



Schwermetallkonzentrationen und -frachten in bayerischem Restmüll

Einleitung

Der Restmüll setzt sich aus den unterschiedlichsten, kurz- und längerlebigen Artikeln des täglichen Gebrauchs zusammen: Essensreste, Hygieneartikel, Folienverpackungen, Joghurtbecher, Textilien, Kehrriech, Schnittblumen, Tierstreu, Schuhe etc.

Damit ist der Restmüll ein Spiegelbild unseres täglichen Lebens- und Konsumverhaltens. In Bayern wird der Restabfall zu 88 % thermisch behandelt, vgl. Abfallbilanz 2002 [1]. Um Optimierungspotenziale für das bestehende integrierte Abfallwirtschaftssystem zu erkennen und weiter auszuschöpfen, ist eine genaue Kenntnis des Inhalts der Restmülltonne (stoffliche Zusammensetzung, physikalisch-chemische Parameter) notwendig. Die Daten dienen z.B. als Basis für die Bewertung neuartiger Aufbereitungstechniken von Restmüll oder von Alternativverfahren zur Restmüllbehandlung.

Die gesetzlichen Initiativen der beiden letzten Dekaden haben neben der Abfallvermeidung eine langfristige Schadstoffentfrachtung der Produkte und damit des Abfalls zum Ziel. Die Getrennthaltung von Wertstoffen (Glas, Bioabfälle, Leicht-Verpackungen, Papiere/Kartonagen) als auch von Problemabfällen beeinflussen entsprechend die Restmüllzusammensetzung.

Untersuchungen zu Inhaltsstoffen und Schadstoffgehalten von Restmüll sind sehr zeitaufwändig und werden i.d.R. nur vereinzelt durchgeführt. In der Literatur werden v.a. veröffentlichte Daten verglichen, eigene Untersuchungen findet man selten, z.B. [2, 3, 4]. Um über aktuelle Daten zu verfügen, förderte das Bayerische Staatsministerium für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz in den Jahren 1998 bis 2003 das Projekt „Zusammensetzung und Schadstoffgehalt von Siedlungsabfällen“ [5].

Material und Methoden

Von 1998 bis 2003 wurden 17 Restmüllsortieranalysen in bayerischen Gebietskörperschaften durchgeführt, um die stoffliche

Zusammensetzung (in 49 Sortierfraktionen) zu bestimmen.

Diese Sortierfraktionen wurden zu 18 Analysestoffgruppen zusammengefasst.

Neben der Fein- ($d_{pOS}^1 \leq 10$ mm) und Mittelfraktion ($10 < d_{pOS} \leq 40$ mm) sind die Stoffgruppen in Tab. 1 in der Reihenfolge abnehmender Massenanteile aufgelistet. Entsprechend deren Anteilen am Restmüll wurden ca. 96,2 Mass.-% des Restmülls für physikalisch-chemische Untersuchungen erfasst.

Die verbleibenden 3,8 Mass.-% entfielen auf Fahrzeugteile, Flachglas, Metalle, Problemstoffe, Styropor und Sonstige Stoffe.

Die Nichtberücksichtigung dieser Stoffgruppen bei der Analytik resultiert entweder aus den zu geringen Massenanteilen für eine repräsentative Stichprobe (z.B. Fahrzeugteile) oder eingeschränkter Aufbereitungstechniken für die physikalisch-chemische Analyse (z.B. Metalle) [2, 6].

Während der Sortieranalysen wurden von den sortierten Abfällen jeweils Proben für die Laboranalytik gezogen – insgesamt liegen von jeder Analysestoffgruppe mindestens 13, in der Regel 16 Einzelproben vor. Diese wurden vor Ort und in den eigenen Laboratorien für die nachfolgende Analytik vorbereitet (Zerkleinerung, Trocknung).

Die quantitative Bestimmung der Schwermetalle erfolgte mittels Röntgenfluoreszenzanalyse (RFA) in unseren Zentrallaboratorien; die von Quecksilber mittels Königswasseraufschluss und Kaltdampf-Atomadsorptionsspektroskopie am Josef-Vogl-Technikum (vgl. auch [5]).

Für die Berechnung der Schwermetallfrachten, die die einzelnen Analysestoffgruppen zum Restmüll beitragen, wurden die im Rahmen der o.g. Sortierkampagnen ermittelten und in Tab. 1 aufgelisteten Massenanteile herangezogen.

Zudem wurden die jeweiligen Wassergehalte (ebenfalls Tab. 1) verrechnet, woraus sich der Bezug auf den Restmüll (Originalsubstanz) ergibt.

Ines Przybilla

Tel.: 0821/7000-287,

ines.przybilla@lfu.bayern.de

¹ d_p : Partikeldurchmesser, OS: Originalsubstanz

2 Schwermetallkonzentrationen und -frachten in bayerischem Restmüll

Tab.1: Analysestoffgruppen, deren Anteil am (feuchten) Restmüll und ihre Wassergehalte

Analysestoffgruppe	Sortierfraktion	Anteil am Restmüll [Mass.-%]	Wassergehalt [Mass.-%]
Feinfraktion	Feinfraktion	10,9	28,7
Mittelfraktion	Mittelfraktion	14,2	49,7
Organik	Küchenabfälle Gartenabfälle Tierkadaver Sonstige organische Stoffe	22,5	61,3
Hygieneprodukte	Windeln Hygienepapiere	14,5	61,8
Papier/Pappe/Kartonagen	PPK-Verpackungen PPK-Druckerzeugnisse Sonstige PPK	7,7	21,9
Kunststoffverpackungen inkl. Folien	Kunststoffverpackungen Kunststofffolien	5,5	16,8
Glas	Behälterglas	4,4	1,1
Inertes	Inertes Inert-Verpackungen	2,8	2,1
Textilien	Bekleidungstextilien Sonstige Textilien	2,8	14,3
Sonstige Verbunde	Sonstige Verbunde	2,6	7,4
Verbundverpackungen	Verbundverpackungen	1,9	19,0
Sonstige Kunststoffe	Sonstige Kunststoffe	1,4	5,3
Renovierungsabfälle	Renovierungsabfälle	1,4	5,7
Holz	Holzverpackungen Sonstiges Holz	1,2	13,9
Schuhe	Schuhe	0,9	5,2
Elektronikschrott	Elektronikschrott	0,8	0,7
Staubsaugerbeutel	Staubsaugerbeutel(inhalt)	0,6	11,1
Leder/Gummi/Kork	Leder Gummi Kork	0,3	6,0

Die größten Massenanteile und Wassergehalte von über 40 Mass.-% wurden für die Fraktionen Hygieneprodukte, Organik und die Mittelfraktion (ebenfalls zu mindestens 60 Mass.-% aus organischem Material) ermittelt. Dennoch zeichnen sich auch die übrigen Analysestoffgruppen teilweise durch erhöhte Wassergehalte aus, die z.B. bei reinen Produktionsabfällen oder bei sortenreiner Trennung nicht auftreten würden. Diese resultieren beispielsweise aus feuchten Restinhaltsstoffen (z.B. von Verpackungen) oder aus der Vermischung/Verpressung mit besonders wasserhaltigen Substanzen in der Restmülltonne (z.B. von Papier/Pappe/Kartonagen oder Textilien mit organischem Material).

Ergebnisse

Bei der Abgrenzung der Schwermetalle von den sonstigen Metallen und Elementen wurde eine Elementdichte von 5,0 g/cm³ zugrunde gelegt [7, 8]. Für die Auswertung wurden aus der Reihe der Schwermetalle die Elemente Blei, Cadmium, Chrom, Kup-

fer, Nickel, Quecksilber, Zink und Zinn exemplarisch herausgezogen. In den meisten Fällen haben die Schwermetalle bereits in niedrigen, teilweise erst in höheren Konzentrationen oder in bestimmten Oxidationsstufen (z.B. Chrom (VI)) toxische Wirkung.

Bei dem Vergleich der Ergebnisse mit den Daten anderer Autoren stellt man fest, dass die Aufbereitung und Probenanzahl aus den Literaturstellen nicht immer eindeutig hervorgeht und dadurch vergleichende Aussagen nicht in vollem Umfang möglich sind; auch lagen uns nicht von allen untersuchten Stoffgruppen oder Schwermetallen aktuelle Vergleichsdaten vor.

Häufig beschränken sich die Autoren auf den Vergleich von Literaturdaten [9]. Unsere Analysewerte bewegen sich – von Ausnahmen abgesehen – innerhalb der Schwankungsbreite der Literaturangaben; die Einzelwerte weichen teilweise erheblich vom jeweiligen Mittelwert ab.

Diese Schwankungsbreiten zeigen die Unsicherheit, mit der Elementanalysen des „inhomogenen“ Restmülls behaftet sind.

Blei

In der Natur akkumuliert Blei und lagert sich leicht an Staub- und Rußpartikeln an, weshalb Blei ubiquitär vorliegt. In der Luft liegt Blei häufig als Blei(II)oxid vor, industriell v.a. in Form von Organobleiverbindungen [8].

Blei ist in einer breiten Produktpalette zu finden; Blei und seine Verbindungen werden/wurden zur Herstellung von Akkumulatoren, Batterien, Farben, technischen Folien, Kabelummantelungen, Loten und Flussmitteln, Rohren etc. sowie im Strahlenschutz eingesetzt [9, 10].

Die breite Verwendung von Blei in Elektro-/Elektronikprodukten belegen die Bleigehalte von über 2.700 mg/kg_{TS}² in der Stoffgruppe Elektronikschrott [5, 12].

Über 1.400 mg/kg_{TS} Blei in der Stoffgruppe Inertes (z.B. Fliesen, Tonwaren, Steine) ist ein Indiz für bleihaltige Glasuren [7, 9].

Die Bleigehalte liegen bei den einzelnen Stoffgruppen zwischen 10 und 2.700 mg/kg_{TS} – vgl. Tab. 2 – und belaufen sich auf knapp 132 mg/kg im Restmüll. Die Stoffgruppen Elektronikschrott und Inertes mit den höchsten Bleigehalten in der Trockenmasse machen auch den größten Anteil an der Bleifracht des Restmülls aus, obwohl diese Stoffgruppen eher geringe Massenanteile (0,8 und 2,8 Mass.-%) am Restmüll besitzen.

Aufgrund der EU-Richtlinie zur Beschränkung der Verwendung bestimmter gefährlicher Stoffe in Elektro- und Elektronikgeräten vom Jahr 2003 (Umsetzung bis Juli 2006) ist mittelfristig mit einem Rückgang des Bleianteils im Elektronikschrott und damit im Restmüll zu rechnen [13].

Im Vergleich zu aktuellen Literaturdaten wurden von uns für die Stoffgruppen Organik und Papier/Pappe/Kartonage, Mittelmüll, Holz, Schuhe und Elektronikschrott geringere, für die Stoffgruppen Sonstige Kunststoffe und Textilien höhere Bleigehalte ermittelt (Tab. 2).

Insbesondere der Bleianteil im Elektronikschrott kann gemäß [3] noch erheblich über unseren Werten liegen.

Cadmium

In den Luftpfad werden Cadmiumverbindungen als Nebenprodukte aus der Zinkgewinnung und durch Industrie- und Verbrennungsanlagen emittiert. Cadmium und seine Verbindungen werden/wurden als Korrosionsschutz, Bestandteil von Batterien, Akkumulatoren und Solarzellen, als Halbleiter, Leuchtstoffe, Farbpigmente sowie als Stabilisatoren in Kunststoffen (PVC) und Reifen eingesetzt [9, 10, 11].

Tab. 2: Vergleich der Bleigehalte in Restmüllfraktionen; alle Angaben in mg/kg_{TS}; MW: Mittelwert; k.A.: keine Angabe

Analysestoffgruppe	Eigene Arbeit			Mast et al. [9]	Rotter [3]
	MW	Min.	Max.		
Feinfraktion	131	38,2	491	k.A.	195
Mittelfraktion	83	14,0	225	k.A.	236
Organik	15	2,4	95	9,2 – 407	37
Hygieneprodukte	11	1,5	61	k.A.	36
Papier/Pappe/Kartonagen	14	7,2	35	< 10 – 71,4	23
Kunststoffverpackungen	129	10,0	501	k.A.	109
Glas	429	88,8	4.301	170 – 628	k.A.
Inertes	1.402	106,9	5.500	30 – 3.970	k.A.
Textilien	100	11,2	1.104	38,3 – 58,3	35
Sonstige Verbunde	638	74,7	1.596	k.A.	523
Verbundverpackungen	11	4,2	32	k.A.	28
Sonstige Kunststoffe	473	16,3	2.718	40 – 602	221
Renovierungsabfälle	322	12,6	2.323	k.A.	k.A.
Holz	36	2,2	91	25 – 751	105
Schuhe	324	21,2	1.206	k.A.	569
Elektronikschrott	2.713	1.386	4.041	k.A.	4.949
Staubsaugerbeutel	154	32,3	1.201	k.A.	91
Leder/Gummi/Kork	180	20,0	629	< 10 – 334	115 – 459

Aufgrund dieses Einsatzspektrums tragen neben der Stoffgruppe Elektronikschrott {200 mg/kg_{TS}} auch die Sonstigen Kunststoffe (langlebige Kunststoffartikel) mit 76 mg Cadmium je kg Trockenmasse maßgeblich zum Cadmiumgehalt des Restmülls bei. Der Einsatz von Cadmium in der Glas- und Porzellanindustrie spiegelt sich in einem Cadmiumgehalt von über 32 mg pro kg in der Stoffgruppe Inertes wider und übersteigt die in [9] genannten Werte etwa um Faktor 17. Die Cadmium-Gehalte der übrigen Analysestoffgruppen liegen im Bereich der Literaturangaben (siehe Tab. 3).

Insgesamt wurde ein Cadmiumgehalt von 6,1 mg (feucht) bzw. 9,6 mg (trocken) pro kg Restmüll ermittelt. Andere Autoren nennen für Restmüll Cadmium-Gehalte von 1 - 6 mg/kg_{TS} [5, 9] und 0,3 mg/kg_{TS} [14]. Hauptanteile am Restmüll nehmen die Stoffgruppen Elektronikschrott, Sonstige Kunststoffe und Inertes ein. Bei der bundesweiten Hausmüllanalyse von 1983 wurden Cadmiumwerte von 10 - 15 mg pro kg trockenem Restmüll festgestellt [7].

Der Einsatz von Cadmium wird gemäß [13] spätestens ab dem 01.07.2006 in Elektro- und Elektronikgeräten eingeschränkt, was mittelfristig eine weitere Reduzierung dieses Schwermetalls im Restmüll erwarten lässt.

² TS: Trockensubstanz

4 Schwermetallkonzentrationen und -frachten in bayerischem Restmüll

Tab. 3: Vergleich der Cadmiumgehalte in Restmüllfraktionen; alle Angaben in mg/kg_{TS}; MW: Mittelwert; k.A.: keine Angabe

Analysestoffgruppe	Eigene Arbeit			Mast et al. [9]	Rotter [3]
	MW	Min.	Max.		
Feinfraktion	2,4	< 0,4	6,8	k.A.	1,1
Mittelfraktion	4,3	< 1,0	24,5	k.A.	1,6
Organik	2,8	< 0,3	8,5	< 1 – 4,3	0,4
Hygieneprodukte	2,5	< 1,0	3,4	k.A.	0,2
Papier/Pappe/Kartonagen	2,3	< 0,3	3,4	< 1 – 5,3	0,2 – 1,3
Kunststoffverpackungen	3,1	2,0	7,5	k.A.	0,9
Glas	2,6	< 1,0	4,2	< 1 – 3	k.A.
Inertes	32,6	< 1,0	198	1,3 – 1,84	k.A.
Textilien	2,4	< 1,0	3,3	< 1 – 5	1
Sonstige Verbunde	26,6	3,8	57,3	k.A.	75
Verbundverpackungen	3,0	1,6	4,7	k.A.	0,5
Sonstige Kunststoffe	76,2	< 1,0	333	12 – 151	9,6
Renovierungsabfälle	24,5	0,7	253,1	k.A.	k.A.
Holz	2,8	< 1,0	8,8	0,78 – 2,5	0,9
Schuhe	12,9	2,4	45,3	k.A.	23,6
Elektronikschrott	229	2,0	1.519	k.A.	1.332
Staubsaugerbeutel	3,9	1,7	20,9	k.A.	2
Leder/Gummi/Kork	18,5	2,8	79,0	5 – 70	4,5 – 11,7

Tab. 4: Vergleich der Chromgehalte in Restmüllfraktionen; alle Angaben in mg/kg_{TS}; MW: Mittelwert; k.A.: keine Angabe

Analysestoffgruppe	Eigene Arbeit			Mast et al. [9]
	MW	Min.	Max.	
Feinfraktion	279	27,8	1.801	k.A.
Mittelfraktion	89,1	20	380	k.A.
Organik	19,8	2	49,4	182 – 420
Hygieneprodukte	21	2	49,9	k.A.
Papier/Pappe/Kartonagen	29,8	7,3	116	5 – 26,4
Kunststoffverpackungen	89,0	18,6	516	k.A.
Glas	372	107	556	163 – 351
Inertes	197	33,3	584	53,8 – 137
Textilien	118	25,6	296	54,8 – 227
Sonstige Verbunde	2.750	173	9.801	k.A.
Verbundverpackungen	27,8	2,0	164	k.A.
Sonstige Kunststoffe	334	0,0	2.540	9 – 154
Renovierungsabfälle	88,0	20,0	339	k.A.
Holz	13,2	2,0	53,9	7,8 – 5,1
Schuhe	5.992	2.370	11.220	k.A.
Elektronikschrott	728	98,7	4.148	k.A.
Staubsaugerbeutel	183	68,6	1.166	k.A.
Leder/Gummi/Kork	7.885	1,3	21.280	16,4 – 3.910

Chrom

Chrom wird zur Herstellung korrosionsbeständiger, hoch beanspruchter Stähle sowie in der Galvanikindustrie zum Veredeln von Metalloberflächen verwendet; ebenso findet man Chrom und seine Verbindungen in Metalllegierungen, Farbpigmenten, Katalysatoren sowie als Ätz-, Beiz-, Oxidations- und Färbemittel. In der Lederverarbeitenden Industrie ist Chrom der wichtigste mineralische Gerbstoff.

Der Gesamtmassengehalt im Restabfall beträgt 212 mg/kg_{OS} bzw. 336 mg/kg_{TS}. Chrom ist das einzige untersuchte Schwermetall, das – auf die Trockenmasse bezogen – im Restmüll nicht von der Stoffgruppe Elektronikschrott dominiert wird. Vielmehr wurden aufgrund des erwähnten Einsatzspektrums die höchsten Gehalte in den Stoffgruppen Leder/Gummi/Kork und Schuhe bestimmt. Dabei ist zu berücksichtigen, dass z.B. die Stoffgruppe Metalle nicht beprobt wurde. Neben den Stoffgruppen Textilien und Schuhe tragen auch die Sonstigen Verbunde und die Feinfraktion maßgeblich zum Chromgehalt im Restmüll bei (Tab. 4). Die Stoffgruppe Sonstige Verbunde hat eine sehr heterogene und variable Zusammensetzung, da darin alle Mehrkomponentenprodukte enthalten sind, die nicht überwiegend einer Stoffgruppe zugeordnet werden können. So finden sich dort Regenschirme (Metall-Textil-Verbund) genauso wieder wie Kinderspielzeug (z.B. Kunststoff-Textil-Kleinelektrik-Verbund) oder Musikkassetten.

Im Labor wird Edelstahl wegen seiner Korrosionsbeständigkeit vielfach verwendet. Dies hat u.a. zur Folge, dass die von uns gezogenen Proben bei der Probenzerkleinerung zwangsläufig mit chromhaltigen Materialien in Berührung kommen. Das Ausmaß einer möglichen Chromkontamination durch die eingesetzten Schneidwerkzeuge konnte nicht quantifiziert werden; Abrieberscheinungen an den Mahlwerkzeugen der verwendeten Schneidmühlen waren allerdings durchaus sichtbar. Im Vergleich mit [9] wurden insbesondere für die Stoffgruppe Leder/Gummi/Kork wesentlich höhere Konzentrationen ermittelt; dagegen fällt der Gehalt in der organischen Fraktion vergleichsweise gering aus (Tab. 4).

Kupfer

Kupfer wird v.a. in der Elektroindustrie (Drähte, Stangen) und im Apparate- und Maschinenbau (Bleche, Rohre) wegen seiner guten Wärmeleitfähigkeit und Korrosionsbeständigkeit eingesetzt. Große Kupfermengen werden für Legierungen (Bronze, Messing, Rotguss, Neusilber, Konstantan usw.) benötigt.

Daneben finden Kupfer und seine Verbindungen Anwendung als Legierungsbestand-

teile rostfreier Stähle, in Akkumulatoren, Katalysatoren sowie als Farbpigmente für Glasuren und Email und beim Vernickeln von Glas, Porzellan, Keramik [12].

Im Restmüll sind pro kg etwa 222 mg Kupfer enthalten, wovon der Hauptanteil auf die Stoffgruppe Elektronikschrott entfällt. In [9] werden für Restmüll Gehalte von 124 – 795 mg/kg_{TS} genannt. Das breite Anwendungsspektrum von Kupfer schlägt sich auch in den Stoffgruppen Sonstige Verbunde, Mittel- und Feinfraktion sowie Leder/Gummi/Kork nieder. Die vorliegenden Ergebnisse bewegen sich – mit Ausnahme der Stoffgruppe Leder/Gummi/Kork – ebenfalls in der Schwankungsbreite von [9] (vgl. Tab. 5).

Nickel

Ähnlich wie Kupfer ist Nickel v.a. als Legierung in der Analysestoffgruppe Elektronikschrott enthalten. Wie auch Chrom wird Nickel insbesondere bei hochlegierten Stählen eingesetzt. Auf Abriebverfälschungen während der Probenaufbereitung – analog zu Chrom – kann jedoch nicht geschlossen werden, da im Vergleich zu [9] keine erhöhten Werte festgestellt wurden (Tab. 6).

Der Gesamtgehalt an Nickel im (feuchten) Restmüll beträgt 24 mg/kg; hierbei liefert neben Elektronikschrott und Sonstigen Verbunden die Feinfraktion einen erheblichen Beitrag.

Quecksilber

Quecksilber ist v.a. in Batterien, als Schaltelement in Elektrogeräten sowie in Thermometern, Manometern und als Elektrodenmaterial zu finden. Anorganische / organische Quecksilberverbindungen werden/wurden u.a. in der Porzellanmalerei, als Desinfektionsmittel, als Fungi- und Insektizide, als Saat- und Holzbeizmittel verwendet.

Elementares Quecksilber lagert sich leicht an Materialien mit großer spezifischer Oberfläche an, was die vergleichsweise hohen Quecksilbergehalte der Analysestoffgruppen Feinfraktion und Staubsaugerbeutel(inhalte) belegen.

Die höchsten Quecksilbergehalte liegen neben der Stoffgruppe Elektronikschrott in der Stoffgruppe Leder/Gummi/Kork vor, was ebenso wie bei der Fraktion Textilien auf quecksilberhaltige Mittel zur Appretur schließen lässt. Insgesamt wurde für Restmüll aus Haushalten ein Quecksilbergehalt von 0,118 mg/kg_{OS} bestimmt.

Die ermittelten Gehalte befinden sich in der Regel im Schwankungsbereich von [3] und [9] (vgl. Tab. 7).

Bei Quecksilber sind im Unterschied zu Blei die Analysestoffgruppen mit den höchsten Gehalten in der Trockenmasse (Elektronikschrott; Leder/Gummi/Kork) nicht auch für

Tab. 5: Vergleich der Kupfergehalte in Restmüllfraktionen; alle Angaben in mg/kg_{TS}; MW: Mittelwert; k.A.: keine Angabe

Analysestoffgruppe	Eigene Arbeit			Mast et al. [9]
	MW	Min.	Max.	
Feinfraktion	223	37,2	1.171	k.A.
Mittelfraktion	139	24,2	932	k.A.
Organik	32,6	9,1	184	3,6 – 111
Hygieneprodukte	24,0	6,9	49,5	k.A.
Papier/Pappe/Kartonagen	54,0	34,6	82,7	22,4 – 88,5
Kunststoffverpackungen	90,0	40,5	308	
Glas	13,9	9,0	28,7	5,7 – 33
Inertes	51,4	11,4	251	17 – 227
Textilien	56,9	23,0	135	30 – 186
Sonstige Verbunde	834	46,5	8.186	k.A.
Verbundverpackungen	102	35,1	194	k.A.
Sonstige Kunststoffe	101	10,3	582	34 – 520
Renovierungsabfälle	75,0	7,4	471	k.A.
Holz	33,6	4,0	338	11 – 35,5
Schuhe	57,0	24,4	166	k.A.
Elektronikschrott	20.459	7.859	73.290	k.A.
Staubsaugerbeutel	119	40,3	272	k.A.
Leder/Gummi/Kork	192	30,0	626	18,9 – 53,5

Tab. 6: Vergleich der Nickelgehalte in Restmüllfraktionen; alle Angaben in mg/kg_{TS}; MW: Mittelwert; k.A.: keine Angabe

Analysestoffgruppe	Eigene Arbeit			Mast et al. [9]
	MW	Min.	Max.	
Feinfraktion	26,5	10	63	k.A.
Mittelfraktion	16,8	4,6	41,1	k.A.
Organik	7,6	3,9	14,5	150 – 673
Hygieneprodukte	9,1	3,0	15	k.A.
Papier/Pappe/Kartonagen	9,7	4,8	26,2	< 4 – 19,9
Kunststoffverpackungen	20,1	9,2	120	k.A.
Glas	16,4	1,7	53,5	1,3 – 32,7
Inertes	36,0	10,0	109	5 – 60
Textilien	11,7	2,4	24,5	7,3 – 27,3
Sonstige Verbunde	148	8,0	1.677	k.A.
Verbundverpackungen	13,3	3,1	46,7	k.A.
Sonstige Kunststoffe	18,2	4,1	42,5	k.A.
Renovierungsabfälle	21,8	5,9	82,9	k.A.
Holz	6,6	1,0	10,0	k.A.
Schuhe	13,4	3,3	50,3	k.A.
Elektronikschrott	1.544	148	13.220	k.A.
Staubsaugerbeutel	27,7	8,0	51,4	k.A.
Leder/Gummi/Kork	30,9	8,0	166	k.A.

den feuchten Restmüll maßgeblich. Vielmehr wirkt sich hier das massenanteilige Übergewicht der Feinfraktion aus.

Wie bereits bei Blei, Cadmium und Chrom erwähnt, ist auch bei Quecksilber aufgrund von [13] mittelfristig mit einer weiteren Entfrachtung des Elektronikschrotts und somit des Restmülls zu rechnen.

Tab. 7: Vergleich der Quecksilbergehalte in Restmüllfraktionen; alle Angaben in mg/kg_{TS}; MW: Mittelwert; k.A.: keine Angabe

Analysestoffgruppe	Eigene Arbeit				
	MW	Min.	Max.	Mast et al. [9]	Rotter [3]
Feinfraktion	0,390	0,020	6,566	k.A.	0,26
Mittelfraktion	0,110	0,020	0,586	k.A.	0,27
Organik	0,040	< 0,01	0,302	< 0,1 – 0,34	0,11
Hygieneprodukte	0,103	< 0,01	0,488		0,06
Papier/Pappe/Kartonagen	0,060	< 0,01	0,415	< 0,1 – 0,3	0,08
Kunststoffverpackungen	0,083	0,007	0,647	k.A.	0,14
Glas	0,010	< 0,01	0,027	< 0,02 – 0,2	k.A.
Inertes	0,030	< 0,01	0,099	< 0,2 – 0,04	k.A.
Textilien	0,660	0,021	9,22	< 0,1	0,15
Sonstige Verbunde	0,640	0,039	5,28	k.A.	0,05
Verbundverpackungen	0,050	< 0,01	0,329	k.A.	0,02
Sonstige Kunststoffe	0,080	0,013	0,670	k.A.	0,23
Renovierungsabfälle	0,291	0,010	2,35	k.A.	k.A.
Holz	0,510	0,006	6,48	k.A.	0,03
Schuhe	0,183	0,027	1,26	k.A.	0,14
Elektronikschrott	1,688	0,053	17,4	k.A.	3,0
Staubsaugerbeutel	0,710	0,007	7,33	k.A.	0,49
Leder/Gummi/Kork	1,60	0,067	20,1	k.A.	0,22 – 0,68

Zink

Zink wird hauptsächlich als Korrosionsschutz (Verzinken, Galvanisieren) im Metallbau eingesetzt und ist in Messing und anderen Legierungen (Druckguss), die in Haushaltsgegenständen, Armaturen u.ä. zu finden sind, enthalten [8, 9, 15]. Daneben sind Zinkverbindungen auch Bestandteile von Medikamenten, Kosmetika etc.

Im Restmüll ist Zink in den Stoffgruppen Leder/Gummi/Kork, Elektronikschrott, Sonstige Verbunde, Schuhe und Renovierungsabfälle im Promillebereich zu finden.

Im Restmüll sind pro kg_{OS} insgesamt 319 mg bzw. pro kg_{TS} 505 mg Zink enthalten. Im Vergleich zu [9], wo ein Wertebereich von 257 bis 2.207 mg/kg_{TS} genannt wird, liegt unser Ergebnis im unteren Bereich. Auch im Vergleich zu [3] fallen unsere Zink-Gehalte in den einzelnen Stoffgruppen niedrig aus (Tab. 8).

Zinn

Zinn wird industriell als Korrosionsschutz auf Weißblech (z.B. Nahrung in verzinnten Dosen), als Bestandteil von Legierungen (z.B. Weichlot, Lagermetalle), in Organozinnverbindungen sowie als PVC-Hitzestabilisator eingesetzt [8, 9, 15]. Letzteres erklärt die erhöhten Gehalte im Elektronikschrott (Tab. 8). Der mittlere Gehalt von Zinn über alle Analysestoffgruppen beträgt 16,7 mg/kg_{TS}. Der tatsächliche Zinngehalt im Restmüll liegt aufgrund der nicht beprobten Stoffgruppe der Metalle (z.B. Konservendosen) mit Sicherheit höher.

Zusammenfassung

Mit dem Projekt konnten aktuelle Daten zum Schwermetallgehalt des Restmülls und seine Quellen gewonnen werden. Diese Ergebnisse können auf Restmüll aus nicht beprobten Gebietskörperschaften mit bekannter stofflicher Zusammensetzung oder auf Inputmaterial von Abfallbehandlungsanlagen (unter Berücksichtigung der einzelnen Massenanteile) näherungsweise übertragen werden.

Die Schwermetalle werden insgesamt maßgeblich durch die Stoffgruppen Elektronikschrott, Inertmaterial, Sonstige Verbunde und Kunststoffe sowie von der Feinfraktion in den Restmüll eingetragen. Bei Quecksilber kommt noch die Stoffgruppe Textilien hinzu; bei Chrom die Stoffgruppen Schuhe und Leder/Gummi/Kork.

Die Schwermetallgehalte zeigen im Vergleich zu älteren Literaturwerten einen tendenziellen Rückgang, wobei sich die verbleibenden Gehalte vorrangig auf langlebige Konsumgüter konzentrieren und damit das ‚Gedächtnis des Mülls‘ reflektieren. Inwieweit künftig eine weitere Schadstoffentfrachtung durch verstärkte Getrennthaltung einzelner Abfallbestandteile angestrebt sowie ökonomisch und ökologisch zielführend sein wird, ist maßgeblich von den Strategien zu Abfallvermeidung und -recycling, von rechtlichen Entwicklungen, den weiteren Erfolgen der integrierten Produktpolitik, alternativen Abfallbehandlungsmethoden und der Motivation der Bürger durch die lokale Abfallwirtschaftspolitik abhängig. Aufgrund der schon jetzt bekannten bzw. umgesetzten gesetzlichen Änderungen [13, 16] sind mittelfristig weitere Schadstoffentfrachtungen des Restmülls zu erwarten.

Ausführliche Informationen über das gesamte Projekt enthält der Abschlussbericht [„Zusammensetzung und Schadstoffgehalt von Siedlungsabfällen“](#) (1,5 MB).

Tab. 8: Zink- und Zinngehalte in Restmüllfraktionen; alle Angaben in mg/kg_{TS}; MW: Mittelwert; k.A.: keine Angabe

Analysestoffgruppe	Zink: Eigene Arbeit				Zinn: Eigene Arbeit		
	MW	Min.	Max.	Rotter [3]	MW	Min.	Max.
Feinfraktion	373	141	662	1.034	27,6	4,6	283
Mittelfraktion	382	62,5	1.464	1.274	16,4	3,7	79,4
Organik	60,0	40,1	108	241	8,8	4,4	22,4
Hygieneprodukte	281	50,1	930	461	10,5	4,7	24,1
Papier/Pappe/Kartonagen	139	32	538	424	8,9	5,0	10,6
Kunststoffverpackungen	948	199	2.197	768	17,7	6,9	52,9
Glas	103	36,3	441	k.A.	18,2	10,6	31,0
Inertes	917	295	2.092	k.A.	102	5,0	378
Textilien	256	84,3	828	520	10,8	5,0	20,5
Sonstige Verbunde	2.289	296	10.140	6.361	48,5	13,3	137
Verbundverpackungen	95,0	36,0	202	204	32,3	18,6	66,1
Sonstige Kunststoffe	626	147	2.274	960	46,4	2,0	145
Renovierungsabfälle	1.686	378	5.485	k.A.	8,7	2,0	20,9
Holz	162	25,1	838	4.202	12,8	5,4	39,7
Schuhe	1.819	326	3.039	2.918	22,4	10,0	61,1
Elektronikschrott	4.448	496	23.930	9.113	563	84,0	2.013
Staubsaugerbeutel	684	310	1.558	782	21,5	8,5	78,4
Leder/Gummi/Kork	5.155	1.457	17.840	1.296 – 14.913	13,5	9,7	23,9

Literatur

- [1] Landesamt für Umweltschutz:
Abfallwirtschaft – Hausmüll in Bayern –
Bilanzen 2002.
Augsburg 2003, 80 S.
- [2] Maystre, L.Y.; Viret, F.:
A goal-oriented characterization of urban waste.
Waste Management & Research 13
(1995), S. 207 – 218
- [3] Rotter, S.:
Schwermetalle in Haushaltsabfällen –
Potenzial, Verteilung und Steuerungsmöglichkeiten durch Aufbereitung.
Dissertation an der Fakultät für Forst-,
Geo- und Hydrowissenschaften der
TU Dresden. Hrsg.: Bilitewski, B.;
Werner, P.. Schriftenreihe des Instituts
für Abfallwirtschaft und Altlasten der
TU Dresden, Band 27, 1. Auflage.
Dresden 2002, 119 S. + Anhang
- [4] Kost, T.:
Brennstofftechnische Charakterisierung
von Haushaltsabfällen.
Dissertation an der Fakultät für Forst-,
Geo- und Hydrowissenschaften der
TU Dresden. Hrsg.: Bilitewski, B.;
Weltin, D.; Werner, P.. Schriftenreihe
des Instituts für Abfallwirtschaft und
Altlasten der TU Dresden, Band 16,
1. Auflage.
Dresden 2001, 135 S. + Anhang
- [5] Marb, C.; Przybilla, I.; Neumeyer, F.;
Fripan, J.:
Zusammensetzung und Schadstoffgehalt von Siedlungsabfällen, Abschlussbericht. Auftrag des Bayerischen Staatsministeriums für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz an das Bayerische Landesamt für Umweltschutz. Forschungsvorhaben L8.
Augsburg 2003
- [6] Harant, M.; Hochuber, J.; Lorber, K.E.;
Nelles, M.; Rolland, Ch.:
Endbericht zum Großversuch zur
Sammlung und Verwertung von Elektro-
und Elektronikaltgeräten (EAG) in der
Steiermark, Endbericht der wissenschaftlichen Begleitstudie.
Eigenverlag der Steiermärkischen Landesregierung, Schriftenreihe der FA I c,
Band 7: Elektronikschrott Projekt
Steiermark. Graz 1998
- [7] Greiner, B.; Barghoorn, M.;
Dobberstein, J.; Eder, G.; Fuchs, J.;
Gössele, P.:
Chemisch-physikalische Analyse von
Hausmüll. Auftrag des Umweltbundesamtes an die TU Berlin. UBA-
Forschungsbericht 83-033.
Berlin 1983, 161 S.
- [8] Streit, B.:
Lexikon Ökotoxikologie.
VCH Verlagsgesellschaft mbH, Weinheim 1992, 731 S.

- [9] Mast, P.-G.; Süßkraut, G.; van den Elsen, H.; Stekete, J.; Duzijin, R.: Einfluß der Abfallzusammensetzung auf Schadstoffgehalt und -menge der Verbrennungsrückstände. Auftrag des Umweltbundesamtes an die TauwUmwelt GmbH. UBA-Forschungsbericht 103 1090. Berlin 1996
- [10] Wolf, M.: Flammenschutzmittel und Schwermetalle in Kunststoffen.
In: Tagungsband zur Fachtagung des Bayerischen Landesamtes für Umweltschutzes (Veranstalter): Umweltrelevante Inhaltsstoffe in Elektro(nik)altgeräten am 25.09.2001 in Augsburg.Augsburg 2001, S. 35 - 40
- [11] Eder, G.: Umweltbelastungen durch Verpackungen - Schadstoffe in Papier- und Kunststoffverpackungen.
Hrsg.: Golding, A., Fußer A.. Verpackungen - Umweltbelastung und Strategien zur Vermeidung.
C.F. Müller Verlag, Karlsruhe 1992, S. 17 – 30
- [12] Bayerisches Landesamt für Umweltschutz:
Umweltrelevante Inhaltsstoffe in Elektro- und Elektronikaltgeräten.
Augsburg 2002, 56 S.
- [13] Anonym:
Richtlinie 2002/95/EG vom 27. Januar 2003 des europäischen Parlaments und des Rates zur Beschränkung der Verwendung bestimmter gefährlicher Stoffe in Elektro- und Elektronikgeräten.
ABl. L Nr. 37 vom 13.02.2003, S. 19
- [14] Spuziak-Salzenberg, D.; Riemer, S.; Bayley-Bleckwedel, B.; Bär G.: Probenaufbereitungssystem zur Qualitätssicherung für Abfälle zur energetischen (stofflichen) Verwertung.
Entsorgungspraxis (1998) 10, S. 36 – 40
- [15] Holleman, A.F.; Wiberg, E.: Lehrbuch der Anorganischen Chemie. 91.-100. verb. u. stark erw. Auflage von Wiberg, N..
Walter de Gruyter Verlag, Berlin, New York 1985, 1451 S.
- [16] Anonym:
Richtlinie 2002/96 Richtlinie 2002/96/EG des europäischen Parlaments und des Rates vom 27. Januar 2003 über Elektro- und Elektronik-Altgeräte.
ABl. L Nr. 37 vom 13.02.2003, S. 24