Stephanie Thiel
Elisabeth Thomé-Kozmiensky
Peter Quicker
Alexander Gosten



Energie aus Abfall

Band 17

TK

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

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

Stephanie Thiel, Elisabeth Thomé-Kozmiensky, Peter Quicker, Alexander Gosten (Hrsg.):

Energie aus Abfall, Band 17

ISBN 978-3-944310-50-3 Thomé-Kozmiensky Verlag GmbH

Copyright: Elisabeth Thomé-Kozmiensky, M.Sc., Dr.-Ing. Stephanie Thiel
Alle Rechte vorbehalten

Verlag: Thomé-Kozmiensky Verlag GmbH • Neuruppin 2020
Redaktion und Lektorat: Dr.-Ing. Stephanie Thiel, Elisabeth Thomé-Kozmiensky, M.Sc.
Erfassung und Layout: Elisabeth Thomé-Kozmiensky, M.Sc., Claudia Naumann-Deppe, Sarah Pietsch, Ginette Teske, Janin Burbott-Seidel, Roland Richter, Cordula Müller, Gabi Spiegel
Druck: Universal Medien GmbH, München

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, des Vortrags, der Entnahme von Abbildungen und Tabellen, der Funksendung, der Mikroverfilmung oder der Vervielfältigung auf anderen Wegen und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten. Eine Vervielfältigung dieses Werkes oder von Teilen dieses Werkes ist auch im Einzelfall nur in den Grenzen der gesetzlichen Bestimmungen des Urheberrechtsgesetzes der Bundesrepublik Deutschland vom 9. September 1965 in der jeweils geltenden Fassung zulässig. Sie ist grundsätzlich vergütungspflichtig. Zuwiderhandlungen unterliegen den Strafbestimmungen des Urheberrechtsgesetzes.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürfen.

Sollte in diesem Werk direkt oder indirekt auf Gesetze, Vorschriften oder Richtlinien, z.B. DIN, VDI, VDE, VGB Bezug genommen oder aus ihnen zitiert worden sein, so kann der Verlag keine Gewähr für Richtigkeit, Vollständigkeit oder Aktualität übernehmen. Es empfiehlt sich, gegebenenfalls für die eigenen Arbeiten die vollständigen Vorschriften oder Richtlinien in der jeweils gültigen Fassung hinzuzuziehen.

Vorwort

In diesem Jahr gibt es neben den klassischen Schwerpunkten, zu denen die Fachbuchreihe *Energie aus Abfall* in jedem Band einen Überblick über den fortgeschrittenen Stand der Technik und aktuelle Projekte bietet, gleich mehrere neue Themen.

Zum einen haben wir namhafte Ingenieur- und Planungsbüros gebeten, unter dem Titel *Konzept der Abfallverbrennungsanlage 2030* zu skizzieren, wie aus ihrer Sicht die MVA in zehn Jahren aussehen wird. Betrachtet werden hierbei die zukünftige Zusammensetzung des Inputs, eventuelle Vorbehandlungsverfahren sowie im Blick auf die Anlage selbst die Gestaltung und Auslegung von Feuerung und Kessel – einschließlich Werkstoffen, Korrosionsschutz, Additiven und Reinigung. Weitere Aspekte sind die Weiterentwicklung der Abgasreinigung, auch im Blick auf neue Schadstoffe, die Energienutzung unter Berücksichtigung von energetischer Anbindung und Speichertechnologien sowie Produkte der MVA – Rostasche, Abgasreinigungsprodukte, abgeschiedenes CO_2 – und deren Aufbereitung und Verwertung.

Zum anderen ist zurzeit das chemische Recycling von Kunststoffabfällen ein viel diskutiertes Thema. Hierzu wird aus Sicht des BMU dargelegt, dass das chemische Recycling von Kunststoffverpackungen nicht als Verwertungsoption zur Erfüllung der im Verpackungsgesetz vorgegebenen werkstofflichen Verwertungsquote für Kunststoffverpackungen angerechnet wird. Mehrere Beiträge geben einen Überblick über die verschiedenen Verfahren der rohstofflichen Verwertung von Kunststoffen, zeigen deren jeweiligen Entwicklungsstand auf und bewerten sie unter Gesichtspunkten wie Produktqualität, Umweltnutzen und Wirtschaftlichkeit. Zudem werden aus einem Blickwinkel außerhalb der Abfallwirtschaft das Entsorgungssystem für Kunststoffverpackungen und die Berichterstattung über verschiedene Umweltthemen kritisch beleuchtet und in den Hintergrund grundlegender problematischer Entwicklungen in Medien und Politik eingeordnet.

Angesichts der demographischen Entwicklung und des Fachkräftemangels in Deutschland werden Fragen der Personalentwicklung und der Sicherung von Erfahrungswissen auch über den Generationenwechsel hinweg behandelt – sowohl mit Blick auf Anlagenbetreiber als auch den Anlagenbau.

Schließlich gibt es auf der Konferenz erstmals eine Fachsitzung *Format Aufsichtsräte.* Hier referieren Aufsichtsratsmitglieder und Geschäftsführer über zentrale unternehmenspolitische Fragestellungen, unter anderem Unternehmenskultur, Effizienz der Kommunalwirtschaft und Verantwortung von Aufsichtsräten. Diese Vorträge sind nicht hier im Buch zu finden, sondern ausschließlich live auf der Konferenz zu hören und zu diskutieren.

So wünschen wir Ihnen eine interessante Konferenz mit neuen Einsichten und Impulsen sowie eine anregende und informative Lektüre.

Februar 2020

Professor Dr.-Ing. Peter Quicker *Dr.-Ing. Alexander Gosten*

Dr.-Ing. Stephanie Thiel *Elisabeth Thomé-Kozmiensky, M.Sc.*

Inhaltsverzeichnis

Konzept der Abfallverbrennungsanlage 2030

Konzept der Abfallverbrennung 2030
Peter Kling, Andrea A. Stooß und Riikka Dahlbom 3

Konzept der Abfallverbrennungsanlage 2030
Thorsten Moczala, Andreas Steckner und Margit Löschau 17

Abfallverbrennung 2030 – Synergien nutzbar machen
Nils Oldhafer, Tammo Rebling, Christoph Schmid,
Jan-Ole Paulsen und Stefan Breitkopf 31

Konzept der Abfallverbrennungsanlage 2030
Klaus-Axel Riemann 49

Chemisches Recycling von Kunststoffen

**Chemisches Recycling von Kunststoffabfällen –
eine Alternative zur werkstofflichen Verwertung?**
Alexander Janz 67

Edel sei der Mensch, hilfreich und plastikfrei
Roland Tichy 71

**Rohstoffliche Kunststoffverwertung:
Kritische Würdigung potentieller Ansätze**
Peter Quicker 81

Thermochemisches Recycling – ein Ansatz zur Verwertung von Kunststoffabfällen?
Julia Vogel, Franziska Krüger und Petra Weißhaupt 93

**Evaluierung von thermisch-chemischen Depolymerisationstechnologien
zur Verwertung von Kunststoffabfällen**
Mathias Seitz, Markus Klätte und Martin Pohl 105

Beitrag des chemischen Recyclings zur Defossilierung von Rohstoffketten – Konzeptstudie für die nachhaltige Olefinerzeugung in Deutschland
Ludwig Georg Seidl, Roh Pin Lee, Florian Keller und Bernd Meyer 115

Was können die mechanische Aufbereitung von Kunststoffen und das werkstoffliche Recycling leisten?
Joachim Christiani und Sandra Beckamp 139

Wirtschaftliche und rechtliche Entwicklungen

Markt

Aktuelle Entwicklungen in der thermischen Abfallverwertung
Pascal Hugo 155

Demnächst chinesische Anlagenbauer in Europa?
Stephan Bhend und Martin Brunner 173

Angewandte Rechtsfragen

Energierechtliche Rahmenbedingungen für thermische Abfallbehandlungsanlagen 2020
Martin Riedel, Martin Kraft, Jennifer Morgenstern und Niko Liebheit 183

Bindungswirkung von Vorbescheid bzw. Teilgenehmigung für ein EBS-Kraftwerk – Kann ein genehmigtes Vorhaben ohne erneute Auslegung geändert werden?
Peter Kersandt 195

Personalentwicklung bei MVA

Langfristige Sicherstellung der Schichtstärke im Betrieb eines MHKW unter den Rahmenbedingungen Demographie, Arbeitsbedingung und kommunales Unternehmen
Jens Peitan 209

Fachkräftemangel im Industrieanlagenbau – eine Herausforderung für den Mittelstand
Stefan Kurzawa 225

Wissensverlust durch den Generationenwechsel
– Wie Erfahrungswissen gesichert werden kann –
Hans Karl Preuß 235

Neubau und Umbau von Anlagen

Qualität beginnt mit der Ausschreibung
– Neubauprojekte bieten die Chance zur Realisierung integrativer Datenstandards für die Projekt- und Betriebsphase –
Jan Hendrik Schindler 263

Digitale Transformation durch Building Information Modeling bei der Planung von Anlagen
Probal Tagore Brahma, Markus Wieduwilt und Thomas Stegmann 273

Herausforderungen bei Erneuerungen von Abfallverbrennungsanlagen im Bestand
– Was gilt es zu beachten? Wo liegen die Herausforderungen? –
Norbert Eickhoff und Steffen Scholz 305

Optimierung von Anlagen

Vorschubrost weiterentwickelt: schneller Unterhalt, hohe Flexibilität und lange Lebensdauer
Maurice H. Waldner und Werner Brennwald 329

Betriebserfahrungen mit einem wassergekühlten Walzenrost
Peter Turba 351

Erfahrungen mit der Leistungserhöhung einer Kesselanlage und Schlussfolgerungen für die Auslegung künftiger Neuanlagen
Siegfried Scholz 369

Abgaskondensation im Zusammenspiel mit Combustion Air Humidification
– Effizienzsteigerung von Abfallverbrennungsanlagen –
Marcus Whitworth und Milan Houdek 385

Energienutzung und -speicherung – CO_2- Abscheidung – Power-to-X

Konzeptentwicklung zur bedarfsgerechteren Strom- und Wärmeauskopplung von Abfallheizkraftwerken unter Einbindung von verschiedenen Speichertechnologien
Michael Nolte und Patrick Lagodny 405

Rückgewinnung von CO_2 aus Abgasen und Herstellung von Methanol unter Berücksichtigung der Prozessbilanzierung
Markus Lehner und Teresa Schubert 421

Digitalisierung und Predictive Maintenance

Betriebsdatengestützte Anlagenoptimierung: Was heute möglich ist
Martin Horeni und Michael Wechner 443

Anwendung neuronaler Netze zur Steuerung einer verfahrenstechnischen Anlage
Frank Gebhardt 457

Künstliche Intelligenz und High Quality Performance Indicators als starke Softwaretools in der prädiktiven Instandhaltung
Mariusz Maciejewski und Harald Moosandl 465

Effizienzsteigerung und Emissionsminderung durch Digitalisierung – Online-Bilanzierung des Prozesses und Vorhersage der Verschmutzungssituation im Kessel
Robert von Raven und Axel Hanenkamp 483

Korrosion und Werkstoffe

Additive

Einsatz von Tonschichtmineral, Flüssigsulfaten und Schwefelbrenner als Additive zur Belags- und Korrosionsreduzierung im Biomasseheizkraftwerk
Wolfgang Zieger 499

Schwefelbrenner in Theorie und Praxis
Sascha Krüger, Rupert Warlo und Jörg Krüger 543

Cladding

Erfahrungen mit Cladding im IKW Rüdersdorf
Harald Lehmann 563

Erfahrungen mit dem Vollcladding in der Müllverwertungsanlage Ingolstadt
Robert Meisner 583

Technischer Stand beim Cladding
– Bedarfsgerechter Korrosionsschutz zur Lebensdauersteigerung –
Konrad Gerner und Arne Manzke 599

Praktische Qualitätsbestimmung für Schweißplattierungen
Werner Schmidl, Susanne Klotz, Dominik Molitor und Dominik Schneider 619

Abgasbehandlung

Bildung und Verhalten von stickstoffbasierten Verbindungen
Stefan Zeltner 629

Erfahrungen bei der Erweiterung und dem Umbau von SNCR-Systemen
in Abfallverbrennungsanlagen vor dem Hintergrund schärferer Grenzwerte
Jens Esslinger 647

Substitution von Ammoniakwasser durch Abwässer bei SNCR-Verfahren
Guido Lücker 665

Untersuchungen zur Abscheidung saurer Schadgase
mit Kalkhydrat bei Temperaturen > 200 °C
Thomas Horst und Peter Quicker 687

Modernisierung der Gasreinigung hinter der Rückstandsverbrennungsanlage
BASF Schwarzheide – Ziele erreicht?
Thilo Weißert, Rüdiger Margraf, Olaf Otto, Robert Langsch,
David Koch und Karl Hölemann 707

Modernisierung von Nasswäschern
Thomas Albrecht 727

Warum müssen in Deutschland Abgasreinigungsanlagen hinter MVA abwasserfrei sein?
– Ein Widerspruch zum Rest von Europa und dem Energienutzungsgebot
Rudi Karpf und Linda Drukmane 741

Ersatzbrennstoffe in Zementwerken

Stoffliche Verwertung bei der energetischen Nutzung von Ersatzbrennstoffen in der Zementindustrie
Renato Sarc, Sandra A. Viczek, Alexia Aldrian, Karl E. Lorber und Roland Pomberger 761

Echtzeit-Monitoring und Optimierung der Sinterzone in Zementdrehrohröfen zur Stabilisierung der Klinkerqualität bei veränderlicher Zusammensetzung der Ersatzbrennstoffe
Mareike Hoyer, Roland Melerski, André Dittrich, Markus Vogelbacher, Patrick Waibel, Jörg Matthes und Hubert B. Keller 773

Altholz

Perspektiven für Altholzkraftwerke nach dem Auslaufen des EEG in den Jahren 2020 bis 2026
Simon Obert und Stephan Hofherr 789

Entwicklung eines Moduls zur kontinuierlichen energetischen Überwachung und Optimierung von Altholzkraftwerken
Matthias Ehard und Harald Söll 803

Briketts aus biogenen Reststoffen zur Optimierung des Brennstoffmix in großtechnischen Verbrennungsanlagen
Uwe Schneider, Christian Gierend und Sebastian Georg 813

Gefährliche Abfälle

Anlagenkapazitäten und Potenziale für gefährliche Abfälle
Dirk Briese und Manuel Müller 833

Dank 847

Autorenverzeichnis 849

Inserentenverzeichnis 855

Schlagwortverzeichnis 867

Konzept der Abfallverbrennungsanlage 2030

Konzept der Abfallverbrennung 2030

Peter Kling, Andrea A. Stooß und Riikka Dahlbom

1. Abfallverbrennung als Teil der Kreislaufwirtschaft 4

2. Abfallverbrennungsanlage 2030 5

2.1. Brennstoffe aus Abfall 6

2.2. Vorbehandlung 7

2.3. Feuerung und Kessel 7

2.4. Abgasreinigung 8

2.5. Energienutzung 10

2.6. Kreislaufwirtschaft 10

2.6.1. Wertstoffe 10

2.6.2. Abwasser 11

2.6.3. CO_2-Abscheidung 11

3. Anwendungsbeispiele 11

4. Kreislaufwirtschaftsstandort mit Monoklärschlammbehandlungsanlagen 13

5. Ausblick 14

6. Literatur 15

Vor dem Hintergrund steigender Treibhausgasemissionen und knapper werdender fossiler Ressourcen und den dadurch verursachten negativen Umweltveränderungen, wird Umweltschutz und Ressourcenschonung zukünftig weltweit immer mehr in den Fokus rücken. Auch in der Abfallwirtschaft steigt die Bedeutung vom Einsatz umwelt- und ressourcenschonender Verfahren. Hierbei ist das Spannungsfeld zwischen dem Einsatz innovativer Verfahren und Sicherstellung der Entsorgungssicherheit zu berücksichtigen.

In Deutschland und vielen Ländern Europas wird Abfallwirtschaft bereits als Kreislaufwirtschaft verstanden und umgesetzt. Mit dem Ziel nichtvermeidbare Abfälle weitestgehend für eine stoffliche oder energetische Nutzung verfügbar zu machen, steigt die Menge an Stoffströmen, die einer Nutzung zugeführt werden.

Die von der EU festgelegten Recyclingquoten führen zu einer Steigerung der Recyclingquote auf 60 % bis 2030 und 65 % bis 2035. Zudem werden strengere Regeln zur Berechnung dieser Quote diskutiert. Um zukünftig diese Recyclingquoten zu erreichen

sind die Wertstoffmengen, die tatsächlich einem stofflichen Recycling zugeführt werden, zu erhöhen. Hierzu kann eine flächendeckende Umsetzung einer getrennten Wertstofferfassung sowie der Ausbau von Restabfallsortieranlagen beitragen.

Für die Abfallverbrennungsanlagen bedeutet dies einen voraussichtlichen Rückgang an Restabfallmengen. Allerdings wird es immer einen Reststoffstrom geben, der zum Schutz von Menschen und Umwelt thermisch verwertet bzw. entsorgt werden sollte. Somit wird die Abfallverbrennung auch zukünftig einen wichtigen Bestandteil der Kreislaufwirtschaft darstellen. Im Folgenden wird ein, aus Sicht von AFRY sinnvolles ‚Konzept für die Abfallverbrennung 2030 dargestellt.

1. Abfallverbrennung als Teil der Kreislaufwirtschaft

Zur Umsetzung einer unter ökologischen, ökonomischen und sozialen Gesichtspunkten nachhaltigen Kreislaufwirtschaft, wird ein ganzheitliches Konzept für die Erfassung, Aufbereitung bzw. Verwertung der nicht vermeidbaren Abfallströme benötigt. Bei der Entwicklung eines zukünftigen Anlagendesigns, ist ein Gesamtkonzept zur Umsetzung einer Kreislaufwirtschaft von Anfang an zu berücksichtigen.

Dies beinhaltet, dass

- die Stoffströme, die recycelt werden können einem Recycling zugeführt werden,
- mechanisch-biologische Verfahren als Teil des Gesamtanlagenkonzepts betrachtet werden,
- Wertstoffe, die als Nebenprodukte in der Gesamtanlage anfallen wiederverwendet bzw. recycelt werden und
- Reststoffe aus der Abfallverbrennung ebenfalls als Ressourcen genutzt werden können, indem diese separat erfasst und aufbereitet werden.

Es erfolgt eine Transformation der derzeitigen Abfallverwertungsstandorte, bestehend aus zum Teil um den Abfall konkurrierenden Verwertungsanlagen, hin zu kreislaufwirtschaftlichen Gesamtkonzepten. Hierbei sind ebenfalls mögliche Synergien der unterschiedlichen Abfallverwertungsanlagen zu berücksichtigen. In verschiedenen Projekten werden heute bereits solche Kreislaufwirtschaftskonzepte z.B. an den Standorten

- in Riihimäki (Finnland) im Kreislaufwirtschaftsdorf durch die Firma Ekokem Oy Ab (jetzt Fortum) [1],
- in Högbytorp (Schweden) durch die Firma EON Värme Sverige Ab und
- in Hamburg (Deutschland) am Zentrum für Ressourcenwirtschaft und Energie (ZRE) der Stadtreinigung Hamburg realisiert.

Diese Anlagenkonzepte bestehen aus einer Kombination mechanischer bzw. automatisierten Sortierverfahren, biologischer Fermentations- und/oder Kompostierungsverfahren sowie der energetischen Verwertung in einer Abfallverbrennung mit Rückführung von Reststoffen in die stoffliche Nutzung. Mit diesen Standortkonzepten kann ein Gesamtnutzungsgrad von Restabfall von bis zu 98 % erreicht werden [1].

Global betrachtet, insbesondere in den Regionen der Welt, in denen es noch keine Abfallverwertungssysteme gibt, hat die Abfallverbrennung noch weitere Aufgaben. In diesen Ländern sind daher Abfallverwertungssysteme aufzubauen. Darüber hinaus ist die öffentliche Akzeptanz von Abfallverbrennungsanlagen zu fördern (z.B. Überwindung des NIMBY-Syndroms), da diese zukünftig in Ballungsräumen zur Abfallverwertung benötigt werden.

2. Abfallverbrennungsanlage 2030

Abfallverbrennungsanlagen werden auch zukünftig einen wichtigen Beitrag innerhalb einer nachhaltigen Kreislaufwirtschaft leisten. In diesen Anlagen werden dann die Umsetzung der folgenden Maßnahmen und Ziele angestrebt:

- Freisetzung sehr geringer Emissionen.
- Sehr hoher Gesamtwirkungsgrad. Gesamtwirkungsgrade über 100 % sind möglich.
- Weitere Steigerung der Energieeffizienz unter anderem durch:
  - Steigerung der Wärmenutzung über den Einsatz von Wärmepumpen und Wärmespeicher,
  - weitere energetische Optimierung der Abgaskondensation durch Befeuchtung der Verbrennungsluft und
  - Trockenentschlackung.
- Gewinnung und Nutzung von Wasser z.B. Kondensat aus einer Abgaskondensationsanlagen.
- Wertstoffgewinnung und Wiederverwendung aus dem Restabfall und den Reststoffen der Verbrennungsanlagen.
- Eine weitere Herausforderung wird in Zukunft zudem die CO_2-Abscheidung aus den Abgasen der Abfallverbrennung und die Speicherung bzw. Nutzung des CO_2 darstellen.



Bild 1:

Meeresverschmutzung durch Siedlungsabfälle

Foto: Dimitar Dilkoff, AFP

Global werden Abfallverbrennungsanlagen insbesondere für die Verwertung bzw. Entsorgung massiver Umweltverschmutzungen durch Abfall benötigt. Insbesondere bei der Verwertung der Abfälle aus den Meeren (Bild 1) kann die Abfallverbrennung einen wichtigen Beitrag leisten.

2.1. Brennstoffe aus Abfall

Das durch die EU gesteckte Ziel, die Recyclingquote für Abfälle bis zum Jahr 2035 auf 65 % zu erhöhen, wird zu einer Veränderung der Anlageninput Abfallverbrennungsanlagen führen. Diese Veränderung der Wertstoffströme bzw. Restabfälle wird sowohl über eine Ausweitung einer haushaltsnahen getrennten Erfassung von Wertstoffen und Restabfall und einer zusätzlichen Wertstoffgewinnung in einer Vorbehandlungsstufe für Restabfälle erfolgen. Dies wird sich zwangsläufig auch auf den Heizwert des Anlageninputs einer Abfallverbrennung auswirken.

In Bild 2 ist die Veränderung des Heizwertes bei einer Recyclingquote von 65 % gegenüber dem heutigen Heizwert der Abfälle exemplarisch für Finnland dargestellt. Derzeit liegt die Recyclingquote in Finnland bei etwa 42 %.

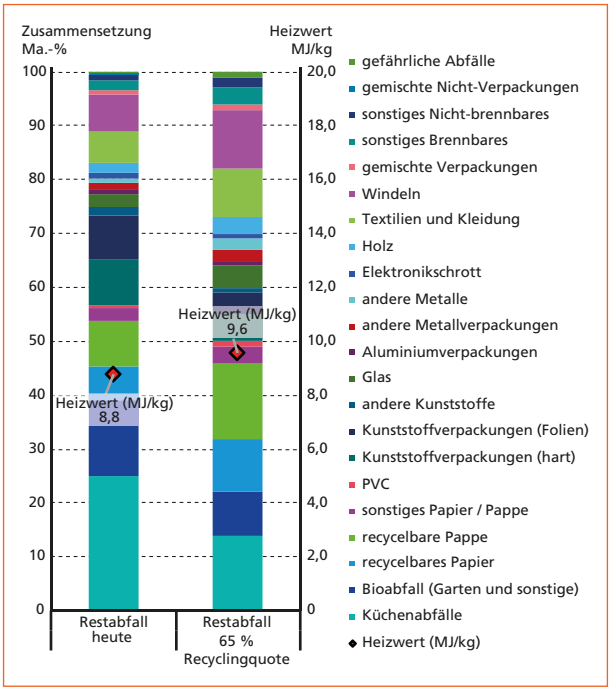


Bild 2:

Gegenüberstellung der Mengenanteile und des daraus resultierenden Mischheizwerts der Abfälle die heute bzw. bei einer Umsetzung der Recyclingquote von 65 % bis zum Jahr 2030 in Abfallverbrennungsanlagen verwertet werden

Wesentliche Auswirkungen auf den Heizwert werden den Verschiebungen der Anteile von Kunststoffen und Bioabfällen im Anlageninput zugeschrieben.

- Die Reduzierung von Kunststoffen führt zu einer Reduzierung des Mischheizwerts, während