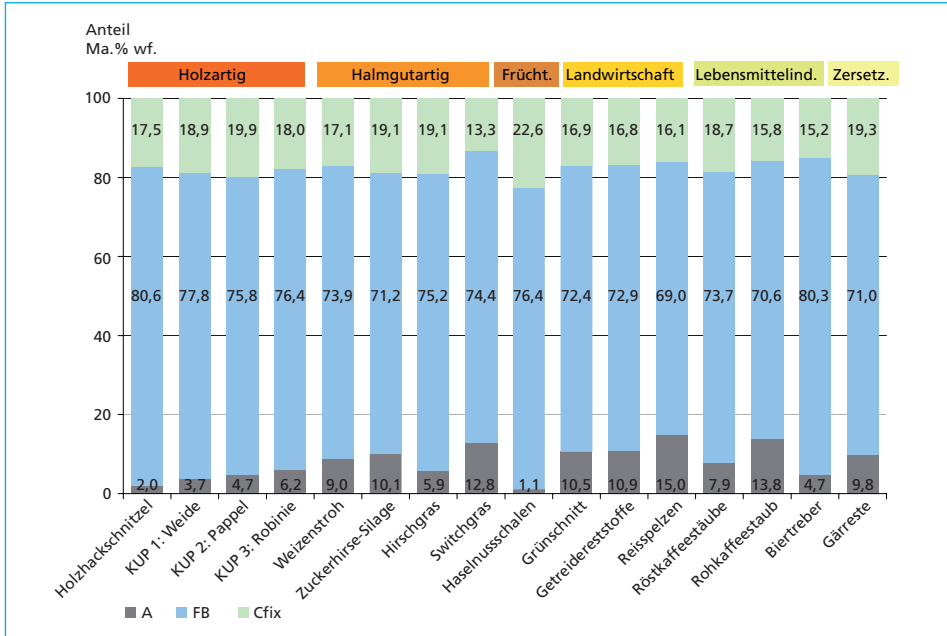


Abb. 4: Kurzanalyse der untersuchten Biomassen

Da der Wassergehalt der untersuchten Proben stark schwankt, werden die Ergebnisse auf den wasserfreien Zustand bezogen, um sie vergleichen zu können. Der Gehalt an flüchtigen Bestandteilen erlaubt Aussagen über die Zündfähigkeit in einer Feuerungsanlage. Alle untersuchten Biomassen charakterisieren sich durch einen hohen Gehalt an flüchtigen Bestandteilen (zwischen 69 bis 81 Ma.-%), wobei der Referenzbrennstoff (Holzhackschnittzel) das obere Ende markiert. Der Aschegehalt hat sowohl Auswirkungen auf die Schadstoffemissionen als auch auf die technische Auslegung einer Feuerungsanlage. Mit zunehmendem Aschegehalt steigt der Aufwand für eine notwendige Entstaubung. Außerdem erhöht sich der Aufwand für die Verwertung bzw. Entsorgung der anfallenden Verbrennungsrückstände. Von allen untersuchten Biomassen besitzen Haselnusschalen mit 1,1 % den geringsten Aschegehalt. Die anderen Biomassenarten weisen einen höheren (bis 15 %) Wert auf.

In Abbildung 5 sind die Ergebnisse der Elementaranalyse als Differenz zum Referenzbrennstoff in Spinnennetzdiagrammen dargestellt. Für die Umweltbelastung sind die Stickstoff- und Schwefelgehalte besonders wichtig. Die  $\text{NO}_x$ -Bildung nimmt mit steigendem Stickstoffgehalt im Brennstoff zu. Der Schwefelgehalt im Brennstoff bestimmt primär die Schwefeldioxid ( $\text{SO}_2$ )-Emission.

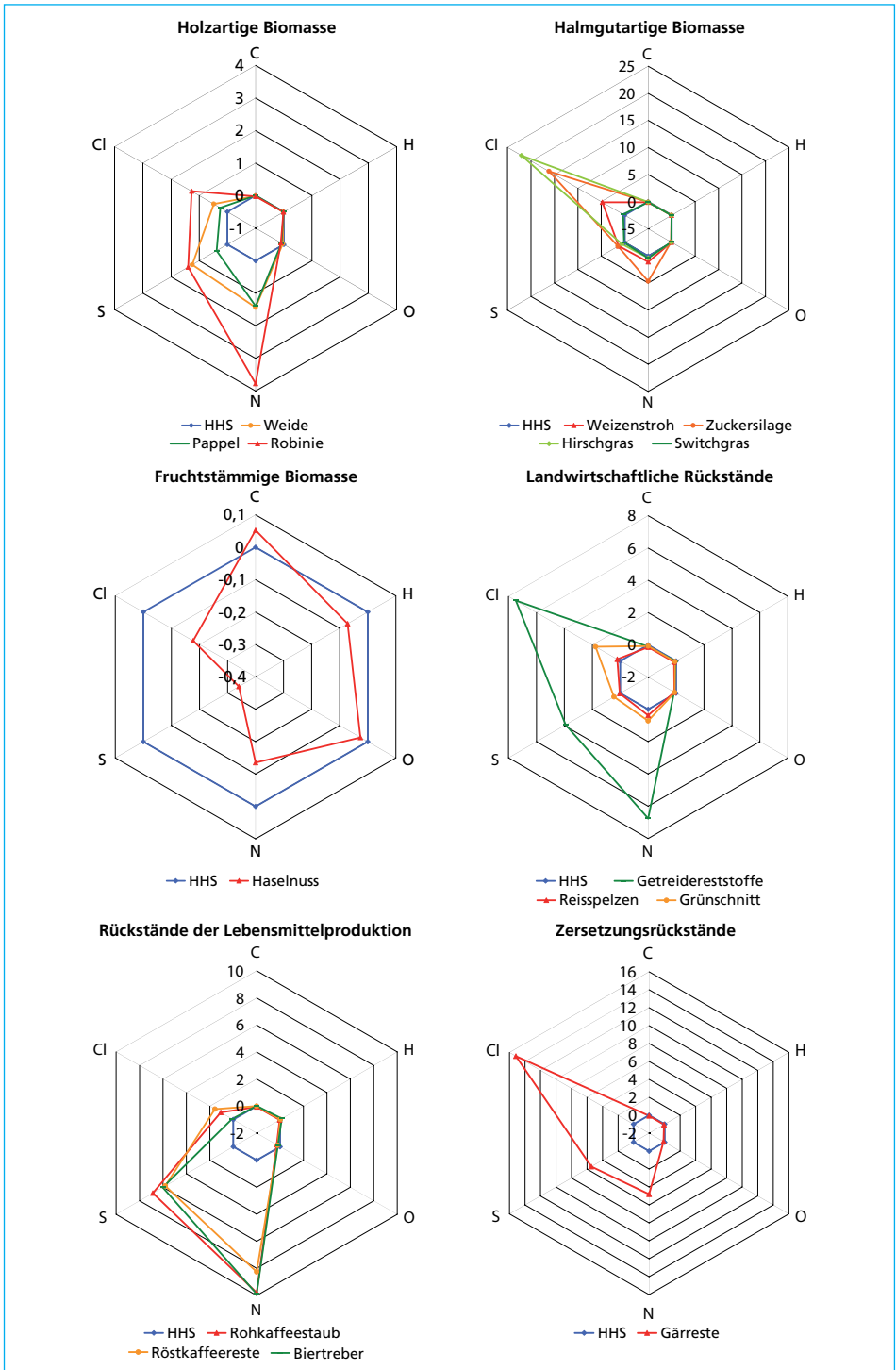


Abb. 5: Elementaranalysen als Differenz zum Referenzbrennstoff HHS (Ma.-%, wasserfrei)

Aus den Ergebnissen kann man sehen, dass die einzelnen Biomassen in den eingeteilten Gruppen ähnliche Zusammensetzungen aufweisen. Zum anderen sind zum Teil deutliche Unterschiede hinsichtlich Chlor-, Schwefel- und Stickstoffgehalt erkennbar. Reste aus der Lebensmittelproduktion besitzen die höchsten Schwefel- und Stickstoffgehalte.

#### 4. Kalorische Werte

Bei thermischen Umwandlungsvorgängen ist die Kenntnis der im Brennstoff gebundenen Energie in Form des Heiz- und Brennwertes ein wichtiges Kriterium für dessen Einsatz in einem bestehenden Kraftwerk oder für die Auslegung einer Neuanlage. Ist beispielsweise der Heizwert der Biomasse geringer als der des Referenzbrennstoffes, so wird eine entsprechend größere Brennstoffmenge benötigt, um die Feuerungsanlage im gleichen Lastbereich zu betreiben. Verbunden damit sind wiederum Anpassungen im Bereich der Brennstofflagerung und des -transportes.

Die Ermittlung von Heiz- und Brennwert kann sowohl experimentell als auch theoretisch erfolgen. Für Biomassen erfolgt die experimentelle Ermittlung des Brennwertes entsprechend der DIN EN 14918 im sog. Bombenkalorimeter. Dabei wird der Brennstoff in einer oxidierenden Sauerstoffatmosphäre vollständig verbrannt. Die an das Kalorimeterwasser übertragene Wärmemenge entspricht dem Brennwert des Brennstoffes, d.h. der Verbrennungswärme zuzüglich der Verdampfungsenthalpie des bei der Verbrennung freigesetzten Wassers. Die um diese Verdampfungsenthalpie verminderte Verbrennungswärme wird als Heizwert bezeichnet. In der Regel ist für die Energiebilanz einer Feuerungsanlage vor allem der Heizwert von Bedeutung, da i.d.R. keine Kondensation des im Abgas enthaltenen Wasserdampfes stattfindet. In Abbildung 6 ist der Heizwert (wasserfrei) der untersuchten Biomassen im Vergleich zu Holz hackschnitzeln dargestellt. Es zeigt sich, dass die meisten Biomassen einen zum Teil deutlich geringeren Energieinhalt besitzen als HHS. Lediglich Haselnusschalen und Birtreber besitzen einen höheren Heizwert.

Für den Fall, dass kein Zugang zu experimentell ermittelten Daten besteht, sind Gleichungen zur Abschätzung des Energieinhaltes eines Brennstoffes nützlich. Ausgehend von den brennbaren Bestandteilen im Brennstoff lassen sich Zusammenhänge zum Heiz- und Brennwert ableiten. Benötigt werden hierbei entweder die Elementarzusammensetzung oder der Anteil der flüchtigen Bestandteile und des fixen Kohlenstoffs (vgl. Kap. 3 Brennstoffanalysen). So wird bspw. mit Hilfe der Gleichung von Dulong (auch als Verbandsformel bezeichnet) der Heizwert des Brennstoffes aus den Heizwerten der Einzelelemente berechnet:

$$h_{u,an} = 33,9 \cdot \xi_{C,an} + 10,5 \cdot \xi_{S,an} + 121,4 \cdot \left( \xi_{H,an} - \frac{\xi_{O,an}}{8} \right) - 2,44 \cdot \xi_w \quad (\text{Gl. 1})$$

Durch eine statistische Anpassung dieser Gleichung an experimentelle Daten wurde von BOIE eine erweiterte Gleichung entwickelt.

$$h_{u,an} = 34,8 \cdot \xi_{C,an} + 93,9 \cdot \xi_{H,an} - 10,8 \cdot \xi_{O,an} + 10,5 \cdot \xi_{S,an} + 6,3 \cdot \xi_{N,an} - 2,44 \cdot \xi_w \quad (\text{Gl. 2})$$

Ähnliche Gleichungen sind auch für den Brennwert verfügbar, z. B. nach Mott & Spooner.

$$h_{o,wf} = 33,6 \cdot \xi_{C,wf} + 141,8 \cdot \xi_{H,wf} - (15,3 - 0,072 \cdot \xi_{O,wf}) + 9,41 \cdot \xi_{S,wf} \quad (\text{Gl. 3})$$

In Anlehnung an die Vorgehensweise von Dulong und Boie haben verschiedene Autoren weitere Gleichungen für den Heiz- und Brennwert entwickelt [z.B. 5]. Aus der Kohlecharakterisierung sind Gleichungen verfügbar, die den Heiz- oder Brennwert mit den flüchtigen

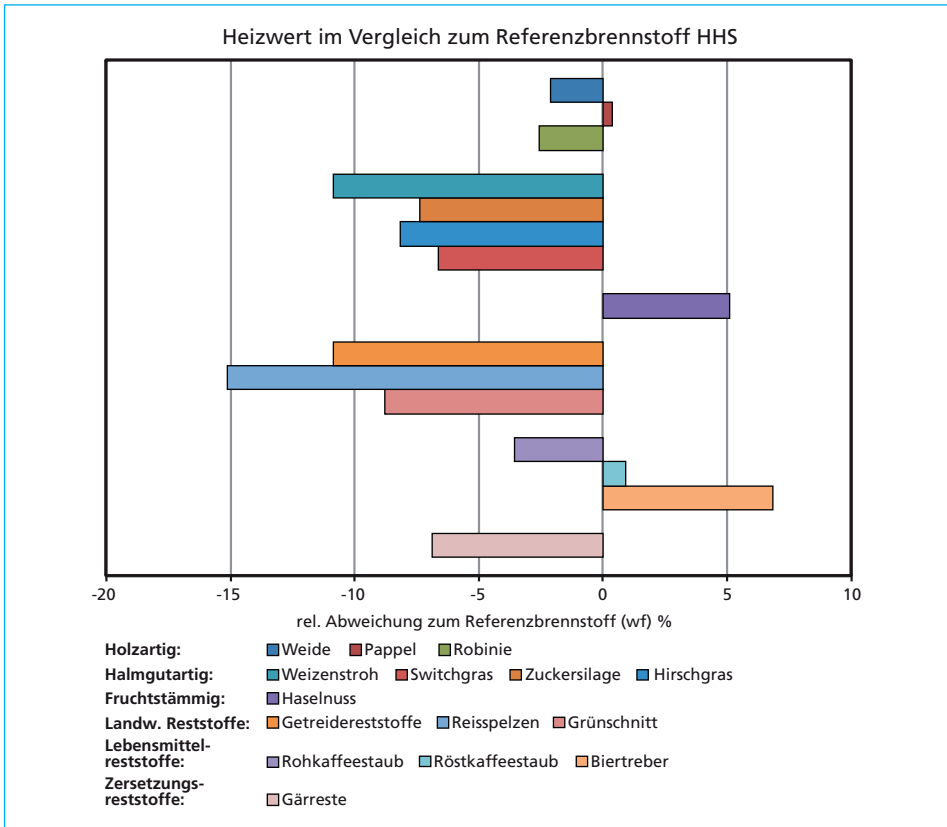


Abb. 6: Heizwertvergleich der untersuchten Biomassen

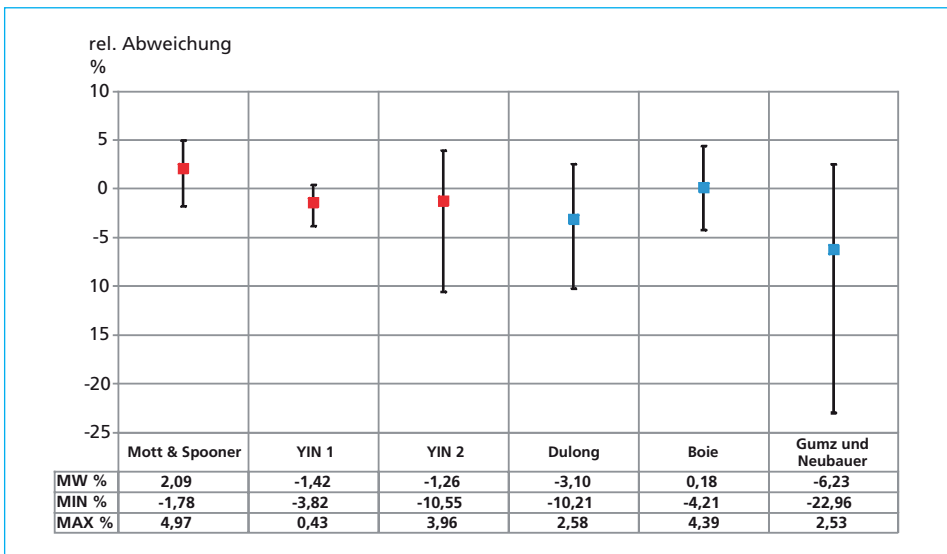


Abb. 7: Vergleich von Brennwert- und Heizwertformeln

Verbindungen oder dem Heizwert korrelieren (Auswahl siehe z.B. [6]). Aber auch hier haben Autoren für verschiedene Brennstoffe eine Anpassung an experimentelle Daten vorgenommen [z.B. 5].

$$h_{o,wf} = 29,49 \cdot \xi_{C,wf} + 82,50 \cdot \xi_{H,wf} \quad (\text{Gl. 4})$$

In Abbildung 7 sind die Mittelwerte und die Standardabweichung der rel. Abweichungen für die betrachteten Biomassen dargestellt. Vor allem die Brennwertformel nach [5] und die Heizwertformel von BOIE geben die gemessenen Daten recht gut wieder.

## 5. Ascheschmelzverhalten

Je nach Verfahrenskonzept und eingesetzter Reaktortechnik liegt die mineralische Substanz der zugeführten Brennstoffe unter den entsprechenden Reaktionsbedingungen entweder fest, flüssig oder dampfförmig vor.

Gasförmige Ascheverbindungen existieren in Abhängigkeit der mineralischen Zusammensetzung und Betriebsbedingungen in den meisten Fällen als intermediäre Phase. Durch Kondensation an Kühlflächen (Feuerraumwänden, Kesselbereiche) werden sie in Abhängigkeit der Temperatur, Stöchiometrie und Zusammensetzung i.d.R. zunächst flüssig und anschließend fest bzw. resublimieren und können je nach Zusammensetzung zu unerwünschtem Verschlacken an Feuerraumwänden, zur Belagsbildung und Korrosion an Kesselrohren führen. Um das Ascheschmelzverhalten in Abhängigkeit der Atmosphäre und Temperatur vergleichend zu bestimmen, existieren entsprechende Normen (CEN 15370-1 bzw. DIN 51730). Beide Verfahren werden in diesem Projekt eingesetzt, um mögliche Unterschiede im Ascheschmelzprozess zu untersuchen (zwei Forschungsstellen haben die Proben nach der CEN 15370-1 und die anderen beiden Partner nach der DIN 51730 untersucht). Abweichend von der nach DIN 51730 vorgeschriebenen Veraschungstemperatur von 815 °C nach DIN 51719 wurden mit einer Ausnahme bei Zuckerhirsesilage alle Aschen bei 550 °C nach CEN/TS 14775 hergestellt.

Beim Ascheschmelzverhalten werden vier charakteristische Temperaturen definiert: Sinterbeginn (SST), Erweichungstemperatur (DT), Halbkugeltemperatur (HT) und Fließtemperatur (FT). Die genaue Bestimmung ist der Norm zu entnehmen. Für die in Kapitel 1 genannten Biomassen wurden bei allen Partnern bei 550 °C unter oxidierenden Bedingungen die Aschen erzeugt und anschließend im Methodenvergleich das Ascheschmelzverhalten untersucht. Trotz der jeweils genormten Vorgehensweise gibt es erwartungsgemäß Unterschiede, hier dargestellt am Beispiel der Erweichungstemperatur (Abbildung 8).

Die Unterschiede sind häufig u. a. auf die nicht immer exakt mögliche optische Identifikation des Erweichungspunktes zurückzuführen. Dennoch liegen die Abweichungen in einem vertretbaren Rahmen. Auch der Methodenvergleich der CEN mit der DIN-Norm zeigt insgesamt - mit Ausnahme von Weizenstroh - eine zufriedenstellende Übereinstimmung.

Generelle Aussagen, dass z.B. die Erweichungstemperaturen holzartiger Biomasse gegenüber halmartigen Biomassen grundsätzlich höher seien, sind nicht zulässig, wie das Beispiel von HHS und Switchgras zeigt. Die Erweichungstemperatur von Switchgras liegt mit etwa 1.300 °C etwa 80 °C oberhalb der Temperaturen von HHS. Damit befinden sich diese Temperaturen in der Größenordnung von Werten für Steinkohle.

In Abbildung 9 sind die Ergebnisse für die Ermittlung des Ascheschmelzverhaltens unter reduzierenden (Mischung aus H<sub>2</sub> und CO<sub>2</sub>) und oxidierenden (Luft) Bedingungen für Aschen von Zuckerhirsesilage bei unterschiedlichen Veraschungstemperaturen von 550 °C und 815 °C dargestellt.



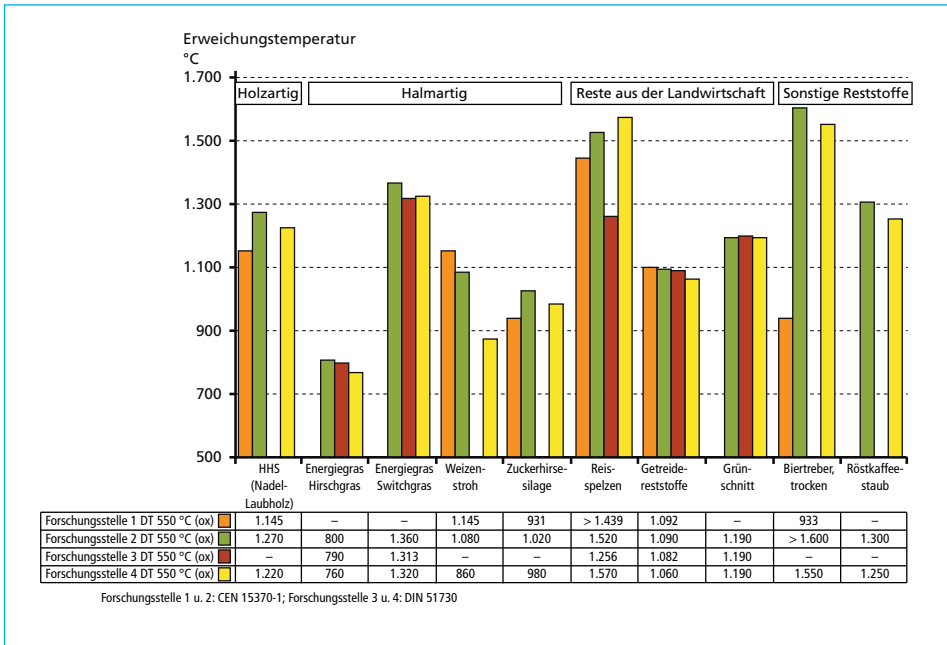


Abb. 8: Erweichungstemperaturen der Aschen, die bei den einzelnen Projektpartnern ermittelt wurden

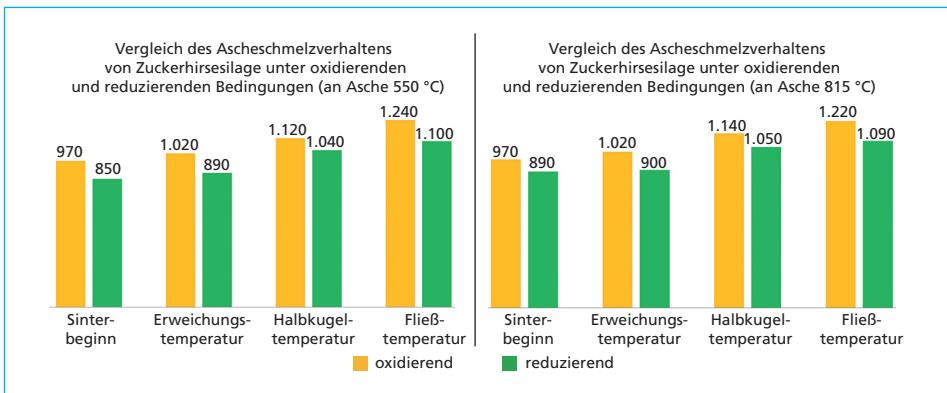


Abb. 9: Charakteristische Temperaturen für unterschiedliche Atmosphären

Die Biomassen wurden allerdings alle unter oxidierenden Bedingungen verascht. Insgesamt bestätigt die Auswertung die gängige Praxis, dass die charakteristischen Temperaturen, die unter reduzierenden Bedingungen gemessen wurden, im Mittel 100 °C unterhalb der Temperaturen liegen, die bei oxidierenden Bedingungen gemessen wurden. Diese Erfahrung findet sich auch bei Ergebnissen von 815 °C Veraschungstemperatur wieder.

Um die häufig aufwändigen und kostenintensiven Untersuchungen zum Ascheschmelzverhalten zu reduzieren, wurden Näherungsformeln mit den Bestandteilen der Asche, die üblicherweise im Rahmen einer Elementar- und Spurenanalyse ermittelt werden können,

abgeleitet und korreliert. Aus Mundus [7] ist beispielhaft in Abbildung 10 die Berechnung der Erweichungstemperatur im Vergleich mit einer Messung dargestellt. Je nach Brennstoff können die Abweichungen bis zu 400 °C wie im Falle des Birtreibers betragen.

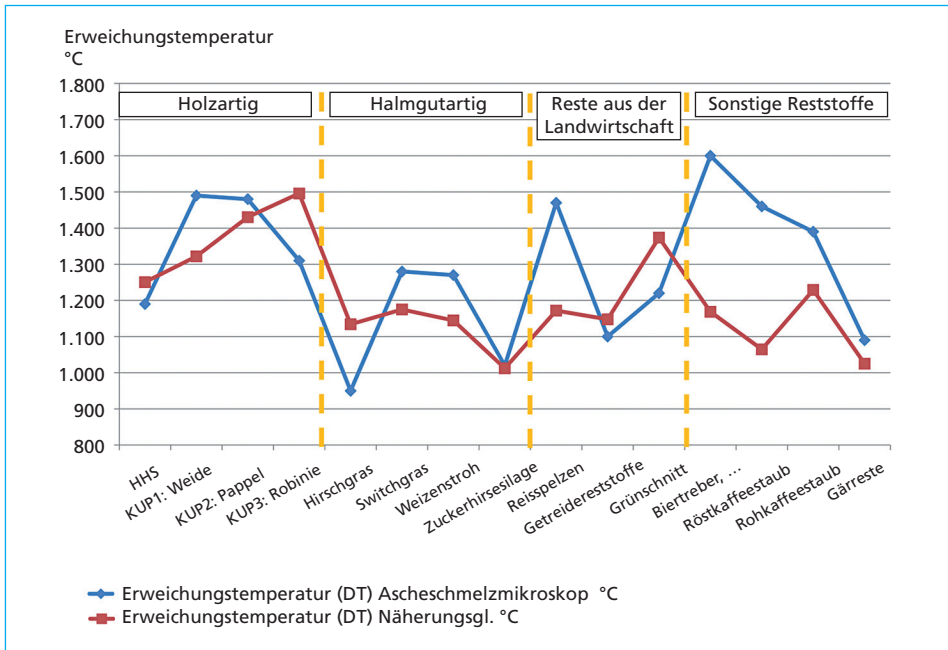


Abb. 10: Gemessene und korrelierte Erweichungstemperaturen

Quelle: Mundus, B.: Vorlesungsskript *Labor für Energietechnik*, FH Münster, 2009

Für eine Einschätzung, ob ein neuer Brennstoff in eine bestehende Anlage zur Substitution des Regelbrennstoffs eingesetzt werden sollte oder nicht, ist eine solche Abschätzung zu ungenau und eine alleinige Entscheidung auf dieser Datenbasis hinsichtlich des Ascheerweichungsverhaltens zu risikobehaftet.

Eigene Arbeiten vermindern die Abweichungen von den Messungen mit Ausnahme von HHS und Grünschnitt deutlich (Abbildung 11), dennoch sollte auch hier für belastbare Aussagen das Ascheschmelzverhalten experimentell bestimmt werden.

Die entsprechende Näherungsformel lautet:

$$\vartheta_{HT} = 1.055 - 5,6 ( K + Na + Fe + Mg ) + 6,8 ( Si + P ) + 9,5 ( Ca + Al ) - 50 \left( \frac{Cl_{BS}}{Cl_{BS} + S_{BS}} \cdot Cl_{BS} \right)$$

mit folgender Vorgehensweise

Normieren der Ascheoxide auf 100 Ma.-%

Massenanteile der reinen Elemente bestimmen

Gültigkeitsbereich:  $K + Na + Fe + Mg < 45 \text{ Ma.-%}$

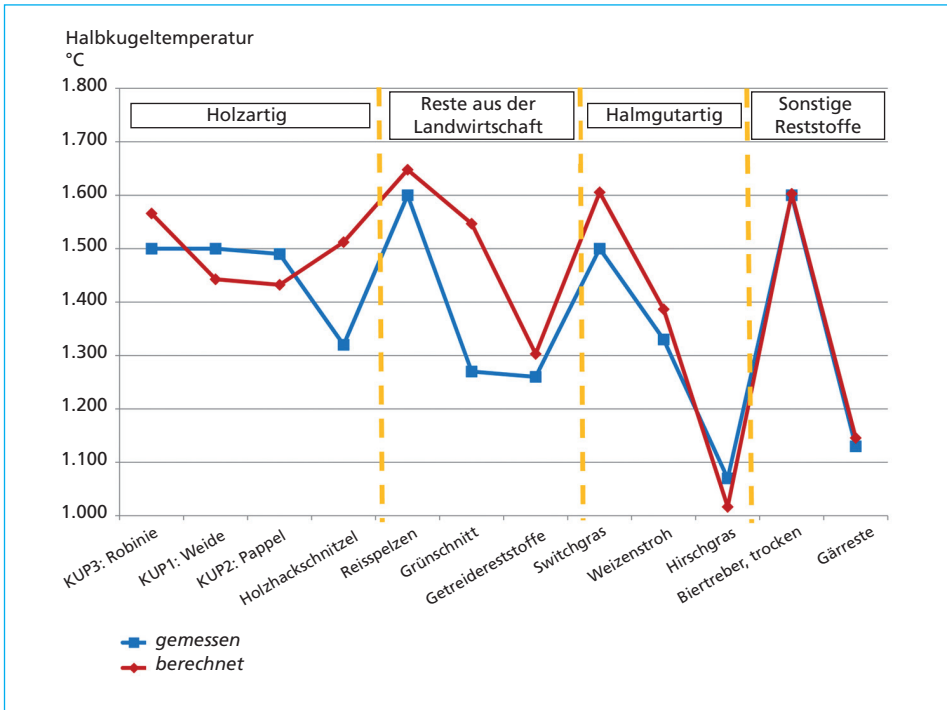


Abb. 11: Gemessene und korrelierte Halbkugeltemperaturen, ITC

Weshalb die Abweichungen für HHS und Grünschnitt so hoch sind, bleibt in weiteren Untersuchungen zu klären. Da in thermischen Prozessen jedoch in Abhängigkeit der lokalen Betriebsbedingungen sich unterschiedliche Atmosphären und Temperaturen sowie Freisetzungsraten insbesondere von  $\text{SO}_2/\text{SO}_3$  und Chlor ergeben, bleibt auch die experimentelle Ermittlung des Ascheschmelzverhaltens nach den entsprechenden Normen nur ein erster Schritt, um eine grobe Vorauswahl des Verfahrens treffen zu können. Weitere vertiefende Untersuchungen im Hinblick auf die prozessorientierte Bewertung in entsprechenden Reaktoren sind notwendig.

## 6. Abschätzung Verschlackungsrisiko

Aus der Praxis der Biomasseverbrennung in Biomasseheizkraftwerken (z. B. Altholzverbrennung, Strohverbrennung) ist die Bedeutung der aschebildenden Brennstoffkomponenten aus Betriebserfahrung hinlänglich bekannt [z.B. 8, 9]. So treten im Betrieb regelmäßige feuerungstechnische Probleme in Bezug auf Brennraumverschlackung und Korrosion auf. Die Ursachen hierfür sind komplex und hängen neben den Brennstoffeigenschaften auch von den Betriebsbedingungen und konstruktiven Eigenschaften der Anlage ab. Trotzdem wären quantifizierbare Kenngrößen zur Abschätzung des Verschlackungs- und Korrosionsrisikos hilfreich. Neben experimentellen Methoden, z.B. dem Ascheschmelzverhalten nach DIN CEN/TS 15730, sind aus der Kohlecharakterisierung auch Verschlackungs- und Korrosionskennzahlen bekannt [6]. Die Basis bilden dabei die Aschezusammensetzung oder die im Brennstoff enthaltenen Haupt- und Spurenelemente. So setzt beispielsweise der Slagging-Index die Summe der basischen zu den sauren Aschebestandteilen ins Verhältnis.

$$R_{B/S} = \frac{\xi_{Fe_2O_3} + \xi_{CaO} + \xi_{MgO} + \xi_{Na_2O} + \xi_{K_2O}}{\xi_{SiO_2} + \xi_{Al_2O_3} + \xi_{TiO_2}} \quad (Gl. 5)$$

In Bezug auf das Korrosionsverhalten ist das Schwefel-Chlor-Verhältnis weit verbreitet.

$$S/Cl = \frac{\xi_{S,BS}}{\xi_{Cl,BS}} \cdot \frac{M_{Cl}}{M_S} \quad (Gl. 6)$$

Für jede dieser Kennzahlen werden Bereiche definiert, die eine Gefährdungseinteilung in gering, mittel und groß angeben. Im Rahmen der Untersuchungen wurden bisher 13 Kennzahlen berücksichtigt. Bei den meisten Biomassen ist eine sehr starke Streuung des Gefährdungspotentials erkennbar. Ursache hierfür ist vor allem die Tatsache, dass die meisten Kennzahlen für den Brennstoff Kohle abgeleitet wurden. Aber die Komplexizitäten des Aschebildungsprozesses, der Verschlackung, Belagsbildung und Korrosion lassen sich nur schwer durch einfache Zusammenhänge abbilden.

## 7. Ausblick

Biomassen verschiedener Herkunft stellen Holzheizkraftwerke v.a. durch die anspruchsvollen chemischen Zusammensetzungen vor große Herausforderungen. Dies gilt auch für die oft als Holzersatz genannten KUPs. Um nicht die Feuerungen und Abgasreinigungen massiv umzustellen oder zu ergänzen wäre es hilfreich, durch Änderungen der Verfahrensführung der thermochemischen Konversion Abhilfe zu schaffen. Dazu werden im weiteren Projektverlauf intensive wissenschaftliche Arbeiten in verschiedenen Reaktoren durchgeführt, welche Temperaturen und Atmosphären (→ Pyrolyse, Vergasung, Verbrennung) variieren. Sollten dabei vielversprechende Ergebnisse herauskommen, sind großtechnische Versuche in kommerziellen Holzkraftwerken geplant.

### Danksagung

Die vorgestellten Ergebnisse entstammen dem Vorhaben Prozessorientierte Biomassebewertung, gefördert durch das BMWi als IGF-Vorhaben über die GVT unter dem Förderkennzeichen 17223 BG/1.

## 8. Verwendete Quellen

- [1] Deutsches BiomasseForschungsZentrum (DBFZ); Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft (TLL): Monitoring zur Wirkung des Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) auf die Entwicklung der Stromerzeugung aus Biomasse. Gefördert durch das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU), FKZ 03MAP138, März 2012
- [2] Transferstelle Bingen: Untersuchung von Biomasse- und Altholz(heiz)kraftwerken im Leistungsbereich 5 bis 20 MW<sub>el</sub> zur Erhöhung der Wirtschaftlichkeit. Gefördert durch VGB Power-Tech e.V., VGB-Nr. 302, Juni 2008
- [3] Gaderer, M.: Wärmeversorgung mit fester Biomasse bei kleiner Leistung. Dissertation an der TU München, Januar 2008
- [4] Kaltschmitt, M.; Hartmann, H.: Energie aus Biomasse-Grundlagen, Techniken, Verfahren. Berlin • Heidelberg: Springer-Verlag, 2001
- [5] Yin, C.-Y.: Prediction of higher heating values of biomass from proximate and ultimate analyses. Fuel 90, 2011, S. 1128-1132

- [6] Zelkowski, J.: Kohlecharakterisierung und Kohleverbrennung. VGB PowerTech Service, 2004
- [7] Mundus, B.: Vorlesungsskript *Labor für Energietechnik*. FH Münster, 2009
- [8] Spiegel, W.; Herzog, T.; Jordan, R.; Magel, G.; Müller, W.; Schmidt, W.: Korrosion in Biomasseverbrennungsanlagen und Strategien zur Minimierung. In: Thomé-Kozmiensky, K. J.; Beckmann, M. (Hrsg.): *Energie aus Abfall*, Band 5. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2008, S. 413-421
- [9] Frandsen, F. J.: Ash Formation, Deposition and Corrosion When Utilizing Straw for Heat and Power Production. Doctoral Thesis, DTU Chemical Engineering, 2011

# Wir sind Ihr kompetenter Partner bei der Produktion von Druck- und Onlinemedien

- Layout & Satz
- Kongresseinladungen
- Tagungsdokumentationen
- Zeitschriftendruck
- WebDesign

Als erste Münchner Druckerei haben wir bereits 1996 ein Qualitätsmanagementsystem nach ISO 9000 eingeführt. 2005 gehörten wir zu den Pionieren bei der Umsetzung des Prozessstandard Offsetdruck. Und seit dem Frühjahr 2008 setzen wir Papier aus vorbildlicher Forstwirtschaft mit zertifiziertem Nachweis ein.

Mediengruppe

**UNIVERSAL**

Grafische Betriebe München GmbH

Kirschstraße 16  
80999 München  
Tel. 089 548217-0  
[www.universalmedien.de](http://www.universalmedien.de)