

Schadstoffanreicherung im Erzeugnis – Kriterien für eine umweltverträgliche Verwertung

Dipl.-Biol. Barbara Zeschmar-Lahl, Oyten

Gliederung

1	EINLEITUNG.....	1
2	ANREICHERUNG IM ERZEUGNIS	3
2.1	INTERPRETATIONSMÖGLICHKEITEN DER RECHTSNORM DES § 5 ABS. 5 PUNKT 4 KRW-/ABFG (SCHADSTOFFANREICHERUNG IN ERZEUGNISSEN UND ABFÄLLEN ZUR VERWERTUNG)	3
2.2	SCHADSTOFF.....	3
2.3	ERZEUGNIS	4
2.4	ANREICHERUNG.....	4
3	KRITERIEN FÜR EINE UMWELTVERTRÄGLICHE VERWERTUNG.....	5
3.1	TRANSFERRATEN / TRANSFERFAKTOREN	5
3.2	DER „ADDED RISK APPROACH“	6
3.3	ANREICHERUNG / AKKUMULATION	8
3.4	WIRKUNG	9
3.4.1	Toxizität.....	9
3.4.2	Verfügbarkeit.....	10
3.4.3	Risikoanalyse Wirkung.....	12
3.5	FAZIT KRITERIEN.....	12
4	SCHLUßFOLGERUNGEN UND EMPFEHLUNGEN	13
5	LITERATUR	16

1 Einleitung

Das Kreislaufwirtschaft- und Abfallgesetz (KrW-/AbfG) stellt die entscheidende Rechtsnorm für die Entsorgung von Abfällen dar. Mit dieser Rechtsnorm wurde den Abfallbesitzern und den zuständigen Behörden eine *Verwertungspflicht* vorgegeben. Nur wenn sich die Verwertung als unzumutbar darstellt (§ 5 Abs. 3 Satz 3 KrW-/AbfG), kann von ihr Abstand genommen werden. In diesem Fall ist es dem Abfallbesitzer zugebilligt, den Abfall in Beseitigungsanlagen zu geben.

In der Literatur wird an vielen Stellen kritisiert, dass die Abfallbeseitigung einem vergleichsweise hohen untergesetzlichen Anforderungsniveau unterliegt, während die Abfallverwertung eher weniger ehrgeizig geregelt ist (1). In manchen Beiträgen wird an dieser Stelle sogar von Öko-Dumping gesprochen (2). Die ökologischen, ökonomischen und politischen Implikationen dieser Diskussion werden an dieser Stelle nicht dargestellt (3).

Dieser Kritik wiederum wird entgegengehalten, dass hier Defizite des *Gesetzesvollzugs* und weniger Defizite der Rechtsnorm selbst angesprochen sind. So wird auf die Anforderungen hingewiesen, dass die Verwertung ordnungsgemäß und schadlos zu erfolgen habe (§ 5 Abs. 3 Satz 1 KrW-/AbfG). Die ordnungsgemäße Verwertung schließt die Einhaltung aller existierenden Rechtsnormen ein. Sollte es Defizite auf dem Feld der Rechtsnormen geben, so könnte die Anforderung der Schadlosigkeit, sofern ihr neben der Ordnungsgemäßheit ein eigener Regelungsinhalt zugesprochen wird, dieses Defizit auffangen. Schadlosigkeit würde in diesem Fall einen Beurteilungsraum für wissenschaftliche Analysen und behördliche Entscheidungen eröffnen.

Nun kann eine derartige Entscheidung nicht im rechtlich völlig freien Raum stattfinden. Dies ist aber auch nicht erforderlich, da das KrW-/AbfG die Randbedingungen markiert. So sagt § 5 Abs. 5 KrW-/AbfG, dass der Vorrang der Verwertung dann entfällt, wenn die Beseitigung die umweltverträglichere Lösung darstellt. Dabei sind insbesondere zu berücksichtigen:

1. die zu erwartenden Emissionen,
2. das Ziel der Schonung der natürlichen Ressourcen,
3. die einzusetzende oder zu gewinnende Energie,
4. die Anreicherung von Schadstoffen in Erzeugnissen, Abfällen zur Verwertung oder daraus gewonnenen Erzeugnissen.

Die Verwertung muss bei einem ökologischen Folgenvergleich also mindestens eine gleichwertige Lösung darstellen (4). Eine beabsichtigte Verwertung von Abfällen, die im Hinblick auf die in § 5 Abs. 5 Satz 2 KrW-/AbfG genannten Kriterien weniger umweltverträglich ist als deren Beseitigung, führt hingegen zu einer zu erwartenden Beeinträchtigung des Wohls der Allgemeinheit, ist nicht schadlos und daher unzulässig (5), so die Rechtsauffassung des nordrhein-westfälischen Umweltministeriums (6).

Die Rechtsauffassung des Umweltministeriums NRW ist nicht unumstritten, markiert aber eine profilierte und sicherlich nicht unbedeutende Meinung, die dem dortigen rechtlichem Landesvollzug zugrunde gelegt wurde.

Aber auch wenn man andere Rechtsauffassung heranzieht, ist man für konkrete Vollzugsfragen entscheidend darauf angewiesen, wie man die obigen Randbedingungen bzw. Kriterien des Gesetzgebers methodisch auf der materiellen Ebene (sprich naturwissenschaftlich) „umsetzt“. Daher wurden verschiedene Versuche unternommen, die Vorgaben des Gesetzgebers so methodisch zu implementieren, dass sie für praktische Entscheidungen an der Schnittstelle von Verwertung und Beseitigung vollziehbar werden (7, 8).

Analysiert man diese Versuche, so stellt man fest, dass die vom Gesetzgeber ohne erkennbare Gewichtung genannten Anforderungen von der Wissenschaft mit unterschiedlicher Intensität aufgegriffen werden. Die größte Zurückhaltung in Theorie und Praxis besteht bei der Einbeziehung und Umsetzung der Anforderung „Anreicherung im Erzeugnis“.

2 Anreicherung im Erzeugnis

Im Folgenden wird zunächst untersucht, wie die rechtliche Anforderung „Anreicherung im Erzeugnis“ ausgelegt wird bzw. ausgelegt werden kann.

2.1 Interpretationsmöglichkeiten der Rechtsnorm des § 5 Abs. 5 Punkt 4 KrW-/AbfG (Schadstoffanreicherung in Erzeugnissen und Abfällen zur Verwertung)

§ 5 Abs. 5 KrW-/AbfG, Punkt 4 definiert das Prüfungserfordernis für den Vorrang der Verwertung wie folgt: *„die Anreicherung von Schadstoffen in Erzeugnissen, Abfällen zur Verwertung oder daraus gewonnenen Erzeugnissen“*.

Eine Schadstoffanreicherung im Erzeugnis tritt m.E. dann ein, wenn

- es sich um einen Schadstoff handelt,
- von einem Erzeugnis (Abfall zur Verwertung) zu sprechen ist,
- die Schadstoffkonzentration oder die Schadstofffracht im Erzeugnis durch die Abfallverwertung signifikant ansteigt.

Die folgende Auslegung erfolgt abfallrechtlich. Die unterschiedliche Definitionen im Stoffrecht (ChemG, GefStoffV) werden nicht einbezogen. Beim Einbezug des gegenwärtigen Stoffrechts würde die Auslegung komplexer ausfallen, weil hier Defizite auf dem Feld der Rechtsnormen einzubeziehen wären. Auf die Planungen der Bundesregierung zur Rechtsbereinigung an der Schnittstelle von Stoffrecht und Abfallrecht sei verwiesen (9).

2.2 Schadstoff

Der Begriff „Schadstoff“ ist wissenschaftlich sicherlich vom potenziell eintretenden Schaden an einem Zielort durch beispielsweise eine Schadstoffexposition her zu definieren. Hiernach wäre der Schadstoffbegriff wirkungsbezogen festzulegen. Eine nachweisbare Wirkung, aber auch eine potenzielle Wirkung, hängt vom Erreichen des jeweiligen Zielortes und in vielen Fällen (Carcinogene u.a. ausgenommen) auch vom Überschreiten einer definierten Wirkungs-dosis bzw. Wirkungsschwelle ab. Diese Definition ist, da sie eine sehr hohe Abhängigkeit von den Einzelfallkonstellationen aufweist, wenig praxisgerecht.

In der abfallrechtlichen Praxis hat sich eine Definition anhand der intrinsischen Eigenschaft von „Stoffen“ etabliert. Daher sind beispielsweise für die hier diskutierte Rechtsnorm des § 5 Abs. 5 Punkt 4 KrW-/AbfG die toxischen Schwermetalle von Bedeutung. Als Wirkung ist, neben gegebener Persistenz, die öko- und humantoxikologische Eigenschaft zu nennen. Die in der Diskussion befindlichen Stoffe sind die Parameter nach 17. BImSchV, § 5 Abs. 1, nämlich die Schwermetalle Antimon, Arsen, Blei, Cadmium, Chrom, Kobalt, Kupfer, Nickel, Quecksilber, Thallium, Vanadium, Zink, Zinn, und ergänzend Beryllium.

2.3 Erzeugnis

Ein Erzeugnis (oder Abfall zur Verwertung in diesem Zusammenhang) entsteht in den hier zu beurteilenden Fragestellungen im Rahmen eines Stoffumwandlungsprozesses. Ein Stoffumwandlungsprozess ist beispielsweise die Erzeugung von Klinker in einem Zementwerk. Ein Erzeugnis ist zu unterscheiden von einem Rohstoff. Der Rohstoff ist die Ausgangsbasis für die Stoffumwandlung. Ein Erzeugnis ist zu unterscheiden von einem Stoff, da ein Stoff nicht zwangsläufig einer Stoffumwandlung unterlegen hat. Daher ist ein Erzeugnis eine Untervariante eines Stoffes.

Da die stoffrechtlichen Fragestellungen an dieser Stelle nicht vertieft werden sollen (s.o.), wird nur der Vollständigkeit darauf hingewiesen, dass die Zubereitung eine *Untervariante* des Erzeugnisses darstellt.

Die Schnittstelle zwischen Erzeugnis und Produkt ist fließend und komplex. Ein Erzeugnis kann ein Produkt sein, muss es aber nicht. Auf die abfallrechtliche Produktdefinition sei an dieser Stelle verwiesen (10). Ebenso ist auf die schwierige rechtliche Schnittstelle zwischen den stoffrechtlichen und abfallrechtlichen Regelungen und Begrifflichkeiten hinzuweisen: „Erzeugnis“ / „Zubereitung“ / „Produkt“ / „Abfall zur Verwertung“ / „aus Abfall zur Verwertung gewonnenen Erzeugnissen“.

2.4 Anreicherung

Eine Anreicherung im Erzeugnis ist eine Frage nach Konzentrationen und Frachten. Wird beispielsweise die Schadstofffracht eines Brennstoffes aus Abfällen beinahe vollständig in ein Erzeugnis eingebracht, so kann man sicherlich von einer Verlagerung oder dem Transfer ins Erzeugnis sprechen. Es ist sicherlich auch zutreffend, diesen Fall als Konzentrierung des Schadstoffes im jeweiligen Erzeugnis zu bezeichnen. Aber selbst in einem derartigen Fall kann sicherlich nicht zwangsläufig von einer Anreicherung gesprochen werden.

Nun stellt die genannte Rechtsnorm keine Ja- bzw. Nein-Entscheidung dar. Die bisherige Diskussion in der Literatur zeigt lediglich, dass die „Anreicherung im Erzeugnis“ einen rechtlich relevanten Prüfungsbereich im Bereich der Beurteilung von Verwertungsmaßnahmen darstellt. Dies im übrigen auch deshalb, weil diese Rechtsnorm bzw. dieses Prüfungskriterien auch an anderer Stelle des Gesetzes Erwähnung findet (u.a. § 5 Abs. 3 Satz 1 und § 5 Abs. 3 Satz 3 KrW-/AbfG). Folgt man dann der in Nordrhein-Westfalen geltenden Rechtsauslegung (s.o.), wäre im Fall, dass die Verwertungsmaßnahme nicht die umweltverträglichere Maßnahme darstellt, der Abfall zu beseitigen. Hierdurch würden dann definierte Verwertungswege nicht mehr zugänglich bzw. müssten aufgegeben werden.

Im Folgenden sollen daher Kriterien abgeleitet und diskutiert werden, die für eine umweltverträgliche Verwertung bezüglich der beschriebenen Rechtsnorm herangezogen werden sollten.

3 Kriterien für eine umweltverträgliche Verwertung

Bezogen auf die oben analysierte Rechtsnorm sind die folgenden Kriterien für eine umweltverträgliche Verwertung zu prüfen.

3.1 Transferraten / Transferfaktoren

Ein wesentliches Kriterium, das zur Prüfung heranzuziehen ist, stellt die Transferrate in ein Erzeugnis oder einen Abfall zur Verwertung dar. Diese Transferrate bzw. dieser Transferfaktor beschreibt, bezogen auf einen Schadstoff und ein Erzeugnis, in welcher *Quantität* ein Verlagerung stattfindet. Die folgenden beiden Tabellen zeigen Zahlenbeispiele für ausgewählte Prozesse.

Es zeigt sich, dass für eine Reihe von Schadstoffen, je nach Prozess, eine Verlagerung von mehr als 90 % des Inputs in Erzeugnisse bzw. Abfälle zur Verwertung stattfindet. In derartigen Fällen ist sicherlich von hohen Transferraten zu sprechen.

Tab. 1: Transferfaktoren ins Reingas und in die festen Verbrennungsrückstände für moderne Kraftwerke in Österreich, den Niederlanden und Deutschland (11); * je nach SO₂-Minderungstechnik und Fahrweise der Technik

Parameter	Transferfaktor Reingas						Transferfaktor Staub/ RGR/ Asche, rechn. Mittelwert
	Staub- feuerung, Steinkohle	Staub- feuerung, Braunkohle	Schmelz- kammer- feuerung	Schmelz- kammer- feuerung	Staub- und Rostfeuerung, Steinkohle	rechneri- scher Mittelwert	
Chlor	0,5%	0,2%			0,2%	0,3%	99,7%
Fluor	0,4%	0,01%			0,2%	0,2%	99,8%
Schwefel						1-10%*	90-99%*
Cadmium	0,3%	0,02%	0,001%	0,0004%	0,36%	0,14%	99,86%
Thallium	0,4%	2%	0,0004%	0,0003%		0,6%	99,40%
Quecksilber	83%	62%		50%	20%	54%	46,00%
Antimon	0,3%	0,5%			0,3%	0,4%	99,60%
Arsen	4,0%	0,2%	0,0001%	0,0003%	0,2%	0,9%	99,10%
Blei	0,03%	0,3%	0,00002%	0,0004%	0,02%	0,07%	99,93%
Chrom	0,01%	0,02%	0,00004%	0,0001%	0,06%	0,02%	99,98%
Kobalt	0,03%	0,1%			0,1%	0,07%	99,93%
Kupfer	0,1%	0,4%			0,06%	0,2%	99,80%
Mangan	0,01%	0,1%				0,05%	99,96%
Nickel	0,04%	2,0%	0,00002%	0,0001%	0,2%	0,4%	99,60%
Vanadium	0,1%	0,02%	0,00002%	0,0001%	0,05%	0,03%	99,97%
Zinn	0,1%	0,3%			0,8%	0,4%	99,60%

Tab. 2: Vergleichende Darstellung verschiedener Transferfaktoren für die Zementherstellung (Trockenverfahren) aus unterschiedlichen Quellen

Elemente	VDZ (D) ① Reingas	VDZ (D) ② Reingas	Gallenk./ Braung. (D) ③ Reingas	BZL (D) ④ Reingas	GCI (USA) ⑤ Reingas	Graf (CH) ⑥ Reingas	PRIZMA- Studie (A) ⑦ Reingas	Mittelwert Reingas	Mittelwert Erzeugnis
Quecksilber	40%	30%	93%	75%		68%	40%	58%	42%
Antimon	0,03%	0,001%	0,02%	0,03%	0,16%	0,03%		0,05%	99,95%
Arsen	0,02%	0,001%	0,02%	0,01%	0,06%	0,05%		0,03%	99,97%
Blei	0,05%	0,002%	0,02%	0,36%	0,64%	0,03%	0,04%	0,16%	99,84%
Cadmium	0,17%	0,003%	0,05%	0,28%	0,44%	0,06%	0,02%	0,15%	99,85%
Chrom	0,01%	0,001%	0,004%	0,01%	0,05%	0,02%		0,02%	99,98%
Kobalt	0,02%	0,001%	0,03%	0,02%		0,02%		0,02%	99,98%
Kupfer	0,01%	0,001%	0,02%	0,01%		0,01%		0,01%	99,99%
Mangan	0,02%	0,001%		0,01%				0,01%	99,99%
Nickel	0,03%	0,001%	0,01%	0,02%		0,02%		0,02%	99,98%
Thallium	1,3%	0,02%	1,1%	2,7%	0,05%	0,8%		1,0%	99,00%
Vanadium	0,05%	0,001%		0,10%				0,05%	99,95%
Zink	0,03%	0,001%	0,007%	0,01%		0,03%	0,01%	0,02%	99,98%
Zinn	0,07%	0,001%	0,003%	0,10%				0,04%	99,96%

- ① Mittelwerte für Deutschland nach Verein Deutscher Zementwerke aus (11) nach $Y = F_{\text{Rein}}/F_{\text{In}}$ (F = Fracht)
- ② Mittelwerte für Deutschland nach Verein Deutscher Zementwerke aus (11) nach „Einbinde- mal Abscheidegrad“
- ③ Transferfaktoren nach (12)
- ④ Mittelwert für Zementwerke in NRW, berechnet nach $Y = F_{\text{Rein}}/F_{\text{In}}$, Datenbasis nach Winkler (13)
- ⑤ Mittelwert aus Bilanzmessungen an 34 Zementöfen (= kiln) (14)
- ⑥ Theoretische Y ermittelt aus den im Stoff-Modell von Graf (15) verwandten Y ohne Koksfilter (90 % Verbundbetrieb, 10 % Direktbetrieb), siehe dort: (A40 bis L63)
- ⑦ Transferfaktoren nach $Y = F_{\text{Rein}}/F_{\text{In}}$ (16, 17)

3.2 Der „added risk approach“

Viele Schadstoffe sind mittlerweile ubiquitär verteilt. Organische Schadstoffe wie DDT, PCB oder Phthalate sind selbst in Umweltproben aus von der Zivilisation nicht berührten Gebieten nachweisbar. Daher macht das Kriterium „Schadstofffreiheit“, so sehr es auch emotional vertreten wird, wissenschaftlich wenig Sinn.

Ein ähnliches Problem stellt sich, wenn über beispielsweise Schwermetalle zu diskutieren ist. Hier ist die ubiquitäre Verteilung nicht nur das Ergebnis menschlicher Tätigkeit, sondern bereits aus geologischen Gründen ein gegebenes Faktum.

Daher kann das Vorhandensein von Schwermetallen in geogenen Ausgangsmaterialien und daraus gewonnenen Erzeugnissen kein Kriterium sein, um per se von Risiken zu sprechen. Ein Kriterium für Anreicherung und Risiko ist es allerdings (sowohl aus rechtlichen, wie oben dargestellt, aber auch aus fachlichen Gründen, s.o.), wenn die geogene Belastung durch Abfallmitverbrennung erhöht wird. Hier wird in Anlehnung an den „added risk approach“ argumentiert, der aktuell bei der Altstoffbewertung u.a. für Zink (18) auf europäischer Ebene eingesetzt wird.

Die bisherigen Altstoffbewertung ging vom Vergleich von Exposition (Konzentration in der Umwelt) und Wirkung der Stoffe in den für den Stoff relevanten Umweltkompartimenten aus. Die Konzentration, mit der ein Stoff in der Umwelt vorkommt (PEC = Predicted Environmental Concentration) wird in Beziehung zu derjenigen Konzentration gesetzt, bei der voraussichtlich noch keine Wirkungen auf Organismen oder Ökosysteme auftreten (PNEC = Predicted No-Effect-Concentration).

Je nach Verhältnis von PEC/PNEC entscheidet die zuständige Bewertungsstelle über das weitere Vorgehen. Im Falle von $PEC/PNEC < 1$ gibt der Stoff nicht zu unmittelbarer Besorgnis Anlass und muss daher erst später erneut überprüft werden. Im Falle von $1 < PEC/PNEC < 10$ gibt der Stoff zur Besorgnis Anlass; die zuständige Behörde entscheidet darüber, welche weiteren Informationen für eine Überprüfung der Bewertung erforderlich sind; die diesbezügliche Forderung wird jedoch so lange zurückgestellt, bis für die in Verkehr gebrachte Stoffmenge die in Art. 8 Abs. 4 der Richtlinie 67/548/EWG genannte nächst höhere Mengenschwelle erreicht ist. Ist keine Prüfungen/Nachforderung mehr möglich, gibt die zuständige Behörde unverzüglich Empfehlungen für die Risikominderung. Ist $PEC/PNEC > 10$, gibt der Stoff zur Besorgnis Anlass und weitere Informationen werden unverzüglich angefordert.

Dieses Modell ist auf neue Chemikalien bzw. Altstoffe zugeschnitten. Für die Bewertung von natürlich vorkommenden Schadstoffen wie z.B. Schwermetallen ist eine Modifizierung erforderlich, für die der o.g. Ansatz des „**added risk approach**“ als Beispiel gelten mag. Fachlich ist dieser Ansatz wie folgt zu verstehen: Es wird davon ausgegangen, dass die vorhandene Schadstoffbelastung, beispielsweise eine geogene Hintergrundbelastung, für die Bewertung bzw. Prüfung keine Bedeutung hat. Es wird weiterhin unterstellt, dass diese Belastung entweder keine Risiken hervorruft oder aber zu Risiken führt, die allgemein akzeptiert sind. Daher ist nur zu prüfen, welche Risiken mit einer **Erhöhung dieser Hintergrundbelastung** verbunden sind (**$PNEC_{add} = \text{added Predicted No Effect Concentrations}$**).

Bezogen auf die hier zu interessierende Fragestellung einer „Anreicherung von Schadstoffen in Erzeugnissen“ etc. wäre daher das zu prüfende Kriterium, ob es durch die Abfallmitverbrennung zu einer **Konzentrationserhöhung** im Erzeugnis (**$PPC_{add} = \text{added Predicted Product Concentrations}$**) kommt. Ist dies nicht der Fall, so ist für die genannte Prüfung ein wesentliches Kriterium einer umweltverträglichen Verwertung erfüllt. Im anderen Fall muss die Prüfung fortgeführt werden.

Die folgende Abbildung zeigt das Ergebnis von Modellrechnungen mit unterschiedlich belasteten Ersatzbrennstoffen, um zu zeigen, wie die Frage der Zusatzbelastung praktisch erkannt werden kann.

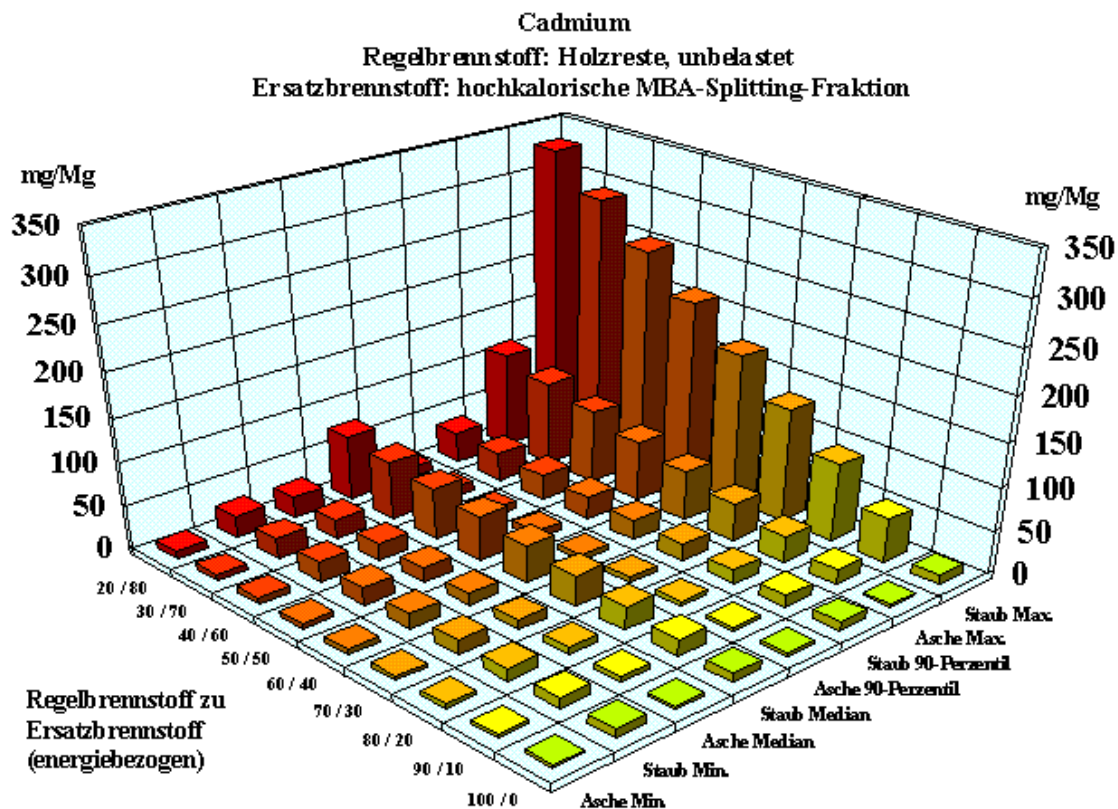


Abb. 1: Variationsbreite für das Schwermetall Cadmium, in Abhängigkeit von der Belastung des Ersatzbrennstoffes (hochkalorische Fraktion aus MBA-Splitting-Anlagen; Minimum, Median, 90-Perzentil, Maximum (19)) und dem jeweiligen Anteil an der Feuerungsleistung ($HU_{RBS} = 15.000 \text{ MJ/Mg}$; $Hu_{EBS} = 12.800 \text{ MJ/Mg}$)

3.3 Anreicherung / Akkumulation

Eine Anreicherung im Erzeugnis tritt dann ein, wenn zusätzlich zum Transfer ins Erzeugnis auch eine *Erhöhung* der Konzentration oder Fracht eintritt. Der klassische Fall für eine Akkumulation, die Eingang in die rechtlichen Normen gefunden hat, ist die Konzentrationserhöhung von Pestiziden, die in der Nahrungskette eintreten kann. Folgt man dieser eingeführten Definition bzw. Denkfigur, so würde aufgrund eines hohen Schadstofftransfers, der hohen Persistenz eines Schadstoffes und einer Konzentrationserhöhung im Erzeugnis gegenüber der Verwendung eines Nicht-Abfalls (in unserem Falle eines Regelbrennstoffes) ein Erzeugnis mit Schadstoffen angereichert. Allerdings verbleibt das Problem, dass die hohen Umweltrisiken erst im Rahmen einer Verwertungskette (wie Nahrungskette) auftreten würden.

Eine Verwertungskette bei der beschriebenen Rechtsnorm tritt beispielsweise dann ein, wenn mittels Brennstoffen aus Abfällen Baustoffe wie Klinker/Zement erzeugt werden, die zu späteren Zeiten dann wieder zu Abfällen werden. Wird aus diesen Abfällen dann mithilfe beispielsweise

weiterer Brennstoffe aus Abfällen ein neues Erzeugnis, dann steigen die Konzentrationen entsprechend weiter an, es tritt eine weitere Akkumulation ein.

Im Fall der hier zu betrachtenden Anreicherungsketten in Erzeugnisse können die Recyclingzyklen über Jahrzehnte gehen. Daher ist nachvollziehbar, dass die Themenstellung heute nicht im vollen Umfang erkannt bzw. anerkannt ist.

Zudem ist die exakte Definition von Akkumulation / Anreicherung im Erzeugnis auch deshalb schwierig, weil sie heute erst für den ersten Produktionszyklus, ggf. für den ersten Recyclingzyklus zu entscheiden wäre. Die Anreicherung wäre demnach die erste Stufe einer eintretenden Akkumulation. Bei den Anreicherungszyklen stellt sich dann die Frage, ob eine durch Abfallverwertung eingetretene signifikante Konzentrationserhöhung im Erzeugnis (gegenüber einem Erzeugnis, welches ohne Abfalleinsatz hergestellt wurde), eine Anreicherung darstellt. Würde man sich an das Vorbild der Anreicherung in der Nahrungskette anlehnen, so wäre die Frage mittels relativ einfacher Rechenoperationen vom Grundsatz her zu entscheiden.

Diese Definition ist auch aus einem anderen Grund schlüssig. Unterstellt, dass der Gesetzgeber bei der Festlegung seiner Schutznorm im § 5 Abs. 5 Punkt 4 KrW-/AbfG eine konkrete Festlegung treffen wollte, die auch in der Praxis relevant werden kann, so ist zu fragen, wann sie relevant werden kann. Im Rahmen von Stoffumwandlungsprozessen ist kein Fall denkbar, der zu höheren Schadstoffbelastungen im Erzeugnis führt, als der Fall, in dem die Schadstoffe vollständig (oder beinahe vollständig) ins Erzeugnis verlagert werden. Sollte dieser Fall nicht als Fall einer Anreicherung ins Erzeugnis verstanden werden, so wäre kein anderer Fall denkbar, bei dem die genannte Rechtsnorm einschlägig wäre.

3.4 Wirkung

Ein weiteres wesentliches Beurteilungskriterium ist die Wirkung des Schadstoffes. Wobei dieses Themenfeld eine längere Diskussionstradition nicht nur im Bereich der Abfallwirtschaft hat.

Zunächst ist zu fragen, welches Objekt und welcher Wirkungsendpunkt in Rede steht. Hieran schließen sich Fragen zur Wirkung selbst und zur sog. Dosis-Wirkungs-Beziehung an. Schließlich ist zu prüfen, wie sich Wirkungen aus Laborversuchen in der Praxis beispielsweise unter Umweltbedingungen darstellen werden.

3.4.1 Toxizität

Die Details und die Konventionen zur Wirkungsforschung im Bereich der Stoffbewertung in Deutschland und auf internationaler Ebene sollen an dieser Stelle nicht wiedergegeben werden. Am Ende eines derartigen Prüfungsprozesses kommt man zu einem toxikologischen Profil eines Stoffes oder einer Substanz.

Es ist sicherlich ein relevantes Kriterium, wenn der jeweils in der Diskussion befindliche Stoffe eine relativ hohe Toxizität (bezogen auf einen jeweiligen relevanten Wirkungsendpunkt) aufweist. Die folgende Tabelle zeigt abgeleitete Umweltqualitätsziele für Schwermetalle in der Atemluft und im Wasser. Hierbei wurde auf die jeweils international am besten abgesichert erscheinenden Grenzwerte Bezug genommen. Für carcinogene Schwermetalle sind die für die Allgemeinbevölkerung abgeleiteten Vorsorgewerte der US-amerikanischen Umweltbehörde EPA wiedergegeben. Als Umweltqualitätsziel wurde die stoffbezogene Irrelevanz der jeweiligen Emission und als Irrelevanzgrenze ein Risiko von 1 zu 10^6 (1 : 1 Million) festgesetzt. Für nicht-carcinogene Schwermetalle sind entsprechende Grenzwerte unter Verwendung eines Irrelevanzansatzes von 1 % ausgewiesen.

Tab. 3: Bezugskonzentrationen (Umweltqualitätsziele) zur Ermittlung des kritischen Luft- bzw. Wasservolumens für toxische Schwermetalle (* = carcinogen) (20)

Substanz	Inhalation (Luft)	Einheit (Quelle)	Ingestion (Wasser)	Einheit (Quelle)
Arsen*	2,00E-07	mg/m ³ (21)	7,00E-05	mg/l (22)
Beryllium*	4,00E-07	mg/m ³ (23)	1,20E-03	mg/l (24)
Blei	2,00E-05	mg/m ³ (25)	4,70E-04	mg/l (26)
Cadmium*	6,00E-07	mg/m ³ (27)	1,20E-04	mg/l (28)
Chrom	8,00E-07	mg/m ³ (29, 30)	7,00E-04	mg/l (31)
Nickel*	2,00E-06	mg/m ³ (32)	1,20E-04	mg/l (33)
Quecksilber	5,00E-07	mg/m ³ (34)	5,00E-05	mg/l (35)
Thallium	1,00E-05	mg/m ³ (36)	1,20E-04	mg/l (37)

Für die Bewertung von Anreicherung oder Akkumulation im Erzeugnis wären Kriterien über Schutzobjekte und Wirkungsendpunkte zu ermitteln. Dies wäre sicherlich auch ein Prozess der wissenschaftlichen Konvention. Aus dieser Diskussion wären dann, folgt man den Standardverfahren bei der internationalen Risikobewertung, über Erkenntnisse z.B. von Dosis-Wirkungs-Beziehungen sog. „Predicted No-Effect Concentrations“ (PNEC) abzuleiten. Diese PNEC würden die Ausgangsbasis für eine umfassende Risikobewertung einer geplanten Maßnahme oder eines Handlungsszenarios sein.

Im Falle der hier zu bewertenden Problemstellung könnten auf dieser Weise auch PNEC-Werte für Erzeugnisse selbst abgeleitet werden. Bezieht man hierbei noch die geogene Grundbelastung bzw. die vom Regelbrennstoff ausgehende Grundbelastung mit ein, würde man letztlich zu den oben vorgeschlagenen, sich am Vorsorgegrundsatz orientierenden PPC_{add}-Werten gelangen.

3.4.2 Verfügbarkeit

Allerdings wird die Festlegung derartiger Werte dadurch verkomplizierter, dass die Erzeuger- bzw. Verwerterseite ein weiteres Thema in den Vordergrund schiebt: die Frage der Verfügbarkeit der jeweils betrachteten Schadstoffe. Es wird problematisiert, ob beispielsweise Anreicherungen von Schwermetallen in Zement oder Klinker eine praktische Auswirkung hätten, weil diese Stoffe fest

im Erzeugnis eingebunden sind, daher nicht verfügbar wären und folglich den beschriebenen Wirkungsendpunkt gar nicht erreichen würden.

Diese Argumentation ist ebenfalls für die Stoffbewertung in Deutschland nicht neu. Sie gehört zu den häufig vorgebrachten Punkten.

Mit dieser Argumentation würde es möglich werden, für die abzuleitenden $PNEC_{add}$ -Werte eines Erzeugnisses einen Zuschlag (+ X) zu berechnen. Es wären höhere Anreicherungen im Erzeugnis akzeptabel, als sich dies rein wirkungsbezogen ergeben würde.

Die Verfügbarkeit von Schadstoffen aus Erzeugnissen wie Zement/Beton/Mörtel hängt im wesentlichen von den spezifischen Testbedingungen ab, betrachtet man beispielsweise den Wasserpfad. Die folgenden beiden Tabellen zeigen dies exemplarisch.

Tab. 4: Löslichkeit von Schwermetallen (% der dotierten Schwermetallmenge) aus Prüfkörpern nach unterschiedlichen Elutionsverfahren (Zahlenwerte aus Abbildung in (38) abgeschätzt)

Elutionsverfahren	DEV-S4	DEV-S4	DEV-S4	DEV-S4	FIZ-Durchflusstest	FIZ-Durchflusstest
Partikelgröße	0–2 mm	0–2 mm	5–10 mm	5–10 mm	-	-
Zementgehalt	6,5 %	11 %	6,5 %	11 %	6,5 %	11 %
Chrom	1,1 %	0,7 %	0,5 %	0,15 %	0,01 %	0,0008 %
Thallium	0,6 %	0,3 %	0,1 %	0,04 %	0,005 %	0,0005 %

Tab. 5: Ergebnisse Auslaugtest (EPA-TCLP (39, 40)) von Zement und Zement-Ofen-Filterstaub von 79 Werken der USA und 10 Werken Kanadas (41), in µg/l

Element	Zement			Zement-Ofen-Filterstaub		
	Min.	Mittel	Max.	Min.	Mittel	Max.
As	5	27	84	3	66	636
Be	0,1	0,5	3	0,1	0,4	2,9
Cd	0,3	1,9	12	0,1	29	220
Cr	70	540	1.540	10	100	1.290
Hg	0,1	0,6	5	0,2	1,8	22
Ni	6	-	170	6	130	320
Pb	2	9	29	2	349	9.718
Sb	3	-	63	3	12	31
Se	1	11	25	6	152	1.711
Tl	2	10	28	10	380	4.500

Hierbei werden zwei Extrembeispiele gezeigt. In dem einen Fall führen sehr moderate Elutionsbedingungen (DEV-S4) zu einer nicht gegebenen Verfügbarkeit der Schadstoffe. Aggressivere Testbedingungen (TCLP: 100 g Probe, 2 l Extraktionslösung mit pH 5, Rotation der Lösung über 18 h) führen zu einer höheren Verfügbarkeit der Schadstoffe.

Weiter ist zu berücksichtigen, dass bei einer Umweltverträglichkeitsprüfung bezüglich des Kriteriums Verfügbarkeit auch eine Langzeitbetrachtung angezeigt ist. Diese Betrachtung sollte für Baustoffe mindestens mehrere Jahrzehnte umfassen. Schließlich stellen sich die realen Umweltbedingungen für den Einsatz von Baustoffen insbesondere in der sog. Post-service-Phase (auch „secondary life“), wenn z.B. die Materialien als beispielsweise Bauschutt ubiquitär eingesetzt werden, sehr unterschiedlich dar (moderat bis aggressiv). Bezieht man die erforderlichen langen Betrachtungszeiträume, die in der Umwelt gegebenen Reaktionsbedingungen und mehrere Recyclingzyklen mit ein, so kann eine zumindestens anteilige Verfügbarkeit selbst aus einer Zement- oder Betonmatrix nicht ausgeschlossen werden.

Somit ist der Verfügbarkeitsansatz für Erzeugnisse abzulehnen. Diese Vorgehensweise deckt sich mit dem Vorsorgegedanken, bezieht die Irreversibilität einer Anreicherung in Erzeugnissen als stoffpolitische Entsorgungsstrategie mit ein und lehnt sich daran an, wie beispielsweise in vergleichbaren Stoffbewertungen vorgegangen wurde bzw. vorgegangen wird.

3.4.3 Risikoanalyse Wirkung

Die Risikoanalyse sollte sicherlich einbeziehen, welche Wirkung und welche Wirkungsstärke ein Stoff besitzt. Die für die Fragestellung „Anreicherung im Erzeugnis“ in der Diskussion stehenden Stoffe müssen daher unterschiedlich bewertet werden. So besteht ein Unterschied, ob organische Stoffe, die Elemente Chlor oder Schwefel oder Schwermetalle betrachtet werden. Innerhalb der Gruppe der Schwermetalle können wiederum weitere Differenzierungen vorgenommen werden.

Für die Gruppe der besonders toxischen Schwermetalle erscheint es sinnvoll, ein vergleichsweise hohes Schutzniveau als Beurteilungskriterium zugrunde zu legen. Hier scheint zudem nicht sinnvoll, Abschläge von diesem Niveau für eine unterstellte Nicht-Verfügbarkeit oder verzögerte Verfügbarkeit zu unterstellen.

3.5 Fazit Kriterien

Die diskutierten Kriterien stellen die wichtigsten Prüfgrößen dar, um die beschriebene Rechtsnorm des § 5 Abs. 5 Punkt 4 KrW-/AbfG anzuwenden. Hiernach ist die wesentliche Voraussetzung, die zu einer Anreicherung im Erzeugnis (bzw. Abfall zur Verwertung) führen kann, der hohe Schadstofftransfer vom Ersatzbrennstoff in eben diesen Zielpfad. Für die Definition der Anreicherung selbst ist die geogene Hintergrundbelastung bzw. die aus dem Einsatz von Regelbrennstoffen resultierende Grundbelastung von Erzeugnissen bzw. erzeugten Abfällen zur Verwertung in Abzug zu bringen. Hierfür kann auf Konventionen verwiesen werden, die für die europäische Stoffreglementierung eingeführt sind (added risk).

Ist in der Praxis die Gefahr der Akkumulation von Schadstoffen im Erzeugnis gegeben, sollte insbesondere, wenn mehrere Recyclingzyklen zu erwarten sind, der Vollzug des § 5 Abs. 5 Punkt 4 KrW-/AbfG eine besondere Bedeutung erhalten.

Der Vollzug wiederum sollte differenziert werden anhand des Kriteriums Toxizität der jeweiligen Schadstoffe, wobei die Frage der Verfügbarkeit (bzw. Einbindung von Schadstoffen in die chemische Matrix des Erzeugnisses keine große Relevanz für die Ergebnisfindung haben sollte. Dies insbesondere deshalb, weil die Frage der Einbindung über längere Zeiträume bei wechselnden Umweltbedingungen wissenschaftlich kaum untersucht ist und in vielen Fällen daher auch spekulativ ausfällt.

Schwierig stellt sich in der Praxis die Beantwortung der Frage, wie eine Anreicherung im Erzeugnis konkret zu erfassen ist. Rein rechnerisch bietet sich hierfür die Methode der Stoffflussanalyse an (42). Entscheidend für den Vollzug ist die Frage, ob die Prüfung für den Gesamtprozess zu erfolgen hat und für das rechnerische Abfallgemisch, oder auf den einzelnen Abfall abgestellt wird und rechnerische (virtuelle) Teilströme betrachtet werden. Letzteres würde dazu beitragen, dass stärker nach Fracht Gesichtspunkten reglementiert wird und dem Vermischen und Verschneiden Einhalt geboten würde.

4 Schlußfolgerungen und Empfehlungen

Der § 5 Abs. 5 Punkt 4 KrW-/AbfG markiert einen von mehreren Prüfungspunkten, der insgesamt die umweltverträgliche Verwertung hinterfragt. Eine attestierte Anreicherung im Erzeugnis oder im Abfall zur Verwertung durch eine definierte Maßnahme muss rechtlich zum Ergebnis führen, dass die Schadlosgkeit der Maßnahme in Frage gestellt ist. Dies wiederum führt zu dem Ergebnis, dass die rechtliche Zulässigkeit dieser Maßnahme nicht gegeben und damit der Abfall zu beseitigen wäre.

Die beschriebenen Bewertungsmethoden und Entscheidungskriterien ermöglichen einen Vollzug der genannten Rechtsnorm. Es wird dargestellt, dass ein Vollzug der Rechtsnorm nicht nur rechtlich vorgegeben, sondern auch aus ökologischen Gründen erforderlich ist, insbesondere, wenn eine Schadstoffakkumulation in Recyclingzyklen zu befürchten ist.

Allerdings dürfte der Vollzug der Rechtsnorm im Einzelfall auf erhebliche Probleme stoßen, weil er mit beträchtlichem Aufwand verbunden ist. Dies dürfte sicherlich ein Grund sein, warum die genannte Rechtsnorm auf eine eher zögerliche Resonanz seitens der Behörden gestoßen ist. Dieses Dilemma ließe sich mindern, wenn die Rechtsnorm über pauschalisierte Anforderungen an Ersatzbrennstoffe umgesetzt werden könnte. Dies könnte beispielsweise über einzuhaltende Schadstoffgrenzwerte erfolgen, die im Regelfall eine Anreicherung im Erzeugnis ausschließen. Diese Anforderungen müssten sicherstellen, dass durch die Abfallmitverbrennung keine Konzentrationserhöhung im Erzeugnis bewirken würde.

Die folgende Tab. 6 zeigt ein derartiges Rechenbeispiel für den Zementprozess. Sie enthält einen Vergleich der mittels Stoffflussanalyse erzielten produktbezogenen Obergrenzen (43) mit verschiedenen in der Diskussion befindlichen Regelungsvorschlägen für Ersatzbrennstoffe.

Tab. 6: Vergleich der in der Diskussion befindlichen Regelungsvorschläge mit den mittels Stoffflussanalyse abgeleiteten produktseitigen Obergrenzen für Ersatzbrennstoffe (43) (in mg/MJ), k.A. = keine Angaben
A = heizwertreiche Fraktion aus Siedlungsabfall (Hu 16.000 MJ/Mg), Median
B = produktionsspezifische Abfälle (Hu 20.000 MJ/Mg), Median

Parameter	Produktseitige	LAGA- Richtwert Entwurf 1997 (44) mg/MJ	BUWAL- Richtwert (45) mg/MJ	Medianwert Bundesgüte- gemeinschaft Sekundärbrenn- stoffe (46) mg/MJ	
	Obergrenzen für Ersatzbrennstoffe mg/MJ			A	B
Quecksilber	0,03*	0,02	0,02	0,04	0,03
Antimon	0,2	0,07	0,2	1,56	1,25
Arsen	4,0	1,9	0,6	0,3	0,25
Blei	11	10,0	8,0	11,9	3,5
Cadmium	0,3	0,3	0,08	0,25	0,2
Chrom	5,8	3,7	4,0	7,8	2,0
Kobalt	2,2	1,2	0,8	0,4	0,3
Kupfer	4,2	3,7	4,0	21,9	6,0
Mangan	98	k.A.	k.A.	15,6	2,5
Nickel	3,6	3,5	4,0	5,0	1,3
Thallium	0,2	0,15	0,12	0,06	0,05
Vanadium	15	k.A.	k.A.	0,6	0,5
Zinn	0,8	0,4	0,4	1,9	1,5

* Die emissionsseitige Obergrenze für Quecksilber liegt niedriger (da Hauptemissionspfad Abgas): bei 0,021 mg/MJ (43).

Es wird deutlich, dass die Regelungsvorschläge von LAGA und BUWAL und die berechneten produktseitigen Obergrenzen für Ersatzbrennstoffe für viele Elemente zahlenmäßig gut übereinstimmen. Für Quecksilber wird auf das Problem des überwiegenden Transfers in den Luftpfad, der hier nicht betrachtet wird, hingewiesen. Im Falle von Arsen, Mangan und Vanadium fallen alle Regelungsvorschläge niedriger aus, als dies nach der hier jeweils abgeleiteten Obergrenze möglich wäre. Hier ergäben sich ggf. Spielräume (wenn in der Praxis erforderlich), die Grenzwerte anzupassen.

Sollten Ersatzbrennstoffe diese Werte unterschreiten, so können sie problemlos eingesetzt werden. Eine derartige Grenzwertliste müsste allerdings staatlich als Verordnung oder Verwaltungsvorschrift verbindlich gemacht werden, um den Einzelfallverzug zu entlasten. Nur wenn der Abfallbesitzer (Ersatz-)Brennstoffe einsetzen will, die diese Werte nicht einhalten können, wäre im Einzelfall dann der Nachweis zu führen, dass eine Anreicherung im Erzeugnis nicht erfolgt bzw.

die Rechtsnorm nicht verletzt wird. Dieses Ergebnis folgt dann aus den besonderen Randbedingungen des Einzelfalls und rechtfertigt den höheren Verwaltungsaufwand.

Durch die Öffnung einer eher vorsorgeorientierten, also strengen Grenzwertliste durch die Möglichkeit von abweichenden Einzelfallregelungen wird auch die Verhältnismäßigkeit des Verwaltungsvollzugs insgesamt gewährleistet.

Regelungen privater Einrichtungen, wie der Bundesgütegemeinschaft Sekundärbrennstoffe (46) können für den Verwaltungsvollzug hilfreich sein, sie können die erforderlichen staatlichen Regelungen aber nicht ersetzen. So liegen im Falle von Quecksilber, Antimon, Chrom, Kupfer und Zinn schon die Medianwerte der Gütegemeinschaft (für Brennstoffe aus den heizwertreichen Fraktionen von Siedlungsabfällen) **über** der berechneten Obergrenze und den LAGA- sowie BUWAL-Richtwerten. Es muss jedoch berücksichtigt werden, dass die Werte unterschiedlich definiert sind. Entscheidend für die Regelung auf diesem Feld ist erfahrungsgemäß, wie die Spitzenwertproblematik abgedeckt ist. Die Bundesgütegemeinschaft löst die Spitzenwertproblematik mit den sog. 80 Perzentil-Werten. Der 80 Perzentil-Wert gibt den Wert an, den 80 % aller Proben unter- bzw. den 20 % aller Proben überschreiten.

Abb. 2 zeigt, dass die Grenzwertvorschläge des RAL-Gütezeichens Sekundärbrennstoffe – hier die 80 Perzentil-Regelung – eine Verletzung der beschriebenen Rechtsnorm des § 5 Abs. 5 Punkt 4 KrW-/AbfG für eine Reihe von Schwermetallen nicht ausschließen.

Insgesamt erscheint es daher erforderlich, dass von staatlicher Seite kurzfristig ein detaillierter Anforderungskatalog an Ersatzbrennstoffe als rechtsverbindlich eingeführt wird, damit sich nicht nur der Behördenvollzug (Schadlosigkeit der Verwertung gemäß § 5 Abs. 5 Punkt 4 KrW-/AbfG), sondern auch der Markt und der Anlagenbau hierauf einstellen können. Die hier vorgestellten Ergebnisse und Betrachtungen können für einen derartigen Diskussions- und Entscheidungsprozess einen hilfreichen Beitrag darstellen.

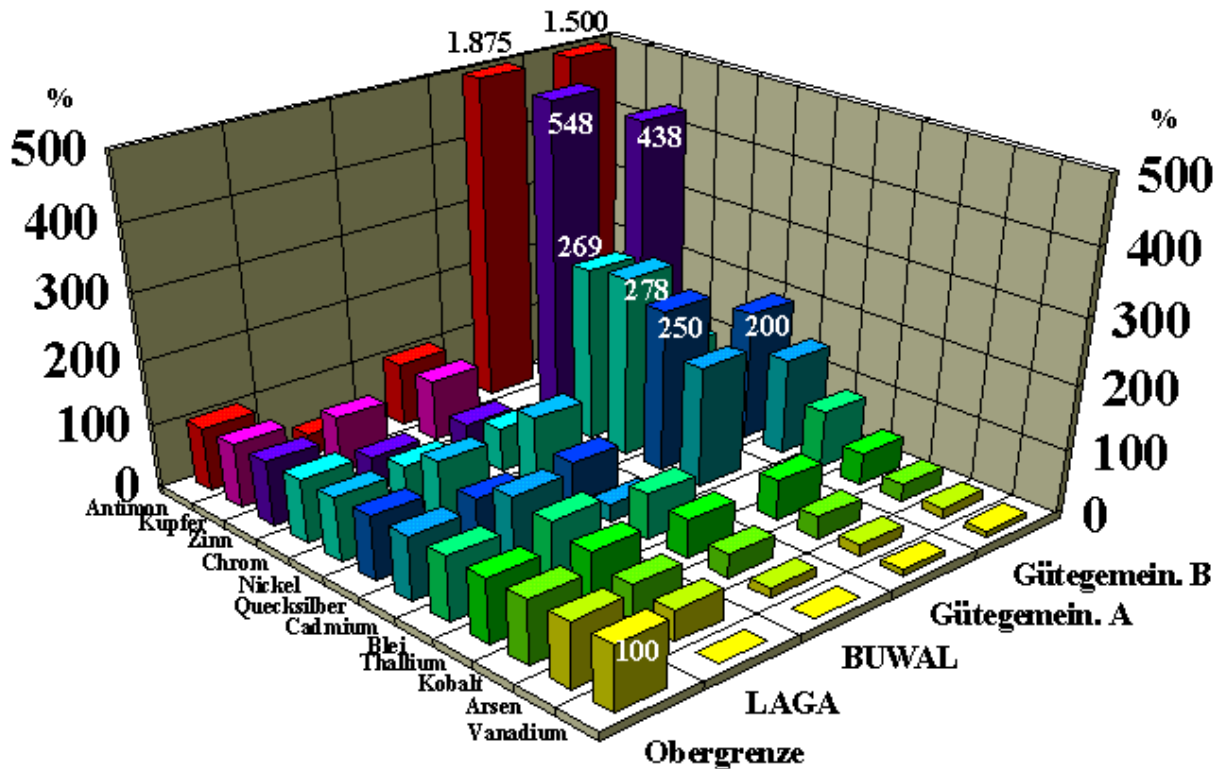


Abb. 2: Vergleich der in der Diskussion befindlichen Regelungsvorschläge mit den abgeleiteten produktseitigen Obergrenzen für Ersatzbrennstoffe (in mg/MJ); Obergrenze = 100 %
Gütegem. A = heizwertreiche Fraktion aus Siedlungsabfall (Hu 16.000 MJ/Mg), 80 Perzentil
Gütegem. B = produktionsspezifische Abfälle (Hu 20.000 MJ/Mg), 80 Perzentil

5 Literatur

- 1 Lahl U., Zeschmar-Lahl, B., Weiler, C.: Studie zu den abfallwirtschaftlichen und ökologischen Auswirkungen der im Arbeitsentwurf einer Abfallverwaltungsverfahren (AbfallVwV) vertretenen Rechtspositionen. Studie im Auftrag des UVM Baden-Württemberg. August 2000; Downloads: Studie: http://www.uvm.baden-wuerttemberg.de/uvm/abt2/abfallvwv/DPU_BZL-16.08.2000.pdf; Kurzfassung: http://www.uvm.baden-wuerttemberg.de/uvm/abt2/abfallvwv/DPU_BZL_kurzfass.pdf
- 2 DPU: Öko-Dumping auf dem Vormarsch? Verwertungs- und Beseitigungswege von besonders überwachungsbedürftigen Abfällen und überwachungsbedürftigen Reststoffen aus Deutschland; Essen, November 1996

- 3 BZL GmbH: Ecodumping by Recovery. A Report on Distortions of Environmental Standards between Disposal and Recovery and approaches to overcome them. Prepared for European Environmental Bureau (EEB), October 2000
- 4 so VGH München, NVwZ 1999, 1248, 1249
- 5 so das OVG Münster, Urteil vom 10.12.1999 a.a.O., S. 32 des Entscheidungsumdrucks
- 6 MURL NRW: Arbeitshilfe Hochwertige und schadlose Verwertung für gewerbliche und industrielle Abfälle. Düsseldorf, März 2000, und darauf aufbauend: Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (MUNLV), Düsseldorf: Arbeitshilfe Stoffflussanalyse für abfallrechtliche Beurteilungsfragen bei Genehmigungsanträgen zur Mitverbrennung von Abfällen in Industrieanlagen. Juli 2000
- 7 So IFEU: Ökologische Bilanzen der Abfallwirtschaft - Vergleichende Bewertung von Strategien, Verfahren und Maßnahmen der Vermeidung, Verwertung und Entsorgung von Abfällen aus Verbrauchs- und Gebrauchsgütern. Vorstudie Schadstoffaspekte der Verwertung und Behandlung/Ablagerung von Abfällen (Toxizitätsparameter). Im Auftrag des Umweltbundesamtes, Berlin, 1993.
- 8 So der Versuch der Bundesländer, über ein Abgrenzungspapier und entsprechende Fallbeispiele (u.a. Bund-Länder-AG: Abfallbegriff, Abfallverwertung und Abfallbeseitigung nach dem KrW-/AbfG. Entwurf, Stand 25.8.1997) vorzugehen.
- 9 BMU, Referat WA II 1: Diskussionspapier für eine Verordnung über Anforderungen an die Verwertung von hausmüllähnlichen Gewerbeabfällen. Berlin, 21.12.2000
- 10 Bund-Länder-AG: Abfallbegriff, Abfallverwertung und Abfallbeseitigung nach dem KrW-/AbfG. Entwurf, Stand 30.9.1997
- 11 BZL GmbH, Oyten/DPU GmbH, Essen: Beurteilung der Umweltverträglichkeit von thermischen Entsorgungsmaßnahmen. Studie im Auftrag des MURL NRW, 1999; und darauf aufbauend: Ministerium für Umwelt, und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen: Arbeitshilfe „Stoffflussanalyse bei abfallrechtlichen Beurteilungsfragen“, Oktober 2000
- 12 Gallenkemper, B., Braungart, M. et al.: Untersuchung zur Umwelt- und Gesundheitsverträglichkeit von Substitut-Brennstoffen. Rethmann Entsorgung, Dieselstr. 3, 44805 Bochum
- 13 Winkler, Landesumweltamt NRW, diverse Publikationen u.a. Winkler H.-D.: Praxis der energetischen Verwertung von Abfällen in Nordrhein-Westfalen. In: Bayerisches Landesamt für Umweltschutz (Hrsg.): Zementwerke – NOx-Minderung – Abfallverwertung. Fachtagung am 2.7.1998 in Wackersdorf, Dokumentation, S. 65–98, 1998
- 14 Goosman, D., Constans, D., Woodford, J. et. al.: Metal Equilibration and Process Capture Efficiencies in Cement Kilns. AWMA International Specialty Conference on Waste Combustion in Boilers an Industrial Furnaces, March 1993
- 15 Modell Dr. Graf AG, Gerlafingen (CH)/BUWAL (CH): Beschreibung zum Stoffflussmodell des Zementwerks DR. GRAF AG (BESCHREI.DOC), und Stoffmodell in EXCEL (STOFLMOD.XLS), 20.1.2000

- 16 Fehringer R., Rechberger H., Brunner H.P.: Positivlisten für Reststoffe in der Zementindustrie: Methoden und Ansätze (PRIZMA). Endbericht, im Auftrag der Vereinigung der österreichischen Zementindustrie. Wien, Dezember 1999
- 17 Fehringer et al. 1997: zitiert in: GUA, AWS, IFIP: Bewertung abfallwirtschaftlicher Maßnahmen mit dem Ziel der nachsorgefreien Deponie, Wien, Sep. 2000
- 18 Risk Assessment: Zinc Metal. CAS-No. 7440-66-6, Part 1, Environment, Draft of June 29, 2001. Rapporteur: Ministry of Housing, Spatial Planning and the Environment (VROM) in consultation with the Ministry of Social Affairs and Employment (SZW) and the Ministry of Public Health, Welfare and Sport (VWS), The Netherlands. Scientific work prepared by the Netherlands Organization for Applied Scientific Research (TNO) and the National Institute of Public Health and Environment (RIVM), by order of the rapporteur.
- (19) IBA GmbH: Daten aus der wissenschaftlichen Begleitforschung an den drei niedersächsischen Demonstrationsanlagen
- (20) BZL GmbH, Oyten, Dr.-Ing. A. Nottrodt GmbH, Hamburg, THERMOCHEM GmbH, Aachen: Arbeitshilfe Kreislaufwirtschaft, erstellt im Auftrag des Landesumweltamtes NRW, November 1998
- (21) EPA: Iris Substance File 0278: Arsenic, inorganic; CASRN 7440-38-2, hier: Carcinogenicity assessment for lifetime exposure, last revised 04/10/98, Summary of Risk Estimates, risk level E-6 (1 in 1.000.000)
- (22) 1 % FOBIG = Forschungs- und Beratungsinstitut für Gefahrstoffe, Freiburg, s.u.
- (23) EPA: Iris Substance File 0012: Beryllium and compounds; CASRN 7440-41-7, hier: Carcinogenicity assessment for lifetime exposure, last revised 07/01/98, Summary of Risk Estimates, risk level E-6 (1 in 1.000.000); last revised 04/03/98
- (24) 1 % FOBIG = Forschungs- und Beratungsinstitut für Gefahrstoffe, Freiburg, s.u.
- (25) IW1 = Kurzzeit-Immissionswert nach TA Luft, hier: 1 % vom IW1
- (26) 1 % FOBIG = Forschungs- und Beratungsinstitut für Gefahrstoffe, Freiburg, s.u.
- (27) EPA: Iris Substance File 0141: Cadmium; CASRN 7440-43-9, hier: Carcinogenicity assessment for lifetime exposure, last revised 06/01/92, Summary of Risk Estimates, risk level E-6 (1 in 1.000.000)
- (28) FOBIG = Forschungs- und Beratungsinstitut Gefahrstoffe GmbH, Freiburg (Quelle: Fax LUA NRW, Dr. Rauchfuß, 1.4.1999): TRD-Wert umgerechnet auf zugeführte Tagesdosis: 0,5 µg/kg Körpergewicht und Tag; umgerechnet auf 70 kg Körpergewicht und 3 l Wasser pro Tag: 12 µg/l, davon 1 %: 1,2E-4 mg/l
- (29) LAI (Länderausschuss für Immissionsschutz), 1990: Bewertung von Schadstoffen, für die keine Immissionswerte vorliegen.
- (30) EPA: Iris Substance File 0144: Chromium (VI); CASRN 18540-29-9, hier: Carcinogenicity assessment for lifetime exposure, last revised 09/03/98, Summary of Risk Estimates, risk level E-6 (1 in 1.000.000): 8E-8 mg/m³ für Chrom-VI; davon 10 % = 8E-7 mg/m³
- (31) Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR): 3 µg/kg Körpergewicht und Tag (Quelle: Fax LUA NRW, Dr. Rauchfuß, 1.4.1999); umgerechnet auf 70 kg Körpergewicht und 3 l Wasser pro Tag: 70 µg/l, davon 1 %: 7E-4 mg/l

- (32) EPA: Iris Substance File 0272: Nickel refinery dust; no CASRN, hier: Quantitative estimate of carcinogenic risk from inhalation exposure, last revised 01/01/91, Summary of Risk Estimates, risk level E-6 (1 in 1.000.000)
- (33) ADI nach WHO (Weltgesundheitsorganisation): 5 µg/kg Körpergewicht und Tag (Quelle: Fax LUA NRW, Dr. Rauchfuß, 1.4.1999); umgerechnet auf 70 kg Körpergewicht und 3 l Wasser pro Tag: 120 µg/l, davon 1 %: 1,2E-4 mg/l
- (34) LAI (Länderausschuss für Immissionsschutz), 1990: Bewertung von Schadstoffen, für die keine Immissionswerte vorliegen. 1% LAI: Bewertungskriterium: LAI-Orientierungswert für Sonderfallprüfung nach TA Luft; Beurteilungswert: 0,05 µg/m³; Irrelevanzkonzentration 1 % von 0,05 µg/m³; Schreiben von D. Heller, LUA NRW, vom 15.3.1999, Az. 221/hel-8819
- (35) FOBIG = Forschungs- und Beratungsinstitut Gefahrstoffe GmbH, Freiburg (Quelle: Fax LUA NRW, Dr. Rauchfuß, 1.4.1999): TRD-Wert umgerechnet auf zugeführte Tagesdosis: 0,2 µg/kg Körpergewicht und Tag; umgerechnet auf 70 kg Körpergewicht und 3 l Wasser pro Tag: 5 µg/l, davon 1 %: 5E-05mg/l
- (36) TRGS 900: Bewertungskriterium: 1/100 des TRGS 900-Wertes; Beurteilungswert: 1 µg/m³; Irrelevanzkonzentration 1 % von 1 µg/m³: 1E-05 mg/m³; Schreiben von D. Heller, LUA NRW, vom 15.3.1999, Az. 221/hel-8819
- (37) WHO (Weltgesundheitsorganisation) (Quelle: Fax LUA NRW, Dr. Rauchfuß, 1.4.1999): ADI-Wert umgerechnet auf zugeführte Tagesdosis: 0,53 µg/kg Körpergewicht und Tag; umgerechnet auf 70 kg KG und 3 l Wasser pro Tag: 12 µg/l, davon 1 %: 1,2E-4 mg/l
- (38) Sprung S., Rechberger W.: Einbindung von Schwermetallen in Sekundärstoffen durch Verfestigung mit Zement. Beton, 5, S. 193 –198, 1988
- (39) Toxicity Characteristic Leaching Procedure (TCLP): Federal Register, Vol. 51, No. 261, U.S. EPA, Washington D.C., 1990
- (40) US-EPA: Technical Assistance Document for Complying with the Rule and Implementing the Toxicity Characteristic Leaching Procedure (TCLP), EPA-902-B-94-001;
- (41) Portland Cement Association: An Analysis of Selected Trace Metals in Cement and Kiln Dust, Skokie, Illinois, 1992
- (42) Friedrich H., Lahl U., Zeschmar-Lahl B.: Die Stoffflussanalyse (SFA) als neues Instrument der abfallrechtlichen Beurteilung der Umweltverträglichkeit von Entsorgungsmaßnahmen in immissionsschutzrechtlich genehmigungsbedürftigen Anlagen. Müll und Abfall 2, 83 – 94, 2001
- (43) Lahl U., Zeschmar-Lahl, B., Weiler, C.: „Anforderungen an Ersatzbrennstoffe aus Abfällen für die Zementindustrie“. Studie im Auftrag des Umwelt- und Verkehrsministeriums Baden-Württemberg, 2000; Download: Studie: http://www.bzlgmbh.com/files/pdf/DPU_BZL-16.08.2000.pdf; Kurzfassung: http://www.bzlgmbh.com/files/pdf/DPU_BZL_kurzfass.pdf
- (44) LAGA – Länderarbeitsgemeinschaft Abfall 1997: Maßstäbe und Kriterien für die energetische Verwertung von Abfällen in Zementwerken. Entwurf 31.10.1997
- (45) Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft: Richtlinie Entsorgung von Abfällen in Zementwerken. April 1998
- (46) Bundesgütegemeinschaft Sekundärbrennstoffe e.V.: RAL-Gütezeichen Sekundärbrennstoffe, Schlußfassung Mai 2001, Schreiben des RAL vom 31.05.2001