

Matthias Kühle-Weidemeier, Katrin Büscher (Hrsg.)

# **Waste-to-Resources 2017**

## **7. Internationale Tagung MBA, Sortierung und Recycling**

Rohstoffe und Energie aus Abfällen

Tagungsband  
(Originalsprachenausgabe)

16. - 18. Mai 2017

Veranstalter

**wasteconsult**  
INTERNATIONAL

[www.wasteconsult.de](http://www.wasteconsult.de)



[www.asa-ev.de](http://www.asa-ev.de)

Gold Sponsor



[www.metso.com](http://www.metso.com)

Silber Sponsor

**Bollegraaf**  
RECYCLING SOLUTIONS

[www.bollegraaf.com](http://www.bollegraaf.com)



**Cuvillier Verlag Göttingen**  
Internationaler wissenschaftlicher Fachverlag



## **Waste-to-Resources 2017**





Matthias Kühle-Weidemeier, Katrin Büscher (Hrsg.)

# **Waste-to-Resources 2017**

## **7. Internationale Tagung MBA, Sortierung und Recycling**

**Rohstoffe und Energie aus Abfällen**

**Tagungsband**

**16. - 18. Mai 2017**



**Cuvillier Verlag Göttingen**  
Internationaler wissenschaftlicher Fachverlag



## **Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek**

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

1. Aufl. - Göttingen: Cuvillier, 2017

© CUVILLIER VERLAG, Göttingen 2017

Nonnenstieg 8, 37075 Göttingen

Telefon: 0551-54724-0

Telefax: 0551-54724-21

[www.cuvillier.de](http://www.cuvillier.de)

Alle Rechte vorbehalten. Ohne ausdrückliche Genehmigung des Verlages ist es nicht gestattet, das Buch oder Teile daraus auf fotomechanischem Weg (Fotokopie, Mikrokopie) zu vervielfältigen.

1. Auflage, 2017

Gedruckt auf umweltfreundlichem, säurefreiem Papier aus nachhaltiger Forstwirtschaft.

ISBN 978-3-7369-9533-8

eISBN 978-3-7369-8533-9

Unsere  
Erfahrung  
– Ihr Vorteil!



Metso Recycling ist auf die Entwicklung und Herstellung von Hochleistungsshreddern für Abfall und recycelfähiges Material spezialisiert. Mehr als 600 Anlagen weltweit und die Fokussierung auf F&E machen Metso Recycling zu einem der weltweit führenden Anbieter von Shreddersystemen für die Recyclingindustrie!

**Wenn Shredder – dann Metso sowohl Vorzerkleinerer als auch Feinzerkleinerer. Metso Recycling die Shredderexperten!**

Metso Denmark A/S, DK-8700 Horsens, Denmark, Tel.+45 7626 6400  
[recycling.info.dk@metso.com](mailto:recycling.info.dk@metso.com), [www.metso.com/recycling](http://www.metso.com/recycling)

# Bollegraaf

RECYCLING SOLUTIONS



## Bollegraaf Recycling Solutions

Turnkey recycling solutions for:

Single Stream

MSW

Plastic Waste

C&D Waste

C&I Waste

De-inking Waste

Waste-to-energy

At Bollegraaf Recycling Solutions we combine our extensive knowledge of the recycling industry with years of experience in building machines and installations of the highest quality. This excellent combination ensures we can provide you with the right equipment to increase your recycling capacity, lower operational costs, increase the quality of your output and ensure maximum ROI.

We know what you need to separate waste streams into valuable recyclables and RDF of the highest quality. All our equipment is built to meet your specific needs and wishes enabling you to produce against the lowest possible costs per tonne of waste, with the highest separation degree.

[bollegraaf.com](http://bollegraaf.com)



Bollegraaf Recycling Solutions

Tweede Industrieweg 1 9902 AM Appingedam The Netherlands

+31 596 654 333 [info@bollegraaf.com](mailto:info@bollegraaf.com)

Dieses Werk ist copyright geschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.

Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

[www.bollegraaf.com](http://www.bollegraaf.com)



# wasteconsult INTERNATIONAL

Beratung, Ingenieurplanung, Forschung und Wissenstransfer in den Bereichen  
Abfallwirtschaft – Abfallbehandlung – Deponien – Altlasten - Geotechnik



## Abfallbehandlung

Die Mitarbeiter und Kooperationspartner von Wasteconsult waren und sind maßgeblich an der Forschung, Anlagenentwicklung, Anlagenplanung und Optimierung der mechanisch-biologischen Abfallbehandlung und der Emissionskontrolle beteiligt.

## Deponietechnik und Altlasten

Wir verfügen über umfangreiche Erfahrungen bei

- Altlastenerkundung
- Sanierungsplanung
- Deponieabdichtung
- Betriebs- und Schüttkonzepte
- Deponieentgasung und Sickerwasserfassung,
- Monitoring und Nachsorge
- Photovoltaikanlagen



## Konferenzen

Die von uns regelmäßig veranstalteten Konferenzserien

- Waste-to-Resources
- Praxistagung Deponie

gehören zu den führenden Veranstaltungen ihres Themenbereiches.

## Internationale Projekte

Wasteconsult ist besonders international ausgerichtet und hat Projekt in / für Kunden aus Australien, Frankreich, Finnland, Großbritannien, Japan, Kroatien, Polen, Spanien, Türkei, und den USA abgewickelt.

Nutzen Sie unsere Erfahrung, mit der wir Sie beraten und für Sie planen können!

[www.wasteconsult.de](http://www.wasteconsult.de)   [info@wasteconsult.de](mailto:info@wasteconsult.de)   Tel. 0511 6558 1775



## Inhalt

<b>Grußwort von Bundesumweltministerin Barbara Hendricks</b>	1
<b><u>I Ressourcen- und Klimaschutz durch Kreislaufwirtschaft</u></b>	
<b>Klimaschutz durch Kreislaufwirtschaft e. V. – Wenn Worten Taten folgen</b> <i>Y. Busch, Verein Klimaschutz durch Kreislaufwirtschaft e.V., Iserlohn</i>	3
<b>Dekarbonisation und Energie-Erzeugung geht gleichzeitig. Die Zukunft ist klimapositiv!</b> <i>M. Schmid; R. Fröhlich; R. Stucki, Ökozentrum, Langenbruck, Schweiz</i>	12
<b><u>II Energetische Verwertung</u></b>	
<b>Stand der Mitverbrennung in Deutschland</b> <i>S. Flamme, S. Hams, Gütegemeinschaft Sekundäerbrennstoffe und Recyclingholz e.V., Münster</i>	24
<b>Rahmenbedingungen in der Kraftwerkwirtschaft für die Mitverbrennung von SBS</b> <i>S. Kappa, Lausitz Energie Kraftwerke AG, Cottbus</i>	34
<b>Co-incineration in cement plants</b> <i>M. Oerter, Forschungsinstitut der Zementindustrie GmbH, Düsseldorf</i>	44
<b>Solid recovered fuels: determination of the renewable content</b> <i>I. Zdanevitch, INERIS, Verneuil-en-Halatte, G. Remond, INDDIGO, Paris, G. Thonier, Deloitte Développement, Durable, Neuilly-sur-Seine, E. Poncelet, ADEME, Angers, Frankreich</i>	52
<b><u>III Verwertungsverfahren für Kunststoffe und Mischfraktionen</u></b>	
<b>Recycling von Kunststoffen – Möglichkeiten und Grenzen.</b> <i>M. Scriba, mtm plastics, Niedergerbra</i>	65
<b>Werkstoffliches Recycling durch Verölung</b> <i>N. Karpensky, C. Haupts, Recenso, Remscheid</i>	73
<b><u>IV Deponiekapazitäten</u></b>	
<b>Deponiekapazitäten in Deutschland</b> <i>H. Haeming, InwesD, Köln</i>	83



## **V Waste management and circular economy world wide**

- North America's First Circular Economy Framework - Challenges and Opportunities** 97  
*J. Cocker, Toronto, Ontario, Canada*
- Circular Economy in the U.S.: Business Opportunities for European Vendors of Recycling and Waste Conversion Technology** 111  
*I. Freesen, Freesen & Partner GmbH, Uedem*
- MSW management in Estonia: The current situation and future potential for energy recovery from sustainable sources.** 117  
*A. Clausen, RWTH Aachen University*

## **VI Waste Management in emerging countries**

- Adapted selective waste collection concepts for developing and emerging countries** 127  
*W. Pfaff-Simoneit, KfW Development Bank, Frankfurt*
- Municipal solid waste management in India - Challenges and potentials** 141  
*C. Speier, Leibniz University of Hannover*
- Integrated solid waste management in Electronic City** 155  
*V. Vidyaranya, Earth One, Bangalore, India*
- Mechanical biological waste treatment plant for Bangalore west zone** 168  
*M. Kuehle-Weidemeier, Wasteconsult international, Langenhagen, K. Ketelsen, K. Kanning, iba GmbH, Hannover*
- Impressions from research project on the climate protection potential of integrated waste management for Indian cities** 179  
*A. Schwetje, Umweltbundesamt, Dessau*
- Current status and perspectives of material specific treatment of biogenic waste in China.** 186  
*M. Nelles, A. Lemke, A. Nassour, A. El Naas, Universität Rostock*
- Brazilian waste management and its symbiosis to the cement market** 207  
*C. Pereira, K. Fricke, O. Kasper, TU Braunschweig, Terra Melhor Ltda ME, São José dos Campos, Brazil*
- Composting facility for Daressalaam** 215  
*F. Kölsch, Dr. Kölsch, S. Lübben, Geo- und Umwelttechnik GmbH, Braunschweig, Stadtreinigung Hamburg*



## **VII Utilization of organic waste and waste fractions 1**

**Autothermal fast pyrolysis of woody residues and wastes for the production of wood adhesives** 226

*D. Li, F. Berruti, C. Briens, Western University, London, Ontario, Canada*

**A study of the process of obtaining alcoholic fraction from the waste of food, agricultural and woodworking industry** 238

*M. Marufdjan, A. Akmal, Tashkent state technical University, Uzbekistan*

## **VIII Verwertungsverfahren für Kunststoffe, Polymere und Mischfraktionen 2**

**Biobasierte Kunststoffe im Post-Consumer-Recyclingstrom** 244

*J. Bauer, Knoten Weimar Internationale Transferstelle Umwelttechnologien GmbH, Institut an der Bauhaus-Universität Weimar*

**Mechanisches Recycling von Polylactid Abfall** 254

*D. Bellušová, S. Mauer, H.-J. Endres, Hochschule Hannover*

**Flexible Verfahrenstechnik für die mechanische Aufbereitung komplexer Stoffströme** 266

*K. Bokelmann, T. Hartfeil, C. Gellermann, R. Stauber, Fraunhofer-Institut für Silicatforschung ISC, Alzenau*

## **IX Rechtliche Rahmenbedingungen der Kreislaufwirtschaft**

**BVT – Merkblatt Abfallbehandlung – Abschluss des Prozesses und Auswirkungen auf die MBA** 279

*W. Butz, Umweltbundesamt, Dessau, J. Ebbing, Institut für Entsorgung und Umwelttechnik (IFEU), Iserlohn*

**EuGH und Vergaberecht – Aktuelle Rechtsprechung** 304

*N. Hildebrandt, WMRC Rechtsanwälte, Berlin*

**Rechtliche Rahmenbedingungen des EEG 2017 für Abfallvergärungsanlagen** 312

*F. Strippel, Fachverband Biogas e.V., Freising*

**Konsequenzen der deutschen TA Luft 2017 und Düngeverordnung auf biologische Abfallbehandlungsanlagen** 321

*C. Cuhls, Hochschule Magdeburg-Stendal, Magdeburg*

**Das neue Abfallverzeichnis und die POP-Stoffe** 330

*B. Kummer : Umweltkommunikation GmbH, Rheinbreitbach*



## **X Allgemeine und betriebliche Aspekte der Kreislaufwirtschaft**

- A method for forecasting waste quantities** 338  
*B. Zwisele, C. Böhm, ARGUS GmbH, Berlin*
- Der Markt für Gewerbeabfälle in Deutschland bis 2025** 351  
*J. Gatena, trend:research GmbH, Bremen*
- Personalentwicklung in der Abfallwirtschaft** 359  
*K. Gellenbeck, INFA GmbH, Ahlen*
- Fast-Track Notifications – simplifying waste shipments of in-out material for recycling** 366  
*C. Slijkhuis, Müller-Guttenbrunn Gruppe, Amstetten, Österreich*

## **XI Ansätze zum Ausbau der stofflichen Verwertung**

- Möglichkeiten zur verstärkten stofflichen Verwertung von Stoffströmen aus der MBA.** 372  
*M. Kuehle-Weidemeier, Wasteconsult international, Langenhagen*
- Ressourcenwirtschaft durch die stoffliche Nutzung von Reststoffen** 388  
*T. Gruben, J. Martínez Gómez, Hochschule Trier / Umwelt-Campus Birkenfeld, Birkenfeld*
- Storage facility private households: Utilizing unexploited potential** 398  
*R. Brüning, J. Wolf, Dr. Brüning Engineering UG, Brake*

## **XII Waste analytics**

- Challenges for an accurate characterization of waste** 409  
*O. Kasper, C. Pereira, Terra Melhor Ltda ME, São José dos Campos, Brazil, TU Braunschweig*
- Characterization of municipal solid waste by particle size and pilot sorting tests** 421  
*Y. Bernard, M.-A. St-Pierre, M. Daigle, Centre de recherche industrielle du Québec (CRIQ), Canada*
- Current research projects and status of the development of fast in process analysis** 431  
*H. Itzel, Dr. HH. Itzel Management & Consulting GmbH, Munich*
- In seconds on-line measurement techniques for liquids, pastes, gases and vapors** 439  
*C. Buck, Dr. Buck Prozess- und Onlineanalytik, Darmstadt*



### **XIII MBT technology**

- Development of an optimization model for the design of MBT processes under final product constraints** 445  
*C. Girard, L. Spreutels, R. Legros, Polytechnique Montreal, Canada*
- Evaluation of moisture removal in bio-drying process with auto-controlled aeration system** 460  
*J.-R. Park, D.-H. Lee, S.-B. Choi, R. Guo, G.-Y. Ham, S.-J. Bae, University of Seoul, South Korea*
- Project Report of the MBT Jiangsu – Hightech Waste Processing for China** 471  
*A. Moeller, Redwave, Wetzlar*

### **XIV MBT technique presented by suppliers**

- Flexible and compact system for the efficient treatment of organic waste for biogas production** 478  
*R. Zobel, Hugo Vogelsang Maschinenbau GmbH, Essen Old.*
- Implementation of anaerobic treatment into Mechanical Biological Treatment Plants (MBT)** 487  
*A. Huber, STRABAG Umwelttechnik GmbH, Dresden*
- $T_{low}$  process AD for chicken manure** 496  
*A. Himmelstoss, AEV Energy, Dresden*
- Think twice before shredding! Bagsplitter for MSW** 511  
*L. Funes, R. Hungermann, Matthiessen Lagertechnik, Krempe*
- Innovative Förder- und Steilfördertechnik in modular Bauweise** 520  
*A. Veltmann, VHV Anlagenbau GmbH, Hörstel*
- Drastische Reduzierung von Abfallströmen im Glasrecycling durch den Einsatz hocheffizienter Rückgewinnungsstufen** 524  
*E. Lüth, Mogensen GmbH & Co. KG, Wedel*
- Waste sorting plant Medina** 537  
*T. Dippert, FHF Anlagentechnik, Bad Oeynhausen*
- Trocknungsanlagen in Recyclingprozessen** 541  
*M. Trojosky, ALLGAIER Process Technology GmbH, Uhingen*
- The Malta North Waste Treatment Plant (MNWTP) - Co-digestion of municipal solid waste, manure and chicken dung.** 550  
*S. Schulte, O. Haub, O. Muck, BTA International GmbH, Pfaffenhofen, Germany, T. Faria, Efacec Engenharia e Sistemas, S.A., Porto Salvo, Portugal*



**Kompogas® Dry Anaerobic Digestion and BioMethan Gas Upgrading Technologies in modern MBTs to Produce Carbon-Neutral Vehicle Gas** 560  
*L. Heer, Hitachi Zosen Inova AG, Zurich, Schweiz*

**Production of clean compost out of mixed MSW: A giant leap towards zero waste** 574  
*L. De Baere, W. Six, B. Mattheeuws, OWS nv, Gent, Belgium*

## **XV Emissionsminderung**

**Effektive Geruchseliminierung durch das CSO Terminodour™ System** 588  
*J. Stockinger, CSO Technik Ltd., Bough Beech, Edenbridge, UK*

**Kombinierte Abscheidung von Feinstäuben und Schadgasen bei der energetischen Verwertung von biogenen Reststoffen** 598  
*R. Bindig, C. Thiel, I. Hartmann, DBFZ Deutsches Biomasseforschungszentrum, Leipzig, F. Prill, H.-J. Schmid, S. Schiller, Universität Paderborn*

**Emission reduction in the energetic utilization of agricultural residues - combined reduction of PM and NOx.** 612  
*M. König, I. Hartmann, M. Matthes, DBFZ, Leipzig*

## **XVI Verwertung organischer Abfälle und Abfallfraktionen 2**

**Störstoffmanagement in biogenen Abfällen** 626  
*M. Wellacher, Montanuniversität Leoben, Österreich, A. Kunter, Komptech GmbH, Frohnleiten, Österreich*

**Störstoffabtrennung bei der Aufbereitung von Bioabfällen vor der Vergärung** 641  
*W. Müller, Universität Innsbruck, Österreich*

**Abfallstrombehandlung um zuverlässig Wasser und Biomethan für den Transportsektor zu gewinnen und Treibhausgasemissionen zu mindern** 654  
*G. Sánchez Santos, Barcelona, Spanien*

## **XVII Verwertung organischer Abfälle und Abfallfraktionen 3, Kurzbeiträge**

**Herstellung von Aktivkohle für Umweltsanierungen aus Biomasse** 659  
*A. Colomba, F. Berruti, C. Briens, Western University, London, Ontario, Kanada*

**Vorbereitung neuer Aktivkohle aus Olivenabfall mittels sequenzieller hydrothermaler Karbonisierung und Aktivierung mit KOH und Dampf** 672  
*G. Enaime, A. Bacaoui, A. Yaacoubi, Cadi Ayyad University, Marrakech, Morocco, M. Wichern, M. Lubken, Ruhr-Univ. Bochum*



<b>Hochwertige biogene Kieselsäure aus landwirtschaftlichen Rückständen</b>	676
<i>T. Schliermann, I. Hartmann, DBFZ, D. Schneider, S. Wassersleben, D. Enke, Univ.Leipzig, T. Jobst, Umwelt- und Gebäudetechnik 2000 GmbH, A. Lange, F. Roelofs, Chemiewerk Bad Köstritz GmbH</i>	
<b>Einfluss von unterschiedlichen Kohlenstoffquellen inklusive flüssigen Zusätzen aus Vergärung bzw. Kompostierung auf die Aufreinigung von Deponiesickerwasser</b>	688
<i>C. Steiner, S. Schröder, M. Balsam, C. Wolf, P. Beese-Vasbender, M. Denecke, A. Rehorek, TH Köln, Forschungsgemeinschaft :metabolon, Lindlar</i>	
<b><u>XVIII Verwertung mineralischer Abfälle</u></b>	
<b>Erstellung eines Ressourcenkatasters im Wohngebäudebereich</b>	699
<i>Ö. Özdemir, K. Krause, A. Hafner, Ruhr-Universität Bochum</i>	
<b>Rückgewinnung kritischer Rohstoffe aus Produktionsausschüssen der Spezialglasindustrie mittels Gasphasen-Reaktion</b>	716
<i>G. Homm, K. Kazmierczak, C. Gellermann, R. Stauber, Fraunhofer-Projektgruppe IWKS des Fraunhofer ISC in Alzenau und Hanau</i>	
<b>Wiederverwendung von Bauteilen aus dem Hochbau</b>	729
<i>A. Lieberum, Bundesverband bauteilnetz Deutschland e.V., Bremen</i>	
<b><u>XIX Posters</u></b>	
<b>Supercritical water gasification in pilot-scale unit ZAHYKORMA</b>	738
<i>M. Svab, E. Purkarova, Dekonta, a.s., Dretovice, University of Chemistry and Technology, Prague, Czech Republic</i>	
<b>Monitoring of biofilters in the context of Czech legislation</b>	744
<i>K. Vondrakova, M. Sir, J. Sedlacek, University of Chemistry and Technology Prague, Puralab s.r.o., Prague, Czech Republic</i>	
<b>Home composting of vegetable and fruit scraps</b>	750
<i>H. Guven, Istanbul Technical University, Istanbul, Turkey</i>	



## Hinweis

Dieser Tagungsband wurde durch Wasteconsult international, Dr. Kühle-Weidemeier mit großer Sorgfalt zusammengestellt. Fehler sind trotzdem nicht auszuschließen. Für die Richtigkeit der Angaben in diesem Buch wird von Wasteconsult, der ASA und den Verfassern keinerlei Haftung oder Gewährleistung übernommen. Die Verantwortung für den Inhalt der Beiträge liegt bei den Autoren selbst.

Sofern in den Beiträgen Markennamen verwendet wurden, bestehen dafür möglicherweise Schutzrechte, auch wenn darauf nicht ausdrücklich hingewiesen wird.



## **Grußwort für den Tagungsband zur 7. Internationalen Tagung MBA, Sortierung und Recycling**

**(16.-18. Mai 2017 in Hannover)**

Sehr geehrte Teilnehmerinnen und Teilnehmer,

unsere Wirtschaft benötigt die kontinuierliche Versorgung mit Rohstoffen. Und das gilt nicht nur für uns, sondern für alle Länder. Gleichzeitig sehen wir uns natürlichen Grenzen für den weltweiten Ressourcenverbrauch gegenüber.

Die Umweltorganisation „Global Footprint Network“ berechnet seit dem Jahr 2006 jährlich den Tag, an dem die Weltbevölkerung so viele ökologische Ressourcen verbraucht hat, wie unser Planet in einem Jahr regeneriert. Im Jahr 2006 fiel dieser „Earth Overshoot Day“ auf den 24. August. Im letzten Jahr, also zehn Jahre später, war es bereits der 8. August.

Die weltweite Tendenz geht in die falsche Richtung, als ob wir die Ressourcen von zwei oder drei Erden zur Verfügung hätten. Es ist zweifellos eine Menschheitsaufgabe, für demnächst 8 oder 9 Milliarden Menschen und deren steigenden Bedarf an Ressourcen eine Lösung innerhalb der planetaren Grenzen zu finden.

Die gute Nachricht ist: Die Aufgabe ist lösbar. Die nötigen Instrumente sind vorhanden, wir müssen sie aber konsequent nutzen. Wir müssen den Einsatz von Ressourcen noch viel stärker von der wirtschaftlichen Entwicklung entkoppeln als bisher. Wir haben bereits mit dem Deutschen Ressourceneffizienzprogramm „ProgRess“ den Weg zu einer schonenden Nutzung unserer Ressourcen eingeschlagen – übrigens als einer der ersten Staaten der Welt!

Durch Recycling und die Kreislaufführung von Stoffen werden inzwischen rund 14 Prozent des Bedarfs an nicht energetischen Rohstoffen durch Sekundärrohstoffe gedeckt. Diesen Wert wollen wir weiter steigern.

Noch in dieser Legislaturperiode will die Bundesregierung deshalb zentrale Weichenstellungen im Bereich der Kreislaufwirtschaft vornehmen, etwa die Gewerbefallverordnung, das Verpackungsgesetz sowie die Klärschlamm-Verordnung.



Auf europäischer Ebene setzen wir uns für ehrgeizige Ziele im Rahmen des Paketes zur Kreislaufwirtschaft ein. Es lohnt sich: Die EU-Kommission beziffert die erzielbaren Vorteile des Paketes auf EU-weit rund 24,5 Milliarden Euro. Erwartet wird darüber hinaus die Schaffung von 140.000 Arbeitsplätzen allein in der Abfallwirtschaft und eine Minderung der Treibhausgas- Emissionen um 500 Millionen Tonnen CO<sub>2</sub>- Äquivalente.

Die 7. Internationale Tagung MBA, Sortierung und Recycling widmet sich innerhalb ihres breit gefächerten Themenfeldes wichtigen Fragen des Ressourcenschutzes. Sie bietet den in- und ausländischen Gästen sowie den Unternehmen, die die Tagung mit einer Fachausstellung begleiten, eine ausgezeichnete Plattform zum Wissens- und Techniktransfer.

Als Schirmherrin wünsche ich Ihnen interessante Diskussionen und der Tagung einen erfolgreichen Verlauf.

Ihre

Barbara Hendricks

Bundesministerin für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit



# **Klimaschutz durch Kreislaufwirtschaft e.V. Wenn Worten Taten folgen**

**Yvonne Busch**

Klimaschutz durch Kreislaufwirtschaft e. V., Iserlohn, Germany

## **Climate protection through recycling (circular economy) e.V. Turn words into deeds**

### **Abstract**

Die Brancheninitiative „Klimaschutz durch Kreislaufwirtschaft e.V.“ ist ein Zusammenschluss aller maßgeblichen Verbände der Abfall- und Recyclingwirtschaft sowie größerer und kleinerer privater und kommunaler Entsorgungsunternehmen und anderer Akteure aus NRW. Die Entsorgungswirtschaft in NRW hat sich mit der Gründung des Vereins zum Ziel gesetzt, die klimarelevanten Innovationen und Technologien, Dienstleistungen, Projekte und Ziele der Branche unter diesem Dach gemeinsam weiterzuentwickeln und damit gleichzeitig auch das Dekaden-Projekt „KlimaExpo.NRW“ der nordrhein-westfälischen Landesregierung nachhaltig zu unterstützen. Damit soll der erfolgreiche Transformationsprozess der Entsorgungswirtschaft fortgeführt und die bisherigen und signifikanten Beiträge der Kreislaufwirtschaft zum Klimaschutz gesichert und weiter ausgebaut werden.

### **Inhaltsangabe**

Der vorliegende Text befasst sich zunächst mit den Branchenmerkmalen in NRW. Dabei wird aufgezeigt, was die Abfall- und Recyclingbranche in den letzten Jahren verändert und vorangetrieben hat. Daraus hat sich der Verein Klimaschutz durch Kreislaufwirtschaft e.V. mit dem Ziel, technologische Entwicklungen und Leistungen im Klimaschutz für ein breites nationales sowie internationales Publikum sichtbar zu machen, gebildet. Durch den Verein soll auch der Austausch zwischen den Unternehmen, Verbänden und weiteren Akteuren der Abfall- und Recyclingwirtschaft, die sich aktiv mit dem Klimaschutz befassen, gefördert werden. Die Veränderungen der Branche sowie die Vereinsgründung machen deutlich, warum der Klimaschutz durch die Kreislaufwirtschaft wichtig geworden ist. In Verbindung mit der KlimaExpo.NRW wird die Kreislaufwirtschaft zum Expo-fähigen Format, mit dem erfolgreiche Projekte einem breiten Publikum bis hin zur internationalen Ebene verständlich und erfahrbar gemacht und zusätzliches Engagement für den Klimaschutz erzeugt werden soll.

Im zweiten Abschnitt wird die „Route der Kreislaufwirtschaft“ vorgestellt. Diese wurde vom Verein entwickelt, um zum einen Wissen über die Zusammenhänge zwischen Kreislaufwirtschaft und Klimaschutz zu vermitteln und zum anderen, um neue Technologien oder Projekte aus der Branche einer breiten Öffentlichkeit vorzustellen. Die einzelnen inhaltlichen Schwerpunkte der Route gliedern sich thematisch entlang der Wertschöpfungskette der Kreislaufwirtschaft.



## Keywords

Klimaschutz, Kreislaufwirtschaft, Klimaschutz durch Kreislaufwirtschaft, Abfall- und Recyclingbranche, CO<sub>2</sub>-Minderung, Klimaschonende Technologien, Klima- und Ressourcenschutz, KlimaExpo.NRW

# 1 Klimaschutz durch Kreislaufwirtschaft

## 1.1 Der Wandel der Abfall- und Recyclingbranche

Die deutsche Abfall- und Recyclingbranche hat in den letzten 25 Jahren durch den Transformationsprozess von der Deponie- zur Kreislaufwirtschaft Treibhausgase in Höhe von rund 60 Mio. Tonnen CO<sub>2</sub>-Äquivalenten (CO<sub>2</sub>-Äq) eingespart. Während die Abfallwirtschaft im Jahr 1990 noch fast 40 Mio. Tonnen CO<sub>2</sub>-Äq emittierte, hat die Kreislaufwirtschaft im Jahr 2006 bereits rund 18 Mio. Tonnen CO<sub>2</sub>-Äq. Vermieden (VGL. BDE, ITAD, VDMA, 2016). Diesen Wandel hat die Branche auf drei Wegen erreicht:

**Vermeidung von Treibhausgas-Emissionen:** Schließung von Deponien

**Verminderung von Treibhausgas-Emissionen:** Energie- und ressourceneffiziente Produktion sowie umfassendes und hochwertiges Recycling

**Energiegewinnung aus Abfällen:** Thermische Abfallverwertung, Ersatzbrennstoff- sowie Biomasse-Kraftwerke und Vergärung von biologischen Abfällen

## 1.2 Gründung des Vereins Klimaschutz durch Kreislaufwirtschaft e.V.

Der Verein Klimaschutz durch Kreislaufwirtschaft e.V. möchte in erster Linie aufzeigen, was die Kreislaufwirtschaft in Nordrhein-Westfalen zur Minderung von Klimagasen beiträgt. Vereinsmitglieder sind Akteure der Branche, die mit innovativen Technologien entlang des Wertstoffkreislaufs den Klimaschutz voranbringen wollen. Die Branche hat in den letzten 25 Jahren gezeigt, wie Klimaschutz zum Fortschrittmotor werden kann. Mit einem erfolgreichen Transformationsprozess hat die Kreislaufwirtschaft dazu beigetragen, die CO<sub>2</sub>-Emissionen in Deutschland seit 1990 um 20 Prozent zu reduzieren (VGL. BDE, ITAD, VDMA, 2016). Der damit verbundene Aufbau hochqualifizierter Systeme zur stofflichen und energetischen Abfallverwertung hat nicht nur wichtige Beiträge zur Energie- und Ressourceneinsparung gebracht, sondern auch dazu geführt, dass die Branche sich spezialisiert sowie überdurchschnittliche Wachstumsraten erreicht hat und mit 62.000 Beschäftigten heute eine der wichtigsten Branchen der Umweltwirtschaft in NRW ist (VGL. MKULNV, 2015).



### **1.3 Klimaschutz durch Kreislaufwirtschaft**

Die Kreislaufwirtschaft in Nordrhein-Westfalen zeichnet sich durch Wirtschaftskraft, Innovationsfähigkeit und eine flächendeckende Präsenz der Unternehmen aus. Eine gute Voraussetzung, um das „Gesamtsystem Kreislaufwirtschaft“ projektbezogen zu präsentieren. Die Kreislaufwirtschaft präsentiert sich dabei als Partner der KlimaExpo.NRW: Die Initiative der Landesregierung macht sowohl erfolgreiche Klimaschutzprojekte und -akteure einem breiten Publikum bis hin zur internationalen Ebene verständlich als auch erfahrbar und fördert dadurch zusätzliches Engagement für den Klimaschutz.

Die KlimaExpo.NRW und der Verein „Klimaschutz durch Kreislaufwirtschaft e.V.“ sind offizielle Partner und entwickeln gemeinsam Kommunikationsmaßnahmen im Klimaschutz. Zur Unterstützung der Ziele der KlimaExpo.NRW plant die Brancheninitiative Veranstaltungen und umweltpädagogische Maßnahmen, regt Unternehmen zum Engagement für die KlimaExpo.NRW an und konzipiert Themenrouten zu Wertschöpfungsstufen und Verfahren der Kreislaufwirtschaft in Nordrhein-Westfalen.

## **2 Themenroute der Kreislaufwirtschaft - die Kreislaufwirtschaft „erlebbar“ und „begehbar“ machen**

Die Konzeption und Realisierung von Themenrouten gehört zu den zentralen Wirkungsbereichen der KlimaExpo.NRW. In Anlehnung an die guten Erfahrungen des Landes NRW mit der internationalen Bauausstellung Emscher Park, welche ebenfalls als Dekaden-Projekt angelegt war, sollen thematisch zusammenhängende Projekte und Standorte in NRW zu Routen zusammengefasst werden, die von interessierten Besuchern gezielt ausgewählt und angesteuert werden können. Vergleichbare Themenrouten werden von der "Klimametropole Ruhr 2022" durch die "Routen der Innovationen" und die "Route der Energie" in die KlimaExpo.NRW eingebracht.

Diese Grundidee wird von der Brancheninitiative "Klimaschutz durch Kreislaufwirtschaft e. V." übernommen. Das Ziel der "Route der Kreislaufwirtschaft" besteht darin, am Beispiel verschiedener innovativer Projekte, Anlagen oder auch Standorte, die jeweils stellvertretend für einzelne Schritte der Kreislaufwirtschaft stehen, deutlich zu machen, wie eine moderne Kreislaufwirtschaft funktioniert und welche Klimaschutz-Potentiale in einer funktionierenden Kreislaufwirtschaft realisiert werden können. Im Folgenden werden die insgesamt sechs Themenschwerpunkte der Route entlang der Wertschöpfungskette erläutert. In den nachfolgenden Abbildungen wird zum einen unsere Landkarte mit einer ersten Reihe von verorteten Projekten unserer „Themenroute der Kreislaufwirtschaft“ abgebildet (1) und zum anderen die Wertschöpfungskette der Kreislaufwirtschaft mit unseren sechs Themenschwerpunkten, die grafisch hervorgehoben sind (2).





## 2.1 Schwerpunkt 1:

### **Forschung und Entwicklung, Abfallvermeidung und -trennung**

Die "Route der Kreislaufwirtschaft" beginnt zunächst mit der Geschichte der geordneten und umweltgerechten Abfallentsorgung. Dabei werden in anschaulicher Weise die Wechselwirkungen zwischen der Entwicklung unserer Siedlungsstrukturen und den daraus immer wieder resultierenden organisatorischen und technologischen Veränderungen der Abfallentsorgung im Zeitverlauf vorgestellt. Wie in der heutigen Zeit Abfall vermieden und richtig getrennt werden kann, soll in so genannten "außerschulischen Lernorten" praxisnah erfahrbar werden. Ziel ist es dabei Schülern und anderen Besuchergruppen nachhaltiges Verhalten im Bereich Abfallvermeidung und sortenreine Abfalltrennung zu vermitteln. Zudem ist in den letzten Jahren auch eine Lernlandschaft entstanden, in der Kindergartenkinder, Schüler, Jugendliche und Erwachsene die Möglichkeit haben, alles Wissenswerte rund um die Themen Abfallvermeidung, Klimaschutz und Recycling zu erfahren. Wichtig für die Kreislaufwirtschaft ist neben der Wissensvermittlung auch die Erzeugung von Wissen, also die Forschung über die "richtigen" Wege des Abfalls.

## 2.2 Schwerpunkt 2:

### **Erfassung, Sammlung und Transport von Abfällen**

Der Weg vom Abfall zum Produkt beginnt mit dem Wurf in die Mülltonne. Im Gegensatz zu der klassischen und mobilen Variante führen bspw. Unterflurcontainer, die in der Route vorgestellt werden, zu einer CO<sub>2</sub>-Einsparung durch eine verbesserte Mülltrennung und eine optimierte Logistik. Ist die Mülltonne oder der Unterflurcontainer befüllt, steht der Transport der Abfälle an. Zur Reduzierung der hier anfallenden Emissionen trägt das weltweit erste Hybrid-Entsorgungsfahrzeug bei, welches in der Route benannt wird, da es während der Müllsammlung mit Bremsenergie betrieben wird. Diese Fahrzeuggeneration schaltet beim Sammeln den Fahrgestellmotor vollständig ab und wird dann elektrisch angetrieben und gebremst. Eine weitere energiesparende Option, die in der Route veranschaulicht wird, ist ein Abfallsammelfahrzeug bei dem die Batterie während der Nacht über das Stromnetz aufgeladen wird. Der Motor wird nur im Fahrbetrieb verwendet, daher erfolgt im Sammelbetrieb ein völlig lautloser und emissionsfreier Betrieb. Durch intelligente Logistikkonzepte können zudem weite Transportwege mit dem LKW vermieden werden. Ein Konzept, das in der Route dargestellt wird, ist die Restmüllverlagerung auf die Schiene. Dies spart nicht nur den Einsatz von Müllfahrzeugen, sondern reduziert auch den Dieserverbrauch pro Jahr. Nach dem Transport stehen für die weitere Behandlung des Hausmülls grundsätzlich zwei Optionen zur Verfügung:



- Die mechanisch-biologische Behandlung mit dem Ziel, Wertstoffe auszusortieren und über den biologischen Teil eine deponiefähige Restfraktion zu erhalten
- Die thermische Abfallbehandlung mit dem Ziel, Strom und Wärme zu gewinnen und die in den Schlacken enthaltenen Metalle wiederaufzubereiten

## 2.3 Schwerpunkt 3:

### **Mechanisch-biologische Behandlung, Kompostierung und Vergärung**

Seit Mitte des Jahres 2005 dürfen in Deutschland keine unvorbehandelten Abfälle mehr auf Deponien abgelagert werden. Für die Vorbehandlung von Abfällen aus Haushalten und Gewerbe stehen mit der thermischen Abfallbehandlung in Müllverbrennungsanlagen und der mechanisch-biologischen Behandlung von Abfällen zwei unterschiedliche Verfahren zur Verfügung. Bei der ausgereiften Technik der mechanisch-biologischen Behandlung wird der Restmüll zu Ersatzbrennstoff aufgearbeitet, die nicht mehr weiter verwertbaren Reste werden dann in einer Müllverbrennungsanlage (MVA) thermisch verwertet. Durch den Anlagenbetrieb, der in der Route dargestellt wird, werden durch die energetische Verwertung der aufbereiteten Ersatzbrennstoffe und die aussortierten Metalle fast 36.000 Mg CO<sub>2</sub>-Äquivalent/Jahr vermieden.

## 2.4 Schwerpunkt 4:

### **Sortierung, Aufbereitung und Recycling**

Für die Kreislaufwirtschaft und den damit verbundenen Klima- und Ressourcenschutz ist die Sortierung, Aufbereitung und das Recycling von Wertstoffen wie Kunststoff, Glas, Papier oder Metall ein wichtiger Schritt, um die Materialien entweder in die jeweiligen Stoffkreisläufe zu integrieren oder um die enthaltene Energie zu nutzen.

In der modernsten Wertstoffaufbereitungsanlage (WAA) Europas, die in der Route abgebildet wird, werden derzeit rund 95.000 Tonnen Leichtverpackungen (LVP) aus Privathaushalten sortiert. Rund die Hälfte davon (43.000 t) kann stofflich verwertet werden, der Rest (52.000 t) geht als Brennstoff in die Wärmeproduktion - in Müllverbrennungsanlagen oder Ersatzbrennstoffkraftwerke. Aus der Aufbereitung der Leichtverpackungen resultiert eine jährliche Einsparung von 73.000 t CO<sub>2</sub>-äq./a.

Am Industriestandort Lippewerk sorgen drei Schlüsselkompetenzbereiche dafür, dass Ressourcen geschont und CO<sub>2</sub>-Emissionen vermieden werden können. In zahlreichen Anlagen auf dem Werksgelände werden unterschiedliche Abfälle aufbereitet und für eine weitere Nutzung vorbereitet, so werden bspw. Kunststoffe zu Granulaten, Schlacken zu Metall und Abfälle sowie Reststoffe in Kraftstoffe umgewandelt. Aus industriell-



len Abfällen und Haushaltsabfällen entstehen Vorprodukte für die Industrie und nicht zuletzt wird auch Biomasse aufbereitet und als Energieträger für Biomassekraftwerke genutzt. In diesen technologischen Kompetenzbereichen werden im Lippewerk jährlich rund 416.000 Tonnen Treibhausgase eingespart.

## **2.5 Schwerpunkt 5:**

### **Thermische Abfallbehandlung und Schlackeaufbereitung**

Die thermische Behandlung von Abfällen umfasst sowohl die thermische Vorbehandlung von Abfällen aus Haushalten, Gewerbe und Sortierresten als auch die Verwertung von Ersatzbrennstoffen in speziell dafür ausgelegten, meist industriellen Ersatzbrennstoffkraftwerken. Des Weiteren umfasst die thermische Abfallbehandlung auch die Mitverbrennung von besonders heizwertreichen Fraktionen (Sekundärbrennstoffen) in Zement- und Kohlekraftwerken. Damit übernehmen die thermischen Abfallbehandlungsanlagen drei wichtige Aufgaben: Die Vorbehandlung von Siedlungsabfällen, die Verwertung von heizwertreichen Fraktionen aus der Wertstoffsartierung und die Aufgabe als Schadstoffsенke für Sortierreste aus dem Recyclingprozess. Die Metalle, die mit den Restabfällen in den Verbrennungsprozess gelangen, können im Rahmen des nachfolgenden Prozesses der Schlackeaufbereitung wiedergewonnen werden. Verbrennung in Abfallkraftwerken mit angeschlossener Energiegewinnung ist heute ein hochentwickeltes Abfallverwertungsverfahren: Es zerstört organische Schadstoffe und schleust anorganische Schadstoffe für die sichere Ablagerung aus. Im Zuge des thermischen Recyclings werden wertvolle Sekundärrohstoffe, wie Metalle und Baustoffe gesichert. So ist Abfallverbrennung im Abfallkraftwerk ein vollwertiges Verwertungsverfahren, das in der Bilanz oftmals sogar mehr CO<sub>2</sub>-Emissionen einspart als es erzeugt.

## **2.6 Schwerpunkt 6:**

### **Deponien und Nachnutzung**

Deponien stehen heute für eine dauerhafte und umweltsichere Ablagerung inerter (nicht reaktionsfähiger) mineralischer Abfälle. Bis zum Verbot der Ablagerung unvorbehandelter Abfälle im Jahr 2005 wurde in Deutschland ein Großteil der Abfälle inklusive der organischen Anteile deponiert, insbesondere das hier entstehende Methan sorgte für eine erhebliche Belastung des Klimas. Heute wird das in den Deponiekörpern entstehende Methan erfasst und in Blockheizkraftwerken in Strom und Wärme umgewandelt. Ferner dienen die stillgelegten Deponieflächen zunehmend auch als Standorte für Photovoltaik- und Windkraftanlagen.



### 3 Zusammenfassung und Ausblick

Zusammengefasst bildet die vom Verein entwickelte „Route der Kreislaufwirtschaft“ thematisch zusammenhängende Projekte und Standorte aus der Vereinsmitgliedschaft in NRW ab, die von interessierten Fachleuten und der Öffentlichkeit gezielt ausgewählt und besucht werden können, um dadurch CO<sub>2</sub>-mindernde Projekte zu fördern und öffentlichkeitswirksam darzustellen.

Der Verein möchte sich mit der Gestaltung der ersten „Themenroute der Kreislaufwirtschaft“ aktiv an dem Dekaden-Projekt „KlimaExpo.NRW“ einbringen. Die vom Verein entwickelte Route wird in Zukunft auch auf einer interaktiven Homepage der „KlimaExpo.NRW“ öffentlichkeitswirksam vorgestellt. Dadurch können sich die Besucher zukünftig auch interaktiv über die einzelnen Klimaschutzprojekte in der „Route der Kreislaufwirtschaft“ informieren. Zudem befindet sich die Route in einem flexiblen Entwicklungsprozess und wird dahingehend stetig erweitert und zukünftig noch weiter ausgebaut.

### 4 Literatur

- |  |      |   |
|--|------|---|
| BDE - Bundesverband der Deutschen Entsorgungs-, Wasser-, und Rohstoffwirtschaft e.V. (Hrsg.)/ ITAD - Interessengemeinschaft der thermischen Abfallbehandlungsanlagen in Deutschland e.V. (Hrsg.)/ VDMA - Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau e.V. (Hrsg.); | 2016 | Branchenbild der deutschen Kreislaufwirtschaft. Kompetent • Leistungsstark • Zukunftsorientiert |
| Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (Hrsg.);  | 2016 | Land der Umweltwirtschaft. Masterplan für Nordrhein-Westfalen.                                  |
| Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (MKULNV) (Hrsg.);   | 2016 | Umweltbericht. Nordrhein-Westfalen 2016. MKULNV NRW   |
| Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (MKULNV) (Hrsg.);   | 2015 | Umweltwirtschaftsbericht. Nordrhein-Westfalen 2015. MKULNV NRW                                  |

Klimaschutz durch Kreislaufwirtschaft e.V.: Themenroute der Kreislaufwirtschaft (2017): <http://www.klima-kreislaufwirtschaft.de/themenroute-derkreislaufwirtschaft/routenvorschau/>



## 5 Anhang: Fotos



Auftaktveranstaltung 2015

Quelle: Ralf Breer



Auszeichnung der TOP 10. Platzierung bei den GreenTec Awards 2017



NRW Gemeinschaftsstand auf der IFAT 2016

Quelle: Ralf Breer

### Anschrift der Verfasser

M.Sc. Yvonne Busch  
Klimaschutz durch Kreislaufwirtschaft e.V.  
Max-Planck-Str. 9  
D-58638 Iserlohn  
Telephone: +49 2371 965 732 5

Waste-to-Resources 2017

[www.waste-to-resources.eu](http://www.waste-to-resources.eu)



# Dekarbonisation und Energie-Erzeugung geht gleichzeitig. Die Zukunft ist klimapositiv!

Martin Schmid<sup>1</sup>; Rolf Fröhlich<sup>2</sup>; Robert Stucki<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Ökozentrum, Langenbruck; <sup>2</sup>Compag AG, Kreuzlingen; <sup>3</sup>MPT GmbH, Würenlingen  
Schweiz

**Decarbonization and energy production goes simultaneously.  
The future is climate positive!**

## Abstract

Biochar will change the world! The soils on this planet contain more than twice the carbon than the atmosphere. The biggest “speziess” is “Carbon of pyrolytic origin” (Biochar) from forest or grassland fires. Not because there is so often fire, but because it is the most stable and long lasting form to store carbon. The effect of these forms of carbon is what we summarize with “fertility” – it is a combination of: increased water holding capacity while preventing water logging, increased cation exchange capacity and increased catalytic surface, increased pH-value and being reductive (anti-oxidizing). Biochar can be produced from any organic residues, and yet with state-of-the-art technology with an exothermal process, producing heat and power, while being much cleaner than any other solid fuel combustion process, without exhaust treatment. If the produced biochar is finally built into soils, after being used as feed additive, bedding material or just being mixed with urine, the carbon footprint of every Kilowatt-hour of energy generated would be “minus 500g CO<sub>2</sub>” – or climate positive. The soils worldwide are degrading – now we have a powerful tool to reverse this – and the worldwide potential of not otherwise used harvest residues is in the right magnitude, that pyrolysis and biochar could stop or reverse climate change!

## Zusammenfassung

Die Pflanzenkohle und deren Herstellung durch Pyrolyse birgt das Potential, den gesamten vom Menschen verursachten Anstieg des Kohlenstoffs in der Atmosphäre zu kompensieren oder gar rückgängig zu machen. Die fruchtbarsten Böden der Welt heissen „Schwarzerden“ (russisch „Tschernosem“, portugiesisch „Terra Preta“) und enthalten Pflanzenkohle, die entweder durch natürliche Ereignisse wie Steppenbrände (Ukraine, Russland) oder durch Menschen-Hand (Amazonasbecken, Westafrika) in den Humusboden gelangt ist. Gemäss den Funden zeigt sich die Kohle nachweislich über mehrere Tausend oder mehrere Zehntausend Jahre stabil, unabhängig von der Bodenzusammensetzung. Die Verkohlung von Ernterückständen auf jedem Quadratmeter Ackerland dieses Planeten zu 200 Gramm Pflanzenkohle und deren Rückführung in den Humusboden würde sämtliche menschgemachten Klimagas-Emissionen kompensieren. Diese Massnahme würde aber nicht nur global dem Klima nützen, sondern auch lokal die Bodenfruchtbarkeit und die Toleranz gegenüber Dürre und Staunässe der Böden erhöhen, sowie den Nährstoffrückhalt verbessern und damit auch gleichzeitig Gerüche und weitere Klimagas-Emissionen wie Lachgas und Methan reduzieren.

Der am Ökozentrum weiterentwickelte Pyrolyseprozess stellt die sauberste Form der Verbrennung dar, bringt also auch Verbesserungen in der Lufthygiene bei der Biomassenutzung. Die Abgase dieser WKKK- (Wärme-Kraft-Kohle-Kopplung) sind nach bishe-



rigen Messungen auch bei aschreicher Biomasse frei von Partikel-Emissionen und weisen geringste Kohlenmonoxid-Emissionen auf. Durch die gleichzeitige stoffliche und energetische Nutzung von bisher schlecht nutzbarer Biomasse-Sortimente (Beispiele: Landschafts-pflegeschnitt, Wurzelstock- und Schwemmholz mit Sandgehalt, Siebüberkorn aus Kompostierung und Kompogas mit Störstoffen (Plastikfolie, Karton, Mineralstoffe), Getreidespelzen, Fruchtkerne, Nussschalen, Klärschlamm, Papierschlamm, Stroh) erzeugt einen lokalen Nutzen von 300 bis 500 CHF pro Tonne abgeschiedenes CO<sub>2</sub>. Dies ist somit nicht nur die sicherste sondern auch die einzige finanziell kostenlose „Carbon-Capture&Storage“- (CCS-) Strategie, die zudem den ländlichen Raum weltweit nachhaltig stärken wird.

### Keywords

Biochar, Pflanzenkohle, Klimapositiv, Carbon-negative, stoffliche UND energetische in Wert-Setzung von Reststoffen.

## 1 Ausgangslage

Die Landwirtschaft trägt massiv zum Ausstoss von Klimagasen bei, in Form von Oxidation von gepflügten Böden, anderen Formen von Humusverlust (Erosion), sowie Methan-, Lachgas- und Ammoniak-Emissionen durch die Düngerproduktion, sowie dem Handling des Hofdüngers (Jauche anstatt Mist, etc.) [1]. Sie hat aber auch das Potential, selber zur Reduktion des Klimagas-Ausstosses beizutragen. Die dortigen Potential-schätzungen reichen bis hin zur vollständigen Kompensation des menschengemachten Ausstosses und zusätzlicher Reduktion des Kohlenstoff-Gehaltes der Atmosphäre auf Vorindustrielle Werte [2]. Das Interessante an den Massnahmen den Klimaschutz-Möglichkeiten der Landwirtschaft ist ihr lokaler Zusatznutzen (Erhöhung der Bodenfruchtbarkeit, Erhöhung der Toleranz gegenüber extremen Wetter-Situationen, Reduktion von Düngerverlust und Geruchsbelästigungen, Erhöhung der Stallhygiene, entsprechende Reduktion der Fremdkosten für Dünger, Bewässerung und Veterinärmedizinische Behandlung) welcher mitunter oder sogar meistens die Kosten der Massnahmen überschreitet, sodass der globale Nutzen des Klimaschutzes kostenlos wird [3].

Eine dieser Massnahmen reicht weit über die Grenzen der Landwirtschaft hinaus und auch hinein in die urbane Energieerzeugung und das Stoffrecycling: die Pyrolyse von Biomasse-basierten Reststoffen zu Pflanzenkohle (engl. Biochar). Pyrolyse ist die thermische Zerlegung von Kohlenwasserstoff-haltigen Stoffen unter Luftabschluss. Dabei entsteht eine wasserstoff-reiche Gasmischung, sowie ein Gemisch flüssiger Stoffe (unter Teere oder Pyrolyseöl zusammengefasst) und Koks oder Aktivkohle, je nach Einsatzstoff auch Holzkohle oder eben Pflanzenkohle genannt. Werden sortenreine Kunststoffe eingesetzt, kann mit der Pyrolyse nach dem Hamburger Verfahren wieder Monomer und ein Anteil Energie erzeugt werden [4]. Da die Pyrolyse von Biomasse stark exotherm ist, wird gleichzeitig Energie frei und trotzdem auch ein gut nutzbarer Stoffstrom erzeugt.



Die fruchtbarsten Böden der Welt heissen Schwarzerde und enthalten Pflanzenkohle, die entweder natürlich entstanden ist, zum Beispiel durch Steppenbrände in der Ukraine und Westrussland [5] (Schwarzerde, Russisch *чернозем* [*Tschernosem*]) oder von Menschenhand zusammen mit Fäkalien und Kompost in den Boden eingebracht wurde, vor 3'000 bis 7'000 Jahren im Amazonas-Becken [6] (Schwarze Erde portugiesisch *Terra Preta*) oder in West-Afrika seit mindestens 700 Jahren praktiziert wird (Neueste Entdeckungen der Ethnologie in Sierra Leone, Ghana, Guinea und Liberia [7]). Es ist durch die Funde aber auch weiterführende Forschung mittlerweile erwiesen, dass der als Pflanzenkohle eingebrachte Kohlenstoff über Tausende Jahre stabil bleibt in allen untersuchten Bodenarten [8]. Gleichzeitig kann die Pflanzenkohle durch die grosse Oberfläche und den anfänglich hohen pH-Wert weitere Stoffe im Boden halten, sowie als Ionentauscher nützliche Umwandlungsprozesse unterstützen.

Gleichzeitig harren weltweit Milliarden Tonnen von schwer nutzbaren Stoffen einer sinnvollen Nutzung: Ernterückstände (Stroh, Spelzen, Schalen, Pulpe, Rinde, Kerne), Landschaftspflegeschnitt (Grünschnitt, Wurzelholz mit Sand), Ausgesiebtetes aus Kompostierung, Biogas- und Wasserkraft (Siebüberkorn, feste Gärreste, Schwemmholz), sowie bereits ausgefaulte oder schier vergärbare Schlämme (Klärschlamm, Papierschlamm).

Gerade in ländlichen Gebieten der Tropen ist der Zugang zu technischer Energie und Dünger oft schwierig, sowie die Böden oft humusarm.

Mit angepasster Technologie können nun für alle Einsatzstoffe, trocken oder feucht, für jede Betriebsgrösse oder gar familiäre Kleinbauernbetriebe Lösungen basierend auf der Pyrolyse entwickelt werden, welche lokal oder zumindest regional Energie und Pflanzenkohle erzeugt. Dies kann der Pyro-Cook [9] sein, der in Haiti einer Kleinbauernfamilie ermöglicht, trockenes Gartenschnittgut anstatt Waldholz in Holzkohle und gleichzeitig ein rauchfreies Kochfeuer umzusetzen, oder eine PPP120-Anlage [10], welche in einem Kaffee-Verarbeitungszentrum für 30 Kleinbauern oder einem mittleren Betrieb aus der feuchten Kaffeepulpe Pflanzenkohle und Prozesswärme erzeugt, die den Rohkaffee gleichzeitig auf marktfähige Qualität trocknen lässt – oder aber – aus 4'000 Tonnen pro Jahr Siebreste aus der Kompostierung einer grossen Gärtnerei mit Gewächshäusern in der Schweiz 600 Tonnen Pflanzenkohle, 500 kW Heizwärme-Dauerleistung sowie 150 kW elektrische Dauerleistung zu erzeugen, was einer jährlichen Klimagas-Reduktion von fast 5'000 t CO<sub>2</sub> entspricht.

## 2 Vorgehen

Seit 1983 werden am Ökozentrum Biomasse-Energiesysteme entwickelt und getestet, seit 1994 die FLOX<sup>®</sup> (für Flammenlose Oxidation) weiterentwickelt, seit 2004 die daraus



abgeleitete Schwachgas-Verbrennungstechnik und deren industrielle Anwendung entwickelt. Für die gekoppelte Strom- und Wärmeproduktion aus Feststoffbiomasse wird seit 2006 die Heissluft-Turbinentechnik favorisiert [11] – und entsprechend ebenfalls geprüft und weiterentwickelt. Die angepassten Technologien werden sowohl hier in Mitteleuropa sowie in der Entwicklungszusammenarbeit auch weltweit mit den lokalen KMU's bis zur Serien-Produktion begleitet.

Kaffeepulpe ist ein umweltschädigender Reststoff, dessen Nutzung seit den 1960er-Jahren erfolglos erforscht wurde [12]. Das Ökozentrum untersuchte im Auftrag der Cleaner Production Center Initiative ab 2009 neue Lösungen [13] und schlug 2011 die Pyrolyse zu Pflanzenkohle vor und entwickelte einen vereinfachten Prozess, der im Labor 2013 erfolgreich umgesetzt und geprüft werden konnte. 2014 wurde daraufhin ein Full-scale Prototyp für einen peruanischen Maschinenhersteller für die Kaffee-Ernte-Verarbeitung gebaut und geprüft. Das Gerät verarbeitet bis zu 40 kg/h feuchte Kaffeepulpe mit bis zu 54% Wassergehalt und erzeugt daraus bis zu 70 kW Heizleistung und bis zu 6 kg/h Pflanzenkohle. 2015 fanden der erste Technologie-Transfer-Workshop statt [14] und Anfang 2016 sind erste Anlagen im Bau oder bereits in Betrieb in Peru und Vietnam. Die Verbreitung in Vietnam sowie ein Landwirtschafts-Forschungsprojekt mit einer Kleinbauernkooperative mit Unterstützung durch das Forschungsinstitut für Biolandbau FiBL wird zur Zeit begleitet.

Auf Grund der vielen Aktivitäten und Anfragen zu Pflanzenkohle in der Schweiz wurde im Herbst 2015 in Langenbruck BL ein Profi-Netzwerk gegründet unter dem Namen CharNet [15]. Dieses Netzwerk bündelt den Forschungsbedarf auf dem Gebiet der Pflanzenkohle und vernetzt intern wie extern. Es zählt bereits über 70 Mitglieder aus Forschung (Eawag, ZHAW, FiBL, Agroscope, Ithaka, Ökozentrum), Urban Farming, Landwirtschaft, Kompostierung, Gartenbau, Gewässerschutz, Bodenschutz, sowie Anlagenbauer für kleine und grosse Pyrolyse-Systeme. CharNet ist seit Juni als Verband Mitglied von Biomasse-Suisse.

Parallel dazu wird am Ökozentrum zusammen mit einem erfahrenen Schweizer Kompostierwerke- und Biogas-Anlagenbauer seit Oktober 2015 eine Anlage entwickelt die die erwähnte Schwachgas-Technik, die Heissluftturbinentechnik und die Pyrolyse zu einer robusten Einheit verbindet, die jegliche feste Biomasse-Reststoffe inklusive Störstoffe wie Sand, Steine und Plastikfolien zu Pflanzenkohle, Strom, Wärme, Klimaschutz sowie sehr sauberen Abgasen umsetzt.

Der neue abgewandelte Pyrolyse-Prozess, den wir vorerst PPP nennen (von Pulpa Pyro Peru, bzw. Pyro Power Plant) weist einige Vorteile auf: Er benötigt weniger bis gar keinen hitzebeständigen Stahl, da die Wärme nicht über die Reaktoroberfläche eingebracht wird, sondern durch Eindüsung von sauerstoffarmem Abgas direkt in den Reaktor geführt wird. Dadurch ist die Anlage auch unempfindlich gegen Überhitzung im Falle



eines Stromausfalles. Der Reaktor wird dadurch kompakter und benötigt keine Förder-systeme im Innern. Durch die Strömungsumkehr wird das Gas im kalten Teil des Reak-tors durch die frische Biomasse gefiltert und auskondensiert. Das Gas ist danach bei-nahe teerfrei und kalt und kann gut gefördert werden. Die Teere werden in der Folge mit der Biomasse nochmals der Pyrolyse zugeführt und zu mehr Kohle und Gas ge-cracked. Die erzeugte Kohle hat direkt die Eigenschaften von Aktivkohle, da die Gasak-tivierung im Prozess integriert ist.

## 3 Resultate

### 3.1 Emissionsschutz

Das Wichtigste bei der Einführung einer umwelttechnischen Massnahme ist selbstver-ständlich, keine neuen potentiellen Gefahren zu Land, zu Wasser und in der Luft zu ris-kieren. Die Pyrolyse kann, wie wir von der traditionellen Köhlerei in Meilern wissen, auch Klimagase emittieren, Energie verschwenden, sowie eine Kohle erzeugen, die durch Schwermetalle und Chlorbestandteile der Einsatzstoffe, sowie auch durch unsau-berere Prozessführung umwelttoxische Stoffe erzeugen könnte. Deshalb wurde das vom Ithaka-Institut (Arbaz VS), von Agroscope (Tänikon ZH) und von Eurofins Ost (Freiberg Sachsen) das European Biochar Certificate EBC entwickelt [16] welches dies alles re-gelt - sowohl durch Grenzwerte bei PAK (Polyaromatische Kohlenwasserstoffe), PCB (Polychlorierte Byphenole) und Schwermetallen, als auch durch eine Positiv-Liste der zugelassenen Einsatzstoffe , sowie einer Empfehlung zur Wärmenutzung. Im Weiteren müssen die Abgase die entsprechenden Abgasvorschriften einhalten.

Hält die Pflanzenkohle die Regeln dieses EBC ein, ist sie in der Schweiz seit dem März 2013 gemäss Düngemittelverordnung „verkehrs-fähig“ [17]. Im Weiteren ist sie in den meisten europäischen Ländern (inklusive Schweiz) auch als Futtermittel-Zusatz zulass-bar.

Untersuchungen am System „PPP“ für die Kaffeepulpe haben bereits gezeigt, dass die Abgase dieses neuen Prozesses auch ohne Filter strengste Grenzwerte einhalten kann: Es ist partikelfrei (unter der Messschwelle des Messgerätes) und die Kohlenmonoxid-Emissionen liegen unter  $10 \text{ mg/m}^3_n$  (bei 13% Sauerstoff) [18]. Die erzeugte Kohle hat in allen untersuchten Fällen die Grenzwerte für PAK mit sehr grosser Sicherheitsmarge eingehalten [18].



### 3.2 Klimaschutz

Wird die erzeugte Pflanzenkohle im Humusboden eingelagert, so entspricht jedes Kilogramm Kohlenstoff einer Reduktion von 3.66 kg CO<sub>2</sub> im Kreislauf und somit in der Atmosphäre. Wird nun aus der Sicht der gleichzeitig mit der Pyrolyse erzeugten Energie gesprochen, so wurden für jede Kilowattstunde kWh erzeugte Nutzenergie aus der Atmosphäre 900 g CO<sub>2</sub> entzogen durch das vorhergehende Pflanzenwachstum zu 500 g trockener Biomasse. Bei der Pyrolyse wird durch den Verbrennungsprozess der Pyrolysegase aber auch wieder 400 g CO<sub>2</sub> freigesetzt. Netto werden der Atmosphäre also pro kWh Nutzenergie 500 g CO<sub>2</sub> entzogen und als 136 g Kohlenstoff im Boden eingelagert. Es kann also von klimapositiver Energie gesprochen werden.

Die zusätzlichen Klimaschutz-Effekte, die die Pflanzenkohle im Tierdarm, im Stall, in der Jauchegrube und auf dem Acker erbringt durch Verhinderung anderer Emissionen (Lachgas-, Methan-) sind hierbei noch nicht berücksichtigt. Es gibt Forschende, die diesen Effekt auf mindestens nochmals so viel einschätzen [19].

### 3.3 Ökonomie und technische Umsetzung

Da eine Pyrolyse-Anlage im Vergleich etwa zu einer Biogasanlage sehr schnell arbeitet, das heisst den Einsatzstoff nur rund eine Stunde im Reaktor beherbergt (für Trocknung, Aufwärmung, Pyrolyse und Abkühlung), ist sie auch entsprechend kompakt in der Bauform. Die Energie wird zudem ähnlich einem Verbrennungssystem innert weniger Minuten abgegeben und die Anlagen sind entsprechend schnell in Betrieb genommen und auch wieder abgestellt. Dadurch liefern sie Prozessenergie nach Bedarf.

Werden nun die Nutzen der Pflanzenkohle berechnet, so entsteht ein Marktwert, der im Bereich jenes von Holzkohle liegt – kann aber als Futtermittelzusatz auch höhere Werte (ähnlich Aktivkohle) annehmen. Weltweit gesammelte Zahlen ergeben ein Spektrum von 500 US-\$ bis 1'300 € pro Tonne bei grösseren Abnahmemengen (Big-Bag (1.3 m<sup>3</sup>) oder grösser).

Der Marktwert der Energie richtet sich vor allem nach der Reduktion des Eigenverbrauches von landwirtschaftlichen oder industriellen Betrieben. Für die folgenden Aussagen wurde er mit 0.16 CHF / kWh Strom und 0.06 CHF / kWh Wärme angenommen.

Mit diesen Werten kann gesagt werden, dass der Ertrag durch die Erzeugung von Pflanzenkohle und Energie je etwa die Hälfte zum Umsatz beitragen werden. Geht man davon aus, dass gegenüber einem Biomasse-Heizkessel sogar noch „schlechtere“ und somit preiswertere oder gar kostenlose oder entsorgungskostenpflichtige Brennstoffe eingesetzt werden können, sowie keine Abgas-Nachbehandlung benötigt wird, kann ein



Pyrolyse-System um ein mehrfaches wirtschaftlicher sein, als eine reine Biomasse-Energie-Anlage.

Aus der Sicht der Klimaschutzes kann gesagt werden, dass pro Tonne abgeschiedenes CO<sub>2</sub> (auch wieder ohne weitere Emissionsminderung durch die Kohle in der Landwirtschaft) ein Nutzen von 300 bis 500 US\$, CHF oder € entsteht.

Dies ist somit vermutlich die einzige **Carbon-Capture&Storage (CCS)\*-Technologie**, die nicht nur nichts kostet, sondern Einkommen erzeugt!

*(\*) mit CCS werden meist grosstechnische Konzepte bezeichnet, bei welchen CO<sub>2</sub> aus Abgasen von fossilen Kraftwerken (Steinkohle, Braunkohle, Schweröl) abgeschieden wird um es im Erdinnern zu endlagern, in ehemaligen Untertage-Minen oder leeren Gas- oder Ölfeldern. Diese Konzepte werden zu Recht kritisiert, weil sie den Druck im Erdinnern verändern und scheinen vor allem als Ausrede für die Kohlekraft zu dienen, eine Gnadenfrist zu erhalten. Ganz eindeutig verbindet alle diese Technologien zwei Nachteile: Sie kosten Geld und Energie. D.h. freiwillig macht das niemand.*

## 4 Diskussion und Ausblick

Mit der Pyrolyse kann also in der Landwirtschaft weltweit ein weiterer Stoffkreislauf geschlossen werden, der viele zusätzliche Nutzen schafft. Dadurch kann auch die Wirtschaftlichkeit der Biomasse-Energieanlagen massiv gesteigert werden und nicht zuletzt ein grosser Beitrag zum Klimaschutz geleistet werden, ohne dies mit Zertifikaten oder anderen Subventionen finanzieren zu müssen. Im Folgenden sind im Kontext eines Schweizer Landwirtschaftsbetrieb, der die Pyrolyse bereits selbst einsetzt, die bestehenden (blau) und die neuen (rot) Stoff- und Produkteströme eingezeichnet.

Die weltweite Forschung auf diesem Gebiet stimmt sehr hoffnungsvoll, in den Tropen sind die Ertragssteigerungen immens. Würden auf jedem Quadratmeter Ackerland weltweit 200 Gramm Kohle aus den Ernterückständen erzeugt und in den Boden rückgeführt, würde dies den gesamten menschengemachten Klimagasausstoss kompensieren. Dies soll aber sauber geschehen und bei gleichzeitiger Nutzung der frei werdenden Energie. Deshalb: Lasst uns richtig Kohle machen!



## 5 Abbildungen

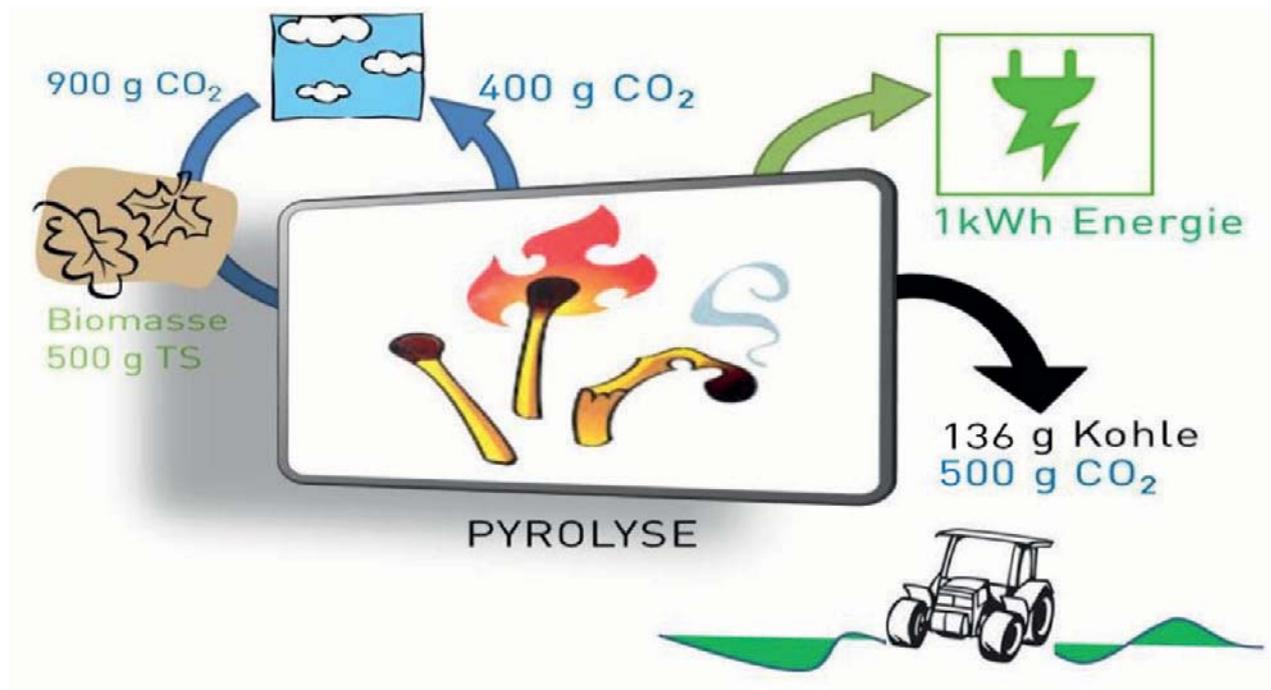


Abbildung 1 Klimapositive Energie: Pro Kilowattstunde Nutzenergie wird dem Kreislauf der Natur und so der Atmosphäre 500 g CO<sub>2</sub> entzogen und im Humusboden für mehrere Jahrhunderte festgesetzt.



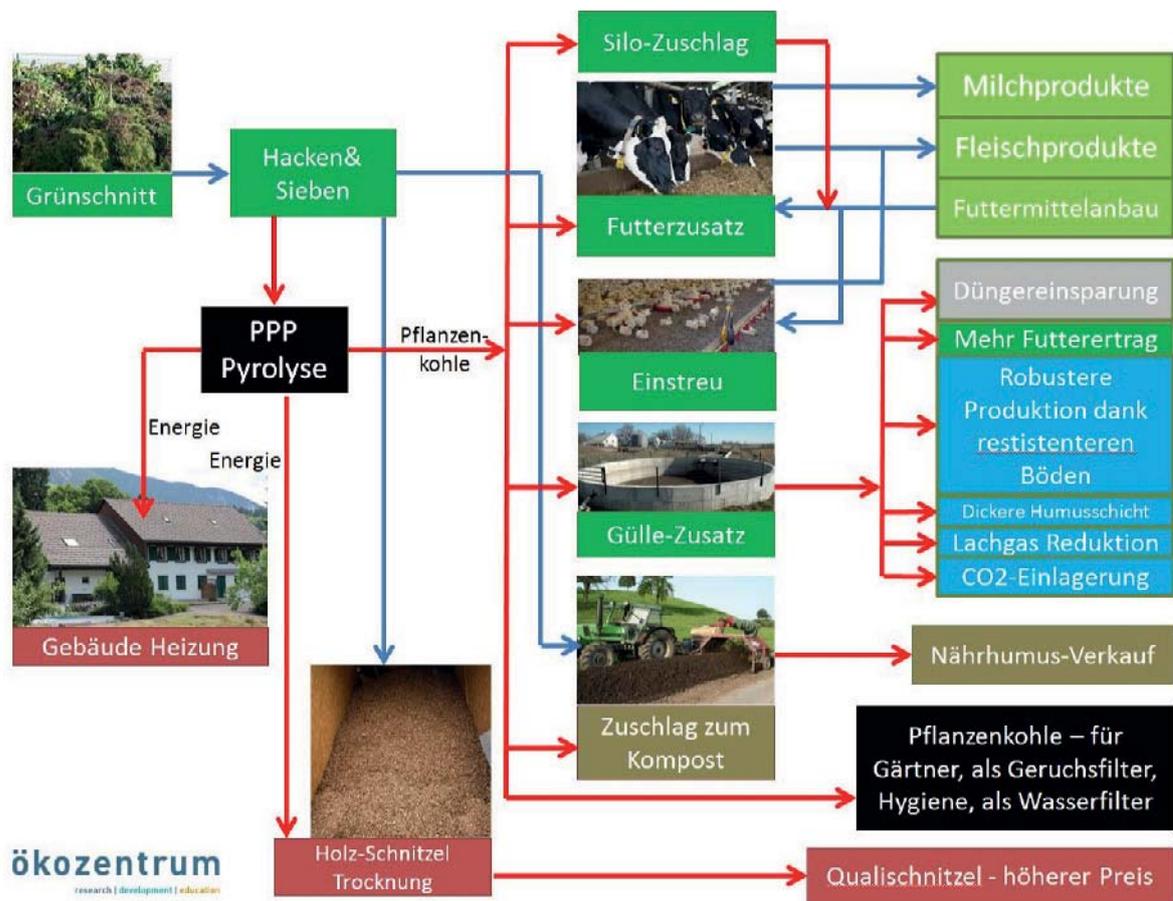
Abbildung 2 Angepasste Technologie von klein bis gross: – trocken bis feucht: Der kleine Pyro-Cook von Kaskad-E in Basel, entwickelt für Haiti: er erzeugt aus trockenem Gartenschnitt Kohle und ein rauchfreies Kochfeuer:



**Abbildung 3** Die PPV300 Anlage (rechts) – das in Vietnam nachgebaute Gerät des Ökozent-rums: aus feuchter Kaffeepulpe wird Kohle und Kaliumdünger (total 33 kg/h) erzeugt und gleichzeitig 150 Kilowatt Heizleistung geliefert für den Trockner mit einem Inhalt von vier Tonnen Rohkaffee.



**Abbildung 4** Visualisierung der PPP600-Anlage von Compag AG (Design Ökozent-rum) welche 2'200 t/a feuchte oder trockene Reststoffe in ca. 300 t/a Pflanzenkohle umsetzt und dabei 50 kWe Strom und 200 kW Nutzwärme abgibt. Im Hintergrund eine Trockenfermentations.Biogasanlage deren ausgesiebte Reststoffe verwertet werden: Pyrolyse dauert weniger als 1 h (Trocknen, Aufwärmen, Pyrolysieren), während eine Biogasanlage 700 h „beherbergt“ – das wirkt sich entsprechend auch in den Baugrößen und Kosten aus – die Pyrolyse wird ein kostengünstiges Verfahren sein.



**Abbildung 5** Beispiel eines Schweizer Landwirtschaftsbetriebes mit Milch- und Fleisch-Produktion, eigenem Futteranbau, sowie Lohnbetrieb im Strassen- und Wegrand-Pflege: in blau die bestehenden Pfade, in rot die durch die Pyrolyse und Pflanzenkohle neuen Wege hin zu zusätzlichen Produkten. Der Grünschnitt geht in die Pyrolyse – mit der Wärme werden die besseren Hackschnitzel zu Quali-Schnitzel getrocknet und der Hof geheizt. Die Kohle geht ins Futter, ins Einstreu, in die Güllegrube und in die Feldrandkompostierung, sowie in Big-Bags in den Direktverkauf an Gärtnereien und andere Kompostierer. Neben der Kohle und den Qualischnitzel entstehen als zusätzliche Produkte „Terra-Preta“ (Schwarzerden-Kompost), Mehrertrag und/oder Düngereinsparung, stabilere Trockenheits und Staunässe-resistentere Böden, eine bessere Stickstoff-Bilanz mit geringeren Lachgas- und Geruchs-Emission, sowie Klimaschutz.

## 6 Literatur

- |                    |      |  |
|--------------------|------|--|
| Hans-Peter Schmidt | 2010 | Swiss Biochar, Jaques Fuchs, FiBL; Anlässlich des Kompostgespräches, Illnau, Switzerland 2010  |
| Allan Savory       | 2013 | 'Can Livestock Grazing Stop Desertification?'; scientific American, /www.scientificamerican.com/article/can-livestock-grazing-stopdesertification/ |
| Martin Schmid      | 2016 | Char-up & Decarbonize! The potential multi-role of biochar - reducing climate change and increasing resilience of soils,                           |



		Poster für Swiss Global Change Day, Bern; 2016
Leach, M., J. Fairhead and J. Fraser;	2012	Green grabs and biochar: Revaluing African soils and farming in the new carbon economy; Sussex 2012, Journal of Peasant Studies, 39:2
Yakov Kuzyakov, Irina Subbotina, Haiqing Chen, Irina Bogomolova, Xingliang Xub	2009	; Black carbon decomposition and incorporation into soil microbial biomass estimated by <sup>14</sup> C labeling; Soil Biology and Biochemistry; Volume 41, Issue 2, February 2009, Pages 210–219
Martin Schmid	2013	; Posterbeitrag für REPIC Jahrestagung 2013; <a href="http://web537.136.hosttech.eu/wordpress/wp-content/uploads/2016/03/PulpaPyroPeru_valuable-resources-from-difficult-residues_Ökozentrum_Schmid_2015.pdf">http://web537.136.hosttech.eu/wordpress/wp-content/uploads/2016/03/PulpaPyroPeru_valuable-resources-from-difficult-residues_Ökozentrum_Schmid_2015.pdf</a>
Martin Schmid, Christian Gaegauf, Michael Sattler	2007	Dezentrale Stromerzeugung mit Feststoffbiomasse, Ökozentrum Langenbruck, 2007
J.E. Braham and R. Bressan	1979	Coffee Pulp - Composition, Technology, and Utilization. Institute of Nutrition of Central America and Panama. 1979
Michael Sattler, Akos Lukacs	2010	Entwicklung und Implementierung einer Technologie zur umweltfreundlichen Verbrennung von Kaffeefruchtfleischabfällen in El Salvador. Ökozentrum Langenbruck, 2010
EBC (2012) 'European Biochar Certificate'	2016	Richtlinien für die nachhaltige Produktion von Pflanzenkohle', European Biochar Foundation (EBC), Arbaz, Switzerland. <a href="http://www.european-biochar.org/en/download">http://www.european-biochar.org/en/download</a> . Version 7.2 of 4th February 2016, DOI: 10.13140/RG.2.1.4658.7043
Grossenbacher Doris;	2016	BLW gibt grünes Licht - Pflanzenkohle vorerst frei einsetzbar. Schweizerbauer.ch, April 2016; <a href="https://www.schweizerbauer.ch/pflanzen/ackerbau/blw-gibt-gruenes-licht--pflanzenkohle-vorerst-frei-einsetzbar-10391.html">https://www.schweizerbauer.ch/pflanzen/ackerbau/blw-gibt-gruenes-licht--pflanzenkohle-vorerst-frei-einsetzbar-10391.html</a>
Martin Schmid	2015	; Pulpa Pyro Peru - Clean generation of biochar and energy from coffee pulp; Schlussbericht; Langenbruck, Dezember 2015.
Sonja Schimmelpfennig; Ludger Grünhage; Claudia Kammann; Christoph Müller, Christian Koch	2014	; Biochar, hydrochar and uncarbonized feedstock application to permanent grassland - Effects on greenhouse gas emissions and plant growth; Agriculture, Ecosystems and Environment, Elsevier, 2014



<http://www.umweltbundesamt.de/daten/klimawandel/treibhausgas-emissionen-in-deutschland>

[https://de.wikipedia.org/wiki/Hamburger\\_Verfahren](https://de.wikipedia.org/wiki/Hamburger_Verfahren)

<https://de.wikipedia.org/wiki/Schwarzerde>

<http://www.welt.de/wissenschaft/umwelt/article132867147/Hobbygaertner-schwoeren-auf-Supererde-Terra-Preta.html>

<http://www.kaskad-e.ch/html/pyrocook.html>

<http://www.oekozentrum.ch/291-0-Pulpa-Pyro-Peru.html>;

<https://www.youtube.com/watch?v=SWST8pmsu1M#t=27> (Film)

<http://www.ee-news.ch/de/article/32676>; <http://www.oekozentrum.ch/322-0-Gruendung-des-Pflanzenkohle-Netzwerks-Charnetch.html>; CharNet.ch

### **Anschrift der Verfasser**

Martin Schmid; Rolf Fröhlich; Robert Stucki

Ökozentrum, Langenbruck

Compag AG, Kreuzlingen

MPT GmbH, Würenlingen

[www.charnet.ch](http://www.charnet.ch)

[www.oekozentrum.ch](http://www.oekozentrum.ch)

[www.compag.ch](http://www.compag.ch)



# Stand der Mitverbrennung in Deutschland

Sabine Flamme; Sigrid Hams

Gütegemeinschaft Sekundärbrennstoffe und Recyclingholz e. V., Münster, Germany

## Status quo of co-incineration of solid recovered fuels in Germany

### Abstract

In Germany, co-incineration of solid recovered fuels in industrial combustion plants like coal-fired power plants and cement plants is an inherent part of a modern closed loop recycling management. The publication at hand overviews the state of the art of co-incineration in Germany. Beside the definition of solid recovered fuels, the trends of solid recovered fuel amounts and ways of utilization are described. Furthermore, the relevance of quality assurance for solid recovered fuels is regarded as well as the impact of co-incineration on the climate and resource protection.

### Inhaltsangabe

In Deutschland hat sich die Mitverbrennung von Sekundärbrennstoffen in Industrieheizungsanlagen wie Kraft- und Zementwerken als feste Säule einer modernen Kreislaufwirtschaft etabliert. Der vorliegende Beitrag gibt einen Überblick über den Stand der Mitverbrennung in Deutschland. Neben einer Abgrenzung der Sekundärbrennstoffe werden die Entwicklungen der Sekundärbrennstoffmengen sowie die Verwertungswege dargestellt. Die Bedeutung der Qualitätssicherung für die Sekundärbrennstoffverwertung wird ebenso betrachtet, wie die Auswirkungen der Mitverbrennung auf den Klima- und Ressourcenschutz.

### Keywords

Sekundärbrennstoff, Mengen, Verwertungswege, Gütesicherung, Klima und Ressourcen

Solid recovered fuels, quantity, ways of utilization, quality assurance, climate, resources

## 1 Einleitung

In Deutschland hat sich die Mitverbrennung von Sekundärbrennstoffen in Industrieheizungsanlagen wie Kraft- und Zementwerken als feste Säule einer modernen Kreislaufwirtschaft etabliert, da hier heizwertreiche Stoffe als emissionsarmer Energieträger hochwertig verwertet werden können. Unter festen Sekundärbrennstoffen wird dabei ein breites Spektrum an Fraktionen für die energetische Verwertung, die aus nicht gefährlichen Abfällen hergestellt werden, verstanden (RAL, 2012).

Sekundärbrennstoffe werden im Wesentlichen in der Kalk-, Kraftwerks- und Zementindustrie zur Mitverbrennung eingesetzt. Dabei lag die insgesamt eingesetzte Sekundärbrennstoffmenge in den letzten Jahren bei ca. 3 Mio. Mg/a, wobei die Zementindustrie



Hauptabnehmer war und ist. Der Einsatz in Kohlekraftwerken ist dabei eher auf einem gleich bleibenden niedrigeren Niveau, da dieser von der Feuerungstechnik und dem veränderten Einsatzregime für Kohlekraftwerke abhängt (THIEL, 2011).

Durch die Einsparung von Primärbrennstoffen, der Rückgewinnung von Eisen- und Nichteisenmetallen sowie - im Falle der Mitverbrennung in Zementwerken - der stofflichen Verwertung des mineralischen Anteils, trägt die Mitverbrennung darüber hinaus zum Klima- und Ressourcenschutz bei (vgl. Kap. 2.4).

## 2 Stand der Mitverbrennung in Deutschland

### 2.1 Einteilung von Ersatzbrennstoffen

Nach DIN EN 15359 können für die Herstellung von festen Sekundärbrennstoffen nicht gefährliche Abfälle eingesetzt werden. Aufgrund der großen Bandbreite möglicher Inputmaterialien (produktionsspezifischer Abfall, Siedlungsabfall, industrieller Abfall, gewerblicher Abfall, Bau- und Abbruchabfall, Altholz etc.) sind feste Sekundärbrennstoffe eine heterogene Gruppe von Brennstoffen, die einer Spezifikation und Klassifikation bedürfen. Zur Klassifikation werden die Brennstoffkenngrößen Heizwert, Chlor und Quecksilber genutzt. Für die Spezifikation, d. h. die Dokumentation charakteristischer Sekundärbrennstoffeigenschaften, sind physikalische und chemische Eigenschaften (z. B. Asche-, Wasser-, Schwermetallgehalte) zu dokumentieren (DIN, 2012).

Auf nationaler Ebene wird unter dem Begriff **Ersatzbrennstoffe** ein breites Spektrum verschiedener Brennstoffe, hergestellt aus nicht gefährlichen Siedlungs- und Produktionsabfällen, zusammengefasst. Nach RAL-Gütezeichen „Sekundärbrennstoffe“ (RAL-GZ 724) wird dieser Ersatzbrennstoff unterteilt in Heizwertreiche Fraktionen (HWFR) für die Monoverbrennung (in Ersatzbrennstoffkraftwerken) und Sekundärbrennstoffe (SBS für die Mitverbrennung in Zement- oder Kraftwerken) (RAL, 2012). Erstere werden aus Hausmüll- und/oder gewerbeabfallstämmigen Stoffströmen hergestellt und sind durch eine geringere Aufbereitungstiefe, größere Korngrößen und geringere Heizwerte charakterisiert. Da sie in der Monoverbrennung eingesetzt werden, sind sie nicht Gegenstand der weiteren Ausführungen.

Im Folgenden werden ausschließlich Sekundärbrennstoffe betrachtet, d. h. endkonfektionierte Brennstoffe aus produktionsspezifischen Abfällen bzw. aus heizwertreichen Fraktionen von Siedlungsabfällen mit einer definierten Qualität (RAL, 2012). Sie werden durch umfassende Aufbereitungsprozesse hergestellt und sind gekennzeichnet durch geringere Korngrößen (max. 50 mm) sowie höhere Heizwerte (vgl. Tabelle 1).



Tabelle 1 Definition Ersatzbrennstoffe

	Sekundärbrennstoffe (SBS)	Heizwertreiche Fraktionen (HWRF)
Abbildung		
Ausgangsmaterial	Heizwertreiche Fraktionen des Siedlungsabfalls oder produktionspezifische Abfälle	Hausmüll- und/oder gewerbeabfallstämmige Stoffströme
Aufbereitungstiefe	hoch	gering
Korngröße	< 30 mm	> 80 mm bis 500 mm
Heizwertband	überwiegend > 20 MJ/kg FS	11 – 15 MJ/kg FS
Verwertung	Mitverbrennung (Zement-, Kraft- oder auch Kalkwerke)	Monoverbrennung (Ersatzbrennstoffkraftwerke)

## 2.2 Entwicklung der Sekundärbrennstoffmengen

Sekundärbrennstoffe werden im Wesentlichen in der Kalk-, Kraftwerks- und Zementindustrie zur Mitverbrennung eingesetzt. Dabei liegt die eingesetzte Sekundärbrennstoffmenge in den letzten Jahren mit um die 3 Mio. Mg/a auf einem konstant hohen Niveau, insgesamt mit steigender Tendenz (vgl. Abb. 1).

Die Anteile der eingesetzten Sekundärbrennstoffmenge je Verwertungsweg variieren dabei nur geringfügig (vgl. Abb. 2). Der Einsatz von Sekundärbrennstoffen in der Kalkindustrie spielt mit Anteilen von max. 1 % in den letzten Jahren nahezu keine Rolle mehr. In 2015 betrug die hier zur Mitverbrennung eingesetzte Sekundärbrennstoffmenge lediglich ca. 600 Mg (BDK, 2017).

Die Kraftwerksindustrie hat in den letzten Jahren mit ca. 0,8 Mio. Mg/a einen Anteil von ca. 30 % an der insgesamt in der Mitverbrennung eingesetzten Menge an Sekundärbrennstoffen. Dabei wird mit ca. 0,6 Mio. Mg/a der überwiegende Anteil in Braunkohlekraftwerken verwertet (GLORIUS, 2014; GLORIUS, 2016, KAPPA 2016).

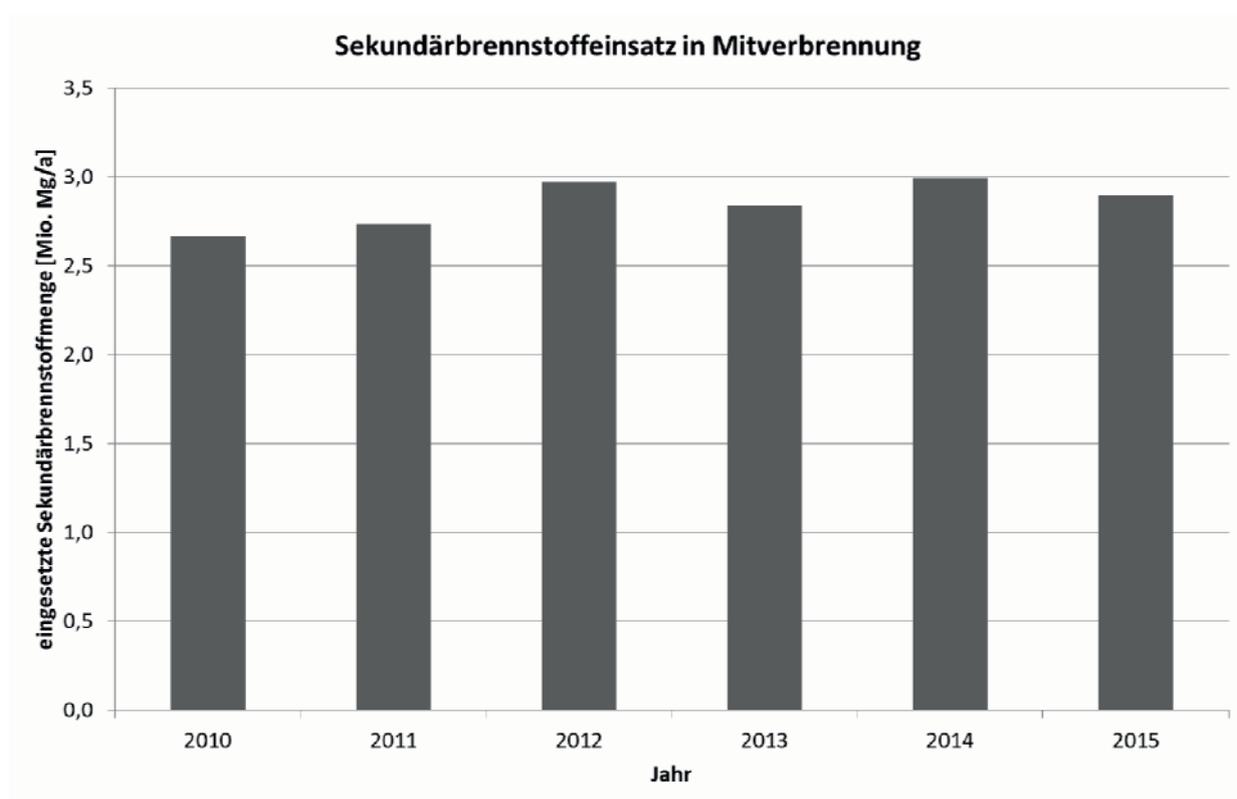


Abbildung 1 Entwicklung der in der Mitverbrennung eingesetzten Sekundärbrennstoffmengen (nach VDZ 2010 – 2016; GLORIUS, 2014; GLORIUS, 2016; BDK, 2015, BDK, 2017)

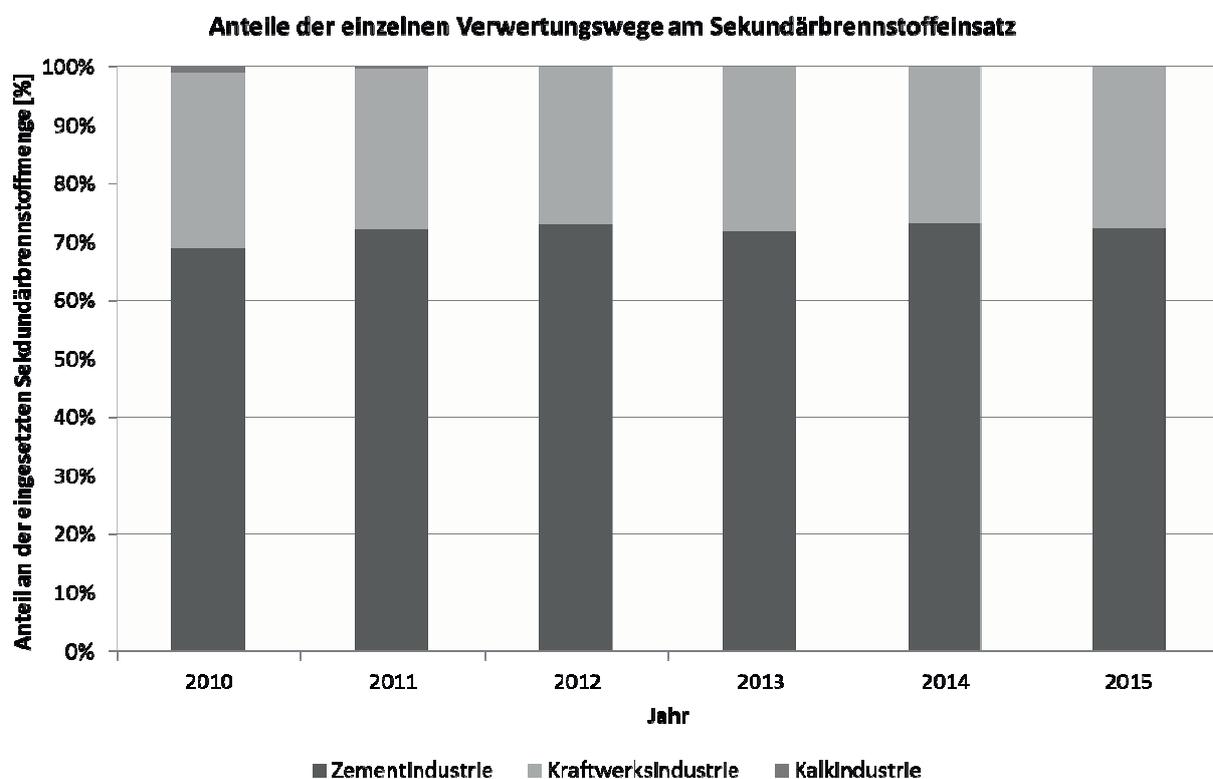


Abbildung 2 Anteile der Verwertungswege der eingesetzten Sekundärbrennstoffmengen



Mit Anteilen von 70 bis 73 % ist die Zementindustrie der Hauptabnehmer von Sekundärbrennstoffen. Dieses ist darauf zurückzuführen, dass bei dem sehr energieintensiven Prozess des Zementklinkerbrennens neben den fossilen Brennstoffen in hohem Maße alternative Brennstoffe eingesetzt werden. So sind die Substitutionsraten in der Zementindustrie in den letzten Jahren auf über 64 % angestiegen. Da Zementwerksbetreiber darüber hinaus ein Interesse an einer weiteren Erhöhung der Substitutionsrate auf bis zu 100 % haben, ist hier zukünftig ein weiterer Anstieg zu erwarten. Dabei werden schon jetzt neben alternativen Brennstoffen wie Tiermehl oder Altreifen überwiegend aufbereitete Fraktionen von Industrie-, Gewerbe- und Siedlungsabfällen eingesetzt (OERTER, 2015; OERTER, 2017A).

### 2.3 Qualitätssicherung für Sekundärbrennstoffe

Eine etablierte Qualitätssicherung in Deutschland ist die Gütesicherung der Gütegemeinschaft Sekundärbrennstoffe und Recyclingholz e. V. (BGS e. V.) mit dem RAL-GZ 724. Sie umfasst eine regelmäßige Probenahme und analytische Überwachung bei der Herstellung des Sekundärbrennstoffes und stellt eine kontinuierliche Prozesskontrolle dar. Mit der Überwachung der festgelegten Schwermetallrichtwerte wird ein hochwertiger und für Mensch und Umwelt schadloser Einsatz dieser Brennstoffe gewährleistet. Sekundärbrennstoffe können mit dem Gütezeichen geführt werden, wenn sie den Anforderungen der „Allgemeinen und besonderen Güte- und Prüfbestimmungen für Sekundärbrennstoffe“ (RAL, 2012) genügen und dieses regelmäßig in den Produktionsanlagen nachgewiesen wird. Sie werden dann mit der Markenbezeichnung SBS<sup>®</sup> gekennzeichnet.

Das Qualitätssicherungssystem basiert auf einer Eigenüberwachung durch die Hersteller und auf einer Fremdüberwachung durch unabhängige Gutachter und Prüflabore. Maßgeblich ist, dass die Inputmaterialien den Abfallarten laut Güte- und Prüfbestimmungen entsprechen und dass die in Tabelle 2 aufgeführten Richtwerte von Schwermetallgehalten in den aufbereiteten Brennstoffen eingehalten werden. Die Vorgehensweise für die Probenahme, Probenvorbereitung, Analytik und Bewertung im Rahmen der Gütesicherung ist ebenfalls im Detail festgelegt (BGS E. V., 2012).



Tabelle 2 Richtwerte des RAL-GZ 724 (RAL, 2012)

Parameter	Einheit	Schwermetallgehalte	
		Medianwerte	80. Perzentil Werte
Cadmium	mg/MJ	0,25	0,56
Quecksilber	mg/MJ	0,038	0,075
Thallium	mg/MJ	0,063	0,13
Arsen	mg/MJ	0,31	0,81
Kobalt	mg/MJ	0,38	0,75
Nickel	mg/MJ	5	10
Antimon	mg/MJ	3,1	7,5
Blei	mg/MJ	12	25
Chrom	mg/MJ	7,8	16
Mangan	mg/MJ	16	31
Vanadium	mg/MJ	0,63	1,6
Zinn	mg/MJ	1,9	4,4

Neben den hier dargestellten Schwermetallen sind auch der Kupfergehalt sowie die Parameter Heizwert, Wassergehalt, Asche- und Chlorgehalt im Rahmen der Gütesicherung zu analysieren und dokumentieren. Für letztgenannte sind keine spezifischen Richtwerte festgelegt, da sie verfahrensspezifische Parameter darstellen, die vom Verwertungsweg abhängen und bilateral zwischen den Vertragspartnern festgelegt werden. Typische Heizwerte sind z. B. 20 MJ/kg für den Einsatz in der Zementindustrie, >25 MJ/kg für Kalk- und Steinkohlekraftwerke sowie 13-16 MJ/kg für Braunkohlekraftwerke.

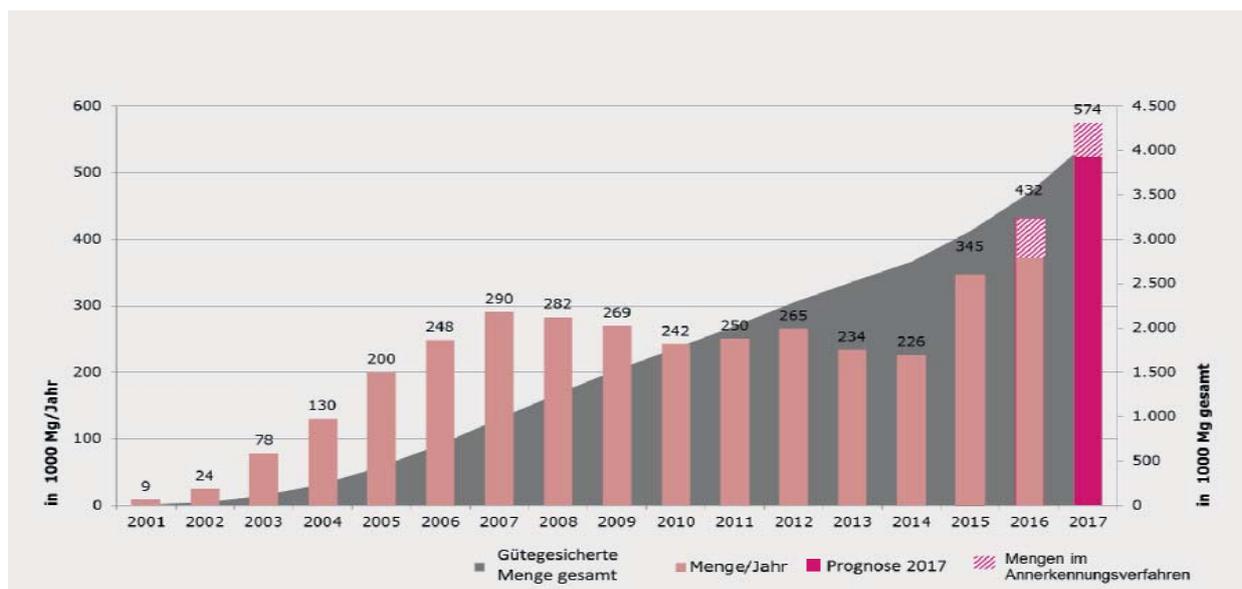


Abbildung 3 Entwicklung der gütegesicherten Brennstoffmengen (BGS E. V., 2016, aktualisiert)



Die wachsende Bedeutung der Gütesicherung spiegelt sich in den Mengen der gütegesicherten Sekundärbrennstoffe (SBS<sup>®</sup>) wieder, die sich von 2014 bis Ende 2017 nahezu verdoppeln (vgl. Abb. 3) werden.

Dieser Anstieg ist vor allem auf die Nachfrage nach qualitätsgesicherten Sekundärbrennstoffen zurückzuführen. Die Führung des Gütezeichens liefert den belegbaren Nachweis einer hohen Brennstoffqualität, der in Genehmigungs- sowie Vertragsfragen und als Bestandteil im Abrechnungsprozess gefordert wird.

## 2.4 Bedeutung der Mitverbrennung für den Klima- und Ressourcenschutz

Durch den in Sekundärbrennstoffen enthaltenen biogenen Anteil trägt ihr Einsatz in industriellen Feuerungsanlagen zum Klimaschutz bei, da CO<sub>2</sub>-Emissionen aus nachwachsenden Rohstoffen als CO<sub>2</sub>-neutral eingestuft sind und somit bei der Bilanzierung des Treibhauseffektes nicht angerechnet werden. In der energieeffizienten Sekundärbrennstoffnutzung mit einem hohen Anteil an biogenem Kohlenstoff (zwischen 20 und 75 %) liegt somit ein wichtiger Beitrag zur globalen CO<sub>2</sub>-Minderung. Dabei sind die spezifischen CO<sub>2</sub>-Kennzahlen, d. h. die CO<sub>2</sub>-Einsparung je Masse an eingesetztem Sekundärbrennstoff, u. a. abhängig von den eingesetzten Inputmaterialien, den Aufwendungen für die Aufbereitung und dem Verwertungsweg. Durch eine qualifizierte Herstellung der Sekundärbrennstoffe und anschließender Mitverbrennung in den o. g. Prozessen sind, je nach Randbedingungen, CO<sub>2</sub>-Einsparpotenziale im Bereich von 350 – 1.000 kg CO<sub>2</sub>-eq./Mg zu erzielen.

Allein in der deutschen Zementindustrie wurden im Jahr 2014 durch den Einsatz geeigneter Sekundärbrennstoffe fossile brennstoffspezifische CO<sub>2</sub> –Emissionen von ca. 1,5 Mio. Mg vermieden. Gleichzeitig wurden etwa 2 Mio. Mg Steinkohleeinheiten (SKE) an fossilen Primärenergieträgern eingespart. Zudem werden die Sekundärbrennstoffe bei der Zementherstellung vollständig verwertet, da die mineralischen Bestandteile in den Zementklinker eingebunden werden. Durch das in den Brennstoffaschen vorhandene Calcium und Magnesium können Primärrohstoffe und somit prozessbedingt weitere CO<sub>2</sub>-Emissionen von mehr als 100.000 Mg pro Jahr eingespart werden (OERTER, 2017B).

## 3 Zusammenfassung und Ausblick

Die Mitverbrennung von Sekundärbrennstoffen in industriellen Feuerungsanlagen hat sich als fester Bestandteil einer modernen Kreislaufwirtschaft etabliert, da die hier eingesetzten Stoffe als emissionsarme Energieträger hochwertig verwertet werden.



Voraussetzung dafür ist, dass die Sekundärbrennstoffe die Anforderungen der Verwertungsprozesse an die physikalische und chemische Beschaffenheit sicher einhalten. Sekundärbrennstoffe, die u. a. durch geringe Korngrößen (< 50 mm) sowie hohe Heizwerte gekennzeichnet sind, werden aus geeigneten nicht gefährlichen Abfällen durch weitergehende Aufbereitung hergestellt. Dabei liegt die in der Mitverbrennung eingesetzte Menge mit um 3 Mio. Mg/a seit Jahren auf einem konstant hohen Niveau.

Neben einer hochwertigen und schadlosen Verwertung trägt die Mitverbrennung von Sekundärbrennstoffen auch zum Klima- und Ressourcenschutz bei. So konnten allein im Jahr 2014 nur durch den Einsatz von Sekundärbrennstoffen in der deutschen Zementindustrie ca. 1,5 Mio. Mg CO<sub>2</sub> sowie ca. 2,0 Mio. Mg Steinkohleeinheiten (SKE) an fossilen Primärenergieträgern eingespart werden (OERTER, 2017B).

Die Mitverbrennung von Sekundärbrennstoffen wird auch zukünftig und unter zu erwartenden veränderten Rahmenbedingungen (z. B. Erhöhung des Recyclings, Ausstieg aus der Kohleverstromung) ihre Rolle für eine hochwertige Verwertung von Abfallfraktionen spielen. So fallen beim Recycling höhere Mengen an Sortierresten an, die wiederum einer energetischen Verwertung bedürfen. Darüber hinaus sind neue Abfallströme zu erwarten (POP-haltige Abfälle, faserverstärkte Kunststoffe), für die die Mitverbrennung zukünftig ebenfalls ein geeigneter Entsorgungsweg sein kann.

Da eine hochwertige energetische Verwertung durch den Nachweis einer gleichbleibenden und verlässlich guten Qualität (z. B. nach RAL GZ 724) erleichtert wird, ist neben einem Anstieg der insgesamt eingesetzten Sekundärbrennstoffmengen auch ein weiterer Anstieg an qualitätsgesicherten Sekundärbrennstoffen zu rechnen.

## 4 Literatur

- |           |      |   |
|-----------|------|---|
| BDK       | 2015 | Persönliche Mitteilung des Bundesverbandes der deutschen Kalkindustrie e. V. vom 10. Februar 2015   |
| BDK       | 2017 | Persönliche Mitteilung des Bundesverbandes der deutschen Kalkindustrie e. V. vom 23. Januar 2017  |
| BGS e. V. | 2012 | Probenahme-, Probenaufbereitungs- und Analysenvorschriften für Sekundärbrennstoffe im Rahmen des RAL-Gütezeichens 724 „Sekundärbrennstoffe“ und RAL-Gütezeichen 727 „Bestimmung des biogenen Anteils in Sekundärbrennstoffen gemäß RAL-GZ 724 und anderen festen Ersatzbrennstoffen“, Stand: Oktober 2012 |
| BGS e. V. | 2016 | Sekundärbrennstoffe im Zeichen höchster Qualität. RAL-Gütezeichen 724. Broschüre der Gütegemeinschaft Sekundärbrennstoffe und Recyclingholz e. V., 2016   |



DIN	2012	DIN EN 15359. Feste Sekundärbrennstoffe - Spezifikationen und Klassen; Deutsche Fassung EN 15359:2012-01, Normenausschuss Materialprüfung (NMP) im DIN, Beuth Verlag, 2012
Glorius, Thomas	2014	Persönliche Mitteilung Dr. Glorius, 15. Mai 2014
Glorius, Thomas	2016	Persönliche Mitteilung Dr. Glorius, 28. Oktober 2016
Kappa, Sven	2016	Persönliche Mitteilung Herr Kappa, 25. Oktober 2016
Oerter, Martin	2012	Umsetzung der IED in der Zementindustrie, Fachlicher Teil der Mitgliederversammlung des BGS e. V., Münster, 15. November 2012
Oerter, Martin	2015	Status quo und weitere Verwertungspotenziale in der Zementindustrie, Fachlicher Teil der Mitgliederversammlung des BGS e. V., Münster, 19. November 2015
Oerter, Martin	2017a	Hochwertige Verwertung von Abfällen – Der Beitrag der Zementindustrie zu einer modernen Kreislaufwirtschaft. In: Flamme et al. (2017): 15. Münsteraner Abfallwirtschaftstage. Münsteraner Schriften zur Abfallwirtschaft Band 17, IWARU, Münster 2017 ISBN 978-3-9811142-6-3, 1. Auflage, Februar 2017
Oerter, Martin	2017b	Persönliche Mitteilung Dr. Oerter, 19. März 2017
RAL	2012	RAL Gütezeichen Sekundärbrennstoffe. Gütesicherung RAL-GZ 724. Herausgeber: Deutsches Institut für Gütesicherung und Kennzeichnung e. V. RAL, Ausgabe Januar 2012
Thiel, S.	2011	Trends der Mitverbrennung, Der Emissionshandel und die Entwicklung der Brennstoffpreise beeinflussen den Einsatz von Ersatzbrennstoffen in Kohlekraftwerken, in: ReSource 2/2011, Abfall, Rohstoff, Energie, Fachzeitschrift für nachhaltiges Wirtschaften, S. 40 – 49, Rhombos-Verlag, Mai 2011
VDZ	2010 - 2016	Umweltdaten der deutschen Zementindustrie 2009 bis 2015, Hrsg. Verein deutscher Zementwerke e. V., <a href="https://www.vdz-online.de/publikationen/umweltdaten/">https://www.vdz-online.de/publikationen/umweltdaten/</a> ; Zugriff am 15. Juli 2015 und 23. Januar 2017



**Anschrift der Verfasserinnen:**

Prof. Dr.-Ing. Sabine Flamme  
Gütegemeinschaft Sekundärbrennstoffe und Recyclingholz e. V. (BGS)  
Fachbereich Bauingenieurwesen  
Corrensstraße 25  
D-48149 Münster  
Telefon +49 251 83 65 258

Dipl.-Biol. Sigrid Hams  
Gütegemeinschaft Sekundärbrennstoffe und Recyclingholz e. V. (BGS)  
Fachbereich Bauingenieurwesen  
Corrensstraße 25  
D-48149 Münster  
Telefon +49 251 83 65 290



# Rahmenbedingungen in der Kraftwerkswirtschaft für die Mitverbrennung von SBS

Frank Mielke, Sven Kappa

Ver- und Entsorgungsmanagement, Lausitz Energie Kraftwerke AG, Cottbus, Germany

## Framework conditions of powerplant industry for Co-Combustion of RDF

### Inhaltsangabe

Die thermische Verwertung von SBS in Braunkohlekraftwerke ist ein wesentlicher Beitrag zur Sicherstellung der Abfallentsorgung in Deutschland. Durch die Mitverbrennung von SBS in den LEAG Grundlast - Kraftwerken Jänschwalde und Schwarze Pumpe kann die ordnungsgemäße Hausmüllentsorgung der Stadt Berlin sowie in Teilen der Bundesländer Brandenburg, Sachsen und Sachsen-Anhalt gewährleistet werden. Aufgrund der hohen Qualitätsstandards für SBS liegt die Verfügbarkeit der Mitverbrennungsanlagen nahezu bei 100 %. Die Mitverbrennungskapazitäten in den Kraftwerken richten sich nach den Einsatzstunden des jeweiligen Kraftwerkes. Die Energiewende und der stetige Zubau von erneuerbaren Energien haben einen immer größeren Einfluss auf den Betrieb der Braunkohlenkraftwerke. Die Flexibilität der Kraftwerke spielt eine wichtige Rolle, um zukünftig auch weiterhin ein zuverlässiger Partner der Entsorgungswirtschaft zu sein. Darüber hinaus müssen aber auch die politischen Rahmenbedingungen für die Kraftwerkswirtschaft realistisch und kalkulierbar bleiben.

### Keywords

LEAG, Energiewirtschaft, Mitverbrennung, Sekundärbrennstoff, Qualitätssicherung, Merit-Order, BREF-Prozess, EEG, Kapazitätsreserve,

## 1 Vorbemerkungen

Am 30.09.2016 wurde der Eigentümerwechsel der Vattenfall Europe Mining AG und der Vattenfall Europe Generation AG an das tschechische Bieterkonsortium aus der Energetický a Průmyslový Holding (EPH) und der Investmentgruppe PPF Investments mit der Unterzeichnung des Kaufvertrages durch die Gesellschafterversammlung vollzogen. Am 11.10.2016 erfolgte die Bekanntgabe der künftigen Unternehmensnamen der Vattenfall Europe Mining AG und Vattenfall Europe Generation AG. Diese heißen nach der Eintragung im Handelsregister künftig: Lausitz Energie Bergbau AG (LE-B) und Lausitz Energie Kraftwerke AG (LE-K).

Die Lausitz Energie AG (LEAG) ist sich seiner Verantwortung in der Abfallwirtschaft bewusst und möchte auch weiterhin als ein zuverlässiger Partner wahrgenommen zu werden. Dabei wird LEAG eine Vielzahl von Maßnahmen ergreifen, um unter den zu-



künftigen energiewirtschaftlichen und politischen Rahmenbedingungen weiterhin zuverlässig die benötigten Mitverbrennungskapazitäten zur Verfügung zu stellen.

- Die bisherigen Voraussetzungen für die Mitverbrennung werden auch zukünftig eingehalten. Die Mitverbrennung beeinträchtigt nicht die Verwertungsfähigkeit der Kraftwerksreststoffe und den REA-Gips.
- Die Umweltverträglichkeit des Gesamtprozesses wird nicht in Frage gestellt.
- Für die Zukunft ist es wichtig, dass die Gesamtwirtschaftlichkeit der Energieumwandlung nicht gefährdet wird.
- Die Qualitätssicherung in der Mitverbrennung wird ein Dauerthema bleiben, um eine technologische oder anlagentechnisch bedingte negative Beeinflussung des Hauptprozesses auszuschließen.
- Der Energieumwandlungsprozess aus Rohbraunkohle bleibt für die Großkraftwerke der bestimmende Prozess. Die rechtlichen Rahmenbedingungen aus dem BREF-Prozess müssen umgesetzt werden. Die Kraftwerksbetreiber müssen sich im Zusammenhang mit dem EEG den zukünftigen Anforderungen an den Kraftwerksbetrieb stellen und gleichzeitig auch einen notwendigen Beitrag leisten, um die nationalen Klimaschutzziele bis 2020 zu erreichen.

Im folgenden Beitrag soll darauf eingegangen werden, welche Anstrengungen durch LEAG zur Umsetzung der energiewirtschaftlichen und politischen Rahmenbedingungen unternommen werden.

## 2 Aktivitäten im Bereich der Mitverbrennung von Abfällen in Deutschland

LEAG verfügt in Deutschland über Mitverbrennungskapazitäten in einer Größenordnung von knapp 1 Mio. t/a. Bei diesen Fraktionen handelt es sich zum einen um Klärschlamm, Tiermehl und Faserstoffe und zum anderen um überwiegend hausmüllstammige Abfälle, die zu Sekundärbrennstoffen aufbereitet wurden.

*Tabelle. 1: Einsatz von abfallstämmigen Fraktionen in 2016 (in 1.000 t/a)*

<b>Kraftwerk</b>	<b>Jänschwalde</b>	<b>Schwarze Pumpe</b>	<b>Boxberg</b>	<b>Lippendorf</b>	<b>Summe</b>
Sekundärbrennstoffe	506 kt/a	86 kt/a	-	-	592 kt/a
Faserstoffe	-	11 kt/a	-	-	11 kt/a
Mischbrennstoffe	-	82 kt/a	-	-	82 kt/a
Klärschlamm	-	-	132 kt/a	153 kt/a	285 kt/a
Tiermehl	-	-	7 kt/a	-	7 kt/a
Summe	506 kt/a	179 kt/a	139 kt/a	153 kt/a	977 kt/a



Die Mitverbrennung von Sekundärbrennstoff erfolgt auf konstant hohem Niveau, die Kapazitätsreserven zur Genehmigungsmenge ergeben sich aus Revisionen und Stillständen.

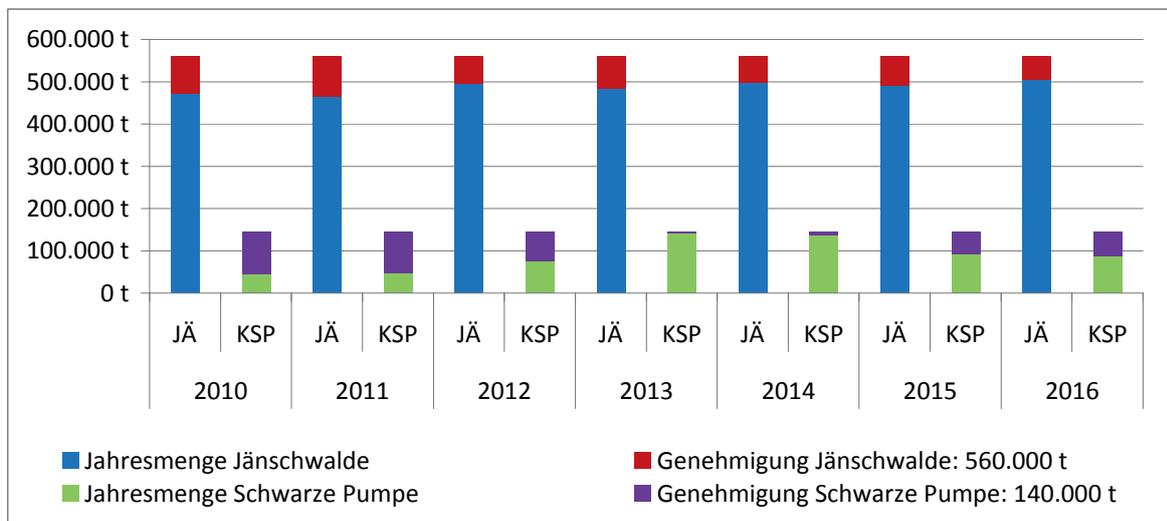


Abbildung 1 Durchsatzmengen – SBS-Mitverbrennung 2010-2016

### 3 Voraussetzungen für die Mitverbrennung in Braunkohlekraftwerken

Parallel mit Inkrafttreten der TA Siedlungsabfall im Jahr 2005 begann der Dauerbetrieb der Mitverbrennung von SBS im Kraftwerk Jänschwalde über die beiden Definitivanlagen in den Werken Y1 und Y2. Drei Jahre später wurde dann ergänzend im Kraftwerk Schwarze Pumpe die Mitverbrennung von SBS genehmigt. Zur Einhaltung der Genehmigungsanforderungen und Sicherstellung der SBS-Qualität wurde bei LEAG ein Qualitätsmanagementsystem installiert. Nur so konnte über den gesamten Zeitraum gewährleistet werden, dass die Mitverbrennung die Verwertungsfähigkeit der Kraftwerksreststoffe (Aschen) und des REA-Gipses nicht beeinträchtigt. Darüber hinaus durfte die Umweltverträglichkeit des Gesamtprozesses nicht in Frage gestellt werden, um weiterhin auch die Akzeptanz der Mitverbrennung aufrecht zu erhalten. Die Qualitätssicherung bleibt ein Dauerthema. Daneben haben sich die energiewirtschaftlichen und politischen Rahmenbedingungen in den letzten Jahren geändert und werden sich auch in Zukunft verändern.

#### 3.1 Energiewirtschaftliche Rahmenbedingungen

Mit der Liberalisierung des Strommarktes im Jahre 1998 wurde für den nationalen Stromhandel die Strombörse eingeführt. Die Strombörse ist ein transparenter Handelsplatz, um jederzeit das Stromangebot und die Stromnachfrage zu regeln.

Die verschiedenen Erzeugungsarten bieten stundenweise Ihren Strom zu einem bestimmten Preis an. Aus den Angeboten wird eine Angebotskurve (Merit Order) erstellt



unter Berücksichtigung der jeweiligen dazugehörigen Nachfrage. Dabei richtet sich der angebotene Preis nach den Grenzkosten der jeweiligen Erzeugungsart. Der Strom aus Erneuerbaren Energien wird vorrangig angeboten mit Grenzkosten nahe Null, da weder Brennstoffkosten noch Kosten für CO<sub>2</sub>-Zertifikate anfallen. Der verbleibende Bedarfsanteil an Strom wird durch die am Markt teilnehmenden konventionellen Erzeugungsanlagen gedeckt. Die konventionellen Erzeugungsanlagen haben dagegen höhere Grenzkosten aufgrund der Brennstoffkosten und der Kosten für CO<sub>2</sub>-Zertifikate. Die Höhe des Strompreises richtet sich nach der Höhe der Grenzkosten der Erzeugungsanlage, die als letzte Anlage zur Nachfragedeckung beiträgt.

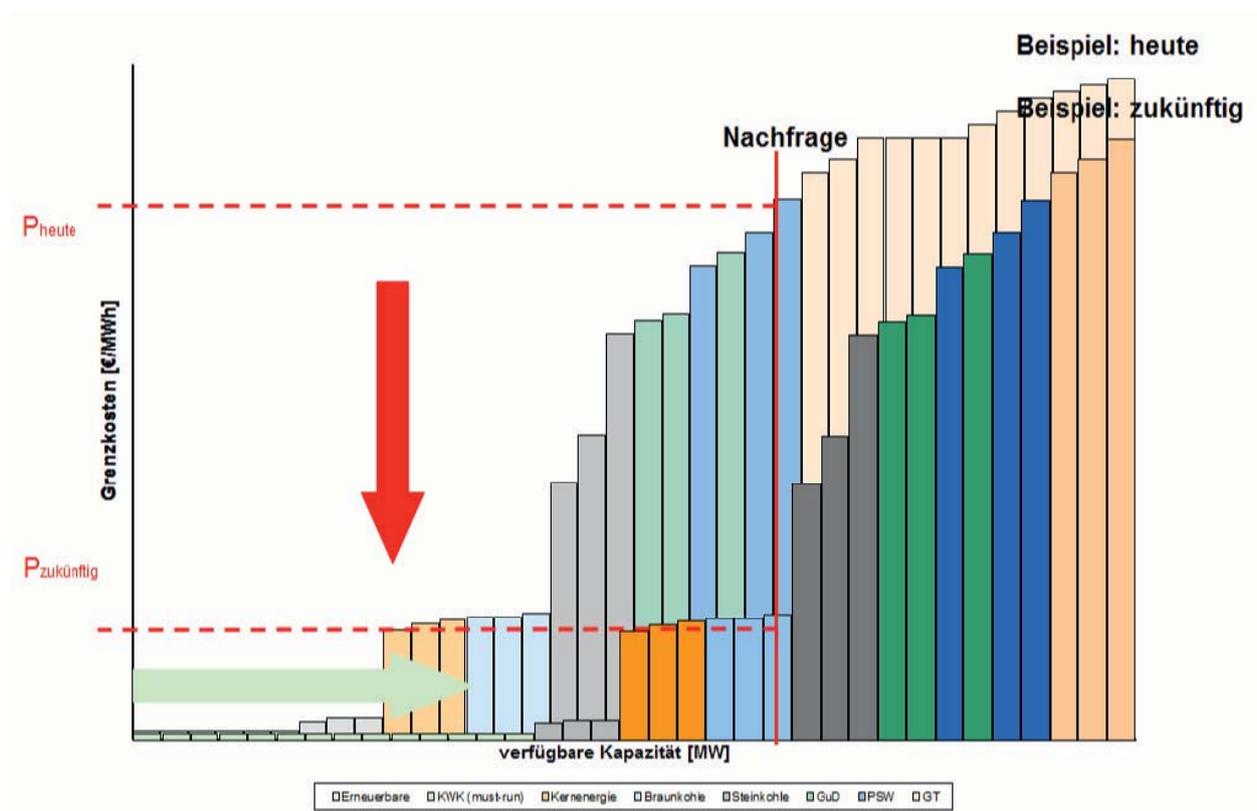


Abbildung 2 Auswirkung der Energiewende auf die Merit Order (1)

Die vorrangige Einspeisung der Erneuerbaren Energien im Sinne einer Direktvermarktung verschiebt die Angebotskurve nach rechts und senkt den Börsenpreis für Strom. Gleichzeitig werden konventionelle Kraftwerke aus dem Markt gedrängt und verlieren somit an Einsatzstunden. Mit der Einflussnahme auf den Strompreis nehmen die Erneuerbaren Energien also indirekt an den Strommarktmechanismen teil.

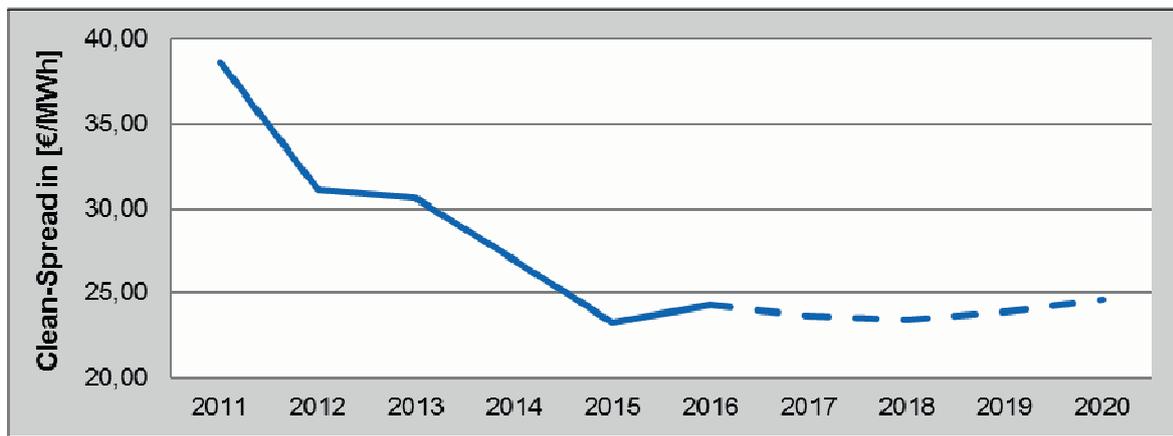


Abbildung 3 Auswirkung der Energiewende auf die Merit Order (2)

Die sinkenden Strompreise an der Strombörse erhöhen den Kostendruck auf die Erzeugungsanlagen. Mit der Veröffentlichung der Eckpunkte für eine erfolgreiche Umsetzung der Energiewende durch CDU, CSU und SPD im Juli 2015 zeichnet sich ein weiterer deutlicher Verfall des Clean-Spreads (CS) bis 2020 ab. Damit wird der Kostendruck auf die Erzeugungsanlagen noch höher. Marktteilnehmer überprüfen das eigene Anlagenportfolio, um eventuell nicht mehr wirtschaftliche Erzeugungsanlagen still zu legen.

### 3.2 Dauerthema Qualitätssicherung

Parallel mit der Aufnahme des Dauerbetriebes an beiden Kraftwerksstandorten musste auch ein effektives Qualitätssicherungssystem installiert werden. Mit dem Chloreintrag über das SBS erhöhten sich auch die Chloridgehalte in den REA-Suspensionsklarphasen der Werke Y1 –Y3. Aufgrund der erhöhten Chlorgehalte im SBS mit einer Konzentration > 1 Ma% OS wurden sehr schnell die werkstofflichen Belastungsgrenzen erreicht. Um den Chlorgehalt im SBS zu senken wurde gemeinsam mit den Aufbereitungsanlagen geeigneten Verfahren zur Chlorabtrennung diskutiert und nachgerüstet. Im Ergebnis ist der Chlorgehalt im SBS soweit reduziert worden, dass die Mitverbrennungsmenge in den Kraftwerken über die Jahre gesteigert werden konnte.

Mit der Umwidmung der Großversuchsanlage im Kraftwerk Jänschwalde in eine Kontrollanlage zur Qualitätsüberprüfung mit automatischer Probenahme konnten auch die Frachten an Schrott ermittelt werden. Im Rahmen der Überprüfung der SBS-Lieferungen der letzten zwei bis drei Jahren wurde ein Anstieg des Schrottgehaltes bei einzelnen SBS-Erzeugern festgestellt. Parallel wurde im Rahmen der Instandhaltung in dem gleichen Zeitraum an den Nasskohleventilatormühlen ein erhöhter Eintrag an Schrott sowie erhöhte Standzeiten ermittelt. Daraus ergibt sich ein hoher Kostenaufwand für die Instandhaltung und auch für die Qualitätssicherung, um zukünftig SBS mit geringem bis keinem Schrottanteil im Kraftwerk mit zu verbrennen.

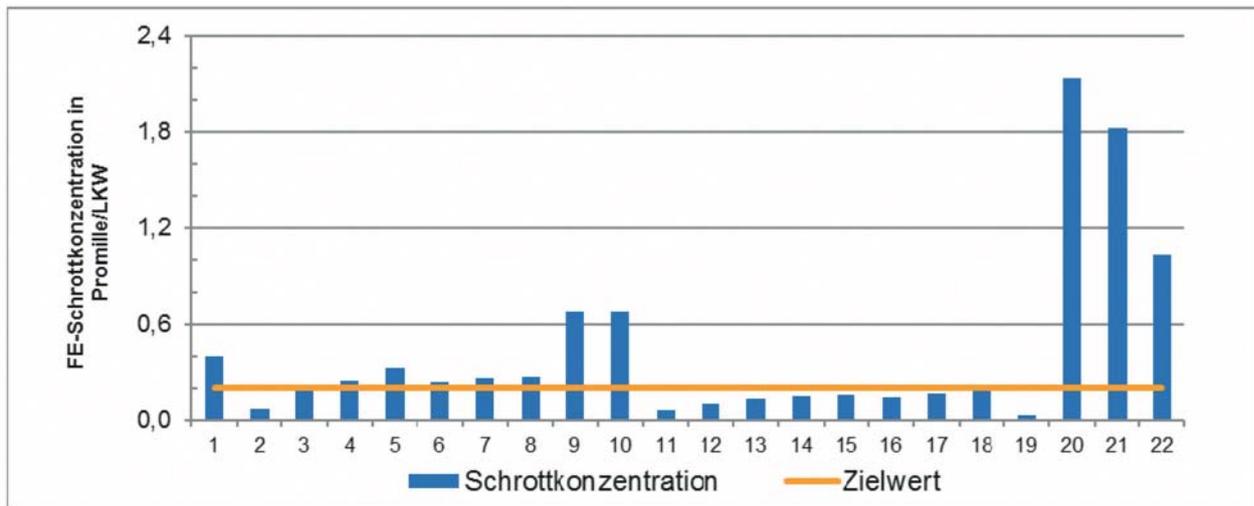


Abbildung 4 Schrottkonzentration Kontrollanlage 2015

Analog der Vorgehensweise mit den Vertragspartnern zur Reduzierung des Chloreintrages über den SBS wurde auch hier gemeinsam nach Lösungen gesucht, um durch die Installation von zusätzlichen Überbandmagneten und Neodymrollen in den Aufbereitungsanlagen den Schrottanteil entsprechend den Anforderungen von LEAG zu reduzieren.

### 3.3 Rechtliche und politische Rahmenbedingungen

Unter Berücksichtigung der rechtlichen und politischen Rahmenbedingungen bleibt für die Großkraftwerke der Energieumwandlungsprozess aus Rohbraunkohle nach wie vor der bestimmende Prozess. LEAG wird sich den Herausforderungen stellen um in Zukunft die rechtlichen Anforderungen zu erfüllen und als Brückentechnologie und Partner der Erneuerbaren Energie die Energiewende zu begleiten.

#### 3.3.1 Der BREF-Prozess

Das BREF – Best Available Techniques (BAT) Reference Document – und die darin festgehaltenen BAT-AELs (Associated Emission Levels) werden branchenspezifisch vom Europäischen IPPC Büro mit Sitz in Sevilla erarbeitet. Das letzte BREF LCP (Large Combustion Plants) und somit das letzte BVT-Merkblatt über Großfeuerungsanlagen wurde im Juli 2006 veröffentlicht. Derzeit befindet sich das BREF LCP in der Überarbeitung. Im Juni 2013 wurde vom IPPC Büro ein neuer BREF LCP Draft mit verschärften Emissionsbandbreiten veröffentlicht.

Im Zeitraum 04.06. bis 08.06.2015 fand in Sevilla das finale Treffen der TWG statt in deren Ergebnis überarbeitete BAT-AEL Schlussfolgerungen verabschiedet wurden. Gegenwärtig erfolgt durch das Büro in Sevilla die abschließende Bearbeitung. Die endgültige Festlegung der BAT-AELs für das BREF LCP erfolgt im Artikel 13 Forum.



Mit der Veröffentlichung im europäischen Amtsblatt wird dann das neue BREF LCP verbindlich. Die Novellierung der 13./17.BImSchV wird dann voraussichtlich im Jahr 2017 erfolgen. Mit den geltenden Übergangsfristen sind die BAT-AEL Emissionsbandbreiten für bestehende Anlagen ab dem Jahr 2021 einzuhalten.

Inwieweit die oberen Grenzen der BAT-AELs bei einer nationalen Umsetzung unterschritten werden, ist zum jetzigen Zeitpunkt noch unbekannt.

Für bestehende Braunkohlekraftwerke gilt ab 2019 nach der 13./17. BImSchV für Quecksilber über die bestehenden Regelungen hinaus ein Emissionsgrenzwert im Jahresmittel von  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Im Ergebnis der finalen Sitzung der TWG wurde für Braunkohlekraftwerke größer 300 MW eine Emissionsbandbreite von  $< 1$  bis  $7 \mu\text{g}/\text{m}^3$  als Stand der Technik für Quecksilberemissionen in die Luft festgelegt.

### 3.3.2 EEG und die zukünftigen Anforderungen an den Kraftwerksbetrieb

Sturmtiefs sorgen immer wieder dafür, dass aufgrund der erhöhten Einspeisung an Windstrom die Übertragungsnetze massiv überlastet werden und konventionelle Kraftwerke ihre Anlagen auf ein Leistungsminimum herunterfahren bzw. ihre Kapazitäten vollständig aus dem Übertragungsnetz nehmen müssen. Derartige Vorfälle ereigneten sich bspw. im Februar 2016. Dabei wurde in der 50Hertz-Regelzone mit mehr als 10 GW Wind-Erzeugung teilweise mehr Energie produziert als die Regelzonenlast benötigt. Die Braunkohlekraftwerke reduzierten Ihre Erzeugung auf 4 GW bzw. 53 % der Erzeugungsleistung..

Durch den stetigen Ausbau der Erneuerbaren Energien durch den Zubau mit Windkraft- und Photovoltaikanlagen werden die Übertragungsnetze in einem hohem Maße beansprucht. Die konventionellen Kraftwerksanlagen müssen noch flexibler eingesetzt werden, um den Anforderungen der Regelzonen zu entsprechen. Im Rahmen der Flexibilisierung der Kraftwerksanlagen bei LEAG werden hier zwei Wege beschritten. Durch die Reduzierung der technischen Mindestlast von gegenwärtig ca. 50 % auf zukünftig ca. 20 – 30 % vergrößert sich der Regelbereich des Kraftwerkes. Durch die Erhöhung der Laständerungsgeschwindigkeit innerhalb des fahrbaren Lastbereiches kann schneller und flexibler auf volatile Einspeisung durch die Erneuerbaren Energien reagiert werden. Somit kann noch besser zur Systemstabilität beigetragen werden.

Die Braunkohleindustrie, allem voran LEAG, kann hierbei einen wichtigen Beitrag zum Erfolg der Energiewende leisten:

- Gewährleistung der Versorgungssicherheit: Stabilisierung des Systems durch die Sicherung von Spannung und Frequenz
- Flexibilität: Ermöglichung hoher und volatiler EEG-Einspeisung
- Preisstabilität: Begrenzung der Kostensteigerung durch niedrige Erzeugungskosten



- **Innovation:** Neue, innovative Lösungen in Technik und Technologie unserer Kraftwerke

Die Braunkohle ist und bleibt somit ein langfristiger Partner der Erneuerbaren Energien. Auch die Mitverbrennung von Abfällen wird zukünftig weiter fortgeführt.

### 3.3.3 Der nationale Klimaschutzbeitrag der deutschen Stromerzeugung

Im November 2015 hat das Bundeswirtschaftsministerium einen Gesetzentwurf auf den Weg gebracht, wonach von 2016 bis 2019 Braunkohle-Kraftwerksanlagen mit insgesamt 2,7 GW Nettokapazität in eine Sicherheitsbereitschaft überführt werden. Ziel ist es, die nationalen CO<sub>2</sub>-Emissionen 2020 um 12,5 Mio. t netto zu vermindern. Teil des Gesetzgebungsplans ist es, ab 1. Oktober 2018 den Block F und ab 1. Oktober 2019 den Block E des Kraftwerkes Jänschwalde für vier Jahre in Bereitschaft zu halten und danach stillzulegen. Die Kraftwerksbetreiber erhalten dafür eine Kostenerstattung. Auch wenn wir die Fokussierung auf nationale Emissionsminderungsziele gegenüber den europäischen nicht für den richtigen Weg halten, wurde das Konzept akzeptiert.

Für die Sicherheitsbereitschaft werden die Blöcke E und F konserviert. Es ist dabei sicherzustellen, dass diese nach einer Aktivierung binnen 10 Tagen entkonserviert, danach innerhalb von 24 Stunden angefahren und unter Volllast betrieben werden können. In einem Projektteam werden zzt. die notwendigen Schritte vorbereitet inkl. der Anpassung von Arbeitsabläufen und Schichtplänen unter den – für Braunkohleanlagen – völlig neuen Bedingungen der Betriebsführung. Die Pilotanlage zur Nutzung von Trockenbraunkohle am Block F steht dabei weiterhin zur Verfügung und könnte nach Ablauf der Sicherheitsbereitschaft an einen anderen Kraftwerksblock umgesetzt werden. Der rückläufige Kohlebedarf von acht bis neun Millionen Tonnen pro Jahr wird auf die Produktion der vier Tagebaue aufgeteilt. Es gibt keine Änderung an unseren Tagebaukonzepten.

Derzeitig wird an den Blöcken A bis D die Mitverbrennung von SBS realisiert. Nach derzeitiger Einschätzung wird es aus diesem Grund nur eine mittelbare Auswirkung auf die Mitverbrennung von SBS geben. Im Zusammenhang mit dem bestehenden Reststoffkonzept wird es erforderlich werden, die jährliche Mitverbrennungsmenge von heute 500 kt/a auf zukünftig 420 kt/a zu reduzieren.



Abbildung 5 Konzept der Kapazitätsreserve für Versorgungssicherheit und Klimaschutz

Durch den Ausbau der Mitverbrennungskapazitäten an den beiden Kraftwerkstandorten Jänschwalde und Schwarze Pumpe konnte der Durchsatz an SBS in den vergangenen 10 Jahren stets gesteigert werden. Im Jahre 2015 wurden durch die Mitverbrennung von SBS ca. 470 kt CO<sub>2</sub> eingespart.

## 4 Fazit

Der stetige Ausbau der Erneuerbaren Energien hat einen immer größeren Einfluss auf den Betrieb der Braunkohlekraftwerke bis hin zur Stilllegung. Dabei wird die Flexibilität des Einsatzes der Kraftwerksanlagen zukünftig weiter steigen. Die Initiative des BMWI zur Bildung einer Kapazitätsreserve wird einen Einfluss auf den Kraftwerkspark haben. Die Qualitätssicherung bei der Mitverbrennung von SBS wird weiterhin auf hohem Niveau erfolgen, denn der Spielraum für Zusatzkosten aus der Mitverbrennung wird zukünftig nicht mehr vorhanden sein. Zur Absicherung der Entsorgungssicherheit in der Mitverbrennung sind weiterhin Zwischenlagerkapazitäten erforderlich. Über die Zukunft der Mitverbrennung von SBS nach 2020 kann gegenwärtig keine Aussage getroffen werden. Die Attraktivität für die Kraftwerksbetreiber wird vom zukünftigen CO<sub>2</sub>-Preis abhängen.



---

**Anschrift der Verfasser**

Frank Mielke  
Lausitz Energie Kraftwerke AG  
Vom-Stein-Straße 39  
D-03050 Cottbus  
Telefon +49 355 2887 3747

Sven Kappa  
Lausitz Energie Kraftwerke AG  
Vom-Stein-Straße 39  
D-03050 Cottbus  
Telefon +49 355 2887 3627



# Co-incineration in cement plants

Martin Oerter

Forschungsinstitut der Zementindustrie GmbH, Düsseldorf, Germany

## Abstract

Over the last decades the German cement industry has gained lots of experience in the use of alternative fuels in the clinker burning process. The share of suitable alternative fuels could be increased continuously. In 2015 almost 65 % of the overall thermal energy demand of the German clinker kilns was substituted via alternative fuels. The recovery process of energy and material is carried out in an environmentally safe manner. This is proven by continuous and periodic control of the emissions of the major pollutants. Furthermore, the alternative fuels are subject to a quality assurance system if necessary. Untreated mixed municipal wastes are not a suitable material for the clinker burning process. The use of alternative fuels does not only lead to a preservation of natural resources. It also delivers a significant contribution to the reduction of fossil fuel related greenhouse gas emissions. In the meantime, the use of suitable alternative materials in the cement industry is also considered as Best Available Technique (BAT).

## Inhaltsangabe

Die Herstellung von Zement und speziell das Brennen von Zementklinker bietet eine zuverlässige Möglichkeit zur hochwertigen Verwertung alternativer Materialien. So wurde in Deutschland im Jahr 2015 fast 65 % der insgesamt erforderlichen Brennstoffenergie durch geeignete alternative Brennstoffe substituiert. Die modernen Klinkeröfen weisen eine hohe Energieeffizienz auf. Ebenso trägt der Einsatz der alternativen Brennstoffe wesentlich zur Absenkung der brennstoffspezifischen fossilen CO<sub>2</sub>-Emissionen bei. Hinzu kommt, dass das Klinkerbrennen als einziger Hochtemperaturprozess in der Lage ist, die eingesetzten Materialien sowohl energetisch als auch stofflich zu verwerten. Die Brennstoffaschen und mineralischen Bestandteile bilden einen wesentlichen Bestandteil der Produkte. Aufgrund einer strengen nationalen Umweltgesetzgebung müssen die Drehofenanlagen, in denen Abfälle verwertet werden, die gleichen strengen Anforderungen erfüllen, wie sie an Abfallverbrennungsanlagen gestellt werden.

## Keywords

Ersatzbrennstoffe, Mitverbrennung, Klinkerbrennprozess  
alternative fuels, co-incineration, clinker burning

## 1 Decisive features for waste co-processing

As the essential constituent in concrete, cement plays a key role for the development of a modern society. With cement clinker burning being the major step in the production chain cement manufacturing as such is an energy and resource intensive process. However, due to its specific characteristics, the clinker burning process offers excellent opportunities to environmentally beneficial waste-to-energy and material recycling appli-



cations which can significantly provide for energy and resource savings. The decisive major features for waste processing can be summarized as follows:

- maximum gas temperatures of 2,000 °C in the rotary kiln (main firing system)
- gas retention times of about 8 seconds at temperatures above 1,200 °C in the kilns
- oxidizing gas atmosphere in the rotary kilns
- sufficient gas retention times of more than 2 s at temperatures above 850 °C in the secondary firing
- uniform burnout conditions due to the high thermal capacity of the rotary kilns
- complete destruction of dioxins and furans due to the high temperatures
- sorption of gaseous components like HF, HCl, SO<sub>2</sub> on alkaline reactants
- high retention capacity for particle-borne heavy metals
- no de-novo-synthesis of dioxins and furans (PCDD/F)
- complete utilization of fuel ashes as clinker components and hence, simultaneous material recycling and energy recovery (co-processing)
- chemical-mineralogical incorporation of trace elements into the clinker matrix

## 2 Use of wastes as alternative fuels

The German cement industry uses primarily hard coal and lignite as conventional fuels. Figure 1 shows some major key figures referring to the clinker production and the related fuel energy use.

▪ Clinker Production:	about 23 Mio t	
▪ Cement Production:	about 31 Mio t	
▪ Thermal Energy Demand:	90.1 Mio GJ/a	
↳ hard coal:	8.1 Mio GJ/a	} 31.9 Mio GJ/a
↳ lignite:	18.7 Mio GJ/a	
↳ petcoke:	3.4 Mio GJ/a	
↳ others:	1.7 Mio GJ/a	
<b>Alternative fuels:</b>	<b>58.2 Mio GJ/a</b>	
<b>Substitution of more than 2 Mio t of hard coal</b>		

Figure 1 Key figures to the German cement industry (2015)



With respect to the recovery of alternative fuels the German cement manufacturers have a long lasting experience as shown in Figure 2.

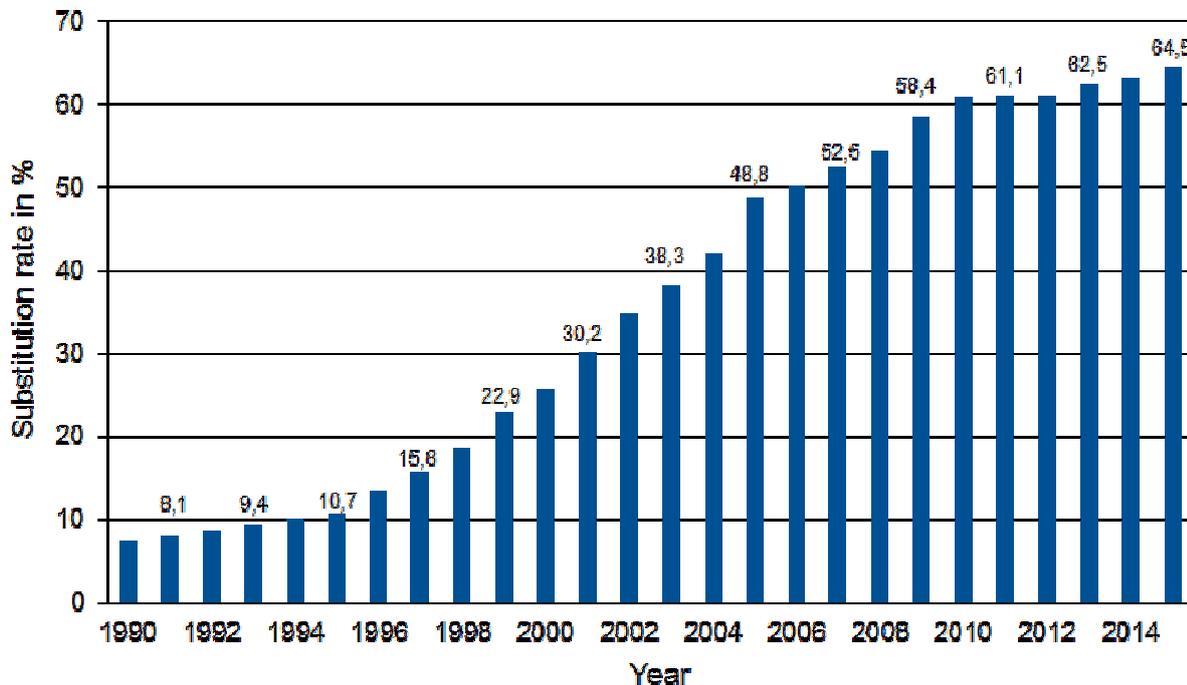


Figure 2 Alternative fuels in the German cement industry

As from 1987 on the statistics show a significant development that resulted in a substitution rate of 65 % up to the present. The corresponding fuel energy is equivalent to an annual saving of more than 2,000,000 t of coal. While these are average figures for the industry as such it is clear that some substitution rates are higher, in individual cases exceeding 80 %.

Processed fractions from industrial wastes have been preeminent among the alternative fuels used for some years by now (Figure 3). In principle fractions from municipal wastes can also serve as a suitable fuel source for cement kilns if they comply with the required quality criteria. In Germany the growing amounts on the market of such processed fractions derived from municipal wastes is a direct consequence of the ban on landfilling of unprocessed waste which took effect on 1 June 2005. However, before these materials can be used as alternative fuel in cement kilns they have to be processed and pre-treated. Unprocessed mixed municipal waste as such is not a suitable material for the clinker manufacturing process for environmental reasons.

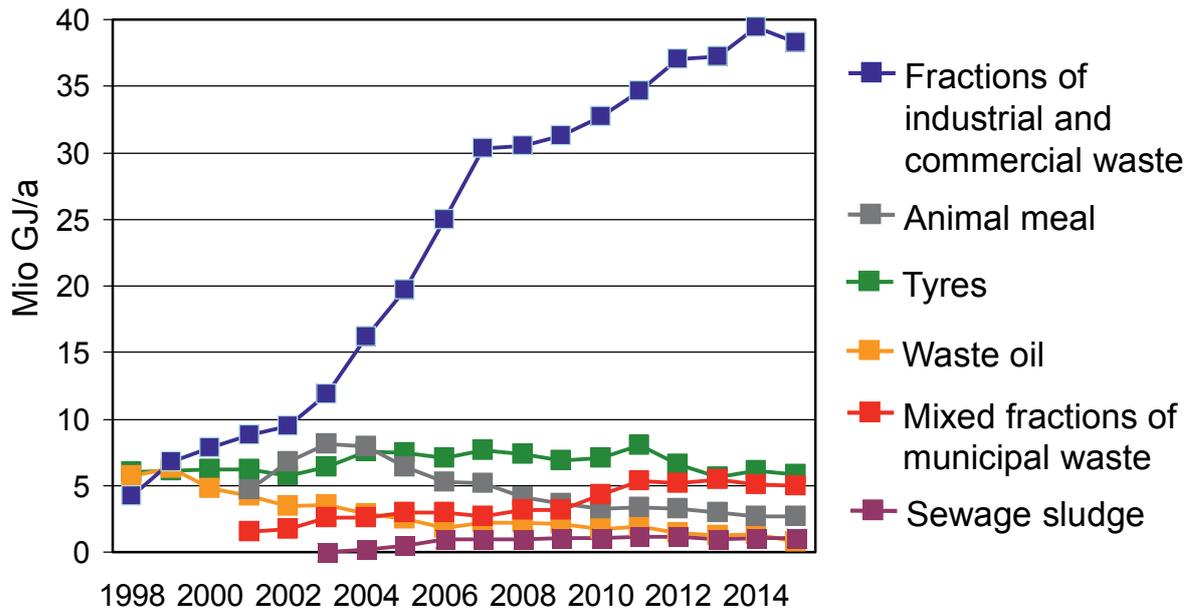


Figure 3 Important alternative fuels in Germany

### 3 Legal requirements

German cement works that utilise waste are subject to a national regulation which fully implements the requirements of Annex 6 of the European Directive 2010/75/EU on Industrial Emissions (IED). In principle, the co-incineration plants have to be operated according to the same environmental standards as dedicated incinerators.

According to the IED the emissions have to be monitored continuously ( $\text{NO}_x$ ,  $\text{SO}_2$ , dust and TOC) or periodically by an independent third party laboratory (Figure 4). The results have to be published by the plant operator thus safeguarding sufficient transparency towards the neighbourhood.



Figure 4 VDZ's emission monitoring team performing stack test as required by European and German law



## 4 Selection and feeding of suitable fuels

As the energy recovery of alternative fuels in the clinker burning process is mainly targeted at the substitution of thermal energy the calorific value is a key parameter. Depending on the quality and the source of the alternative fuels for solid materials typical values are between 17 to 23 MJ/kg. For liquid alternative fuels such as used oil or solvents it can be even higher.

Referring to an undisturbed and even kiln operation the chlorine, sulphur und alkali content of the fuels have to be taken into consideration. These constituents may build up in the kiln system leading to accumulation, clogging and unstable kiln operation. From the environmental point of view the content of volatile heavy metals has to be assessed and controlled.

Depending on their composition, wastes are used either in the main firing system or in the secondary firing system. The actual feeding point should be selected according to the nature of the respective alternative fuel. If there are doubts about the feeding point selection in the individual case, reference measurements with and without waste processing should be performed.

## 5 Impacts on the emission behaviour

Dust emissions from the clinker burning process remain unaffected by the co-incineration of wastes.

Factors determining heavy metal emissions from the clinker production process are the behaviour of the individual heavy metals in the rotary kiln system, the input situation as well as the precipitation efficiency of the dust collector. The input situation is determined by the trace element concentrations in the raw materials and fuels processed. As the raw material/fuel mass ratio for clinker production is approx. 10 to 1, the raw material-related inputs are decisive for the emissions. In operating practice, the processing of wastes may result in a decreased or increased total input of individual elements into the kiln system.

Because of the high retention capacity for particle-borne heavy metals of the pre-heater and dust collector, the co-incineration of waste has only a minor influence on heavy metal emissions from the clinker burning process. Depending on the exhaust gas temperature, mercury is present in particle-borne and/or vapour form in the dust collector. To control mercury emissions, it may therefore become necessary to limit waste-related mercury inputs into the kiln system. When firing secondary fuels recovered from mixed waste fractions, a routine receiving analysis may be required for monitoring the heavy metals input.



The inorganic exhaust gas constituents  $\text{NO}_x$ , HCl and HF remain unaffected by the choice of the feedstock. According to current knowledge, the processing of wastes in the cement production process has no significant effects on these emissions. The same applies to the emission components  $\text{SO}_2$ , CO and TOC provided that the input of volatile sulphur compounds or volatile organic compounds via the raw meal path is not increased through the processing of waste.

Furthermore, the combustion conditions in rotary kiln systems ensure low emission concentrations of PCDD/F (dioxins and furans). Indications from comprehensive measurement programs are that in operating practice, PCDD/F emissions are well below the prescribed limit of  $0.1 \text{ ng I-TEQ/m}^3$ , regardless of the waste processed.

## 6 Impacts on product quality

The careful selection of suitable waste materials ensures that the product quality as such is not affected by the use of alternative materials. In principle, the use of wastes in the clinker burning process may slightly change the trace element concentrations in the cement. Depending on the total input via the raw materials and fuels, the concentration of individual elements in the product may increase or decrease as a result of waste processing. As cement is blended with aggregates (e.g. gravel, sand) for the production of concrete or mortar, it is the behaviour of the trace elements in the building material (concrete or mortar) which is ultimately decisive for evaluating the environmentally relevant impacts of waste recovery in the clinker burning process on the product quality.

Tests on mortar and concrete test cubes have shown that the heavy metal concentrations in the eluates are noticeably below those prescribed by the German Drinking Water Ordinance, for instance. Storage under different and partly extreme conditions has not led to any environmentally relevant releases. This also holds true when the sample material is crushed or comminuted prior to the leaching tests. Also from the environmental point of view the use of waste has no negative impact on the quality of the product. Cement can be used without restrictions for mortar and concrete production. The recyclability of these materials remains unaffected.

## 7 Alternative fuels and greenhouse gas emissions

The use of alternative fuels in the German cement industry leads to a substitution of about 2,000,000 t of coal equivalents. Based upon the IPCC 2006 figures for anthracite (net calorific value:  $26.7 \text{ TJ/Gg}$ , emission factor:  $98.2 \text{ t CO}_2/\text{GJ}$ ) this represents a saving of more than 5,200,000 t of primary fossil fuel related  $\text{CO}_2$  per year. Additionally, it has to be pointed out that especially the solid alternative fuels can contain a large proportion of biogenic carbon. Current investigations have shown that this biomass proportion can



contribute between 20 % and 50 % of the carbon contained in the fuel. Figure 5 shows the average share of fossil and biogenic carbon in different alternative fuels.

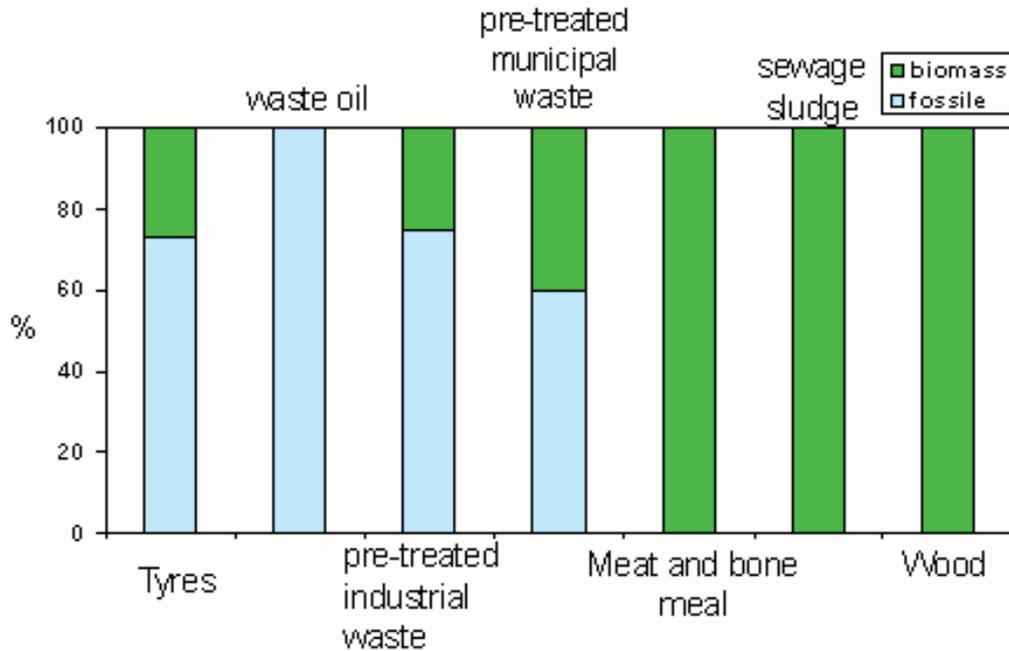


Figure 5 Average biomass content of alternative fuels

The figure also shows that even used tyres contain a remarkable amount of biomass carbon due to the content of natural rubber (caoutchouc). The German Emissions Trading authority (DEHSt) has accepted a share of 27 % of biogenic carbon as default value for used tyres.

Furthermore, it has to be pointed out that landfilling of waste has a highly detrimental effect from the climate protection point of view. The natural decomposition of organic waste materials leads not only to a release of CO<sub>2</sub>. In the contrary, during the naturally occurring uncontrolled decomposition processes other gases with much higher greenhouse gas potentials (e.g. methane) are emitted leading to a greater potential damage to the environment.

## 8 An efficient solution for future challenges

The use of alternative fuels and the positive development of the respective substitution rates in Germany show the potential contribution of the cement industry to a modern and efficient recovery of alternative resources.

Due to its specific characteristics the clinker burning process offers an excellent option for an efficient use of alternative fuels. Simultaneously, the recovery of the alternative fuels leads to a direct and significant reduction of fossil fuel related greenhouse gas



emissions. However, the cement companies use selected alternative fuels only, because these materials must suit the process and the final product from a technical and environmental point of view. This careful selection and - if necessary - pre-treatment of the secondary materials ensure that the co-incineration of wastes does not result in any harmful emissions to the environment. A quality control scheme and - whenever necessary - the limitation of trace elements in the wastes provide for a cement quality that is technically and environmentally not affected by the alternative materials being co-processed.

Based upon this overall positive impact the use of alternative fuels in the clinker burning process has lately been considered as being a Best Available Technique (BAT) for the cement industry in Europe.

The German cement industry will continue its efforts to further increase the share of suitable alternative fuels. By doing so and apart from all other advantages the industry can also deliver a valuable contribution to an environmentally sound waste management.

#### **Author's address**

Dr.-Ing. Martin Oerter  
Forschungsinstitut der Zementindustrie GmbH  
Tannenstrasse 2  
D-40476 Düsseldorf  
phone: +49 211 45 78 262



# Solid recovered fuels: determination of the renewable content

Isabelle Zdanevitch<sup>a</sup>, Gaetan Remond<sup>b</sup>, Grégoire Thonier<sup>c</sup>, Elisabeth Poncelet<sup>d</sup>

<sup>a</sup>INERIS, Verneuil-en-Halatte, <sup>b</sup>INDDIGO, Paris, <sup>c</sup>Deloitte Développement Durable, Neuilly-sur-Seine, <sup>d</sup>ADEME, Angers Cedex 01, France

## Abstract

The part of renewable energy from waste must be taken into account in the global renewable energy. For domestic waste, most countries use national reference values of the renewable fraction, based on either European standards or characterization campaigns. For mixed waste fuels, this fraction is specific, depending on the type of waste, and the preparation. In order to determine the renewable (biogenic) content of SRF, standardized methods exist, both at a European and North American level. Other methods, not covered by SRF standards, but which are fully operational, can also be used. And new methods are under development. The following study thoroughly reviews and analyses the existing and developing procedures and analytical measurements.

## Keywords

Renewable energy, biogenic fraction, solid recovered fuels

## 1 Context

At present, solid recovered fuels are used in France mainly in cement kilns. 240 kilotons are used each year (as of 2014). Considering the reduction of landfilling and the increase of recycling, it is assumed that the yearly potential production capacity by 2025 will be around 2.5 million tons among which, only 1 million tons could be used by the cement industry. 1.5 million tons would then be available for use in co-combustion units, to provide mainly heat.

Refuse Derived Fuel (RDF) is the rather broad definition used to describe a fuel that has been manufactured from 'processing' either municipal or commercial waste via mechanical and/or biological treatment. Solid Recovered Fuel (SRF) is defined using a set of parameters (among which Calorific Value (CV), Moisture Content (MC%), and Chlorine (Cl)), which makes it possible to specify several categories of SRF (and RDF). As of today, there is one -and only one- definition in France for SRF which also covers RDF, though the parameters have different values.

Biomass is considered to be carbon-neutral since the CO<sub>2</sub> liberated from the combustion of biomass is recycled in plants. The combusted biomass fraction of



RDF/SRF is used by stationary combustion operators to reduce their overall reported CO<sub>2</sub> emissions. Determining the amount of renewable energy generated from SRF raises many questions spanning from the European Community's concern to promote renewable energies to more local issues, as for example how to draft a contract between providers and users. It also has to be in compliance with the French regulation strongly amended lately: three pieces of law covering the preparation and use of SRF in dedicated co-combustion units were published in 2016.

In order to determine the renewable (biogenic) content of SRF, standardized methods exist, both at European and North American levels. Other methods, not covered by SRF standards, but which are fully operational, can also be used. And new methods are under development.

The study which was realized by Inddigo, Ineris and Deloitte for ADEME, reviewed the existing and developing procedures and analytical measurements. After an enquiry about the methods implemented by organizations of the EU countries that took the lead in that field, aims of the study were to propose methods and protocols to the French SRF industry, in order to:

- precisely measure the renewable content of refused derived fuels, assessing each process' advantages, inconvenient, opportunities and threats
- check that the waste used for SRF was not recyclable as material.

## 2 Regulation and standards

Specific law was drafted in 2016 to cover the preparation and the use of SRF. The thermal unit was considered as co-combustion as the main goal is to provide energy and not to treat waste:

- Law n° 2016-630 of May 19<sup>th</sup>, 2016, created a specific category for thermal unit using SRF in our classification "ICPE" (Installations Classified for Environmental Protection) class number 2971 (29xx being the combustion plants, and the two last digits: 71, referring to non-hazardous waste),
- a "law" of May 23<sup>rd</sup>, 2016, fixed the requirement for the operation of combustion plants which use SRF, and for atmospheric emission limit values,
- another "law" of May 23<sup>rd</sup>, 2016, sets the minimum criteria to qualify a SRF and the monitoring requirement of the quality.

Beside French regulation, European standardisation organisation CEN has published, in the years 2010-2011, a complete set of standards on classification, quality and charac-



terization or SRF. This standardization process is now reactivated on an international level by ISO. It will then be possible to correct some mistakes in the European standard and to add new standards on safety purposes, such as “self-heating” and “safe storage and handling”. Two European Standards and a Technical Document, as well as an ASTM method in the USA, cover the characterization of the biogenic content of SRF.

### 3 Description of methods to determine the biogenic content of SRF

**Table 1** reports the different methods which can be used for the characterization of the biogenic content of SRF, their standardization state, and if they are used in different European countries.

*Table 1 : use of different determination methods in European countries*

Method	Standardized?	DE	AT	BE	DK	IT	NO	NL	UK	SE
Quantities of SRF/RDF incinerated (Mtons)		41.7	3.2	7.7	2.9	8.0	4.1	9.8	7.4	6.6
Manual sorting	Y					+		+		+
Selective dissolution	Y		++	++					++	
<sup>14</sup> C pre-combustion	Y			+		++			++	+ / ++
<sup>14</sup> C post-combustion	Y				++	++			++	+ / ++
Mass & Energy balance (modelling)	Under progress	++	++	++	++	D			++	+ / ++
“Fixed values” method (calculation)	N	++		++		++	++	++		++
Calorimetric test	D									
Thermogravimetric method	D									
Image analysis	D								+	
Wood waste method	N								++	
Optical characterization	D									

++: method widely used, +: method little used,

D: method under development



### 3.1 Standardized methods

The methods summarized thereafter are described precisely by European (and for some of them, by American) Standards. The European Standard EN 15440 will shortly undergo a reviewing process, in combination with international standardization in the ISO TC 300 / WG 5 which was just installed.

EN 15440:2011 covers three different methods for the determination of the renewable (biogenic) content of SRF:

- manual sorting,
- selective dissolution,
- <sup>14</sup>C measurement in the SRF.

Selective dissolution and <sup>14</sup>C measurement are also covered by the American Standard ASTM D6866:2012 (which is applicable to solid, liquid or gaseous fuels). <sup>14</sup>C measurement in flue gas is covered by EN ISO 13833:2013.

#### 3.1.1 Manual sorting (EN 15440)

Principle: a sample of solid SRF must be collected and prepared according to the sample preparation standards EN 15442 and EN 15443, sieved at 10 mm and dried at 105 °C. The raw sample is then weighed, and manually sorted by 14 categories: biological waste, paper/cardboard, wood, fabric, leather/rubber, glass, stones, soft and hard plastics, carpets/mattresses, iron; non-ferrous metals, small particles. Waste is weighed for each category. Depending on the category, a percentage of biomass content is then allocated to each category: biological, paper etc. are 100 % biomass, while plastics, carpets... are non-biomass; fabric, small particles are considered 50 % biomass. Stones, glass, iron etc. are inert. Table 2 summarizes the pros and cons of manual sorting method.

*Table 2: advantages / disadvantages of the manual sorting method*

Pros	Cons
Easy to implement: only a precision balance and lab oven	Not applicable to smaller SRF (d > 10 mm)
No expensive analytical devices nor experimented laboratory needed. No use of chemicals	Time consuming (more expensive than some routine analysis); operator must be well trained
Can be used on the SRF production site	Large sample necessary (depends on size of elements and homogeneity of the SRF)



Pros	Cons
Mature, widespread in Europe	Difficulties in the determination for composite materials
	Result is given in weight and not in calorific value: not useful for combustion plants

### 3.1.2 Selective dissolution (EN 15440)

Principle: this method applies to solid SRF. If elements are larger than 1 mm, they should be divided. Samples of minimum 5 g are taken. One is used for the determination of ashes content, the other one is dissolved, first in concentrated sulfuric acid, then in hydrogen peroxide. Only non-biodegradable materials remain, such as plastics. Ashes content of the residue is also determined. If calorific values of the total and the non-biomass samples are determined, it is possible to calculate the calorific value of the biogenic fraction of the SRF. Table 3 summarizes the pros and cons of the selective dissolution method.

*Table 3: advantages / disadvantages of the selective dissolution method*

Pros	Cons
Applies to small size elements (complementary to manual sorting)	Small sample size: it may be difficult to be representative of heterogenous SRF
No expensive analytical devices (GC/MS...) needed.	Well-equipped laboratory needed + use of chemicals
Standardized	Elements should be reduced below 1 mm; risk of self-heating may come when grinding
Widely used by several countries in Europe	Wrong determination for several materials: coals, some plastics, wool, synthetic or natural rubber, fat contained in biomass...
Can be used on composite elements	Need to determine the ash content of total + non-biogenic fraction

### 3.1.3 <sup>14</sup>C pre-combustion (EN 15440)

Principle: this method applies only to solid SRF. The measurement of <sup>14</sup>C is performed on the CO<sub>2</sub> emitted by the combustion of the sample. Therefore, combustion of the sample must be complete. CO<sub>2</sub> may be sampled directly, to be introduced in a preparation line in which it is reduced to black carbon, for introduction into the chamber of an accelerated mass spectrometer, or it may be dissolved either: in sodium hydroxide to



analysis by  $\beta$  ionisation, or carbamate and appropriate liquid for scintillation measurement.

$^{14}\text{C}$  content of a sample is directly linked to its biogenic content:  $^{14}\text{C}$  is maximum at present times, decreases as the age of the sample increases, and is not detectable for samples older than 50,000 years. Oil and coal originate from organic matter older than 100,000 years for the “youngest”. Therefore,  $^{14}\text{C}$  of oil, coal and derived products such as plastics is not detectable.  $^{14}\text{C}$  content of a SRF sample, compared to contemporary values, is directly related to the biogenic content of the sample, but must be corrected from the contemporary variation of  $^{14}\text{C}$  due to atmospheric thermonuclear tests in the years 60s to 70s: see how correction applies from **Figure 1**.

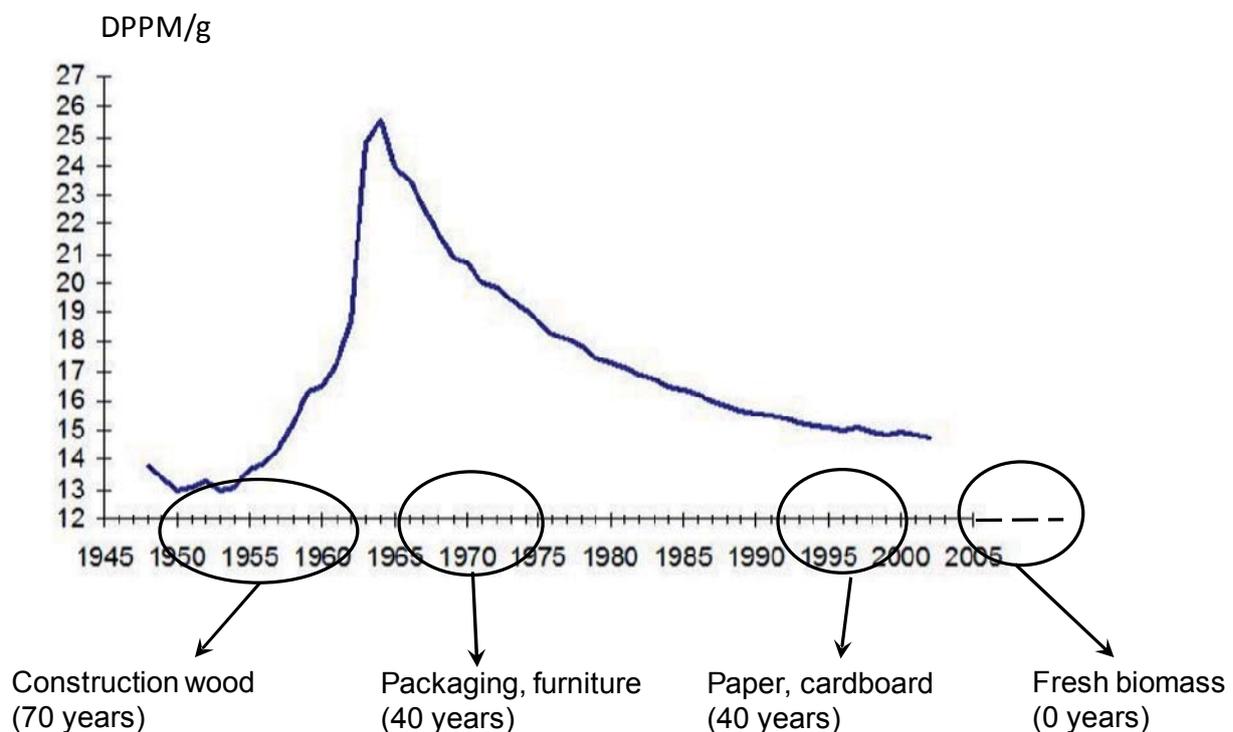


Figure 1: variation of the  $^{14}\text{C}$  concentrations over the past 70 years

As seen in **Figure 1**, biomass which was used in the years 60 to 70-80 to manufacture goods, needs the bigger correction factor from atmospheric  $^{14}\text{C}$  variation due to thermonuclear tests. It is therefore important to know when the biomass was used to apply the best correction factor.

Table 4 summarizes the pros and cons of the  $^{14}\text{C}$  measurement method.



Table 4: advantages / disadvantages of the  $^{14}\text{C}$  pre-combustion measurement method

Pros	Cons
Sensitive and very good precision	Very small sample ( $\approx 1$ g carbon): representability may be difficult
Strong scientific basis	Needs calibration and corrections
Directly linked to the biogenic content or SRF	Expensive analytical apparatus (AMS)
Tested on many samples: reproducible values	Time of counting (liquid scintillation: up to 1 week)
Also applicable to liquid or gaseous samples, and to combustion emission: see 3.1.4	Only few laboratories in the world (especially for AMS)

### 3.1.4 $^{14}\text{C}$ post-combustion measurement (EN ISO 13833)

This method can be used for all types of waste: solid, liquid or gaseous, as sampling is done on the combustion gaseous emission. The Standard describes sampling and analysis protocols, based on the  $^{14}\text{C}$  measurement method. Sampling flue gases is well described by the Standard and fulfils the good practice (heated sampling line, filters, driers, flowmeter, mass regulators...). An important advantage of the sampling method is that it can be sequential, allowing to sample larger and more homogenous samples of combustion gases. Preparation of the sample for analysis is the same as for EN 15440. Table 5 summarizes the pros and cons of the specific  $^{14}\text{C}$  measurement method on flue gases.

Table 5: advantages / disadvantages of the  $^{14}\text{C}$  post-combustion measurement method

Pros	Cons
Less sampling difficulties than waste sampling	Sampling may be difficult and expensive for small combustion plants
Applicable to all sorts of fuels (solid, liquid, gaseous) and not only SRF	$\text{CO}$ , $\text{CO}_2$ and $\text{O}_2$ must be measured simultaneously
Samples from 2 to 20 litres $\text{CO}_2$	Cannot identify between different suppliers once the fuel is burnt
Principle of the sampling line is well described by the Standard: competent bodies can perform the sampling easily	Sampling line expensive
	Few laboratories can analyse the sample in Europe (but one in the US)



## 3.2 Non-standardized methods

These methods are not standardized by CEN at a European level, however, they are not weaker, nor less useful than standardized methods.

### 3.2.1 Mass and energy balance

Regular measurements are made on SRF combustion plants. Data are used to calculate the renewable part of electricity produced, by using a set of equations. The model was first developed and published by Fellner in Vienna University. It is based on mass-energy balance between inputs and outputs. Some data are measured on site (continuously or by sampling, e.g. for SRF composition), other data come from literature. The calculation is based on a system presented in Figure 2. A software, "BIOMA"; was developed by Vienna University and Ramboll. This software has been validated using different mixes of biogenic and fossil organic biomasses. It is supplied by Ramboll. A free software called "OBAMA" was recently developed in Italy.

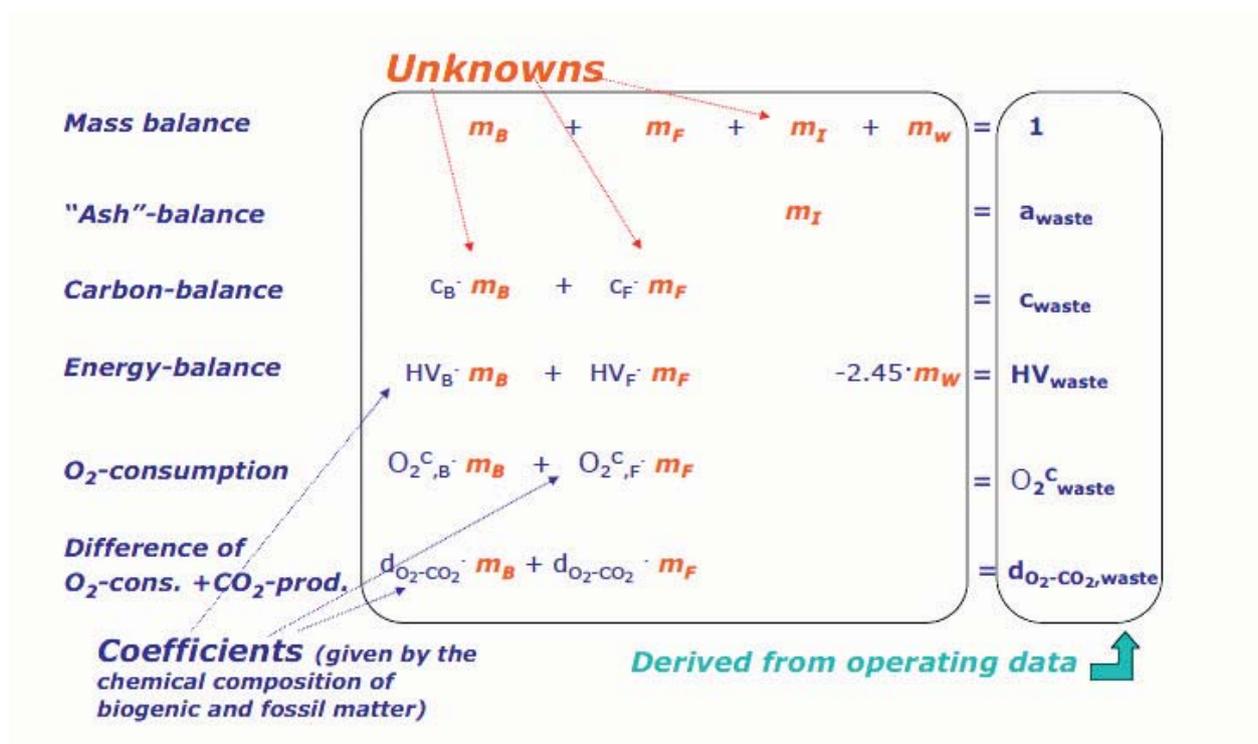


Figure 2 : mass-energy balance model (Fellner, 2014)

Table 6 summarizes the pros and cons of the mass-balance method.



*Table 6: advantages / disadvantages of the mass-balance method*

Pros	Cons
Approved by several countries: Austria, Sweden, Switzerland, Belgium, Denmark, UK)	Indirect method, less precision than direct method
No sampling of inputs or outputs needed	Calibration of the model necessary
Good precision (when calibrated with <sup>14</sup> C data)	Only 1 software available on market
Continuous measurement may be used: can become a plant operation tool	Not standardized (not accepted in France)

### 3.2.2 « Fixed values » method

This method calculates the energy provided by the biomass content of a global waste flux, at a national level. It is used, for instance, in the Netherlands, to calculate the renewable part of energy from incineration of non-hazardous waste (municipal + commercial/industrial). It can also be used at a plant level: in France, it is used for incineration or generation plants; renewable energy is evaluated to represent 50 % of the total incineration energy<sup>1</sup>.

A Dutch report (DEN, 2010) describes the methodology to evaluate the global fractions of total, biogenic and fossil carbon for different waste streams. For municipal waste, total quantity is published by the working group on waste registration. Samples are taken from 1,100 households through the country and characterized by manual sorting. Waste are allocated to different categories, as in the manual sorting in EN 15440. The sum of the waste fractions in each category is presumed to represent the global waste stream of the country. Data are published over 3 years. Total carbon content of the waste stream is calculated by integrating the relative carbon content of all the categories: total waste, biogenic fraction, fossil fraction. Imported waste in the Netherlands, which go to the incinerators, are presumed to be similar to the municipal waste from the country. Other waste such as commercial or industrial are described as percentages of 6 categories (paper/cardboard, wood, organics, plastics, other combustibles, non-combustibles); total, biogenic and fossil carbon contents are calculated for each category and summarized. This method allows the calculation of the renewable energy from waste incinera-

<sup>1</sup> Co-generation from biogas or energy from biomethane is estimated 95-100 % renewable because biogas comes from the biodegradation of biological waste (food, green and paper waste mainly).



tion on a national level, but it presents a larger uncertainty than more “localized” methods, because of the uncertainties on the different waste streams composition.

### 3.2.3 Methods under development

The methods which are cited in **Table 1** as “under development” are not used at present, and therefore will not be detailed here. They can be found, with some references, in the ADEME study, as well as in an IEA Bioenergy/RSE report (2012). It should be noticed that optical characterization of SRF is already available, but this method is not standardized yet, and it should be evaluated for a large set of samples. As far as we know, both a German/Norwegian and a French company already propose this application.

## 4 Proposal for the French market

Verification of the biogenic content of SRF, or renewable energy, can be made at three levels, as represented in Figure 3.

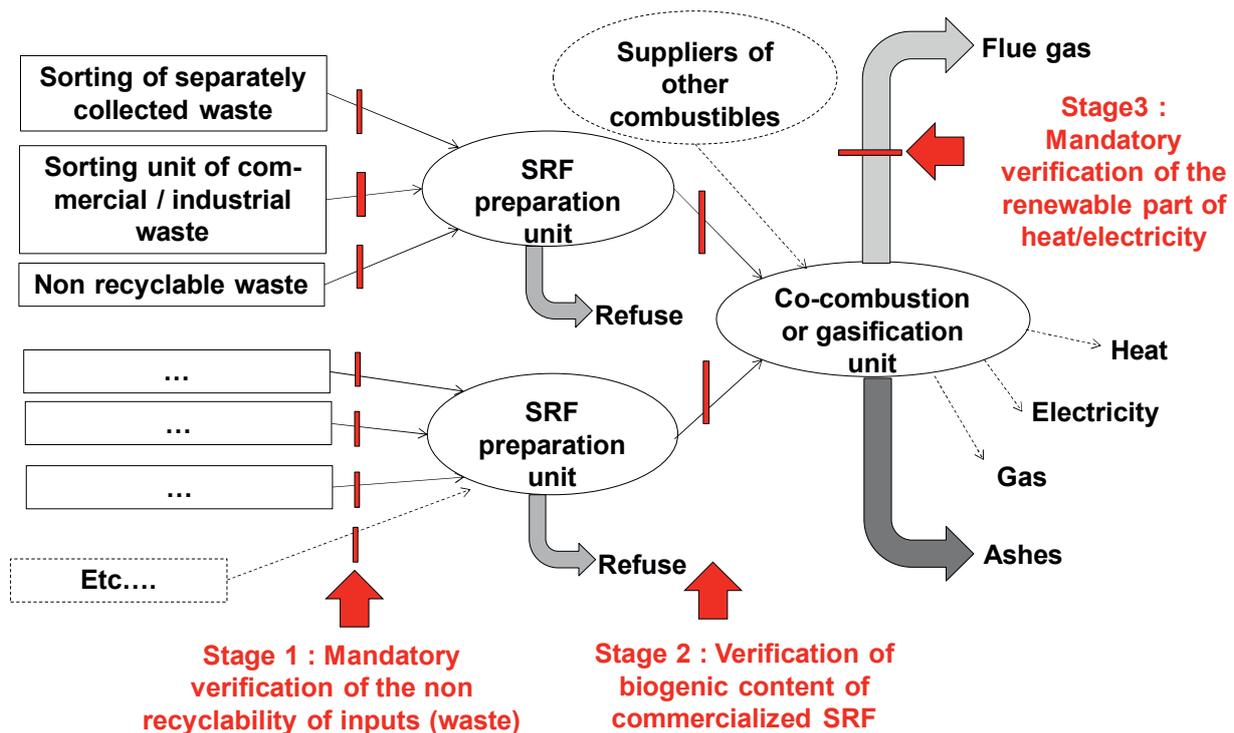


Figure 3 position of the different control steps

### 4.1 Input to the SRF manufacturing plant

In France, it is asked (as mentioned in the recent French Law on Energy Transition: August 2015) that waste which is the source of SRF could not be recycled as secondary