

Berlin tankt auf.

Die im Bau befindliche Biogasanlage der BSR bringt Berlin im Klimaschutz voran. Rund 60.000 t Bioabfälle werden dort zukünftig in Biogas umgewandelt und als Treibstoff genutzt – für bis zu 150 Müllsammelfahrzeuge. So schließt sich ein Kreis, der Berlin jährlich 5.000 t CO₂-Ausstoß erspart und gleichzeitig 2,5 Mio. Liter Dieselkraftstoff ersetzt. Das entspricht 50.000 Fahrzeug-Tankfüllungen à 50 Liter.

Potential des Metallrecyclings durch Abfallverbrennung

Alexander Gosten

1.	Ausgangslage und aktuelle Bedeutung des Themas	455
2.	Metallinhalt im Siedlungsabfall und Unsicherheiten bei der Ermittlung des Potentials.....	457
3.	Ermittlung des Potentials aus deutschen Abfallverbrennungsanlagen	460
4.	Bedeutung des Metallrecyclingpotentials aus der Abfallverbrennung für die deutsche Industrie	461
5.	Bisherige Nutzung des Potentials durch die Betreiber der Abfallverbrennungsanlagen	461
6.	Ein Maximum an Metallkonzentration führt absolut zu Metallverlusten.....	463
7.	Metallrecycling bei Abfallverbrennungsanlagen.....	463
8.	Ausgangslage für die Berliner Stadtreinigung.....	466
9.	Die Schrottsorten des MHKW Ruhleben	467
10.	Potential des Metallrecyclings und dessen Ausschöpfung	468
11.	Zusammenfassung	469
12.	Literaturverzeichnis	470

1. Ausgangslage und aktuelle Bedeutung des Themas

Metalle sind die einzigen Rohstoffe, die sich beliebig oft stofflich recyceln lassen. Das Schrottsammeln und Wiedereinschmelzen von Metallen gibt es schon seit sehr langer Zeit. Die Grundlagen hierfür stammen aus der Erzaufbereitung und der Metallurgie und werden bis zum heutigen Tag immer weiter entwickelt.

Die Sammlung und Verwertung von Altmetallen ist in der Industrie und vielen gewerblichen Unternehmen so weit entwickelt, dass für Deutschland wohl angenommen werden kann, dass im Produktionsprozess kaum noch Metall für das Recycling *verloren* geht.

Dieser Beitrag beschäftigt sich mit den Metallen, die sich im sogenannten Siedlungsabfall befinden und in einer klassischen Hausmüllverbrennungsanlage oder EBS-Anlage behandelt werden.

Die Diskussion über die Potentiale des Metallrecyclings hat deutlich zugenommen und wird auch medial populärwissenschaftlich begleitet.

Die folgenden Entwicklungen sind die Ursachen hierfür:

1. Die Erz- und Schrottpreise sind in den letzten Jahren gestiegen.
2. CO₂-Einsparmöglichkeiten durch das Metallrecycling sind rechnerisch ein wesentlicher Hebel zu einer deutlichen Verbesserung der Klimabilanz des Entsorgungsprozesses.
3. Mit der Sorge um die Ressourcenknappheit ist die Aufmerksamkeit der Politik, der Medien und der Öffentlichkeit für das Metallrecycling deutlich gestiegen.
4. Im Rahmen der Diskussion um die Einführung einer Wertstofftonne wird unterstellt, dass bisher nur sehr wenige Mengen an Metall in den Abfallverbrennungsanlagen recycelt werden.

Zu 1.

Die wirtschaftliche Bedeutung der Erlöse des Metallrecyclings in der Entsorgung von Siedlungsabfall, insbesondere im Haus- oder Sperrmüll, hat zugenommen. Die Sortiertechniken haben sich verbessert, so dass die Möglichkeiten sich erhöht haben, wirtschaftlich das Metallpotential im Abfall stofflich zu recyceln. Da die Erlöse aus Altmetallen deutlich zugenommen haben, sind die Begehrlichkeiten, wer an welcher Stelle des Entsorgungsprozesses die Erlöse erzielt, ein wichtiges Motiv für die Beteiligten in der Diskussion.

Zu 2.

Die Diskussion über die unterschiedlichen Möglichkeiten des Metallrecyclings wird in Deutschland zurzeit nicht nur ökonomisch geführt, weil Klima- und Ressourcenschutz inzwischen als wichtige Entscheidungskriterien angesehen werden. Um den Nachweis zu erbringen, dass es Fortschritte im Klimaschutz gibt, wird auf den unterschiedlichen Wertschöpfungsstufen und bei den regionalen Betrachtungen jeweils unterstellt, eine Tonne eingesammelter Schrott führe zu der direkten Einsparung an CO₂-Äquivalenten einer neuen Primärproduktion von Eisenerz und Stahl. Diese Annahme berücksichtigt nicht, dass Schrott nicht zu 100 % aus Metall besteht, was an anderer Stelle behandelt wird. Bei dieser Betrachtung werden auch die Kosten vernachlässigt. Es wird unterstellt, das Recyclingoptimum wäre betriebswirtschaftlich und klimatischbilanziell mit dem maximalen technischen Recycling identisch. Mit der Maximierung des Metallausbringens erhöhen sich der Energieaufwand und die Klimabelastung.

Zu 3.

Die wachsende Sorge um die zukünftige Verfügbarkeit von Metallen in Deutschland fördert das Verständnis für die Notwendigkeit des Metallrecyclings. Daher wird von der Politik gefordert, ein Maximum an Recycling zu ermöglichen. Hierbei werden jedoch bisweilen die Kosten des Recyclings und der Klimaschutz vernachlässigt. Auch wird das absolute Potential des Metallrecyclings aus dem Siedlungsabfall im Verhältnis zum gesamten Metallrecycling und Metallverbrauch in Deutschland überschätzt und der Stand des Recyclings wiederum unterschätzt.

Zu 4.

In den vom BMU herausgegebenen Untersuchungen zur Einführung der Wertstofftonne wird dargestellt, dass im Rahmen der bestehenden LVP Sortierung vom Aluminium nur 40 % und vom Weißblech nur 85 % stofflich recycelt werden [1]. Für die Hausmüllverbrennungsanlagen wird ein stoffliches Metallrecycling von 50 % bis 60 % ermittelt [2, 3]. Für die gesamte LVP Sortierung in Deutschland wurde eine stoffliche Recyclingquote von 34,1 % ermittelt [1].

2. Metallinhalt im Siedlungsabfall und Unsicherheiten bei der Ermittlung des Potentials

Es ist nicht bekannt, wie die veröffentlichten durchschnittlichen Metallgehalte im Siedlungsabfall im Einzelfall ermittelt worden sind. Nach Kenntnis des Autors gibt es hierzu kein eindeutiges und verbindliches Regelwerk zur Bestimmung der Metallgehalte. Mit Sicherheit kann davon ausgegangen werden, dass die veröffentlichten Metallgehalte von Abfallanalysen sich nicht auf einen chemisch oder metallurgisch *reinen* Wert beziehen. Es sind stets Angaben über ein Gemisch mit einem unbekanntem Metallgehalt.

Daher wird die Problematik an Hand von Beispielen verdeutlicht: Eine Bratpfanne mit Holz- oder Plastikgriff wird sicher zu 100 % der Metallfraktion zugerechnet. Ein Brett mit einem oder mehreren Nägeln kann bei der Hausmüllanalyse sowohl der Metall- als auch der Holzfraktion zu 100 % zugerechnet werden. Noch unsicherer ist die Zuordnung von Verbundmaterialien aus Kunststoff, Eisen und Aluminium wie zum Beispiel Spielzeuge oder Leuchten.

In der Hausmüllanalyse wird z.B. ein Bobby-Car von rund 3 Kilogramm sicher der Kunststofffraktion zugeordnet. In einer mechanischen Sortierung kann das Bobby-Car auf Grund seiner metallischen Achsen von wenigen Gramm durch einen Magnetabscheider erfasst werden und der Metallfraktion zugeführt werden. Dies führt dazu, dass die Schrottmenge einer mechanischen Sortierung um das Gewicht von 3 Kilogramm Kunststoff je Bobby-Car angereichert wird, die dann dem Kunststoffrecycling entzogen wird. Das Bobby-Car in einer Abfallverbrennung führt zu einer energetischen Nutzung des Kunststoffes des Bobby-Car und zu einem Recycling der Achsen. Die Schrottfraction wird gegenüber der Hausmüllanalyse um das reine Metall der beiden Achsen gegenüber der Hausmüllanalyse um rund 0,1 Kilogramm angereichert.

Dieser Effekt führt dazu, dass die Metallrecyclingquoten aus mechanischen Sortieranlagen unverhältnismäßig hoch sind und häufig oberhalb des Metallpotentials liegen, dass überhaupt im Hausmüll vorhanden. Die Schrottfractionen aus mechanischen Aufbereitungsanlagen sind daher sehr verunreinigt [4]. Der Metallanteil der Schrottfractionen aus mechanischen Sortieranlagen ist generell deutlich geringer als in den Schrottfractionen aus Verbrennungsanlagen.

In den Abfallverbrennungsanlagen kommt es zu einer Anreicherung des reinen Metalls in der Schrottfraction oberhalb des ermittelten Potentials der Hausmüllanalyse. Dieser Aufkonzentrationsprozess kann zu einer potentiellen Recyclingquote von 117 % führen [5].

Eine bundesdeutsche Hausmüllanalyse der Firmen IFEU und Prognos geht von einem durchschnittlichen Metallanteil von 3,8 % im Hausmüll aus [6]. Die Herkunft des Schrottes, ob Hausmüll, Gewerbe oder Industrie, kann im Einzelfall nicht nachgewiesen werden. In Bayern wird von einem Metallgehalt von 2,34 % ausgegangen [5]. Unter Berücksichtigung von Anhaftungen wird von einem Metallgehalt von 2,106 % ausgegangen [5]. In der letzten großen Hausmüllanalyse der Berliner Stadtreinigung wurde ein Metallgehalt von 2,1 % ermittelt (Bild 1).



Bild 1: Zusammensetzung des Berliner Hausmülls

In der Branche wird von einem durchschnittlichen Metallgehalt von 2 % bis 4 % im Input einer Abfallverbrennungsanlage ausgegangen, die sowohl Haushalts- als auch Gewerbeabfälle verbrennt. Auf Grund der Unsicherheiten bei der Bestimmung des Metallgehaltes im Siedlungsabfall wird im Folgenden die Potentialbetrachtung mit einem Metallgehalt von 2 % bis 4 % durchgeführt, um das gesamte Spektrum abzudecken.

In der umfassenden Abfallfraction des *Siedlungsabfalls* sind u.a. die Abfallfractionen der trockenen Wertstoffe, wie Papier, Glas, Sperrmüll, Verpackungen, hausmüllähnliche Gewerbeabfälle, E-Schrott und die Grün- und Bioabfälle enthalten. Diese Fractionen des Siedlungsabfalls werden getrennt erfasst und sollten von sich aus keinen nennenswerten

Metallinhalt haben. Lediglich die Fraktionen Sperrmüll und hausmüllähnliche Gewerbeabfälle haben einen gewissen Metallanteil. Da diese Fraktionen des Siedlungsabfalls nur begrenzt direkt in den Hausmüllverbrennungsanlagen behandelt werden, wird das Potential nicht über die gesamte Menge des Siedlungsabfalls ermittelt.

Betrachtet werden bei der Potentialanalyse die Hausmüllmengen und sonstigen Siedlungsabfälle, die in den Verbrennungsanlagen energetisch genutzt und werkstofflich recycelt werden.

Das Potential in den 13,6 Millionen Tonnen Hausmüll im Jahre 2011 in Deutschland betrug bei 2 bis 4 % Metallgehalt demzufolge rund 270.000 bis 540.000 Tonnen Metallgemisch [7].

Die Behandlung von Hausmüll erfolgt zusammen mit Gewerbeabfall in einer der 67 Abfallverbrennungsanlagen, 36 Ersatzbrennstoffkraftwerke oder 61 Mechanisch-Biologischen Abfallbehandlungsanlagen [8].

Die EBS-Kraftwerke haben eine Kapazität von rund 6,3 Millionen Tonnen [9]. In welchem Umfang diese Kapazität aktuell genutzt wird ist dem Autor nicht bekannt. Die Qualitäten und die Metallgehalte der Ersatzbrennstoffe sind sehr unterschiedlich. Theoretisch werden bei der EBS Produktion die Metalle aussortiert, so dass kein Metallpotential in der Herstellung und Verbrennung von EBS vorhanden sein dürfte, so dass auch kein Metall „verloren“ geht. Wenn der Abfall mitunter nur lediglich geshreddert oder unbehandelt in ein EBS Kraftwerk geliefert wird, können die Metallgehalte des EBS dem des unbehandelten Siedlungsabfall entsprechen. In der Veröffentlichung von Stefanie Thiel wird gleichwohl darauf hingewiesen, dass der Metallgehalt im EBS im Durchschnitt 0,9 % beträgt [9]. Dies bestätigt die These, dass die mechanischen Sortieranlagen signifikante Mengen an Metall nicht aussortieren oder unbehandelter Abfall in die Ersatzbrennstoffanlagen gelangt.

Für die Aufbereitung von Schlacke aus EBS Kraftwerken stehen grundsätzlich die gleichen technischen Möglichkeiten zur Verfügung, wie Sie bereits bei Hausmüllverbrennungsanlagen bekannt sind. Daher könnte das Metallausbringen in dergleichen Größenordnung liegen. Da aber über die Schlackeaufbereitung von EBS Kraftwerken und deren Effizienz dem Autor keine repräsentativen Kenntnisse vorliegen, wird dieses Potential und deren Nutzung in dieser Veröffentlichung nicht weiter betrachtet.

Wird der EBS jedoch im Rahmen der Mitverbrennung verbrannt, kann es sein, dass die Aschen aus der EBS Verbrennung mit den Aschen des Regelbrennstoffes zusammen entsorgt werden. Da die Regelbrennstoffe kein Metall beinhalten, werden die Aschen traditionell auch nicht aufbereitet. Dies hat zur Folge, dass die Entsorgung von Hausmüll durch die Produktion von EBS zum Verlust von Metall führen kann.

Das Potential je Tonne Abfall ist in den MBA und den Verbrennungsanlagen grundsätzlich gleich. Die MBA werden hier aber nicht weiter betrachtet. Es gelten für MBA die Aussagen zu den mechanischen Sortierprozessen.

Bei der Ermittlung des Potentials gibt es neben der mengenmäßigen Unsicherheit der Metallgehalte und der relevanten Bezugsgröße Hausmüll oder Siedlungsabfall noch die Aspekte der Metallsorten und unterschiedlichen Wertigkeit der Metalle.

Die unterschiedlichen Metallfraktionen unterscheiden sich wertmäßig ganz erheblich voneinander. Die Preisdifferenz kann im Einzelfall den Faktor 40 betragen. Die beiden großen Gruppen Fe- und NE- Metalle sind nur eine sehr überschlägige Einteilung. Innerhalb der Fe-Metalle gibt es sehr unterschiedliche Qualitäten und Herkunftsbe- reiche. Noch extremer ist die Ausdifferenzierung im Bereich der NE-Metalle, die sehr unterschiedliche Metalle wie z.B. Kupfer, Aluminium, VA-Stahl in ganz unterschiedli- cher Zusammensetzung und Qualität beinhalten kann. Dies führt zu den erheblichen Unterschieden in der Preisbildung. Eine reine summarische Tonnenbetrachtung in Tonnen oder Recyclingquote in Prozent ist daher für die wirtschaftliche Bedeutung des Themas nicht sachgerecht. Die unterschiedlichen Metallschrotte und deren Qualitäten führen auch zu ganz unterschiedlichen errechneten Klimaauswirkungen, was ebenfalls nicht zu vernachlässigen ist.

Die Metalle aus der Seltenen-Erde-Gruppe konnten bisher in den Schlacken von Haus- müllverbrennungsanlagen nur in Größenordnung von 20 – 100 ppm nachgewiesen werden, was sehr weit von einem wirtschaftlich realisierbaren Potential entfernt liegt [5].

Die oben zitierten Metallanteile im Hausmüll sind daher nur bedingt aussagefähig. Bei zukünftigen Abfallanalysen wird sicher mehr Aufwand auf die Bestimmung der Metallinhalte und deren Qualitäten gelegt, so dass zukünftig verbesserte Aussagen zu den Potentialen an Metall möglich sind.

3. Ermittlung des Potentials aus deutschen Abfallverbrennungsanlagen

In Deutschland werden rund 18 Millionen Tonnen Abfall in klassischen Abfallver- brennungsanlagen verbrannt [10], jedoch ist der Herkunftsbereich nicht eindeutig zuordnungsfähig. Daher wird neben der Ermittlung des Potentials auf der Basis der Ab- fallanalyse auch eine Ermittlung auf der Basis der produzierten Schlacke durchgeführt.

Bei einem durchschnittlichen Gehalt von 2 bis 4 % Metallgemischen im Input der An- lagen jährlich, entspricht dies einem Potential von 360.000 bis 720.000 Tonnen Metall.

Bei einem Verhältnis von entstehender Schlacke zur Eingangsmenge Abfall von 20 % bis 30 %, ergibt sich die jährliche Schlackeproduktion 4,8 Millionen Tonnen. In der Branche wird von einem Metallgehalt von 7 % bis 10 % ausgegangen [2]. Dies entspricht einem Potential von 340.000 bis 480.000 Tonnen.

Beide Ansätze ermitteln als das Potential in einer ähnlichen Größenordnung von 340.000 bis 720.000 Tonnen jährlich. Das Potential von 340.000 bis 480.000 Tonnen, das aus der Schlackeproduktion hergeleitet wurde, erscheint dem Autor das realistische Potential zu sein.

Dieses Potential wird nun ins Verhältnis zu deutschen Schrottproduktion gesetzt wird.

4. Bedeutung des Metallrecyclingpotentials aus der Abfallverbrennung für die deutsche Industrie

In Deutschland werden jedes Jahr über 23 Millionen Tonnen Schrott erfasst, verarbeitet und zum Teil exportiert [11].

Bei einem theoretischen Potential von 340.000 bis 720.000 Tonnen, beträgt der Anteil an hochkonzentriertem Metall, das aus den Hausmüllverbrennungsanlagen recycelt werden kann, demzufolge nur 1 bis 3 % des nationalen Schrottaufkommens. Sofern das nach Ansicht des Autors realistische Potential von 340.000 bis 480.000 Tonnen angesetzt wird, reduziert sich die Relevanz des Schrottes aus Hausmüllverbrennungsanlagen entsprechend.

Quantitativ ist das Metallrecycling aus dem Hausmüll für die deutsche Schrottwirtschaft und Industrie eher zu vernachlässigen.

Auf Grund der erheblichen wertmäßigen Unterschiede zwischen dem Eisenschrott und den NE-Schrotten, werden diese an dieser Stelle differenziert betrachtet.

In der deutschen Produktion von 2,4 Millionen Tonnen Aluminiumhalbzeug im Jahre 2011 wurde inzwischen eine Recyclingquote von 53 % erreicht [12]. Da von der deutschen NE-Produktion 45 % exportiert wird [12], kann überschlägig abgeleitet werden, dass der nationale Verbrauch an der nationalen Produktion an NE Metallen aus Recyclingmaterial hergestellt wird. Es gibt für diesen Bereich der Metalle bereits eine funktionierende Kreislauf- und Recyclingwirtschaft.

Das NE-Potential aus deutschen Abfallverbrennungsanlagen wurde von Pretz mit 82.000 Tonnen ermittelt [13].

Dies bedeutet, dass der Beitrag aus den Verbrennungsanlagen rund 8 % der deutschen NE- Metallproduktion betragen kann, was zweifelsohne eine bemerkenswerte Größe ist. Da jedoch ein Teil des NE-Schrottes aus Abfallverbrennungsanlagen exportiert wird und das Potential sicher noch nicht vollständig realisiert wird, ist der tatsächliche Anteil geringer.

Das Schrottreycling aus Abfallverbrennungsanlagen ist einerseits bedeutend, aber andererseits sind die Metallgehalte im Siedlungsabfall viel zu gering, als das diese unsere eigene nationale Unabhängigkeit sicher stellen können. Die Metalle werden in Deutschland offenkundig nicht über die Hausmüllentsorgung dem Recycling zugeführt.

5. Bisherige Nutzung des Potentials durch die Betreiber der Abfallverbrennungsanlagen

Es gibt gute wirtschaftliche Gründe für alle Betreiber von Abfallverbrennungsanlagen, dieses Potential zu nutzen.

Wie aus dem Bergbau bekannt, erfordert die Nutzung des Potentials einen weiteren technologischen Einsatz. Daher ist der Umfang des Metallrecyclings, ähnlich wie im Erzbergbau, eine Frage der Wirtschaftlichkeit und der vorhandenen Technologien.

Die Wirtschaftlichkeit bestimmt den Umfang der eingesetzten Technik, um das Ausbringen zu maximieren.

Die Betreiber der Abfallverbrennungsanlagen stellen sich seit jeher die Frage, wie kann eine möglichst vollständige Potentialnutzung erreicht werden und wie kann sichergestellt werden, dass der Ertrag in der Abfallverbrennungsanlage verbleibt.

Durch die Aufbereitung von Metallen aus den Schlacken und Aschen von Abfallverbrennungsanlagen können sehr gut handelbare Qualitäten erreicht werden.

In welchem Umfang tatsächlich Aluminium verdampft oder sich noch Metall über die Filterstäube oder Schlacken diffus verteilt, ist eine interessante Fragestellung, die immer wieder von den Gegnern der Abfallverbrennung angeführt wird, weil diese Metall für das Recycling dauerhaft verloren seien. Hierzu wurde in einer Untersuchung von Deicke ein Wert von 5% vom Input ermittelt, der durch Oxidation verloren geht [5].

Etliche Verbrennungsanlagen führen keine oder nur eine sehr rudimentäre Metallabscheidung auf dem Gelände der Verbrennungsanlage durch. Diese Anlagen geben die Schlacke in langfristigen Verträgen an spezialisierte Schlackeaufbereiter ab, die dann die Metalle möglichst vollständig aussortieren. Naturgemäß haben diese Betriebe kein Interesse, über ihre erfolgreiche Arbeit zu berichten.

Bei der systemischen Beurteilung der Möglichkeiten der Metallrückgewinnung aus Verbrennungsanlagen in Deutschland sind unbedingt die Recyclingquoten der spezialisierten Schlackeaufbereiter zu berücksichtigen, die im harten Wettbewerb zu einander ständig an Verbesserungen arbeiten. Hier wird der Erkenntnisprozess seit Jahrzehnten weiter entwickelt.

Das Outsourcing der Schlackeaufbereitung führt jedoch in der statistischen Betrachtung der deutschen Entsorgungswirtschaft zu der Unterstellung, nur wenig Metall werde bei deutschen Abfallverbrennungsanlagen recycelt. Dies hat zur Folge, dass die Abfallverbrennung bei der Klima- und Ressourcenbetrachtung unterbewertet wird [2, 3].

Laut UBA wurden 2009 rund 380.000 Tonnen Metallschrotte aus Abfallverbrennungsanlagen produziert [14]. Mutmaßlich ist die Menge nach Einschätzung des Autors höher, weil nicht alle Verwertungsanlagen erfasst werden.

Das heißt, dass bei einem Potential von 340.000 bis 480.000 Tonnen und einer Recyclingmenge von 380.000 Tonnen das Potential in Höhe von 79 bis 112 % bisher ausgeschöpft wird. Beziehe ich das Recycling von 380.000 Tonnen auf ein rechnerisches Potential von 720.000 Tonnen, beträgt die Recyclingquote nur 52 %. Diese mutmaßliche zu geringe Recyclingquote ist immer noch höher als die LVP Sortierung, deren Quote nur 34,1 % beträgt.

In den Studien von Deicke und Warnecke wird eine Recyclingquote von 92 % in einer Auswahl von deutschen Hausmüllverbrennungsanlagen ermittelt [5, 15].

Die Unterstellung, das wirtschaftlich sinnvolle Recyclingpotenzial werde noch nicht vollständig genutzt und könne demnach noch deutlich gesteigert werden, mag vielleicht für einzelne Anlagen zutreffen oder in der Vergangenheit zutreffend gewesen

sein, nicht jedoch für die gesamte Branche. Die Fehlinterpretation des bereits vorhandenen Metallrecycling beruht vielleicht auf der Tatsache, dass die Aufbereitung der Schlacken häufig nicht von den Verbrennungsanlagen durchgeführt wird, sondern von spezialisierten Schlackeaufbereitungsunternehmen, die dies an zentralen Standorten durchführen. Der Umfang des Recyclings an den Standorten der spezialisierten Schlackeaufbereitungsunternehmen wird von den Abfallbilanzen und Statistiken nicht erfasst, die im Zusammenhang mit der Siedlungsabfallentsorgung und den Abfallverbrennungsanlagen erstellt werden.

6. Ein Maximum an Metallkonzentration führt absolut zu Metallverlusten

In der Diskussion der Thematik des Recyclings im Zusammenhang mit der Ressourcenknappheit werden mitunter einige Sachverhalte nicht berücksichtigt.

Dies betrifft zum einen die Unkenntnis über die rohstoffwirtschaftlichen Begrifflichkeiten der Ressourcen, Lagerstätten, Vorräte und deren Verfügbarkeit und den technisch-wirtschaftlichen Zusammenhängen der Aufbereitungskunde.

Der Aufwand für das Metallrecycling nimmt mit zunehmendem Abscheidegrad zu und wird ab einem bestimmten Punkt unwirtschaftlich.

Wie bereits aus der Erzaufbereitung des Bergbaus bekannt, steigen mit zunehmender Reinheit oder Metallkonzentration der Recyclingprodukte die Mengen an Metall, die in den Sortierrückständen verloren gehen. Im Bergbau wird diese Fraktion als *Berge* oder *Tailings* bezeichnet. Dafür ist neben technischen Effekten der jeweiligen Sortierverfahren die Tatsache verantwortlich, dass die Metalle nicht in reiner Form vorliegen, sondern mit anderen Stoffen (Mineralen) verbunden sind bzw. sich innerhalb eines anderen Stoffes befinden oder beim Sortiervorgang von anderen Stoffen *verdeckt* werden. Dem Metall kann eine Kruste von Schlacke anhaften oder die Metalle befinden sich innerhalb eines Gegenstandes wie z.B. der Nagel in einem Stück Holz oder ein Motor in einem Plastikspielzeug.

Nur durch eine weitere Zerkleinerung oder Verbrennung, was einer Energiezuführung entspricht, können diese Metalle aufgeschlossen und gewonnen werden. Bei jedem Aufbereitungsverfahren führt dieser zusätzliche Aufwand an eine wirtschaftliche Grenze, ab der eine weitere Steigerung der Ausbeute oder des Recyclings nicht mehr profitabel ist.

Demzufolge befinden sich in den Sortierresten oder Schlacken zurzeit immer noch nachweisbare Metallgehalte. Erst wenn die Erlöse bestimmte Schwellenwerte übersteigen oder technische Innovationen neue wirtschaftliche Möglichkeiten bieten, wird sich der Umfang des Metallrecyclings auch im Sinne des Ressourcenschutzes deutlich erhöhen.

7. Metallrecycling bei Abfallverbrennungsanlagen

Es gibt drei Ansätze zur Rückgewinnung der Metalle in Abfallverbrennungsanlagen:

1. Rückgewinnung während der Revisionszeiten aus dem Rost und der Ausmauerung
2. Rückgewinnung aus den Abgasreinigungsrückständen
3. Rückgewinnung aus den Schlacken

1. Rückgewinnung während der Revisionszeiten aus dem Rost und der Ausmauerung

Die Verbrennungsgase in Abfallverbrennungsanlagen werden länger als 2 Sekunden bei über 850 Grad Celsius ausgebrannt. Kurzzeitig liegen die Verbrennungstemperaturen der Abgase bei über 1.000 Grad Celsius. Dies führt zu einer vollständigen Verbrennung aller organischen Bestandteile und Gifte. Für die Metalle ist von Bedeutung, dass die Temperaturen auf dem Rost deutlich unterhalb der Schmelztemperaturen der Metalle liegen. Da Metalle bei diesen Temperaturen nicht *verbrennen*, gelangen diese entweder in die Schlacke oder in die Abgasreinigungsrückstände. Berliner Erfahrungen zeigen wie reines Aluminium im Bereich des Rostes wieder erkaltet und *stecken* bleibt (Bild 2). Es ist also eine Falschannahme, Aluminium würde in der Abfallverbrennung verloren gehen.



Bild 2:

Erkaltetes Aluminium aus der Abfallverbrennung

Lediglich sehr leichte Metallfitter werden von den Abgasen mitgezogen. Diese können in die Zonen mit den hohen Temperaturen oxidieren bzw. verdampfen. Sie finden sich dann an den Wänden der feuerfesten Ausmauerung oder bei den Katalysatoren wieder. In der BSR werden wir bei Gelegenheit die Ausmauerung untersuchen lassen.

2. Rückgewinnung aus den Abgasreinigungsrückständen

In der Vergangenheit erfolgte die Forschungsarbeit eher mit dem Ziel, die Schadstoffgehalte dauerhaft zu neutralisieren. Untersucht wurde u.a. das Verglasen, die Hochtemperaturverbrennung sowie das Einbinden in andere dauerhaft stabile Substanzen. Die BSR in Berlin hat die Metallgehalte der Filterstäube untersucht. Gold und Silber konnten bisher nicht nachgewiesen werden. Andere Metalle, einschließlich der Seltenen Erden konnten im Labor gefunden werden. Deren Konzentration ist jedoch so niedrig, dass eine Rückgewinnung nicht wirtschaftlich darstellbar ist. Die Filterstäube

werden im untertägigen Salz- oder Kalibergbau als Versatz verwertet. Sollten eines Tages die Metallpreise auf Grund einer extremen Verknappung deutlich steigen, so könnten diese anthropogenen Lagerstätten wieder bergmännisch gewonnen werden. Für die Filterstäube des MHKW Ruhleben scheint der Zeitpunkt für diesen Weg, nach persönlicher Einschätzung des Autors, noch in weiter Ferne zu liegen.

Wichtig ist aber die grundsätzliche Möglichkeit, Rohstoffe aus Verbrennungsprozessen in konzentrierter Form an bestimmten und damit bekannten Orten abzulagern. Sie könnten somit grundsätzlich wiedergeholt werden. Nach Kenntnis des Autors wurden bereits bestimmte untertägig deponierte Abfälle wieder zurückgeholt, um enthaltene Stoffe zurück zu gewinnen.

3. Rückgewinnung aus den Schlacken

Dies ist der wesentliche Prozess zum Metallrecycling bei Abfallverbrennungsanlagen. Dieser Aufbereitungsprozess kann sowohl am Standort der Abfallverbrennungsanlage als auch an Standorten durchgeführt werden, die sich unabhängig von der Abfallverbrennung an logistisch optimierten Standorten befinden. Der Betreiber der Schlackeaufbereitungsanlage für eine Abfallverbrennungsanlage kann, wie in Berlin, die Abfallverbrennungsanlage sein oder ein spezialisiertes Unternehmen, das an einem Standort die Schlacke von mehreren Verbrennungsanlagen behandelt.

Die Aufbereitung der Aschen erfolgt über eine Kombination von Magnetscheidern und Klassierern. Für die Gruppe der Fe- und NE-Metalle sind verschiedene Magnetscheider auf dem Markt erhältlich. In Abhängigkeit von der Korngröße, der Feuchtigkeit und des Durchsatzes werden die geeigneten Verfahrensstammbäume ausgewählt und kontinuierlich verbessert.

Durch zusätzliche Nachzerkleinerungsaggregate wie z.B. Prallmühlen oder Querstromzerspanner kann der Aufschluss erhöht werden. Querstromzerspanner haben sich beim Einsatz von Schlacken bisher auf Grund der hohen Verschleiß- und Energiekosten jedoch nicht durchgesetzt.

Die Abscheidung von nicht-magnetischem Grobschrott und kupferhaltigem Schrott erfolgt durch optische Erkennung.

In weiteren Aufbereitungsschritten werden auch Schwimmsinktrennungen, Flotationen und Sichter eingesetzt. Diese Anlagen befinden sich bisher nicht direkt bei den Abfallverbrennungsanlagen, sondern bei spezialisierten Schlackeaufbereitern in Deutschland. Da diese Branche sehr wettbewerbsintensiv ist, wird darüber wenig veröffentlicht.

Sollte der Fe-Gehalt im Schrott durch weiteren technischen Aufwand auf knapp 100 % gesteigert werden, so wird die absolute Fe-Recyclingmenge reduziert, weil dann alle Verwachsungen oder schwachmagnetischen Bestandteile wieder der Schlacke zugeführt werden würden.

Von wirtschaftlich erheblicher Bedeutung ist die Fraktion der NE-Metalle, die im Wesentlichen aus Aluminium besteht.

Das Gemisch aus verschiedenen Metallen wird von europaweit agierenden Metallaufbereitern aufgekauft. Diese Fraktion wird nicht direkt in Hochöfen oder einer Schmelze verwendet, sondern so aufbereitet, dass Metallkonzentrate entstehen, die für metallurgische Prozesse geeignet sind.

Die kupferhaltige Fraktion besteht im Wesentlichen aus Kupferspulen, wie sie sich in Elektromotoren befinden.

Die Entwicklung des Metallrecyclings aus den Aschen der Abfallverbrennungsanlagen ist noch nicht abgeschlossen. Es zeichnen sich unterschiedliche Ansätze ab. Der Autor ist sich sicher, dass die Recyclingquoten insbesondere für NE-Metalle und im Feinkornbereich noch gesteigert werden können.

8. Ausgangslage für die Berliner Stadtreinigung

Seit knapp fünfzig Jahren werden Abfälle in dem Müllheizkraftwerk Berlin-Ruhleben behandelt.

Beispielhaft für andere Betreiber wird die Ausgangslage für die Berliner Stadtreinigung beschrieben. Die Berliner Stadtreinigung ist als Anstalt öffentlichen Rechts in der deutschen Bundeshauptstadt durch das Berliner Betriebe-Gesetz unter anderem damit beauftragt, die Entsorgungssicherheit für die Berliner Bürger jederzeit sicher zu stellen. Die BSR sammelt somit täglich den Abfall von 3,4 Millionen Einwohnern, zahlreichen Gewerbetreibenden und vielen Millionen Touristen ein. Die BSR versucht, ein Maximum an Energie und an echten Wertstoffen aus den überlassenen Abfällen zu recyceln.

Zurzeit betreibt die BSR zwanzig unterschiedliche entsorgungswirtschaftliche Anlagen. Damit liegen uns Erfahrungen sowohl mit dem Metallrecycling bei thermischen Anlagen als auch bei unterschiedlichen mechanischen Anlagen vor. Inzwischen wird fast der gesamte Abfall der BSR im Sinne der europäischen Abfallrahmenrichtlinie verwertet. Das Metallrecycling hat hierbei in den letzten Jahren in mehrfacher Hinsicht an Bedeutung gewonnen

Folgende Gründe veranlassen die BSR zu einer optimierten Metallrückgewinnung:

1. Die Erlöse helfen weiterhin günstige Abfallgebühren für die Berliner Bürger zu realisieren.
2. Die rechnerischen Klimagutschriften tragen zur Verbesserung der Klimabilanz des Landes Berlin bei.
3. Die Schonung der Metallressourcen als Verpflichtung eines kommunalen Unternehmens zum nachhaltigen und vorbildhaften Handeln.

Es geht für die BSR um das Erreichen von drei Zielen:

1. Maximierung der Erlöse aus dem Abfall
2. Maximierung des Klimaschutzes
3. Maximierung des Ressourcenschutzes durch stoffliches Recycling

Im Berliner Hausmüll beträgt der Metallgehalt gemäß einer großangelegten Analyse im Jahre 2008 im Durchschnitt 2,1 % (Bild 1). Auf den Recycling- oder Wertstoffhöfen erfasst die BSR Metalle getrennt, was in dieser Statistik nicht berücksichtigt wurde.

Im MHKW Ruhleben werden sieben Schrottsorten aus der Schlacke erzeugt. Daneben fällt die Schrottsorte *Werkstattschrott* durch Instandhaltungsarbeiten an.

9. Die Schrottsorten des MHKW Ruhleben

1. Fe (Grobschrott)

Mittels eines Stangensiebes (Stangensizer) wird vor der Schlackenaufbereitung die Grobfraction abgeschieden.

Anschließend wird von dieser Fraktion per Magnet der grobe Eisenschrott (Grobschrott) separiert. Der Anteil am gesamten Schrottaufkommen im MHKW beträgt rund 15 %, der Anteil im Hausmüll liegt bei rund 0,3 %.

2. Fe (Feinschrott)

Die von der Grobfraction befreite Schlacke durchläuft anschließend die Schlackenaufbereitung. An dieser Stelle wird mittels zweier Überbandmagnete die Feinschrottfraction abgeschieden. Diese ist mit einem Anteil von rund 70 % die mengenmäßig größte Schrottfraction des MHKW. Der Anteil am Hausmüll beträgt rund 1,5 %.

Wie oben bereits erläutert, befinden sich in der Fraktion noch NE-Metalle und Schlacke, Steine, Glas. In dieser Fraktion gibt es Verwachsungen mit Metall oder feine, schwach magnetische Bestandteile. Teile des Eisens sind auch vollständig von Schlacke eingeschlossen, so dass diese zum Teil als Schlacke aussortiert werden.

3. Kupferhaltiger Schrott

Aus dem Feinschrott wird kupferhaltiger Schrott/ Elektromotoren aussortiert. Der Anteil am gesamten Schrottaufkommen im MHKW beträgt rund 1 %.

4. Nichtmagnetischer Schrott

Zusätzlich findet eine Aussortierung von nichtmagnetischem Grobschrott (*Töpfe*, zum großen Teil Edelstahl) statt. Der Anteil am gesamten MHKW-Schrott beträgt rund 1 %.

5. Messinghaltiger Schrott

Aus dem Grobschrott wird auch messinghaltiger Schrott separiert. Dieser Anteil beträgt rund 0,01 % am gesamten Schrottaufkommen im MHKW.

6. NE-Metalle

Im Anschluss an die Eisenabscheidung durchläuft die Schlacke einen Wirbelstromscheider, der die Nicht-Eisen-Metalle abtrennt. Der Anteil der NE-Metalle am Schrottaufkommen im MHKW beträgt rund 11 % bzw. am Hausmüll rund 0,24 %. Der Metallanteil beträgt 85 % bis 90 %, wobei Aluminium den größten Anteil hat.

7. Reinstaluminiumschrott

Weiterhin entsteht durch den Verbrennungsprozess im Kessel flüssiges Aluminium, welches durch die Öffnungen im Boden des Vorschubrotes fließt und in Trichter gelangt. Dort sammeln sich die Metallablagerungen und werden bei der Reinigung der Trichter gesammelt (Bild 2).

8. Werkstattschrott

Durch Instandhaltungsmaßnahmen auf dem Gelände des MHKW Ruhleben bzw. durch Reparaturen am Kessel sowie an anderen Anlagenteilen fällt Anlagen-/Werkstattschrott an. Der Anteil am gesamten MHKW-Schrott beträgt rund 1,7 %.

10. Potential des Metallrecyclings und dessen Ausschöpfung

Die letzte große Hausmüllanalyse hat einen durchschnittlichen Metallgehalt im Hausmüll von 2,1 % ermittelt. Das heißt, dass je Tonne Hausmüll 21 kg Metallschrott recycelbar sind. Die tatsächlichen Mengen sind:

Tabelle 1: Durchschnittlicher Metallgehalt im Hausmüll von 2006 bis 2012

Jahr	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
kg Schrott/t Abfall	21,12	22,23	22,52	23,68	23,59	23,28	21,10

Die Gründe für den Rückgang 2012 konnten nicht eindeutig bestimmt werden. Drei mögliche Ursachen sind identifiziert worden:

- zunehmende Aussortierung von Schrott in den privaten Haushalten bzw. Sammler,
- Einführung der Orange Box in Berlin,
- Qualitätsoptimierung der eigenen Schrottaufbereitung hat die Reinheit erhöht und damit aber die absolute Menge vermindert,
- im Rahmen der Inbetriebsetzung eines neuen Kessels sind aus der neuen Schlackequalität weniger Metall recycelt worden.

Alle möglichen Ursachen werden genau verfolgt, um zukünftig eine Aussage treffen zu können.

Von dem Potential von 21 kg Schrott je Tonne Hausmüll ausgehend werden zeitweise über 104 % bis 114 % recycelt. Dies kann entweder auf den Aufkonzentrationsprozess zurückgeführt werden, der bereits oben beschreiben worden ist und eine Potential bis zu 117 % ermöglicht oder in den betreffenden Jahren waren der Metallinhalt höher als in der Hausmüllanalyse ermittelt worden ist.

In Berlin wird eine Schrottmenge von 22 bis 24 kg Schrott je Tonne Hausmüll recycelt und verkauft. Sollte der Schrottegehalt tatsächlich höher sein, als die umfangreiche Hausmüllanalyse ermittelt hat, sinkt die Recyclingquote entsprechend. Die Recyclingquote des MHKW Ruhleben beträgt bezogen auf den Input rechnerisch rund 100 %.

Da in der Schlacke nach der Aufbereitung und Metallentfrachtung noch Metall nachgewiesen werden kann, wissen wir, dass die tatsächliche Recyclingquote bezogen auf die Schlacke unter 100 % ist. Der Autor geht von einer realistischen Recyclingquote von um die 90 % aus, die sich in der Größenordnung der aktuellen Untersuchung von Deike und Warnecke [5, 15] befindet.

Das Bemühen der BSR gilt insbesondere den NE-Metallen, deren Wert zum Teil 10-fach höher als bei Fe-Fractionen sein kann. Diese Fraktion besteht zu über 50 % aus Aluminium und rund 20 % aus anderen Metallen. Diese Metallverluste werden durch weitere technische Maßnahmen in der Schlackeaufbereitung zukünftig weiter reduziert werden.

11. Zusammenfassung

Ob sich die Aufbereitungs- und Sortieranlage für das Metallrecycling direkt an einer Abfallverbrennungsanlage befindet oder das Metallrecycling in einer Aufbereitungsanlage von spezialisierten Unternehmen durchgeführt wird, ist eine Unternehmerentscheidung, die jede Verbrennungsanlage für sich treffen muss. Systemisch ist das nachrangig, wenngleich die zusätzlichen Transportaufwendungen in der Klimabilanz mit betrachtet werden müssen.

Das Potential aus deutschen Hausmüllverbrennungsanlagen beträgt 340.000 bis maximal 720.000 Tonnen. Da der Metallgehalt im Input nur mit einer Unsicherheit bekannt ist, kann auch das Potential nur in dieser Bandbreite bestimmt werden. Bezogen auf die Schlacken lässt sich das Potenzial auf 340.000 bis 480.000 Tonnen Metall eingrenzen. Dies entspricht 1 bis 3 % des deutschen Schrottaufkommens. Ein wirtschaftlich nutzbares Potential von Seltenen Erden ist in den Schlacken noch nicht nachgewiesen worden. Eine wirklich sortenreine Trennung der verschiedenen Metalle ist nur durch metallurgische Prozesse möglich. Aus den Schlacken der Verbrennungsanlagen werden jedoch schon relativ hochkonzentrierte Sorten hergestellt, die inzwischen am Markt deutlich höher bewertet werden, als Schrottsorten aus mechanischen Aufbereitungsanlagen.

Auch wenn die Potentiale bereits zu über 90 % in deutschen Hausmüllverbrennungsanlagen wieder recycelt werden können, gibt es noch interessante Potentiale im Feinkornbereich und im NE- Bereich. Die weiteren Anstrengungen der Branche betreffen daher vorrangig auch die NE-Metalle und die Feinkornfraktionen. Aus wirtschaftlichen Gründen ist nur eine begrenzte Aufbereitungstiefe sinnvoll.

Die zunehmende Aussortierung der Metalle verbessert auch das Eluatverhalten der Schlacke, was die Verwertungsmöglichkeiten der Schlacke verbessert. Es ist jedoch darauf zu achten, dass die mechanischen Baustoffeigenschaften der Schlacke durch weiteren Metallaufschluss sich nicht derart verschlechtern, dass eine Verwertung am Ende unmöglich wird.

Zurzeit ist das Metallrecycling von haushaltsnahen Abfällen in Abfallverbrennungsanlagen dem Metallrecycling aus mechanischen Sortierungen deutlich überlegen, was der Markt durch die unterschiedlichen Erlöse für die Schrottsorten beweist.

Durch weitere Innovationen, technische Entwicklungen und steigende Erlöse wird das Recycling von Metall noch weiter gesteigert werden. Dies nutzt allen Beteiligten und allen Zielen, die mit dem Recycling verbunden sind.

12. Literaturverzeichnis

- [1] Dehoust, G.; Christiani, J: Analyse und Fortentwicklung der Verwertungsquoten für Wertstoffe. In: UFOPLAN BMU FKZ 3711 33 316, UBA Texte 40/2012, S. 66 ff
- [2] Pretz, T.: Rohstoffkongress 2008, RWTH Aachen, 10/2008. In: Bünemann, A; Rachut, G: Planspiel zur Fortentwicklung der Verpackungsverordnung Teilvorhaben 1, UFOPLAN BMU FKZ 3710 93 313 1, UBA Texte 08/2011, S. 73
- [3] IFEU: Nachtrag zum Forschungsvorhaben *Beitrag der Abfallwirtschaft zur nachhaltigen Entwicklung in Deutschland*. In: Bünemann, A; Rachut, G: Planspiel zur Fortentwicklung der Verpackungsverordnung Teilvorhaben 1, UFOPLAN BMU FKZ 3710 93 313 1, UBA Texte 08/2011, S. 73
- [4] Gosten, A.: Metal Recycling at Waste Incineration Plants and Mechanical Waste Treatment Plants In: Thomé-Kozmiensky, K. J.; Thiel, S. (Hrsg.): Waste Management, Volume 3. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2012, S. 361-374
- [5] Deike, R.; Warnecke, R.; Vogell, M.: Abschlussbericht zum Projekt *Recyclingpotenziale bei Rückständen aus der Müllverbrennung*. Universität Duisburg, Essen, 16.12.2012, S. 55
- [6] Alwast, H.: Von der Abfall- zur Rohstoffwirtschaft – Perspektiven und Handlungsempfehlungen für die deutsche Abfallwirtschaft. 18. EUROFORUM-Jahrestagung *Abfallwirtschaft 2012*, 25.04.2012, S. 21
- [7] DESTATIS: Leichter Anstieg an Haushaltsabfällen je Einwohner 2011 In: Statistisches Bundesamt, Pressemitteilung 25/13 vom 18.01.2013
- [8] Thomé-Kozmiensky, K. J.: Abfallverbrennung – ein energetisches und stoffliches Verwertungsverfahren. In: Thomé-Kozmiensky, K. J.; Versteyl, A. (Hrsg.): Strategie, Planung, Umweltrecht, Band 7. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2013, S. 17
- [9] Thiel, S.: Ersatzbrennstoff-Kraftwerke in Deutschland und Österreich In: Thomé-Kozmiensky, K. J.; Beckmann, M. (Hrsg): Energie aus Abfall, Band 10. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2013, S. 845-846
- [10] Thomé-Kozmiensky, K. J.: Irrungen und Wirrungen. In: ReSource (2012), Nr. 3, Rhombos Verlag, Berlin
- [11] bvse: bvse stellt Schrottbilanz 2011 vor In: bvse news vom 29.01.2013
- [12] Wirtschaftsvereinigung Metalle (WVM). In: Metallstatistik 2011, Berlin, 2012
- [13] Pretz, T: NE-Metallpotenzial in Rostaschen aus Müllverbrennungsanlagen. In: Erzmetall 64 (2011), No. 5
- [14] Umweltbundesamt: Verbesserung der umweltrelevanten Qualitäten von Schlacken aus Abfallverbrennungsanlagen. 2011
- [15] Warnecke, R.; Deike, R.; Ebert, D.; Vogell, M.: Metallrecycling durch thermische Decarbonisierung. 17 Internationaler Erfahrungsaustausch für Betreiber thermischer Abfallbehandlungsanlagen *Dreiländertreffen*, Linz, 14.-16.10.2012

Die Deutsche Bibliothek – CIP-Einheitsaufnahme

Recycling und Rohstoffe – Band 6

Karl J. Thomé-Kozmiensky, Daniel Goldmann.

– Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2013

ISBN 978-3-935317-97-9

ISBN 978-3-935317-97-9 TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky

Copyright: Professor Dr.-Ing. habil. Dr. h. c. Karl J. Thomé-Kozmiensky

Alle Rechte vorbehalten

Verlag: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky • Neuruppin 2013

Redaktion und Lektorat: Professor Dr.-Ing. habil. Dr. h. c. Karl J. Thomé-Kozmiensky,

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

Erfassung und Layout: Ina Böhme, Petra Dittmann, Sandra Peters,

Martina Ringgenberg, Ginette Teske, Ulrike Engelmann, LL. M.

Druck: Mediengruppe Universal Grafische Betriebe München 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.