



umweltbundesamt^U

ABFALLVERMEIDUNG UND -VERWERTUNG: ASCHEN, SCHLACKEN UND STÄUBE IN ÖSTERREICH

Brigitte Winter
Ilona Szednyj
Hubert Reisinger
Siegmund Böhmer
Thomas Janhsen

SERIE
REP-0003

Wien, 2005



**Detailstudie zur Entwicklung einer
Abfallvermeidungs- und -verwertungsstrategie für den Bundes-Abfallwirtschaftsplan 2006**

Projektleitung der Abfallvermeidungs- und -verwertungsstrategie

Hubert Reisinger

Autoren

Brigitte Winter

Ilona Szednyj

Hubert Reisinger

Siegmund Böhmer

Thomas Janhsen

unter Mitarbeit von Manfred Domenig, Roman Past und Karin Perz

Übersetzung

Brigitte Read + Autoren

Lektorat

Maria Deweis

Satz/Layout

Manuela Kaitna

Dieser Bericht wurde im Auftrag des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft im Rahmen der Entwicklung einer Abfallvermeidungs- und -verwertungsstrategie für den Bundesabfallwirtschaftsplan 2006 erstellt.

Weitere Informationen zu Publikationen des Umweltbundesamtes finden Sie unter: www.umweltbundesamt.at.

Impressum

Medieninhaber und Herausgeber: Umweltbundesamt GmbH
Spittelauer Lände 5, 1090 Wien/Vienna
Österreich/Austria

Eigenvervielfältigung

Gedruckt auf Recyclingpapier

© Umweltbundesamt GmbH, Wien, 2005
Alle Rechte vorbehalten (all rights reserved)
ISBN 3-85457-802-4



INHALT

EXECUTIVE SUMMARY	7
Waste Incineration Plants	7
Co-incineration of waste	11
Power Plants and Biomass Combustion Plants	13
Metal Industry	15
Cement Industry	18
ZUSAMMENFASSUNG	25
Abfallverbrennungsanlagen	25
Mitverbrennung von Abfällen	29
Kraftwerke und Biomasse(heiz)kraftwerke	32
Metallindustrie	34
Zementindustrie	37
1 EINLEITUNG	44
1.1 Zielsetzung	47
1.2 Gegenstand und Schwerpunkt der Untersuchung	50
1.2.1 Abfallverbrennung	52
1.2.2 Mitverbrennung in Feuerungsanlagen	53
1.2.3 Feuerungsanlagen ohne Abfallverbrennung: Kraftwerke und Biomasse(heiz)kraftwerke	53
1.2.4 Metallindustrie (Eisen und Stahl, Nichteisenmetalle)	54
1.2.5 Zementindustrie	54
2 BESCHREIBUNG DES ABFALLSTROMES ASCHEN, SCHLACKEN UND STÄUBE	55
2.1 Aschen und Schlacken aus der Abfallverbrennung	55
2.1.1 Entstehung der festen Abfälle/Rückstände	58
2.1.2 Abfallverbrennungsanlagen in Österreich	64
2.1.3 Eigenschaften und Zusammensetzung der Aschen und Schlacken aus der Abfallverbrennung	65
2.1.4 Transferkoeffizienten	76
2.1.5 Abfallzusammensetzung	77
2.1.6 Behandlung von Schlacken/Aschen aus der Abfallverbrennung	91
2.1.7 Abschätzung des zukünftigen Abfallaufkommens aus Verbrennungsanlagen für Siedlungsabfall und für die heizwertreiche Fraktion bis 2010	92
2.2 Aschen und Schlacken aus der Mitverbrennung in Feuerungsanlagen	94
2.2.1 Mitverbrennung in Kraftwerken	96
2.2.2 (Mit)Verbrennung in Wirbelschichtkesseln der Zellstoff- und Papierindustrie	97
2.2.3 Mitverbrennung in Wirbelschichtkesseln der Spanplattenindustrie	101



2.3	Aschen und Schlacken aus Kraftwerken und Biomasse(heiz)kraftwerken.....	102
2.3.1	Kohlekraftwerke.....	103
2.3.2	Grobasche.....	106
2.3.3	Flugasche.....	107
2.3.4	REA-Gips	108
2.3.5	Rückstand aus dem Sprühabsorptionsverfahren.....	109
2.3.6	Filterkuchen.....	109
2.3.7	Sonstige Rückstände	110
2.3.8	Biomasse(heiz)kraftwerke.....	114
2.4	Aschen, Schlacken und Stäube aus der Metallindustrie.....	123
2.4.1	Eisen- und Stahlindustrie	123
2.4.2	Nichteisenmetallindustrie	129
2.5	Aschen, Schlacken und Stäube aus/in der Zementindustrie	140
2.5.1	Einsatz von Aschen und Schlacken in der Zementindustrie.....	140
2.5.2	Aschen und Stäube aus der Zementindustrie.....	142
3	TECHNOLOGIEN UND TECHNIKEN DER ABFALLVERMEIDUNG UND -VERWERTUNG.....	144
3.1	Rückstände und Abfälle aus der Abfallverbrennung.....	144
3.1.1	Vermeidung im Restabfall	145
3.1.2	Behandlung von hoch belasteten Abfallfraktionen.....	149
3.1.3	Behandlung von Aschen und Schlacken (Grobaschen) aus Abfallverbrennungsanlagen.....	149
3.1.4	Bewertung der technologisch/organisatorischen Optionen für Abfallvermeidung und -verwertung von Aschen, Schlacken und Stäuben aus der Abfallverbrennung.....	157
3.2	Rückstände und Abfälle aus Mitverbrennungsanlagen.....	158
3.3	Rückstände und Abfälle aus Kraftwerken	159
3.3.1	Flugasche als Zusatzstoff in Beton	159
3.3.2	Flugasche in Zement.....	160
3.3.3	Flugasche als zementstabilisierte Aschemischung zur Verfüllung von Hohlräumen.....	160
3.3.4	Asche als Versatzstoff im Bergbau	161
3.3.5	REA-Gips in der Baustoffindustrie	161
3.3.6	Rückstand aus dem Sprühabsorptionsverfahren (SAV): Verwendung als Deponiebasisabdichtung und im Bergbau	162
3.3.7	Grobasche aus der Kohlefeuerung	162
3.3.8	Flugasche aus der Ölfеuerung.....	162
3.4	Rückstände und Abfälle aus der Metallerzeugung	162
3.4.1	Eisen- und Stahlindustrie	162
3.4.2	Nichteisenmetallindustrie	170
3.5	Zementindustrie.....	175
3.5.1	Einsatz von Aschen und Schlacken in der Zementindustrie.....	175
3.5.2	Betriebsinterne Kreislaufführung von Stäuben	177



4	BARRIEREN GEGEN EFFIZIENTE VERMEIDUNG/VERWERTUNG	180
4.1	Rückstände und Abfälle aus der Abfallverbrennung	180
4.1.1	Eingangsseitige Entfrachtung.....	180
4.1.2	Barrieren gegen die Behandlung der Abfallverbrennungsrückstände	182
4.2	Rückstände und Abfälle aus Mitverbrennungsanlagen.....	183
4.3	Rückstände und Abfälle aus Kraftwerken	183
4.4	Rückstände und Abfälle aus der Metallerzeugung	183
4.4.1	Eisen- und Stahlindustrie	183
4.4.2	Nichteisenmetallindustrie	184
4.5	Zementindustrie.....	186
5	ABFALLVERMEIDUNGS- UND VERWERTUNGSMASSNAHMEN.....	187
5.1	Rückstände und Abfälle aus Abfallverbrennungsanlagen	187
5.2	Rückstände und Abfälle aus Kraftwerken und Mitverbrennungsanlagen.....	195
5.3	Rückstände und Abfälle aus der Metallerzeugung	196
5.3.1	Eisen- und Stahlindustrie	196
5.3.2	Nichteisenmetallindustrie	196
5.4	Zementindustrie.....	197
6	VERMEIDUNGS- UND VERWERTUNGSPOTENZIALE BEI DER ABFALLVERBRENNUNG	198
7	ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS	205
8	LITERATUR.....	206
	ANHANG	215
	Gefahrenpotenzial von Schwermetallen und ausgewählten Schadstoffen	215
	Schwermetalle	215
	Aluminium.....	222
	Chlorhaltige Abfälle und PVC.....	223
	Dioxine und Furane	225

EXECUTIVE SUMMARY

Within the framework of the project “Development of a waste prevention and recycling strategy for the Austrian Federal Waste Management Plan 2006”, a certain information deficit has been identified with regard to waste prevention and waste recycling options for the waste streams “ashes, slags, dusts”.

Also, an examination of “ashes, slags, dusts” was prompted by the requirement of the Landfill Directive for carbon-rich wastes (like the light fraction from the automotive shredder) to be treated before landfilled, as well as by the fact that new waste incineration plants went into operation and the quantity of incineration residues increased.

In order to provide the technical expertise for the development of a waste prevention and recycling strategy, the present report has been produced, which examines the avoidance of wastes and/or the reduction of hazardous substances in wastes and, where necessary, the further treatment of wastes in the following plants:

- waste incineration plants (i. e. municipal solid waste incineration plants),
- combustion plants where wastes are co-incinerated,
- power plants and biomass combustion plants,
- plants for metal production (iron and steel and non ferrous metals),
- cement plants.

The study describes the current situation of “slags, ashes, dusts” in the corresponding sectors and processes. Then, existing and innovative waste prevention and recycling techniques and technologies are presented, and waste prevention and recycling measures are developed, as well as – to promote efficient waste prevention and recycling – recommendations for their implementation within the framework of the Federal Waste Management Plan 2006.

Waste Incineration Plants

In this study the major municipal waste incineration plants and the plants for the combustion of industrial waste (capacity > 20 000 t/a) are referred to as “waste incineration plants”. This term also includes the plants of Lenzing and Niklasdorf.

Hazardous waste incineration has not been included in this report as this kind of treatment provides the most sophisticated technical solution currently available for a number of waste types (e. g. infectious medical waste, waste containing chlorine, heavy metal fractions). Pre-treatment of these waste types would result in increased levels of exposure to emissions at the workplace and in the environment, and in increased energy consumption.

Bottom ash from waste incineration plants is called slag in this study. Technically-physically speaking, this waste is an ash.

The quantity and quality of input waste, the type of firing, process control and the applied emission reduction technologies determine the quantity and quality of ashes and other residues resulting from the incineration of waste. The output in waste incineration plants consists of flue gas and ashes from waste incineration as well as waste from flue gas and water treatment.



Until the end of 2004, the maximum treatment capacity of the major waste incineration plants for the incineration of municipal solid waste and the rich calorific value fraction was 1.6 million t/a. In 2003, 190 000 t of bottom ashes (slags) and 88 000 t of fly ashes were generated by incineration in waste incineration plants (without the incineration of hazardous wastes). These amounts are expected to rise to 314 000 t/a of bottom ashes (slags) and about 170 000 t/a of fly ashes over the period until 2010.

In Austria, waste incineration plants serve as sinks for waste, which means that they are designed to reduce the waste volume, as well as to destroy and concentrate hazardous substances efficiently, and to utilize the energy content of burnt waste (= best available technology).

In accordance with the precautionary principle, separation devices are designed for somewhat larger capacities than required for wastes with average composition, in order to provide enough spare capacity and keep low emissions into air and water even with peak concentrations of hazardous substances or under unfavourable incineration conditions.

The purpose of the separate collection of used materials and biogenous substances is the material recycling of these fractions and the reduction of metal concentrations in the bottom ash of waste incineration plants. Separate collections and treatment (e. g. of batteries) also result in the prevention of emissions and the reduction of emission peaks.

Waste streams and residues from waste incineration plants are landfilled in Austria, according to legal requirements which provide for the application of the precautionary principle. Also, there is no shortage of primary resources for construction materials and thus no real need for using incineration residues as secondary construction materials.

Bottom ashes and fly ashes (sometimes after pre-treatment like ageing or solidification) are landfilled at suitable sites equipped with base sealing, leachate management, surface sealing. Fly ashes are invariably pre-treated because of their higher content of hazardous substances, and landfilled at suitable sites. In some cases, fly ash with a high concentration of hazardous substances, or fly-ash fractions (e. g. the “fine” fraction), are exported and disposed of in underground landfills. Gypsum from flue gas cleaning is usually mixed with bottom ash and also landfilled; in some cases gypsum is used in the building industry. Filter cake from water purification is disposed of in underground landfills.

A reduction of the environmental impact of hazardous substances in waste incineration residues (total content and elution behaviour) and improvements of disposal behaviour can be achieved in two different ways:

1. Reducing hazardous substance concentrations in the incinerator’s input;
2. Treatment of residues so as to recover, or immobilize the hazardous substances (and maybe also recycle some metals).

Municipal solid wastes

Because of the heterogenous composition of municipal solid waste and peak concentrations of hazardous substances in domestic waste, some bottom ash and fly ash batches exceed the limits required for disposal on landfills for residual materials (pH, conductivity, evaporation residue, Cd, Zn, Pb).



Analyses of the composition of residual household waste in Germany have produced the following results, which also apply to Austria:

- Heavy metals in residual household waste are largely attributable to electronic scrap and batteries,
- metallic aluminum enters the residual waste stream with (compound) packaging material,
- PVC is a substantial source of chlorine in the residual waste stream (and PVC additives contribute considerably to the heavy metal content of the residual waste).

Some pollutants can be related to special products:

Cadmium can be found mainly in nickel-cadmium batteries and accumulators; mercury is contained in batteries, mercury-containing measuring instruments, light fittings and relays; metallic aluminium is found in aluminium-containing (compound) packaging materials.

In this report it could not be established if efficient alternatives for aluminium containing (compound) packaging materials and the different PVC applications could be, or are being developed, or if such alternatives are already available. Information should be improved in this sector. The same applies to the identification of further products responsible for the heavy metal content of the residual waste.

On the basis of available data, it is estimated that 70 % of the Cd content and approximately 35 % of the Hg content can be avoided. This should lead to a corresponding reduction of the mean values of Cd and Hg concentrations in fly ashes in particular. As regards other heavy metals – mainly lead, copper and zinc – a reduction potential of 20 % is estimated. The reduced lead and zinc contents would improve the quality of fly ash (with regard to the mean value); the reduced copper content would improve the quality of slag.

The reduction potential of hazardous substances in residual household waste is limited due to the undefined composition of this particular waste stream and due to the hazardous substances (heavy metals) contained in the “fine” fraction of the residual waste.

Practical tests are necessary to establish if a reduction in the concentration of hazardous substances and aluminium (by qualitative input waste prevention) can result in an improved quality of ashes for landfills.

The additional advantages of the reduction of hazardous substances in residual household waste (apart from the improvement of ash and slag quality) can be summarized as follows:

- Reduced consumption of primary resources (materials and energy).
- Reduction of emissions arising from the exploitation of natural resources and waste treatment,
- and – provided heavy metals are to a large extent substituted – in reduced emissions and dissipation of hazardous substances during the life cycle of the products (consumer goods).

Highly contaminated wastes from industries

Because of the composition of the light automotive shredder fraction and its high heavy metal concentrations, incineration together with other waste streams results in lower ash quality, which means that, under certain conditions, landfill limits for hazardous substances can no longer be met. These problems may also occur with the incineration of other industrial waste streams in municipal solid waste incineration plants. High decomposition (Entfrachtung) of wastes may also produce new, highly contaminated wastes, which have to be treated.

Possible solutions are:

- Keeping contaminated waste streams separate before their delivery to the waste incineration plant and separate (non-thermal) treatment.
- Incineration of highly contaminated waste streams in a separate plant, including recovery of certain heavy metals and treatment of residues.
- Recovery or immobilization of hazardous substances after incineration in a municipal solid waste incineration plant, including recovery of some heavy metals (e.g. a high share of the light shredder fraction).
- Vitrification of the incineration residues.

It is proposed that an integrated cost-benefit-analysis of the possible technologies should be performed while taking into consideration the precautionary principle.

As part of this analysis, the effect of the waste streams which have been incinerated additionally since 1.1.2004 shall be described in detail (composition of waste streams, leaching behaviour of the residues). Also, the experience gained with promising treatment processes in operation should be evaluated.

The following waste prevention and recycling measures are proposed with respect to residual waste incineration:

- Support of the electro-and-electronic-equipment-waste ordinance by information and motivation programmes aiming at wide-spread use of newly introduced, or already existing, collection systems for batteries and metal (compound) packages.
- Make use all over Austria of the positive experiences gained with repair networks in Vienna.
- Provide information on what to do with small electric/electronic scrap.
- Reduce the use of toys which use batteries that are not easy to replace, of advertising gifts and greeting cards which use batteries.
- Measures which prevent the sale and use of such products (e. g. taxation, voluntary agreements, ban on certain contaminated components).
- Limit the cadmium content to 20 mg/kg and the mercury content to 5 mg/kg in all battery and accumulator types in all applications where efficient alternatives are possible.
- Provide information about and motivation for the utilization of mercury-free devices and tools.
- Initiate studies on how to replace aluminum in (compound) packaging material, and to replace PVC.

Additionally, because of insufficient data on the type and composition of certain waste fractions (i. e. from industries) and slags and ashes arising from waste incineration plants, the following measures and analyses are proposed:

- Analysis of the type and composition of certain waste fractions and, while taking into account the relevant plant technologies, of the type and composition of ashes and slag from the incineration of waste.
- Evaluation of the connection between concentrations of hazardous substances in consumer goods (products) and wastes which go to the waste incineration plant.

Co-incineration of waste

Plants incinerating wastes while producing energy or manufacturing products include:

- Power plants and biomass plants.
- Fluidized bed combustion in the pulp and paper industry.
- Plants of the particle and fibre board industry as well as wood industry.
- Cement industry.

Utilizing waste as fuel may lead to enrichment and emissions of heavy metals and other elements.

Power plants and biomass plants

The co-incineration of solid residues can only be carried out in coal power plants and biomass plants because of the ash content and the necessity to separate the ash. Landfill gas and waste oil can also be burnt in power plants which are operated with gas or oil. For this report only the co-incineration of solid residues in power plants has been considered.

Wastes are currently co-incinerated in the coal-fired power plants of Mellach (sewage sludge), Timmelkamm II (sewage sludge, meat and bone meal, rendered fats) and Riedersbach (sewage sludge, animal meal, animal fat, swarf, leather residues).

Several approved biomass incineration plants currently under construction intend to co-incinerate wastes (with a high biogenous fraction).

An estimation of the residues resulting from co-incineration is not possible because of unavailable data. Exact data about the type and amount of co-incinerated wastes would be necessary (especially about the ash content of the different fractions).

For the co-incineration of biomass and wastes in thermal power plants and biomass plants it is necessary to know the origin, the physical and chemical composition and the dangerous properties of the co-incinerated wastes.

The composition and properties of wastes and biomass have to be determined in detail with every first delivery (e. g. the Austrian standards ÖNORM S 2110 and ÖNORM S 2123 can be used); the following parameters should be established: name and address of delivering company or person, mass of waste, person who “owns” the waste and origin of waste, water and ash content, calorific value, concentration of chlorides, fluorides, sulphur and heavy metals. By monitoring the wastes continuously, it should be verified that the quality remains constant with regard to the above mentioned parameters. For biomass, subsequent checks can be made simpler. It has to be ensured that only untreated wood residues or wood residues that are not contaminated with heavy metals or halogenated organic compounds are co-incinerated.



Depending on the amount and composition of co-incinerated waste, the co-incineration of wastes in coal-fired power stations tends to lead to higher levels of contamination (compared to coal-only incineration) with state of the art reduction measures for air emissions – in waste water resulting from flue-gas washing, or slags from dry flue gas cleaning.

Higher contents of Cl, P and heavy metals have to be expected in ashes from co-incineration, compared to ashes from coal-only incineration.

From the point of view of precautionary environmental protection, the quality of ashes and FGD gypsum must not deteriorate as a result of the co-incineration of waste, in order to be able to sell them to the construction material industry. Thus only waste types with heavy metal concentrations similar to coal and slight quality variations may be co-incinerated. From the point of view of the plant operator the use of bottom and fly ash in the construction material industries is of commercial interest.

It is common practice to monitor the waste composition strictly and to limit the share of waste input to a few percent. However, with a quantitative limitation of co-incinerated waste alone there are still emissions of certain hazardous substances into air and water, as well as residues and products, even if emission limit values and standards are met, as the waste residues are not brought to a final sink (unlike in municipal solid waste incineration plants).

It is recommended that limit values should be defined for hazardous substances in wastes which are used as replacement fuels.

In the *fluidized bed boilers of the pulp and paper industry*, hard coal, lignite, biogas, natural gas, heavy fuel oil, bark, turnings and in some cases wastes are incinerated, apart from sludges originating from the plant's own production processes. Part of the incinerated wastes also comes from other companies.

The neutralization and separation of acidic gases by means of lime or limestone addition is performed not only for keeping the air clear but also to maintain an ash quality permitting the possible use of the ash in the building material industry.

The heavy metal concentration of the fly ash is determined significantly by the percentage of co-incinerated wood.

Solid waste and incineration residues from the pulp and paper industry are either landfilled, used as additive for the refilling of mines and construction sites or sold to the building material industry.

Depending on the type of treatment, different parameters are used for the evaluation of incineration residues (e. g. limit values according to the landfill ordinance, contents of Al silicates, CaO, Cl, loss on ignition, Pb, Cd, Zn in case of further use in the construction material industry).

The parameters CaO, Cl, sulfate and loss on ignition, as well as mechanical and physical parameters are fixed for the final product itself (e. g. cement). Due to a lack of general standards, the specification and maximal contents of some hazardous substances in ashes are freely agreed between the pulp and paper industry and the building material industry.

It is recommended that limit values should be defined for hazardous substances in wastes which are used as replacement fuels.

Fuels used in the *fluidized bed boilers of the particle and fibre board industry* include bark, residues from treated and untreated wood, paper, reject, plastic packaging materials, sewage sludge and other residues and production wastes.



The amount and the composition of incineration residues are determined by the fuels and additive used in the flue gas treatment process.

It is recommended that limit values should be defined for hazardous substances in wastes which are used as replacement fuels.

The following prevention and recycling measures are proposed for co-incineration:

- Application of best available techniques for incineration and flue gas cleaning – also with respect to the recycling of residues. Consideration of the BAT reference documents.
- Utilization of high-quality coals (high heating value, low concentration of hazardous substances).
- Strict quality control of the waste streams intended for incineration.
- Concentration limits for certain hazardous substances in replacement fuels. The Federal Ministry of Agriculture, Forestry, Environment and Water Management has set up a working group to establish heavy metal limits in the waste feed streams.
- Co-incineration of waste streams only if they fulfil the following requirements:
 - Low concentration of hazardous substances.
 - Small variation in composition.
 - Manageable composition.
 - No disturbance of incineration and burnout.
 - Low corrosivity.

In addition to the above the following measures and analyses are proposed, given the insufficient data on the type and composition of certain waste fractions, as well as slags and ashes arising from co-incineration plants:

- Analysis of the type and composition of certain waste fractions, as well as – while taking into account the relevant plant technologies – of the type and composition of ashes and slags from co-incineration.
- Evaluation of the connection between concentrations of hazardous substances in consumer goods (products) and wastes going to the co-incineration plant.

Power Plants and Biomass Combustion Plants

The incineration of coal, biomass and – to a reduced extent – the incineration of heavy fuel oil produces solid wastes and residues.

The liberalization of the electricity market, trends of fuel and electricity prices and the growing demand for electricity have led to big changes in the power plants sector in Austria, including changes of operating methods and operating times of power plants. While some plants have been put into so called “cold stand by”, coal inputs have risen dramatically in other power plants.

A reduction of heavy metal concentrations in the residues from *coal incineration* can be achieved by the use of “clean” coal with a high heating value, with the ash content being an important parameter for the concentration of hazardous substances. Generally, coal purification is not carried out in Austria prior to incineration.

Plant operation and design of the firing system and the flue gas cleaning system in such a way as to permit use of the ashes and the FGD gypsum in the building materials industry is state of the art.

Provided the properties of cement or other construction materials (important parameters are e.g. chlorine content, content of free CaO, loss on ignition) are improved (e. g. increase of long-term durability), or at least not altered, and that heavy metals are not concentrated in the final product by adding power plant residues, the existing options for recycling are as follows:

- Use of FGD gypsum (desulphurisation product derived from wet flue-gas cleaning) after dewatering and drying in cement and building material industry.
- Use of bottom ash in brick industry.
- Use of fly ash as concrete additive and as additive in cement industry.

The filter cake from waste water treatment, as well as other waste streams which can not be reused because of their composition, have to be landfilled according to state of the art.

Wastes which cannot be treated because of their composition have to be landfilled according to state of the art.

Because of its high Ca, Mg, K, Na and P contents, bottom ash from the incineration of *biomass* (bark, chipped-wood) can be used as fertilizer. Because of its high concentration of alkalines and chlorides, biomass ash can in general not be used as additive to construction material.

The principal possibilities for utilizing biomass ash thus are:

- Use as fertilizer on fields and meadows.
- Use as fertilizer in forests.
- Additive in composting plants.

Only ashes from the incineration of untreated biomass may be used as fertilizer. For the use on pastures and in forests, limits are valid which correspond to the limit values of the compost ordinance.

In general, bottom ashes from wood combustion fulfil the requirements of the compost ordinance and may thus be used as fertilizers. In contrast to the bottom ashes, cyclone ashes and very fine fly ash are not suitable for fertilizing purposes or to be used as composting additives due to their high heavy metal concentrations.

Bottom ashes that cannot be used as fertilizers and cyclone ashes may be landfilled on a landfill for residual materials or “mass wastes” after their pH value has been brought down, provided the limits for heavy metal concentrations and leachate concentrations are not exceeded.

Bottom ashes and cyclone ashes with heavy metal concentrations above the landfill limits must be treated or disposed of in an underground landfill.

Due to its high heavy metal content, very fine fly ash must always be brought to a final sink. Whether disposal on a residual materials landfill is possible must be tested. If concentration limits are exceeded, very fine fly ash from biomass incineration must be disposed of in an underground landfill.

Metal Industry

Wastes/residues from the metal industries are ashes, slags and dusts. They can hardly be avoided as they are process-related, but the accumulated quantities can be reduced.

The content of the hazardous substances in wastes/residues accumulates during the production process, but can also be influenced by the production process (e. g. input of scrap in suitable furnace) as well as the input materials (sorted – sometimes treated – scraps, ores). Ashes, slags and dusts from the metal industries contain a relatively high amount of heavy metals, and sometimes also a high amount of persistent organic pollutants (POPs).

Dusts from the metal industries are desired sinks for POPs and heavy metals and should therefore be deposited in secured areas.

Iron and steel-industry

In the iron and steel industries large amounts of slags, ashes and dusts accumulate as well as oily mill scales and sludges. In 2003, more than 2 000 000 t/a of blast furnace slag and converter slags have accumulated.

Ashes, slags, dusts, mill scales and sludges can hardly be avoided as they are process-related.

The oil content of oily mill scales constitutes a problem in further treatment, as do POPs and heavy metals (*inter alia* Zn, Pb, Cr, Ni, V) in dusts and sludges .

In addition to the chemical composition, the elution of hazardous substances is important. The chemical composition of slags (blast furnace slag, converter slag, electric arc furnace slag) highly depends on the steel production process, as well as on aggregates etc. The production of iron and steel is thus also carried out with a view to the quality of slag.

With increasing recycling rates of internal wastes (dusts, mill scales and sludges) as well as external wastes (scraps) unwanted accumulations of elements, especially heavy metals (Zn, Pb), occur.

The zinc input in an integrated smelter is approximately 0.4 kg per tonne of crude steel. Galvanized scrap recycled in the steel making process is the main source of zinc.

The zinc/lead concentrations of dusts and sludges are crucial for the treatment of dusts and sludges.

Without treatment, only dusts and sludges with a zinc content of up to 0.2 % can be recycled. If the zinc content is higher, dust is disposed of or treated in such a way that zinc is concentrated in the dust. Dust with a zinc content of approximately 20 % can be recycled externally.

The oil content of oily mill scales is significant for further treatment. Oily mill scales with an oil content of up to 0.1 % can be recycled in the powder metal facility. Oily mill scales with an oil content of up to 2 % can be treated in the blast furnace. Oily mill scales with higher oil content have to be treated or landfilled.

In order to avoid or recover wastes/residues in the iron and steel industry, the following measures are proposed:

- Implementation of state of the art technology: e.g. adaptation of the Austrian ordinances to the BAT reference document "iron and steel" and to "TA-Luft":
 - production (optimization for iron/steel and slags),
 - waste treatment,
 - flue gas, waste water.
- Choice of appropriate raw materials and scraps for inputs in the iron and steel production at the relevant process stages.
- Secured deposits for polluted wastes/residues.
- The waste management concept should include details about internal pre-treatment of scraps and about the quality of the treated scraps.
- If avoidance or recovery is not possible, controlled disposal is the only option. In this case, minimizing the amounts of wastes should always be kept in mind.
- Internal wastes/residues like dusts, sludges and oily mill scales should – if possible – be recovered directly during existing metallurgical processes (powder metal facility, blast furnace, BOF, EAF), as this is how the iron-rich fractions can be recovered especially.
- If direct reuse of wastes/residues is not possible, especially with oil contaminated iron fractions (oily mill scales, scraps) or with dusts and sludges enriched with zinc and lead, it should be investigated if (external) treatment can be used for recovery (e. g. selective separation of dusts and sludges into an iron-rich and Zn/Pb-rich fraction; de-oiling and drying of oily mill scale). Shifting pollution from one environmental medium to another should, however, be avoided, and where this is not possible, such shifting should be minimized, in order to achieve a high level of protection of the environment as a whole.
- External use of slags should be encouraged through adequate process control in order to avoid landfilling.

Secondary aluminium production

Typical wastes/residues in secondary aluminium production are salt slags, filter dusts, drosses and furnace linings. They show high heavy metal content, and sometimes a high amount of salts (salt slag) and organic compounds.

Wastes from secondary aluminium production can hardly be avoided because they are process-related. But the amount of waste generated can be reduced by optimizing the process and process control. The quantity of the wastes/residues depends highly on the input materials and the desired product quality (aluminium).

In the secondary aluminium production, different inputs of scraps in different smelting furnaces have to be considered.

The important criteria for the correlating the input materials to the best-fitting furnace are: contamination of the raw materials or wastes with oxides, iron and organic materials, the content of magnesium, measurements of the scraps used and the alloy changes in a day.

Possible avoidance and recovery measures include:

- Separate, pure-grade analysis of scraps.
- Improved pre-treatment of scraps.
- Implementation of state-of-the-art technology: e.g. adaptation of the Austrian ordinance to the BAT reference document "non ferrous metals" and to "TA-Luft":
 - Production:
 - input of scraps in appropriate smelting furnace (rotary furnace, tilting rotary furnace, reverberatory furnace ...),
 - avoiding the use of salt, which entails avoidance of salt slag (the optimal smelting furnace is the reverberatory furnace),
 - minimizing the use of salt, which entails less salt slag (the suitable smelting aggregate is the tilting rotary furnace).
 - Waste treatment in accordance with state of the art (while taking into consideration emissions into air, water and soil):
 - Salt slag: recovery of salt, aluminium and non-metallic products.
 - Flue gas, waste water: treatment according to state of the art.
 - The waste management concept should include details about the internal pre-treatment of scraps and the quality of the treated scraps.
 - If avoidance or recovery is not possible, controlled disposal is the only option. In this case, minimizing the amounts of wastes should always be kept in mind.

Secondary copper production

Residues/wastes from the secondary copper production are slags (shaft furnace slag, converter slag, anode furnace slag), filter dusts (shaft furnace dust, converter dust, anode furnace dust) and furnace lining. They show a high amount of heavy metals and, sometimes, a high amount of organic compounds.

Filter dusts from the anode furnace and slags from the converter and anode furnace are reused internally in the shaft furnace. Filter dusts from the shaft furnace and from the converter have a heavy metal content (Zn, Pb) which is too high and a Cu content which is too low and are therefore discharged. Slag from the shaft furnace is sold as abrasive for road construction.

The following avoidance and recovery measures are proposed:

- Separate, pure-grade analysis of scraps.
- Improved pre-treatment of scraps.
- Implementation of state-of-the-art technology: e.g. adaptation of the Austrian ordinance to the BAT reference document "non ferrous metals" and to "TA-Luft":
 - production: input of scraps in appropriate smelting furnace (shaft furnace, converter, anode furnace),
 - waste treatment in accordance with state of the art,
 - flue gas, waste water: treatment according to state of the art.
- The waste management concept should include details about the internal pre-treatment of scraps and the quality of the treated scraps.
- If avoidance or recovery is not possible, controlled disposal is the only option. In this case, minimizing the amounts of wastes should always be kept in mind.

Cement Industry

In the cement industry ashes, slags and residues of flue gas treatment (FGD gypsum) from other industrial sectors, particularly power plants and the iron and steel industry, are used as secondary raw materials and secondary constituents. In addition carbon-rich wastes are used as fuels.

Using ashes, slags and wastes as fuels can increase the content of heavy metals and other elements in the cement production process.

Ashes formed by incineration during the cement production process are used in the rotary kiln. Dusts removed by dedusting units or via bypasses are added to clinker or cement. In this way all ashes and slags are used internally. However, because of this internal circuit, enrichment of hazardous substances in the product (cement, concrete) may occur. The internal use of dusts, with defined pollution levels, should have priority over discharge and disposal.

While the composition of cement is regulated by European and Austrian standards, the content of heavy metals and hazardous substances in the cement is not. Emissions into air are limited by ordinances (e. g. waste incineration ordinance, cement ordinance) and plant-specific permits.

To keep low emissions into the environment and in products, limits for certain heavy metals in wastes used as fuel are currently being developed; furthermore, the amount of hazardous substances in secondary raw materials and secondary constituents should be limited.

As with waste incineration and co-incineration plants, the following measures are recommended here:

- Analysis of the type and composition of the wastes used in cement plants (secondary raw materials, secondary constituents and wastes used as fuels) and their correlation with the type and composition of the output (clinker, cement).
- Identification of the origin of the hazardous substances contained in the wastes used in cement plants, as well as their properties.

State of the art for waste incineration plants	
Aims	<ul style="list-style-type: none"> ● Disposal must be a long-term and secure sink for ashes and residues from waste incineration plants ● Improving the dumping behaviour of ashes and residues from flue gas treatment in waste incineration plants ● Implementation of the state of the art technologies, taking into account the BAT Reference Document on Waste Incineration
Measures	<ul style="list-style-type: none"> ● Evaluation of possibilities for improving the burnout behaviour. ● Selection of suitable techniques for treating ashes and residues from waste gas cleaning ● Amending ordinances according to the state of the art, if necessary.
General comments of the measures	<ul style="list-style-type: none"> ● Prevention and minimisation of emissions and protection of resources (e.g. energy) by implementing state of the art technologies and the precautionary principle and adopting an integrated system approach. Ashes and residues of flue gas treatment should be treated separately. ● Pollution content in ashes and residues can be minimised by: <ul style="list-style-type: none"> ● Minimisation of pollutants in the incinerated wastes, ● Separating contaminated fractions before waste is delivered to a waste incineration plant and non thermal treatment of these fractions, if possible. ● Treatment of ashes and residues
First steps to implementation	<ul style="list-style-type: none"> ● Evaluation of the BAT Reference Document on waste incineration with regard to measures which have to be implemented in Austrian plants. ● Analysis of the type and composition of inserted wastes (e.g.. fraction with high calorific value). ● Analysis of the type and composition of ashes and slags from waste incineration, while taking into account the wastes used and the relevant plant technologies. ● Analysis and evaluation of techniques for treating contaminated wastes, while taking into account the precautionary principle and adopting an integrated approach (focusing on waste fractions incinerated after 1.1.2004). ● Developing concrete measures based on these analyses for separating highly contaminated wastes and for treating wastes in suitable plants, including treatment of residues and recovery of some heavy metals.
Key players involved	Federal government, federal provinces, Umweltbundesamt, operators, interest groups.
Expected efficiency	<ul style="list-style-type: none"> ● Minimise emissions and the dispersion of pollutants in the environment. ● Improve disposal behaviour. ● Establish secure long-term sinks.

State of the Art for power plants and biomass combustion plants	
Aims	<ul style="list-style-type: none"> ● Implementation of the state of the art technologies in power plants and biomass combustion plants. ● Retain ways of using ashes and residues from incinerating coal in the cement, brick and construction material industry. ● Controlled utilisation of bottom ash from plants incinerating uncontaminated biomass as fertiliser or additive in composts. ● Disposal of other ashes and residues from incinerating biomass.
Measures	<ul style="list-style-type: none"> ● Amending ordinances according to the state of the art by taking into account the relevant BAT Reference documents. ● Providing the basic conditions to ensure high utilisation of input fuel (e.g. combined production of electricity and heat).
General comments of the measures	<ul style="list-style-type: none"> ● State of the art includes input and process optimisation (including efficient utilisation of energy) as well as optimal treatment of wastes, flue gases and waste water. ● Ensuring high fuel utilisation (e.g. combined production of electricity and heat) results in lower emissions and in the protection of resources. ● Input optimisation stands for using high quality fuels (e.g. coal or oil) and uncontaminated biomass.
First steps to implementation	<ul style="list-style-type: none"> ● Ash from incinerating biomass: check for compliance with the requirements of relevant guidelines and ordinances. ● Carry out an analysis in order to define criteria for fuels (e.g. coal, oil). ● Review the energy efficiency of power plants and biomass combustion plants.
Key players involved	Federal government, federal provinces, Umweltbundesamt, operators, interest groups.
Expected efficiency	<ul style="list-style-type: none"> ● Minimise emissions and the dispersion of pollutants in the environment. ● Establish secure sinks for highly contaminated ashes and residues from incineration.

State of the art for co-incineration in combustion plants	
Aims	<ul style="list-style-type: none"> ● No increase of emissions when wastes are co-incinerated. ● Retaining existing ways for treating ashes and residues. ● Directing waste streams to suitable plants, by defining principles for utilisation and treatment. ● Implementation of state of the art technologies for co-incineration plants.
Measures	<ul style="list-style-type: none"> ● Defining limit values for certain pollutants in input waste (e.g. heavy metals and POPs). ● Defining strict quality control measures for input waste. ● Amending ordinances and permits according to the state of the art concerning relevant BAT Reference Documents.
General comments on the measures	<ul style="list-style-type: none"> ● Wastes must be co-incinerated in plants which are equipped and operated according to the state of the art. ● State of the art includes input and process optimisation (including efficient utilisation of energy) as well as optimal treatment of wastes, flue gases and waste water. ● Input optimisation in a co-incineration plant means to use high quality fuel, as well as to co-incinerate wastes with the following properties: <ul style="list-style-type: none"> ● low pollutant content ● low variation of the composition ● manageable composition ● no negative impact on incineration conditions, burnout and corrosion behaviour. ● Shifting pollutants from a waste incineration plant to a co-incineration plant must be avoided.
First steps to implementation	<ul style="list-style-type: none"> ● Set limit values for certain pollutants (e.g. heavy metals, POPs) in the wastes used for co incineration. ● Strict quality control of the waste streams intended for co-incineration. ● Carry out an analysis to define criteria for fuels (e.g. coal, oil). ● Check the energy efficiency of co incineration plants. ● Analysis of the type and composition of certain ash fractions and impacts on existing ways of utilisation.
Key players involved	Federal government, federal provinces, Umweltbundesamt, operators, interest groups.
Expected efficiency	<ul style="list-style-type: none"> ● Minimise the impact on the environment by directing the waste streams to suitable plants. ● Minimise emissions and the dispersion of pollutants in the environment.



State of the art in the iron and steel industry	
Aims	<ul style="list-style-type: none">● Detailed information particularly about the composition and quantities of slags arising in Austria.● Reduction of environmental impact via emission reduction according to the state of the art (i.e. dust) and optimal recovery/treatment options for slags, dusts, scales and sludges.● Secure sinks for polluted fractions. The amount of these fractions should be minimised.
Measures	<ul style="list-style-type: none">● Evaluation of the amount of slags generated (blast furnace, converter, EAF), of their composition (pollutant content, leaching ...) as well as further treatment (internal/external recovery, landfilling).● Analysis of possible uses of the different slags and their characteristics (elution), as well as their pollutant content.● Evaluation of the amount of dusts generated, of their composition as well as further treatment options (internal/external recovery, landfilling).● Survey and evaluation of treatment options for scales and sludges.
General comments on the measures	<ul style="list-style-type: none">● State of the art includes input optimisation, process optimisation as well as waste, waste gas and waste water treatment by taking into account the precautionary principle and adopting an integrated system approach.● Shifting pollutants from one medium to another should be avoided as much as possible during the internal and external recovery/treatment and, where this is not possible, it should be reduced in order to achieve a high level of protection for the environment as a whole.● Where internal recycling of dusts, sludges and scales is not possible, the use of (external) treatment has to be examined and promoted. At the same time emissions into air, water and soil have to be minimised according to the state of the art.
First steps to implementation	<ul style="list-style-type: none">● Evaluation of the amount of slags generated and of their composition. Check if additional analyses are necessary.● Analysis of present treatment options for slags. Suggestions for improvement as well as estimation of treatment potential.● Research of internal as well as external treated dusts (per dust) and their treatment-/recovery options.● Evaluation of scales and sludges treated/recovered internally as well as externally and their treatment/recovery options.● Adaptation of Austrian ordinances and plant-specific permits to the state of the art (BAT Reference Document, German „TA-Luft“).
Key players involved	Federal government, federal provinces, Umweltbundesamt, operators, interest groups.
Expected efficiency	<ul style="list-style-type: none">● Minimisation of environmental impact via steering effects on waste streams.● Recovery / treatment of ashes, slags, dusts, scales and sludges depending on their properties and quality.● Minimisation of the spreading of pollutants via secure sinks.

State of the art in the non ferrous metals industries	
Aims	<ul style="list-style-type: none"> ● Recycling of scraps from an ecological viewpoint. ● Ashes, slags, dusts and drosses have to be treated internally or externally according to the state of the art. ● Checking for connection between internal recycling and emissions into air. ● Secure sinks should be maintained.
Masures	<ul style="list-style-type: none"> ● Evaluation per sector of ashes, slags, dusts arising in Austria from the non-ferrous metals industry, of their composition as well as their further treatment. ● Selection of appropriate techniques for the treatment of ashes, slags and dusts by taking into account the precautionary principle and adopting an integrated system approach.
General comments on the measures	<ul style="list-style-type: none"> ● The non-ferrous metals industry in Austria is the secondary metal production. ● The state of the art includes input optimisation, process optimisation as well as waste, waste gas and waste water treatment. ● Emissions into air, water and soil have to be minimised according to the state of the art during the internal and external treatment of ashes, slags and dusts. ● Shifting pollutants from one medium to another should be avoided as much as possible and, where this is not possible, it should be reduced in order to achieve a high level of protection for the environment as a whole. ● Secure sinks have to be used for polluted wastes/residues. The amount of these fractions should be minimised.
First steps to implementation	<ul style="list-style-type: none"> ● Separate, pure-grade analysis of scraps. ● Improved processing of scraps, so that the consumption of salt is reduced and the melting of secondary aluminium in hearth furnaces or induction furnaces is possible. ● Use of scraps in best-fitting furnaces. ● Minimisation of the use of salt in furnaces where oxide-containing scraps of the secondary aluminium production are melted. ● Determine the amount, the quality/composition as well as the internal and external treatment/recovery option of ashes, slags and dusts. ● Adaptation of the Austrian ordinances and plant-specific permits to the state of the art (BAT Reference Document, German „TA-Luft“).
Key player involved	Federal government, federal provinces, Umweltbundesamt, operators, interest groups.
Expected efficiency	<ul style="list-style-type: none"> ● Minimisation of salt slag from the secondary aluminium industry. ● Minimisation of the environmental impact on every medium by taking into account especially the recycling of dusts. ● Secure landfilling of polluted dusts and slags.

State of the Art in the cement industry	
Aims	<ul style="list-style-type: none"> ● The use of waste in the cement kiln should not lead to a higher pollutant content in the cement or the environment. ● Internal reuse of dusts from filters or bypasses should have priority over discharge and disposal, provided that the input of pollutants is limited. ● Directing waste streams to suitable plants, by defining principles for utilisation and treatment.
Measures	<ul style="list-style-type: none"> ● Define limit values for certain pollutants (e.g. heavy metals, POPs) in wastes used as secondary fuels, secondary raw material, or secondary constituents ● Define quality control measures for wastes intended for co-incineration. ● Efficient dedusting of the main unit and auxiliaries ● Evaluation and optimisation of incineration conditions if wastes are used as fuels.
General comments on the measures	<ul style="list-style-type: none"> ● The definition of limit values for certain pollutants in input wastes should achieve that waste streams are directed to suitable plants. ● Emissions into air should not increase by higher inputs of wastes used as secondary fuels. If necessary, they must be reduced by proper air cleaning devices. ● Dust emissions from the main unit and the auxiliaries should be reduced by devices which are state of the art ● Internal reuse of dusts from filters and bypasses. The content of pollutants in the dust must be regulated by limiting the pollutant content of input waste.
First steps to implementation	<ul style="list-style-type: none"> ● Evaluation of the effects from incinerating certain waste fractions (e.g. fractions with a high calorific value, fractions with a low calorific value). ● Evaluation of the optimal process stage for waste input into a cement kiln (primary or secondary firing). ● Definition of limit values for certain heavy metals in wastes intended for use in a cement kiln. ● Strict quality control of the waste streams intended for use in a cement kiln. ● Analysis of the composition of secondary raw materials and secondary constituents. ● Setting limit values for certain pollutants in the secondary raw materials and constituents. ● Amending ordinances according to the state of the art, by taking auxiliaries also into consideration.
Key players involved	Federal government, federal provinces, Umweltbundesamt, operators, interest groups
Expected efficiency	<ul style="list-style-type: none"> ● No increase of the heavy metal content in the cement or concrete. ● Reduced dust emissions. ● Minimisation of the environmental impact via steering effects on waste streams.



ZUSAMMENFASSUNG

Im Rahmen des Projektes „Entwicklung einer Abfallvermeidungs- und -verwertungsstrategie für den Bundes-Abfallwirtschaftsplan 2006“ wurde für die Abfallströme „Aschen, Schlacken, Stäube“ ein Informationsdefizit bezüglich der Abfallvermeidungs- und -verwertungsoptionen festgestellt. Einen aktuellen Anlass für diese Studie bieten auch die Anforderung der Deponieverordnung zur Vorbehandlung von kohlenstoffreichen Abfällen vor der Deponierung (z. B. Shredderleichtfraktion) sowie die Inbetriebnahme neuer Abfallverbrennungsanlagen und dem damit deutlich gestiegenen Aufkommen der Rückstände aus den Abfallverbrennungsanlagen.

Um die fachlichen Grundlagen zur Entwicklung einer Abfallvermeidungs- und -verwertungsstrategie zu erarbeiten, wurde vorliegende Detailstudie konzipiert, in der für folgende Anlagen die Vermeidung von Abfällen bzw. die Verminderung von Schadstoffbelastungen von Abfällen und gegebenenfalls die weitere Abfallbehandlung betrachtet werden:

- Anlagen zur Abfallverbrennung (insbesondere Müllverbrennungsanlagen),
- Feuerungsanlagen, in denen Abfälle mitverbrannt werden,
- Kraftwerke und Biomasse(heiz)kraftwerke,
- Anlagen zur Metallproduktion (Eisen und Stahl, Nichteisenmetalle),
- Zementanlagen.

In der Studie wird zunächst die Ist-Situation der jeweiligen Branchen und Prozesse beschrieben. Im Anschluss daran werden Methoden und Techniken der Abfallvermeidung und -verwertung vorgestellt und Empfehlungen für Maßnahmen erarbeitet, die im Rahmen des Bundes-Abfallwirtschaftsplan 2006 zur Förderung einer effizienten Abfallvermeidung und -verwertung umgesetzt werden sollen.

Abfallverbrennungsanlagen

Unter Abfallverbrennungsanlagen werden im Rahmen dieser Studie die großen Anlagen (Kapazität > 20.000 t/a) zur Verbrennung von Siedlungsabfällen und industriellen und gewerblichen Abfällen zusammengefasst. Die Anlagen der AVE-Reststoffverwertung Lenzing und der TRV Niklasdorf werden ebenfalls hier behandelt.

Die Monoverbrennung von gefährlichen Abfällen wird in dieser Studie nicht behandelt, da diese Art der Behandlung für eine Vielzahl der Abfallarten (z. B. infektiöser Spitalsmüll, chlorhaltige Lösemittel, schwermetallhaltige Fraktionen) derzeit die technisch ausgereifteste Lösung darstellt. Eine Vorbehandlung der Abfälle würde zu einer höheren Belastung der betroffenen Arbeitsplätze und der Umwelt führen (z. B. höhere Emissionen, höherer Energieaufwand).

In dieser Studie wird die aus Abfallverbrennungsanlagen anfallende Grobasche als Schlacke bezeichnet. Technisch-physikalisch handelt es sich auch bei diesem Abfall um Aschen.

Bei Abfallverbrennungsanlagen bestimmen die eingesetzte Menge und Zusammensetzung an Abfällen, die Feuerung, die Prozesssteuerung sowie die eingesetzte Minderungstechnologie die Art, Menge und Zusammensetzung der anfallenden Aschen und Schlacken und sonstigen Rückstände.

Output dieser Anlagen sind das Rauchgas, das Abwasser, Aschen und Schlacken der Abfallverbrennung sowie Abfälle aus der Rauchgasreinigung und der Abwasserreinigung.

Bis Ende 2004 lag die maximale Behandlungskapazität der großen Abfallverbrennungsanlagen zur Verbrennung von Siedlungsabfällen und der heizwertreichen Fraktion bei rund 1,6 Mio. t/a. Im Jahr 2003 fielen aus der Verbrennung von Siedlungsabfällen (ohne Anlagen zur Verbrennung von gefährlichem Abfall) rund 190.000 t Grobasche (Schlacke) und 88.000 t Flugasche an. Diese Mengen dürften sich bis zum Jahr 2010 auf rund 314.000 t/a Grobasche (Schlacke) und rund 170.000 t/a Flugasche erhöhen.

Abfallverbrennungsanlagen sind in Österreich dahingehend konzipiert, als Senke für Abfälle zu dienen, d. h. das Volumen der Abfälle zu reduzieren, eine weitestgehende Zerstörung und eine möglichst effektive Aufkonzentrierung von Schadstoffen zu gewährleisten und – als „Mehrwert“ – die im Abfall enthaltene Energie zu nutzen (= Stand der Technik).

Das Konzept sieht gemäß dem Vorsorgeprinzip für die durchschnittliche Abfallzusammensetzung eine gewisse Überdimensionierung der Abscheidenvorrichtungen vor, um damit auch für den Fall von unvorhersehbaren (und im praktischen Betrieb auch häufig auftretenden) Schadstoffspitzen, bzw. von ungünstigen Bedingungen im Feuerraum niedrige Emissionen in Luft und Wasser zu garantieren.

Die separate Sammlung von Altstoffen und biogenen Bestandteilen hatte die stoffliche Nutzung dieser Fraktionen zum Ziel, ebenso wie die Verminderung von Metallen in der Grobasche von Abfallverbrennungsanlagen. Sie dient aber auch der Vermeidung von Emissionen bzw. der Verminderung von Emissionsspitzen – z. B. durch getrennte Sammlung und Behandlung von Batterien.

In Österreich ist es aus Gründen des Vorsorgeprinzips (keine Verteilung von Schadstoffen) vom Gesetzgeber erwünscht und gängige Praxis, dass Abfälle und Rückstände aus Abfallverbrennungsanlagen deponiert werden. Darüber hinaus herrscht in Österreich auch kein Mangel an Rohstoffen für den Hoch- und Tiefbau, so dass von Seiten der Bauwirtschaft kein Bedarf an Abfallverbrennungsrückständen besteht.

Dementsprechend werden Grobaschen (gegebenenfalls nach einer Vorbehandlung, wie z. B. Alterung, Verfestigung) auf geeigneten Deponien (mit Basisabdichtung, Sickerwassererfassung und Oberflächenabdichtung) abgelagert. Flugaschen werden aufgrund der höheren Schadstoffbelastung in jedem Fall vorbehandelt und auf geeigneten Deponien abgelagert. In einigen Fällen wird hoch belastete Flugasche bzw. werden Flugaschefraktionen (z. B. die Feinstfraktion) auch exportiert und untertage deponiert. Gips aus der Rauchgasreinigung wird in der Regel vor der Ablagerung mit der Grobasche vermischt, in einigen Fällen wird Gips auch in der Bauindustrie eingesetzt. Der Filterkuchen aus der Abwasserreinigung wird untertage deponiert.

Eine Verringerung der Schadstoffbelastung der Rückstände und Abfälle aus der Abfallverbrennung (Gesamtgehalte und Elutionsverhalten) und damit eine Verbesserung des Deponieverhaltens können im Wesentlichen durch zwei Maßnahmen erfolgen:

- Verringerung der Schadstoffe im zu verbrennenden Abfall (siehe unten).
- Behandlung der Rückstände mit dem Ziel der Entfernung (eventuell verbunden mit Wiedergewinnung einzelner Schwermetalle) oder der Immobilisierung der Schadstoffe.



Siedlungsabfälle

Aufgrund der Eigenschaften und der heterogenen Zusammensetzung von Siedlungsabfall sowie der auftretenden Schadstoffspitzen im Restmüll kommt es bei einigen Chargen der Flug- und Grobaschen zu Grenzwertüberschreitungen für die Ablagerung auf einer Reststoffdeponie (v. a. für pH-Wert, Leitfähigkeit, Abdampfdruckstand, Cd, Zn, Pb).

Analysen der Zusammensetzung von Restmüll in Deutschland nach Fraktionen und Elementen lassen auch für Österreich den Schluss zu, dass

- der Schwermetallgehalt des Restmülls in bedeutendem Umfang auf das Vorhandensein von Elektronikschrott und Batterien im Restabfall zurückzuführen ist,
- metallisches Aluminium in Form von (Verbund)-Verpackungsmaterial in den Restmüll gelangt und
- für Chlor im Restmüll PVC-Abfälle eine bedeutende Quelle sind (wobei PVC-Additive auch einen wesentlichen Beitrag zur Schwermetallbelastung des Restmüll leisten).

Einzelne Schadstoffe können gewissen Produkten zugeordnet werden:

Cadmium ist im Wesentlichen in Nickel-Cadmium-Batterien und -Akkus zu finden, Quecksilber in Batterien, quecksilberhaltigen Messinstrumenten, Beleuchtungskörpern und Relais, metallisches Aluminium in aluminiumhaltigen (Verbund)verpackungen.

Ob für aluminiumhaltige Verbundverpackungen und die verschiedenen Anwendungen von PVC effiziente Alternativen entwickelt werden könnten, entwickelt werden oder bereits zur Verfügung stehen, konnte in dieser Studie nicht geklärt werden. Hier müsste die Informationsbasis noch verbessert werden. Das Gleiche gilt für die Identifikation von weiteren Produkten, die für den Schwermetallgehalt im Restabfall mitverantwortlich sind.

Anhand der zur Verfügung stehenden Daten wird abgeschätzt, dass sich ca. 70 % des Cd-Gehaltes und ca. 35 % des Hg-Gehaltes im Abfall vermeiden lassen. Dies sollte zu einer entsprechenden Verringerung der Mittelwerte des Cd- und Hg-Gehaltes vor allem in den Flugaschen führen. Für die anderen Schwermetalle, in erster Linie Blei, Kupfer und Zink wird ein Vermeidungspotenzial von 20 % gesehen. Der verringerte Gehalt von Blei und Zink würde eine Verbesserung der Flugaschequalität (jeweils auf den Mittelwert bezogen), der verringerte Kupfergehalt eine Verbesserung der Schlackequalität bewirken.

Das Minderungspotenzial für die eingangseitige Entfrachtung ist jedoch durch die undefinierte Zusammensetzung des Restmülls und den Umstand, dass sich ein wesentlicher Anteil der Schadstoffe (Schwermetalle) in der Feinfraktion befindet, beschränkt.

Bezüglich der Schwermetalle und des Aluminiums wäre in der Praxis zu prüfen, inwieweit eine verstärkte eingangseitige Entfrachtung eine Verbesserung des Deponieverhaltens bewirken kann.

Über die Verbesserung der Asche/Schlackequalität hinausgehend kann der zusätzliche Nutzen einer Entfrachtung des Siedlungsabfalles aus Sicht der Abfall- und Kreislaufwirtschaft wie folgt zusammengefasst werden:

- Im verringerten Verbrauch von Primärressourcen (Materialien und Energie),
- in der Verringerung der mit dem Ressourcenabbau und der Abfallbehandlung verbundenen Emissionen,
- und – bei weitgehendem Ersatz der Schwermetalle – in der verringerten Emission und Dissipation von Schadstoffen während des gesamten Lebenszyklus der involvierten Konsumgüter.

Hoch belastete Abfälle aus Industrie und Gewerbe

Aufgrund der Zusammensetzung und der hohen Schwermetall-Belastung einiger industrieller und gewerblicher Abfallfraktionen (z. B. der Shredderleichtfraktion) führt eine gemeinsame Verbrennung mit anderen Abfallarten zu einer Verschlechterung der Aschen- und Schlackenqualität, unter gewissen Bedingungen können dann Deponiegrenzwerte nicht mehr eingehalten werden. Zusätzlich würde bei einer stärkeren Entfrachtung von Abfällen ein neuer (hoch belasteter) Abfallstrom entstehen, welcher behandelt werden muss.

Mögliche Lösungen könnten sein:

- Getrennthalten von belasteten Abfällen vor der Anlieferung zur Verbrennungsanlage und eigene (nicht-thermische) Behandlung.
- Verbrennung von hoch belasteten Abfällen in einer eigenen Anlage inklusive Behandlung der anfallenden Rückstände und Rückgewinnung einiger Schwermetalle.
- Ausgangsseitige Entfrachtung oder Fixierung von Schadstoffen bei hohem Eintrag in die Verbrennungsanlage (z. B. Shredderleichtfraktion) inklusive Rückgewinnung einiger Schwermetalle.
- Verglasung von Rückständen.

Es wird vorgeschlagen, vergleichende Analysen der möglichen Techniken unter Berücksichtigung des Vorsorgeprinzips und einer integrierten Betrachtung durchzuführen.

Im Rahmen dieser Analyse soll u. a. der Effekt von Abfallströmen, die seit 1.1. 2004 zusätzlich zur Verbrennung gelangen, auf die Zusammensetzung und auf das Eluatverhalten der entstehenden Abfälle/Rückstände genau dargestellt werden und vorliegende Betriebserfahrungen für vielversprechende Behandlungsverfahren evaluiert werden.

Als **Vermeidungs- und Verwertungsmaßnahmen für die Restabfallverbrennung** werden folgende vorgeschlagen:

- Unterstützung der Einführung der Elektroaltgeräteverordnung durch Informations- und Motivationskampagnen zur Nutzung
 - der neu einzuführenden Sammelsysteme und
 - der bestehenden Sammelsysteme für Batterien und Metall-(Verbund)-Verpackungen.
- Übertragung der Erfahrungen des Reparaturnetzwerkes Wien auf ganz Österreich.
- Information über Möglichkeiten zur getrennten Sammlung von Elektronikschrott aus Kleinteilen.



- Verringerte Verwendung von batteriehaltigem (Billig)spielzeug, Werbegeschenken und Glückwunschpostkarten.
- Maßnahmen betreffend das Nicht-Inverkehr-Bringen solcher Produkte (z. B. durch Besteuerung, freiwillige Vereinbarungen, Verbote bestimmter schadstoffhaltiger Anteile).
- Limitierung des Cadmiumgehaltes auf 20 mg/kg und des Quecksilbergehaltes auf 5 mg/kg in allen Batterie- und Akkumulatortypen in allen Anwendungen, für die es effiziente Alternativen gibt.
- Information über und Motivation zur Nutzung von quecksilberfreien Bauteilen und Geräten.
- Studien über Möglichkeiten, Aluminium als Material in Verbundverpackungen und PVC zu ersetzen.

Zusätzlich werden aufgrund der schlechten Datenlage zu Art und Zusammensetzung bestimmter Abfallfraktionen (v. a. aus Industrie und Gewerbe) und der bei der Verbrennung anfallenden Aschen und Schlacken **folgende Bestandsaufnahmen und Analysen empfohlen:**

- Bestandsaufnahme über Art und Zusammensetzung bestimmter Abfallfraktionen und unter Berücksichtigung der jeweiligen Anlagentechnologien, Art und Zusammensetzung von Aschen und Schlacken aus der Abfallverbrennung.
- Evaluieren der Zusammenhänge zwischen Schadstoffgehalten in Konsumgütern (Produkten) und den in den Verbrennungsanlagen eingesetzten Abfällen.

Mitverbrennung von Abfällen

Zu den Anlagen, die im Zuge der Energieerzeugung oder der Produktion stofflicher Erzeugnisse auch Abfälle verbrennen, gehören u. a.:

- Kraftwerke und Biomasse(heiz)kraftwerke,
- Wirbelschichtfeuerungen der Papier- und Zellstoffindustrie,
- Anlagen der Span- und Faserplattenindustrie sowie der Holzindustrie,
- Zementwerke.

Durch den Einsatz von Abfällen als Brennstoff kann es zur Anreicherung bzw. Emission von Schwermetallen und anderen Elementen kommen.

Kraftwerke und Biomasse(heiz)kraftwerke: Die Mitverbrennung von festen Abfällen kann aufgrund des Aschegehaltes und der daraus resultierenden Notwendigkeit des Ascheaustrages nur in Kohlekraftwerken und Biomasse(heiz)kraftwerken erfolgen. Deponiegas und Altöle können dagegen auch in erdgas- bzw. ölbeheizten Kraftwerken verfeuert werden. Für diese Studie wird nur die Mitverbrennung von festen Abfällen in Kraftwerken als relevant betrachtet.

Derzeit werden an den Kohlekraftwerksstandorten Mellach (Klärschlamm), Timelkam II (Klärschlamm, Tiermehl, Tierfett) und Riedersbach (Klärschlamm, Tiermehl, Tierfett, Schleifstaub, Lederabfälle etc.) Abfälle mitverbrannt.

In zahlreichen derzeit genehmigten und in Bau befindlichen Anlagen zur Verbrennung von Biomasse ist die Mitverbrennung von Abfällen (mit hohem biogenem Anteil) geplant.

Eine Abschätzung der aus der Mitverbrennung resultierenden Rückstände ist anhand der verfügbaren Daten nicht möglich. Dazu würden genaue Angaben zu Art und Menge der mitverbrannten Abfälle benötigt (insbesondere Aschegehalt der einzelnen Fraktionen).

Eine Voraussetzung für die Mitverbrennung von Biomasse und Abfällen in kalorischen Kraftwerken und Biomasse(heiz)kraftwerken ist die Kenntnis der Herkunft, der physikalischen und der chemischen Zusammensetzung und der gefahrenrelevanten Eigenschaften der mitverbrannten Abfälle.

Die Zusammensetzung und die Eigenschaften von Abfällen und Biomasse müssen durch eine eingehende Prüfung (hier kann z. B. auf die ÖNORMEN S 2110 und Serie S 2123 zurückgegriffen werden) bei jeder Erstlieferung ermittelt werden, und soll u. a. folgende Parameter umfassen: Name und Adresse des Anlieferers, Masse des Abfalles, Abfallbesitzer und Herkunft des Abfalles, Wasser- und Aschegehalt, Heizwert, Gehalt an Chloriden, Fluoriden, Schwefel und Schwermetallen. Durch regelmäßige Kontrollen der Abfälle sollte die Einhaltung der gleich bleibenden Qualität in Bezug auf oben erwähnte Parameter überprüft werden. Für Biomasse können entsprechende Erleichterungen bei den Folgekontrollen gewährt werden. Es ist aber auf jeden Fall sicherzustellen, dass nur unbehandelte Holzabfälle bzw. Holzabfälle, welche nicht mit schwermetallhaltigen oder halogenorganischen Mitteln behandelt wurden, mitverbrannt werden.

Bei der Mitverbrennung von Abfällen in Kohlekraftwerken kommt es infolge der Minderung von Luftemissionen nach dem Stand der Technik in Abhängigkeit von der Menge und der Zusammensetzung der eingesetzten Abfälle im Vergleich zur reinen Kohleverbrennung zu einer stärkeren Belastung des Abwassers aus der Rauchgaswäsche und der Asche aus der trockenen Abscheidung.

Bei der Grob- und Flugasche ist im Vergleich zur reinen Kohlefeuerung mit höheren Gehalten an Cl, P und Schwermetallen zu rechnen.

Aus der Sicht eines vorsorgenden Umweltschutzes darf sich die Qualität der Aschen und des REA-Gipses durch die Mitverbrennung nicht verschlechtern, um bestehende Möglichkeiten der Weitergabe an die Zement- und Baustoffindustrie weiterhin nutzen zu können. Durch diese Forderung können in der Regel nur Abfallfraktionen, deren Zusammensetzung (z. B. hinsichtlich Schwermetallen) ähnlich der von Kohle ist und vergleichbar geringen Schwankungen unterliegt, mitverbrannt werden. Die Beibehaltung der Verwendungswege der Grob- und Flugaschen liegt aus wirtschaftlichen Gründen auch im Interesse der Kraftwerks- bzw Anlagenbetreiber.

Üblicherweise wird die Zusammensetzung der Abfälle kontrolliert bzw. der Abfalleinsatz auf wenige Prozent beschränkt. Allerdings führt eine rein mengenmäßige Beschränkung des Abfalleinsatzes aufgrund der – im Vergleich zu Abfallverbrennungsanlagen – nicht vorhandenen oder weniger effektiven Senken zu einer Verteilung von bestimmten Schadstoffen in Luft, Wasser, festen Abfällen und gegebenenfalls Produkten (auch unter Einhaltung von Normen und Emissionsgrenzwerten).

Es wird empfohlen, Grenzwerte für die Schadstoffgehalte in den als Ersatzbrennstoffen eingesetzten Abfällen festzulegen.

In den **Wirbelschichtkesseln der Zellstoff- und Papierindustrie** werden neben den im eigenen Betrieb anfallenden Schlämmen noch Steinkohle, Braunkohlebricketts, Biogas, Erdgas, Heizöl schwer, Rinde, Späne und in einigen Fällen auch Abfälle verbrannt. Teilweise werden auch externe Abfälle zur Verbrennung übernommen.

Die Abscheidung saurer Gase mittels Kalk- oder Kalkhydratdosierung wird nicht nur im Hinblick auf die Reinhaltung der Luft, sondern v. a. auf die mögliche Weiterverwendung der Aschen in der Baustoffindustrie hin betrieben.

Die Konzentration von Schwermetallen in der Flugasche wird maßgeblich vom Prozentsatz des mitverbrannten Holzes bestimmt.

In der Zellstoff- und Papierindustrie werden die festen Abfälle bzw. Rückstände aus der Verbrennung deponiert, als Zusatzstoff zur Rückverfüllung verwendet oder an die Baustoffindustrie abgegeben.

Je nach Art der Behandlung werden unterschiedliche Parameter zur Beurteilung der Eignung herangezogen (z. B. Grenzwerte laut Deponieverordnung, die Gehalte an Al-Silikaten, CaO, Cl, Glühverlust, Pb, Cd, Zn im Fall der Weitergabe an die Baustoffindustrie).

Die Parameter CaO, Cl, Sulfatgehalt und Glühverlust, sowie mechanische und physikalische Parameter sind für das Endprodukt (z. B. Zement) selbst festgelegt. Mangels allgemein gültiger Normen kommt es zwischen der Baustoffindustrie und der Zellstoff- und Papierindustrie zu freien Vereinbarungen hinsichtlich der Zusammensetzung und oberer Gehalte an bestimmten Schadstoffen in den Aschen.

Es wird empfohlen, Grenzwerte für die Schadstoffgehalte in den als Ersatzbrennstoffen eingesetzten Abfällen festzulegen.

Eingesetzte Brennstoffe in den **Wirbelschichtkesseln der Spanplattenindustrie** sind Rinde, unbehandelte und behandelte Holzabfälle, Papier und Pappe, Altpapierreject, Kunststoffverpackungen und -folien, Klärschlämme, diverse Reststoffe und Produktionsabfälle.

Menge und Zusammensetzung der bei der thermischen Behandlung anfallenden Rückstände/Abfälle sind durch die eingesetzten Brennstoffe und das zur Rauchgasreinigung vorgesehene und eingebrachte Additiv bedingt.

Es wird empfohlen Grenzwerte für die Schadstoffgehalte in den als Ersatzbrennstoffen eingesetzten Abfällen festzulegen.

Als **Vermeidungs- und Verwertungsmaßnahmen in Bezug auf die Aschen und Schlacken aus der Mitverbrennung** in den beschriebenen Anlagen werden folgende vorgeschlagen:

- Stand der Technik bei der Verbrennung und bei der Rauchgasreinigung – auch in Hinblick auf Einsetzbarkeit der Rückstände. Berücksichtigung der entsprechenden BAT Reference Dokumente.
- Einsatz von hochwertigen Kohlesorten (v. a. hinsichtlich Heizwert und Schadstoffgehalt).
- Detaillierte Ausgestaltung der Verpflichtungen bei der Eingangskontrolle von Abfällen zur Mitverbrennung.

- Eingangsbeschränkung für bestimmte Schadstoffe in Ersatzbrennstoffen, wobei vom BMLFUW bereits ein Arbeitskreis zur Festlegung von Schwermetallgehalten in den eingesetzten Abfällen eingerichtet wurde.
- Mitverbrennung von Abfällen mit folgenden Eigenschaften:
 - Geringe Schadstoffgehalte der eingesetzten Abfälle,
 - geringe Schwankungen der Zusammensetzung,
 - kontrollierbare Zusammensetzung,
 - keine Störung der Verbrennung und des Ausbrands,
 - geringes Korrosionsverhalten.

Zusätzlich werden aufgrund der schlechten Datenlage zu Art und Zusammensetzung bestimmter Abfallfraktionen und der bei der Verbrennung anfallenden Aschen und Schlacken **folgende Bestandsaufnahmen und Analysen empfohlen:**

- Bestandsaufnahme über Art und Zusammensetzung bestimmter Abfallfraktionen und unter Berücksichtigung der jeweiligen Anlagentechnologien, Art und Zusammensetzung von Aschen und Schlacken aus der Abfallmitverbrennung.
- Evaluieren der Zusammenhänge zwischen Schadstoffgehalten in Produkten und den in den Mitverbrennungsanlagen eingesetzten Abfällen.

Kraftwerke und Biomasse(heiz)kraftwerke

Bei der Verbrennung von Kohle, Biomasse und in geringerem Umfang von Heizöl schwer, fallen feste Abfälle und Rückstände an.

Die Liberalisierung am Strommarkt, die Entwicklung der Brennstoff- und Strompreise und der wachsende Bedarf an Strom haben in den letzten Jahren zu massiven Veränderungen des Kraftwerksparks, der Betriebsweise und der Einsatzzeiten von Kraftwerken geführt. So sind einige Kohlekraftwerke konserviert worden, im Gegenzug dazu kam es zu einer dramatischen Steigerung des Kohleeinsatzes bei den verbleibenden Kraftwerken.

Eine Minderung der Schwermetallgehalte der Rückstände aus der **Kohleverbrennung** wird durch den Einsatz von „sauberen“ Kohlen mit hohem Heizwert erzielt, wobei der Aschegehalt für die Konzentration der Schadstoffe der entscheidende Parameter ist. Eine Reinigung der Kohle vor der Verbrennung erfolgt im Allgemeinen nicht.

Stand der Technik ist der Betrieb und die Konzeption der Feuerung und der Rauchgasreinigungsanlagen in der Art, dass die Zusammensetzung der Aschen und des REA-Gipses den Qualitätsanforderungen für den Einsatz in der Zement- und Baustoffindustrie entspricht.

Unter der Voraussetzung, dass sich die Eigenschaften des Zements bzw. der Baustoffe (wichtige Parameter sind u. a. der Glühverlust, der Gehalt an Chloriden und der Gehalt an freiem CaO) durch die Zugabe von Kraftwerksrückständen verbessern (z. B. Erhöhung der Langzeitfestigkeit) oder zumindest nicht ändern und keine Anreicherung an Schadstoffen (Schwermetalle) im Endprodukt stattfindet, bestehen folgende Wiederverwendungsmöglichkeiten:

- Einsatz von Gips (Entschwefelungsprodukt aus der nassen Rauchgaswäsche) nach der Trocknung und Entwässerung in der Zement- und Baustoffindustrie.



- Einsatz von Grobasche in der Ziegelindustrie.
- Einsatz von Flugasche als Betonzusatzstoff sowie als Rohmehlbestandteil und/oder Zuschlagstoff in der Zementindustrie.

Der Filterkuchen aus der Abwasserreinigungsanlage ist wegen der hohen Schadstoffbelastung im Regelfall entsprechend dem Stand der Technik zu deponieren.

Abfälle, welche aufgrund ihrer Zusammensetzung keiner weiteren Behandlung zugeführt werden können, sind nach dem Stand der Technik zu deponieren.

Aufgrund des hohen Ca, Mg, K, Na und Phosphorgehaltes, kann Grobasche aus der Verbrennung von **Biomasse** (Rinde und Hackgut) als Düngemittel eingesetzt werden. Wegen der hohen Gehalte an Alkalimetallen und Chloriden ist ein Einsatz als Zuschlagstoff für Zement- und Baustoffe in der Regel nicht möglich.

Die prinzipiellen Ascheverwertungsmöglichkeiten sind daher:

- Aufbringung auf Acker- und Grünland,
- Aufbringung auf Waldflächen,
- Zuschlagstoff zu Kompostieranlagen.

Prinzipiell darf nur die Asche aus der Verbrennung von unbehandelter Biomasse als Düngemittel verwendet werden. Für die Aufbringung der Aschen auf Acker- und Grünland, bzw. auf Waldflächen gelten Grenzwerte, die später auch in die Kompostverordnung übernommen wurden.

Im Allgemeinen erfüllen Grobaschen aus der Holzfeuerung die Voraussetzungen der Kompostverordnung und können daher als Zuschlagstoffe für die Herstellung von Komposten eingesetzt werden. Im Gegensatz zu den Grobaschen sind Zyklonaschen und Feinstflugaschen aufgrund der festgestellten hohen Schwermetallgehalte nicht für Dünge Zwecke oder Kompostzuschläge geeignet.

Grobaschen, welche nicht als Düngemittel eingesetzt werden (können) und Zyklonaschen können nach Absenkung des pH-Wertes auf Reststoff- oder Massenabfalldeponien deponiert werden, vorausgesetzt die entsprechenden Schwermetallgehalte und Abdampfdruckstände liegen unter den Grenzwerten.

Grobaschen und Zyklonaschen mit Schwermetallgehalten, die über den Deponiegrenzwerten liegen, müssen behandelt oder untertägig deponiert werden.

Feinstflugasche muss aufgrund des hohen Schwermetallgehaltes in jedem Fall aus dem Recyclingkreislauf ausgeschleust werden. Ob nach entsprechender Behandlung eine Deponierung auf einer Reststoffdeponie möglich ist, muss geprüft werden. Wenn die Grenzwerte der Reststoffdeponie auch nach Behandlung nicht eingehalten werden, ist die Feinstflugasche untertägig zu deponieren.

Metallindustrie

Abfälle/Reststoffe aus der Metallindustrie sind Aschen, Schlacken und Stäube. Diese sind kaum vermeidbar, weil sie prozessbedingt anfallen, können aber teilweise vermindert werden.

Der Schadstoffgehalt der Abfälle/Reststoffe reichert sich im Produktionsprozess an, ist jedoch durch den Produktionsprozess (z. B. Einsatz von Schrott im geeigneten Ofen bzw. in geeigneter Prozessstufe) sowie durch die Einsatzstoffe (sortierte, teilweise behandelte Schrotte, Erze) beeinflussbar. Aschen, Schlacken und Stäube der Metallindustrie zeichnen sich durch einen relativ hohen Schwermetallanteil aus, teilweise weisen sie auch einen hohen Anteil an organischen Verbindungen (POPs) auf.

Stäube aus der Metallindustrie stellen eine gewünschte Senke für POPs und Schwermetalle dar und sollten gesichert deponiert und damit dem Stoffkreislauf entzogen werden.

Eisen- und Stahlindustrie

In der Eisen- und Stahlindustrie fallen große Mengen an Aschen, Schlacken und Stäube, sowie Walzzunder und Schlämme an. Der Anfall von Hochofen- und Konverterschlacke betrug 2003 in Österreich über 2.000.000 t/a.

Aschen, Schlacken, Stäube, Walzzunder und Schlämme sind kaum vermeidbar weil sie prozessbedingt anfallen.

Problematisch für die weitere Behandlung sind der Ölgehalt im Walzzunder sowie POPs und Schwermetalle (u. a. Zn, Pb, Cr, Ni, V) in Stäuben und Schlämmen.

Neben der chemischen Zusammensetzung ist die Auslaugbarkeit von umweltgefährdenden Inhaltsstoffen von Bedeutung. Die chemische Zusammensetzung der Schlacke (Hochofenschlacke, Konverterschlacke, Elektroofenschlacke) ist stark vom jeweiligen Stahlerzeugungsverfahren sowie den Zuschlagstoffen etc. abhängig. Die Eisen- und Stahlindustrie betreibt die Produktion von Eisen und Stahl auch im Hinblick auf die Qualität der Schlacken.

Die hohen Recyclingquoten sowohl hütteninterner Abfälle/Reststoffe (Stäube, Zunder und Schlämme) als auch externer Abfälle/Reststoffe (Schrotte), führen zu unerwünschten Anreicherungen von Begleitelementen, v. a. von Schwermetallen (Zn, Pb).

Der Zinkeintrag in ein integriertes Hüttenwerk beträgt ca. 0,4 kg/t Rohstahl. Haupteintragsquelle ist der verzinkte Schrott.

Für die Behandlung von Stäuben und Schlämmen sind die Zn/Pb-Konzentrationen ausschlaggebend. Ohne Aufarbeitung wieder verwertet können nur Stäube und Schlämme mit einem Zn-Gehalt bis ca. 0,2 % werden. Liegt der Zn-Gehalt darüber, wird der Staub deponiert oder insofern behandelt, dass Zink im Staub aufkonzentriert wird. Bei einem Zn-Gehalt von ca. 20 % kann der Staub einer externen Verwertung des Zinks zugeführt werden.

Bei Walzzunder ist der Ölgehalt ausschlaggebend für die weitere Behandlung. Eine direkte Behandlung auf der Sinteranlage ist nur bei Ölgehalten bis ca. 0,1 % möglich. Walzzunder mit einem Ölgehalt bis ca. 2 % können im Hochofen eingesetzt werden. Bei höheren Gehalten muss der Zunder entsprechend behandelt oder sicher deponiert werden.



Zur **Vermeidung und Verwertung von Abfällen/Reststoffen der Eisen- und Stahlindustrie** werden folgende Maßnahmen vorgeschlagen:

- Anwendung des Standes der Technik: z. B. Anpassung der österreichischen Verordnungen an das BAT Reference Dokument „Eisen und Stahl“ bzw. an die deutsche TA-Luft:
 - Produktion (Optimierung für Eisen/Stahl und Schlacken),
 - Abfallbehandlung,
 - Abgas, Abwasser.
- Auswahl geeigneter Rohstoffe und Schrotte für den Einsatz in den Prozessstufen zur Roheisen- und Stahlherstellung.
- Gesicherte Senken für schadstoffbelastete Abfälle/Reststoffe.
- Abfallwirtschaftskonzept soll Angaben über eine etwaige interne Schrottvorbereitung sowie die Qualität der behandelten Schrotte enthalten.
- Wenn keine Vermeidung oder Verwertung möglich ist, soll eine kontrollierte Deponierung erfolgen. Dabei sollte auf eine Minimierung dieser Mengen Bedacht genommen werden.
- Hüttenintern anfallende Stäube, Schlämme und Zunder sollten soweit möglich einer direkten Verwertung in den bestehenden metallurgischen Prozessen (z. B. Sinteranlage, Hochofen, BOF, EAF) zugeführt werden, da dadurch insbesondere die eisenreiche Fraktion verwertet werden kann.
- Ist ein direkter Wiedereinsatz nicht möglich – v. a. bei stark ölkontaminierten Eisenträgern (Walzzunder, Schrott) bzw. mit Zink und Blei angereicherten Stäuben und Schlämmen – sollte geprüft werden, ob (externe) Behandlungsverfahren eingesetzt werden können, die eine Verwertung ermöglichen (u. a. selektive Auftrennung von Stäuben und Schlämmen in eine Fe- und eine Zn/Pb-reiche Fraktion; Entölung und Trocknung von Walzzunder). Dabei sollte eine Verlagerung von einem Medium auf ein anderes soweit wie möglich vermieden, und dort wo dies nicht möglich ist, vermindert werden, um ein hohes Schutzniveau für die Umwelt insgesamt zu erreichen (integrierte Betrachtung).
- Eine hüttenexterne Nutzung von Schlacken ist durch geeignete Prozessführung zu forcieren, um eine Deponierung zu vermeiden.

Sekundäraluminiumproduktion

Typische Rückstände bzw. Abfälle der Sekundäraluminiumproduktion sind Salzschlacken, Filterstäube, Krätze und Ofenausbruch. Diese weisen einen hohen Schwermetallgehalt, teilweise einen hohen Anteil an Salzen (Salzschlacke) und teilweise einen hohen Anteil an organischen Verbindungen auf.

Die Abfälle der Sekundäraluminiumproduktion sind kaum vermeidbar, weil sie prozessbedingt anfallen, die anfallenden Mengen können jedoch vermindert werden. Die Quantität der Rückstände bzw. Abfälle ist stark von den Einsatzmaterialien und der gewünschten Produktqualität (Aluminium) abhängig.

Bei der Sekundäraluminiumproduktion muss der unterschiedliche Schrotteinsatz in den einzelnen Schmelzöfen berücksichtigt werden. Die wesentlichen Kriterien für die Zuordnung der Einsatzmaterialien zum best geeigneten Schmelzaggregat sind die Verunreinigungen der Rohstoffe bzw. Abfälle durch Oxide, anhaftendes Eisen und organisches Fremdmaterial, der Magnesiumgehalt, Abmessungen der eingesetzten Schrotte und der Legierungswechsel pro Tag.

Mögliche Vermeidungs- und Verwertungsmaßnahmen von Abfällen bzw. Rückständen der Sekundäraluminiumproduktion sind folgende:

- Getrennte, sortenreine Erfassung von Schrotten.
- Verbesserte Schrottaufbereitung dahingehend, dass der Verbrauch von Abdecksalz reduziert wird bzw. das Umschmelzen von Sekundäraluminium in Herd- oder Induktionsöfen möglich ist.
- Anwendung des Standes der Technik: z. B. Anpassung der österreichischen Nichteisenmetallverordnung an das BAT Dokument „Nichteisenmetalle“ bzw. an die deutsche TA-Luft:
 - Produktion:
 - Einsatz von Schrotten in geeignetem Schmelzaggregat (Drehtrommelofen, Dreh-Kippofen, Closed-well-Ofen etc.).
 - *Vermeidung* eines Salzeinsatzes, damit verbunden ist die Vermeidung des Salzschlackeanfalls (das optimale Schmelzaggregat dafür ist der Closed-well-Ofen).
 - *Verminderung* des Salzeinsatzes, damit verbunden ist ein geringerer Salzschlackeanfall (Schmelzaggregat dafür ist der Dreh-Kippofen).
 - Abfallbehandlung gemäß Stand der Technik (unter Berücksichtigung der Emissionen in Luft, Wasser und Boden):
 - Behandlung der anfallenden Salzschlacke mittels Löse-Kristallisationsverfahren (Rückgewinnung von Mischsalz, Al-granulat, nicht metallische Produkte).
 - Abgas, Abwasser: Behandlung gemäß Stand der Technik.
- Das Abfallwirtschaftskonzept soll Angaben über eine etwaige interne Schrottvorbehandlung sowie die Qualität der behandelten Schrotte enthalten.
- Wenn keine Vermeidung oder Verwertung möglich ist, soll eine kontrollierte Deponierung erfolgen. Dabei sollte auf eine Minimierung dieser Mengen Bedacht genommen werden.

Sekundärkupferproduktion

Rückstände bzw. Abfälle der Sekundärkupferproduktion sind Schlacken (Schachtofenschlacke, Konverterschlacke, Anodenofenschlacke), Filterstäube (Schachtofenstaub, Konverterstaub, Anodenstaub) und Ofenausbruch.

Diese weisen einen hohen Schwermetallgehalt und teilweise einen hohen Anteil an org. Verbindungen auf.

Filterstäube des Anodenofens und Schlacken des Konverters und Anodenofens der Sekundärkupferindustrie werden intern im Schachtofen wieder eingesetzt. Filterstäube des Schachtofens und des Konverters weisen jedoch einen sehr hohen Schwermetallgehalt (Zn, Pb) und einen zu geringen Cu-Gehalt für einen Wiedereinsatz im Schachtofen auf und werden ausgeschleust. Schachtofenschlacke wird als Sandstrahlgut verkauft.

Als **Vermeidungs- und Verwertungsmaßnahmen von Abfällen der Sekundärkupferproduktion** werden folgende vorgeschlagen:

- Getrennte, sortenreine Erfassung von Schrotten.
- Verbesserte Schrottaufbereitung.



- Anwendung des Standes der Technik: z. B. Anpassung der österreichischen Nichteisenmetallverordnung an das BAT Reference Dokument „Nichteisenmetalle“ bzw. an die deutsche TA-Luft:
 - Produktion: Schrott in geeignetem Schmelzaggregat einsetzen (Schachtofen, Konverter, Anodenofen)
 - Abfallbehandlung gemäß Stand der Technik
 - Abgas, Abwasser: Behandlung gemäß Stand der Technik.
- Das Abfallwirtschaftskonzept soll Angaben über eine etwaige interne Schrottvorbehandlung sowie die Qualität der behandelten Schrotte enthalten.
- Wenn keine Vermeidung oder Verwertung möglich ist, soll eine kontrollierte Deponierung erfolgen. Dabei sollte auf eine Minimierung dieser Mengen Bedacht genommen werden.

Zementindustrie

In der Zementindustrie werden u. a. Aschen, Schlacken und Rückstände aus der Rauchgasreinigung (REA Gips), aus anderen Industriezweigen – vor allem von Kraftwerken und aus der Eisen- und Stahlindustrie – als Sekundärroh- und Sekundärzumahlstoffe eingesetzt. Zusätzlich werden (heizwertreiche) Abfälle als Ersatzbrennstoffe verbrannt.

Der Einsatz von Aschen, Schlacken und Abfällen kann zu einer Erhöhung des Eintrags von Schwermetallen und anderen Elementen in den Zementherstellungsprozess führen.

Die im Zementherstellungsprozess bei der Verbrennung entstehenden Aschen werden im Drehrohr eingesetzt. Stäube, welche durch nachgeschaltete Filter abgedehnt oder/und mittels Bypässen abgezogen wurden, werden dem Klinker bzw. dem Zement wieder zugesetzt. Dadurch werden in Österreich alle anfallenden Aschen und Stäube intern verwendet. Allerdings kann es durch diesen internen Kreislauf zu einer Anreicherung von Schadstoffen im Produkt (Zement bzw. Beton) kommen. Die interne Verwendung der Stäube, bei geregelter Schadstoffeintrag, sollte Vorrang gegenüber einer Ausschleusung und Deponierung haben.

Die bautechnische Zusammensetzung des Zements, nicht aber die Höhe der Schwermetall- und Schadstoffgehalte im Zement, ist durch europäische und österreichische Normen geregelt. Emissionen in die Luft werden durch Verordnungen (Abfallverbrennungsverordnung, Zementanlagenverordnung) und Bescheide begrenzt.

Um die Emissionen von Schwermetallen in Umweltmedien und Produkte zu begrenzen, werden dzt. Eingangsbeschränkungen für bestimmte Schwermetalle bei Ersatzbrennstoffen erarbeitet; zudem sollten die Schadstoffgehalte in Ersatzroh- und Zumahlstoffen begrenzt werden.

Zusätzlich werden in Analogie zu Abfallverbrennungs- und Mitverbrennungsanlagen **folgende Maßnahmen empfohlen:**

- Bestandsaufnahme über Art und Zusammensetzung der in Zementanlagen eingesetzten Abfälle (Ersatzroh-, -zumahl- und Ersatzbrennstoffe) und der Zusammenhänge, mit Art und Zusammensetzung des Outputs (Klinker, Zement).
- Erhebung der Herkunft der Schadstoffgehalte von den in Zementanlagen eingesetzten Abfällen sowie deren Eigenschaften.

Maßnahmenbündel BAT – Stand der Technik bei Abfallverbrennungsanlagen	
Zielsetzung	<ul style="list-style-type: none"> ● Nutzung der Deponie als sichere und langfristige Senke für die in Aschen und Rückständen enthaltenen Schadstoffe. ● Verbesserung des Deponieverhaltens der bei der Abfallverbrennung anfallenden Aschen und Rückstände aus der Rauchgasreinigung. ● Anwendung des Standes der Technik unter Berücksichtigung des BAT Referenz Dokumentes „BAT für Abfallverbrennungsanlagen“.
Einzelmaßnahmen	<ul style="list-style-type: none"> ● Untersuchung von Optimierungsmöglichkeiten hinsichtlich des Ausbrandverhaltens. ● Auswahl der geeigneten Techniken zur Behandlung von Flug- und Grobasche sowie Rückständen aus der Rauchgasreinigung. ● Gegebenenfalls Anpassung der österreichischen Verordnungen und Bescheide an den Stand der Technik.
Allgemeine Erläuterungen des Maßnahmenbündels	<ul style="list-style-type: none"> ● Durch die Anwendung des Standes der Technik, des Vorsorgeprinzips und einer integrierten Systembetrachtung sollen Emissionen vermieden und vermindert sowie ein schonungsvoller Umgang mit Ressourcen (z. B. Energie) erzielt werden. Aschen und Rückstände aus der Rauchgasreinigung sollen möglichst getrennt behandelt werden. ● Die Schadstoffbelastung der Aschen und Rückstände kann verringert werden: <ul style="list-style-type: none"> ● durch Verringerung der Schadstoffe im zu verbrennenden Abfall, ● durch Getrennthalten von belasteten Abfällen vor der Anlieferung zur Verbrennungsanlage und ggf. deren nicht-thermische Behandlung, ● durch eine Behandlung der Aschen und Rückstände.
Erste Schritte zur Umsetzung des Maßnahmenbündels	<ul style="list-style-type: none"> ● Evaluieren des Dokumentes „BAT für Abfallverbrennungsanlagen“ hinsichtlich in Österreich zu treffender Maßnahmen. ● Bestandsaufnahme von Art und Zusammensetzung bestimmter Abfallfraktionen (z. B. heizwertreicher Fraktion, Shredderleichtfraktion). ● Bestandsaufnahme von Art und Zusammensetzung von Aschen und Schlacken aus der Abfallverbrennung, unter Berücksichtigung der eingesetzten Abfälle und der jeweiligen Anlagentechnologien. ● Analysen und Bewertung der möglichen Techniken zur Behandlung belasteter Abfälle unter Berücksichtigung des Vorsorgeprinzips und einer integrierten Betrachtung (mit Schwerpunkt auf Abfällen, welche seit 1.1.2004 zusätzlich zur Verbrennung gelangen). ● Basierend auf diesen Bestandsaufnahmen und Analysen, Erarbeitung von konkreten Maßnahmen (z. B. Vorschriften, freiwillige Vereinbarungen) zum Getrennthalten von hoch belasteten Abfällen und zur Behandlung in einer entsprechend ausgerüsteten Anlage inklusive Behandlung der anfallenden Rückstände und Rückgewinnung einiger Schwermetalle.
Einzubindende Akteure	Bund, Länder, Umweltbundesamt, Anlagenbetreiber, Interessenvertreter.
Erwartete Effizienz	<ul style="list-style-type: none"> ● Minimierung der Emissionen und der Schadstoffverteilung in die Umwelt. ● Verbesserung des Deponieverhaltens. ● Schaffung von sicheren Senken.

Maßnahmenbündel BAT – Stand der Technik bei der Mitverbrennung in Feuerungsanlagen	
Zielsetzung	<ul style="list-style-type: none"> ● Durch die Mitverbrennung von Abfällen soll es zu keiner Verschlechterung der Emissionssituation kommen. ● Bestehende Verwendungswege für Aschen und Rückstände sollen beibehalten werden. ● Lenkung von Abfallströmen zu geeigneten Anlagen durch Festlegung von Verwertungs- und Behandlungsgrundsätzen. ● Anwendung des Standes der Technik bei Mitverbrennungsanlagen.
Einzelmaßnahmen	<ul style="list-style-type: none"> ● Festlegung von Eingangsbeschränkungen für bestimmte Schadstoffe (z. B. Schwermetalle, POPs). ● Festlegung von Verpflichtungen bei der Eingangskontrolle von Abfällen zur Mitverbrennung. ● Anpassung der relevanten Verordnungen und Bescheide an den Stand der Technik unter Berücksichtigung der entsprechenden BAT Dokumente.
Allgemeine Erläuterungen des Maßnahmenbündels	<ul style="list-style-type: none"> ● Abfälle sollen in Anlagen mitverbrannt werden, welche dem Stand der Technik entsprechend ausgerüstet sind und betrieben werden. ● Der Stand der Technik umfasst Input- und Prozessoptimierung (inklusive effizienter Nutzung von Energie) sowie Abfall-, Abgas- und Abwasserbehandlung. ● Eine Optimierung des Inputs bedeutet einerseits den Einsatz von hochwertigen Brennstoffen und andererseits die Mitverbrennung von Abfällen mit folgenden Eigenschaften: <ul style="list-style-type: none"> ● Geringe Schadstoffgehalte, ● geringe Schwankungen der Zusammensetzung, ● kontrollierbare Zusammensetzung, ● keine negativen Einflüsse auf die Verbrennungsbedingungen, den Ausbrand und das Korrosionsverhalten. ● Schadstoffverlagerungen zwischen Abfallverbrennungsanlagen und -mitverbrennungsanlagen sind zu vermeiden.
Erste Schritte zur Umsetzung des Maßnahmenbündels	<ul style="list-style-type: none"> ● Erarbeiten von Eingangsbeschränkungen für bestimmte Schadstoffe (z. B. Schwermetalle, POPs) in den als Ersatzbrennstoffen eingesetzten Abfällen. ● Detaillierte Ausgestaltung der Verpflichtungen bei der Eingangskontrolle von Abfällen zur Mitverbrennung. ● Untersuchung zur Festlegung von Kriterien für Brennstoffen (z. B. Kohle, Öl). ● Überprüfung der Energieeffizienz von Mitverbrennungsanlagen. ● Bestandsaufnahme über Art und Zusammensetzung bestimmter Asche-fractionen und Auswirkungen auf bestehende Verwendungswege.
Einzubindende Akteure	Bund, Länder, Umweltbundesamt, Anlagenbetreiber, Interessenvertreter.
Erwartete Effizienz	<ul style="list-style-type: none"> ● Minimierung der Umweltbelastung durch Lenkungseffekte bei Abfallströmen. ● Minimierung der Emissionen und der Schadstoffverteilung in die Umwelt.

Maßnahmenbündel BAT – Stand der Technik bei Kraftwerken und Biomasse(heiz)kraftwerken	
Zielsetzung	<ul style="list-style-type: none"> ● Anwendung des Standes der Technik bei Kraftwerken und Biomasse(heiz)kraftwerken. ● Beibehaltung der Verwendungswege der Aschen und Rückstände aus der Kohleverbrennung in der Zement-, Ziegel- und Baustoffindustrie. ● Geregelter Einsatz von Grobasche aus der Verbrennung unbelasteter Biomasse für Düngezwecke und/oder Kompostzuschläge. ● Deponierung anderer Aschen und Rückstände aus der Verbrennung von Biomasse.
Einzelmaßnahmen	<ul style="list-style-type: none"> ● Anpassung der österreichischen Verordnungen und Bescheide an den Stand der Technik unter Berücksichtigung der relevanten BAT Referenz Dokumente. ● Schaffen von Rahmenbedingungen zur Sicherstellung einer möglichst hohen Brennstoffnutzung (z. B. durch gekoppelte Produktion von Strom und Wärme).
Allgemeine Erläuterungen des Maßnahmenbündels	<ul style="list-style-type: none"> ● Der Stand der Technik umfasst Input- und Prozessoptimierung (inklusive effizienter Nutzung von Energie) sowie Abfall-, Abgas- und Abwasserbehandlung. ● Die Sicherstellung einer möglichst hohen Brennstoffnutzung (z. B. durch die gekoppelte Produktion von Strom und Wärme) dient der Emissionsminderung und der Ressourcenschonung. ● Eine Optimierung des Inputs bedeutet den Einsatz von hochwertigen Brennstoffen (z. B. Kohle, Öl) und unbelasteter Biomasse.
Erste Schritte zur Umsetzung des Maßnahmenbündels	<ul style="list-style-type: none"> ● Asche aus der Verbrennung von Biomasse: Kontrolle der Einhaltung der Anforderungen der relevanten Richtlinien und Verordnungen (z. B. Kompostverordnung). ● Untersuchung zur Festlegung von Kriterien für Brennstoffe (z. B. Kohle, Öl). ● Überprüfung der Energieeffizienz von Kraftwerken und Biomasse-(heiz)kraftwerken.
Einzubindende Akteure	Bund, Länder, Umweltbundesamt, Anlagenbetreiber, Interessenvertreter.
Erwartete Effizienz	<ul style="list-style-type: none"> ● Minimierung der Emissionen und der Schadstoffverteilung in die Umwelt. ● Schaffung von sicheren Senken für hoch belastete Aschen und Rückstände aus der Verbrennung.

Maßnahmenbündel BAT – Stand der Technik in der Eisen- und Stahlindustrie	
Zielsetzung	<ul style="list-style-type: none"> ● Detaillierte Information insbesondere über Zusammensetzung und Mengen der in Österreich anfallenden Schlacken. ● Verringerung der Umweltbelastung durch Emissionsminderung nach Stand der Technik (v. a. Staub) und optimale Verwertungs-/Behandlungsoptionen für Schlacken, Stäube, Zunder und Schlämme. ● Sichere Senken für schadstoffbelastete Fraktionen. Dabei sollte auf eine Minimierung der Mengen Bedacht genommen werden.
Einzelmaßnahmen	<ul style="list-style-type: none"> ● Evaluierung der anfallenden Schlackenmengen (HO, Konverter, EAF), deren Zusammensetzung (Schadstoffgehalt, Auslaugbarkeit ...) sowie deren weiterer Behandlung (interne/externe Verwertung, Deponierung). ● Untersuchung der Einsatzmöglichkeiten der einzelnen Schlackenarten und deren Eigenschaften (Elutionsverhalten) und Schadstoffgehalte. ● Evaluierung der Menge der anfallenden Stäube, der Zusammensetzung sowie deren weiterer Behandlungsoptionen (interne/externe Verwertung, Deponierung). ● Erhebung und Bewertung der Behandlungsoptionen für Walzzunder und Schlämme.
Allgemeine Erläuterungen des Maßnahmenbündels	<ul style="list-style-type: none"> ● Der Stand der Technik umfasst: Inputoptimierung, Prozessoptimierung sowie Abfall-, Abgas- und Abwasserbehandlung unter Berücksichtigung des Vorsorgeprinzips und einer integrierten Systembetrachtung. ● Bei der internen und externen Behandlung/Verwertung sind Schadstoffverlagerungen von einem Medium in ein anderes soweit wie möglich zu vermeiden und, wo dies nicht möglich ist, zu vermindern, um ein hohes Schutzniveau für die Umwelt insgesamt zu erreichen. ● Wo hütteninternes Recycling von Stäuben, Schlämmen und Zunder nicht möglich ist, ist der Einsatz einer (externen) Behandlung zu prüfen und zu forcieren. Dabei sind die Emissionen in Luft, Wasser und Boden gemäß Stand der Technik zu minimieren.
Erste Schritte zur Umsetzung des Maßnahmenbündels	<ul style="list-style-type: none"> ● Erhebung der Menge der anfallenden Schlackenarten, deren Zusammensetzung und Prüfung, ob zusätzliche Analysen notwendig sind. ● Untersuchung der bisherigen Behandlungswege der Schlacken und Verbesserungsvorschläge und Potenzialabschätzung. ● Erhebung der intern bzw. extern behandelten Stäube (pro Staubart) und deren Behandlungs-/Verwertungsoptionen. ● Erhebung der intern bzw. extern behandelten/verwerteten Walzzunder und Schlämme und deren Behandlungs-/Verwertungsoptionen. ● Anpassung der österreichischen Verordnungen und Bescheide an den Stand der Technik (BAT Referenz Dokument, TA-Luft).
Einzubindende Akteure	Bund, Länder, Umweltbundesamt, Anlagenbetreiber, Interessenvertreter.
Erwartete Effizienz	<ul style="list-style-type: none"> ● Minimierung der Umweltbelastung durch Lenkungseffekte bei Abfallströmen. ● Verwertung/Behandlung von Aschen, Schlacken, Stäuben, Walzzunder und Schlämmen in Abhängigkeit ihrer Eigenschaften und ihrer Qualität. ● Minimierung der Verteilung von Schadstoffen durch gesicherte Senken.

Maßnahmenbündel BAT – Stand der Technik in der Nichteisenmetallindustrie	
Zielsetzung	<ul style="list-style-type: none"> ● Schrottreycling unter ökologischen Gesichtspunkten. ● Anfallende Aschen, Schlacken, Stäube und Krätzen sollen gemäß Stand der Technik intern oder extern behandelt werden. ● Prüfen der Zusammenhänge von internem Recycling und Emissionen von Luftschadstoffen. ● Sichere Senken sollen erhalten bleiben.
Einzelmaßnahmen	<ul style="list-style-type: none"> ● Erhebung der in Österreich anfallenden Aschen, Schlacken, Stäube der Nichteisenmetallindustrie pro Branche, deren Zusammensetzung sowie deren weitere Behandlung. ● Auswahl der geeigneten Techniken zur Behandlung von Aschen, Schlacken und Stäuben unter Berücksichtigung des Vorsorgeprinzips und unter Anwendung einer integrierten Systembetrachtung.
Allgemeine Erläuterungen des Maßnahmenbündels	<ul style="list-style-type: none"> ● Die Nichteisenmetallindustrie in Österreich ist eine Sekundärmetallindustrie. ● Die Anwendung des Standes der Technik umfasst: Inputoptimierung, Prozessoptimierung sowie Abfall-, Abgas- und Abwasserbehandlung. ● Sowohl bei der internen als auch bei der externen Behandlung von Aschen, Schlacken und Stäuben sind die Emissionen in Luft, Wasser und Boden gemäß Stand der Technik zu minimieren. ● Schadstoffverlagerungen von einem Medium in ein anderes sind soweit wie möglich zu vermeiden und, wo dies nicht möglich ist, zu vermindern, um ein hohes Schutzniveau für die Umwelt insgesamt zu erreichen. ● Gesicherte Senken sind jedenfalls für schadstoffbelastete Abfälle/ Reststoffe zu nutzen. Dabei sollte auf eine Minimierung der Mengen Bedacht genommen werden.
Erste Schritte zur Umsetzung des Maßnahmenbündels	<ul style="list-style-type: none"> ● Getrennte, sortenreine Erfassung von Schrotten. ● Verbesserte Schrottaufbereitung dahingehend, dass der Verbrauch von Abdecksalz reduziert wird bzw. das Umschmelzen von Sekundäraluminium in Herd- oder Induktionsöfen möglich ist. ● Einsatz von Schrotten in geeigneten Schmelzaggregaten. ● Minimierung des Salzeinsatzes in Aggregaten, wo oxidhaltige Schrotte in der Sekundäraluminiumindustrie geschmolzen werden. ● Erhebung der Menge, deren Qualität/Zusammensetzung sowie der internen und externen Behandlungs-/Verwertungsoptionen von Aschen, Schlacken, Stäuben. ● Anpassung der österreichischen Verordnung bzw. Bescheide an den Stand der Technik (BAT Referenz Dokument, TA-Luft).
Einzubindende Akteure	Bund, Länder, Umweltbundesamt, Anlagenbetreiber, Interessenvertreter.
Erwartete Effizienz	<ul style="list-style-type: none"> ● Minimierung des Salzschlackeanfalls aus der Sekundäraluminiumindustrie. ● Minimierung der Umweltbelastung in alle Medien unter spezieller Berücksichtigung des Recyclings von Stäuben. ● Gesicherte Deponierung belasteter Stäube und Schlacken.

Maßnahmenbündel BAT – Stand der Technik in der Zementindustrie	
Zielsetzung	<ul style="list-style-type: none"> ● Durch den Einsatz von Abfällen soll es zu keiner höheren Schadstoffbelastung des Zements und der Umwelt kommen. ● Die interne Verwendung von Stäuben aus Filteranlagen und Bypässen sollte – unter der Voraussetzung eines geregelten Schadstoffeintrages – Vorrang gegenüber einer Ausschleusung und Deponierung haben. ● Lenkung von Abfallströmen zu geeigneten Anlagen durch Festlegung von Verwertungs- und Behandlungsgrundsätzen.
Einzelmaßnahmen	<ul style="list-style-type: none"> ● Festlegung von Eingangsbeschränkungen für bestimmte Schadstoffe (z. B. Schwermetalle, POPs) bei Ersatzbrennstoffen, Ersatzrohstoffen und Zumahlstoffen. ● Festlegung von Verpflichtungen bei der Eingangskontrolle von Abfällen zur Mitverbrennung. ● Effiziente Entstaubung von Haupt- und Nebenaggregaten. ● Evaluierung und Optimierung der Verbrennungsbedingungen beim Einsatz von Ersatzbrennstoffen.
Allgemeine Erläuterungen des Maßnahmenbündels	<ul style="list-style-type: none"> ● Durch die Festlegung von Eingangsbeschränkungen für bestimmte Schadstoffe soll eine sinnvolle Lenkung der für ein Zementwerk geeigneten Abfallströme erreicht werden. ● Die Emissionen in die Luft sollen durch den vermehrten Ersatzbrennstoffanteil nicht zunehmen und sind gegebenenfalls durch entsprechende Emissionsminderungsmaßnahmen zu reduzieren. ● Die Staubemissionen aus Haupt- und Nebenaggregaten (Mühlen, Förderbänder etc.) sollen nach dem Stand der Technik gemindert werden. ● Interne Verwendung von Stäuben aus Filteranlagen und Bypässen, wobei die Schadstoffbelastung der Stäube durch die Beschränkung der Schadstoffgehalte in den eingesetzten Abfällen reguliert werden muss.
Erste Schritte zur Umsetzung des Maßnahmenbündels	<ul style="list-style-type: none"> ● Evaluierung der Auswirkungen des Einsatzes bestimmter Abfallfraktionen (z. B.: heizwertreiche Fraktion, niederkalorische Fraktion). ● Evaluierung der optimalen Einbringungsstelle (Primär-, Sekundärfeuerung) für bestimmte Abfallfraktionen. ● Erarbeitung von Eingangsbeschränkungen für bestimmte Schwermetalle in den Ersatzbrennstoffen. ● Detaillierte Ausgestaltung der Verpflichtungen bei der Eingangskontrolle von Abfällen zur Mitverbrennung. ● Bestandsaufnahme der Zusammensetzung von Ersatzrohstoffen und Zumahlstoffen. ● Eingangsbeschränkungen für bestimmte Schadstoffe in Ersatzrohstoffen und Zumahlstoffen. ● Anpassung der Verordnungen (unter Berücksichtigung der Nebenaggregate) an den Stand der Technik.
Einzubindende Akteure	Bund, Länder, Umweltbundesamt, Anlagenbetreiber, Interessenvertreter.
Erwartete Effizienz	<ul style="list-style-type: none"> ● Keine Steigerung des Schwermetallgehalts im Zement bzw. Beton. ● Verbesserung bei Staubemissionen. ● Minimierung der Umweltbelastung durch Lenkungseffekte bei Abfallströmen.

1 EINLEITUNG

Sowohl Abfallvermeidung als auch Abfallverwertung sind Grundsätze des **Abfallwirtschaftsgesetzes** (AWG, 2002).

Laut § 1 (1) ist die Abfallwirtschaft im Sinne des Vorsorgeprinzips und der Nachhaltigkeit danach auszurichten, dass

1. schädliche oder nachteilige Entwicklungen auf Mensch, Tier und Pflanze, deren Lebensgrundlage und deren natürliche Umwelt vermieden oder das allgemeine menschliche Wohlbefinden beeinträchtigende Einwirkungen so gering wie möglich gehalten werden.
2. die Emissionen von Luftschadstoffen und klimarelevanten Gasen so gering wie möglich gehalten werden.
3. Ressourcen (Rohstoffe, Wasser, Energie, Landschaft, Flächen, Deponievolumen) geschont werden.
4. bei der stofflichen Verwertung die Abfälle oder die aus ihnen gewonnenen Stoffe kein höheres Gefährdungspotenzial aufweisen als vergleichbare Primärrohstoffe oder Produkte aus Primärrohstoffen und
5. nur solche Abfälle zurückbleiben, deren Ablagerung keine Gefährdung für nachfolgende Generationen darstellt.

Gemäß § 1 (2) AWG 2002 gelten folgende **Grundsätze**:

1. Die Abfallmengen und deren Schadstoffgehalte so gering wie möglich zu halten (**Abfallvermeidung**).
2. Abfälle sind zu verwerten, soweit dies ökologisch zweckmäßig und technisch möglich ist und die dabei entstehenden Mehrkosten im Vergleich zu anderen Verfahren der Abfallbehandlung nicht unverhältnismäßig sind und ein Markt für die gewonnenen Stoffe oder die gewonnene Energie vorhanden ist oder geschaffen werden kann (**Abfallverwertung**).
3. Nach Maßgabe der Ziffer 2 nicht verwertbare Abfälle sind je nach ihrer Beschaffenheit durch biologische, thermische, chemische oder physikalische Verfahren zu behandeln. Feste Rückstände sind möglichst reaktionsarm und ordnungsgemäß abzulagern (**Abfallbeseitigung**).

Im Sinne des Abfallwirtschaftsgesetzes 2002 – AWG 2002 (BGBl. I Nr. 102/2002) umfasst Abfallbehandlung die im Anhang 2 des AWG genannten Verwertungs- und Beseitigungsverfahren. Die Abgrenzung zwischen Verwertung und Beseitigung ist in einer Gesamtabwägung zu beurteilen, bei der die Kriterien ökologische Zweckmäßigkeit, Schonung von Ressourcen gemäß § 1 Abs. 1 Z 3, Eignung der Abfallart, Gefahrenminimierung, ökonomische Zweckmäßigkeit und Art der Behandlungsanlage zu berücksichtigen sind.

Anhang 2 des AWG 2002 führt Behandlungsverfahren an, diese werden in Verwertungs- und Beseitigungsverfahren unterteilt. Laut Anhang 2 AWG sind Abfälle so zu verwerten bzw. zu beseitigen, dass die menschliche Gesundheit nicht gefährdet werden kann; es sind solche Verfahren oder Methoden zu verwenden, welche die Umwelt nicht schädigen können.

Bereits in den späten 1980iger Jahren wurden mit den Leitlinien zur Abfallwirtschaft (BMUJF, 1988) die Grundlagen für eine umfassende Abfallvermeidungs- und verwertungsstrategie gelegt. In den darauf folgenden Bundes-Abfallwirtschaftsplänen (der Jahre 1992 (BMUJF, 1992), 1995 (BMUJF, 1995), 1998 (BMUJF, 1998) und



2001 (BMLFUW, 2001a)) wurden diese Leitlinien konkretisiert und in einer Vielzahl von Maßnahmen – wie z. B. Verordnungen – umgesetzt.

Nun sollen neue effektive Ansätze zur weiteren Forcierung von

- Qualitativer und quantitativer Abfallvermeidung (die Abfallmengen und deren Schadstoffgehalte sind so gering wie möglich zu halten (BMLFUW 2001A) und
- Abfallverwertung.

analysiert werden, um das Konzept für eine neue Abfallvermeidungs- und -verwertungsstrategie zu erstellen.

Dazu wurde vom Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (BMLFUW) das Projekt „Erstellung einer Abfallvermeidungs- und -verwertungsstrategie für den Bundes-Abfallwirtschaftsplan 2006“ initiiert.

Im ersten Workshop dieses Projekts wurde von den Teilnehmern festgestellt, dass im Bereich des Abfallstromes „Aschen, Schlacken, Stäube“ in Hinblick auf Abfallvermeidung und -verwertung Handlungsbedarf besteht. Um die fachlichen Grundlagen zur Entwicklung einer Abfallvermeidungs- und -verwertungsstrategie zu erarbeiten, wurde vorliegende Detailstudie konzipiert.

In dieser Studie werden die Prozesse der Abfallverbrennung (insbesondere in Müllverbrennungsanlagen), die Mitverbrennung von Abfällen in Feuerungsanlagen und Kraftwerken, die Verbrennung fossiler und biogener Brennstoffe in (Heiz)-Kraftwerken und Dampfkesselanlagen der Industrie, sowie die Branchen Metallproduktion (Eisen und Stahl, Nichteisenmetalle) und Zementindustrie betrachtet.

Ausgangspunkt der Detailstudie „Aschen, Schlacken, Stäube“ sind die Maßnahmen zur Abfallvermeidung und -verwertung, wie sie im § 14 des Abfallwirtschaftsgesetzes definiert wurden (siehe Tab. 1). Für die Ströme der „Aschen, Schlacken, Stäube“ sollen diese Maßnahmen konkretisiert werden. Darüber hinaus sollen aber auch andere Maßnahmen untersucht und die Basis für eine umfassende neue effiziente Abfallvermeidungs- und -verwertungsstrategie geschaffen werden.



Tab. 1.
Maßnahmen für die
Abfallvermeidung und -
verwertung gemäß
Abfallwirtschaftsgesetz
§ 14 (AWG, 2002).

I) Folgende Pflichten für Hersteller, Importeure, Verreiber, Sammel- und Verwertungssysteme, Abfallsammler, -behandler und Letztverbraucher können (vom Bundesminister für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft) festgelegt werden:

1. Produktkennzeichnung (Schadstoffgehalt, Vorsichtsmaßnahmen, Wiederverwendbarkeit)
Die Kennzeichnung von Produkten, die auf die Notwendigkeit einer Demontage einzelner Teile oder einer Trennung von Bestandteilen oder einer Rückgabe oder die auf die Beschaffenheit, insbesondere die Schadstoffgehalte, und die bei der Sammlung oder Behandlung zu beachtenden Vorsichtsmaßnahmen, auf eine Wiederverwendung oder eine bestimmte Behandlung hinweist.

2. Information (Produktbeschaffenheit, Demontage, Behandlung, Wiederverwendung, Verwertung, erzielte Quoten)
Information über die verwertungsgerechte Konstruktion oder Beschaffenheit von Produkten, über die Demontage oder Trennung einzelner Bestandteile, über die umweltgerechte Behandlung, über die Entwicklung und Optimierung von Möglichkeiten zur Wiederverwendung und zur Verwertung, einschließlich der dazu erforderlichen Prüfung der Teile zur Wiederverwendung und zur Verwertung, und über die bei der Verwertung erzielten Fortschritte zur Verringerung der zu beseitigenden Abfälle und zur Erhöhung der Verwertungsquote.

3. Verpflichtungen (zur Rückgabe, Rücknahme, Wiederverwendung, Verwertung)
Rückgabe, Rücknahme, Wiederverwendung oder Verwertung von Produkten oder Abfällen oder die Beteiligung an einem Sammel- und Verwertungssystem.

4. Quoten (Vermeidung, Erfassung, Sammlung, Verwertung)
Einhaltung von Abfallvermeidungs-, Erfassungs-, Sammel- oder Verwertungsquoten innerhalb eines bestimmten Zeitraums.

5. Aufzeichnungs-, Nachweis- und Meldepflichten
Aufzeichnungs-, Nachweis- und Meldepflichten, soweit diese für die Überprüfung der Verpflichtungen gemäß Ziffer 3 und 4 erforderlich sind.

6. Pfandbeitrag
Einhebung eines Pfandbetrages.

7. Verbot von Produktformen, die nicht leicht behandelt werden können
Abgabe von Produkten nur in einer die Abfallsammlung und -behandlung wesentlich entlastenden Form und Beschaffenheit.

8. Verbot von abfallbelastenden Produkten
Unterlassung des In-Verkehr-Setzens von Produkten mit bestimmten Inhaltsstoffen, um ihrer Freisetzung in die Umwelt vorzubeugen, die stoffliche Verwertung zu erleichtern, die Beseitigung nicht zu erschweren oder die Beseitigung gefährlicher Abfälle zu vermeiden.

9. Abführung eines Behandlungsbeitrags
Abführung eines Behandlungsbeitrags; der Behandlungsbeitrag hat dem Wert der Produkte und den Behandlungskosten angemessen zu sein, er darf jedoch die Höhe beider Beträge nicht übersteigen.

10. Verbot/Einschränkung von gewissen Schmiermitteln auf Mineralölbasis, wenn Bio-Schmiermittel vorhanden
Untersagung der Verwendung einzelner Schmiermittelarten auf herkömmlicher Mineralölbasis, soweit für den jeweiligen Verwendungszweck technisch gleichwertige, biologisch abbaubare Schmiermittel in ausreichenden Mengen zur Verfügung stehen; Untersagung oder Zulassung von Zusätzen zu biologisch abbaubaren Schmiermitteln, Mindest- und Höchstgehalte an pflanzlichem und mineralischem Ölanteil und deren Abbauraten.

II) Für Verpackungen: Abfallvermeidungsziel, Zeitplan, Monitoringsystem

Für Verpackungen ein zu erreichendes Abfallvermeidungsziel, eine angemessene Frist zur Zielerreichung oder Fristen im Rahmen eines Stufenplans, das Verfahren zur Feststellung der Zielerreichung, regelmäßige Informationspflichten über das Ausmaß oder die Abschätzung der Zielerreichung, die Art der Maßnahmen, wenn das Ziel im Rahmen des Stufenplans nicht erreicht wird.



Abfallverzeichnisverordnung

Die Abfallverzeichnisverordnung, BGBl. II Nr. 570/2003, trat mit 1. Jänner 2004 in Kraft. Mit der Abfallverzeichnisverordnung wird ein einheitliches Abfallverzeichnis für gefährliche und nicht gefährliche Abfälle normiert.

Bis zum 31. Dezember 2008 ist die Anlage 5 der Abfallverzeichnisverordnung BGBl. II Nr. 570/2003 die Basis für Aufzeichnungen, Meldungen, Begleitscheine, Ausstufungen, Genehmigungen etc. Gemäß Anlage 5 der Abfallverzeichnisverordnung gilt als Abfallverzeichnis die ÖNORM S 2100 „Abfallkatalog“, ausgegeben am 1. September 1997 unter Berücksichtigung der Änderungen und Ergänzungen gemäß der Anlage 5 der Abfallverzeichnisverordnung.

Ab dem 1. Jänner 2009 gilt das Abfallverzeichnis der Anlage 2 der Abfallverzeichnisverordnung samt Zuordnungskriterien gemäß Anlage 1 der Abfallverzeichnisverordnung. Mit dem Abfallverzeichnis der Anlage 2 werden auch die Codes und Bezeichnungen des Europäischen Abfallverzeichnisses explizit übernommen.

1.1 Zielsetzung

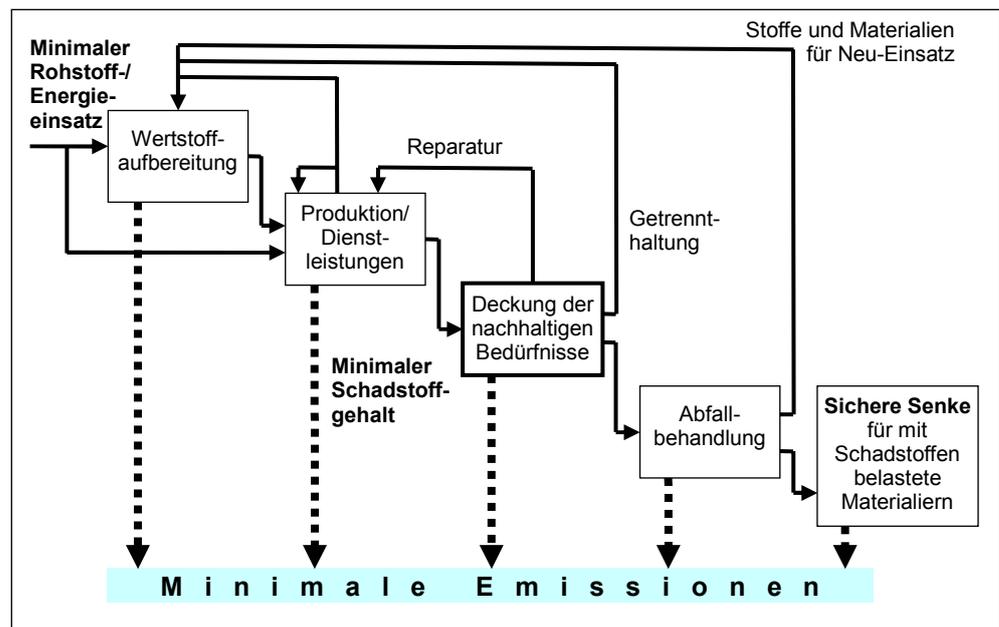
Das Ziel einer nachhaltigen österreichischen Wirtschaft inklusive Abfallwirtschaft sollte sein, die Bedürfnisse der Gesellschaft bei

- minimalem Rohstoff- und Energieeinsatz,
- minimalem Schadstoffgehalt der Konsumgüter,
- minimalen Emissionen und
- sicheren Senken für schadstoffbelastete Abfälle

so nachhaltig zu decken, dass es zu einer minimalen Gefährdung von Mensch und Umwelt kommt. Möglichkeiten, die genutzt werden können, dieses Ziel zu erreichen sind unter anderem:

- Die Anwendung von Technologien, die dem Stand der Technik entsprechen (best available techniques).
- Die Entwicklung und Anwendung von ökoeffizienten Produkten und Produktionsmustern (Cleaner Production).
- Das Schließen von Stoffkreisläufen auf allen Ebenen des Wirtschaftssystems, vom internen Prozesskreislauf im Produktionsbetrieb bis zum branchenübergreifenden Stoffkreislauf (zum Beispiel durch das Getrennthalten von Materialströmen und die Aufarbeitung von verbrauchten Produkten und Abfällen).
- Die Erzeugung von langlebigen, reparaturfähigen Produkten mit minimalem Material- und Schadstoffgehalt (Eco-Design und Entmaterialisierung).
- Das vermehrte Reparieren schadhafter Produkte.
- Der Ersatz von Produkten durch Dienstleistungen bzw. die Veränderung von Konsummustern.
- Das Schaffen sicherer Senken für Schadstoffe, unter anderem durch eine effiziente Abfallbehandlung (siehe Abb. 1).

Abb. 1:
Ziel einer nachhaltigen
Abfallwirtschaft.



Laut § 1 (2) AWG (AWG, 2002) sollen Abfallmengen und deren Schadstoffgehalte so gering wie möglich gehalten werden. Die **Abfallverwertung** muss u. a. ökologisch zweckmäßig sein. Abfälle, die nicht zu vermeiden oder ökologisch zu verwerten sind, sind nach entsprechender Behandlung möglichst reaktionsarm und ordnungsgemäß abzulagern (**Abfallbeseitigung**).

Es ist Aufgabe dieser Studie, für den Abfallstrom „Aschen, Schlacken, Stäube“ herauszuarbeiten, ob über den Weg der Abfallvermeidung (Verringerung der Abfallmenge und ihres Schadstoffgehaltes) und der Abfallverwertung bei gleichzeitiger Schaffung sicherer Senken ein Potenzial besteht, die nachhaltige Abfallwirtschaft ihrem Ziel näher zu bringen.

Dazu soll

- zunächst der Ist-Stand jener Systeme beschrieben werden, aus denen das Gros der Aschen, Schlacken und Stäube stammt,
- dabei identifiziert werden, wo Handlungsbedarf besteht,
- dann dargestellt werden, welche technischen und organisatorischen Alternativen zur Verfügung stehen,
- eine Beurteilung dieser Optionen erfolgen,
- weiters untersucht werden, welche Barrieren bei der Einführung der effizienten Optionen zu überwinden sind,
- im nächsten Schritt gezeigt werden, mit welchen Maßnahmen die öffentliche Hand (ausgehend von oben dargestellten Maßnahmen des § 14 AWG) und die Abfallwirtschaft im Allgemeinen, die Einführung effizienter technischer und organisatorischer Optionen unterstützen könnte,
- dann abgeschätzt werden, welche Effekte zu erzielen wären und
- abschließend beurteilt werden welche Maßnahmen nun tatsächlich getroffen werden sollten.



Der Beurteilung der technischen und organisatorischen Optionen sowie der möglichen Effizienz öffentlicher und abfallwirtschaftlicher Maßnahmen liegen folgende Hauptkriterien zu Grunde:

- Hohe Wirksamkeit für die Erfüllung der Ziele des Abfallwirtschaftsgesetzes (AWG, 2002),
- keine Verschlechterung der bestehenden Umweltsituation,
- keine Aufweichung bestehender ordnungspolitischer Maßnahmen,
- vertretbare volkswirtschaftliche Kosten,
- mittelfristige Umsetzbarkeit (Zeitrahmen des Bundes-Abfallwirtschaftsplan 2006, das heißt bis 2011).

In der Studie behandelt sind Branchen bzw. Prozesse, bei denen Aschen, Schlacken, Stäube in großen Mengen anfallen oder verwendet werden. Diese sind:

- Abfallverbrennung in Monoverbrennungsanlagen (inklusive RVL und TRV Niklasdorf),
- Mitverbrennung in Feuerungsanlagen, wie z. B. in Kraftwerken, in den Wirbelschichtkesseln der Zellstoff- und Papierindustrie sowie der Holz- und Spanplattenindustrie,
- Kraftwerke (inkl. Biomasse(heiz)kraftwerke),
- Metallindustrie
 - Eisen- und Stahlindustrie
 - Nichteisenmetallindustrie,
- Zementindustrie.

Bei der Verbrennung von Siedlungsabfall ist das Minderungspotenzial für die eingangsseitige Entfrachtung durch die undefinierte Zusammensetzung des Restmülls und den Umstand, dass sich ein wesentlicher Anteil der Schadstoffe (Schwermetalle) in der Feinfraktion befindet, beschränkt. Dennoch soll die Verbrennung von Siedlungsabfall einen Schwerpunkt dieser Studie bilden. Hier scheint die Möglichkeit, mit Abfallvermeidungsmaßnahmen etwas erreichen zu können, noch am ehesten gegeben. Einen aktuellen Anlass bietet auch die Anforderung der Vorbehandlung von kohlenstoffreichen Abfällen vor der Deponierung sowie die Inbetriebnahme neuer Abfallverbrennungsanlagen und dem damit deutlich gesteigerten Aufkommen der Rückstände aus den Abfallverbrennungsanlagen.

Das Bild wird ergänzt durch Informationen aus den Bereichen Mitverbrennung in Feuerungsanlagen, Kraftwerke, Metallindustrie und Zementindustrie.

Bei der Bearbeitung der einzelnen Branchen

1. werden der Zweck der Anlagen (z. B. Abfallverbrennung, Produktion von Sachgütern) und einzelner Anlagenteile (Staubfilter) ebenso berücksichtigt, wie die Möglichkeit durch die Einsatzstoffe und die Technologie den Output (Aschen, Schlacken, Stäube, Rauchgas, Abwasser) zu beeinflussen.
2. wird zusätzlich das Thema Aschen, Schlacken, Stäube aus einer abfallwirtschaftlichen Gesamtübersicht im Sinne des Vorsorgeprinzips und der Nachhaltigkeit betrachtet.

Bei Abfallverbrennungsanlagen entscheidet die eingesetzte Menge und Zusammensetzung an Abfällen, die Feuerung, die Prozesssteuerung sowie die eingesetzte Minderungstechnologie, welche Stoffe in den anfallenden Aschen und Schlacken

enthalten sind. Output dieser Anlagen sind das Rauchgas, Abwasser, Aschen, Schlacken und Rückstände aus der Rauchgasreinigung und der Abwasserreinigung.

Bei Schlacken im Bereich der Eisen- und Stahlindustrie wird zumeist die Produktion von Eisen und Stahl auch im Hinblick auf die Qualität der Schlacke betrieben.

Insbesondere Stäube (v. a. der Metallindustrie und der Rauchgasreinigung von Abfallverbrennungsanlagen) stellen eine (erwünschte) Senke für POPs und Schwermetalle dar und sollten gesichert deponiert und damit dem Stoffkreislauf entzogen werden.

1.2 Gegenstand und Schwerpunkt der Untersuchung

Der Gegenstand der Untersuchung sind Aschen, Schlacken und Stäube der genannten Branchen. Dabei sollen auch ausgewählte, international angewandte Prozesse, Technologien und Abfallvermeidungs-/verwertungsinstrumente berücksichtigt werden. Die größten Massen an Aschen, Schlacken und Stäuben stammen aus (siehe Tab. 2)

- der Verbrennung von kommunalem Restmüll, Klärschlämmen etc.,
- der Verbrennung von industriellem Kombinationsabfall (Altholz, Reject, sonstige Kunststoffabfälle...),
- der Verbrennung von gefährlichem Abfall,
- der Verbrennung von Kohle, Heizöl und Biomasse zur Energieumwandlung,
- der Stahlerzeugung,
- der Nichteisenmetallerzeugung.

Dabei sei angemerkt, dass die Zuordnung von Abfällen zu Schlüsselnummern nicht immer konsistent erfolgt. Ein Beispiel: REA Gips wird in einigen Fällen der SN 31314 (feste salzhaltige Rückstände aus der Rauchgasreinigung von Feuerungsanlagen für konventionelle Brennstoffe (ohne Rea-Gipse)) und in anderen Fällen der SN 31315 (Rea Gips) zugeordnet.

Tab. 2:
Ermitteltes Aufkommen
für das Jahr 2003 der
"Aschen, Schlacken und
Stäube" in Vorbereitung
auf den Bundes-
Abfallwirtschaftsplan
2006.

Schlüsselnummern und Abfallbezeichnungen gemäß ÖNORM S 2100 (1997)		Aufkommen in t		Gefährlich gemäß Fest- setzungs- verordnung 1997 ¹
		1999	2003	
312	METALLURGISCHE SCHLACKEN, KRÄTZEN UND STÄUBE			
31202	Kupolofenschlacke	1.000	3.000	
31203	Schlacken aus NE-Metallschmelzen	18.900	33.000	g
31204	Bleikrätze	300	420	g
31205	Leichtmetallkrätzen, aluminiumhaltig	18.500	860	g
31206	Leichtmetallkrätzen, magnesiumhaltig	25	20	g
31207	Schlacken aus Schmelzelektrolysen	0	5	g
31208	Eisenoxid, gesintert	43.000	43.000	

¹ Festsetzungsverordnung (BGBl. II Nr. 227/1997)

	Schlüsselnummern und Abfallbezeichnungen gemäß ÖNORM S 2100 (1997)	Aufkommen in t		Gefährlich gemäß Fest- setzungs- verordnung 1997 ¹
		1999	2003	
312	METALLURGISCHE SCHLACKEN, KRÄTZEN UND STÄUBE (Fortsetzung)			
31210	Zinkschlacke	0	0	g
31211	Salzschlacken, aluminiumhaltig	25.000	35.000	g
31212	Salzschlacken, magnesiumhaltig	0	0	g
31213	Zinnaschen		0	
31214	Bleiaschen	530	400	g
31215	Gichtgasstäube	700	1.520	
31217	Filterstäube, NE-metallhaltig	13.000	9.500	g
31218	Elektroofenschlacke	78.000	78.000	
31219	Hochofenschlacke	1.270.000	1.550.000	
31220	Konverterschlacke	740.000	740.000	
31221	sonstige Schlacke aus der Stahlerzeugung	80	70.000	g
31222	Krätzen aus der Eisen- und Stahlerzeugung	3.100	40.000	
31223	Stäube, Aschen und Krätzen aus sonstigen Schmelzprozessen	48.500	112.800	g
313	ASCHEN, SCHLACKEN UND STÄUBE AUS DER THERMISCHEN ABFALLBEHANDLUNG UND AUS FEUERUNGSANLAGEN			
31301	Flugaschen und -stäube aus Feuerungsanlagen	487.400	520.000	g
31305	Kohlenasche	25.000	67.000	
31306	Holzasche, Strohasche	65.000	100.000	
31307	Kesselschlacke	7.000	2.600	
31308	Schlacken und Aschen aus Abfallverbrennungsanlagen	200.000	300.000	g
31309	Flugaschen und -stäube aus Abfallverbrennungsanlagen	50.000	130.000	g
31312	feste salzhaltige Rückstände aus der Rauchgasreinigung von Abfallverbrennungsanlagen und Abfallpyrolyseanlagen	3.500	5.200	g
31314	feste salzhaltige Rückstände aus der Rauchgasreinigung von Feuerungsanlagen für konventionelle Brennstoffe (ohne Rea-Gipse)	2.700	4.100	g
31315	Rea-Gipse	87.000	125.000	
31316	Schlacken und Aschen aus Abfallpyrolyseanlagen	50	240	g
314	SONSTIGE FESTE MINERALISCHE ABFÄLLE			
31419	Feinstaub aus der Schlackenaufbereitung	182.000	182.000	
31420	Rußabfälle	110	20	
31421	Kohlenstaub	162.000	162.000	
31432	Graphit, Graphitstaub	100	100	
	Summe in Tonnen (gerundet)	3,5 Mio	4,3 Mio	

Für die Zukunft werden aufgrund der Behandlungspflicht von Abfällen vor der Deponierung besonders große Steigerungsraten beim Aufkommen der Aschen und Schlacken aus der Abfallverbrennung erwartet (siehe Kapitel 2.1.7). Auch im Bereich der Verfeuerung von fester Biomasse (siehe Kapitel 2.3.8.1) wird das Ascheaufkommen noch deutlich ansteigen. Falls die Entwicklungen am Stromsektor unverändert weitergehen, wird es auch zu einem deutlichen Ansteigen des Anfalls von Aschen aus der Kohleverbrennung kommen.

1.2.1 Abfallverbrennung

Monoverbrennungsanlagen sind entweder für eine bestimmte Abfallart (z. B. innerbetriebliche Abfälle) oder für ein breites Spektrum von Abfällen ausgelegt und genehmigt (z. B. Gewerbe- und Industrieabfälle, gefährliche Abfälle, Hausmüll). Besonders bei der Verbrennung von gefährlichen Abfällen und Hausmüll wird das Konzept des vorsorgenden Umweltschutzes angewandt, das heißt, die Technologie der Verbrennung (von der Abfallannahme und -lagerung bis zur Verbrennung) und die Systeme zur Emissionsminderung in Luft und Wasser, inklusive der Behandlung der entstehenden Abfälle und Rückstände, sind in der Regel so konzipiert, dass sie auch in Zeiten des höchstmöglichen Schadstoffeintrages eine vollständige Zerstörung organischer Schadstoffe, eine Aufkonzentrierung thermisch nicht zerstörbarer Schadstoffe und niedrige Emissionen in alle Medien gewährleisten. Daher wird bei solchen Anlagen der zu behandelnde Abfall v. a. auf verbrennungstechnische Eigenschaften (z. B. Heizwert, Cl-Gehalt) hin untersucht. Die Überprüfung einer umweltschonenden Abfallbehandlung erfolgt durch großteils kontinuierlicher Emissionsmessungen.

Obwohl es ein Ziel der Abfallverbrennung ist, definierte Senken für Schadstoffe zu schaffen, sollen dennoch im Rahmen dieser Studie Untersuchungen angestellt werden, inwieweit durch gezielte Vermeidung des Eintrages von Schadstoffen in die thermisch zu behandelnden Abfälle die Qualität der Aschen, Schlacken und Stäube erhöht werden kann, um die Umweltauswirkungen bei der Deponierung zu verringern. Dabei werden aber praktische Aspekte (z. B. Probenahme und Analyse von Abfällen) und das Vorsorgeprinzip weiterhin berücksichtigt.

Weiters werden technische Möglichkeiten der Behandlung von Abfällen und Rückständen aus der Verbrennung aufgezeigt mit dem Ziel, eine vollständige Oxidation organischer Schadstoffe (z. B. Dioxine) und eine Schadstoffentfrachtung (z. B. Entfernung von Schwermetallen und Hg) zu erreichen.

In verschiedenen internationalen Konventionen (z. B. Stockholm Konvention über persistente organische Verbindungen (POPs)) und Richtlinien (RL über die integrierte Vermeidung von Umweltverschmutzung – IPPC-RL; POP-Verordnung Nr. 850/2004) werden Maßnahmen (wie z. B. der Einsatz von Technologien, welche wenig Abfall produzieren; die Verwendung weniger gefährlicher Stoffe; Förderung von Wiederverwertung und Recyclieren von Abfällen) zur Senkung des Schadstoffeintrages in Anlagen genannt. Die Stockholm Konvention sieht auch vor, dass bei Neuerrichtungen oder wesentlichen Änderungen einer Anlage (z. B. einer Abfallverbrennungsanlage) alternative Prozesse vorrangig betrachtet werden, welche die Bildung und die Freisetzung von POPs vermeiden, aber ähnlichen Nutzen erzielen. Im Bereich der Abfallverbrennung wird im Rahmen des „Technical Guidebook zu BAT (Best Available Techniques) and BEP (Best Environmental Practise)“ auf die Notwendigkeit eines ausgefeilten Abfallwirtschaftskonzeptes inklusive einer möglichst weitgehenden Abfallvermeidung hingewiesen.



Im Rahmen der IPPC-Arbeitsgruppe zum BAT Dokument zu Abfallverbrennungsanlagen wurde besonders vom Ministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft betont, dass eine Behandlung der Rückstände und Abfälle mit dem Ziel erfolgen soll, das Deponieverhalten zu verbessern.

Die Monoverbrennung von gefährlichen Abfällen wird im Rahmen dieser Studie nicht behandelt, da diese Art der Behandlung für eine Vielzahl der Abfallarten (z. B. infektiöser Spitalsmüll, chlorhaltige Lösemittel, schwermetallhaltige Fraktionen) derzeit die technisch ausgereifteste Lösung zur Schaffung sicherer Senken darstellt. Eine Vorbehandlung dieser Abfälle (z. B. Abtrennen gewisser Fraktionen vor der Verbrennung) würde zu einer höheren Belastung der betroffenen Arbeitsplätze und der Umwelt führen (z. B. höhere Emissionen, höherer Energieaufwand).

1.2.2 Mitverbrennung in Feuerungsanlagen

Die Mitverbrennung von diversen Abfallmaterialien aus Industrie und Gewerbe wird in Österreich in einer Vielzahl von thermischen Anlagen durchgeführt. Für kleinere Anlagen in Industrie und Gewerbe ist die Datenlage zur Abgrenzung zwischen Mono- und Mitverbrennungsanlagen unzureichend.

Große Mitverbrennungsanlagen werden v. a. von der Zellstoff- und Papierindustrie betrieben. In den Wirbelschichtkesseln werden u. a. Schlämme (Faserschlämme und Schlämme aus der biologischen Abwasserreinigung), Holzreste, Rinde, Papier zusammen mit fossilen Brennstoffen (Stein-, und Braunkohle) und (in einigen Fällen) anderen Abfällen eingesetzt.

1.2.3 Feuerungsanlagen ohne Abfallverbrennung: Kraftwerke und Biomasse(heiz)kraftwerke

Bei der Verbrennung von Kohle, Biomasse und in geringerem Umfang von Heizöl schwer fallen feste Abfälle und Rückstände an.

In Abhängigkeit von den angewandten Techniken zur Rauchgasreinigung lassen sich Abfälle aus Kraftwerken und sonstigen Dampfkesselanlagen im Wesentlichen in Grobasche und Flugasche und in Rückstände aus der Entschwefelung (z. B. REA-Gips oder Rückstand aus dem Sprühabsorptionsverfahren) unterteilen. Bei der Reinigung des Abwassers fällt als Rückstand ein so genannter Filterkuchen an. Rückstände aus kalorischen Kraftwerken sind nach dem Abfallwirtschaftsgesetz BGBl. I Nr. 102/2002 i. d. F. BGBl. I Nr. 43/2004 Abfälle.

Im Jahr 2002 wurde an acht Standorten Kohle zum Zwecke der Verstromung verbrannt. Aufgrund der Liberalisierung des Strommarktes, des Alters und der Größe der Anlagen sowie aufgrund des CO₂-Emissionshandels wird es in den nächsten Jahren zu einer Änderung des Kraftwerksparkes kommen.

Als Folge des Ökostromgesetzes (BGBl. I Nr. 149/2002) und der Anforderungen aus der Richtlinie über erneuerbare Energieträger (RL 2001/77/EG) werden thermische Anlagen auf Biomassebasis bzw. auf Basis von Abfällen mit hohem biogenem Anteil zunehmend an Bedeutung gewinnen. In den nächsten Jahren werden zahlreiche Anlagen mit einer thermischen Kapazität bis zu 60 MW in Betrieb gehen.



1.2.4 Metallindustrie (Eisen und Stahl, Nichteisenmetalle)

Typische Rückstände bzw. Abfälle der Eisen- und Stahlproduktion sind Schlacken, Stäube, Schlämme und Zunder.

Typische Rückstände bzw. Abfälle bei der Sekundäraluminiumproduktion sind Salzschlacken, Filterstäube, Krätzen und Ofenausbruch. Rückstände bzw. Abfälle der Sekundärkupferindustrie sind Schlacken (Schachtofenschlacke, Konverterschlacke, Anodenofenschlacke), Filterstäube (Schachtofenstaub, Konverterstaub, Anodenstaub) und Ofenausbruch. Typische Rückstände bzw. Abfälle der Sekundärbleiproduktion sind Filterstaub, Aschen, Bleikrätze, Schlacken, Schlämme und Ofenausbruch. Rückstände bzw. Abfälle der Refraktärmetallherstellung sind Filterstaub, Schlacken und Ofenausbruch.

1.2.5 Zementindustrie

In der Zementindustrie werden Aschen, Schlacken und Rückstände aus anderen Industriezweigen, v. a. Eisen- und Stahlindustrie, Nichteisenmetallindustrie, Gießereien und Kraftwerken als Sekundärroh- und Sekundärzumahlstoffe eingesetzt. Zusätzlich werden Abfälle als Ersatzbrennstoffe eingesetzt.

Die im Zementherstellungsprozess bei der Verbrennung entstehenden Aschen werden im Drehrohr eingesetzt. Stäube, welche durch nachgeschaltete Filter abgeschieden oder/und mittels Bypässen abgezogen wurden, werden dem Klinker bzw. dem Zement wieder zugesetzt, wodurch in der österreichischen Zementindustrie keine Aschen und Stäube deponiert werden.

2 BESCHREIBUNG DES ABFALLSTROMES ASCHEN, SCHLACKEN UND STÄUBE

2.1 Aschen und Schlacken aus der Abfallverbrennung

Der Begriff „Abfall“ ist im § 2 des Abfallwirtschaftsgesetzes definiert (siehe BGBl. I Nr. 102/2002; § 2) und umfasst eine Vielzahl von unterschiedlichen Stoffen, welche jeweils einer Schlüsselnummer zugeordnet sind. In Studien finden sich allerdings oftmals Sammelbegriffe für Abfallgruppen, wobei eine klare Abgrenzung der Stoffe untereinander nicht gegeben ist. In dieser Arbeit wird nach Möglichkeit folgende Unterscheidung getroffen:

Siedlungsabfall und Klärschlamm	Abfälle aus Haushalten und ähnlichen Einrichtungen	Restmüll	Altstoffe
<ul style="list-style-type: none"> ● Abfälle aus Haushalten und ähnlichen Einrichtungen ● Hausmüllähnlicher Gewerbeabfall ● Klärschlamm ● Heizwertreiche Fraktion aus dem Restmüll-Splitting ● Kommunale Abfälle (Abfälle aus Haushalten und ähnlichen Einrichtungen + Grünabfälle, Friedhofsabfälle, Straßenkehricht, Marktabfälle) 	<ul style="list-style-type: none"> ● Restmüll ● Sperrmüll ● Problemstoffe ● Verpackungen aus Haushalten aus Papier und Kartonagen, Glas, Metall, Holz, Leichtfraktionen ● Metallschrott ● Textilien ● Altholz ● Sonstige Altstoffe ● Biogene Abfälle 	<ul style="list-style-type: none"> ● Inhalt der Restmülltonne nach Separatsammlung 	<ul style="list-style-type: none"> ● Verpackungen aus Papier und Kartonagen, Glas, Metall, Holz, Leichtfraktionen ● Metallschrott ● Textilien ● Altholz ● Sonstige Altstoffe

Tab. 3:
In dieser Studie verwendete Sammelbegriffe für Abfallgruppen.

In den 1970er und 1980er Jahren bestand auch in Österreich die begründete Besorgnis, dass Müll- und Abfallverbrennungsanlagen durch ihre Emissionen die Gesundheit der Menschen und die Umwelt im Allgemeinen schädigen. Als Folge gesetzlicher Regelungen und des Druckes von Bürgerinitiativen wurden bei den bestehenden Abfallverbrennungsanlagen effiziente Systeme zur Emissionsminderung installiert. In der Regel stellen heute die Emissionen in die Luft und ins Wasser aus modernen, sorgfältig geführten Abfallverbrennungsanlagen keine Bedrohung von Gesundheit und Umwelt dar. In den Tabellen Tab. 4 und Tab. 5 sind Beispiele für Emissionen in Luft und Wasser aus österreichischen Müllverbrennungsanlagen dargestellt.



Tab. 4:
Emissionen der
Müllverbrennungsanlage
Spittelau (Referenzjahr:
2000) in die Atmosphäre
(STUBENVOLL et al. 2002).

Parameter	Emission [mg Nm ⁻³] ^a			Spezifische Emissionen [g t ⁻¹] ^{c,d}	Gesamtmasse [kg a ⁻¹] ^{b,d}
	Mini.	Durchschnitt	Max.		
Staub*	0,0	0,8	12,6	3,64	977,76
HCl*	0,0	0,8	8,2	3,64	977,76
HF		< 0,02		< 0,1	< 27,8
SO ₂ *	0,0	2,1	16,4	9,54	2.566,63
CO*	1,4	26,3	91,2	119,53	32.144
NO _x als NO ₂ *	0,0	22,9	92,8	104,08	27.988,5
C _{org} *	0,0	0,5	19,2	2,27	611,1
Pb		0,012		0,054	14,67
Cr		< 0,001		0,045	1,22
Zn		0,032		0,145	39,11
Σ Pb + Cr + Zn		< 0,045		0,2	54,99
As		< 0,001		0,0045	1,22
Co		< 0,001		0,0045	1,22
Ni		< 0,002		0,009	2,44
Σ As + Co + Ni		< 0,004		0,018	4,88
Cd		0,001		0,0045	1,22
Hg		0,007		0,032	8,56
NH ₃		0,7		3,18	855,54
PCDD+PCDF		0,02 ng Nm ⁻³		0,091 µg t ⁻¹	24,4 mg a ⁻¹

* Kontinuierliche Messung; diskontinuierliche Werte sind arithmetische Mittelwerte und stammen aus einer TÜV-Messung vom 17.01.2001

^a Halbstundenmittelwerte in mg Nm⁻³; Dioxinmissionen in ng Nm⁻³
(11 % O₂; trockenes Abgas; Normbedingungen)

^b In kg a⁻¹; Dioxine in mg a⁻¹

^c Emissionen bezogen auf eine Tonne eingesetzten Abfalls in g t⁻¹; Dioxinmissionen in µg t⁻¹

^d Basis für die Berechnung der Gesamtmasse und der spezifischen Emissionen sind die durchschnittlichen Halbstundenmittelwerte, die Menge des trockenen Abgases (5.170 Nm³ t⁻¹ Abfall) und die Abfallmenge (269.375 t a⁻¹)

Tab. 5: Emissionen der
Abfall-
verbrennungsanlagen
Flötzersteig, Spittelau
und Wels ins Wasser
(STUBENVOLL et al. 2002)
und vorgeschriebene
Grenzwerte.

		Emissionen ins Wasser			Grenzwerte	
		MVA Flötzersteig	MVA Spittelau	WAV Wels	(BMLF 1996)	(BMLF 1995)
Absetzbare Feststoffe	mg/l		0,3	< 0,2	0,3	
Fischgiftigkeit GF			2		< 2	
pH-Wert		7,6	7,8	6,8-9,0	6.5-8.5	6.5-8.6
Temperatur	°C	< 30	47,8	< 30	30	30
Unlösliche Bestandteile	mg/l	< 30	< 20	< 25	30	30
Ag	mg/l		0,12		0,1	0,1
Al	mg/l		0,19		2	
As	mg/l	< 0,003	< 0,002	< 0,05	0,1	0,1
Ba	mg/l		0,19		5	
Ca	mg/l		5.056			

		Emissionen ins Wasser			Grenzwerte	
		MVA Flötzersteig	MVA Spittelau	WAV Wels	(BMLF 1996)	(BMLF 1995)
Cd	mg/l	0,001	< 0,001	< 0,05	0,1	0,05
Co	mg/l		< 0,05		1	0,5
Cr (VI)	mg/l		< 0,05		0,1	
Cr gesamt	mg/l	< 0,05	< 0,05	< 0,1	0,5	0,5
Cu	mg/l	0,11	< 0,05	< 0,3	0,5	0,5
Fe	mg/l		< 0,05		2	
Hg	mg/l	< 0,001	< 0,001	< 0,01	0,01	0,01
Mn	mg/l		< 0,05			1
Ni	mg/l		< 0,05	< 0,5	0,5	0,5
Pb	mg/l	< 0,01	< 0,01	< 0,1	0,5	0,1
Sb	mg/l		0,04			0,2
Sn	mg/l		0,06		2	0,5
Tl	mg/l		< 0,01			0,1
V	mg/l		< 0,05			0,5
Zn	mg/l	0,4	< 0,06	< 0,5	2	1
Chloride als Cl	mg/l	10.000	7.085	< 20.000		
Cl ₂ frei	mg/l		< 0,05		0,2	
Cl ₂ gesamt	mg/l		< 0,05		0,4	
Cyanide als CN	mg/l	< 0,006	< 0,006	< 0,05	0,1	0,1
Fluoride als F	mg/l	< 0,006	2,2	< 10	10	20
NH ₄ ⁺ /NH ₃ als N	mg/l	3,16	3,3	< 8	10	10
Nitrate als NO ₃	mg/l	33	4,8	< 40		
Nitrite als NO ₂	mg/l	0,14	0,07	< 8	1	
P	mg/l		< 0,05		2	2
Sulfite	mg/l	< 1	< 1	< 8	1	20
Sulfate als SO ₄	mg/l	325	1.183	< 1.200		2.500
Sulfide	mg/l	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,1	0,2
AOX/EOX	mg/l	1,02/ < 0,02	- / < 0,02	< 0,1	0,5	0,1
BTXE	mg/l	< 0,025	< 0,025		0,1	
CSB	mg/l		< 75		75	
Gesamt-Kohlenwasserstoff	mg/l		0,21		10	
Nichtflüchtige lipophile Bestandteile	mg/l		< 20		20	
Phenol	mg/l	< 0,01	< 0,01		0,1	0,3
Tenside			< 0,02		1	
C gesamt	mg/l	0,05		< 3		
TOC	mg/l		4,3		25	30

Neben den Emissionen in Luft und Wasser fallen bei der Verbrennung auch Abfälle/Rückstände an, die umweltgerecht behandelt bzw. entsorgt werden müssen. Die Diskussion über die Behandlung/Verwertung von Abfällen aus der Verbrennung wird auch in der Fachwelt recht kontroversiell geführt, da viele Faktoren (wie zum Beispiel die Abfallzusammensetzung, die Verbrennungstechnologie, die Fahrweise des Verbrennungsreaktors und die Systeme zur Emissionsminderung) die Eigenschaften der Aschen und Schlacken beeinflussen. Vor allem aber hängen diese Eigenschaften von der Zusammensetzung der Abfälle, die in die Verbrennung gehen, ab. Diese können nicht einer hinreichend genauen Probenahme und Analyse unterzogen werden. Auch gibt es Unsicherheiten über das Langzeitverhalten der Rückstände bei der Deponierung.

Die Vorteile der Abfallverbrennung können wie folgt zusammengefasst werden (vorausgesetzt, sie erfolgt nach dem Stand der Technik):

- In der Reduktion der Abfallmasse (aus 1 t kommunalem Abfall entstehen 250 bis 300 kg Schlacke und 25 bis 50 kg Flugasche; GUERIN 2000).
- In der Verringerung des Abfallvolumens auf bis zu einem Zehntel.
- In der weitestgehenden Zerstörung organischer Bestandteile, die in einer Deponie zur Emission von Methan (einem Treibhausgas das 20 mal so wirkungsvoll ist wie CO₂), toxischen Verbindungen und geruchsintensiven Stoffen führen und Huminsäuren bilden, die zur langfristigen Mobilisierung der in der Deponie abgelagerten Metalle beitragen könnten.
- In der Aufkonzentrierung von Schadstoffen in definierten Senken (z. B. Feinfraktion der Flugasche).
- In der Möglichkeit der Hygienisierung und Abtrennung von Inertstoffen (z. B. Metalle) aus dem Abfall bzw. der Schlacke oder Asche.
- In der Energienutzung (die Umwandlung der im Abfall enthaltenen Energie in Strom und Wärme ist die effizienteste Technik).

2.1.1 Entstehung der festen Abfälle/Rückstände

Bei der Verbrennung von Abfällen fallen verschiedene feste Abfälle/Rückstände an verschiedenen Stellen des Verbrennungsprozesses an (siehe Tab. 6 und Abb. 2):

- Bei geeigneter Verbrennungstemperatur und Teilchengröße können im Verbrennungsraum die Gerüste der im Abfall enthaltenen Silikate und Aluminiumoxide aufbrechen und zu Grobaschen versintern bzw. zu Schlacken bildenden Gläsern aufweichen. Jedoch erfährt die Schlacke der Rostfeuerung nur punktuelle Aufschmelzungen bzw. Versinterungen durch lokal auftretende Temperaturspitzen oder lokal auftretende, den Schmelzpunkt erniedrigende Zusammensetzungen. Vom physikalischen Standpunkt ist dieser Rückstand daher als Grobasche anzusehen, es werden in der Folge aber beide Begriffe verwendet. Die Verbrennungsrückstände werden bei Rostfeuerung und in Drehrohröfen am Ende des Verbrennungsraumes abgezogen und abgekühlt.
- Bei der Verbrennung aufgewirbelte Teile des Abfalls bilden Partikel verschiedener Größe und Dichte. Die größten Partikel setzen sich im Bereich des Abhitzekegels ab und bilden die Kesselasche.
- Vor allem bei Wirbelschichtfeuerungen kann ein Teil der gröberen Aschefraktion mittels Zyklonen vorabgeschieden werden.



- Der Hauptteil der in Schwebelast verbleibenden Flugasche wird durch Elektrofilter oder Gewebefilter zur Abtrennung gebracht.
- In weiterer Folge wird in Abhängigkeit von der Rauchgasreinigungstechnologie das Rauchgas entschwefelt, entstickt und mit Aktivkohle von flüchtigen organischen Verbindungen und Metallen gereinigt. Aus dem Waschwasser der Entschwefelung kann Gips abgetrennt werden bzw. werden die Schwermetalle zur Fällung gebracht und abfiltriert (Filterkuchen). Bei Trocken- und Halbtrockenverfahren zur Abscheidung saurer Gase und Hg fällt ein Gemisch aus Calciumsulfid, Calciumsulfat, Kalk, Salzen aus abgeschiedenen Säuren sowie abgeschiedene Stäube, welche Schwermetalle, organische Schadstoffe und unverbrauchtes Adsorptionsmittel enthalten können, an.

Tab. 6: Arten von festen Abfällen/Rückständen aus Abfallverbrennungsanlagen

Prozess	Verfahrensschritt	Rückstand	Abfallbezeichnung nach ÖNORM S 2100	Festsetzungs-VO*
Abtrennung von Eisen- und Nicht-eisenmetallen	Abfallvorbehandlung u. Abtrennung aus Aschen, Schlacken u. Stäuben	Eisenmetallschrott	35103 Eisen- und Stahlabfälle, verunreinigt	
		Nichteisenmetallschrott	35315 NE-Metallschrott, NE-Metallembalagen	
Entfernung von Schlacken, Aschen und Stäuben	Schlackenentfernung am Rost	Schlacke	31308 Schlacken und Aschen aus Abfallverbrennungsanlagen	G
	Aschenentfernung im Kessel (Zyklon)	Kesselasche	31308 Schlacken und Aschen aus Abfallverbrennungsanlagen	G
	Elektrofilter/Gewebefilter	Flugasche	31309 Flugaschen und -stäube aus Abfallverbrennungsanlagen	G
Entschwefelung	Trockenadsorption (TA) u. Sprühabsorption (SA)	Rückstand aus TA und SA	31312 feste salzhaltige Rückstände aus d. Rauchgasreinigung von Abfallverbrennungsanlagen u. Abfallpyrolyseanlagen	G
	Nasse Kalkwäsche	Gips	31315 REA-Gips	
Entstickung	Katalytische Reduktion	Katalysatorabrieb	In der Regel fällt kein Rückstand an, da bei den österr. Anlagen der Katalysator in Reingasschaltung angeordnet ist	
Filtration von flüchtigen organischen Verbindungen und Schwermetallen	Adsorption an Aktivkohle/ Aktivkoks und Filtration mit Gewebefiltern	Beladene Aktivkohle (wird in der Regel in die Abfallverbrennung zugeführt)		
Abwasserreinigung	Schwermetallfällung mit Kalk (pH-Einstellung), Sulfiden und Flockungshilfsmitteln	Filterkuchen	31312 feste salzhaltige Rückstände aus der Rauchgasreinigung von Abfallverbrennungsanlagen und Abfallpyrolyseanlagen	G

G = gefährlicher Abfall

* Festsetzungsverordnung (BGBl. II Nr. 227/1997)

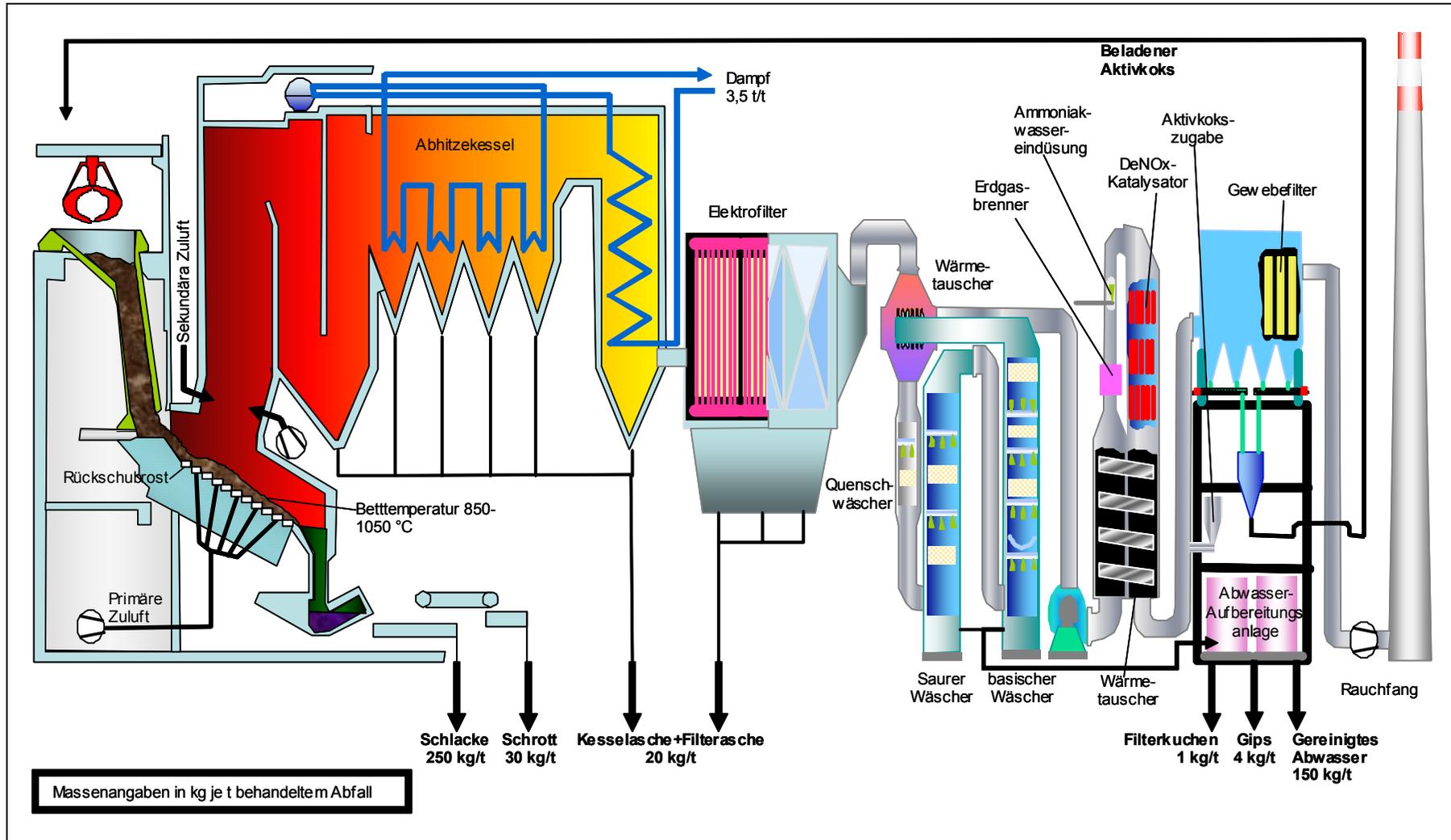


Abb. 2: Schema einer Abfallverbrennungsanlage mit Rückschubrost.

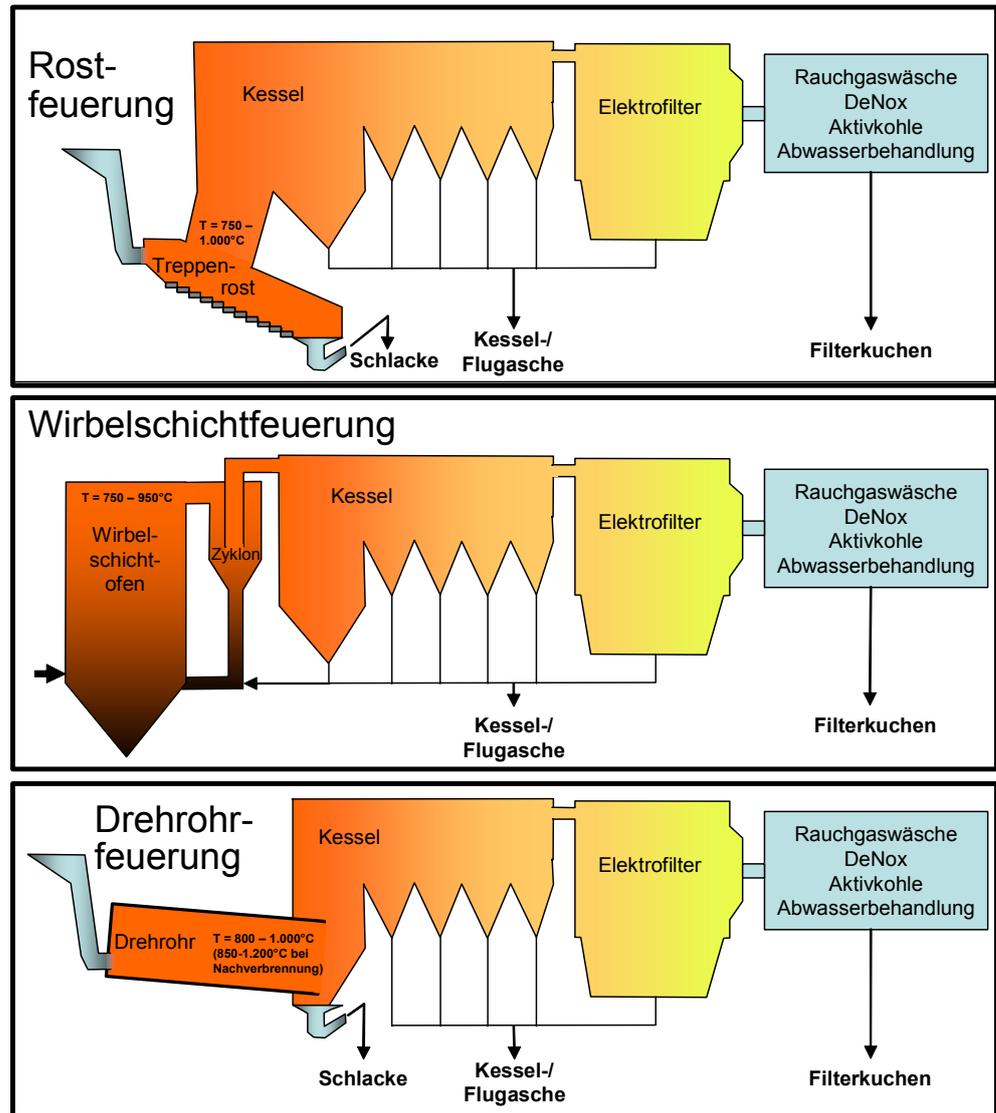


Je nach Abfalleigenschaften können unterschiedliche Verbrennungstechnologien zur Anwendung gebracht werden (siehe Abb. 2 und Abb. 3):

- Für die Verbrennung von Siedlungsabfall wird in Österreich fast ausschließlich die Rostfeuerung eingesetzt. Durch eine Verweilzeit von 45 bis 70 Minuten im Brennraum (ARES & BOLTON 2002) kommt es zur weitgehenden Verbrennung des Abfalls. Primärluft wird von unten durch den Rost zugeführt und dient sowohl als Sauerstofflieferant für die Verbrennung als auch als Kühlmedium für den Rost. Weiter oben im Brennraum wird Sekundärluft eingedüst. Sie sorgt für die Nachverbrennung der Flugasche. Der zulässige Temperaturbereich der Rostfeuerung wird nach unten durch die Mindesttemperatur (üblicherweise 850 °C) und nach oben durch den Erweichungspunkt für Asche und Schlacke (1.150–1.200 °C) begrenzt (LECHNER & STUBENVOLL 2004).
- Für Abfälle mit einer Stückgröße kleiner 150 mm (LECHNER & STUBENVOLL 2004), sowie einer geringen Neigung zur Verschlackung (wie zum Beispiel Holzabfälle, Klärschlamm oder Kunststoffe) ist besonders die Wirbelschichtfeuerung geeignet. Zumeist liegen die Betriebstemperaturen von Wirbelschichtanlagen zwischen 800 und 950 °C (LECHNER & STUBENVOLL 2004).
- Für Abfälle mit Stückgrößen größer 100 mm, einer langen Ausbrandzeit und einem hohen Schlackeanteil (wie ölverunreinigte Böden) ist vor allem das Drehrohr geeignet. Jedoch brennen auch in Drehrohren dicke Bretter, dicke Bücher und Ähnliches nicht ordentlich aus und müssen daher vor Aufgabe zerkleinert werden. Weiters können flüssige, pastöse und gasförmige Abfälle im Drehrohr verbrannt werden. Vor allem gefährliche Abfälle werden im Drehrohr behandelt. Das Drehrohr wird entweder in einem Temperaturbereich gefahren, der unter dem Ascheerweichungspunkt liegt (bei 600–1.050 °C) oder im Bereich des Schlackeschmelzflusses (bei 1.200 °C) (LECHNER & STUBENVOLL 2004). Zur Zerstörung vor allem chlororganischer Substanzen ist allerdings die Einhaltung einer Mindesttemperatur gesetzlich vorgeschrieben.

Tab. 7 gibt einen weiteren Überblick über die Parameter sowie Vor- und Nachteile der wichtigsten Abfallverbrennungsverfahren.

Abb. 3:
Abfallverbrennungs-
technologien nach
Feuerungsarten.



Tab. 7: Vergleich der wichtigsten Abfallverbrennungstechnologien (BREF WASTE INCINERATION 2004).

Verfahren	Input-Charakteristik	Durchsatz je Linie in t/h	Vorteile	Nachteile	Ausbrand
Wanderrost (luftgekühlt)	<ul style="list-style-type: none"> ● Geringer bis mittlerer Heizwert (5–15 GJ/t) ● Siedlungsabfall und anderer heterogener Abfall ● Nicht geeignet für Pulver, Flüssigkeiten und Feststoffe mit niedrigem Ascheerweichungspunkt 	1–50 (meist 5–30)	<ul style="list-style-type: none"> ● Robust, niedrige Betriebskosten ● Viel Erfahrung ● Geeignet für heterogenen Abfall ● Geringe Kosten bei großen Kapazitäten (30–300 €/t Siedlungsabfall) 	<ul style="list-style-type: none"> ● Geringe Bett-durchmischung 	TOC 0,5–2 %
Wanderrost (flüssigkeitsgekühlt)	<ul style="list-style-type: none"> ● mittlerer Heizwert (5–15 GJ/t) ● sonst wie luftgekühlt 	1–20	Wie luftgekühlt jedoch: <ul style="list-style-type: none"> ● Heizwertreicherer Input ● Bessere Verbrennungskontrolle 	<ul style="list-style-type: none"> ● Erhöhtes Risiko bei Rostschäden ● komplexer 	TOC 0,5–2 %
Stationäre Wirbelschicht	<ul style="list-style-type: none"> ● Nur für feinen, gleichmäßigen Abfall ● Häufig für Schlämme 	1–10	<ul style="list-style-type: none"> ● Gute Durchmischung 	<ul style="list-style-type: none"> ● Risiko der Klumpenbildung im Wirbelbett 	Sehr gut
Zirkulierende Wirbelschicht	<ul style="list-style-type: none"> ● Nur für feinen, gleichmäßigen Abfall ● Häufig für Schlämme 	1–20 (meist >10)	<ul style="list-style-type: none"> ● Gute Durchmischung ● Größere Flexibilität bei Änderungen im Input 	<ul style="list-style-type: none"> ● Größerer Zyklon erforderlich 	Sehr gut
Drehrohr	<ul style="list-style-type: none"> ● Neben Feststoffen auch Flüssigkeiten und pastöse Materialien als Input ● Häufig angewandt für Verbrennung gefährlicher Abfälle 	< 10	<ul style="list-style-type: none"> ● Viel Erfahrung ● Breites Einsatzgebiet ● Lange Verweilzeit (~1 h) 	<ul style="list-style-type: none"> ● Empfindlicher gegen abrasive Feststoffe ● Durchsatz geringer als bei Rost 	Sehr gut
Rost + Drehrohr	Für sehr heterogene Abfälle	1–10	<ul style="list-style-type: none"> ● Verbessertes Ausbrand der Schlacke ● Möglichkeit der Ver- glasung der Schlacke 	<ul style="list-style-type: none"> ● Verringerter Durchsatz ● Höhere Kosten 	Sehr gut

Für die Verbrennung von Siedlungsabfall wird in Österreich fast ausschließlich das System der Rostfeuerung angewendet, für die Verbrennung von Klärschlamm, industriellen Schlammern, aufbereiteten Abfällen sowie gefährlichen Abfällen wird die Wirbelschichtfeuerung eingesetzt. Das Drehrohr kommt i. d. R. bei der Verbrennung von gefährlichen Abfällen zum Einsatz.

2.1.2 Abfallverbrennungsanlagen in Österreich

2.1.2.1 Anlagen zur thermischen Behandlung von Siedlungsabfall

Tab. 8 gibt einen Überblick über die in Österreich in Betrieb oder in Bau befindlichen Abfallverbrennungsanlagen.

Tab. 8: Große Abfallverbrennungsanlagen für nicht gefährliche Abfälle in Österreich (STUBENVOLL 2004).

Anlage	BL	Betreiber	Inbetriebnahme	Feuerung	Abfallart	Genehmigte Kapazität in t/a
Arnoldstein	K	KRV	2004	Rost	Restabfall, Gewerbeabfall	80.000
Dürrrohr/ Zwentendorf	NÖ	AVN	2003	Rost	Restabfall, Klärschlamm, Industrieabfall, Gewerbeabfall, Sperrmüll	300.000
Lenzing	OÖ	AVE-RVL	1998	Zirkulierende WS	Kunststoffabfälle, Altholz, Klärschlamm, Rejete	150.000–300.000*
Wels I	OÖ	WAV	1995	Rost	Restabfall	75.000
Wels II	OÖ	WAV	2006	Rost	Restabfall, Sperrmüll, Gewerbeabfall	230.000
Niklasdorf	St	ENAGES	Dezember 2003	Zirkulierende WS	Schlämme, Industrieabfall, Altholz, Rejete, MBA-Fraktion	100.000
Flötzersteig	W	Fernwärme Wien	1963	Rost	Restabfall	200.000
Pfaffenau	W	Fernwärme Wien	2006–2008	Rost	Restabfall	250.000
Simmeringer Haide WSO 1–3	W	Fernwärme Wien	1980	Stationäre WS	Klärschlamm	180.000
Simmeringer Haide WSO4	W	Fernwärme Wien	2004	Stationäre WS	Restabfall, Klärschlamm	110.000
Spittelau	W	Fernwärme Wien	1971	Rost	Restabfall	270.000
Summe bis inklusive 2003						max. 1.425.000
Summe bis inklusive 2005						max. 1.615.000
Summe bis inklusive 2010						max. 2.095.000

* je nach Heizwert des Abfalls;

WS ... Wirbelschichtreaktor

Bei Rostfeuerung und Drehrohren fallen – abhängig von der Art des Abfalls – 20 bis 30 % des eingesetzten Abfalls als Schlacke und 1,5 bis 3,5 % als Asche an. Bei der Wirbelschichtfeuerung fallen fast die gesamten nicht brennbaren Feststoffe als Asche an (25 bis 35 % des eingesetzten Abfalls). Bei der Verwendung von nassen Wäschern fallen außerdem weniger als 2 % des eingesetzten Abfalls als Filterkuchen an (siehe Tab. 9).

Abfallart		Flötzer-			Simmeringer	Simmeringer
		steig	Spittelau	Wels I	Haide WSO 1–3	Haide Drehrohr
Restmüll		Restmüll	Restmüll	Restmüll	Klärschlamm	Gefährlicher Abfall
Feuerung		Rost	Rost	Rost	Wirbelschicht	Drehrohr
Output, bezogen auf eine Tonne Abfall						
Schlacke	kg/t	255,6	207	274		190
Schrott	kg/t	k.A.	22	17		13
Flugasche	kg/t	15,6	19	35	264	15
Filterkuchen	kg/t	0,93	1,00	2,25	23	17
Gips	kg/t			5		
Gereinigtes Ab- wasser	l/t	313	415	358	1.104	1.657
Reingas (trocken)	Nm ³ /t	5.100	4.545	5.692	13.110	7.900

Tab. 9:
Output ausgewählter
österreichischer Abfall-
verbrennungsanlagen je
Tonne Abfall
(STUBENVOLL et al. 2002).

2.1.3 Eigenschaften und Zusammensetzung der Aschen und Schlacken aus der Abfallverbrennung

Im zu verbrennenden Restmüll liegen Eisen, Aluminium, Kupfer, Zink und Blei überwiegend in metallischer Form vor. Beim Verbrennungsprozess werden die Metalle zum Teil in Oxide, Sulfide oder Chloride übergeführt oder sie schmelzen auf. Die geschmolzenen Metalle bilden Schlieren und werden entweder in die ansinternde (aufbrechende) Aluminosilikatmatrix eingebunden oder im Rauchgas suspendiert. Auch die niedrig schmelzenden Chloride und metallorganische Verbindungen gehen bevorzugt ins Rauchgas.

Verbrennungsschlacken und Bettaschen bestehen hauptsächlich aus Calcium- und Eisenoxiden sowie aus Aluminosilikatverbindungen und schwer flüchtigen Metallen. Daneben können noch größere Metallstücke aus dem eingesetzten Abfall und unverbranntes organisches Material gefunden werden.

Die Zusammensetzung von Schlacken aus der Abfallverbrennung unterliegt Schwankungen, die sich aus der unterschiedlichen und stark schwankenden Abfallzusammensetzung und aus der Verbrennungstechnologie ergeben und ist daher konkret kaum vorhersagbar. Die Zusammensetzung von Schlacken aus österreichischen Anlagen wird in den Tab. 10 und Tab. 11 wiedergegeben.

Nach dem Verbrennungsprozess werden die Schlacken meist in einem Nassentschlacker mit Wasser abgekühlt, wobei die Verweilzeit im Wasser ca. 1 Stunde beträgt. Dabei bildet sich aus Calciumoxid das basische Calciumhydroxid, welches den pH-Wert erhöht und damit einige Metallionen (z. B. Blei oder Aluminium) mobilisiert (LECHNER & STUBENVOLL 2004).

Im Rauchgas sind direkt nach der Verbrennung bis zu 46 g/Nm³ Ascheteilchen suspendiert. Neben den mineralischen und metallischen Inhaltsstoffen besteht die Flugasche auch aus Ruß und adsorbierten flüchtigen Metallen, Säuren und weiteren organischen Verbindungen (ANONYMUS 1999) sowie zu 8 bis 10 % aus Chloriden. In der Flugasche ist die Konzentration von löslichen Verbindungen (NaCl, KCl, CaCl₂, CaSO₃, CaSO₄, CaF₂ ...) und einigen Schwermetallen (Pb, Zn, Cd) höher als in der Schlacke.

Aufgrund der Korngrößenverteilung (meist $< 0,1$ mm), der Anwesenheit von Silikaten und Oxiden sowie der Bildung von Mischkristallen mit Carbonaten liegen günstige Voraussetzungen für die Adsorption von Schwermetallionen (insbesondere der Elemente Pb und Cu) vor.

Durch die Bildung von Schwermetall- und Arsen- bzw. Antimonchloriden und –sulfaten und der Adsorption infolge der hohen spezifischen Oberfläche ist mit einer **hohen anorganischen Schadstoffbelastung der Eluate und der Sickerwässer** zu rechnen, wenn Flugasche für sich alleine (das heißt ohne Schlacke) abgelagert wird.

In Österreich werden die Grobaschen (Schlacken) aus der Abfallverbrennung zum Teil verfestigt (z. B. in Wien) und anschließend deponiert. Flugaschen werden entweder exportiert und untertage deponiert oder vorbehandelt und obertägig deponiert.

Das Eluatverhalten von Aschen und Schlacken vor der Verfestigung aus der Abfallverbrennungsanlage Spittelau ist in Tab. 12 wiedergegeben.

Die Schwermetalle in den Aschen und Schlacken sind vor allem an Calcit (CaCO_3) und Anhydrite (CaSO_4) gebunden und im sauren pH-Bereich löslich. Unter den Bedingungen, wie sie auf einer Reststoffdeponie üblich sind, lösen sich zunächst die Chloride. Durch Carbonatisierung mit dem CO_2 der Luft senkt sich der pH-Wert der Schlacken bzw. Aschen innerhalb einiger Monate von ca. 11 auf 8,5 und bleibt dort nach Modellrechnungen stabil. Das ist jener pH-Bereich, bei dem die Schwermetalle bzw. Schwermetallverbindungen die geringste Löslichkeit aufweisen. Allerdings sind das Langzeitverhalten und der Einfluss von Komplexbildnern sowie die Wechselwirkung zwischen Schwermetallionen noch nicht restlos geklärt. Es wird aber davon ausgegangen, dass unter den vorherrschenden Bedingungen Schwermetalle nur langsam ausgewaschen werden. Jene Schwermetalle, die als Oxide oder in der Schlackeschmelze gebunden sind, können als inert betrachtet werden (GUERIN 2000).

Jedoch erfährt die Schlacke der Rostfeuerung nur punktuelle Aufschmelzungen bzw. Versinterungen durch lokal auftretende Temperaturspitzen oder lokal auftretende, den Schmelzpunkt erniedrigende Zusammensetzungen. Die dabei entstehenden Gläser sind **nicht verwitterungsbeständig** (LECHNER & STUBENVOLL 2004).

Tab. 10 und 11 zeigen Daten über die Zusammensetzung der Schlacken aus den Abfallverbrennungsanlagen Spittelau, Flötzersteig, Dürnrohr und Arnoldstein.

Die große Streuung der Werte der Schlacken ist vor allem durch Schwankungen der Abfallzusammensetzung, aber auch zu einem (wenn auch geringeren) Teil durch unterschiedliche Verbrennungsbedingungen erklärbar. Die Verbrennungsbedingungen hängen u. a. von der Stückigkeit des Abfalls, dem Eintrag des Abfalls in die Feuerung, der Verweilzeit des Abfalls auf dem Rost und der Luftzufuhr ab.

In Übereinstimmung mit der Theorie erkennt man die starken Schwankungen in der Zusammensetzung der Schlacke: Der Maximalwert liegt um den Faktor 2 bis 10 (für einzelne Schwermetalle um den Faktor 35 bis 70) über den Minimalwerten. Auffallend ist auch der große Unterschied zwischen den Schlacken der Wiener Müllverbrennungsanlagen Spittelau und Flötzersteig. Dies dürfte auf Unterschiede in der Anlagentechnologie (die MVA Spittelau hat einen Magnetabscheider für die Grobasche) und der Betriebsweise zurückzuführen sein, da in diesen Anlagen der gleiche Hausmüll verbrannt wird. Unterschiede in den Werten könnten auch z. T. auf die Probenahme zurückgeführt werden.

Tab. 10: Gesamtgehalte von Schlacken der Abfallverbrennungsanlagen Spittelau und Flötzersteig

(STUBENVOLL et al. 2002; DEPONIE RAUTENWEG 1998; MORF et al. 2004; MVA SPITTELAU 2004; ÖBRV 2004).

		MVA-Spittelau				MVA-Flötzersteig			
		n	MW	MIN	MAX	n	MW	MIN	MAX
Glühverlust	mg/kg TS	31	20.617	9.000	56.250	28	31.095	12.000	75.000
Ag	mg/kg TS	29	29	9	30	26	40	25	65
Al	mg/kg TS	53	51.787	30.000	75.000	2	75.000	40.000	110.000
Al-Metall	mg/kg TS	1	20.000						
As	mg/kg TS	31	13	2	70	28	10	3	15
B	mg/kg TS	3	111	80	165				
Ba	mg/kg TS	29	1.366	390	2.200	26	2.038	1.500	3.500
Cd	mg/kg TS	79	10	2	50	28	8	4	15
Co	mg/kg TS	29	38	9	85	26	51	25	100
Cr	mg/kg TS	55	314	100	550	28	350	200	500
Cu	mg/kg TS	53	1.982	500	4.010	26	1.842	1.000	8.500
Fe	mg/kg TS	29	56.483	30.000	80.000	2	30.000	20.000	40.000
Hg	mg/kg TS	79	1,2	0,1	7,0	28	2,3	0	12,0
Mn	mg/kg TS	5	642	300	1.100	2	700	400	1.000
Ni	mg/kg TS	55	257	42	420	28	329	50	1.200
Pb	mg/kg TS	79	1.336	250	5.500	28	1.954	1.000	3.500
Sb	mg/kg TS	3	39	23	62				
Sn	mg/kg TS	27	128	91	130				
V	mg/kg TS	3	30	27	32				
Zn	mg/kg TS	79	2.385	1.200	5.500	28	3.843	1.500	5.000
Cl	mg/kg TS	3	3.000	1.090	7.500	2	5.343	2.353	8.333
F	mg/kg TS	2	680	109	1.250	2	892	118	1.667
SO ₄	mg/kg TS	2	55.435	10.870	100.000	2	50.490	17.647	83.333
C org	mg/kg TS	52	13.925	9.000	31.250	28	21.618	17.647	41.667
Σ KW	mg/kg TS	3	80	< 10	220	26	< 10	< 10	< 10
PAK	µg/kg TS	3	30	10	50	26	11	10	30
PCB	µg/kg TS	2	< 600	< 600	< 600	2	< 600	< 600	< 600
PCDD/F	µg TEQ /kg TS	2	0,005	0,001	0,01	2	0,005	0	0,01

MW = Mittelwert,

n = Anzahl der Proben, die zur Bestimmung des Mittelwertes herangezogen wurden, wobei angenommen wurde, dass in der Literatur angegebene (Jahres-)Mittelwerte aus 24 Stichproben errechnet worden waren;

MIN = Mindestwert,

MAX = Maximalwert



Tab. 11: Gesamtgehalte von Schlacken der Abfallverbrennungsanlagen der AVN Dürnrohr und der KRV Arnoldstein (ZEHETNER 2005; ZELLINGER 2005).

		AVN Dürnrohr				KRV Arnoldstein			
		n	MW	MIN	MAX	n	MW	MIN	MAX
Glühverlust	mg/kg TS	3	23.000	4.100	41.000				
Al	mg/kg TS	26		34.100	50.200				
Al-Metall	mg/kg TS	6		4.600	12.000				
As	mg/kg TS	6	2,47	0,22	7,2	8	5,8	4,0	13
B	mg/kg TS	2		182	253				
Ba	mg/kg TS	6	117	50	167				
Cd	mg/kg TS	6	12,2	2,1	19,0	8	5,4	0,79	7,7
Co	mg/kg TS	6	16	3	33				
Cr	mg/kg TS	6	218	27	350				
Cu	mg/kg TS	6	665	54	1.480				
Fe	mg/kg TS	2		21.600	37.500				
Hg	mg/kg TS	6	0,39			8	< 0,6	< 0,6	< 0,6
Mn	mg/kg TS	2		116	855				
Ni	mg/kg TS	6	125	14	230				
Pb	mg/kg TS	6	1.013	57	1.810	14	926	319	1.541
Sb	mg/kg TS	2		10	117				
Sn	mg/kg TS	2		4,7	155				
V	mg/kg TS	2		7,8	44				
Zn	mg/kg TS	6	3.273	498	4.550				
Cl	mg/kg TS								
F	mg/kg TS								
SO ₄	mg/kg TS								
C org	mg/kg TS	1	28.000						
Σ KW	mg/kg TS								
PAK	µg/kg TS	1	460			1	66		
PCB	µg/kg TS	1	13			1	0,39		
PCDD/F	µg TEQ /kg TS	1	0,056			1	0,0029		

MW = Mittelwert,

n = Anzahl der Proben, die zur Bestimmung des Mittelwertes herangezogen wurden;

MIN = Mindestwert, MAX = Maximalwert

Im Fall der Anlage der AVN ergibt sich ein ähnliches Bild. In dieser Anlage wurden im Jahr 2004 neben Siedlungsabfällen (rund 90 %) auch Shredderleichtfraktionen (3 %), Rückstände aus der Altpapierverwertung (5 %) und Rückstände aus der mechanischen Abfallbehandlung (geringe Anteile) verbrannt.

Anhand der Daten für die Anlage der KRV können noch keine allgemeinen Aussagen über mögliche Vorteile des dort angewendeten Verfahrens (Martin Syncom Verfahren) getroffen werden.

In Tab. 12 wird die Zusammensetzung der Schlacke aus den MVAs Spittelau und Flötzersteig (für die Jahre 1997–2004) mit verschiedenen Referenzwerten und Grenz-

werten verglichen. Die Holland Liste für Boden zeigt als Referenzwert Stoffkonzentrationen in unbelasteten Böden und als Interventionswert Stoffkonzentrationen, ab denen Maßnahmen zur Sanierung des betreffenden Bodens angezeigt scheinen.

	Gesamtgehalte (mg/kg TS)*			Holland Liste: Boden (mg/kg TS)*		Gesamtgehalt (mg/kg TS)*	
	Mittelwerte	MIN	MAX	Referenzwert	Interventionswert	GW für Reststoffdeponie	RW für Recyclingbaustoffe
As	10–13	2	70	29	55	5.000	30
Ba	1.366–2.038	390	3.500	200	625		
Cd	8–10	2	50	0,8	12	5.000	1,1
Co	38–51	9	100	20	240		
Cr	314–350	100	550	100	380		90
Cu	1.842–1.982	500	8.500	36	190		90
Hg	1,2–2,3	0,1	12	0,3	10	20	0,7
Mn	642–700	300	1.100				
Ni	257–329	42	1.200	35	210		55
Pb	1.336–1.954	250	5.500	85	530		100
Sb	39	23	62				
Sn	128	91	130				
Zn	2.385–3.843	1.200	5.500	140	720		450
Σ KW	< 10–80	< 10	220			5.000	
PAK	11–30	10	50	1.000	40.000		20.000

* PAK in µg/kg TS

Tab. 12:
Gesamtgehalt der Schlacken aus den MVAs Spittelau und Flötzersteig im Vergleich mit Referenzwerten, Grenzwerten (GW) und Richtwerten (RW) (STUBENVOLL et al. 2002; DEPONIE RAUTENWEG 1998; MORF et al. 2004; MVA SPITTELAU 2004; BRUNNER & RECHBERGER 2004; BELEVI 2004; BMU 1996; ÖBRV 2004).

Weiters wird ein Vergleich angestellt:

- mit den Grenzwerten für die Reststoffdeponie gemäß Deponieverordnung (BGBl. 164/1996 in der Fassung BGBl. II Nr. 49/2004), um die Deponiefähigkeit der Schlacke zu beurteilen;
- mit den Richtwerten der Richtlinie für Recyclingbaustoffe (ÖBRV 2004), um zu beurteilen, ob ein Potenzial für die Nutzung der Schlacke als Baustoff vorliegt. Diese Richtwerte sind unverbindliche Werte für das Erlangen eines Gütesiegels und haben keine rechtliche Bindung.

Generell sollten als Recycling-Baustoffe nur Stoffe mit folgenden Eigenschaften eingesetzt werden:

- analysierbare Eigenschaften
- eng begrenzte Eigenschaften
- vorhersehbare Eigenschaften.

Demzufolge ist die Umweltverträglichkeit von Recycling-Baustoffen dann gegeben, wenn

- ausschließlich geeignete Baurestmassen zu Recycling-Baustoffen verarbeitet,
- vorgegebene Grenzwerte eingehalten und
- die Recycling-Baustoffe in geeigneter Form eingesetzt werden.



Der Vergleich der Schlackengesamtgehalte mit den Referenzwerten der Holland Liste (siehe Tab. 12) zeigt:

- Alle Maximalwerte (mit Ausnahme der PAK) liegen über den entsprechenden Referenzwerten.
- Folgende Mittelwerte liegen über den Referenzwerten: Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn.
- Folgende Minimalwerte liegen über den Referenzwerten: Ba, Cd, Cu, Ni, Pb, Zn.

Der Vergleich der Gesamtgehalte in den Schlacken mit den Interventionswerten der Holland-Liste zeigt:

- Folgende Maximalwerte liegen über den entsprechenden Interventionswerten: As, Ba, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn.
- Folgende Mittelwerte liegen über den Interventionswerten: Ba, Cu, Ni, Pb, Zn.
- Folgende Minimalwerte liegen über den Interventionswerten: Cu, Zn.

Die Grenzwerte (Gesamtgehalte) für die Ablagerung der Schlacken auf einer Reststoffdeponie werden durchwegs unterschritten.

Vergleich der Schlackengesamtgehalte mit den Richtwerten für Recyclingbaustoffe zeigt:

- Folgende Maximalwerte liegen über den entsprechenden Richtwerten: As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn.
- Folgende Mittelwerte liegen über den Richtwerten: Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn.
- Folgende Minimalwerte liegen über den Richtwerten: Cd, Cr, Cu, Pb, Zn.

Resümee: keine Eignung der Schlacke für eine Verwendung als Recyclingbaustoff.

In Tab. 13 werden Messwerte von Schlacken-Eluaten mit den Eluat-Grenzwerten für die Ablagerung auf einer Reststoffdeponie und für die Verwendung als Recyclingbaustoff verglichen.

Vergleich der Schlacken-Eluate mit den Eluat-Grenzwerten für die Ablagerung auf einer Reststoffdeponie:

- Folgende (verfügbare) Maximalwerte liegen über den Grenzwerten: pH, Abdampfrückstand, Pb.
- Folgende Mittelwerte liegen über den Grenzwerten: pH, Pb.

Resümee: keine Eignung für eine Ablagerung ohne Vorbehandlung auf einer Reststoffdeponie.

Vergleich der Schlacken-Eluate mit den Eluat-Richtwerten für Recyclingbaustoffe:

- Folgende (verfügbare) Maximalwerte liegen über den Richtwerten: pH, Leitfähigkeit, Ba, Cd, Cu, Pb, Sb, NH₄, Cl, Phenol.
- Folgende Mittelwerte liegen über den Richtwerten: Leitfähigkeit, Cd, Cu, Ni, Pb, Sb, Cl, Phenol.

Resümee: keine Eignung der Schlacke für eine Verwendung als Recyclingbaustoff.

Tab. 13: Eluatkonzentrationen der Schlacken von Abfallverbrennungsanlagen im Vergleich mit Grenzwerten (GW) und Qualitätsanforderungen (QA) für Recyclingbaustoffe (STUBENVOLL et al. 2002; DEPONIE RAUTENWEG 1998; MVA SPITTELAU 2004; BMU 1996; ÖBRV 2004).

	Schlacken-ELUATE				Eluate-Werte		
	MVA-Spittelau		MVA-Flötzersteig		GW für Reststoffdeponie	QA für Recyclingbaustoffe der Qualitätsklasse B	
	n	Mittelwert (MW)	MAX	Mittelwert (MW)			
pH-Wert	29	12,4	12,6	12	6–12	7,5–12,5	
Leitfähigkeit	mS/m	3	257	372	1.000	150	
Abdampfrückstand	mg/kg TS	29	29.555	67.000	10.962	60.000	
Al	mg/kg TS	3	1.400	2.450			
As	mg/kg TS	3	0,05	0,05	1	0,5	
B	mg/kg TS	3	0,18	0,30			
Ba	mg/kg TS	3	10	26	100	20	
Be	mg/kg TS	3	0,10	0,10			
Cd	mg/kg TS	3	0,10	0,10	< 0,01	1	0,04
Co	mg/kg TS	3	0,10	0,10		5	
Cr	mg/kg TS	3	0,10	0,10	< 0,5	20	0,5
Cr-VI	mg/kg TS	3	0,05	0,05		1	
Cu	mg/kg TS	3	2,88	4,9	3	10	2
Fe	mg/kg TS	3	< 0,5	0,5	< 0,5		
Hg	mg/kg TS		< 0,01		< 0,01	0,1	0,01
Mn	mg/kg TS		< 0,5		< 0,5		
Ni	mg/kg TS		< 0,5		< 0,5	10	0,4
Pb	mg/kg TS	27	18	20	60	10	0,5
Sb	mg/kg TS	3	0,16	0,23			0,06
Sn	mg/kg TS					20	
V	mg/kg TS						
Zn	mg/kg TS	27	1,5	1,90	2	100	4
NH ₄ als N	mg/kg TS	29	7,3	12,0	7	100	8
Cl	mg/kg TS	27	2.590	4.158	1.500		800
F	mg/kg TS	3	5	7	1	100	10
NO ₃ als N	mg/kg TS		< 3	< 3	< 3		
NO ₂ als N	mg/kg TS		0,5	0,5	5		2
P	mg/kg TS		< 3	< 3	< 3	50	
SO ₄	mg/kg TS	53	145	1.060	40.050		3.500
C org	mg/kg TS	50	250	280	204		500
Phenol	mg/kg TS	3	1,1	1,2			1

MW = Mittelwert,

n = Anzahl der Proben, die zur Bestimmung des Mittelwertes herangezogen wurden, wobei angenommen wurde, dass in der Literatur angegebene (Jahres-)Mittelwerte aus 24 Stichproben errechnet worden waren;

MIN=Mindestwert,

MAX=Maximalwert

Ein Vergleich der Eluatgehalte der Schlacken der MVA Dürnröhr mit den Eluatrichtwerten für Recyclingbaustoffe ergibt für die Schadstoffe Pb, Cr, F sowie für den pH-Wert, die Leitfähigkeit, Cl und SO₄ zu hohe Werte. Im Vergleich mit den Grenzwerten für die Ablagerung auf einer Reststoffdeponie ist der Pb-Wert zu hoch. Allerdings werden in dieser Anlage neben Siedlungsabfällen (90 %) noch Shredderleichtfraktionen (3 %), Rückstände aus der Altpapierverwertung (5 %) und geringe Anteile von Rückständen aus der mechanischen Abfallbehandlung verbrannt.

Anhand der Daten für die Anlage der KRV können noch keine allgemeinen Aussagen über mögliche Vorteile des dort angewendeten Verfahrens (Martin Syncom Verfahren) getroffen werden.

Aufgrund der verfügbaren Daten, der Kenntnis der Anlagentechnologie und der inhärenten Eigenschaften des Siedlungsabfalles kann geschlossen werden, dass obige Aussagen für die Gesamtheit jener Abfallverbrennungsanlagen (auf Basis einer Rostfeuerung) repräsentativ ist, welche zum überwiegenden Teil Siedlungsabfälle behandeln. Inwieweit die Ablagerbarkeit von Schlacken entsprechend den Vorgaben der Deponieverordnung möglich ist, muss im Einzelfall überprüft werden.

Im Fall der Flugasche ergibt ein ähnlicher Vergleich folgendes Ergebnis (Gesamtgehalte: siehe Tab. 14; Eluatgehalte: siehe Tab. 15):

- Vergleich mit den Referenzwerten der Holland-Liste:
 - Alle Maximalwerte (mit Ausnahme der PAK) liegen über den entsprechenden Referenzwerten.
 - Folgende Mittelwerte liegen über den Referenzwerten: Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn.
 - Folgende Minimalwerte liegen über den Referenzwerten: Ba, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn.
- Vergleich mit den Interventionswerten der Holland-Liste:
 - Folgende Maximalwerte liegen über den entsprechenden Referenzwerten: Ba, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn.
 - Folgende Mittelwerte liegen über den Referenzwerten: Ba, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn
 - Folgende Minimalwerte liegen über den Referenzwerten: Ba, Cd, Cu, Pb, Zn.

Die Grenzwerte (Gesamtgehalte) für die Ablagerung auf einer Reststoffdeponie werden für Hg (Maximalwert) überschritten. Allerdings gibt es laut Deponie-VO folgende Ausnahme: Wenn Quecksilber in Form schwer löslicher sulfidischer Verbindungen vorliegt und verfestigt wurde, ist ein Quecksilbergehalt bis maximal 3.000 mg/kg TS zulässig.

Vergleich mit den Richtwerten für Recyclingbaustoffe:

- Folgende Maximalwerte liegen über den entsprechenden Richtwerten: As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn.
- Folgende Mittelwerte liegen über den Richtwerten: Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn.
- Folgende Minimalwerte liegen über den Richtwerten: Cd, Cr, Cu, Hg, Pb, Zn.

Resümee: keine Eignung der Flugasche für eine Verwendung als Recyclingbaustoff.



In Tab. 15 werden Messwerte von Flugasche-Eluaten mit den Eluat-Grenzwerten für die Ablagerung auf einer Reststoffdeponie und für die Verwendung als Recyclingbaustoff verglichen.

Vergleich der Flugasche-Eluate mit den Eluat-Grenzwerten für die Ablagerung auf einer Reststoffdeponie:

- Folgende (verfügbare) Maximalwerte liegen über den Grenzwerten: pH, Leitfähigkeit, Abdampfrückstand, Cd, Pb, Zn.
- Folgende Mittelwerte liegen über den Grenzwerten: pH, Leitfähigkeit, Abdampfrückstand, Pb.
- Folgende (verfügbare) Minimalwerte liegen über den Grenzwerten: Leitfähigkeit, Abdampfrückstand.

Vergleich der Flugasche-Eluate mit den Eluat-Richtwerten für Recyclingbaustoffe:

- Folgende (verfügbare) Maximalwerte liegen über den Richtwerten: pH, Leitfähigkeit, Cd, Hg, Pb, Sb, Zn, NH₄, Cl, F, SO₄
- Folgende Mittelwerte liegen über den Richtwerten: Leitfähigkeit, Cd, Hg, Pb, Sb, Zn, Cl, F, SO₄.
- Folgende Minimalwerte liegen über den Richtwerten: Leitfähigkeit, Cd, Zn, Cl, F, SO₄.

Resümee: keine Eignung für eine Ablagerung ohne Vorbehandlung auf einer Reststoffdeponie, keine Eignung für eine Verwendung als Recyclingbaustoff.

Die seitens der Betreiber der AVN-Dürröhre zur Verfügung gestellten Daten (ZE-HETNER 2005) lassen den Schluss zu, dass dieses Resümee auch für die Abfallverbrennungsanlage Dürröhre zutrifft.

Für diesen Vergleich waren nur Analysenergebnisse für Flugaschen aus zwei Müllverbrennungsanlagen (aus den Jahren 1998–2004) verfügbar. Aufgrund der verfügbaren Daten, der Kenntnis der Anlagentechnologie und der inherenten Eigenschaften des Siedlungsabfalles kann aber geschlossen werden, dass obige Aussagen für die Gesamtheit jener Abfallverbrennungsanlagen (auf Basis einer Rostfeuerung) repräsentativ sind, welche zum überwiegenden Teil Siedlungsabfälle behandeln.



Tab. 14: Gesamtgehalt von Flugaschen aus österreichischen Abfallverbrennungsanlagen im Vergleich mit Referenzwerten, Grenzwerten (GW) und Qualitätsanforderungen (QA) für Recyclingbaustoffe (STUBENVOLL et al. 2002; DEPONIE RAUTENWEG 1998; MORF et al. 2004; MVA SPITTELAU 2004; BMU 1996; ÖBRV 2004).

	Gesamtgehalte Flugaschen								Holland Liste: Boden Interventionswerte	Gesamtgehalt	
	MVA-Spittelau				MVA-Flötzersteig*					GW für Rest- stoffdeponie	QA der Qualitäts- klasse B
	n	MW	MIN	MAX	n	MW	MAX				
Glüh- verlust	mg/kg TS	28	23.286	3.000	38.000	28	19.541	30.151			
Ag	mg/kg TS	29	36	30	49	26	50	70			
Al	mg/kg TS	29	57.774	40.000	80.000	2	55.000	70.000			
As	mg/kg TS	31	18	3	32	28	24	37	55	5.000 30	
B	mg/kg TS	3	132	119	147						
Ba	mg/kg TS	29	1.827	644	3.200	26	1.603	2.600	625		
Cd	mg/kg TS	55	224	50	500	28	352	1.400	12	5.000 1,1	
Co	mg/kg TS	29	49	15	120	26	41	95	240		
Cr	mg/kg TS	31	473	164	700	28	736	900	380	90	
Cu	mg/kg TS	29	761	400	1.200	26	1.102	1.500	190	90	
Fe	mg/kg TS	4	13.450	10.000	20.000	2	15.000	20.000			
Hg	mg/kg TS	55	17	3	50	28	20	40	10	20 0,7	
Mn	mg/kg TS	5	654	500	800	2	650	900			
Ni	mg/kg TS	31	101	42	240	28	228	700	210	55	
Pb	mg/kg TS	55	4.505	2.500	72.000	28	5.446	7.300	530	100	
Sb	mg/kg TS	3	757	550	1.038						
Sn	mg/kg TS	3	749	651	867						
V	mg/kg TS	3	28	24	31						
Zn	mg/kg TS	55	11.990	7.000	20.600	28	19.786	25.000	720	450	
Cl	mg/kg TS	2	80.000	50.000	110.000	2	95.326	115.578			
F	mg/kg TS	2	8.000	1.000	15.000	2	2.008	3.015			
SO ₄	mg/kg TS	2	85.000	60.000	110.000	2	85.337	125.628			
C org	mg/kg TS	28	16.000	8.000	25.000	28	18.897	21.000			
Σ KW	mg/kg TS	29	21	< 10	210	26	< 10	< 10		5.000	
PAK	µg/kg TS	3	20	10	30	26	11	30	40.000	20.000	
PCB	µg/kg TS	2	< 600	< 600	< 600	2	< 600	< 600			
PCDD/F	µg Teq /kg TS	2	3	1	4	2	2	2			

MW = Mittelwert,

n = Anzahl der Proben, die zur Bestimmung des Mittelwertes herangezogen wurden, wobei angenommen wurde, dass in der Literatur angegebene (Jahres-)Mittelwerte aus 24 Stichproben errechnet worden waren;

MIN = Mindestwert,

MAX = Maximalwert

* Mindestwerte waren bei der MVA Flötzersteig nicht verfügbar

Tab. 15: Konzentrationen von Flugasche-Eluaten aus österreichischen Abfallverbrennungsanlagen im Vergleich mit Grenzwerten (GW) und Qualitätsanforderungen (QA) für Recyclingbaustoffe (STUBENVOLL et al. 2002; DEPONIE RAUTENWEG 1998; MORF et al. 2004; MVA SPITTELAU 2004; BMU 1996; ÖBRV 2004).

	Flugaschen-ELUATE					Eluat-Werte	
	MVA-Spittelau				MVA-Flötzersteig	GW für Reststoff-deponie	QA für Recyclingbaustoffe der Qualitätsklasse B
	n	MW	MIN	MAX	MW		
pH-Wert	29	12,3	11,9	12,7	12	6–12	7,5–12,5
Leitfähigkeit mS/m	3	3.780	3.530	4.030		1.000	150
Abdampf-rückstand mg/kg TS	26	207.231	190.000	230.000	207.000	60.000	
Ag mg/kg TS	3	0,23	0,10	0,40		1	
Al mg/kg TS	3	1	1	3			
As mg/kg TS	3	0,06	0,04	0,05		1	0,5
B mg/kg TS	3	0,67	0,30	1,10			
Ba mg/kg TS	3	4	3,0	6		100	20
Be mg/kg TS	3	0,17	0,10	0,20			
Cd mg/kg TS	27	0,25	0,10	1,60	0	1	0,04
Co mg/kg TS	3	0,23	0,10	0,40		5	
Cr mg/kg TS	3	0,23	0,10	0,40	< 0,5	20	0,5
Cr-VI mg/kg TS	27	0,48	0,05	0,80		1	
Cu mg/kg TS	27	0,52	0,20	1,3	1	10	2
Fe mg/kg TS	29	< 0,5	0,0	6,2	< 0,5		
Hg mg/kg TS	3	0,04	0,01	0,05	< 0,01	0,1	0,01
Mn mg/kg TS	27	0,53	0,10	2,10	< 0,5		
Ni mg/kg TS		< 0,5			< 0,5	10	0,4
Pb mg/kg TS	27	253	6,0	779	120	10	0,5
Sb mg/kg TS	3	0,22	0,05	0,56			0,06
Sn mg/kg TS	3	0,17	0,10	0,20		20	
V mg/kg TS	3	0,23	0,10	0,40			
Zn mg/kg TS	27	23,2	15	220	5	100	4
NH ₄ mg/kg TS	29	5	0,8	14,0	3	100	8
Cl mg/kg TS	27	99.841	90.570	111.500	110.000		800
F mg/kg TS	29	41	27	54	13	100	10
NO ₂ als N mg/kg TS		0,5	0,2	0,6	1		2
P mg/kg TS		< 3	< 3	< 3	< 3	50	
SO ₄ mg/kg TS	53	25.573	22060	38.570	24.500		3.500
C org mg/kg TS	50	15	< 5	26	20		500
Σ KW mg/kg TS	3	4	4	4		100	5
Phenol mg/kg TS	3	0,5	0,2	1,0			1

MW = Mittelwert,

n = Anzahl der Proben, die zur Bestimmung des Mittelwertes herangezogen wurden, wobei angenommen wurde, dass in der Literatur angegebene (Jahres-)Mittelwerte aus 24 Stichproben errechnet worden waren;

MIN = Mindestwert, MAX = Maximalwert



Die Filterkuchen aus der Abwasserreinigung sind technologiebedingt eine erwünschte Senke v. a. für Hg. Sie sind wegen der hohen Schwermetallgehalte (v. a. Hg, Pb und Cd) und der hohen Konzentrationen löslicher Salze weder als Baustoff noch zur Deponierung geeignet (siehe Tab. 16). Auffällig sind die großen Unterschiede der Gesamtgehalte der Filterkuchen, welche im Rahmen der zur Verfügung stehenden Daten nicht geklärt werden konnte.

Tab. 16: Gesamtgehalt von Filterkuchen aus österreichischen Abfallverbrennungsanlagen im Vergleich mit Referenzwerten, Grenzwerten (GW) und Qualitätsanforderungen (QA) für Recyclingbaustoffe (STUBENVOLL et al. 2002; DEPONIE RAUTENWEG 1998; MORF et al. 2004; MVA SPITTELAU 2004; BMU 1996; ÖBRV 2004).

		Filterkuchen-Gesamtgehalte			Holland Liste: Boden Interventions- wert	Gesamtgehalte	
		MVA-Spittelau		MVA- Flötzersteig		GW für Resstoff- deponie	QA der Qualitäts- klasse B
		MIN	MAX	MW			
Al	mg/kg TS	1.500	20.000	29.700			
As	mg/kg TS	0,5	15	19	55	5.000	30
Ca	mg/kg TS	200.000	400.000	2.250			
Cd	mg/kg TS	5	10	451	12	5.000	1,1
Cr	mg/kg TS	20	100	238	380		90
Fe	mg/kg TS	10.000	50.000	183.000			
Hg	mg/kg TS	100	2.000	1.590	10	20	0,7
Ni	mg/kg TS	20	160	313	210		55
Pb	mg/kg TS	100	2.000	5.900	530		100
Zn	mg/kg TS	700	4.500	15.000	720		450
Cl	mg/kg TS	6.300	31.500				
F	mg/kg TS	6.300	18.900				
SO ₄	mg/kg TS	189.000	378.000				
PCDD/F	µg Teq/kg TS	0,2	1				

MW = Mittelwert, MIN = Mindestwert, MAX = Maximalwert

2.1.4 Transferkoeffizienten

Die Verteilung der Verbindungen und Elemente auf die einzelnen Outputströme kann durch Transferkoeffizienten dargestellt werden (die Transferkoeffizienten geben die Verteilung des Inputs von Stoffen auf die Outputströme wieder). Tab. 17 zeigt solche Koeffizienten am Beispiel der Müllverbrennungsanlage Spittelau. Es zeigt sich, dass die leicht flüchtigen Metalle (v. a. Cd, Hg) eher in der Asche, alle anderen dagegen in der Schlacke zu finden sind. Der Kohlenstoff und der Stickstoff gehen fast vollständig als CO₂ bzw. NO_x in die Luft.

Die organischen Kohlenstoffverbindungen werden zu 98 % in CO₂ umgesetzt und verlassen als CO₂ über die Abluft die Anlage. Im Abwasser befinden sich der Hauptteil des Input-Wassers, ca. die Hälfte der Chloride und ein größerer Teil der Schwefelverbindungen. Im Filterrückstand der Abwasserreinigung sind etwa zwei Drittel des Quecksilbers und ein geringer Teil der Schwefelverbindungen zu finden. Mit Ausnahme von Quecksilber reichern sich die Schwermetalle zu über 99 % in der Schlacke und Asche an.

	Eisen- schrott	Schlacke	Asche	Filter- kuchen	gereinigtes Abwasser	gereinigte Abluft
Feststoff insgesamt im Einsatz	2,80	25,50		0,20	0,20	71,30
Wasser im Einsatz		2			98	
C	0,01	1,45	< 1	0,20	0,34	98
Cl		35	11	< 1	54	< 1
F		84	15	< 1	< 1	< 1
N	0,01	1,45		0,20	0,34	98
P		83	17	< 1	< 1	< 1
S		47	39	6	8	< 1
Cd		9,50	90	0,40	0,02	0,08
Cu		94	6	< 1	< 1	< 1
Fe	80	18	1	< 1	< 1	< 1
Hg		5	29	66	< 1	< 1
Pb		71	28	0,10	< 1	< 1
Zn		53,88	46	0,10	< 1	0,02

Tab. 17:
Transferkoeffizienten
ausgewählter
Schadstoffe am Beispiel
der MVA-Spittelau in %
(aus UMWELTBUNDESAMT
2001b und errechnet
aus UMWELTBUNDESAMT
1995b).

2.1.5 Abfallzusammensetzung

In diesem Kapitel soll gezeigt werden, aus welchen Fraktionen des zur Verbrennung gelangenden Abfalls und wenn möglich von welchen Gütern die Schadstoffe stammen, die in den Rückständen der Abfallverbrennung zu finden sind.

Als Hintergrundinformation sind im Anhang die Eigenschaften und insbesondere die schädigende Wirkung ausgewählter Schwermetalle, von Aluminium und Chlorverbindungen (insbesondere PVC, Dioxine und Furane dargestellt).

2.1.5.1 Zusammensetzung von Haus- bzw. Restmüll

In Wien wurde anhand der Transferkoeffizienten und der Zusammensetzung der Rückstände aus der Verbrennung die Zusammensetzung der Abfälle errechnet (Jahr 1994: Tab. 18, bzw. Jahre 2000–2003: Tab. 19).

In der Tab. 18 werden zwei unterschiedliche Arten von Restmüll betrachtet:

1. „*Kommunaler Abfall*“: nach Separatsammlung kommunal entsorgter Müll, der neben Hausmüll auch hausmüllähnliche Industrie- und Gewerbeabfälle beinhaltet. Dieser Müll entspricht dem normalerweise in MVAs verbrannten Abfall.
2. „*Reiner Hausmüll*“: nach Separatsammlung kommunal entsorgter Müll, der hauptsächlich aus privaten Haushaltungen stammt.

Die Ergebnisse zeigen, dass zwischen der Zusammensetzung des kommunalen Abfalles und des Restmülls aus Haushaltungen bezüglich der untersuchten Stoffe kein signifikanter Unterschied besteht. Der Wassergehalt des Hausmülls ist allerdings bedeutend höher.



Tab. 18:
Aus den Aschen und Schlacken berechnete mittlere Zusammensetzung (\pm doppelte Standardabweichung für obere und untere Grenze) für Hausmüll und kommunalen Abfall in Wien 1994 in mg/kg TS (UMWELTBUNDESAMT 1995b).

	Hausmüll			Kommunaler Abfall		
	Mittelwert	untere Grenze	obere Grenze	Mittelwert	untere Grenze	obere Grenze
C	240.000	180.000	330.000	260.000	220.000	300.000
Cl	7.500			8.700		
F	1.700	1.300	2.400	1.700	1.200	2.300
P	1.300	950	1.800	1.400	1.200	1.700
S	3.500	2.600	4.900	4.000	3.300	4.700
Cd	9	6,4	13	11	8,4	14
Cu	440	290	670	480	380	600
Fe	50.000	37.000	68.000	56.000	47.000	65.000
Hg	2,5	1,8	3,6	1,8	1,4	2,3
Pb	600	400	930	810	600	1.000
Zn	940	700	1.300	1.100	900	1.400

Ob die generell niedriger liegenden Werte der späteren Messserie auf eine geänderte Methodik zurückzuführen sind, oder eine tatsächliche Verringerung der Schadstoffkonzentrationen im Wiener Hausmüll widerspiegeln, kann hier nicht entschieden werden. Selbst innerhalb der zweiten Messserie lässt sich nur ein signifikanter Trend feststellen, nämlich die Abnahme des Cadmiumgehaltes. Daneben gibt es noch ein signifikantes Schwanken der Jahresmittelwerte bei Aluminium und Blei. Innerhalb der jeweiligen Jahre sind die Schwankungsbreiten deutlich breiter als zwischen den Jahresmittelwerten (MORF et al. 2004).

Tab. 19:
Jahresmittelwerte der Wiener Restmüllzusammensetzung in mg/kg Feuchtsubstanz in der MVA-Spittelau (MORF et al. 2004).

	Restmüllzusammensetzung				approximativer 95 %-Konfidenzintervall für 2003	Signifikanter Trend für 2000 bis 2003
	2000	2001	2002	2003		
C	195.000	198.000	184.000	190.000	\pm 12.000	
Cl	4.800	4.900	4.600	4.500	\pm 200	
Al	10.000	11.200	7.500	11.800	\pm 2.000	Sinken bis 2002, dann Anstieg
Cd	7,1	6,8	5,7	4,9	\pm 0,4	Sinken
Cu	240	310	270	290	\pm 50	
Fe	28.000	28.000	27.000	29.000	\pm 2.000	
Hg	1,1	0,84	0,91	0,97	\pm 0,2	
Pb	240	330	270	260	\pm 40	Anstieg bis 2001, dann Sinken
Zn	570	610	600	520	\pm 50	

Die Herkunft der im Restmüll enthaltenen Schadstoffe ist in Tab. 20 zusammengefasst.

Problemstoff	Verwendung/Herkunft im Abfall
Al	Verpackungsmaterial, Leichtbaustoff, Leuchtungskörper
As	Schädlingsbekämpfungsmittel, Holzschutzmittel, Farbpigment, Halbleiter, Metalllegierungen
Cd	Ni/Cd-Batterien, Pigmente, Farben, Stabilisatoren für Kunststoffe (PVC), Keramikglasur, Metalllegierungen, Galvanik
Cr	Pigmente, Farben, Lederschuhe, Lederbekleidung, Korrosionsschutzmittel, Metallüberzüge, Zementprodukte, Fliesenkleber, Tonbänder
Cu	Elektronikschrott, Elektrogeräte, Wasserleitungen, Bakterizid (in Textilien), Fungizid
Hg	Amalgame, Batterien, Thermometer Leuchtstoffröhren, Kaffeemaschinen, Elektrodenmaterial, Desinfektions- und Konservierungsmittel, Kosmetika, Farben, Bodenwaxse, Kopiertoner, Druckerschwärze
Ni	Oberflächenschutz von Eisenteilen, Legierungen, Ni/Cd-Batterien, keramische Farben, Pigmente in Kunststoffen und Lacken, vernickelte Grafitfasern, Münzen, Schmuck
Pb	Akkumulatoren, Metalllegierungen, Lagermetall, schwefelsäurebeständige Behälter, Geschößkerne, Stabilisatoren für Kunststoffe (PE), Pigmente, Farben, Glas (Bildschirmröhren, Bleiglas)
Sb	Flammschutzmittel, Legierungen mit niedrigem Schmelzpunkt (Lötzinn, Hartblei, Letternmetall), Pigmente, Keramik und Glas, Stabilisator in Kunststoffen (Polyester), Medikamente, Akkumulatoren, Elektrogeräte
Zn	Oberflächenschutz von Eisenteilen, Weißpigment (ZnO), Leuchtschicht und Farbenzusatz (ZnS), Zinkkohlebatterien
Cl	PVC, Vegetabilien, Reinigungs- und Pflegemittel
F	Holz, Hobby-Chemikalien, Kleidung
NH ₄	Reinigungs-/Pflegemittel
SO ₄	Reinigungs-/Pflegemittel, Fotochemikalien, Desinfektionsmittel

Tab. 20:
Herkunft von
Schadstoffen
(JOHNKE & QUEISSER
1995; LEMAN 1997;
BRUNS 2004).

Im Folgenden wird gezeigt, in welchem Maße einzelne Produktgruppen zur Schwermetallbelastung im Restabfall von Haushalten beitragen. In Ermangelung einer detaillierten Schwermetallfraktionsanalyse für Österreich werden hierzu zwei Studien aus Deutschland herangezogen:

- ROTTER (2002) analysierte die Restmüllfraktionen für einige Bezirke in Sachsen.
- MARB et al. (2004) veröffentlichte Analysen von Restmüllsortierungen aus Bayern für den Zeitraum 1998 bis 2003.

Es kann angenommen werden, dass die Zusammensetzungen der österreichischen und der deutschen Restmüllfraktionen aufgrund der räumlichen und kulturellen Nähe, aufgrund vergleichbarer Konsummuster und Produktpaletten sowie ähnlicher Sammelsysteme in Österreich und Deutschland, durchaus vergleichbar ist. So wurden im Jahr 2002 in Österreich 179 g/Kopf an Batterien gesammelt, in Deutschland 157 g/Kopf (errechnet aus BIO INTELLIGENCE SERVICE 2003). Im Jahr 2001 wurden in Österreich ca. 49 kg/Kopf an Verpackungsabfällen nicht getrennt gesammelt, in Deutschland 44 kg/Kopf (errechnet aus MCGLADE 2004).

Die von ROTTER (2002) für Deutschland bestimmten Schwermetallkonzentrationen in den verschiedenen Restabfallfraktionen sind in Abb. 4 und Abb. 5 sowie in Tab. 21 dargestellt. In Abb. 6 ist die Aufteilung der Schwermetallfrachten auf die Fraktionen wiedergegeben, wobei aus Gründen der Analytik die Frachten der Metall- und Batteriefractionen nicht berücksichtigt werden konnten. Insgesamt kann jedoch aus diesen Abbildungen die Schlussfolgerung gezogen werden, dass die Schwermetalle besonders in den Fraktionen Elektronikschrott, Batterien und Metalle, aber auch in verschiedenen Kunststoff-Fractionen sowie Keramik/Mineralien zu finden sind.

Abb. 4:
75 %-Quantil-Konzentrationen von Blei in einzelnen Fraktionen sächsischen Restmülls (ROTTER 2002).

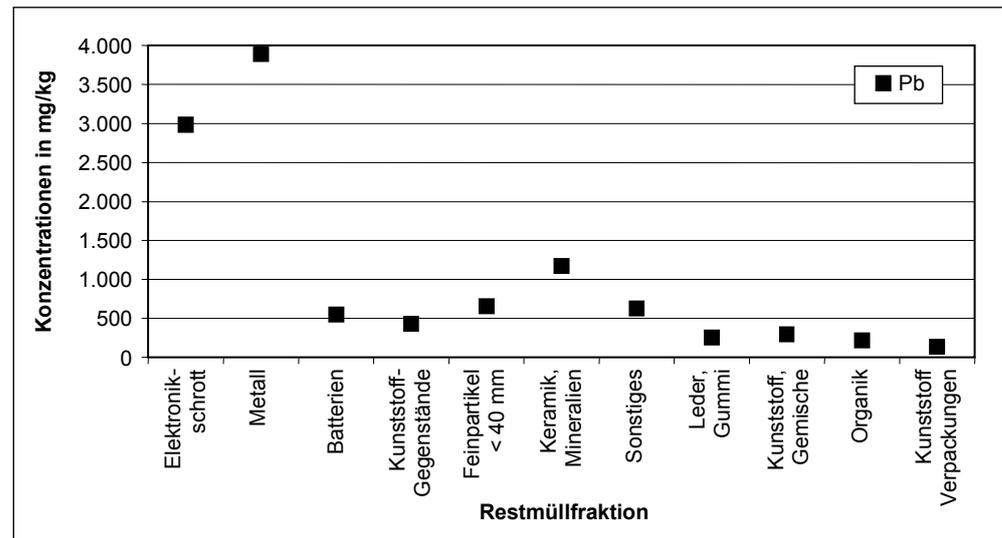
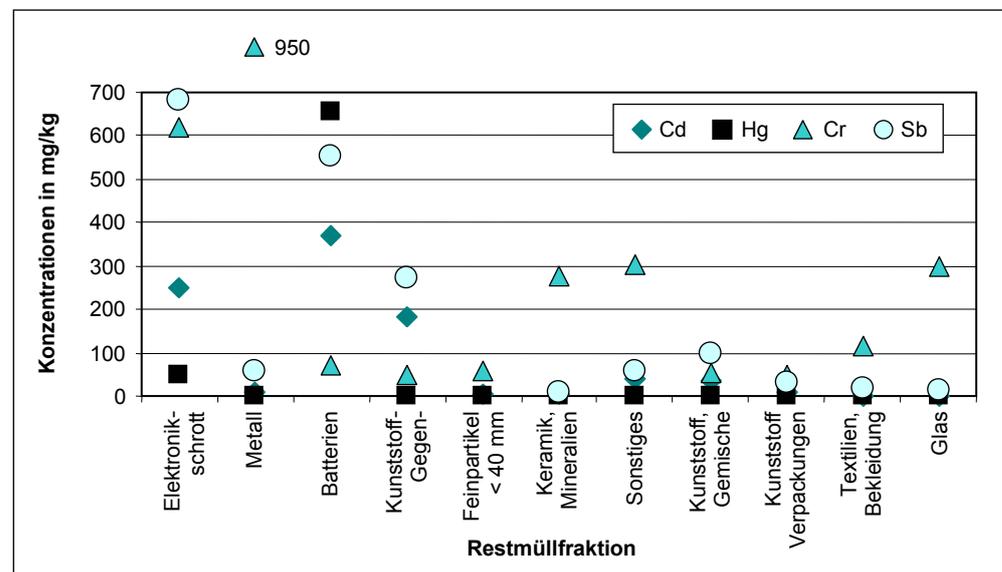


Abb. 5:
75 %-Quantil-Konzentrationen von weiteren Schwermetallen in einzelnen Fraktionen sächsischen Restmülls (ROTTER 2002).





Tab. 21: Konzentrationen von Schwermetallen in einzelnen Fraktionen deutschen Restmülls in mg/kg (ROTTER 2002).

	Cd		Pb		Hg		Cr		Sb	
	MED	75 % Q	MED	75 % Q	MED	75 % Q	MED	75 % Q	MED	75 % Q
Elektronikschrott	248	250	2.940	2.981	50	50	333	620	360	683
Metall	3	11	520	3.889	0,7	1	331	950	18	59
Batterien	70	370	498	550	370	657	69	71	8	554
Kunststoff-Gegenstände	114	185	343	430	0,2	0,2	35	47	214	271
Feinpartikel < 40 mm	2,1	3,1	311	655	0,3	0,3	41	56		
Keramik, Mineralien	1,0	2,7	240	1.174	0,02	0,02	190	275	5	11
Sonstiges	24	39	223	628	0,1	0,1	210	302	46	60
Leder, Gummi	6	9	168	253	0,3	0,4	1.175	1.715	8	10
Windeln	0,5	0,4	129	113	0,1	0,1	30	29		
Kunststoff, gemischt	12	36	128	296	0,2	0,4	31	54	19	100
Organik	1	2	89	219	0,4	0,9	17	45	3	47
Kunststoff-Verpackung	8	11	73	135	0,1	0,6	27	51	17	29
Textilien, Bekleidung	0,9	2,2	42	120	0,2	0,7	93	116	14	19
Holz	0,3	0,4	33	134	0,1	0,1	12	22	2	2
PPK (Papier, Pappe, Kartonagen)	0,4	1,3	27	66	0,1	0,2	11	24	3	8
Glas	0,5	0,9	12	104	0,0	0,0	253	298	11	15

MED = Median, 75 % Q = 75 % Quantil

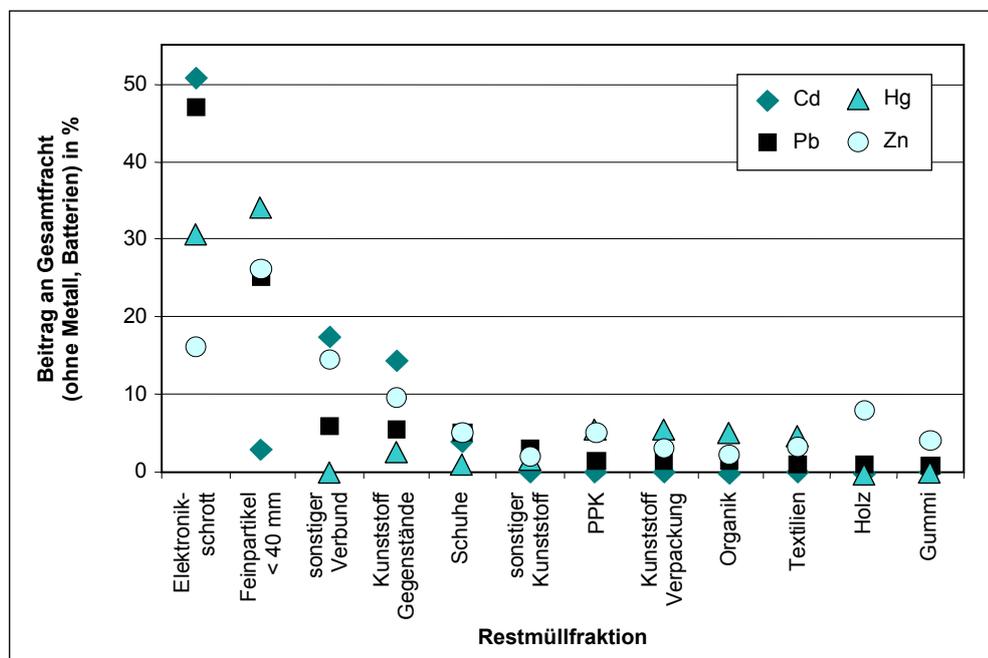
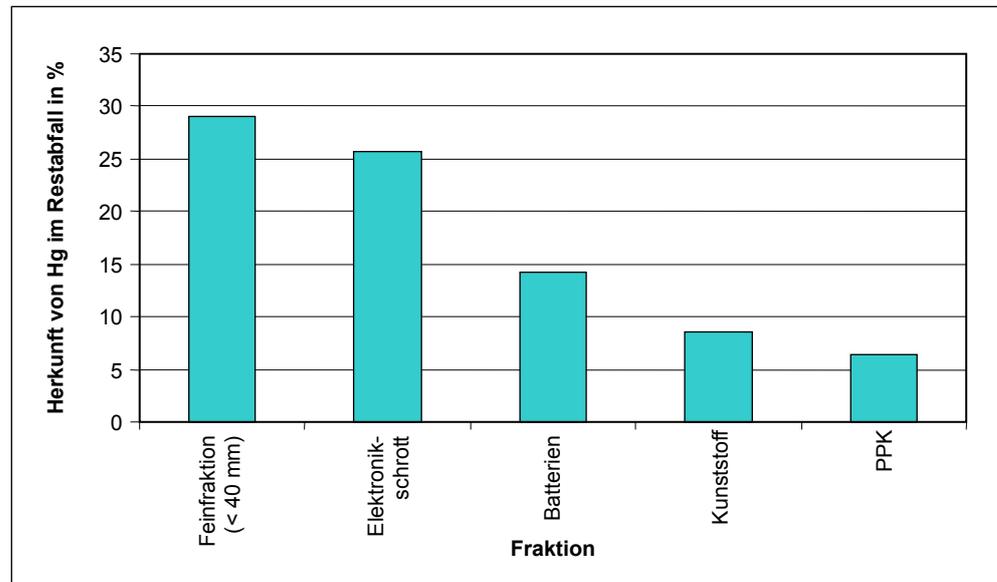


Abb. 6: Aufteilung der Gesamtfracht einzelner Schwermetalle auf die einzelnen Fraktionen sächsischen Restmülls ohne Berücksichtigung der Metall- und Batteriefraktionen (ROTTER 2002) (PPK = Papier, Pappe, Karton).

Aufgrund der getrennten Sammlung von Batterien und der Limitierung des Quecksilbergehaltes in Zink-Kohle- und Alkali-Mangan-Batterien sind Batterien heute nicht mehr die überragende Hauptquelle für das Quecksilber im deutschen Restmüll. Derzeit sind die Fraktionen „Feinfraktion“, Elektronikschrott und Batterien ca. gleich stark als Quecksilberquellen zu betrachten (siehe Abb. 7). Als Quellen des Quecksilbers in der Feinfraktion werden u. a. Fieberthermometer, quecksilberhaltige Thermostate und Messinstrumente (z. B. Barometer) angesehen. Eine Quelle für Quecksilber sind auch Billig-Elektronikprodukte (Spielzeug), welche nach Gebrauch zur Gänze (d. h. inklusive Batterien) in den Restmüll gelangen.

Abb. 7:
Herkunft des
Quecksilbers im
deutschen Restabfall im
Jahr 2002 (errechnet
aus ROTTER 2002 und
ALLGAIER & STEGMANN
2004).



In den Jahren 1998 bis 2003 wurden Sortierungen von bayrischem Restmüll durchgeführt, die in einem Detaillierungsgrad veröffentlicht wurden, wie sie für Österreich zurzeit nicht vorliegen. Aufgrund der räumlichen und kulturellen Nähe und einem ähnlichen Stadt-Land-Verhältnis in Bayern und Österreich, wird angenommen, dass die folgenden Darstellungen auch Aussagekraft für Österreich besitzen (allerdings liegen die Konzentrationen von Pb, Hg und Zn weit unter den Werten, welche für den österreichischen Hausmüll ermittelt wurden, vgl. Tab. 19). Die ermittelten Anteile der Sortierfraktionen am Restmüll und der jeweilige Wassergehalt sind in Tab. 22 dargestellt, die Gehalte an Schadstoffen/Elementen im Restmüll und ihre Haupteintragsfraktionen in Tab. 23 (MARB et al. 2004).

Wesentliche Schwermetalleinträge erfolgen durch die Feinfraktion, durch Inertes, sonstige Verbunde und Elektronikschrott, welche zusammen nur rd. 17 Masse-% des bayrischen Restmülls ausmachen. Organische Verbindungen finden sich vor allem in der Mittelfraktion. Dabei sei angemerkt, dass der Eintrag von PAK, chlorierten Kohlenwasserstoffen und Dioxinen/Furanen in den angeführten Größenordnungen für eine gut betriebene Müllverbrennungsanlage (ausgestattet mit Sekundärmaßnahmen) emissionsseitig kein Problem darstellt. Wesentliche Quelle für Dioxine/Furane bei der Abfallverbrennung ist die Neubildung, welche aber durch geeignete Maßnahmen in gewissen Grenzen gehalten werden kann.

Fraktion	Unterscheidbare Produkte bzw. Teilfraktionen	Anteil am Restmüll in Masse-%	Wassergehalt in Masse-%
Feinfraktion (< 10 mm)		10,9	28,7
Mittelfraktion (10–40 mm)		14,2	49,7
Organik	Küchen-, Gartenabfälle, Tierkadaver	22,5	61,3
Hygieneprodukte	Windeln, Hygienepapier	14,5	61,8
PPK –Papier/Pappe/Kartonagen	PPK-Verpackungen, Druckerzeugnisse	7,7	21,9
Kunststoffverpackungen	Kunststoffverpackungen, -folien	5,5	16,8
Glas	Behälterglas	4,4	1,1
Inertes	Tonwaren	2,8	2,1
Textilien	Bekleidung, sonstige Textilien	2,8	14,3
Sonstige Verbunde		2,6	7,4
Verbundverpackungen		1,9	19
Sonstige Kunststoffe		1,4	5,3
Renovierungsabfälle		1,4	5,7
Holz	Holzverpackungen, sonstiges Holz	1,2	13,9
Schuhe		0,9	5,2
Elektronikschrott		0,8	0,7
Staubsaugerbeutel		0,6	11,1
Leder/Gummi/Kork		0,3	6
Summe		96,4	

Tab. 22:
Fraktionen des bayrischen Restmülls und deren Wassergehalt (ohne abgetrennte Metallfraktion) (MARB et al.2004).

Ein Vergleich der Schwermetallkonzentrationen im Bayrischen Restmüll (siehe Tab. 23) mit den Schwermetallkonzentrationen im Wiener Restmüll (siehe Tab. 18) zeigt, dass der Wiener Restmüll deutlich höhere Blei-, Quecksilber-, Kupfer- und Zinkkonzentrationen aufweist als der bayrische Restabfall, während die Cadmiumkonzentrationen ähnlich sind. Dies könnte zumindest zum Teil auf unterschiedlichen Methoden der Probenahme und Analytik zurückgeführt werden. Der genaue Grund kann anhand der zur Verfügung stehenden Daten nicht geklärt werden. Jedenfalls kann die Schlussfolgerung gezogen werden, dass auch in Österreich der im Restmüll enthaltene Elektronikschrott wesentlich zur Schwermetallbelastung des Restmülls beiträgt.

Tab. 23.
 Schadstoffgehalte im
 bayrischen Restmüll und
 Haupteintragspfade im
 Restmüll (ohne
 abgetrennte
 Metallfraktion und ohne
 Fraktionen mit geringem
 Schwermetallgehalt)
 (MARB et al.2004).

		Gehalt im Restmüll	Haupteintragspfade in Masse-%									
			Feinfraktion	Mittelfraktion	Organik	PPK	Kunststoff-Verpackungen	Inertes	Textilien	Sonstige Verbunde	Sonstige Kunststoffe	Schuhe
Pb	mg/kg	132					26		12			16
Cd	mg/kg	6,1					13			16		28
Cr	mg/kg	212							32		23	
Cu	mg/kg	222	8						9			69
Ni	mg/kg	24,1	8						15			48
Hg	mg/kg	0,118	25					13	13			
Zn	mg/kg	319				14			17			11
Sn	mg/kg	16,7	13				15					25
Cl	mg/kg	3.900	13	15	19							
C	mg/kg	220.000		12	17	15						
S	mg/kg	1.700	29	18			15					
N	mg/kg	8.500		15	27			10				
PAK	µg/kg	2.843	59	7					8			
Benzo-(a)-pyren	µg/kg	108	68	17					4			
Chlorphenole	µg/kg	245		9	11							21
Pentachlorphenol	µg/kg	124										32
Indikator PCB	µg/kg	57	15	19							11	
PCDD/F	µg TEQ /kg	0,0058	21	27	27							

2.1.5.2 Zusammensetzung von Elektroaltgeräten und Batterien

Elektroaltgeräte

Elektroaltgeräte beinhalten eine Reihe von Stoffen, die auf der einen Seite wertvolle Grundstoffe darstellen, deren Freisetzung auf der anderen Seite aber ein Gefährdungspotenzial darstellt.

- Kontakte auf Leiterplatten bestehen aus Gold, Platin und/oder Palladium.
- Batterien enthalten u. a. Lithium, Blei, Cadmium, Nickel, Mangan, Zink und aggressive Stoffe wie Schwefelsäure.
- Leitungen, Spulen, Trafos bestehen meist aus Kupfer.
- In Transformatorölen, Kondensator-Dielektrika, Isolier- oder Kühlflüssigkeiten können trotz Verbotes in Neugeräten noch PCBs enthalten sein.
- Gehäuse bestehen oft aus metallischem Aluminium, welches nach der Verbrennung in der Schlacke eine hohe Mobilität entwickeln und Wasserstoff freisetzen kann.
- Bildröhren enthalten Bariumglas, Bleiglas und metallisches Barium als Gettermaterial zur Adsorption von Sauerstoff im Bildröhrenvakuum.



- Als Flammhemmer werden Antimontrioxid und halogenierte Verbindungen eingesetzt.
- Quecksilber findet sich u. a. in Kippschaltern und Relais (SALHOFER).

Bei LCD (liquid-crystal-displays) muss vor allem die quecksilberhaltige Hintergrundbeleuchtung als gesundheits- und umweltgefährdend eingestuft werden.

Beim Recycling von Acrylnitril-Butadien-Styrol-Copolymeren (ABS) besteht die Gefahr, dass vermehrt Dioxine/Furane gebildet werden, da etwa ein Sechstel der von der Elektronikindustrie eingesetzten Kunststoffe mit halogenierten Flammschutzmitteln ausgerüstet sind (SCHRAMM et al. 2002).

Es muss darauf hingewiesen werden, dass eine Reihe von Spielsachen zu den Elektroaltgeräten gehören. Vor allem in billigen Elektronikspielgeräten sind die Batterien fix integriert und gelangen zusammen mit dem Spielgerät in den Restmüll.

Aktuelle Untersuchungen des deutschen Restabfalls haben gezeigt, dass 0,8 % des Restabfalls aus der Elektronikschrottfraction bestehen, dass aber noch einmal annähernd 1,2 % Elektronikschrott in der „Verbundfraction“ zu finden sind, so dass der Restabfall insgesamt zu ca. 2 % aus Elektronikschrott besteht.

Tab. 24 zeigt eine typische Zusammensetzung des Elektronikschrotts für Siedlungsabfall in Deutschland (KOST 2001).

Sonstige elektrische Bauteile	29 %
Kabel	27 %
Kunststoffgehäuse	18 %
Eisen-Metalle	18 %
Leiterplatten	6 %
Nichteisen-Metalle	2 %
Batterien	1 %

Tab. 24: Zusammensetzung von Elektronikschrott, Ergebnisse aus der manuellen Demontage der Gesamtmasse aus 4 Sortierungen (45,9 kg), in Masse-% (KOST 2001).

Altbatterien/Akkus

Trotz der Vorteile der Akkumulatoren scheint sich zumindest in Deutschland gegenüber den Batterien wenig zu bewegen (siehe Abb. 8).

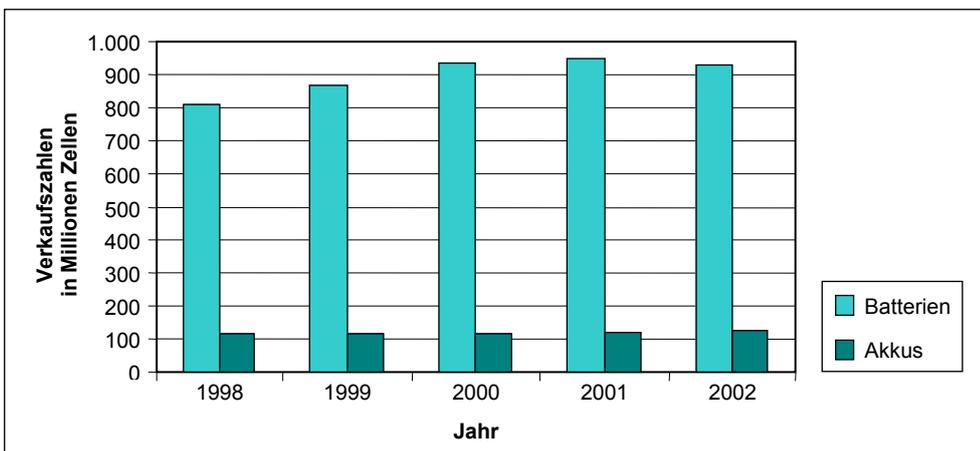


Abb. 8: Verkaufszahlen der Batterien und Akkumulatoren in Deutschland (BUTSCHER 2004).

In Deutschland wurden im Jahr 2003 391 g/Einwohner an Batterien/Akkus in Verkehr gebracht. Davon wurden 140 g/Einwohner nach Nutzung getrennt gesammelt, 115 g/Einwohner fanden ihren Weg in den Restabfall (das entspricht einem Anteil der Altbatterien im Restabfall von 0,06 Masse-%). Der Rest wurde entweder zum Lageraufbau verwendet oder in andere Abfallfraktionen verbracht (ALLGAIER & STEGMANN 2004).

Für Österreich wurde angegeben, dass im Jahr 2001 3.498 t (435 g/Einwohner) an tragbaren Batterien/Akkus in Verkehr gesetzt, 3.406 t an Batterien/Akkus verbraucht, 1.493 t an Batterien/Akkus gehortet und 1.524 t an Batterien/Akkus getrennt gesammelt wurden (BIO INTELLIGENCE SERVICE 2003). Damit müssten im Jahre 2001 $3.406 - 1.493 - 1.524 = 389$ t an Batterien/Akkus im Restabfall gelandet sein. Dies entspricht 48 g/Einwohner bzw 0,03 Masse-% von Batterien/Akkus im österreichischen Restabfall. (Die Restabfallmenge betrug 1,3 Mt).

Geht man von einem durchschnittlichen Zinkgehalt der Batterien/Akkus von 20 % aus (EK 2003), kämen durch die Batterien/Akkus ca. 78 t an Zink in den Restabfall. Die entstehende Zinkkonzentration wären 58 mg/kg Restabfall. Das heißt, Batterien/Akkus wären für ca. 10 % des Zinkgehalts im Restabfall verantwortlich.

Als besonders gesundheitsgefährdend gelten – aufgrund des 20 %-Gehaltes an Cadmium – die Nickel-Cadmium-Batterien und -Akkus. Obwohl es alternative Akkusysteme auf Lithium- und Nickelmetallhydrid-Basis gibt, ist der Einsatz von Nickel-Cadmium-Akkus/Batterien seit zehn Jahren in Deutschland etwa konstant. Dort liegt er bei 3.000 t/a. Ein Drittel dieser Akkus/Batterien wird in Deutschland getrennt gesammelt, ein Drittel gelangt in den Restabfall (und damit 200 t Cadmium/a) und ein weiteres Drittel gelangt in andere Fraktionen des Siedlungsabfalls oder wird gehortet (HAGBECK 2002).

In Österreich wurden im Jahr 2001 247 t an Ni-Cd-Batterien verkauft, 237 t verbraucht, 118 t der verbrauchten Batterien gehortet und 84 t getrennt gesammelt (BIO INTELLIGENCE SERVICE 2003). Damit könnten $237 - 118 - 84 = 35$ t an Ni-Cd-Batterien/Akkus in den österreichischen Restabfall gelangt sein. Dies entspricht einer Cadmiumkonzentration im Restabfall von 5,3 mg/kg. Das heißt, 77 % des Cadmiumgehaltes im Restabfall könnten durch Ni-Cd-Batterien verursacht sein.

Auch in den anderen Batterie/Akku-Typen ist eine Reihe von Schwermetallen enthalten, die sich bei getrennter Sammlung recyceln lassen. Dazu gehören Nickel, Blei, Quecksilber, Silber, Kupfer und Eisen.

2.1.5.3 Zusammensetzung der Shredderleichtfraktion

Die Shredderleichtfraktion besteht entweder aus den Rückständen von Altautos oder aus einer Mischung aus Rückständen von Altautos, Industrieabfällen und Sperrmüll. Für die Altautobehandlung gilt, dass im Jahr 1997 der Anteil der Shredderleichtfraktion am gesamten Shreddervormaterial ca. 25 Masse-% betrug. Durch den kontinuierlichen Anstieg von Kunststoffen, Leichtmetallen und elektronischen Systemen im Fahrzeugbau, wird dieser Wert bis 2015 voraussichtlich auf 34 Masse-% steigen (REINHARDT & RICHERS 2004).

Tab. 25 zeigt die aktuelle Materialzusammensetzung der Shredderleichtfraktion aus der Behandlung von Altautos, Tab. 26) die Brennstoffanalyse dieser Fraktion und von Shredderrückständen aus der gemeinsamen Behandlung von Altautos, Industrieabfall und Sperrmüll (geteilt in 60 % Grobfraction und 40 % Feinfraktion).



	Typischer Wert	MIN	MAX
Chlorfreie Thermoplaste (Formteile, Folien, Styropor...)	13	21	63
PVC (Folien, Kunstleder, Unterbodenschutz, Kabelisolation)	6		
andere Thermo- und Duroplaste	3		
Schaumstoff (Polyurethan)	7		
Elastomere (Gummi)	23		
Holz/Zellulose	4	2	13
Faser- und Bezugsstoffe (Textilfasern, Glasfasern, Leder...)	6	4	29
Fe	13	1	23
Cu	1		
Al	3		
Lackbestandteile	3	< 1	15
Glas/Keramik	13	1	16
Andere Bestandteile und Fremdstoffe (Sand, Rost, Pb, Zn)	5	5	19

Tab. 25:
Zusammensetzung der Shredderrückstände aus der Behandlung von Altautos (REINHARDT & RICHERS 2004).
Angaben in [%].

	Shredderleichtfraktion aus Altauto-Shredder			Shredder aus Altauto (50 %), Industrieabfall und Sperrmüll		Hausmüll
	MW	MIN	MAX	Grobfraktion	Leichtfraktion	
Feuchte Masse-%	6,7	0,1	18	3,6		2–8
Aschegehalt Masse-%	52,7	25	80	39	73	15–25
Heizwert (Hu) MJ/kg	13	7	26	13,4	5,1	8–12
C Masse-%	32,6	20	47			
Cl Masse-%	1,8	0,5	3	1,3	0,4	0,4–1
S Masse-%	0,6	0,1	1,4	0,53	0,6	0,1–0,4
Al mg/kg	20.000	10.000	25.000			7.500–11.800
As mg/kg	28,5	20	35			
Cd mg/kg	61,2	40	80	56	75	4,9–14
Co mg/kg	100	25	160			
Cr mg/kg	1.200	340	1.300			
Cu mg/kg	11.400	3.300	30.000	35.000	4.300	240–600
Hg mg/kg	2,1	1	3			0,8–3,6
Mg mg/kg	8.700	8.000	10.000			
Ni mg/kg	1.200	400	2.800			
Pb mg/kg	5.100	300	14.000	2.600	6.250	400–1.000
Zn mg/kg	9.000	2.000	13.000	10.800	36.500	600–2.000
PCB mg/kg	9,7	5	14			
KW mg/kg	16,3	10	28	60		< 1
PCDD/F ng TEQ/kg				100		20–70

Tab. 26:
Brennstoffanalyse und Schadstoffgehalte der Shredderleichtfraktion im Vergleich zu Hausmüll (REINHARDT & RICHERS 2004; VEHLOW et al. 2004, MORF et al. 2004).

MW = Mittelwert,

MIN = Minimumwert,

MAX = Maximalwert

Mit einem Kohlenstoffanteil von über 30 % ist die Behandlung der Shredderleichtfraktion vor der Deponierung notwendig. Durch die mangelnde biologische Abbaubarkeit der im Fahrzeug verwendeten Kunststoffe ist eine biologische Behandlung ausgeschlossen. Somit verbleiben die thermischen Verfahren als einzige Behandlungsoptionen. Eine Mitverbrennung mit Siedlungsabfällen wird seit Jahren in der Schweiz praktiziert. Wegen der Erhöhung der Schwermetallgehalte in den Rückständen/Abfällen der Verbrennung, wurde der Anteil der Shredderleichtfraktion am Input der Siedlungsabfallverbrennungsanlagen aber mit 5 % limitiert. Für Ende 2007 ist in der Schweiz die Inbetriebnahme einer RESHMENT-Verbrennungsanlage, in der die Shredderleichtfraktion und Flugaschen aus der Abfallverbrennung behandelt werden, geplant (allerdings verzögern sich derzeit die Planungsarbeiten, da von mehreren Seiten eine Monopolstellung dieser Anlage befürchtet wird; zusätzlich gibt es Befürchtungen, dass die Untertagedeponierung von Flugaschen zu Gunsten der Behandlung in dieser Anlage reduziert wird (EUWID 2005). Das dort angewandte Verfahren wird auf die Wiedergewinnung der Metalle und die Inertisierung der nicht wiedergewinnbaren Anteile in einer Glasschmelze optimiert

Im Vergleich zu Hausmüll weist die Shredderleichtfraktion aus Alttautos stark erhöhte Schadstoffkonzentrationen auf (Cu: bis zum Faktor 100; Cd: bis Faktor 20; Pb, Zn: Faktor 10–15). Die Bandbreite zwischen Minimum- und Maximumwerten ist ebenfalls sehr groß (bis zu Faktor 50). Die Konzentrationen von Cd, Cu, Pb und Zn sind gegenüber Hausmüll um Größenordnungen erhöht.

2.1.5.4 Sonstige Abfälle, welche in Müll- und Abfallverbrennungsanlagen verbrannt werden

Neben den bisher beschriebenen Abfällen werden unter anderem noch folgende Abfälle thermisch behandelt:

- Altholz,
- Klärschlamm,
- Die heizwertreiche Leichtfraktion aus mechanisch-biologischen Abfallbehandlungsanlagen (MBA),
- Abfälle aus mechanischer Behandlung,
- Rejectmaterial (vor allem Kunststoffe, die aus Recyclingpapier und -pappe abgetrennt wurden),
- Kunststoffabfälle,
- Altöl und beladene Aktivkohle,
- Tiermehl und Tierfett.

Tab. 27 zeigt die chemische Zusammensetzung einer Reihe dieser Abfälle. In Tab. 28 sind für Klärschlamm die Schwankungsbreiten der Zusammensetzung wiedergegeben. Anhand der Daten können folgende Schlüsse gezogen werden:

- In einigen Fraktionen ist der Aluminiumgehalt hoch. Bei den Kunststoff-Fraktionen, den Rückständen aus der MBA und der Shredderleichtfraktion ist davon auszugehen, dass ein wesentlicher Anteil des Aluminiums in metallischer Form vorliegt.
- Die ungewöhnlich hohe Konzentration von Barium beim Altholz ist möglicherweise auf Verunreinigungen durch einen Farbstoff zurückzuführen. Unklar ist, wodurch die hohen Konzentrationen von Antimon in den Spanplatten und die hohe Konzentration von Bor in den Verpackungskunststoffen verursacht werden.



- Die hohen Konzentrationen von Chrom in der PET-Fraktion sind auf Farbstoffe und der hohe Kupfergehalt der heizwertreichen Leichtfraktion aus der MBA auf die unvollständige Abtrennung von Kupferdrähten zurückzuführen.
- Der Shredderabfall enthält eine Vielzahl an Schadstoffen in z. T. sehr hohen Konzentrationen.

Tab. 27: Vergleich der Zusammensetzung von Abfällen

(% TS = Gew% bezogen auf Trockensubstanz) (Auszug aus UMWELTBUNDESAMT 2003).

		Altholz	Spanplatten	Klärschlamm (70 % TS)	Kunststoff	Kunststoff (Verpackung)	PET	Heizwertreiche Rückstände aus MBA	Shredderabfall
Heizwert	kJ/kg roh	10.270	12.730	10.990	22.000	15.740	12.970	15.470	12.650
Wassergehalt	%	24,6	28,9	27,1	8,8	9,5	23,2	24,3	10,5
Asche	% TS	21,9	1,5	28,3	10,9	8,7	27,8	23,5	38,8
C	% TS	39,6	50,2	40,6	54,6	45	49,2	48,6	39,6
Cl	% TS	0,09	0,46	0,32	2,28	0,19	0,19	1	0,67
F	% TS	0,009	0,003	0,012	0,008	0,007	0,022	0,01	0,069
H	% TS	4,4	5,8	4,6	7,5	5,8	4,3	7	4,8
N	% TS	0,99	2,6	5,4	0,41	0,3	0,08	1,9	1,5
O	% TS	32,9	40	20	26,5	40,1	18,6	18	14,8
S	% TS	0,14	0,04	0,95	0,12	0,1	0,01	0,32	0,49
Al	mg/kg TS	2.100	440	10.300	25.600	6.170	13.900	11.000	15.100
As	mg/kg TS	4,3	4	5	4	4	4	2	12
B	mg/kg TS	19	20	54	15	280	16		700
Ba	mg/kg TS	1.500	110	300	75	94	210		1.590
Be	mg/kg TS	2	2	2	2	2	2		2
Cd	mg/kg TS	2	5	6	2	2	2	2,2	24
Co	mg/kg TS	5,1	2	2	2,6	2	14	1,8	41
Cr	mg/kg TS	95	8	40	26	12	400	240	680
Cu	mg/kg TS	47	7,3	31	47	43	35	3.070	4.200
Hg	mg/kg TS	0,2	0,77	0,21	0,2	0,2	0,2	0,4	2,7
Mn	mg/kg TS	210	120	1.000	63	38	326	204	970
Mo	mg/kg TS	2,6	2	5	2,1	2	14		82
Ni	mg/kg TS	39	8,8	30	14	6,5	210	20	454
Pb	mg/kg TS	230	25	16	38	100	21	89	8.900
Sb	mg/kg TS	4	230	5	4	4	23	7,2	190
Se	mg/kg TS	4	4	5	4	4	4	2	10
Sn	mg/kg TS	1.330	41	420	110	140	75	900	10.200
Tl	mg/kg TS	2	2	2	2	2	2	0,02	2
V	mg/kg TS	7,1	2	9	2,6	2	25	3,5	26
Zn	mg/kg TS	5	13	10	5,7	7,1	4,2	17	398



Tab. 28:
Bandbreite der
Klärschlammzusammen-
setzung in Österreich
(UMWELTBUNDESAMT
2004b).
Fett gedruckt sind
Mittel- und Medianwerte,
die sich deutlich
voneinander
unterscheiden.

		Median	Mittelwert	Min	Max	Proben- anzahl
Trockensubstanz	Gew %	30,5	28,9	3,2	55	79
As	mg/kg TS	6,05	7,05	0,36	15,5	16
Pb	mg/kg TS	53,8	75,6	11,4	582,8	84
Cd	mg/kg TS	1,19	1,3	0,3	3,27	83
Cr	mg/kg TS	43,4	53,6	5,8	236,3	84
Co	mg/kg TS	6,53	9,66	2,6	35,7	41
Cu	mg/kg TS	197,1	215,2	51,5	622,9	84
Mn	mg/kg TS	220,9	433,1	0,04	7.100	42
Mo	mg/kg TS	3,9	4,59	1,13	10	26
Ni	mg/kg TS	27,7	32,2	5,1	133	84
Hg	mg/kg TS	1	1,09	0,33	2,57	83
Zn	mg/kg TS	809,5	832	86,7	1.948	84
AOX	mg/kg TS	147	154,5	60,3	338,4	30
Wassergehalt	Gew%	67,0	70,4	47,7	96,8	54

Leichtfraktion aus der MBA

Tab. 29 gibt einen Überblick über die in Betrieb befindlichen und geplanten mechanisch-biologischen Abfallbehandlungsanlagen (MBA) und mechanischen Abfallbehandlungsanlagen (MA) in Österreich. Aus den Rückmeldungen von 6 Anlagenbetreibern auf eine Fragebogenaktion, die im Jahr 2004 durchgeführt wurde, lässt sich schließen, dass rund 12 % des in den MBAs eingesetzten Abfalls als Leichtfraktion weitergegeben wurden (siehe Tab. 30).

Tab. 29:
Übersicht über die
mechanisch-biologischen
Abfallbehandlungs-
anlagen (MBA) und
mechanischen
Abfallbehandlungs-
anlagen (MA) von
Österreich
(Datenstand 10.05.2005).

	In Betrieb	Kapazität in t/a
MA	Gerling (OÖ)	15.000
MA	Inzersdorf (OÖ)	12.000
MBA	Aich-Assach (Stmk)	9.500
MBA	Allerheiligen (Stmk)	17.100
MBA	Fischamend (NÖ)	27.000
MBA	Frohnleiten (Stmk)	76.250
MBA	Frojach-Katsch (Stmk)	15.000
MBA	Halbenrain (Stmk)	70.000
MBA	Kufstein (T)	9.500
MBA	Linz (OÖ)	85.000
MBA	Neunkirchen (NÖ)	45.000
MBA	Oberpullendorf (B)	80.000
MBA	Ort im Innkreis (OÖ)	15.000
MBA	Siggerwiesen (Sbg)	145.000
MBA	St. Pölten (NÖ)	94.700
MBA	Wr. Neustadt (NÖ)	24.000
MBA	Zell am See (Sbg)	27.000
MBA	Liezen (Stmk)	31.000
In Betrieb Österreich gesamt		798.050

	Geplante Anlagen	Kapazität in t/a
MA	Stockerau (NÖ)	90.000
MBA	Innsbruck (T)	120.000
MBA	Lavant (Osttirol)	17.000
MBA	Ternberg (OÖ)	35.000
In Österreich verfügbare Kapazität bei Realisierung aller geplanten Projekte		1.060.050

Von 6 MBAs übernommener Abfall		
Hausmüll und hausmüllähnliche Abfälle	t/a	115.249
Klärschlamm	t/a	33.911
Sonstige	t/a	38.382
Gesamt	t/a	187.542
Davon zur thermischen Behandlung als heizwertreiche Leichtfraktion weitergegeben		
	t/a	22.307
	in % bezogen auf Hausmüllinput	19,4
	in % bezogen auf Gesamtinput	11,9

Tab. 30:
Bilanz der Leichtfraktion
aus 6 Österreichischen
MBAs für das Jahr 2003.

Anm.: Es wird erwartet, dass ab 2004 durch die Auswirkungen der Deponieverordnung ein höherer Anteil der MBA-Leichtfraktion in die thermische Behandlung gelangt

2.1.6 Behandlung von Schlacken/Aschen aus der Abfallverbrennung

Von den großen Abfallverbrennungsanlagen waren Ende 2003 die Anlagen Spittelau, Flötzersteig, Wels I, Dürnröhr, Niklasdorf (IBS: Dezember 2003), Simmeringer Haide (Wirbelschichtkessel) und RVL-Lenzing in Betrieb (die Anlagen zur Verbrennung gefährlicher Abfälle werden im Rahmen dieser Studie nicht näher behandelt). Aus diesen Anlagen sind im Jahr 2003 rund 262.000 t an Aschen und Schlacken (SN 31308 + SN 31309) und rund 2.900 t Rückstände aus der Rauchgasreinigung (SN 31312) angefallen.

Von den Aschen und Schlacken wurden rund 252.000 t deponiert, rund 10.000 t wurden zur Untertage-Deponierung exportiert.

Vor der Deponierung werden die Schlacken mit Zement und Gips aus der Abscheidung saurer Gase stabilisiert (Wiener Anlagen) und als Schlackenbeton für den Randwall der Deponie Rautenweg eingesetzt. Flugaschen werden entweder untertage deponiert oder nach einer Vorbehandlung auf geeigneten Deponien abgelagert.

Eine Verwendung der Rückstände als Baumaterial außerhalb von Deponien ist wegen des Schadstoffgehaltes und des Elutionsverhaltens nicht möglich.

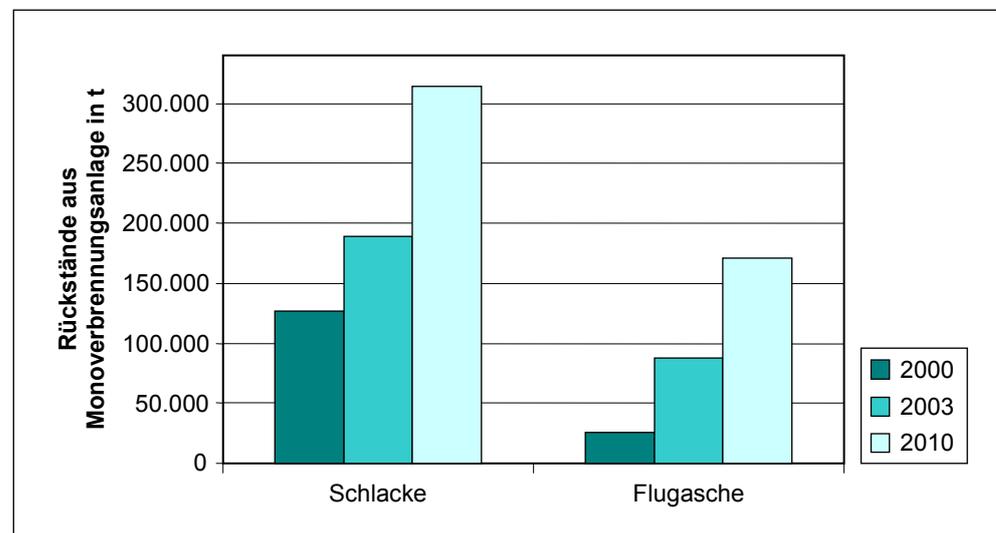
Die Deponierung der Aschen und Schlacken aus der Abfallverbrennung wird somit als letzte Senke für die enthaltenen Schadstoffe genutzt.

Die rund 2.900 t Rückstände aus der Rauchgasreinigung wurden zur untertägigen Deponierung exportiert.

2.1.7 Abschätzung des zukünftigen Abfallaufkommens aus Verbrennungsanlagen für Siedlungsabfall und für die heizwertreiche Fraktion bis 2010

Wie in Tabelle 8 zu sehen war, wird die Abfallverbrennungskapazität für Siedlungsabfall und heizwertreiche Fraktionen in Österreich bis zum Jahr 2010 einen Wert von 2,095 Mt/a erreichen. Es kann davon ausgegangen werden, dass diese Kapazität im Jahr 2010 auch voll ausgeschöpft wird. Das Aufkommen an Verbrennungsschlacke aus diesen Anlagen im Jahr 2010 wird daher mit rund 314.000 t, das Aufkommen an Flugasche mit 170.000 t abgeschätzt. Diese Mengen sind in Abb. 9 dem Aufkommen im Jahr 2000 und 2003 gegenübergestellt. Zu sehen ist das starke Aufkommenswachstum sowohl bei Schlacken als auch bei Aschen, verursacht durch die Notwendigkeit, Siedlungsabfälle und heizwertreiche Fraktionen vor der Deponierung zu behandeln.

Abb. 9:
Abschätzung des Aufkommens der Rückstände aus der Verbrennung von Siedlungsabfällen und heizwertreicher Fraktion in großen Abfallverbrennungsanlagen für das Jahr 2010.



2.1.7.1 Abschätzung des zukünftigen Abfallaufkommens der Shredderleichtfraktion und ihrer Verbrennungsrückstände bis 2010

Am 20.06.2005 wurde mit dem Bau einer mechanischen Shredderaufbereitungsanlage in Enns in Oberösterreich nach dem VW-SiCon-Verfahren begonnen (AMT DER OBERÖSTERREICHISCHEN LANDESREGIERUNG, UMWELTRECHTSABTEILUNG 2004; PLASTICKER-NEWS 2005). Für dieses Verfahren liegen noch keine langjährigen großtechnischen Erfahrungen vor. Somit kann nicht ausgeschlossen werden, dass die Shredderleichtfraktion zumindest zum Teil in Abfallverbrennungsanlagen behandelt wird.

Im Folgenden wird ein Szenario beschrieben, in dem abgeschätzt wird, wie hoch das Aufkommen an Verbrennungsrückständen wäre, wenn die gesamte österreichische Shredderleichtfraktion aus der Verarbeitung von Altfahrzeugen in Abfallbehandlungsanlagen verbrannt würde.

Zwischen 1993 und 2002 hat die Zahl der ausgeschiedenen PKW in Österreich um 3,1 %/a, die Zahl der in Shreddern behandelten PKW um 3,9 %/a zugenommen (siehe Abb. 10). Im Jahr 2002 wurden in Österreich ca. 213.000 PKW ausgeschie-

den und davon 127.000 mit einer Gesamtmasse von 98.400 t in Shreddern behandelt. Das entspricht einer Behandlungsquote von 60 %. Dabei sind 22.600 t an Shredderleichtfraktion entstanden (STOIBER et al. 2003). Bei einem Aschegehalt von 52,7 % (REINHARDT & RICHERS 2004) sollten bei einer thermischen Behandlung der gesamten Shredderleichtfraktion aus verwerteten PKW ca. 11.900 t an Verbrennungsrückständen entstehen.

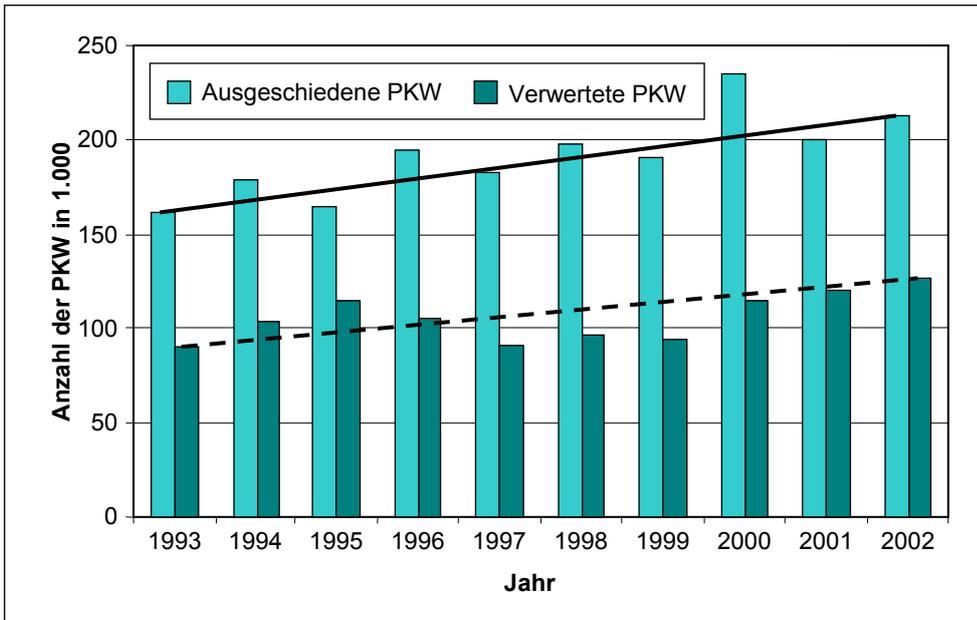


Abb. 10:
Entwicklung der Zahl
der ausgeschiedenen
und verwerteten PKW
in Österreich
(STOIBER et al. 2003).

In jüngster Zeit ist die Anzahl der behandelten Altfahrzeuge auf ca. 85.000 bis 90.000 gesunken. Dies ist auf den Export von älteren Fahrzeugen nach Osteuropa, die Verlängerung der Lebensdauer der Fahrzeuge und einen verringerten Neuwagenkauf zurückzuführen². Geht man davon aus, dass die Behandlungsquote noch bei 60 % liegt, so kann man den Rückschluss führen, dass im Jahr ca. 150.000 t an PKW ausgeschieden werden. Für die Zukunft wird eine Stagnation auf diesem Niveau erwartet.

Abb. 11 zeigt ein Szenario für das Aufkommen der Shredderleichtfraktion aus der PKW-Verwertung in Österreich bei steigender Verwertungsquote und für das Aufkommen der entsprechenden Verbrennungsrückstände (Asche) wenn die Shredderleichtfraktion zu 100 % verbrannt wird. Unter den gezeigten Annahmen würde das Aufkommen der Verbrennungsrückstände auf rund 15.000 t im Jahr 2010 steigen.

² KERI, Ch. (2005): persönliche Mitteilung

Abb. 11:
Szenario für das
Aufkommen an
Shredderleichtfraktion
aus der Verwertung der
österreichischen PKW
und des entsprechenden
Ascheaufkommens bei
100 %iger Verbrennung.

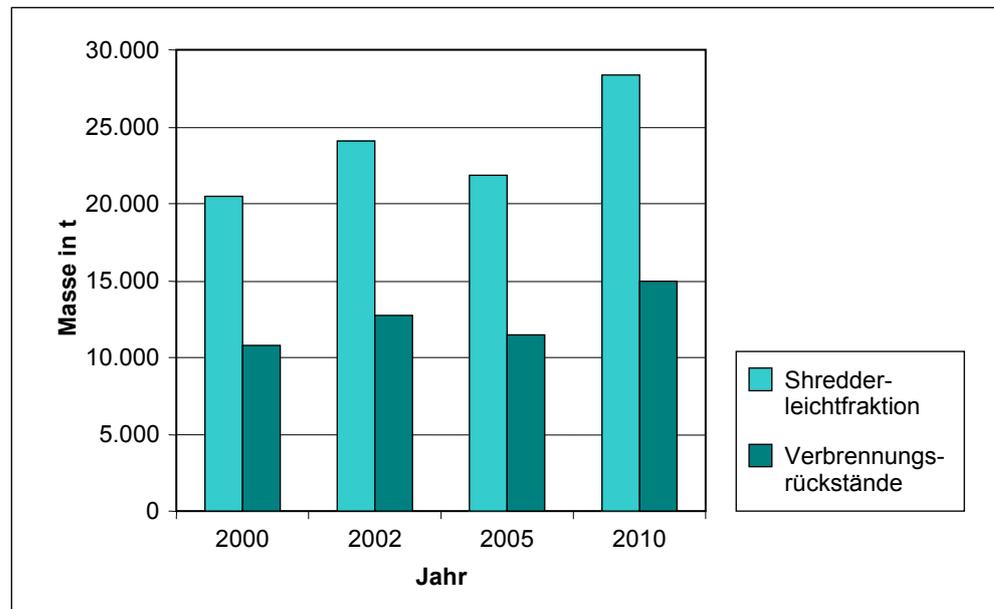


Abb. 11 liegen folgende Annahmen zu Grunde:

- Masse der ausgeschiedenen PKW 2000: 235 kt, 2002:165 kt, ab 2005: 117 kt,
- Behandlungsquote 2000: 49 %, 2002: 60 %, 2005: 70 %, 2010: 80 %;
- Anteil der Shredderleichtfraktion an PKW-Masse steigt von 23 % im Jahr 2000 auf 34 % im Jahr 2015,
- Ascheanteil in der Shredderleichtfraktion 52,7 %

Die Basis für die Annahmen Anteil der Shredderleichtfraktion und Ascheanteil stammt aus: STOIBER et al. 2003, REINHARDT & RICHERS 2004.

2.2 Aschen und Schlacken aus der Mitverbrennung in Feuerungsanlagen

Neben den bisher beschriebenen Abfallverbrennungsanlagen gibt es in Österreich ca. 180 weitere Anlagen, in denen Abfall verbrannt bzw. mitverbrannt wird.

Zu diesen Anlagen gehören u. a.:

- 13 Anlagen der Zement-/Baustoffindustrie: In der Zementindustrie wurden 2003 rund 255.810 t Abfälle/Ersatzbrennstoffe und rund 683.450 t Schlacken bzw. Aschen als Sekundärzumah- und Sekundärrohstoffe eingesetzt (MAUSCHITZ 2004).
- 19 weitere Anlagen aus dem Bereich Papier/Zellstoff, Energiebereitstellung und aus sonstigen Industriezweigen, in denen hochkalorische Abfälle, Altholz, belastete Biomasse oder Klärschlamm verbrannt bzw. mitverbrannt werden kann (siehe Tab. 31)
- 5 Anlagen in denen Abfälle sowohl metallurgisch behandelt als auch mitverbrannt werden können (siehe Tab. 32).
- 16 Anlagen, die sich auf die Behandlung von Altöl spezialisiert haben.

Bei den restlichen Anlagen handelt es sich um kleinere Anlagen in Industrie und Gewerbe. Anhand der vorhandenen Daten ist nicht ersichtlich, ob in diesen Anlagen tatsächlich Abfälle eingesetzt werden, oder ob diese nur über einen Genehmigungsbescheid verfügen.

Anlage	Bundesland	Kapazität in t/a	Brennstoff (UMWELTBUNDESAMT 2004a)
Wirbelschichtfeuerung 1 – Funder – Sankt Veit	K	10.000	Holzabfälle, Faserreststoffe, Hoch-kalorische Abfälle, Kunststoff, Klärschlamm
Wirbelschichtfeuerung 2 – Funder – Sankt Veit	K	19.500	Holzabfälle, Faserreststoffe, Hoch-kalorische Abfälle, Kunststoff, Klärschlamm
Wirbelschichtfeuerung ABRG Arnoldstein	K	30.000	Holzabfälle, Abfälle, Klärschlamm
Wirbelschichtfeuerung Patria AG – Frantschach	K	10.000	Kohle, Rinde, Sägespäne, Klärschlamm
Wirbelschichtfeuerung Hamburger AG – Pitten	NÖ		Steinkohle, Klärschlamm
Energie AG OÖ – Dampfkraftwerk Riedersbach	OÖ	34.900	Steinkohle, Klärschlamm, Tiermehl, biogene Abfälle
Energie AG OÖ – Dampfkraftwerk Timelkam	OÖ	34.900	Steinkohle, Klärschlamm, Tiermehl, biogene Abfälle
Wirbelschichtfeuerung EEVG – Steyrermühl	OÖ	280.000	Rinde, Holzabfälle, Faserreststoffe
Wirbelschichtfeuerung Lenzing AG	OÖ		Schlamm, Rinde, Kohle
Wirbelschichtfeuerung Solvay – Ebensee	OÖ		Rinde, Holz, Kohle
ATP – Dampfkraftwerk Voitsberg 3	Stmk	34.900	Braunkohle (MV wird nicht durchgeführt)
ATP – Fernheizkraftwerk Mellach	Stmk	34.900	Steinkohle, Erdgas, Faserschlämme
Biomasseheizwerk Elin GmbH	Stmk	4.500	
Wirbelschichtfeuerung Norske Skog – Bruck/Mur	Stmk	76.000	Rinde, Kohle, Faserreststoffe
Wirbelschichtfeuerung Sappi – Gratkorn	Stmk	130.000	Holzabfälle, Faserreststoffe, Biogas, Klärschlamm, Dicklauge
Wirbelschichtfeuerung Wasserverband Gratkorn	Stmk		Schlamm, Rinde
Abfallverbrennung Fritz Egger – Wörgl	T		Siebgut, Holzstaub
Altholzverbrennung Kaufmann – Reuthe	Vlbg	15.000	
Thermische Verwertung Rankweil	Vlbg		

Tab. 31:
Beispiele für Anlagen für die Verbrennung/ Mitverbrennung von Altholz, Biomasse, hochkalorischen Abfällen, Klärschlamm (teilweise aus STUBENVOLL 2004).

Tab. 32:
Öffentliche/für spezielle
Dritte zugängliche
thermische Abfall-
behandlungsanlagen aus
dem Bereich Metallurgie.

Anlage	Bundesland	Kapazität in t/a
Dörschelöfen ABRG	K	45.000
Umschmelzanlage TIAG	K	
Vanadiumoxidanlage TIAG	K	7.000
Batterieaufbereitung Chemtec – Werk Simmeringer Haide	W	1.500
Nickelröstanlage TIAG	K	6.000

2.2.1 Mitverbrennung in Kraftwerken

Die Mitverbrennung von festen Abfällen kann aufgrund des Aschegehaltes und der daraus resultierenden Notwendigkeit des Ascheaustrages nur in Kohlekraftwerken und Biomassekraftwerken erfolgen. Deponiegas und Altöle können dagegen auch in erdgas- bzw. ölbefeuerten Kraftwerken verfeuert werden. Für diese Studie wird nur die Mitverbrennung von festen Abfällen in Kraftwerken als relevant betrachtet.

Die Liberalisierung am Strommarkt, die Entwicklung der Brennstoff- und Strompreise und der wachsende Bedarf an Strom haben in den letzten Jahren zu massiven Veränderungen des Kraftwerkparcs, der Betriebsweise und der Einsatzzeiten von Kraftwerken geführt. So sind einige Kohlekraftwerke konserviert worden, im Gegenzug dazu kam es zu einer dramatischen Steigerung des Kohleeeinsatzes bei den verbleibenden Kraftwerken.

In Österreich werden an 8 Standorten insgesamt 10 Kraftwerksblöcke mit Stein- oder Braunkohle betrieben (Brennstoffwärmeleistung: > 50 MW; Feuerungsanlagen der Industrie sind nicht berücksichtigt). Die Leistung der einzelnen Blöcke liegt im Bereich von 113 bis 880 MW thermisch.

Österreichische Kraftwerke mit Potenzial zum Mitverbrennen von Abfällen sind in Kapitel 2.3 angeführt.

Derzeit werden an den Standorten Mellach (Klärschlamm), Timelkam II (Klärschlamm, Tiermehl, Tierfett) und Riedersbach (Klärschlamm, Tiermehl, Tierfett, Schleifstaub, Lederabfälle, etc.) Abfälle mitverbrannt.

Eine Voraussetzung für die Mitverbrennung von Biomasse und Abfällen in kalorischen Kraftwerken ist die Kenntnis der Herkunft, der physikalischen und der chemischen Zusammensetzung und der gefahrenrelevanten Eigenschaften der mitverbrannten Abfälle.

Die Zusammensetzung und die Eigenschaften von Abfällen und Biomasse müssen durch eine eingehende Prüfung (hier kann z. B. auf die ÖNORMEN S 2110 und Serie S 2123 zurückgegriffen werden) bei jeder Erstlieferung ermittelt werden, und soll u. a. folgende Parameter umfassen: Name und Adresse des Anlieferers, Masse des Abfalles, Abfallbesitzer und Herkunft des Abfalles, Wasser- und Aschegehalt, Heizwert, Gehalt an Chloriden, Fluoriden, Schwefel und Schwermetallen. Durch regelmäßige Kontrollen der Abfälle sollte die Einhaltung der gleich bleibenden Qualität in Bezug auf oben erwähnte Parameter überprüft werden. Für Biomasse können entsprechende Erleichterungen bei den Folgekontrollen gewährt werden. Es ist aber auf jeden Fall sicher zu stellen, dass nur unbehandelte Holzabfälle bzw. Holzabfälle, welche nicht mit schwermetallhaltigen oder halogenorganischen Mitteln behandelt wurden, mitverbrannt werden.

2.2.2 (Mit)Verbrennung in Wirbelschichtkesseln der Zellstoff- und Papierindustrie

Derzeit werden bei den österreichischen Zellstoff- und Papiererzeugern sieben Wirbelschichtkessel mit einer gesamten Brennstoffwärmeleistung (BWL) von rund 450 MW betrieben. Als Brennstoffe werden v. a. Stein- und Braunkohle, Rinde, Altholz, Papier, Biogas, diverse Schlämme und (in einigen Kesseln) Abfälle verbrannt. Seit In-Kraft-Treten des AWG 2002 sind einige dieser Anlagen als Mitverbrennungsanlagen eingestuft. In diesem Kapitel nicht berücksichtigt ist die Anlage der Reststoffverwertung Lenzing (RVL), welche als Abfallverbrennungsanlage betrachtet wird.

2.2.2.1 Behandlung von Schlämmen der Zellstoff- und Papierindustrie

Die Grundlage dieses Kapitels bildet die Studie von GRECH et al. (2002).

In Österreich produzieren 28 Unternehmen an insgesamt 30 Standorten Papier und Zellstoff, wobei sieben Unternehmen integrierte Werke darstellen, d. h. sie gewinnen Zellstoff aus Holz und decken damit ihren Primärfaserbedarf für die eigene Papiererzeugung.

In Tab. 33 werden Eckdaten der österreichischen Zellstoff- und Papierindustrie dargestellt:

Anzahl Unternehmen	28
Anzahl Betriebe	30
Produktion (in 1.000 t)	
Papier, Faltschachtelkarton, Pappe	4.385
Sulfitzellstoff gebleicht	423
Sulfitzellstoff ungebleicht	0
Sulfatzellstoff gebleicht	302
Sulfatzellstoff ungebleicht	465
Textilzellstoff	180
Holzstoff	390
Verbrauch Rundholz und Sägenebenprodukte (in 1.000 t)	7.094
Verbrauch Altpapier (in 1.000 t)	1.943
Einsatz von Brennstoffen und Abfällen (in 1.000 t)	
Kohle	223
Heizöl	49
Erdgas (in 1.000 m ³)	845
Dicklauge	2.826
Rinde	529
Abwasserschlämme	322
Behandlung der Rückstände (in 1.000 t)	
Stoffliche Verwertung	414
Thermische Behandlung/Verwertung	834
Deponierung	106
Sonstige	4

Tab. 33:
Struktur der
österreichischen
Zellstoff- und
Papierindustrie
(GRECH et al. 2002).

In Tab. 34 ist die Zusammensetzung von Schlämmen der Papier- und Zellstoffhersteller angeführt.

Tab. 34:
Zusammensetzung von
Schlämmen aus der
Zellstoff- und
Papierindustrie.

	Primärschlamm mg/kg TS	Biologieschlamm	Mischschlamm
As	< 3	< 3	< 3
Pb	< 6–32	< 6–38,2	< 6–35,8
Cd	< 0,4–5,4	< 0,4–12	< 0,4–1,1
Cr	12,2–19,2	0,5–51,5	5,5–15,1
Co	0,8–2,5	1,1–4,5	0,9–2,5
Cu	< 4–94,5	23,7–452	10,5–194
Mo	1,1–5,3	2,7–4,9	1,9–4,7
Ni	3,3–14,7	5,5–38,6	4,2–12,1
Hg	0,04–0,2	0,08–0,5	0,04–0,18
Zn	< 40–720	164–3.952	62–2.816
AOX	58–321	65,2–1.222	9,4–353

Für die thermische Behandlung von Schlämmen aus der Zellstoff- und Papierindustrie werden 3 Wege begangen:

- Mitverbrennung in Wirbelschichtfeuerung,
- Mitverbrennung in Laugenverbrennungskessel,
- Mitverbrennung in Kohlekraftwerken.

Mitverbrennung in Wirbelschichtfeuerungen

In den Wirbelschichtkesseln (es werden Anlagen sowohl mit stationärer als auch mit zirkulierender Wirbelschicht betrieben) der Zellstoff- und Papierindustrie werden neben den im eigenen Betrieb anfallenden Schlämmen noch Steinkohle, Braunkohle, Lebküchle, Rinde, Biogas, Erdgas, Heizöl schwer, Späne und Abfälle verbrannt. Teilweise werden auch externe Abfälle zur Verbrennung übernommen. Die Verbrennungswärme wird zur Dampf- und Stromerzeugung genutzt, überschüssiger Strom wird ans Netz geliefert.

Die anfallenden Aschen werden zum größten Teil an die Baustoffindustrie abgegeben, ein Teil wird zur Rückverfüllung eines Tagbaues verwendet, ein Teil wird deponiert.

Mitverbrennung in Laugenverbrennungskessel

Die Neusiedler AG praktiziert am Standort Kematen eine andere Möglichkeit der thermischen Behandlung des biologischen Überschussschlammes: die Mitverbrennung im Laugenverbrennungskessel. Die Abb. 12 zeigt das Verfahrensschema der sogenannten Biotrockensubstanzverwertung (BTV).

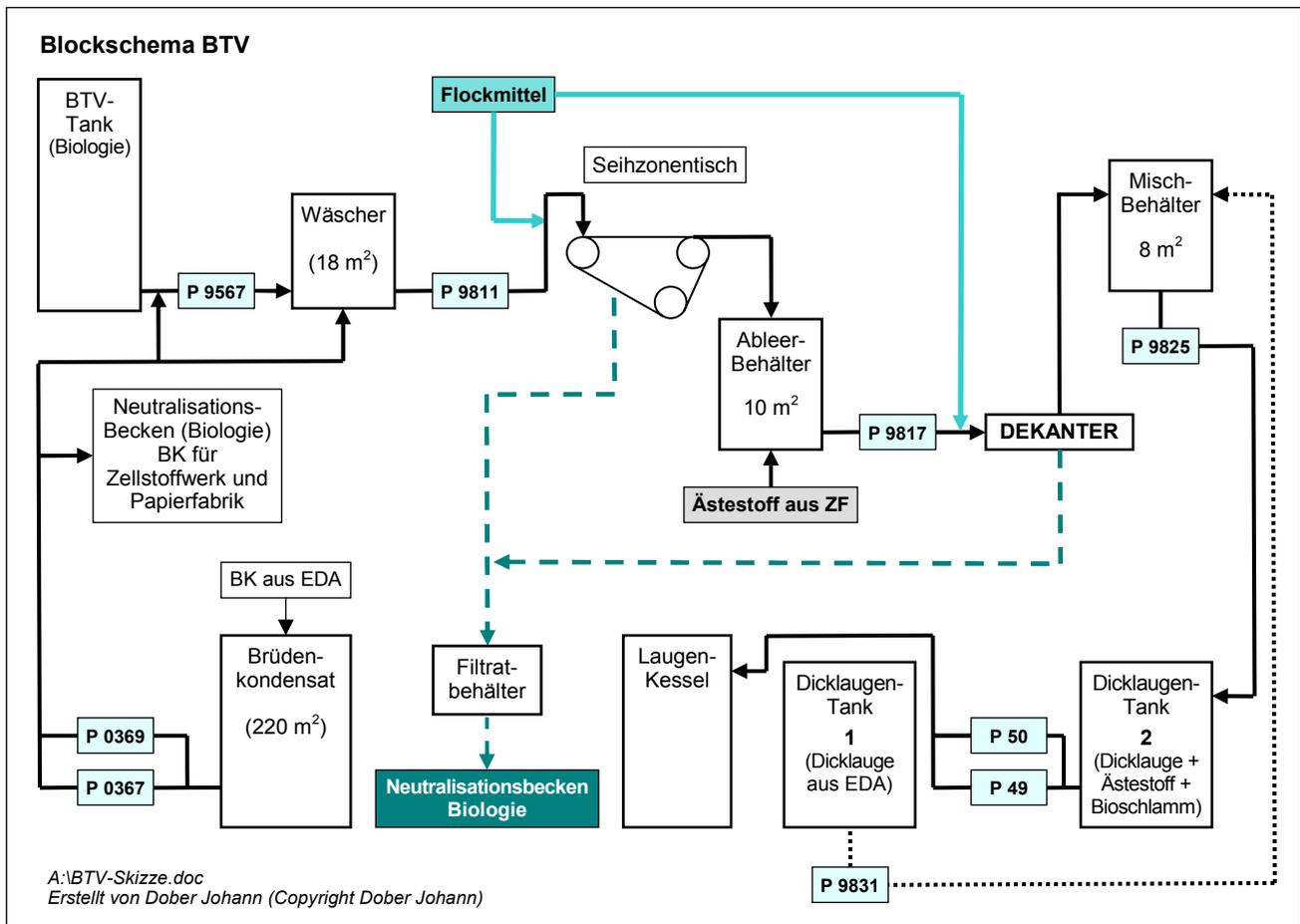


Abb. 12: Biotrockensubstanzverwertung (BTV) (GRECH et al. 2002).

Der biologische Überschussschlamm wird in einem ersten Schritt auf ca. 6 % TS eingedickt. Danach erfolgt eine Vermischung mit Brüdenkondensat (pH-Wert < 2), welches im Zuge der Eindampfung der Zellstoffablage gewonnen wird. Dieser Schritt ist notwendig, um den im Bioschlamm vorhandenen Kalkanteil zu reduzieren. Anschließend wird der Überschussschlamm weiter eingedickt, mit dem in der Zellstofffabrik anfallenden Ästestoff (nicht aufgeschlossene Holzbestandteile) vermischt und in einem Dekanter auf ca. 18 % TS gebracht. Danach erfolgen die Vermischung mit der Dicklauge und die Verbrennung im Laugenverbrennungskessel.

2.2.2.2 Abfälle und Rückstände aus der Verbrennung von Schlämmen der Zellstoff- und Papierindustrie

In der Zellstoff- und Papierindustrie werden die festen Abfälle bzw. Rückstände aus der Verbrennung deponiert, als Zusatzstoff zur Rückverfüllung verwendet oder an die Baustoffindustrie abgegeben.

Je nach Art der Entsorgung/Verwertung werden unterschiedliche Parameter zur Beurteilung der Eignung herangezogen (z. B. Grenzwerte laut Deponieverordnung oder die Gehalte an Al-Silikaten, CaO, Cl, Glühverlust, Pb, Cd, Zn im Fall der Weitergabe an die Baustoffindustrie).

Die Parameter CaO, Cl, Sulfatgehalt und Glühverlust sowie mechanische und physikalische Parameter sind für das Endprodukt Zement selbst festgelegt. Mangels all-

gemein gültiger Normen kommt es zwischen der Baustoffindustrie und der Zellstoff- und Papierindustrie zu freien Vereinbarungen hinsichtlich der Zusammensetzung und oberer Gehalte an bestimmten Schadstoffen in den Aschen. Durch die Weitergabe an die Baustoffindustrie können seitens des Anlagenbetreibers Deponiekosten gespart werden, d. h. sie liegt im direkten Interesse desselben.

Im Folgenden werden kurz die möglichen Schadstoffkonzentrationen in der Flugasche beim Einsatz von verschiedenen Brennstoffen und Abfällen abgeschätzt. Dabei wird für den Übergang von Schwermetallen in die Flugasche ein Transferkoeffizient von 100 %, für Hg von 50 % angenommen. In Tab. 35 werden die Aschegehalte und Schadstoffkonzentration und in Tab. 36 die errechneten Konzentrationen in den jeweiligen Aschen dargestellt. Die angegebenen Bereiche für Rinde, Holz und Steinkohle entstammen VERBUNDGESELLSCHAFT (2001). Für Schlämme wurden 2 Spalten angegeben, in der ersten Spalte werden Schlämme, die verbrannt werden angeführt, in der zweiten Spalte sind Schlämme angegeben, die einer sonstigen Behandlung zugeführt werden.

Tab. 35:
Asche- und
Schadstoffgehalte von
Rinde, Steinkohle,
Schlämmen und Holz
(GRECH et al. 2002).

Parameter	Steinkohle	Rinde	Schlämme		Holz
			(derzeit verbrannt – Maximalwert)	(Maximalwerte)	
Aschegehalt (%)	10	5–15	30–45	30–45	2–10
Hg (mg/kg TS)	0,3	0,2	0,48	0,48	0,2
Pb (mg/kg TS)	50	13	35,8	38,2	230
Cd (mg/kg TS)	0,8	2	< 0,4	12	2
Cr (mg/kg TS)	21	18	15,1	51,5	95
Zn (mg/kg TS)	60	140	3.952	3.952	1.330

Tab. 36:
Abschätzung der
Konzentrationen
ausgewählter
Schadstoffe in Aschen
verschiedener
Brennstoffe und Abfälle
(GRECH et al. 2002).

Parameter	Steinkohlen- asche	Rinden- asche	Schlamm- asche	Holz- asche
Hg (mg/kg TS)	1,5	0,7–2	1,1–1,6	1–5
Pb (mg/kg TS)	500	87–260	85–127	2300–11.500
Cd (mg/kg TS)	8	13,3–20	26,6–40	20–100
Cr (mg/kg TS)	210	120–360	114–171	950–4.750
Zn (mg/kg TS)	600	932–2.800	8.773–13.160	13.300–66.500

Aufgrund des sehr geringen Aschegehaltes von Rinde und Holz kommt es bei diesen Fraktionen, v. a. bei Holz, zu einer starken Aufkonzentrierung von Schwermetallen. Die Schadstoffkonzentrationen in den Rinden-, Schlamm- und Holzaschen sind (z. T. wesentlich) höher als in der Kohleasche.

Da in der Regel die oben angeführten Aschen in den Filtern als Gemisch abgetrennt werden, liegen die tatsächlichen Konzentrationen innerhalb der in Tab. 36 genannten Bereiche. Im Regelfall beträgt der Anteil der Schlamm- asche an der gesamten anfallenden Menge zwischen 50 und 80 %, die höher belastete Holz- asche macht nur einen relativ geringen Anteil aus und wird verdünnt. Aufgrund obiger Abschätzungen werden die Cd-Gehalte in den Aschen die von Flugasche aus der reinen Kohlenfeuerung wahrscheinlich übersteigen, die Zn-Konzentration wird auf jeden Fall darüber liegen. Inwieweit diese erhöhten Konzentrationen die Produktqualität beeinflussen, kann im Rahmen dieser Studie nicht abgeschätzt werden.



2.2.2.3 Schlussfolgerungen der Mitverbrennung in Wirbelschichtkesseln der Zellstoff- und Papierindustrie

In den Wirbelschichtkesseln der Zellstoff- und Papierindustrie werden Schlämme, Rinde, Altholz, Papier, Biogas, Abfälle und konventionelle Brennstoffe verbrannt. Primäres Ziel ist die Deckung des Energiebedarfes des jeweiligen Standortes, die Nutzung des Energieinhaltes von anfallenden Produktionsrückständen (v. a. Rinde, Papier, Faserschlämme) und die Behandlung von Abfällen (v. a. Schlamm aus der biologischen Abwasserreinigung). Die frei werdende Energie wird als elektrischer Strom und als Prozessdampf direkt am Standort genutzt, wobei aus produktionstechnischen Gründen der Bedarf ganzjährig besteht.

Die Abscheidung saurer Gase mittels Kalk- oder Kalkhydratdosierung wird nicht nur im Hinblick auf die Reinhaltung der Luft, sondern vor allem im Hinblick auf die mögliche Weiterverwendung der Aschen in der Baustoffindustrie hin betrieben.

Die Flugasche bzw. das Gemisch aus Flugasche und festem Abfall aus der Entschwefelung wird teilweise deponiert und teilweise an die Baustoffindustrie übergeben.

Die Schwermetallgehalte (bezogen auf den Aschegehalt) von Schlämmen sind ähnlich denen von Kohle (Ausnahme: Cd, Zn). Durch die Verbrennung von Schlämmen können sich anteilmäßig die Konzentrationen von Cd und Zn in den Aschen erhöhen. Allerdings kann es durch den hohen Aschegehalt des Klärschlammes eventuell sogar zu einer Verdünnung einiger Schwermetalle kommen. Die Konzentration von Schwermetallen in der Flugasche wird auch maßgeblich vom Prozentsatz des mitverbrannten (Alt)Holzes bestimmt. Inwieweit diese erhöhten Konzentrationen die Produktqualität in der Baustoffindustrie beeinflussen, kann im Rahmen dieser Studie nicht abgeschätzt werden.

Einige andere Parameter werden gemäß ÖNORM EN 197-1 im Endprodukt Zement begrenzt (z. B. CaO, Cl, Sulfatgehalt und Glühverlust sowie mechanische und physikalische Parameter). Für diese Parameter existieren Vereinbarungen zwischen der Zementindustrie und den Anlagenbetreibern.

2.2.3 Mitverbrennung in Wirbelschichtkesseln der Spanplattenindustrie

Grundlage dieses Kapitels bildet die Studie vom UMWELTBUNDESAMT (2004a).

Das Spanplattenwerk Funder Industrie GmbH am Standort St. Veit/Glan verfügt über zwei Wirbelschichtkessel, in denen Abfälle mitverbrannt werden.

Bei der einen thermischen Anlage handelt es sich um einen Kessel mit intern zirkulierender Wirbelschicht. Die Brennstoffwärmeleistung beträgt 33 MW. Eingesetzte Brennstoffe sind Rinde, unbehandelte und behandelte Holzabfälle, Papier und Pappe, Altpapierreject, Kunststoffverpackungen und -folien, Klärschlämme, diverse Reststoffe und Produktionsabfälle. Als Zündgas wird Propangas eingesetzt.

Die zweite thermische Anlage ist ein stationärer Wirbelschichtkessel mit einer Brennstoffwärmeleistung von 27 MW. Eingesetzte Brennstoffe sind Rinde, unbehandelte und behandelte Holzabfälle, Papier und Pappe, Altpapierreject, Kunststoffverpackungen und -folien, Klärschlämme, diverse Reststoffe und Produktionsabfälle.

Die Abgase beider Wirbelschichtkessel werden über einen Kamin emittiert.



Als Minderungstechnologie wird ein Trockensorptionsverfahren eingesetzt, die Abscheidung erfolgt auf Gewebefilter. Zur NO_x -Minderung wird Ammoniakwasser eingedüst.

Menge und Zusammensetzung der bei der thermischen Behandlung anfallenden Rückstände/Abfälle sind durch die eingesetzten Brennstoffe und das zur Rauchgasreinigung vorgesehene und eingebrachte Additiv bedingt.

In der Span- und Faserplattenindustrie sind die Outputströme nicht eindeutig zu beschreiben, da das Abgas des Verbrennungsprozesses mit der Trocknerabluft vermischt in den Kamin gelangt und es zu einer Vermischung der ausgetragenen Asche mit dem Staub aus dem Trockengut kommt.

Eine differenzierte Betrachtung zur weiteren Behandlung bzw. Verwertung von Flugasche und Bettasche (Rostasche) ist nur bedingt möglich, da nur bei getrennter Verwertung dazu Angaben vorliegen. Häufig wird jedoch eine gemeinsame Entsorgungslinie für die Asche gewählt. In Summe fallen aus der thermischen Verwertung von Abfällen und Reststoffen 220.000 t Aschen an.

Aschen und Schlacken werden vielfach in der Zement- und Baustoffindustrie eingesetzt, ein anderer Teil muss deponiert werden. Für die Zuordnung zum Deponietyp sind die Parameter pH-Wert, Leitfähigkeit und Abdampfdruckstand relevant.

2.3 Aschen und Schlacken aus Kraftwerken und Biomasse(heiz)kraftwerken

Bei der Verbrennung von Kohle, Biomasse und – in geringerem Umfang – von Heizöl schwer, fallen feste Abfälle und Rückstände an.

In Abhängigkeit von den angewandten Techniken zur Rauchgasreinigung lassen sich Abfälle aus Kraftwerken und sonstigen Dampfkesselanlagen im Wesentlichen in Grobasche und Flugasche sowie in Rückstände aus der Entschwefelung (z. B. REA-Gips oder Rückstand aus dem Sprühabsorptionsverfahren) unterteilen. Bei der Reinigung des Abwassers fällt als Rückstand ein so genannter Filterkuchen an. Rückstände aus kalorischen Kraftwerken sind nach dem Abfallwirtschaftsgesetz BGBl. I Nr. 102/2002 i. d. F. BGBl. I Nr. 43/2004 Abfälle.

In Österreich werden an 8 Standorten insgesamt 10 Kraftwerksblöcke mit Stein- oder Braunkohle betrieben (Brennstoffwärmeleistung: > 50 MW; Feuerungsanlagen der Industrie sind nicht berücksichtigt). Die Leistung der einzelnen Blöcke liegt im Bereich von 113 bis 880 MW thermisch.

Die Liberalisierung am Strommarkt, die Entwicklung der Brennstoff- und Strompreise und der wachsende Bedarf an Strom haben in den letzten Jahren zu massiven Veränderungen des Kraftwerksparks, der Betriebsweise und der Einsatzzeiten von Kraftwerken geführt. So sind einige Kohlekraftwerke konserviert worden, im Gegenzug dazu kam es zu einer dramatischen Steigerung des Kohleeinsatzes bei den verbleibenden Kraftwerken.

Als Folge des Ökostromgesetzes (BGBl. I Nr. 149/2002) und der Anforderungen aus der Richtlinie über erneuerbare Energieträger (RL 2001/77/EG) werden thermische Anlagen auf Biomassebasis bzw. auf Basis von Abfällen mit hohem biogenem Anteil zunehmend an Bedeutung gewinnen. In den nächsten Jahren werden zahlreiche Anlagen mit einer thermischen Kapazität bis zu 60 MW in Betrieb gehen.



2.3.1 Kohlekraftwerke

Österreichische Kohlekraftwerke:

- KW Dürnrohr 1 und 2 (gemeinsam 1.758 MW_{th}),
- Voitsberg 3 (792 ME_{th}, wird 2006 voraussichtlich geschlossen),
- Zeltweg (344 MW_{th}, ist laut Betreiberangabe konserviert),
- St. Andrä (284 MW_{th}, ist laut Betreiberangabe derzeit konserviert),
- Timelkam 2 (188 MW_{th}),
- Riedersbach 1 (143 MW_{th}) und 2 (377 MW_{th}),
- Mellach (543 MW_{th}),
- Fernheizkraftwerk (FHKW) Klagenfurt (138 MW_{th}; Einsatz von festen Brennstoffen wird beschränkt).

Tab. 37 bietet eine Übersicht über die derzeit betriebenen Kohlekraftwerke Österreichs und deren Brennstoff- bzw. Abfalleinsatz.

Kraftwerk (Datenbasis)	Brennstoff- wärmeleistung (MW)	Brennstoff/ Abfalleinsatz (t/a)	Rückstände (t/a)
Voitsberg (2002)	792	Braunkohle: 1.285.500	Grobasche: 15.500 Flugasche: 275.800 REA-Gips: 57.000
Dürnrohr 1 + 2 (2004)	1.758	Steinkohle: 1.206.190 Erdgas	Grobasche: 16.654 Flugasche: 89.216 SAV-Rückstand: 50.231
Mellach (2003)	543	Steinkohle: 428.000 Abfälle: 92 Erdgas	Grobasche: 7.302 Flugasche: 50.675 Gips: 13.202 ARA-Filterkuchen: 923
Riedersbach 1 + 2 (2002)	520	Steinkohle: 241.800 Abfälle: 10.155	GA + FA: 9.886 Gips: 3.747
Timelkam 2 (2002)	188	Steinkohle: 110.500 Abfälle: 14.600	GA + FA: 13.336 SAV-Rückstand: 3.383

Tab. 37:
Übersicht über die
derzeit betriebenen
Kohlekraftwerke
Österreichs³.

GA + FA: Grobasche und Flugasche; SAV: Sprühabsorptionsverfahren

Tab. 38 gibt eine Übersicht über anfallende Rückstände und Abfälle aus Kraftwerken:
Zu ergänzen ist, dass

- bei den österreichischen Kohlekraftwerken aufgrund der Temperaturen im Feuer-
raum keine Schlacke entsteht, sondern Grobasche;
- bei der Verbrennung von Erdgas keine Rückstände entstehen.

Die Zusammensetzung der Rückstände hängt v. a. von der Kohlequalität ab. Die
Konzentration von Schwermetallen in den Rückständen aus der Verbrennung wird
auch vom Aschegehalt der jeweiligen Kohle bestimmt, welcher sich in der Regel
zwischen 5 und 15 % (Steinkohle) und 12 bis 35 % (Braunkohle) bewegt.

³ zusammengestellt aus den diversen Umwelterklärungen der Anlagen nach EMAS, z. B.: (ANONYMUS
2002), (ANONYMUS 2003)



Tab. 38:
Arten der Abfälle und
Rückstände aus der
Verbrennung
(UMWELTBUNDESAMT
2003).

	Verfahren	Abfall	Einteilung gemäß ÖNORM S 2100
Asche- abscheidung	Abscheidung im Kessel	Grobasche	SN 31305 – nicht gefährlich
	Elektrofilter, Gewebefilter	Flugasche	SN 31301 – gefährlich, wenn aus der Ölfuehrung stammend
Entschwefelung	Trockenadditiv- verfahren	Kalkadditiv- asche Sodaasche	meist gemeinsam mit Flugasche abgeschieden
	Trockensorptions- verfahren	Trockensorptions- produkt	meist gemeinsam mit Flugasche abgeschieden
	Sprühabsorptions- verfahren	Sprühabsorptions- produkt	SN 31314 – gefährlich
	Kalksteinwasch- verfahren	Gips	SN 31315 – nicht gefährlich
Abwasser- reinigung	Reinigung der Rauchgase	Schlamm aus der Abwasser- behandlung	SN 94 801 – gefährlich
	Wasser- aufbereitung	Schlamm aus der Kesselwasser- aufbereitung	SN 94 105 – nicht gefährlich

SN: Schlüsselnummern gemäß ÖNORM S 2100

Tab. 39:
Typische Schwermetall-
konzentration der in
österreichischen
Kraftwerken
eingesetzten Kohlen
(UMWELTBUNDESAMT
2003). Angaben in
mg/kg.

Schwermetall	Braunkohle Voitsberg	Steinkohle typ. Werte	Steinkohle St. Andrä	Steinkohle Riedersbach	Steinkohle Mellach
Arsen	10–25	1–5	3,0	≤ 10	3–5
Cadmium	0,08–0,12	0,07–0,12	2,0	k.A.	≤ 0,3
Chrom	39,1	10–20	23,0	< 100	26–43
Kupfer	16,0	15–50	23,0	k.A.	18–34
Quecksilber	0,28	0,13–0,18	0,15	k.A.	≤ 0,1
Nickel	40,5	10–25	26,0	k.A.	20–36
Blei	5-15	5–25	44	k.A.	12–16
Selen	0,99	< 1	3,0	k.A.	n.n.
Vanadium	41,3	20–50	29,0	k.A.	23–41
Zink	26,1	10–50	48,0	k.A.	24–31

n.n.: nicht nachweisbar; k.A.: keine Angabe

Hauptbestandteile der Aschen aus der Braun- und Steinkohlefeuerung sind Oxide, Silikate und Aluminiumsilikate der in der Kohle enthaltenen Elemente (siehe Tab. 40). Sie liegen als kristalline Phasen vor. Flugasche wird als feines Pulver mit Korngrößen < 100 µm und großen spezifischen Oberflächen (2.000 bis 3.000 cm²/g) aus dem Rauchgas abgeschieden.

	KW Voitsberg 3	KW Dürnröhr 1	FHKW Mellach
Grobasche (% TS)			
SiO ₂	20–35	45–50	43,49
Al ₂ O ₃	9–11	22–25	21,60
Fe ₂ O ₃	7–9	8–10	9,71
CaO	5–8	4–6	4,24
MgO	1–2	2–4	2,23
Na ₂ O	< 1	ca. 1	0,35
K ₂ O	< 3	ca. 2	2,65
SO ₃	< 1	ca. 4	0,24
Glühverlust	10–40	< 5	12,21
TiO ₂			0,91
P ₂ O ₅			0,89
Cl			n.n.
Flugasche (% TS)			
SiO ₂	45–55	40–60	46,01
Al ₂ O ₃	22–28	25–30	27,10
Fe ₂ O ₃	7–13	10–15	8,33
CaO	3–7	3–8	4,56
MgO	1–4	1–6	4,01
Na ₂ O	< 1	ca. 1	0,70
K ₂ O	2–4	ca. 1	3,53
SO ₃	< 1	ca. 2	0,52
Glühverlust	< 3	< 5	2,09
TiO ₂			1,18
P ₂ O ₅			0,77
Cl			0,01
Rückstand aus der Entschwefelung (% TS)			
SiO ₂	< 2	10–15	
Al ₂ O ₃		5–10	
Fe ₂ O ₃	∑ < 1	2–3	
CaO	-	35–45	
MgO	-	2–3	
Na ₂ O	-	< 1	
K ₂ O	-	< 1	
SO ₃	-	2–3	
SO ₂	-	20–25	
Cl	-	< 1	
CaSO ₄ · 2 H ₂ O	90–98	-	
CaSO ₃ · ½ H ₂ O	< 0,5	-	
CaCO ₃	2–10	-	
CaCl ₂	< 0,1	-	

Tab. 40:
Chemische
Zusammensetzung von
Grob- und Flugasche
und Rückstand aus der
Entschwefelung in % TS,
ohne Schwermetalle
(VERBUNDGESELLSCHAFT
1995)

Neben den Haupt- und Nebenbestandteilen sind auch die Schwermetallkonzentrationen in den Abfällen und Reststoffen für die weiteren Wege der Verwertung oder Entsorgung von Bedeutung. Bis auf die leichter flüchtigen Schwermetalle Hg, Se und Cd werden diese Elemente im Wesentlichen in die Flugasche eingebunden.

Bei Kraftwerken, die mit Heizöl befeuert werden, können sich je nach Herkunft des Heizöls die organisch gebundenen Bestandteile von Eisen, Nickel, Natrium, Vanadium und Silizium im Heizöl ändern (VERBAND SCHWEIZERISCHER ELEKTROUNTERNEHMEN 2004).

Die nachfolgenden Tabellen zeigen die Zusammensetzungen der Rückstände aus kalorischen Kraftwerken.

2.3.2 Grobasche

In der Grobasche sind die Schwermetallkonzentrationen in der Regel niedriger als in der Flugasche (vergleiche Tab. 41 und Tab. 42).

Die Konzentrationen von Cr, Cu und Ni liegen über den Grenzwerten für Recyclingbaustoffe (in der Tabelle nicht dargestellt).

Tab. 41:
Zusammensetzung der
Grobasche aus 3
österreichischen
Kraftwerken, verglichen
mit der Schlacke aus der
MVA Spittelau
(UMWELTBUNDESAMT 2003;
MVA SPITTELAU 2004).

		Voitsberg 3 Braunkohle	Dürnrrohr 1 Steinkohle	Mellach Steinkohle	Spittelau Restmüll
Al ₂ O ₃	% TS	9–11	22-25	21,6	
Al	mg/kg				30.000–75.000
Glühverlust	% TS	10–40	< 5	12,2	0,9–5,63
Cl	% TS			< 0,01	0,1-0,75
F	% TS			< 0,001	0,01–0,13
S	% TS			0,11	0,36–3,33
As	mg/kg	8,8		5	2-70
B	mg/kg			158	80–165
Ba	mg/kg			850	390–2.200
Cd	mg/kg	n.n.		n.n.	2–50
Co	mg/kg			44	9–85
Cr	mg/kg	204,7		127,7	100–550
Cu	mg/kg	63,2		92,8	500–4.010
Hg	mg/kg	n.n.		n.n.	0,1–7
Mn	mg/kg			582	300–1.100
Ni	mg/kg	214,9		94	42–420
Pb	mg/kg	9,9		9	250–5.500
Sb	mg/kg			n.n.	23–62
Se	mg/kg	0,6		n.n.	
Sn	mg/kg	96,6		22,7	91–130
V	mg/kg			204	27–32
Zn	mg/kg	38,9		89	1.200–5.500
TOC als C	% TS			7,9	0,9–3,13

n.n. = nicht nachweisbar

2.3.3 Flugasche

Mit der Flugasche wird auch der größte Teil der schwer flüchtigen Schwermetalle abgeschieden. Die Belastung der Flugasche ist im Fall vieler Schadstoffe (z. B. B, Ba, Co, Cr, Mn, Ni) ähnlich der Flugasche aus Müllverbrennungsanlagen, einige Schadstoffe weisen höhere Konzentrationen (z. B. As, V), einige niedrigere Konzentrationen (z. B. Cl, Cd, Hg, Pb, Sn, Zn) auf (siehe Tab. 42).

Tab. 42: Zusammensetzung der Flugasche aus 3 österreichischen Kraftwerken, verglichen mit der Flugasche aus der MVA Spittelau und den Richtwerten (RW) der Richtlinie für Recycling-Baustoffe (MVA SPITTELAU 2004; ÖBRV 2004; UMWELTBUNDESAMT 2003).

		Voitsberg 3 Braunkohle	Mellach Steinkohle	Riedersbach 1 + 2 Steinkohle	Spittelau Restmüll	RW Richtlinie für Recyclingbaustoffe
Glühverlust	% TS	< 3	2,1		0,3–3,8	
TiO ₂	% TS		1,2			
P ₂ O ₅	% TS		0,77			
Cl	% TS		0,01	< 0,1	5–11	
F	% TS		< 0,001		0,1–1,5	
S	% TS	0,4	0,52	< 1		
Ag	mg/kg		0,3		30–49	
Al	mg/kg				40.000–80.000	
As	mg/kg	106	32,5	< 50	3–32	30
B	mg/kg		231		119–147	
Ba	mg/kg		3.170		644–3.200	
Be	mg/kg		8			
Cd	mg/kg	0,74	n.n.	< 0,5	50–500	1,1
Co	mg/kg		82		15–120	
Cr	mg/kg	195	150	< 400	164–700	90
Cu	mg/kg	88,4	155	< 100	400–1.200	90
Hg	mg/kg	0,86	< 0,0002	< 1	3–50	0,7
Li	mg/kg		131			
Mn	mg/kg		510		500–800	
Mo	mg/kg		12,5			
Ni	mg/kg	90	197	< 250	42–240	55
Pb	mg/kg	45,2	81	< 100	2.500–72.000	100
Sb	mg/kg		n.n.		550–1.038	
Se	mg/kg	2,8	n.n.			
Sn	mg/kg		6,7		651–867	
Tl	mg/kg		n.n.	< 2		
V	mg/kg	264	301		24–31	
W	mg/kg		2			
Zn	mg/kg	236	210	< 300	7.000–20.600	450
TOC als C	% TS		1,75	< 8	0,8–2,5	

n.n. = nicht nachweisbar

Ein Vergleich mit den Grenzwerten für Recycling-Baustoffe ergibt für die Schadstoffe As, Cr, Cu, Hg und Ni zu hohe Werte.

2.3.4 REA-Gips

Im Allgemeinen sind die Schwermetallkonzentrationen im REA-Gips sehr niedrig und liegen im Bereich von Naturgips. Die flüchtigen Schwermetalle Hg und Se werden teilweise in der nassen Entschwefelung ausgewaschen und können in vergleichsweise höheren Konzentrationen im Gips vorliegen. Organische Schadstoffe werden nur in sehr geringen Konzentrationen im Gips nachgewiesen.

Tab. 43:
Schwermetall- und
Schadstoffgehalte im
Gips aus der
Entschwefelung
(Angaben der
Kraftwerksbetreiber)
(UMWELTBUNDESAMT
2003).

Parameter	Einheit	Voitsberg 3 Braunkohle	Riedersbach 1 + 2 Steinkohle	Mellach Steinkohle	Neudorf/ Werndorf Heizöl
Cl	%		< 0,1	0,02	0,01
F	%		< 0,1	0,04	< 0,01
S	% SO ₃		45	44,3	44,2
As	mg/kg	1,8	< 5	n.n.	n.n.
Ba	mg/kg			4	3
Cd	µg/kg	10	< 300	n.n.	< 10
Co	mg/kg		< 0,5	1	1
Cr	mg/kg	35,4	< 10	43	11
Cu	mg/kg	3,2	< 5	9	16
Hg	µg/kg	390	< 500	< 10	< 10
Mn	mg/kg		< 20	3	17
Ni	mg/kg	1,1	< 10	2,3	25
Pb	mg/kg	0,8	< 2	2,0	2
Sb	mg/kg		< 0,2	n.n.	n.n.
Se	mg/kg	6,8	< 10	-	-
Sn	mg/kg		< 1	2	4
Tl	mg/kg		< 1	n.n.	-
V	mg/kg	4,2		3,1	59
Zn	mg/kg	6,7	< 5	49	23
PAH	mg/kg		< 0,1		
PCB	mg/kg		n.n.		
PCDD/PCDF	ng TE/kg		< 1		
TOC (als C)	% C			0,07	0,05

n.n. ... nicht nachweisbar

Anm.: Der ARA-Fällungsgips wird zusammen mit dem REA-Gips in der Gips-Aufbereitungsanlage weiterverarbeitet und als gemeinsames Endprodukt an die Baustoffindustrie verkauft.

Die Analysedaten beziehen sich auf das abgegebene Endprodukt.

Abgesehen von einem leicht erhöhten Vanadiumgehalt im Gips aus dem Kraftwerk Neudorf/Werndorf (Brennstoff: Heizöl schwer) weisen die REA-Gipse aus den Entschwefelungsanlagen der Kraftwerke nur geringe Schwermetallkonzentrationen auf.

2.3.5 Rückstand aus dem Sprühabsorptionsverfahren

Dieser Rückstand besteht aus einem Gemisch aus Calciumsulfid, Calciumoxid, Gips und Flugasche (siehe Tab. 40). Über die Schwermetallgehalte sind keine Informationen verfügbar.

2.3.6 Filterkuchen

In Tab. 44 sind Schwermetall- und Schadstoffgehalte im Filterkuchen von zwei österreichischen Kraftwerken dargestellt:

Parameter	Einheit	FHKW Neudorf/Werndorf				FHKW Mellach		
		Grenzwert*	Min.	Max.	Mittelwert	Min.	Max.	Mittelwert
Cl	mg/kg	-	-	-	-	-	-	-
F	mg/kg	-	-	-	-	-	-	-
TS 40°C	%		44,3	58,6	53,0	57,1	66,7	60,7
C	%	< 15	13,0	34,9	20,1	2,5	6,8	4,6
Silikat	%	< 40	1,2	4,0	2,2	7,5	14,2	11,0
Sulfat	%	< 65	24,2	43,1	36,2	10,0	35,7	18,5
CO ₂	%		1,0	3,9	3,1	2,7	7,8	5,2
Ag	%		n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
Al	%	< 10	0,077	1,413	0,304	1,78	24,33	4,98
As	mg/kg	< 30	1	16	11	16	46	26
Ba	%	< 0,2	0,005	0,010	0,006	0,029	0,093	0,056
Be	µg/kg	< 10	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
Ca	%	< 30	14,83	19,52	16,64	17,78	25,28	21,57
Cd	µg/kg	< 10	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
Co	mg/kg	< 30	33	99	62	13	35	19
Cr	mg/kg	< 200	8	76	32	25	66	41
Cu	mg/kg	< 100	16	46	25	43	91	64
Fe	%	< 10	0,43	0,90	0,59	2,6	4,48	3,66
Hg	µg/kg	< 10	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
K	%		0,020	0,094	0,040	0,31	0,64	0,48
Na	%		0,025	0,115	0,062	0,14	0,32	0,20
Mg	%	< 10	3,09	8,22	5,71	0,27	0,52	0,38
Mn	%	< 0,5	0,014	0,033	0,026	0,04	0,12	0,09
Mo	mg/kg	< 100	2	62	36	2	12	6
Ni	%	< 0,5	0,170	0,491	0,291	0,002	0,006	0,004
Pb	mg/kg	< 500	21	47	31	25	66	36
Sb	mg/kg	< 30	10	21	13	1	12	6
Sn	mg/kg	< 500	n.n.	4	2	2	10	5
Tl	µg/kg	< 10	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
V	%	< 2	0,450	0,794	0,596	0,01	0,02	0,01
Zn	mg/kg	< 1.000	19	425	149	82	342	183

Tab. 44:
Schwermetall- und
Schadstoffgehalte im
Filterkuchen aus der
Abwasserreinigung
(Angaben der
Kraftwerksbetreiber).
(UMWELTBUNDESAMT
2003).

n.n. nicht nachweisbar

* Grenzwert nach Bescheid sowohl für FHKW Mellach und FHKW Neudorf/Werndorf

2.3.7 Sonstige Rückstände

Beim FHKW Neudorf/Werndorf werden nach der SCR (Selektive Katalytische Reduktion) die Oxidaschen und unverbrannter Kohlenstoff aus dem Rauchgas ausgewaschen, da diese die Qualität des Gipses aus der nassen Entschwefelung negativ beeinflussen würden (ebenso würden im Rauchgas enthaltene Phosphate einen Teil des Calciums binden und damit die Effizienz der Entschwefelung verringern). Die nasse Wäsche funktioniert im Prinzip wie eine nasse Entschwefelung mit internem Umlauf. Zur Neutralisation wird Kalkmilch zugegeben. Dadurch entsteht eine wässrige Suspension aus Ruß, Schwermetallhydroxiden und Gips, welche in dieser Form sehr schwer zu entsorgen ist. Durch Zugabe eines geeigneten Flockungshilfsmittels kann die Gipsfraktion (ca. 2/3 der festen Abfallstoffe) vom Ruß getrennt und dem REA-Gips beigemischt werden. Die Rußfraktion (Pressfilterkuchen, ca. 1.580 t/a, Zusammensetzung siehe Tab. 45) wird als Tonersatzstoff bei der Klinkererzeugung verwendet.

Tab. 45:
Zusammensetzung des
Pressfilterkuchens des
Kraftwerkes
Neudorf/Werndorf
(Wassergehalt: 54 %)
(KAISER 2001).

Parameter	Pressfilterkuchen
Rest-C	22,5 %
Silikat	3,2 %
CaCO ₃	1,1 %
CaSO ₄ – Dihydrat	63,1 %
Mg	4,3 %
Ni	0,4 %
V	0,8 %

2.3.7.1 Transferkoeffizienten

Mit Hilfe von Input- und Outputbilanzen können für Schwermetalle Transferkoeffizienten berechnet werden. Anhand der Transferkoeffizienten wird deutlich, dass die wesentliche Senke für Schwermetalle die Flugasche ist.

Tab. 46.
Transferkoeffizienten
von Schwermetallen in
den Rückständen des
FHKW Mellach
(errechnet aus
UMWELTBUNDESAMT 2003,
Basis Bilanz 2000*
Fett gedruckte
Zahlenwerte geben an,
wo der Hauptteil des
Schwermetalls verbleibt.

	Grobasche	Flugasche	REA-Gips	ARA-Kuchen
As	2,1	97,3	0,0	0,6
Co	88,7	6,1	3,2	2,1
Cr	10,9	83,2	5,8	0,2
Cu	3,8	95,5	0,6	0,1
Mn	28,2	71,6	0,2	0,0
Ni	25,6	73,4	1,0	0,0
Pb	6,0	90,7	2,1	1,3
V	19,3	80,2	0,5	0,0
Zn	8,4	83,4	7,3	0,9

Anm.: Hg und Cd fehlen

Anm.: als Rauchgasreinigung wurde eingesetzt: SCR, nasse Entschwefelung, Schlauchfilter

*) Die Berechnung der Transferkoeffizienten erfolgt auf Basis der Schwermetallkonzentrationen (Mittelwerte) in den Rückständen des Steinkohlefermheizkraftwerks Mellach, wie sie in den vorangegangenen Tabellen gezeigt wurden und auf Basis der für das Jahr 2000 angegebenen Outputströme.

2.3.7.2 Behandlung der Rückstände aus thermischen Kraftwerken

Entscheidend für eine mögliche stoffliche Verwertung der Grob- und Flugasche und des Rückstandes aus der Entschwefelung sind deren chemische und physikalische Eigenschaften.

Tab. 47 zeigt die Verwertung und Beseitigung der Rückstände ausgesuchter österreichischer Kohlekraftwerke. Von der anfallenden Flugasche werden knapp über 50 % (das sind die Aschen des Kraftwerks Voitsberg) zur Rückverfüllung des Kohle-Tagebaus genutzt, der Rest wird zum größten Teil in der Baustoffindustrie eingesetzt und nur ein kleiner Teil wird deponiert.

Tab. 47: Aufkommen und Verwertungs- und Entsorgungswege von festen Abfällen bei ausgesuchten Kraftwerken (Umwelterklärungen der Betreiber, bzw. UMWELTBUNDESAMT 2003).

Kraftwerk	Abfall	Anfall in t	Verwertung/ Beseitigung in t	Art der Verwertung/Beseitigung
Kohlekraftwerke (Datenbasis)				
Voitsberg 3 (2002)	Grobasche	15.500	13.750	Rückverfüllung des Tagbaues
	Flugasche	275.800	268.434	Rückverfüllung des Tagbaues
	REA-Gips	57.000	47.299	Zement- und Putzmittelindustrie
Dümrrohr 1 + 2 (2004)	Grobasche	16.654	12.915 3.739	Zement/Baustoffind. Deponierung
	Flugasche (aus der Vorabscheidung)	89.216	83.547 5.669	Zement/Baustoffind. Deponierung
	SAV-Rückstand	50.231	441 8.440	Zement/Baustoffind. Deponierung
Mellach (2003)	Grobasche	7.302	7.302	Zementindustrie
	Flugasche	50.675	50.675	Zementindustrie
	REA-Gips	13.202	13.202	Zementindustrie
	ARA-Kuchen	923	923	Zementindustrie (Tonersatz)
Riedersbach 1 + 2 (2002)	Grob- + Flugasche	9.886	9.886	Baustoffindustrie
	REA-Gips	3.747	3.747	Baustoffindustrie
Timelkam 2 (2002)	Grob- + Flugasche	13.336	13.336	Baustoffindustrie
	Feststoff aus Entschwefelung	3.383	3.383	Verwendung im Bergbau (rd. 40 %) und als Düngemittel (rd. 60%)
Ölkraftwerke				
Simmering Block 3 (1999)	Flugasche	71	71	Gewinnung von Vanadium
	REA-Gips	7.745	7.745	Zementindustrie
	Schlamm aus der Rauchgasreinigung	1.170	1.170	Deponierung
Salzburg Mitte	REA-Gips	915	915	Deponierung
Salzburg Nord	REA-Gips	1785	1785	Deponierung
Neudorf/Werndorf (1999)	REA-Gips	11.172	14.147	Zementindustrie
	ARA-Kuchen	1.914	1.581	Zementindustrie (Tonersatz)

In der Regel wird die Grobasche in der Zement- und Baustoffindustrie genutzt (Ausnahme: Voitsberg). Der Filterkuchen aus dem Heizöl-S-befeuerten Kraftwerk Neudorf/Werndorf wird entweder wegen des hohen Kohlenstoffgehalts im benachbarten Steinkohlekraftwerk Mellach als Brennstoff eingesetzt oder in der Zementindustrie genutzt.

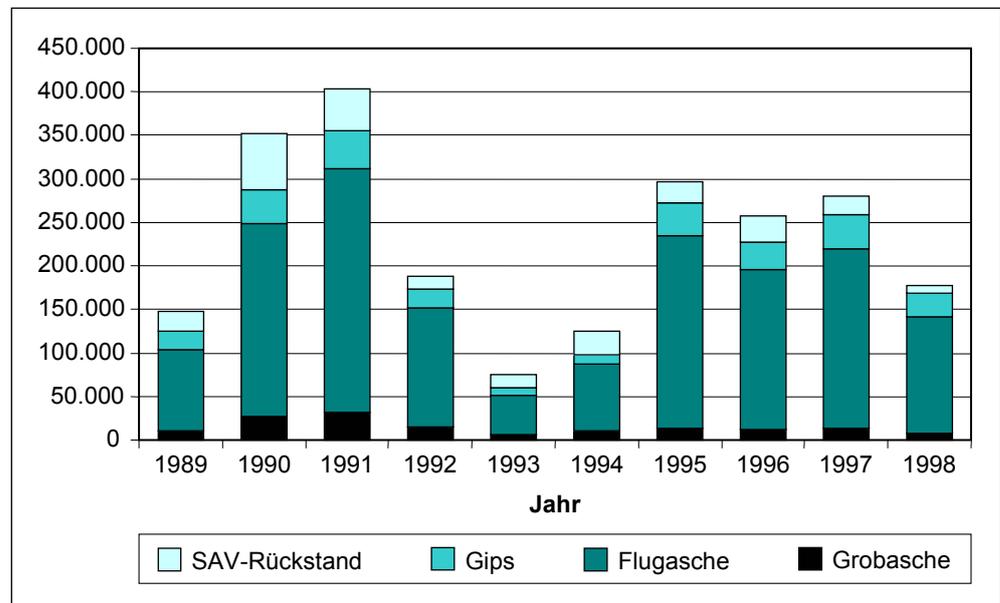
Aus Tab. 47 ist ersichtlich, dass die Entsorgungs- und Verwertungswege der Abfälle bzw. Reststoffe je nach Kraftwerk unterschiedlich sind. So wurde z. B. der Feststoff aus der Sprühabsorption einmal deponiert (Kraftwerk Dürnrrohr Block 1) und einmal ausgestuft und im Bergbau oder als Düngemittel eingesetzt (Kraftwerk Timelkam 2).

Ähnliche Unterschiede gibt es beim REA-Gips. Letzterer wird in den meisten Fällen von der Zement- und Baustoffindustrie übernommen, im Fall der Salzburger Heizkraftwerke aber deponiert. Ein direkter Erlös aus der Abgabe von REA-Gips, Grobasche oder Flugasche an die Zement- und Baustoffindustrie wird dabei nur selten erzielt, teilweise werden aber die Transportkosten vom Abnehmer übernommen. Der Vorteil für den Kraftwerksbetreiber besteht in der Einsparung von Deponiekosten.

Aus der Flugasche von ölgefeuerten Kraftwerken kann Vanadium zurückgewonnen werden. Diese Verfahren sind verhältnismäßig teuer, allerdings wird dadurch die Deponierung vermieden, welche nur nach entsprechender Konditionierung möglich ist.

Aufgrund der unterschiedlichen Auslastung der Anlagen kommt es zu beträchtlichen Schwankungen der jährlich produzierten Abfall- und Reststoffmengen (siehe Abb. 13). Daher ist es oftmals schwierig, im Falle einer industriellen Wiederverwertung vertraglich festgelegte Liefermengen einzuhalten. Abhilfe bietet der Bau von Silos zur Speicherung und damit zum Ausgleich der produzierten Mengen.

Abb. 13:
Jährliche Schwankungen
der produzierten Abfälle
bei den Kohlekraftwerken
des Verbund
(VERBUNDGESELLSCHAFT
1995, 1998).



Neben den von den österreichischen Kraftwerksbetreibern eingeschlagenen Behandlungswegen gibt es noch zahlreiche andere Optionen (siehe Tab. 48). Inwieweit diese tatsächlich verwirklicht werden können, hängt von ökologischen, ökonomischen und rechtlichen Rahmenbedingungen ab, welche im Einzelfall zu prüfen sind.



	Flugasche		Grobasche		Sorptionsprodukt	Gips
	Braunkohle	Steinkohle	Braunkohle	Steinkohle		
Baustoffindustrie						
Betonzusatzstoff (ohne Flual)						
Leichtzuschlag für Beton						
Porenbeton, Gasbeton						
Hochleistungsbeton						
Flualherstellung						
Zumahlstoff in der Zementindustrie						
Rohmehlbestandteil in der Zementindustrie						
Zusatz zu Zement als Abbindeverzögerer						
Schmal- und Dichtwände						
Baugipse						
Keramische Industrie						
Straßen- und Landschaftsbau						
Füllmaterial für bituminöse Deck-, Binde- und Tragschichten						
Bodenverfestigung, Ungebundene Baustoffe für Erd- und Straßenbau						
Lärmschutzwall						
Deponietechnik, Abfallbehandlung						
Deponierung						
Schadstoffimmobilisierung						
Dichtungsmaterial für Deponiebasisabdichtung						
Flächenfilter für Deponieabdichtungen						
Klärschlammkonditionierung						
Trägermaterial für biologische Abwasserreinigung						
Rohrbettungsmaterial						
Stabilisierte Asche-Zement-Mischung						
Künettenfüllmaterial						
Sonstige Verwertungswege						
Versatzstoff im Bergbau						
Zeolithherstellung						
Alpha- und Beta-Halhydratherstellung						
Füller in Papierindustrie						
Anhydritherstellung						
Müller-Kühne-Verfahren						
Thermische Verwertung						
Rauchgasentschwefelung						

Tab. 48:
Verwendungsmöglichkeiten für Kraftwerksabfälle.
(UMWELTBUNDESAMT 2003).

Tab. 48 zeigt, in welcher Form die Rückstände aus den thermischen Kraftwerken stofflich genutzt werden können. Im Vordergrund steht die Nutzung der Aschen als Betonzuschlagstoff und als Zumahlstoff bei der Zementerzeugung bzw. des REA-Gipses als Baugips.

Beim Einsatz der Flugasche erfolgt eine gemeinsame Zermahlung von Flugasche und Zementklinker im Zementwerk. Gemäß ÖNORM EN 197-1 „Zement“ kann der Zement zwischen 6 und 35 Massenprozent Flugasche enthalten, sofern die Asche aus der reinen Kohlefeuerung stammt. Mit Einführung der europäischen Norm EN 450-1 werden voraussichtlich auch Flugaschen aus der Mitverbrennung von Abfällen für die Zementerzeugung genutzt werden können.

Als Betonzuschlagstoff wird aufbereitete Flugasche verwendet. Beim Betonzuschlagstoff Flual wird jahrelang frei gelagerte Deponieasche durch Trocknung, Mahlung und Sichtung aufbereitet. Die jahrelange Lagerung führt zur Verringerung der im Beton unerwünschten Adsorptionswirkung der in der Asche enthaltenen Aktivkohle. Gemäß ÖNORM EN 450 ist der Glühverlust von Betonzuschlagstoffen mit maximal 5 %, der Chloridgehalt mit max. 0,1 % und der Calciumoxidgehalt mit max. 2,5 % limitiert. Diese Norm hat bis zur nationalen Umsetzung der europäischen Norm EN-450-1 Gültigkeit. Die neue Europäische Norm sieht auch die Einbeziehung von Flugaschen aus der Mitverbrennung für die Betonherstellung vor. Die Hauptparameter bleiben unverändert, einige betontechnische Parameter (z. B. bez. Festigkeit und Erstarrungsverhalten) werden neu aufgenommen. Als chemischer Parameter wird der Wert für das lösliche Phosphat begrenzt.

Anwendungsgebiete von REA-Gips sind die Verwendung als Erstarrungsregler bei der Zementherstellung und in der Baustoffindustrie zur Erzeugung von Gipsputzen und Gipskartonplatten. Zement darf maximal 3,5 bis 4 Massenprozent an Sulfaten enthalten (ÖNORM EN 197-1). In der Baustoffindustrie erfolgt ein Brennen des Gipses zum Halbhydrat bzw. zum Anhydrit.

Rückstände aus der Rauchgasentschwefelung mittels Sprühabsorption sind gemäß ÖNORM S 2100 der Schlüsselnummer 31314 zuzuordnen, gemäß Festsetzungsverordnung (BMUJF 2000) prinzipiell als gefährlicher Abfall einzustufen und nach AWG (AWG 2002) untertägig zu deponieren. Sie können durch Nachweis der Nichtgefährlichkeit ausgestuft und dann z. B. als Dichtschicht für den Deponiebau verwendet werden.

2.3.8 Biomasse(heiz)kraftwerke

In diesem Kapitel werden Abfälle und Rückstände aus Biomasse(heiz)kraftwerken beschrieben, welche der Versorgung mit Nah- und Fernwärme bzw. der Einspeisung von elektrischem Strom ins Netz dienen. Das Kapitel beschränkt sich auf die Verbrennung von naturbelassener Biomasse – wie Hackgut, Rinde, Sägespäne.

Mit der EU-Erneuerbarenrichtlinie (RL 2001/77/EG) ist Österreich dazu aufgefordert, die Kapazitäten von Stromerzeugungsanlagen auf der Basis Wind, Wasserkraft, Biomasse und Photovoltaik auszubauen. Von den genannten Möglichkeiten ist lediglich die Verbrennung von fester Biomasse zur Stromerzeugung mit der Erzeugung von Aschen und Schlacken verbunden. Die nationale Umsetzung der EU-Richtlinie erfolgte u. a. im Ökostromgesetz (BGBl. 149/2002), welches mit bundesweit einheitlichen Einspeisevergütungen günstige rechtliche Rahmenbedingungen für den gesteigerten Einsatz von Biomasse zur Stromerzeugung schuf.



Auch im Bereich der Nahwärme kam es aufgrund von Förderungen zu einer großen Zahl von Neuerrichtungen. Ende 2001 waren bereits 694 Anlagen mit einer Leistung von insgesamt 822 MW in Betrieb (EVA/BMWA 2003).

2.3.8.1 Nutzung von fester Biomasse

Auf Basis des Ökostromgesetzes 2002 wurden folgende Strommengen aus fester Biomasse (inklusive Abfälle mit hohem biogenem Anteil) gefördert (E-Control 2005):

- 2002: 95 GWh
- 2003: 99 GWh
- 2004: 313 GWh.

Aufgrund der Entwicklung der Genehmigungsanträge geht die E-Control GmbH von einer massiven Steigerung der Stromerzeugung aus fester Biomasse (inklusive Abfälle mit hohem biogenem Anteil) aus. Ebenso wird von einer Steigerung der Fernwärmeproduktion (aus Biomasse-KWK und aus Biomassefernheizwerken) ausgegangen. Auf Basis der derzeitigen Produktionsmengen (Strom aus Biomasse-KWK-Anlagen und Wärme aus Heizwerken), eines durchschnittlichen Energiegehaltes von 9 GJ/t und einem durchschnittlichen Aschegehalt von 4 % werden folgende Aschemengen errechnet:

- 2001: 55.000–60.000 t
- 2003: 65.000–70.000 t
- 2004: 80.000–90.000 t.

Diese Menge kann sich bis zum Jahr 2010 noch einmal verdoppeln.

Für Biomasse(heiz)kraftwerke werden als Brennstoff hauptsächlich Rinde (55 %) (NEURAUTER et al. 2001), Hackgut, Sägespäne und in geringerem Ausmaß Stroh eingesetzt (RIEDL et al. 1999).

Die Marktdurchdringung von Stromerzeugung aus fester Biomasse wird durch zwei Faktoren erschwert:

1. Die Energiedichte von Holz und anderer fester Biomasse ist gegenüber fossilen Energieträgern gering. Damit entstehen auch bei schon relativ kleinen Anlagen ein großes Einzugsgebiet für die Bereitstellung der benötigten Biomasse und relativ hohe Transportkosten. Durch diese Transportkosten werden die Rohstoffkosten für Biomasse von 6 auf rund 12 €/MWh_{Biomasse} in etwa verdoppelt.
2. Durch den relativ niedrigen Ascheerweichungspunkt (siehe Tab. 49) muss die Biomasseverbrennung bei niedrigen Temperaturen stattfinden. Zusammen mit der geringen Energiedichte führt das zu einem elektrischen Wirkungsgrad der Biomasseverstromung von max. 30 %.

	Ascheerweichungspunkt in °C
Fichte	1.543
Fichtenschnitzel	1.410
Rinde	1.250
Weizenstroh	956
Haferstroh	930
Miskanthus (asiatisches Schilf)	1.005

Tab. 49:
Ascheerweichungspunkt
von fester Biomasse
(BIOBIB 2005).

Tab. 50:
Eigenschaften von
festen Bioenergieträgern
im Vergleich zu fossilen
Brennstoffen
(NEUBARTH &
KALTSCHMITT 2000).

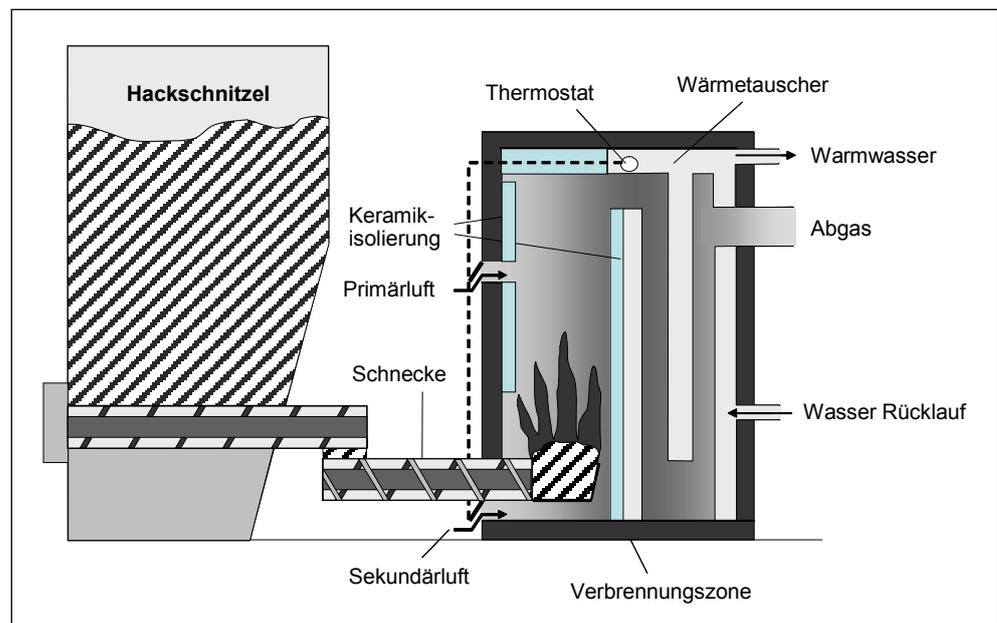
	typischer Wasser- gehalt in Masse-%	Unterer Heiz- wert in MJ/kg	Energiedichte in GJ/Schüttraummeter
Waldhackgut Weichholz	30	12,4	3,1
Waldhackgut Hartholz	30	12,4	3,96
Rinde	50	8,1	2,59
Holzpellets	10	16,6	9,11
Stroh Quaderballen	15	14,4	2,16
Heizöl EL	0	42,7	36
Steinkohle	6	29,7	25,6

Als Technologien zur Verbrennung fester Biomasse stehen drei Verfahren zur Verfügung:

1. Die Verbrennung auf einem automatisierten Biomasserost (siehe Abb. 14).
2. Die Verbrennung in der stationären oder zirkulierenden Wirbelschicht (siehe Abb. 15); die relativ geringe Verbrennungstemperatur (750-900 °C) und der gute Ausbrand führen zu geringen NO_x- und CO-Emissionen, Kalk kann zur SO₂-Abtrennung beigemischt werden, verschiedene Brennstoffe mit einem weiten Partikelgrößenprofil können eingesetzt werden. Stationäre Wirbelschichtfeuerungen können ab einer Kesselnennleistung von ca. 15 bis 20 MW_{th} zum Einsatz gelangen, zirkulierende Wirbelschichtfeuerungen ab ca. 30 MW_{th} (OBERNBERGER & HAMMERSCHMID 1999).
3. Die wenig verbreitete, da teure Verbrennung von feingemahlenem Biomassepulver (BUCHBERGER 1998).

In Österreich wird vor allem die Rostfeuerung, bei besonders großen Anlagen (z. B. das Biomassekraftwerk in Wien: 66 MW_{th}) auch die Wirbelschichtfeuerung eingesetzt. Die Wirbelschichtfeuerung bietet gegenüber der Rostfeuerung den Vorteil des Einsatzes von Brennstoffen mit geringem Durchmesser (z. B. Sägespäne) und die Möglichkeit, nach Auslaufen der Förderungen auch Abfälle einzusetzen.

Abb. 14:
Schema einer
Hackschnittel-
verbrennungsanlage mit
Schneckenaufgabe.



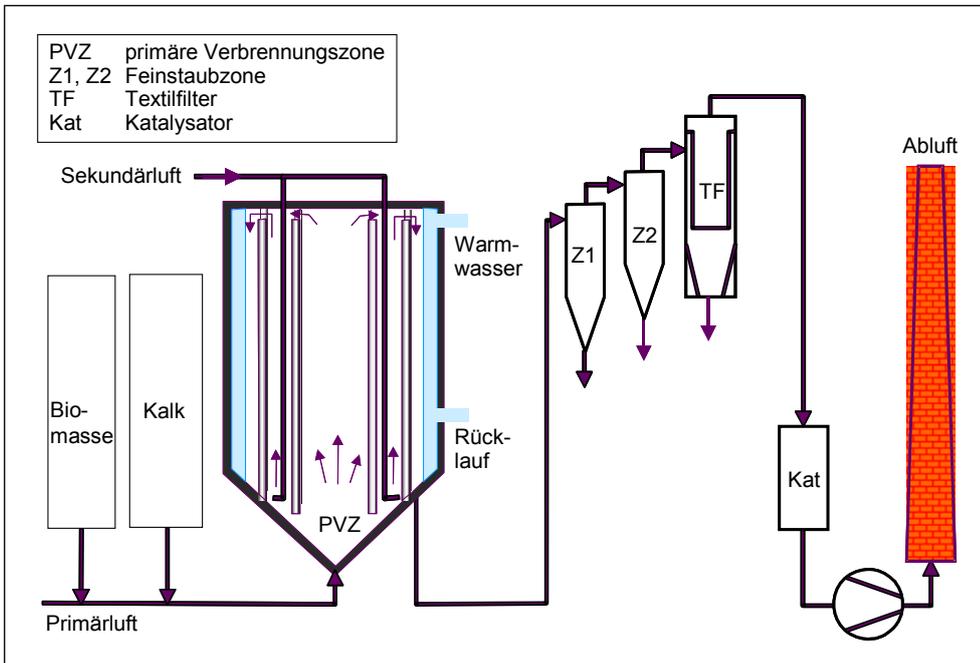


Abb. 15:
 Schema einer
 Biomasse-
 Wirbelschichtfeuerung
 mit moderner
 Rauchgasreinigung zur
 Verbrennung von
 Rückständen aus der
 Rapsextraktion (BARZ
 & HEINISCH 1999).

2.3.8.2 Asche aus der Verbrennung von fester Biomasse

Frisches Holz hat einen vergleichsweise geringen Schwermetallgehalt (siehe Tab. 51). Aufgrund des geringen Aschegehaltes kommt es aber zu einer beträchtlichen Aufkonzentrierung der Schwermetalle in der Gesamtasche, die bei Rinde zwischen dem Faktor 10 und 20 liegen kann (siehe Tab. 52 und Tab. 53).

Die resultierenden Konzentrationen der Schwermetalle (z. B. von Chrom, Nickel, Mangan und Vanadium) in der Rindenasche liegen meist in Bereichen, die mit den Schwermetallkonzentrationen in Schlacken von Abfallverbrennungsanlagen vergleichbar sind (siehe Tab. 53).

		Fichte	Buche	Rinde
Wassergehalt	Masse-%	53,3	9,7	49,2
Asche	Masse-% TS	0,3	0,6	5,6
Ca	mg/kg TS	789	1.412	12.122
Cl	mg/kg TS	96,6	26	159,4
K	mg/kg TS	513	1.045	2.878
Mg	mg/kg TS	124	294	820
Na	mg/kg TS	4,6	16,7	74
S	mg/kg TS	< 150	112	364
Si	mg/kg TS	< 400	165	2.251
Cd	mg/kg TS	0,08	0,05	0,43
Cu	mg/kg TS	0,9	1,1	5,3
Pb	mg/kg TS	0,4	0,5	3,1
Zn	mg/kg TS	9	5	80

Tab. 51:
 Zusammensetzung
 verschiedener Hölzer
 und von Rinde
 (BRUNNER et al. 2002).

Tab. 52:
Aschegehalt
unterschiedlicher
Biomasse-Brennstoffe
(OBERNBERGER 1997).

	Masse-% TS	
	Minimum	Maximum
Rinde	5	8
Landwirtschaftliches Waldhackgut mit Rinde	1	2,5
Industrielles Hackgut ohne Rinde	0,8	1,4
Sägespäne	0,5	1,1
Restholz	0,5	3

Tab. 53:
Konzentration von
Nebenbestandteilen und
Schwermetallen in
Rinde (Gesamtasche)
und in der Asche aus
Rindeverbrennung in
mg/kg TS im Vergleich
mit der Schlacke aus der
MVA Spittelau
(UMWELTBUNDESAMT
2003).

		Rinde	Rindenasche	Schlacke Spittelau
Al	mg/kg TS	2.289	38.500	30.000–75.000
As	mg/kg TS	< 10	< 10	2–70
Ba	mg/kg TS	156	1.740	390–2.200
Ca	mg/kg TS	26.015	210.000	
Cd	mg/kg TS	< 5	< 10	2–50
Co	mg/kg TS	< 5	20	9–85
Cr	mg/kg TS	22	300	100–550
Cu	mg/kg TS	< 10	170	500–4.010
Fe	mg/kg TS	1.873	37.700	30.000–80.000
Hg	mg/kg TS	< 0,5	< 1	0,1–7
K	mg/kg TS	2.289	32.400	
Mg	mg/kg TS	1.561	28.000	
Mn	mg/kg TS	520	7.900	300–1.100
Mo	mg/kg TS	< 10	22	
Na	mg/kg TS	375	7.000	
Ni	mg/kg TS	12	160	42–420
P	mg/kg TS	< 1.000	5.500	
Pb	mg/kg TS	< 10	83	250–5.500
Sb	mg/kg TS	< 20	< 20	23–62
Se	mg/kg TS	< 10	< 20	
Si	mg/kg TS	14.568	196.000	
Sr	mg/kg TS	31	510	
Ti	mg/kg TS	177	2.400	
V	mg/kg TS	< 10	53	27–32
Zn	mg/kg TS	107	1.600	1.200–5.500

Die bisherigen Angaben geben die Konzentrationen von Schadstoffen in der gesamten anfallenden Asche wieder. Bei der Biomasseverbrennung in Rostfeuerungen kann die Asche aber an 3 verschiedenen Orten abgezogen werden (siehe Abb. 16):

- Aus dem Feuerraum wird die Grobasche (auch Rostasche) abgetrennt.
- Mit Hilfe eines Zyklons wird die feine Zyklonasche (Flugasche) aus dem Rauchgas abgetrennt.
- Noch feinere Feinstflugasche wird mit Hilfe eines Elektro- oder eines Gewebefilters gesammelt.



Der Massenanteil der Aschefraktionen ist brennstoffabhängig. Bei der Verbrennung von Rinde und Hackgut ist die Grobasche die massereichste Fraktion (siehe Abb. 16), bei der Verbrennung von Sägespänen wird vor allem Zyklon-Flugasche erzeugt (siehe Tab. 54).

Was die Aufteilung der Schwermetalle auf die Aschefraktionen betrifft, so reichern sich die flüchtigen Schwermetalle Cadmium, Quecksilber, Blei und Zink in der Feinstflugasche an (siehe Tab. 55) und können dort sehr hohe Konzentrationen erreichen (siehe Tab. 56). Zink und Cadmium erreichen aber auch in der Zyklonflugasche hohe Konzentrationen. In der Feinstflugasche ist auch der Restgehalt an unverbranntem Kohlenstoff bedeutend (siehe Tab. 56).

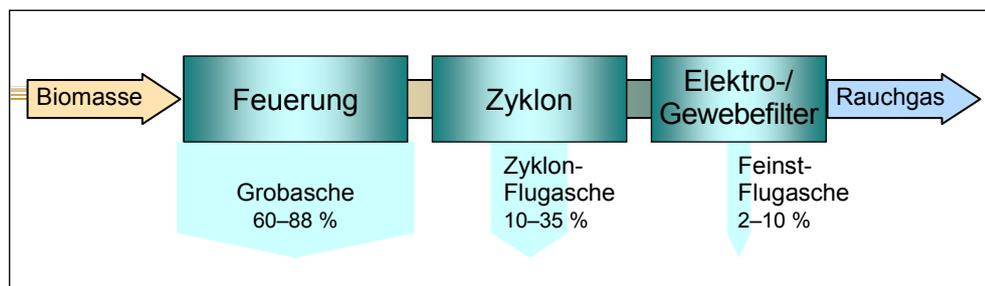


Abb. 16: Massenverteilung der in der Feuerung von Hackgut anfallenden Aschefraktionen (OBERNBERGER 1997).

	Rindenasche		Hackgutasche		Sägespäneasche		Stroh-/Ganzpflanzenasche	
	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
Grobasche	65	85	60	88	20	30	80	90
Zyklonflugasche	10	25	10	30	50	70	2	5
Feinstflugasche	2	10	2	10	10	20	5	15

Tab. 54: Anteile der einzelnen Aschefraktionen an der Gesamtasche in Masse-% (OBERNBERGER 1997).

	Grobasche	Zyklon-Flugasche	Feinst-Flugasche
Cd	3,4	54	42,7
Hg	2,6	12,9	84,5
Pb	9,8	35,4	54,8
Zn	11,1	43,8	45,1
Co	51,9	40,3	7,8
Cr	53,8	34,8	11,4
Ni	52,2	41,1	6,8
V	53,1	41,5	5,4
Ca	51,5	40,5	8
K	41,9	41,7	16,3
Mg	57,8	35,3	6,9
Na	49,5	41	9,5
P	48,9	41,1	10

Tab. 55: Transferkoeffizienten in % der Bestandteile von Hackgut/Rinde in die Aschefraktionen (OBERNBERGER 1997).



Tab. 56: Aschenzusammensetzung aus der Verbrennung eines Rinde-Hackgutgemisches (Standardabweichung aus 10 Proben) und von Rinde (OBERNBERGER 1997).

		Grobasche		Zyklonflugasche		Feinstflugasche		Grenzwert Kompost- verordnung
		MW	σ	MW	σ	MW	σ	
Rinden-/Hackgutasche								
CaO	Masse-% TS	41,7	8,7	35,2	11,8	32,2	6,9	
MgO	Masse-% TS	6	1,2	4,4	0,9	3,6	0,7	
K ₂ O	Masse-% TS	6,4	2,1	6,8	2,3	14,3	7,2	
P ₂ O ₅	Masse-% TS	2,6	1	2,5	0,9	2,8	0,7	
Na ₂ O	Masse-% TS	0,7	0,2	0,6	0,3	0,8	0,6	
As	mg/kg TS	4,1	3,1	6,7	4,3	37,4	41,4	20
Cd	mg/kg TS	1,2	0,7	21,6	8,1	80,7	59,2	8
Co	mg/kg TS	21	6,5	19	7,3	17,5	5,2	100
Cr	mg/kg TS	325,5	383	158,4	61	231,3	263,7	250
Cu	mg/kg TS	164,6	85,6	143,1	46,7	389	246	250
Hg	mg/kg TS	0,01	0,03	0,04	0,05	1,47	2	
Mo	mg/kg TS	2,8	0,7	4,2	1,4	13,2	9,8	
Ni	mg/kg TS	66	13,6	59,6	19	63,4	35,4	100
Pb	mg/kg TS	13,6	10,4	57,6	20,5	1.053	1.533	100
V	mg/kg TS	43	10	40,5	16,6	23,6	9,1	100
Zn	mg/kg TS	432,5	305,2	1.870	598,0	12.980	12.196	1.500
Rindenasche								
Corg	Masse-% TS	0,55		0,75		2,6		
Cl	Masse-% TS	0,06		0,25		3,3		
PCDD/F	ng/kg TS	6		7,1		10,2		100
PAK	μ g/kg TS	1,6		3,95		166,0		
B(a)P	μ g/kg TS	20,55		6,55		2.900,0		
pH-Wert		12,7		12,7		12,7		
el. LF	mS/cm	8,9		10,8		35,6		

B(a)P = Benz(a)pyren

el. LF = elektrische Leitfähigkeit

MW = Mittelwert

σ = Standardabweichung

In der Grobasche der Biomasseverbrennung überschreitet Chrom den Grenzwert der Kompost-VO. In der Zyklonasche überschreiten Cadmium und Zink die Grenzwerte der Kompostverordnung. In der Feinstflugasche liegen die flüchtigen Schwermetalle Arsen, Cadmium, Blei, Zink und Kupfer in Konzentrationen vor, die die Grenzwerte der Kompostverordnung überschreiten. In der Feinstflugasche ist aber auch der relativ hohe Restgehalt an organischem Kohlenstoff auffällig (Werte in Tab. 56 fett dargestellt).



2.3.8.3 Vermeidung und Verwertung von Biomasseasche

Quantitative Abfallvermeidung ist bei Biomasse(heiz)kraftwerken nur durch eine Erhöhung des Anlagenwirkungsgrades möglich.

Aufgrund des hohen Ca-, Mg-, K-, Na- und Phosphorgehaltes (siehe Tab. 56), kann Grobasche aus der Verbrennung von Rinde und Hackgut als Düngemittel eingesetzt werden (siehe unten). Wegen der hohen Gehalte an Alkalimetallen und Chloriden ist ein Einsatz als Zuschlagstoff in der Regel nicht möglich.

Die prinzipiellen Ascheverwertungsmöglichkeiten sind daher:

- Aufbringung auf Acker- und Grünland,
- Aufbringung auf Waldflächen,
- Zuschlagstoff zu Kompostieranlagen.

Prinzipiell darf nur die Asche aus der Verbrennung von unbehandelter Biomasse als Düngemittel verwendet werden. Für die Aufbringung der Aschen auf Acker- und Grünland bzw. auf Waldflächen wurden Richtlinien für den sachgerechten Einsatz von Pflanzenasche im Wald (HOLZNER & OBERNBERGER 1997) und im Acker- und Grünland (HOLZNER & OBERNBERGER 1998) erstellt. In diesen Richtlinien werden Grenzwerte definiert, die später auch in die Kompostverordnung (BMLFUW 2001) für Zuschlagstoffe zu Komposten übernommen wurden. Pro Hektar Ackerland dürfen jährlich 1 t Pflanzenasche, je Hektar Grünland 0,75 t aufgebracht werden. Der Waldboden darf alle 30 Jahre mit 2 t/ha oder alle 50 Jahre mit 3 t/ha gedüngt werden. Zum Kompost dürfen maximal 2 Masse-% Pflanzenasche zugemischt werden, jedoch nicht Feinstflugasche.

Meist erfüllen Grobaschen aus der Holzfeuerung die Voraussetzungen der Kompostverordnung und können dann als Zuschlagstoffe zu Komposten eingesetzt werden. Im Gegensatz zu den Grobaschen sind Zyklonaschen und Feinstflugaschen aufgrund der festgestellten hohen Schwermetallgehalte nicht für Dünge Zwecke oder Kompostzuschläge geeignet.

Grobaschen, welche nicht als Düngemittel eingesetzt werden (können) und Zyklonaschen können nach Absenkung des pH-Wertes auf Reststoff- oder Massenabfalldeponien deponiert werden, vorausgesetzt die entsprechenden Schwermetallgehalte (siehe Tab. 56 und Tab. 57) liegen unter den Grenzwerten.



Tab. 57: Zusammensetzung von (Hackgut-)Aschen aus Tiroler Biomassefeuerungsanlagen und deren Eluatwerte (NEURAUER et al. 2004) im Vergleich zu Grenzwerten der Kompostverordnung (BMLFUW 2001), der Reststoffdeponie und der Massenabfalldeponie (BMU 1996). Fett: Überschreitungen eines Grenzwerts

		Grobasche		Zyklonasche		Grenzwert		
		MIN	MAX	MIN	MAX	Kompost- verordnung	Reststoff- deponie	Massenabfall- deponie
Feststoff								
As	mg/kg	0,92	5	0,99	12,3	20	5.000	500
Ba	mg/kg	1.023	2.790	935	935			10.000
Cd	mg/kg	0,02	2,8	0,1	15,6	8	5.000	30
Co	mg/kg	9	77	10,5	22	100		500
Cr	mg/kg	5,6	77,9	6,5	67,6	250		5.000
Cu	mg/kg	4,3	231	4,3	156	250		5.000
Hg	mg/kg	0,01	0,06	0,03	0,97		20	20
Ni	mg/kg	5,1	84,3	5,2	66,9	100		2.000
Pb	mg/kg	3,8	122	3,8	54	100		3.000
Zn	mg/kg	17	744	17	1.713	1.500		5.000
Glühverlust	%	0,47	25,7	0,1	0,8		5	8
KW	mg/kg	1,1	106	2,1	68,8		5.000	20.000
PAK	mg/kg	0,01	17,3	0,09	0,09			300
Eluat								
pH-Wert		12	13,1	12,3	13		12	13
Leitfähigkeit	mS/m	0,97	1.100	1	1.100		1.000	
Abdampfrückstand	mg/kg	24.000	24.000	31.000	31.000		60.000	100.000
Ag	mg/kg	0	0,1	0,1	0,1		1	
Al	mg/kg	0,1	210	0,1	0,5		100	
As	mg/kg	0,01	4	0,01	0,01		1	
Ba	mg/kg	3,8	78	1,4	11		100	
Ba	mg/kg	0,02	6,8	0,04	0,04			
Cd	mg/kg	0	0,2	0,01	0,02		1	
Co	mg/kg	0,01	0,5	0,02	0,02		5	
Cr	mg/kg	0,01	2,3	0,1	0,26		20	
Cr (VI)	mg/kg	0,5	0,5	0,5	0,5		1	20
Cu	mg/kg	0,01	0,2	0,03	0,2		10	
Fe	mg/kg	0,03	0,5	0,05	0,6		20	
Hg	mg/kg	0	0,2	0	0,1		0,3	
Ni	mg/kg	0,02	0,2	0,02	0,02		10	
Pb	mg/kg	0,03	2	0,2	1,4		10	
Zn	mg/kg	0,05	0,2	0,07	0,6		100	
Cl	mg/kg	0	73	95,1	820			
CN	mg/kg	0,05	0,32	0,14	0,14		1	20
F	mg/kg	0,2	2	0,2	3		100	500
PO ₄	mg/kg	0,01	0,5	0,08	0,4		50	
SO ₄	mg/kg	0	1.720	83,4	83,4			25.000
TOC	mg/kg	9,4	167	10,7	323,2		500	
EOX	mg/kg	0	1	1,9	1,9			30
KW	mg/kg	0,05	2	0,05	0,05		100	

MIN = Minimalwert; MAX = Maximalwert



Grobaschen und Zyklonaschen mit Schwermetallgehalten bzw. Abdampfrückständen, die über den Deponiegrenzwerten liegen müssen behandelt oder untertägig deponiert werden.

Feinstflugasche muss aufgrund des hohen Schwermetallgehaltes in jedem Fall aus dem Recyclingkreislauf ausgeschleust werden. Ob nach entsprechender Behandlung eine Deponierung auf einer Reststoffdeponie möglich ist, muss geprüft werden. Wenn die Grenzwerte der Reststoffdeponie auch nach Behandlung nicht eingehalten werden, ist die Feinstflugasche untertägig zu deponieren.

Beispielhaft werden für das Land Tirol die Behandlungswege für Aschen aus Biomasse(heiz)kraftwerken angeführt (Jahr 2002):

- 67 % als Kompostierzuschlagstoff
- 16 % deponiert
- 13 % exportiert in andere Bundesländer
- 3 % als landwirtschaftlicher Dünger eingesetzt (NEURAUTER et al. 2004).

2.4 Aschen, Schlacken und Stäube aus der Metallindustrie

2.4.1 Eisen- und Stahlindustrie

Zu den internen Reststoffen und Abfällen in der Eisen- und Stahlindustrie zählen:

- Schlacken aus Hochofen, Sauerstoffkonvertern, Elektroöfen, Sekundärmetallurgie.
- Schlämme aus Abwasserreinigungsanlagen, Nasswäschern, Walzwerken.
- Filterstäube aus Abgasreinigungssystemen.
- Ölhaltiger Zunder aus Walzwerken.
- Hütteninterner Eigenschrott.

Pro Tonne Rohstahl fallen in integrierten Hüttenwerken etwa 450–500 kg an Reststoffen und Abfällen an. Davon entfallen ca. 375 kg/t auf Schlacken und ca. 60–65 kg/t auf Stäube, Schlämme und Zunder (LEHNER & GOULD 1995). Die prozentuelle Aufteilung der Reststoffe und der Behandlungswege ist in Abb. 17 dargestellt.

Abb. 18 zeigt die Stoffströme der internen Verwertung im Hüttenwerk.

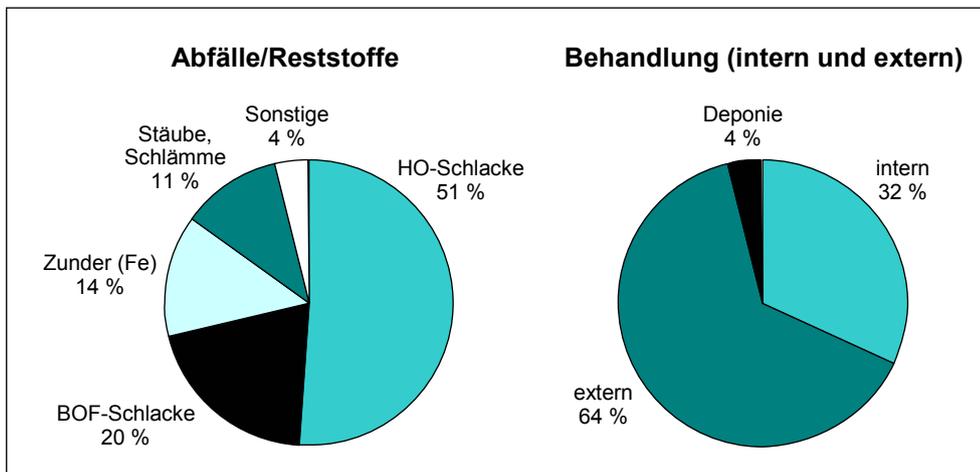


Abb. 17: Charakteristischer Abfall- und Reststoffanfall eines modernen integrierten Hüttenwerkes mit Verwertungs- und Entsorgungswegen (nach UMWELTBUNDESAMT 2001c).

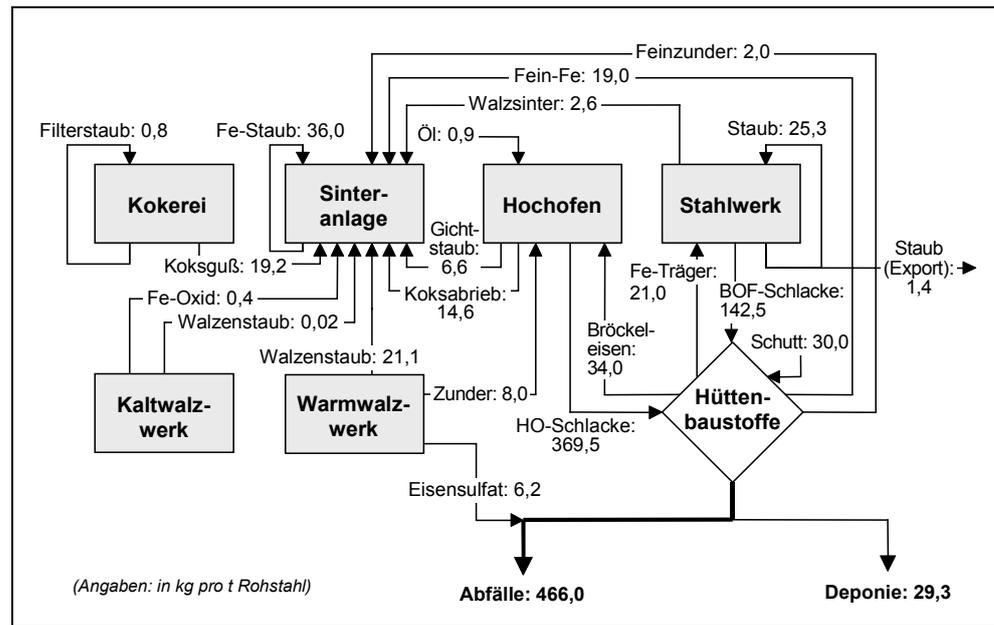


Abb. 18: Charakteristische Reststoff- und Abfallbilanz eines integrierten Hüttenwerkes. Die anfallenden Mengen sind abhängig von den spezifischen Einsatzstoffen und Prozessfahrweisen (Angaben in kg pro Tonne Rohstahl) (LEHNER & GOULD 1995).

In Österreich werden zwei integrierte Hüttenwerke (voestalpine Stahl Linz, voestalpine Stahl Donawitz) und drei Elektrostahlwerke (Marienhütte Graz GmbH, Böhler Edelstahl GmbH (Kapfenberg), Breitenfeld Edelstahl GmbH) betrieben. Der jährliche Anfall an Hüttenwerksreststoffen und -abfällen betrug 1995 rund 2,7 Millionen Tonnen (siehe Tab. 58). Davon entfielen rund 96 % auf die beiden Standorte der voestalpine Stahl AG in Linz und in Donawitz. Die größten Reststoff- bzw. Abfallfraktionen waren mit rund 76 % die Schlacken.

Tab. 58: Gesamtreststoff- und -abfallaufkommen der österreichischen Eisen- und Stahlindustrie (nicht berücksichtigt sind der Eigenschrottanfall und das Sinterrückgut, die zu 100 % rückgeführt werden) (Bezugsjahr 1995, gerundete Werte) (UMWELTBUNDESAMT 2001c).

Bezeichnung/Vorkommen	Anfallmenge (t/a)	Prozent
Schlacken – Hochofen, BOF, EAF	2.082.000	76,0 %
Stäube, Schlämme – Sinteranlage, Hochofen, Konverter, EAF	187.000	6,8 %
Zunder – Walzzunder grob & fein etc.	125.000	4,6 %
Fe-haltige Reststoffe – Feineisen, Separationseisen, Bröckeleisen	211.000	7,7 %
Sonstige – Koksabrieb, Koksgas etc.	134.000	4,9 %
Gesamtmenge	2.739.000	100 %

Gemittelt über die fünf größten Standorte in Österreich werden rund 86 % aller Abfälle sowohl hüttenintern (Stäube, Zunder etc.) als auch hüttenextern (z. B. Schlacken in der Baustoffindustrie) behandelt bzw. verwertet. Der Rest der Abfälle wird auf Deponien entsorgt. Tab. 59 zeigt, welche Rückstände wohin gelangen.

Bezeichnung	Intern	Extern
Schlacken¹⁾		
HO-Schlacke		Zementindustrie, Straßenbau
BOF-Schlacke		Straßenbau, Düngemittel
EAF-Schlacke		Straßen- und Wasserbau (abh. v. Inhaltsstoffen), Deponie (10 %)
Stäube & Schlämme²⁾		
Filterstaub/Sinteranlage	Rückführung Sinteranlage (97 %)	Entsorgung
Gichtstaub grob	Rückführung Sinteranlage	
Gichtstaub fein (Schlamm)		Deponie
HO-Sekundärstaub	Rückführung Sinteranlage	
Gießhallenstaub	Rückführung Sinteranlage	
Konverterstaub grob	Rückführung Sauerstoffkonverter	Deponie
Konverterstaub fein	(95 %)	
Sekundärstaub Stahlwerk		
EAF-Staub	Rückführung Elektroofen (80 %)	Externe Verwertung
Walzenstaub	Rückführung Sinteranlage	
Sonstige Schlämme (Walzwerk)		Deponie
Walzzunder³⁾		
Walzzunder < 0,1 % Öl	Rückführung Sinteranlage	
Walzzunder < 1–2 % Öl	Rückführung Hochofen	
Walzzunder 5–20 % Öl		Deponie
Fe-haltige Reststoffe		
Feineisen, Separationseisen	Rückführung Sinteranlage	
Bröckeleisen	Rückführung Hochofen	
Eisenoxid	Rückführung Sinteranlage	Leiterplattenhersteller (95 %)

¹⁾ bei geeigneter Prozessführung.

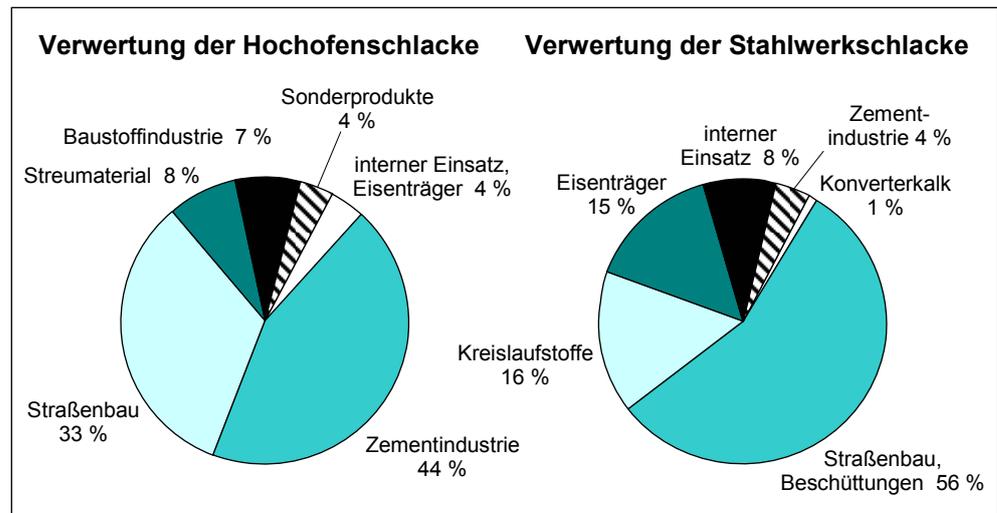
²⁾ Für die Wiederverwendung von Stäuben und Schlämmen sind die Zn/Pb-Konzentrationen ausschlaggebend. Ohne Aufbereitung wieder verwendet werden können nur Stäube und Schlämme mit einem Zn-Gehalt bis ca. 0,2 %. Liegt der Zn-Gehalt darüber, wird der Staub deponiert oder insofern behandelt, dass Staub mit Zn aufkonzentriert wird. Bei einem Zn-Gehalt ab ca. 20 % kann der Staub einer externen Verwertung des Zn zugeführt werden.

³⁾ Bei Walzzunder ist der Ölgehalt ausschlaggebend für die Behandlung bzw. Verwertung. Eine direkte Behandlung auf der Sinteranlage ist nur bei Ölgehalten bis ca. 0,1 % möglich. Walzzunder mit einem Ölgehalt bis ca. 2 % können im Hochofen eingesetzt werden. Bei höheren Gehalten muss der Zunder entsprechend entölt oder deponiert werden.

Tab. 59:
Reststoffe und Abfälle der Eisen- und Stahlindustrie in Österreich mit typischen Behandlungs- und Einsatzwegen (abhängig von den Inhaltsstoffen) (UMWELTBUNDESAMT 2001c).

Ein Großteil der anfallenden Schlacken (Hochofen, BOF) wird zu Hüttenbaustoffen verarbeitet und findet im Straßenbau oder in der Zementindustrie Verwendung (siehe Abb. 19).

Abb. 19:
Verwertung von
Hochofenschlacke und
Stahlwerkschlacke
(LD-Schlacke) bei der
voestalpine Stahl Linz
(Bezugsgrößen 1995)
(nach UMWELTBUNDESAMT
2001c).



Die hohen Recyclingquoten sowohl hütteninterner Reststoffe und Abfälle – wie Stäube, Zunder und Schlämme – als auch externer Reststoffe und Abfälle – wie Schrott – wirken sich auch negativ aus und führen zu unerwünschten Anreicherungen von Begleitelementen, vor allem von Schwermetallen (Zn, Pb). Der Zinkeintrag in ein integriertes Hüttenwerk beträgt ca. 0,4 kg/t Rohstahl. Haupteintragsquelle ist der verzinkte Schrott. Diese „Verschleppung“ von Zn in die metallurgischen Prozesse (v. a. im Hochofen) führt vermehrt zu verfahrenstechnischen Problemen. Bei zu hohem Zink-Eintrag sinkt die Qualität der Produkte (Roheisen, Stahl) und Nebenprodukte (Schlacken), der Ausschuss steigt und letztendlich wird der spezifische Abfallanfall erhöht. Um die anfallenden Stäube, in denen die Schwermetalle angereichert werden, wieder einsetzen zu können, sollten diese im Zuge einer Behandlung in eine eisen- und eine schwermetallreiche Fraktion aufgetrennt werden.

Zur Vermeidung bzw. Verwertung von Reststoffen und Abfällen sind folgende verfahrenstechnischen Entwicklungen abzusehen bzw. bereits als Pilotanlage realisiert:

- Die selektive Auftrennung von Stäuben und Schlämmen in eine Fe- und eine Zn-/Pb-reiche Fraktion.
- Die Entölung von Walzzunder mit einem Ölgehalt > 1–2 %.

Die so behandelten Reststoffe und Abfälle können in bestehenden Primärprozessen der Eisen- und Stahlindustrie, z. B. in Sinteranlagen, im Hochofen, im BOF und im EAF eingesetzt werden.

In Tab. 60 sind gemäß ÖNORM S2100 die wesentlichen Abfälle der Eisen und Stahl erzeugenden Industrie aufgelistet. Es wird unterschieden zwischen prozessbedingten Abfällen bzw. Reststoffen und solchen, die im Wesentlichen durch den Einsatz von Betriebsstoffen anfallen.

Abfall-schlüssel	Bezeichnung	C/P	BB	TB	D	Hin-weise
311	Ofenausbrüche, Hütten- und Gießereischutt					
31103	Ofenausbruch aus metallurgischen Prozessen	-	-	-	K	
31108	Ofenausbruch aus metallurgischen Prozessen mit produktionspezifischen Beimengungen	-	-	-	K	g
31111	Hütten- und Gießereischutt	-	-	-	K	
312	Metallurgische Schlacken, Krätzen und Stäube					
31208	Eisenoxid, gesintert	-	-	-	K	
31215	Gichtgasstäube	-	-	-	K	g
31217	Filterstäube, NE-metallhaltig	+	-	-	K	g
31218	Elektroofenschlacke	-	-	-	K	
31219	Hochofenschlacke	-	-	-	+	
31220	Konverterschlacke	-	-	-	+	
31221	Sonstige Schlacke aus der Stahlerzeugung (z. B. Sekundärmetallurgie)	-	-	-	K	g
31222	Krätzen aus der Eisen- und Stahlerzeugung	-	-	-	+	
31223	Stäube, Aschen und Krätzen aus sonstigen Schmelzprozessen	+	-	-	K	g
314	Sonstige feste mineralische Abfälle					
31419	Feinstaub aus der Schlackenaufbereitung	-	-	-	K	
31421	Kohlenstaub	-	-	+	K	
316	Mineralische Schlämme					
31614	Schlamm aus Eisenhütten	-	-	-	K	
31615	Schlamm aus Stahlwalzwerken	-	-	-	K	
31616	Schlamm aus Gießereien	-	-	-	K	
31619	Gichtgasschlamm	+	-	-	K	
31620	Gipsschlamm mit produktionspezifischen schädlichen Beimengungen	+	-	-	K	g
31621	Kalkschlamm mit produktionspezifischen schädlichen Beimengungen	+	-	-	K	g
31624	Eisenoxidschlamm aus Reduktionsprozessen	+	-	-	K	
31660	Schlamm aus der Gas- und Abgasreinigung	+	-	+	K	g
351	Eisen- und Stahlabfälle					
35101	Fe-haltiger Staub ohne schädliche Beimengungen	+	-	-	K	
35102	Zunder und Hammerschlag	+	-	K	K	
35103	Eisen- und Stahlabfälle, verunreinigt	+	-	+	K	
355	Metallschlämme					
35506	Sonstige Metallschlämme	+	-	-	K	
513	Sonstige Oxide und Hydroxide					
51309	Eisenhydroxid	+	-	-	K	
941	Schlämme aus der Wasseraufbereitung					
94101	Sedimentationsschlamm	-	-	-	K	
94103	Schlamm aus der Eisenfällung	-	-	-	K	

Tab. 60:

Zuordnung der wesentlichen (primärprozessbedingten) Abfälle und Reststoffe aus der Eisen und Stahl erzeugenden Industrie gemäß ÖNORM S 2100 (Stand: 1. Sept. 1997) (UMWELTBUNDESAMT 2001c).

+: für das Behandlungsverfahren geeignet, Konditionierungserfordernis nicht ausgeschlossen

-: für das Behandlungsverfahren nicht geeignet

g: gefährlicher Abfall gemäß Festsetzungsverordnung (BGBl. II Nr. 227/1997), Anlage 1

K: Konditionierung erforderlich.

Begriffsbestimmungen lt. ÖNORM S 2100

(K): Konditionierung

(C/P):

chemisch/ physikalische Behandlung: Behandlung des Abfalls mit chemisch-physikalischen Methoden mit dem Ziel, seine chemischen, physikalischen bzw. biologischen Eigenschaften zu verändern. Beispiele dafür sind: Neutralisieren, Fällen, Extrahieren, Reduzieren, Oxidieren, Desinfizieren.

(BB):

biologische Behandlung: Behandlung des Abfalls mit biologischen Methoden mit dem Ziel, seine chemischen, physikalischen bzw. biologischen Eigenschaften zu verändern. Beispiele dafür sind: aerobe Behandlung (Kompostieren, Verrotten), anaerobe Behandlung (Ausfaulen)

(TB):

thermische Behandlung: Behandlung des Abfalls mit thermischen Methoden zum Zweck der Energiegewinnung und/oder Inertisierung

(D): Deponierung:

(im Sinne der Deponieverordnung) langfristige, obertägige Ablagerung von Abfall



2.4.1.1 Donawitz – aktuelles Aufkommen

LD-Staub ist im Geschäftsjahr 2001 die mengenmäßig größte Abfallfraktion bei gefährlichen Abfällen. Tab. 61 zeigt die Aufkommensentwicklung des gefährlichen Abfalls LD-Staub. Tab. 62 zeigt die Aufkommensentwicklung der nicht gefährlichen Rückstände in Donawitz. Zusätzlich ist zu beachten, dass im GJ 2001/02 392.253,7 t Hochofenschlacke als Altstoff bezeichnet und als Hochofensand an die Zementindustrie weiterverkauft wurde.

Tab. 61:
Aufkommen der Stäube,
Aschen und Krätzen der
voestalpine Stahl
Donawitz GmbH
(UE VASD 1999, 2003).

SN nach ÖNORM 2100	Abfallbezeichnung	GJ 1998/99 (t)	GJ 2001/02 (t)
31223	Stäube, Aschen, Krätzen aus sonst. Schmelzprozessen (LD-Staub)*	25.184,0	35.045,6

* Ablagerung nach Konditionierung auf eigener Deponie; GJ = Geschäftsjahr

Tab. 62.
Aufkommen der
mengenmäßig
wichtigsten, nicht
gefährlichen Abfälle der
voestalpine Stahl
Donawitz GmbH (UE
VASD 1999, 2003).

SN nach ÖNORM 2100	Abfallbezeichnung	GJ 1998/99 (t)	GJ 2000/01 (t)	GJ 2001/02 (t)
31220	Konverterschlacke*	k.A.	201.547,0	190.817,82
31222	Krätzen aus Eisen- und Stahlerzeugung*	k.A.	40.709,0	37.906,4
31614	Schlamm aus Eisenhütten	3.407,1	4.458,4	2.940,7
31103	Ofenausbruch aus metallurg. Prozessen	2.766,8	3.063,1	1.011,2
35102	Zunder, Hammerschlag, Walzsinter	297,8	3,7	2,0
35101	Eisenhalt. Staub ohne schäd. Beimeng.	4.905,7	k.A.	k.A.

* wird teilweise aufbereitet zur Rückgewinnung von Eisen, sonst Ablagerung nach Konditionierung auf der eigenen Deponie; GJ = Geschäftsjahr

2.4.1.2 Linz – aktuelles Aufkommen

Bei LD-Staub (SN 31223) (56.595 t im GJ 2002) wurde vom Betrieb zunehmend auf Fremdentorgung mit einer Rückgewinnung von Wertstoffen (z. B. Zink) übergegangen. LD-Staub ist im Geschäftsjahr 2002 die mengenmäßig größte Abfallfraktion bei gefährlichen Abfällen.

Die Schlacken (HO- und LD-Schlacken) betragen im GJ 2002 ca. 550.000 t/a) und werden von der voestalpine Stahl GmbH als Produkte eingestuft. Dies wird damit begründet, dass die Schlackenprodukte spezifischen Produktstandards entsprechen müssen und im Werk selbst eigenen Bearbeitungsschritten unterzogen werden, um die geforderten Anforderungen zu erfüllen. Hochofenschlackenprodukte werden in der Zementindustrie, als Streusplitt für den Winterdienst sowie im Hoch- und Tiefbau eingesetzt. LD-Konverterschlacke wird für den Tiefbau und als Sekundärrohstoff zur Eisenrückgewinnung eingesetzt.

2.4.2 Nichteisenmetallindustrie

2.4.2.1 Sekundäraluminiumindustrie

In Österreich sind folgende Unternehmen in der Sekundäraluminiumproduktion tätig:

- AMAG casting GmbH (vorher Austria Sekundär Aluminium GmbH: 53.000 t/a Formate (2001)).
- AMAG rolling GmbH (vorher Aluminium Ranshofen Walzwerk GmbH).
- (Aluminium Ranshofen Hüttengießerei GmbH⁴ (ARHG): 156.000 t/a Formate (2001)).
- Aluminium Lend GmbH & Co KG (SAG): Kapazität: 40.000 t/a (2001).
- Hütte Klein-Reichenbach: Kapazität: 10.000 t/a.

Art und Anzahl der Schmelzöfen

Die Art und Anzahl der Schmelzöfen der österreichischen Aluminiumindustrie nach der AMAG-Umstrukturierung (siehe Fußnote 5) von 2002 ist in Tab. 63 dargestellt.

Unternehmen	Anzahl und Art der Schmelzöfen
AMAG rolling GmbH	4 Herdschmelzöfen *
AMAG casting GmbH	1 Herdschmelzofen (Closed-well Ofen) * 2 Drehtrommelschmelzöfen (1**, 1 neu) 2 Drehkipföfen ** 1 Tiegelschmelzofen *
SAG	1 Herdgießofen 2 Herdschmelzöfen 2 Kippbare Warmhalteöfen 1 Closed-well Schmelzofen
Hütte Klein-Reichenbach	1 Closed-well Ofen

Tab. 63:
Aufstellung der
Aluminiumschmelzöfen
in Österreich nach
Unternehmen.

* vorher ARHG;

** vorher Austria Sekundär Aluminium (ASA)

Abb. 20 und Abb. 21 zeigen den grundsätzlichen Aufbau eines 2-Kammer Herdofens (Closed-well Ofen) bzw. eines Drehtrommelofens:

⁴ Die Aluminium Ranshofen Hüttengießerei GmbH (ARHG) wurde 2002 im Zuge der Restrukturierung des Unternehmens aufgelöst und in zwei Teilbetriebe aufgespalten, wobei der Teilbetrieb der Walzbarrenproduktion der AMAG rolling GmbH und der Teilbetrieb der Closed Well Rundbarrengießerei und Flüssigmetallherstellung der AMAG casting GmbH eingegliedert wurden.

Abb. 20:
2-Kammer Herdofen
oder Closed-well Ofen
(LEHNERT et al. 1996).

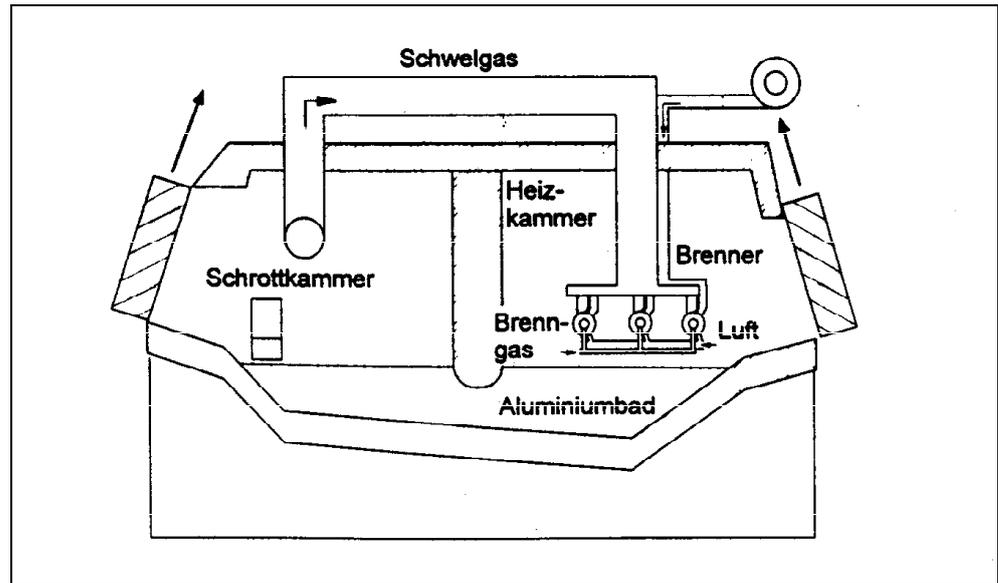
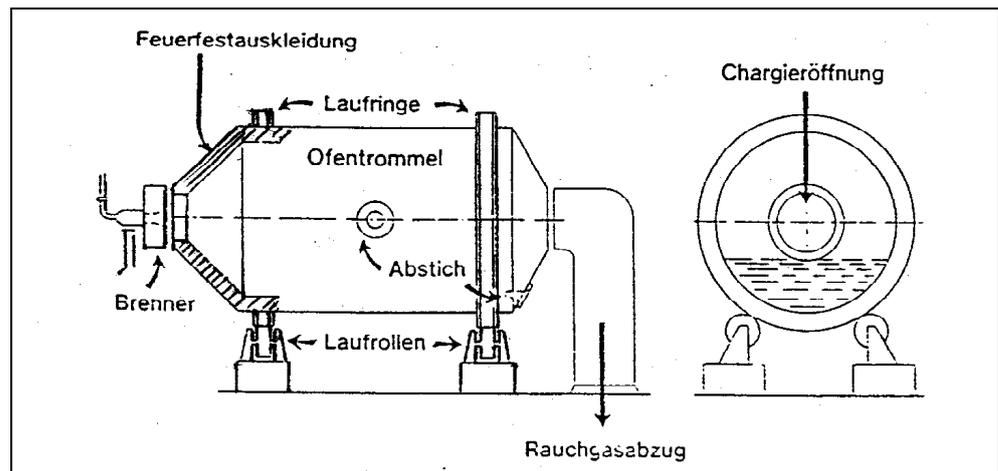


Abb. 21:
Drehtrommelofen
(UMWELTBUNDESAMT
2000).



Tab. 64 gibt eine Übersicht über die bei der Sekundäraluminiumproduktion anfallenden Abfälle bzw. Reststoffe und ihre Behandlung bzw. Entsorgung. Die in den österreichischen Betrieben der Sekundäraluminiumindustrie anfallenden Rückstandsmengen sind in Tab. 65 und Tab. 66 zusammengefasst.

Tab. 64: Abfälle der Sekundäraluminiumerzeugung (UMWELTBUNDESAMT 2000).

Abfall bzw. Reststoff (ÖNORM S 2100)	Anfallort	Anfallmenge in kg/t Al	Behandlung
Salzschlacke (31211)	Schmelzen im Drehtrommelofen (DTO)	300–500	Aufarbeiten mit Löse-/Kristallisationsverfahren, Gewinnung der Wertstoffe Al-Granulat, Mischsalz, NMP**
Filterstaub (31217)	Abgasreinigung	10–35 0,1–10*	Deponie mit vorgelagerter Behandlung oder Untertagedeponie; teilw. gemeinsam mit Salzschlacke aufgearbeitet (vorher jedoch Neutralisation auf Na-Basis notwendig); Einsatz in Stahlindustrie; oder bei Einsatz von NaHCO ₃ als Additiv ist Filterstaub als Abdecksalz im DTO einsetzbar.
Ofenausbruch (31108, 31103)	Schmelzofen	ca. 2	Teilweise gemeinsam mit Krätze aufgearbeitet, sonst Laugung + Deponie.
Krätze (31205)	Alle Öfen die ohne Abdecksalz arbeiten, Schmelzereinigung, Gießerei	ca. 25 40–80*	Aufarbeitung und Einsatz im Drehtrommelofen

* bei Einsatz des Closed-well Ofens

** Nicht metallische Produkte (oxidische Beimengungen von Al-Schrotten)

Abfallmengen der österreichischen Sekundäraluminiumerzeuger

Gefährliche Abfälle	Schlüsselnummer	(t/a)
Filterstaub	31205	4,0
Nicht gefährliche Abfälle	Schlüsselnummer	(t/a)
Al-Krätze	31223	2.514,7
Ofenausbruch	31103	184,3
Bauschutt	31409	20,0

Tab. 65: Abfallmengen der SAG Lend im Jahr 2003 (UMWELTBUNDESAMT 2004c).

Abfallart	Schlüsselnummer	ASA (t/a)	ARHG (t/a)
Gefährliche Abfälle			
Salzschlacke	31211	34.993	
Krätzesieb- u. filterstaub	31205	1.324	
Filterstaub	31217	245	196
Nicht gefährliche Abfälle			
Krätze	35304		9.239
Ofenausbruch	31103	136	155

Tab. 66: Abfallmengen der AMAG-Betriebe (UMWELTBUNDESAMT 2004c). Die Angaben beziehen sich auf die Situation vor der Restrukturierung des Unternehmens (2002).

Salzschlacke

Die Menge des in den Drehtrommelöfen eingesetzten Schmelzsalzes hängt vom Verschmutzungsgrad des Materialeinsatzes und vom Salzfaktor (kg Salz/kg NMP im Einsatz) ab, beträgt im Mittel etwa 250–300 kg/t Aluminium und wird in verunreinigter Form als so genannte Salzschlacke wieder abgezogen. Bei Senkung des Salzfaktors auf unter 0,5 und Einsatz eines kippbaren Trommelofens kann der Salzeinsatz auch unter 200 kg/t Al sinken. Je Tonne produziertem Sekundäraluminium



fallen, abhängig vom Verunreinigungsgrad des eingesetzten Rohstoffes, etwa 300–500 kg Schlacke an. Das umweltgefährdende Potenzial der Salzschlacke liegt im hohen, wasserlöslichen Salzgehalt (siehe Tab. 67) und den bei Kontakt mit Wasser entstehenden toxischen, gegebenenfalls explosiven und geruchsintensiven Gasen (H_2 , CH_4 , NH_3 , H_2S , PH_3). In Österreich ist gemäß Festsetzungsverordnung 1997, BGBl. II Nr. 227/1997 Salzschlacke als gefährlicher Abfall einzustufen und muss daher einer besonderen Behandlung zugeführt werden. Die Salzschlacke darf aufgrund des Gefährdungspotenzials und der zur Verfügung stehenden Aufbereitungsmöglichkeiten in Österreich nicht deponiert werden.

Tab. 67:
Zusammensetzung von
Salzschlacke (Angaben
in Gewichtsprozent)
(UMWELTBUNDESAMT
2000).

Inhaltsstoff	typischer Analysenwert (%)	Bandbreite (%)
Al, metallisch	8	5–20
Wasserunlösliche Anteile	37	20–40
Wasserlösliche Anteile	55	45–75
PCDD/F	5 ng/kg	2–20 ng/kg

Filterstaub

Filterstaub entsteht aus dem Feinanteil des chargierten Materials, der mit dem Abgasstrom mitgerissen wurde, aus verdampftem und/oder hydrolysiertem Salz, aus CaO, welches dem Abgas salzbeaufschlagter Öfen beigegeben wurde, und aus organischen Bestandteilen des chargierten Materials.

Filterstäube aus Spänetrocknungsanlagen und salzfreien Herdöfen weisen einen wesentlich geringeren wasserlöslichen Komponentenanteil auf als solche aus Drehtrommelöfen.

Hinsichtlich der Zusammensetzung von Filterstäuben sind die unterschiedlichen Einsatzmaterialien, das Schmelzaggregat und die verwendeten Abgasreinigungstechniken ausschlaggebend. Die Konzentrationen umweltrelevanter Schwermetalle variieren in einem weiten Bereich, ebenso die Konzentrationen an organischen Schadstoffen wie PCDD/F, PAK und PCB (siehe Tab. 68). Die PCDD/F-Fracht des Abgases schwankt im Bereich von 0,1–14 ng TE/Nm³ (Protokoll über persistente organische Verunreinigungen des Executive Body des Abkommens über weiträumige grenzüberschreitende Luftverunreinigungen).

Tab. 68:
Zusammensetzung von
Filterstaub (Angaben in
Gewichtsprozent)
(UMWELTBUNDESAMT
2000).

Inhaltsstoff	Typischer Analysenwert (%)	Bandbreite (%)
CaO	25	0–50
Al ₂ O ₃	15	6–25
NaCl, KCl	35	20–50
C	6	1–6
Schwermetalle*	-	0,01–10
PCDD/F	5 µg/kg	3–10 µg/kg

* Anmerkung: Es können beispielsweise Zn, Pb, Cu, Mn, V, Cr, Ni, Sn, Mo, Se, Hg, Cd (in Spuren Co, As, Ti, Be, Sb) enthalten sein. Diese Reihenfolge entspricht dem Mittelwert ihrer Gehalte.



Die Hauptkomponente des Filterstaubs des Abgases aus salzbeaufschlagten Drehtrommelöfen sind unreaktiertes Kalkhydrat und Salze. Bei Einsatz eines salzlos betriebenen Herdofens weist der Filterstaub eine unterschiedliche Zusammensetzung auf (wesentlich geringeren Salzgehalt und CaO-Gehalt). Neben den verdampften Chloriden und Fluoriden (bei Einsatz des Drehtrommelofens) sowie den sekundär gebildeten Komponenten wie Al_2O_3 , CaCl_2 , CaSO_4 etc., enthält Filterstaub metallisches Aluminium, freien Kohlenstoff und organische Stoffe (z. B. PCDD/F). Die Kornstruktur ist sehr fein, 99 % des Staubes sind kleiner als $1 \mu\text{m}$, 75 % sogar unter $0,5 \mu\text{m}$.

Tab. 69 zeigt die von KRONE (1994) angegebenen Bandbreiten der Schwermetallgehalte von Filterstaub.

Metall	Fe	Pb	Cu	Zn
Konzentration	0,5–6,3%	0,1–0,4%	0,1–0,7%	0,2–0,8%

Tab. 69:
Schwermetallgehalt von
Filterstaub (KRONE 1994).

Pro Tonne produziertem Sekundäraluminium fallen etwa 10–35 kg Filterstaub an. Bei Einsatz des Closed-well Ofens ist der Anfall von Filterstaub jedoch aufgrund des Einsatzmaterials geringer. Angaben werden von 0,1–10 kg Filterstaub/t Aluminium gegeben.

Das umweltgefährdende Potenzial des Filterstaubes besteht aufgrund der eluierbaren Komponenten und der organischen Stoffe (PCDD/F). In Österreich ist Filterstaub entsprechend der Festsetzungsverordnung 1997, BGBl. II 227/1997 als gefährlicher Abfall einzustufen. Bei einer Deponierung muss derzeit zumindest sichergestellt werden, dass die Grenzwerte der Deponieverordnung (BGBl. 164/1996, Änderung BGBl. II Nr. 49/2004) nicht überschritten werden und die PCDD/F-Fracht nicht freigesetzt wird. Im Allgemeinen ist dies nur durch weitere Vorbehandlung erreichbar, eine andere Möglichkeit besteht in der Ablagerung in Untertagedeponien (nach entsprechender Verpackung in Big-Bags).

Die Entsorgung der Filterstäube der AMAG-Betriebe erfolgt über die Aluminium Ranshofen Service GmbH an konzessionierte Entsorgungsfirmen. Ein Teil des Filterstaubes der Abgasreinigung der Drehtrommelöfen der AMAG wird als Additiv im Vorfilter der Abluftreinigung eingesetzt.

Filterstaub der SAG Lend wird einer Entsorgungsfirma übergeben.

Ofenausbruch

Die durch die Rotation bewirkte Abrasion lässt bei Drehtrommelöfen für die Feuerfestauskleidung nur Standzeiten von ca. 2 Jahren zu. Die beim Austausch nach dieser Zeit anfallende Menge an Ofenausbruch (von Metall und Salz stark penetriert) hängt von der Größe des Ofens ab und kann die Größenordnung von 40–50 t erreichen.

Die Feuerfestauskleidung von stationären Herdöfen hält aufgrund fehlender Abrasion etwa 10 bis 12 Jahre, muss jedoch wegen der thermischen und mineralogischen Beanspruchung laufend ausgebessert werden (alle 3–5 Jahre, dabei fallen ca. 25–30 t gebrauchte Steine an). Die beim Austausch der Zustellung nach etwa 10 Jahren anfallende Menge an Ofenausbruch hängt ebenfalls von Größe und Typ des Herdofens ab; bei großen Closed-well- oder 2 Kammer-Herdöfen kann die Menge an Ofenausbruch 200–300 t betragen.



Der Ofenausbruch ist mit Resten aus der Produktion behaftet (Schlacke, Metall). Vor einer Deponierung ist das Eluationsverhalten festzustellen und aufgrund der vorhandenen Auflagen bzw. gesetzlichen Bestimmungen (Deponieverordnung, BGBl. Nr. 164/1996) eine Zuordnung zum Deponietyp zu treffen.

In Österreich wird Ofenausbruch der Schlüsselnummer 31108 gemäß Festsetzungsverordnung 1997, BGBl. II Nr. 227/1997 als gefährlicher Abfall eingestuft. Ofenausbruch, der nicht die Eigenschaften der Anlage 2 der Festsetzungsverordnung aufweist, fällt unter Schlüsselnummer 31103 und ist damit kein gefährlicher Abfall.

Krätze

Krätze besteht hauptsächlich aus Al_2O_3 mit unterschiedlichen Gehalten an mitgerissenem Al-Metall (siehe Tab. 70). In den USA wird bei Krätzen zwischen „white“ und „black dross“ unterschieden. White dross kommt von Walz- und Presswerken sowie Gießereien, die in ihren Öfen reines Metall einsetzen und daher keine Kohlenstoffkontamination in ihren Krätzen aufweisen. Überall dort, wo von organischem Material (z. B. durch Öl, Fett, Lacke, Kunststoffe u. Ä.) kontaminierter Schrott geschmolzen wird, entsteht eine von Kohlenstoff schwarz gefärbte Krätze, die als „black dross“ bezeichnet wird.

Pro Tonne produziertem Sekundäraluminium fallen etwa 25 kg Krätze an. In einem Herdofen wird zusätzlich zum Oxideintrag mit dem Schrott das geschmolzene Metallbad (da nicht von Salz geschützt) oberflächlich oxidiert. Dabei können pro Tonne Sekundäraluminium 40–80 kg (teilweise auch über 100 kg) Krätze anfallen. Der Aluminiumgehalt von Krätzen lässt sich durch Zusatz geringer Mengen Salz vor dem Abkrätzen verringern (KRONE 1994), was jedoch zu erhöhtem Salzschlacken-anfall führt.

Die während des Schmelz- und Reinigungsprozesses in die Krätze gelangten Verunreinigungen, wie AlN, AlP und Al_4C_3 führen bei Kontakt mit Wasser zur Bildung und Freisetzung der entsprechenden Gase NH_3 , PH_3 und CH_4 . Das Gefährdungspotenzial liegt in der Brennbarkeit dieses Gasgemisches, das bei Vorhandensein größerer Mengen an PH_3 durch dessen Verunreinigung P_2H_4 selbstentzündlich werden kann.

Tab. 70:
Zusammensetzung des
bei mechanischer
Aufbereitung der Krätze
entstehenden Feinanteils
(Krätzestaub) (Angaben
in Gewichtsprozent)
(UMWELTBUNDESAMT
2000).

Inhaltsstoff	Typischer Analysenwert (%)	Bandbreite (%)
Al, metallisch	20	10–40
Al_2O_3	60	30–70
NaCl, KCl	10	0–30
MgO	7	5–12
Fe-, Cu-Oxide, Sonstiges	3	0,5–5

Weiter auftretende Inhaltsstoffe sind v. a. Nitride, so dass es bei Einwirkung von Feuchtigkeit zur Bildung und Freisetzung von Ammoniak kommt.

Die pro Tonne verarbeiteter Krätze anfallende Menge Krätzestaub variiert zwischen 500 und 600 kg. Der Anfall von Krätzestaub ist jedoch stark verfahrensabhängig. Bei Krätzen mit einem Metallgehalt von $\geq 50\%$ liegt der Anteil der Krätzestäube bei 300–350 kg/t Einsatz.



Krätze zählt in Österreich zu den gefährlichen Abfällen gemäß Festsetzungsverordnung 1997, BGBl. II Nr. 227/1997 aufgrund des wassergefährdenden Potenzials durch eluierbare Komponenten (Salze) und der Bildung von Gasen bei Kontakt mit Wasser. Im Einzelfall kann der Nachweis der Nichtgefährlichkeit gemäß Festsetzungsverordnung erbracht werden.

Krätze ist allerdings einer technischen und wirtschaftlichen Verwertung zugänglich, wobei Aluminium zurückgewonnen und der allenfalls salzhaltige Krätzestaub in ähnlicher Weise oder zusammen mit Salzschlacke weiterbehandelt wird. Eine Depositionierung entspricht nicht dem Stand der Technik.

2.4.2.2 Sekundärkupferindustrie

Die Montanwerke Brixlegg AG in Tirol sind die einzige Sekundärkupferhütte Österreichs. In diesem Werk werden jährlich max. 74.000 t Kupferkathoden erzeugt. Die Montanwerke Brixlegg verfügen am Standort ebenfalls über eine Gießerei, pro Jahr können so maximal 100.000 t Rundbolzen und Walzplatten mittels Stranggussverfahren produziert werden.

Die wichtigsten anfallenden gefährlichen und nicht gefährlichen Abfälle sind in den folgenden Tabellen dargestellt:

SN nach ÖNORM 2100	Gefährliche Abfälle	t/Jahr
31203	Schlacken aus NE-Metallschmelzen	27.680,0
31223	Stäube, Aschen u. Krätzen aus sonst. Schmelzprozessen	2.780,0
35506	Sonstige Metallschlämme	720,0
31660	Schlamm aus der Gas- und Abgasreinigung	50,0
35503	Bleischlamm	16,0

Tab. 71: Aufkommen der wichtigsten gefährlichen, intern verwerteten bzw. entsorgten Abfälle der Sekundärkupferhütte (UMWELTBUNDESAMT 2004c).

Tab. 72: Aufkommen der wichtigsten gefährlichen, extern verwerteten bzw. entsorgten Abfälle der Sekundärkupferhütte (UMWELTBUNDESAMT 2004c).

SN nach ÖNORM 2100	Gefährliche Abfälle	t/Jahr
31223	Stäube, Aschen und Krätzen aus sonst. Schmelzprozessen	2.000,0
31217	Filterstäube, NE-metallhaltig	1.100,0
31217	Filterstäube, NE-metallhaltig	870,0

Tab. 73: Aufkommen der wichtigsten nicht gefährlichen, intern verwerteten bzw. entsorgten Abfälle der Sekundärkupferhütte (UMWELTBUNDESAMT 2004c).

SN nach ÖNORM 2100	Nicht gefährliche Abfälle	t/Jahr
31103	Ofenausbruch aus metallurgischen Prozessen	956,0
31414	Schamotte	65,0
35103	Eisen- und Stahlabfälle, verunreinigt*	60,8

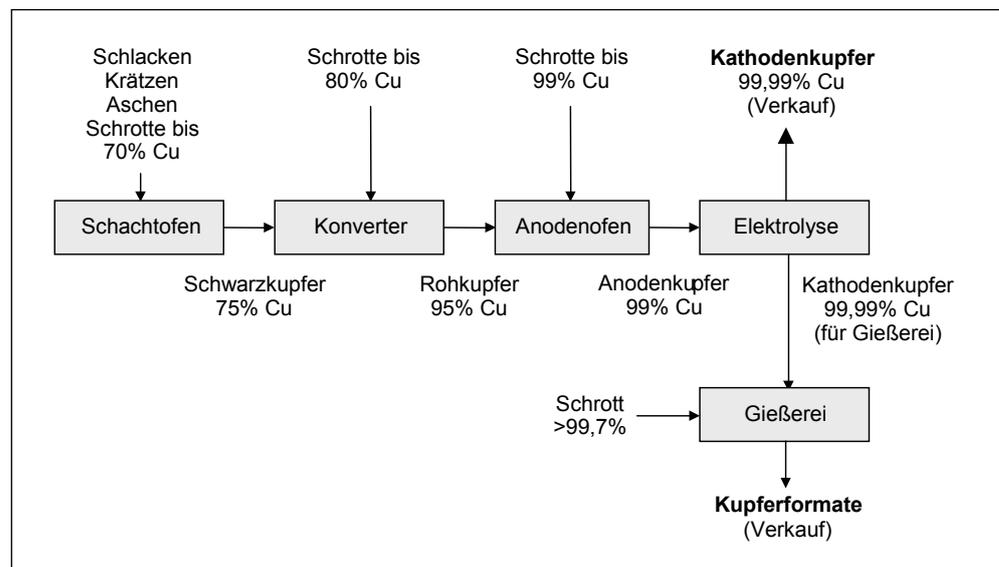
* teilweise auch extern entsorgt

Tab. 74:
Aufkommen der wichtigsten nicht gefährlichen, extern verwerteten bzw. entsorgten Abfälle der Sekundärkupferhütte (UMWELTBUNDESAMT 2004c).

SN nach ÖNORM 2100	Nicht gefährliche Abfälle	t/Jahr
31427	Betonabbruch	100,0
31451	Strahlmittelrückstände m. anwend.spez. nicht schädli. Beimeng.	60,0
31411	Bodenaushub	45,0

Die Aufbereitungsschritte in Abhängigkeit von der Schrottqualität in den einzelnen Schmelzaggregaten sowie die anfallenden Abfälle/Reststoffe werden in Abb. 22 dargestellt.

Abb. 22:
Aufbereitungsschritte in Abhängigkeit von der Schrottqualität (UMWELTBUNDESAMT 2004c).



Schlacken

Hauptbestandteil der **Schachtofenschlacke** ist Eisenoxid bzw. Eisensilikat, der Rest der Schlacke setzt sich aus diversen Begleitmetallen bzw. deren Oxiden zusammen, hauptsächlich Aluminium, Magnesium, Zink und Kupfer (siehe Tab. 75). Die Endschlacke des Schachtofens wird als Fayalit/Olivin/Spinell-Schlacke bezeichnet. Das Granulat wird in Österreich einer Trennung in Korngrößenfraktionen unterzogen. Die Fraktion von 0,25–2,8 mm wird als Sandstrahlgut verkauft. Laut einem Feststellungsbescheid gemäß § 4 Abs. 2 AWG i.d.F. BGBl. Nr. 325/1990 der BH Kufstein (16.12.1991) wird der Schlackensand der Montanwerke Brixlegg nicht als Abfall eingestuft. Anfallendes Über- und Unterkorn wird innerbetrieblich in der Schmelzhütte wieder verwendet.

Tab. 75: Zusammensetzung der Schachtofenschlacke (UMWELTBUNDESAMT 1999).

Verbindung	FeO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	ZnO	Cu	Sn	Ni
Gehalt (%)	45–55	20–30	5–10	2–5	2–4	3–4	< 1	< 0,4	< 0,2



Die **Konverterschlacke** wird nach dem Erkalten gebrochen und im Schachtofen wieder eingesetzt. Ihre Zusammensetzung ist von den metallurgischen Prozessen, aber auch von den Verunreinigungen der Schmelze und somit vom Einsatz in den Konverter abhängig.

Die Schlacke des **Anodenofens** wird ebenfalls wieder im Schachtofen eingesetzt.

Filterstäube

Filterstäube aus dem Abgas des **Schachtofens** werden in einem Gewebefilter abgetrennt. Die Zusammensetzung der Filterstäube hängt sehr stark von den Einsatzstoffen ab. Die Hauptbestandteile sind Zink und Blei. Zur Weiterverarbeitung werden die Filterstäube exportiert, pro Jahr fallen ca. 2.500 t Filterstäube an.

Die aus der **Konverterschmelze** austretenden Metaldämpfe oxidieren in der sauerstoffhaltigen Atmosphäre des Converters und fallen im Staubfilter als Oxide an. Die Jahresmenge von ca. 1.000 t mit hauptsächlich Zn, Pb und Sn (siehe Tab. 76) wird ebenfalls exportiert.

Der Filterstaub des **Anodenofens** wird aufgrund des hohen Cu-Gehaltes im Schachtofen wieder eingesetzt.

Tab. 76: Typische Konverterstaubanalyse (UMWELTBUNDESAMT 1999).

Verbindung	Zn	Pb	Sn	Cu	alle anderen Metalle	Rest: Sauerstoff
Gehalt (%)	35–45	15–25	10–20	< 1,5	< 1	

Ofenausbruch

Prinzipiell erfolgt eine Unterteilung in weißes (Schamotte) und schwarzes (Magnesit) Feuerfestmaterial, wobei beide Materialarten sortiert und nach einer Aufbereitung in den Öfen wieder verwendet oder im Schachtofen chargiert werden.

2.4.2.3 Sekundärbleiindustrie

Die BMG Metall und Recycling GmbH in Arnoldstein/Kärnten ist die einzige Sekundärbleihütte in Österreich. Die Eigenproduktion betrug 2002 ca. 23.000 t/a Blei.

Die Rückstände aus der bleimetallurgischen Industrie sind in Tab. 77 und Tab. 78 wiedergegeben. Der Filterstaub aus den Schmelzanlagen wird wieder dem Schmelzprozess zugeführt. Anfallende Krätzen, Aschen und Schlämme werden wieder im Schmelzprozess verarbeitet.

Für die SN 31203 (Schlacken aus NE-Metallschmelzen) erfolgte eine Ausstufung aus dem gefährlichen Abfallregime. Im Unterschied zu den meisten europäischen Erzeugern produziert die BMG Metall und Recycling GmbH eine Silikatschlacke anstelle einer Sodaschlacke, womit Auswaschungen in das Grundwasser verhindert werden sollen. Diese Schlacken werden auf einer Reststoffdeponie abgelagert.



Tab. 77:
Extern entsorgtes
Abfallaufkommen der
BMG Metall und
Recycling GmbH im
Jahr 2001 (gerundet)
(UMWELTBUNDESAMT
2004c).

SN nach ÖNORM 2100	Abfallart	2001 (t)	Behandlung
Gefährliche Abfälle			
31203	Schlacken aus NE-Metallschmelzen*	4.800	Deponie
Nicht gefährliche Abfälle			
31203	Schlacken aus NE-Metallschmelzen (nach Ausstufung)	3.600	Deponie
31103	Ofenausbruch	39	Deponie

* Umwelterklärung 2003: Ausstufung gemäß Deponieverordnung (BGBl. Nr. 164/1996)

Tab. 78:
Intern verwertete Abfälle
der BMG Metall und
Recycling GmbH für das
Jahr 2001 (gerundet)
(UMWELTBUNDESAMT
2004c).

SN nach ÖNORM 2100	Abfallart	2001 (t)	Behandlung
Gefährliche Abfälle			
31204 35302 35503 31214 51521 51524	Bleikrätze, Blei kontaminiert mit Bleisalzen, Bleischlamm, Bleiasche, Bleisulfat, Bleisalze	2.000	Thermo- metallurgisches Verfahren
31223 31217 35321	Stäube, Aschen, Krätzen, Filterstaub NE-haltig, sonstige NE-metallhaltige Stäube	70	Thermo- metallurgisches Verfahren

2.4.2.4 Refraktärmetallindustrie

Tab. 79:
Treibacher Industrie AG
– die vier Geschäftsbereiche mit ihren
Produkten (UMWELTBUNDESAMT 2004c).

Geschäftsbereich	Produkte
Recycling	<ul style="list-style-type: none"> ● Ferrolegierungen mit Zusätzen an V, Mo, Ni ● Aufarbeitung von Ni-, Mo-, V-haltigen Reststoffen ● Energie aus der Verbrennung von gefährlichen und nicht gefährlichen Abfällen
Hochleistungswerkstoffe	<ul style="list-style-type: none"> ● Wolframpulver ● Carbide hochschmelzender Metalle ● Vakuumcarbide
Seltene Erden (SE) und Chemikalien	<ul style="list-style-type: none"> ● Vanadiumoxide ● Vanadiumchemikalien ● Produkte aus Seltenen Erden ● Chemikalien ● Metall- und Keramikpulver ● Vakuumlegierungen ● Zündsteine
Aktivsauerstoff GmbH	<ul style="list-style-type: none"> ● Bleichmittel und Fleckensalz



Die Treibacher Industrie AG setzt sowohl betriebseigene als auch Abfälle von Dritten in verschiedenen Prozessen ein:

Vanadiumoxidanlage: In dieser Anlage werden Sekundärrohstoffe und Abfälle (wie beispielsweise Schlacken aus der Stahlerzeugung, Katalysatoren, Stäube und Aschen) eingesetzt, um Metalle und Metallverbindungen (z. B. für Katalysatoren) zu gewinnen.

Umschmelzanlage: Thermische Anlage zur Rückgewinnung von Metallen und Metallverbindungen aus Abfällen ausgewählter Dritter. Die innerbetrieblich anfallenden Filterstäube, Ofenfilterstäube, Korundabfälle und kohlenstoffhaltige Abfälle werden ebenfalls in den Schmelzprozess eingebracht.

Seit August 1993 wird eine eigene Deponie (St. Kosmas) für nicht gefährliche betriebseigene Abfälle wie Schlacken, Ofenausbrüche und Schlämme, die mindestens den Grenzwerten der Deponieverordnung entsprechen, betrieben.

Derzeit werden jährlich etwa 70.000 t Abfälle von den Betrieben Treibacher Auermet Produktionsges.m.b.H und Treibacher Industrie AG deponiert (UMWELTBUNDESAMT 2004c):

Ferrolegierungen:	2.000 t/a Mo-Schlacke
	8.000 t/a V-Schlacke
Vanadiumoxidanlage:	43.000 t/a Laugungsrückstand
	3.000 t/a Abwasserrückstand
Umschmelzanlage:	7.000 t/a FeNi-Schlacke
	Hüttenschutt bei Bedarf
Vakuumlegierungen:	15 t/a Ofenausbruch

Zusätzlich werden die in Tab. 80 und Tab. 81 dargestellten Abfälle extern entsorgt.

SN nach ÖNORM S 2100	Abfallbezeichnung	2001 (t)
31217	Filterstäube, NE-metallhaltig	431,5
51525	Bariumsalze	141,0
35322	Bleiakkumulatoren	1,5
31435	Verbrauchte Filter- und Aufsaugmassen mit anwendungsspez. schädli. Beimeng.	0,6
35339	Gasentladungslampen (z. B. Leuchtstofflampen, Leuchtstoffröhren)	0,3
59305	Laborabfälle und Chemikalienreste	0,1
35338	Batterien, unsortiert	0,1
35326	Quecksilber, quecksilberhaltige Rückstände, Quecksilberdampflampen	0,1
Summe		575,2

Tab. 80:
Aufkommen der wichtigsten, extern entsorgten gefährlichen Abfälle der Treibacher Industrie AG (UMWELTBUNDESAMT 2004c).

Tab. 81:
Aufkommen der
wichtigsten, extern
entsorgten, nicht
gefährlichen Abfälle der
Treibacher Industrie AG
(UMWELTBUNDESAMT
2004c).

SN nach ÖNORM S 2100	Abfallbezeichnung	2001 (t)
31409	Bauschutt und/oder Brandschutt (keine Baustellenabfälle)	339,3
91101	Hausmüll und hausmüllähnliche Gewerbeabfälle	198,5
35202	Elektr. und elektron. Geräte und Geräteteile, ohne umweltrelevante Mengen an gefährlichen Anteilen	2,1
51503	Natrium- und Kaliumphosphatabfälle	1,0
31103	Oftenausbruch aus metallurgischen Prozessen	0,4
39905	Feuerlöschpulverreste	0,2
35210	Bildröhren (nach dem Prinzip der Kathodenstrahlröhren)	16 Stk
Summe		541,5

2.5 Aschen, Schlacken und Stäube aus/in der Zementindustrie

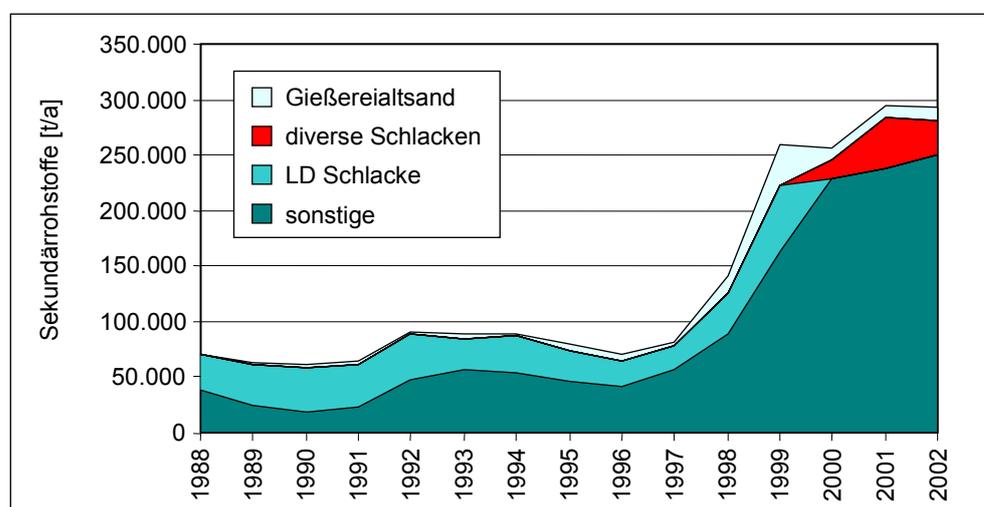
Bei der Zementherstellung wird ein Gesteinsgemisch (Rohmehl) gemeinsam mit sekundären Rohstoffen im Drehrohrföfen bei rd. 1.450 °C zu Klinker gebrannt. Dazu werden konventionelle Brennstoffe wie Kohle und – in zunehmendem Maße – Abfälle als Ersatzbrennstoffe eingesetzt. Mit Zuschlagstoffen und Sekundärzuschlagstoffen wird dieser Klinker anschließend zu Zement vermahlen.

In Österreich wird derzeit an neun Standorten Klinker produziert. Im Jahr 2002 wurden 3.118.227 t Klinker bzw. 4.060.949 t Zement hergestellt (HACKL & MAUSCHITZ 2003).

2.5.1 Einsatz von Aschen und Schlacken in der Zementindustrie

Die österreichische Zementindustrie setzt Aschen, Schlacken und Rückstände aus der Rauchgasreinigung (REA Gips) aus anderen Industriezweigen, insbesondere Kraftwerken und der Eisen- und Stahlindustrie als Sekundärrohstoffe und Sekundärzuschlagstoffe ein. Abb. 23 und Abb. 24 zeigen den Einsatz von Sekundärroh- und Sekundärzuschlagstoffen der Jahre 1988–2002 in der österreichischen Zementindustrie. Vor allem der Einsatz von Sekundärrohstoffen nahm seit 1997 stark zu.

Abb. 23:
Einsatz von
Sekundärrohstoffen in
der Zementindustrie
1988–2002
(HACKL & MAUSCHITZ
1995, 1997, 2001, 2003).



Unter „sonstigen Sekundärrohstoffen“ sind Kiesabbrand, Gangart, Waschberge, diverse Aschen, Walzzunder, Tonersatz, Ziegelsplitt, Aluminiumoxidrückstand, Seim-mehlrecyclat etc. zusammengefasst.

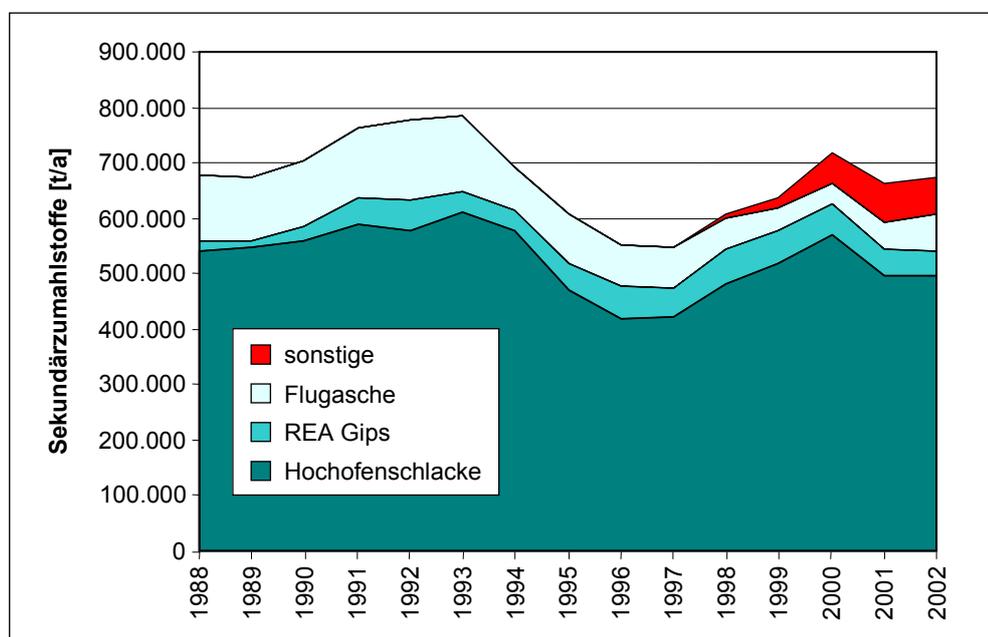


Abb. 24:
Einsatz von
Sekundärzumahlstoffen
in der Zementindustrie
1988–2002
(HACKL & MAUSCHITZ
1995, 1997, 2001, 2003).

Unter „sonstigen Sekundärzumahlstoffen“ sind gipshaltige Rückstände, Steinmehlrecyclat etc. zusammengefasst.

Wie aus Abb. 24 ersichtlich ist, ist die Menge der eingesetzten Flugaschen im Vergleich zum Beginn der Aufzeichnungen (1988) zurückgegangen. Der steigende Anfall der Flugaschen aus Kraftwerken geht direkt in die Baustoffindustrie.

Im Jahr 2002 wurden in den österreichischen Zementwerken folgende Mengen an Aschen, Schlacken und Stäuben eingesetzt (HACKL & MAUSCHITZ 2003):

- 497.710 t/a Hochofenschlacke
- 43.380 t/a REA Gips
- 66.459 t/a Flugasche
- 31.179 t/a diverse Schlacken
- 12.007 t/a Gießereialtsande
- 249.834 t/a sonstige Sekundärrohstoffe (Ziegelsplitt etc.)
- 67.684 t/a sonstige Sekundärzumahlstoffe.

Tab. 82 zeigt die von FEHRINGER (et al. 1999) angegebenen Stoffkonzentrationen für LD-Schlacke, Hochofenschlacke und verschiedene Flugaschen. In Tab. 42 sind Schwermetallkonzentrationen in Flugaschen aus Kraftwerken, die in der Zementindustrie eingesetzt werden enthalten.

Im Vergleich dazu wurden von NRW (2003) folgende mittlere Gehalte im Rohmaterial angegeben:

- Cd 0,25 mg/kg
- Hg 0,06 mg/kg
- Pb 12,85 mg/kg.

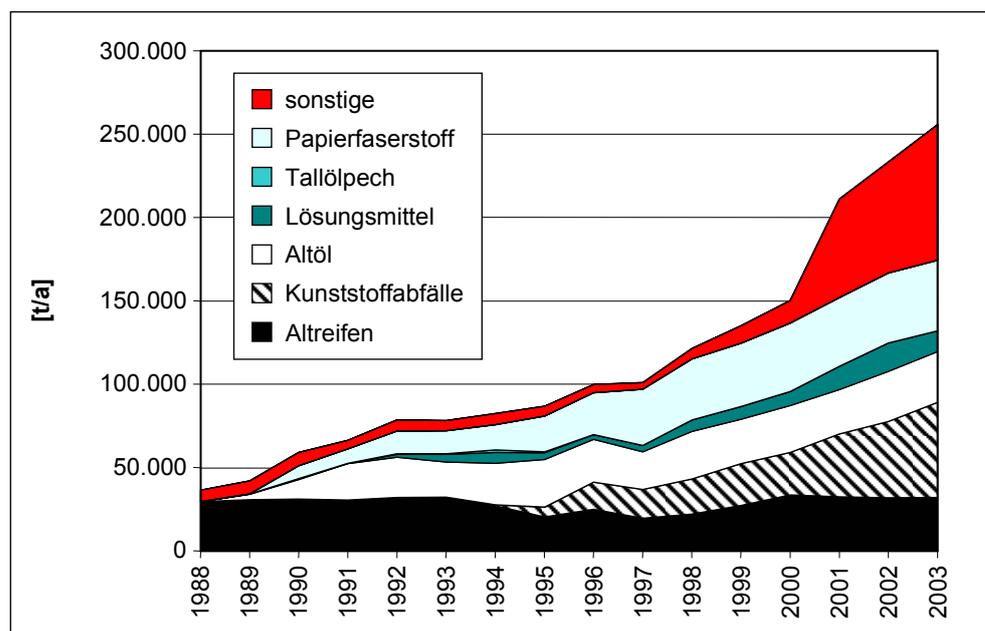
Tab. 82:
Stoffkonzentrationen in
Aschen und Schlacken,
die in der
Zementindustrie
eingesetzt werden
(FEHRINGER et al. 1999).

		Konzentration in mg/kg			
		LD-Schlacke	Flugasche 1	Flugasche 2	Hochofenschlacke
Cl	min	10			
	mittel	250	1.000		150
	max	10.000			
Cd	min		0,78	0,67	
	mittel	0,5	2,5	3,5	0,5
	max		4,1	6,3	
Hg	min		0,027	0,1	
	mittel	0,1	0,17	0,11	0,1
	max		0,31	0,11	
Pb	min		57	31	
	mittel	13	88	560	12
	max		119	1.090	
Zn	min		166	732	
	mittel	340	270	1.516	280
	max		373	2.300	

2.5.2 Aschen und Stäube aus der Zementindustrie

Zusätzlich zum Einsatz von Aschen, Schlacken und Rückständen aus anderen Industriezweigen als Sekundärroh- und Sekundärbrennstoffe werden in zunehmendem Maße Abfälle auch als Ersatzbrennstoffe eingesetzt. Im Jahr 1988 wurden 6 % des Gesamtenergieeinsatzes mit Ersatzbrennstoffen gedeckt; im Jahr 2003 bereits rund 48 %. Abb. 25 zeigt die in der österreichischen Zementindustrie eingesetzten Abfallfraktionen und deren Entwicklung von 1988 bis 2003.

Abb. 25:
Einsatz von
Ersatzbrennstoffen in
der österreichischen
Zementindustrie von
1988–2003
(HACKL & MAUSCHITZ
1995, 1997, 2001, 2003,
2004)





Die aus der Verbrennung der eingesetzten konventionellen Brennstoffe und der als Ersatzbrennstoffe eingesetzten Abfälle resultierenden Aschen werden im Drehrohr eingesetzt.

Stäube, welche durch nachgeschaltete Filter abgeschieden oder/und mittels Bypässen abgezogen wurden, werden dem Klinker bzw. dem Zement wieder zugeetzt. Dadurch werden in Österreich alle anfallenden Aschen, Schlacken oder Stäube intern verwendet. Durch diesen internen Kreislauf kann es zu einer Anreicherung von Schadstoffen im Produkt (Zement bzw. Beton) kommen.

3 TECHNOLOGIEN UND TECHNIKEN DER ABFALLVERMEIDUNG UND -VERWERTUNG

In diesem Kapitel soll aufbauend auf den bisherigen Erkenntnissen dargestellt werden, welche Techniken und Technologien zur Verfügung stehen, um die Menge der Aschen, Schlacken und Stäube zu verringern, deren Schadstoffgehalte zu reduzieren, oder um deren weitere Behandlung zu erleichtern bzw. deren Verwertung zu ermöglichen.

3.1 Rückstände und Abfälle aus der Abfallverbrennung

Abfallverbrennungsanlagen sind in Österreich dahingehend konzipiert, als Senke für Abfälle zu dienen, d. h. das Volumen der Abfälle zu reduzieren, eine weitestgehende Zerstörung und eine möglichst effektive Aufkonzentrierung von Schadstoffen zu gewährleisten und – als „Mehrwert“ – die im Abfall enthaltene Energie zu nutzen (= Stand der Technik).

Das Konzept sieht gemäß dem Vorsorgeprinzip für die durchschnittliche Abfallzusammensetzung eine gewisse Überdimensionierung der Abscheidenvorrichtungen vor, um damit auch für den Fall von unvorhersehbaren (und im praktischen Betrieb auch häufig auftretenden) Schadstoffspitzen, bzw. von ungünstigen Bedingungen im Feuerraum niedrige Emissionen in Luft und Wasser zu garantieren.

Die separate Sammlung von Altstoffen und biogenen Bestandteilen hatte die stoffliche Nutzung dieser Fraktionen zum Ziel, ebenso ebenso wie die Verminderung von Metallen in der Grobasche von Abfallverbrennungsanlagen. Sie dient aber auch der Vermeidung von Emissionen bzw. der Verminderung von Emissionsspitzen – z. B. durch getrennte Sammlung und Behandlung von Batterien.

In verschiedenen internationalen Konventionen (z. B. Stockholm Konvention über persistente organische Verbindungen (POPs)) und Richtlinien (RL über die integrierte Vermeidung von Umweltverschmutzung – IPPC-RL; POP-Verordnung Nr. 850/2004) werden Maßnahmen (wie z. B. der Einsatz von Technologien, welche wenig Abfall produzieren; die Verwendung weniger gefährlicher Stoffe; Förderung von Wiederverwertung und Recyclieren von Abfällen) zur Senkung des Schadstoffeintrages in Anlagen genannt. Die Stockholm Konvention sieht auch vor, dass bei Neuerrichtungen oder wesentlichen Änderungen einer Anlage (z. B. einer Abfallverbrennungsanlage) alternative Prozesse vorrangig betrachtet werden, welche die Bildung und die Freisetzung von POPs vermeiden, aber ähnlichen Nutzen erzielen. Im Bereich der Abfallverbrennung wird im Rahmen der „Draft Technical Guidelines on BAT (Best Available Techniques) and BEP (Best Environmental Practise)“ auf die Notwendigkeit eines ausgefeilten Abfallwirtschaftskonzeptes inklusive einer möglichst weitgehenden Abfallvermeidung hingewiesen.

Bezüglich der Behandlung der Rückstände werden im BAT-Dokument (Informationsaustausch gemäß IPPC-Richtlinie) „Abfallverbrennung“ folgende (Kombination von) Techniken als Beste verfügbare Techniken identifiziert:

- Durch geeignete Kombination von Techniken einen möglichst vollständigen Ausbrand zu erzielen (TOC in der Asche sollte kleiner als 3 % sein und typischerweise im Bereich von 1–2 % liegen).



- Getrennte Behandlung von Flugasche und Grobasche sowie anderen Rückständen aus der Rauchgasreinigung, um die Kontamination von Grobasche zu vermeiden und damit deren Potenzial zur Wiederverwendung zu erhöhen.
- Für Rückstände aus der Wirbelschichtfeuerung: Prüfen des Potenzials jedes einzelnen Abfallstromes für die Wiederverwendung.
- Prüfen, ob die Flugasche aus der Vorentstaubung (sofern vorhanden) wiederverwendet (allenfalls nach einer Behandlung) oder deponiert werden sollte.
- Behandlung der Grobasche durch eine geeignete Kombination von Techniken (trocken, nass, thermisch, physikalisch) derart, dass die erforderlichen Spezifikationen für die Weiterverwendung oder Deponierung eingehalten werden.
- Behandlung der Rückstände aus der Rauchgasreinigung derart, dass die Akzeptanzkriterien für die jeweils gewünschte Behandlungsoption eingehalten werden.

In Österreich ist es aus Gründen des Vorsorgeprinzips (keine Verteilung von Schadstoffen) vom Gesetzgeber erwünscht und gängige Praxis, dass Abfälle und Rückstände aus Abfallverbrennungsanlagen deponiert werden. Darüber hinaus herrscht in Österreich auch kein Mangel an Rohstoffen für den Hoch- und Tiefbau, so dass von Seiten der Bauwirtschaft kein Bedarf an Abfallverbrennungsrückständen besteht.

Dementsprechend werden Grobaschen (z. T. nach einer Vorbehandlung, wie z. B. Alterung, Verfestigung) auf geeigneten Deponien (mit Basisabdichtung, Sickerwassererfassung und Oberflächenabdichtung) abgelagert. Flugaschen werden aufgrund der höheren Schadstoffbelastung in jedem Fall vorbehandelt und auf geeigneten Deponien abgelagert. In einigen Fällen wird hoch belastete Flugasche bzw. werden Flugaschefractionen (z. B. die Feinstfraktion) auch exportiert und untertage deponiert. Gips aus der Rauchgasreinigung wird in der Regel vor der Ablagerung mit der Grobasche vermischt, in einigen Fällen wird Gips auch in der Bauindustrie eingesetzt. Der Filterkuchen aus der Abwasserreinigung wird untertage deponiert.

Eine Vermischung von vergleichsweise niedrig belasteter Grobasche mit Flugasche widerspricht § 1 (2) 1 AWG 2002, da dadurch die Schadstoffgehalte der Grobasche erhöht werden. Aus diesem Grund muss vor der Ablagerung auf einer Deponie der Nachweis erbracht werden, dass sowohl Flugasche als auch Grobasche jeweils für sich alleine die Grenzwerte dieses Deponietyps der Deponie-Verordnung einhalten.

Aufgrund der heterogenen Zusammensetzung von Siedlungsabfall und der auftretenden Schadstoffspitzen im Restmüll kommt es bei einigen Chargen der Flug- und Grobaschen zu Grenzwertüberschreitungen (Reststoffdeponie; siehe Kapitel 2.1.3; v. a. für pH, Leitfähigkeit, Abdampfdruckstand, Cd, Zn, Pb) der Deponieverordnung. Hier wäre zu prüfen, inwieweit eine verstärkte eingangsseitige Entfrachtung in der Praxis eine Verbesserung des Deponieverhaltens bewirken kann.

3.1.1 Vermeidung im Restabfall

3.1.1.1 Vermeidung von Schwermetallen

Untersuchungen von deutschem Restmüll zeigten, dass ein erheblicher Teil des Schwermetallgehaltes im Restabfall in Batterien und Elektronikschrott, in der Feinfraktion, in Verbunden und in einigen anderen Fraktionen zu finden ist. Konkrete Daten zum österreichischen Restmüll sind leider nicht verfügbar, es wird aber angenommen, dass die Situation in Österreich ähnlich ist.

Bei den oben erwähnten Untersuchungen konnte keine Zuordnung zu einzelnen Produkten durchgeführt werden. Es ist jedoch zu erwarten, dass der Einsatz von Elektrogeräten (insbesondere von Computern, von Informations- und Unterhaltungselektronik sowie von Beleuchtungsmitteln) in Haushalten in den nächsten Jahren weiterhin stark zunehmen wird und damit der Schwermetallgehalt im Restabfall steigen wird, wenn keine zusätzlichen Maßnahmen getroffen werden.

Nun wurde vom Bundesminister für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft eine Elektroaltgeräteverordnung erlassen (BGBl. II Nr. 121/2005). Mit dieser Verordnung wird eine Verpflichtung zur Rücknahme eines Elektroaltgerätes bei Verkauf eines Neugerätes eingeführt und somit das System zur getrennten Sammlung von Elektrogeräten verbessert. Die Einführung dieser Rücknahmeverpflichtung sollte jedenfalls mit einer intensiven Informations- und Motivationskampagne einhergehen, damit diese Option von der Bevölkerung auch tatsächlich genutzt wird.

Darüber hinaus wurden speziell in Wien positive Erfahrungen mit der Einführung eines Reparaturnetzwerkes gewonnen (SEIDL 2004). Durch die vermehrte Reparatur von Elektrogeräten kann ihre Lebensdauer verlängert und so das Abfallaufkommen verringert werden. Auch wenn die Reparaturnetzwerke in erster Linie auf die Instandsetzung von größeren Geräten spezialisiert sind, wird ein (wenn auch kleiner) Effekt dahingehend erwartet, dass weniger Elektronikschrott und damit Schwermetalle in den Restabfall gelangen.

Allerdings stammt der im Restabfall identifizierte Elektronikschrott nicht nur von Teilen jener Elektroaltgeräte, die in der Elektroaltgeräteverordnung erfasst sind, sondern vor allem von Kleinteilen wie Glühlampen, Kabeln, Steckdosen und von Nichtelektrogeräten, wie zum Beispiel von Spielsachen (in denen auch Batterien enthalten sind).

Es erscheint notwendig, dem einzelnen Konsumenten deutlich vor Augen zu halten, dass bereits geringe Mengen von Elektronikschrott substantiell zum Schwermetallgehalt des Restabfalls beitragen und über die Möglichkeiten verstärkt zu informieren, Elektronikschrott getrennt zu sammeln. Gleiches gilt für die Verbesserung der Sammelquote von Batterien.

Mit der Batterieverordnung (BMUJF 1990) bestehen bereits eine Rücknahmeverpflichtung für Batterien und Beschränkungen für den Quecksilber- und Cadmiumgehalt in Zink-Kohle und Alkali-Mangan-Batterien. Die Nutzung von Nickel-Cadmium-Knopfzellen und Akkumulatoren ist jedoch nicht beschränkt.

Cadmium: Abfallwirtschaftliche Maßnahmen sollten sich auf eine generelle Vermeidung in Produkten und die Etablierung einer sicheren Senke für nicht vermeidbares Cadmium konzentrieren. Für Österreich wurde bilanziert, dass ca. 77 % des Cadmiums im Restabfall aus Ni-Cd-Batterien bzw. Akkumulatoren stammen müssten (siehe Kapitel 2.1.5.2). Als Maßnahme zur Vermeidung von Cadmium schlägt das deutsche Umweltbundesamt ein generelles Verbot von Nickel-Cadmium-Akkus vor (HAGBECK 2002). Auch innerhalb der EU wird diese Maßnahme diskutiert (EUROPEAN PARLIAMENT & COUNCIL 2004).

Als Alternative für Nickel-Cadmium-Akkumulatoren befinden sich Nickel-Metallhydrid-Akkumulatoren bereits am Markt. Weiters werden zurzeit Mini-Brennstoffzellen entwickelt, primär um Akkumulatoren in Computer-Notebooks und anderen tragbaren elektronischen Geräten zu ersetzen. Diese Mini-Brennstoffzellen nutzen Methanol als Energiequelle, um elektrischen Strom am Ort der Nutzung zu erzeugen⁵.

⁵ SMOLE, E. (2003), persönliche Mitteilung



Für **Quecksilber** wurden neben dem generellen Quecksilberverbot in Batterien und Akkumulatoren (EUROPEAN PARLIAMENT & COUNCIL 2004) als weitere Vermeidungsmaßnahmen vorgeschlagen (BREF WASTE INCINERATION 2004):

- Effiziente getrennte Sammlung von Abfällen, die Schwermetalle enthalten können – wie zum Beispiel Mobiltelefone, Batterien oder Amalgamzahnfüllungen.
- Benachrichtigung von Abfallerzeugern, die sie von der Notwendigkeit, Quecksilber getrennt zu halten, überzeugen sollen.

Weiters könnte der Ersatz von quecksilberhaltigen Produkten (zum Beispiel Fieberthermometer oder Barometer) durch solche ohne Quecksilber mit Hilfe von Informations- und Motivationskampagnen beschleunigt werden.

3.1.1.2 Vermeidung von Mobiltelefonen im Restabfall

In Österreich fallen jährlich ca. 2 Millionen Mobiltelefone nach einer durchschnittlichen Nutzungsdauer von 30 Monaten an. In Wien werden in Sammelzentren ca. 125 Stück pro Monat abgegeben, das entspricht einer Sammelquote von rund 0,4 %. Zurzeit wird ein Pilotprojekt durchgeführt, um das Potenzial für eine Neunutzung und Verwertung von nicht mehr gebrauchten Mobiltelefonen festzustellen und die Barrieren zu erforschen, die dieser Neunutzung/Verwertung entgegenstehen.

Mit Hilfe portofreier Rückkuverts und intensivem Marketing konnte die Sammelrate auf 1 % gesteigert werden. Der Anteil der weiterverwendbaren Geräte beträgt 66 %. Jedoch besteht ein Markt für die Weiterverwendung nur im außereuropäischen Raum, da neue Mobiltelefone durch Mobilfunkbetreiber zur Steigerung ihres Marktanteiles stark gestützt werden.

Die Reparatur von Mobiltelefonen ist in vielen Fällen dadurch erschwert, dass die Hersteller keine Ersatzteile zur Verfügung stellen. Weiters macht aufgrund des schnellen technischen Fortschritts die Reparatur oder ein Verkauf nur dann Sinn, wenn das Gerät jünger als 4 Jahre ist.

Die Verwertung der Edelmetalle Gold, Silber und Palladium wäre wirtschaftlich interessant. Bisher ist sie nur durch die geringe Sammelrate beschränkt (HAUER et al. 2004).

Es wird erwartet, dass durch neu eingeführte Elektroaltgeräteverordnung (BMLFUW 2005) und die darin vorgesehene Verpflichtung für die Rücknahme von Elektroaltgeräten bei entsprechender Begleitung durch Informationsprogramme ein entscheidender Schritt zur Erzielung der getrennten Sammlung von Mobiltelefonen, aber auch von anderen Elektrogeräten zu erzielen sein wird.

3.1.1.3 Vermeidung von Aluminium

Wesentliche Teile des im Siedlungsabfall enthaltenen metallischen Aluminiums stammen von Verbund-Verpackungen für aromatische Lebensmittel und Tabletten. Das Aluminium dient dabei dem Schutz der verpackten Lebensmittel/Tabletten vor Licht und Sauerstoff und bildet eine effiziente Aromasperre. Beispiele dafür sind die Deckel von Joghurtbechern, Schokoladepapier oder Potatochip-sackerln. Auch Tetrapack sind für die Verpackung von Produkten, die länger halten sollen, mit einer 6,5 µm starken Aluminiumschicht innen ausgekleidet (TETRA PAK 2005). Nach Expertenaussagen⁶ ist damit zu rechnen, dass durch diese Anwendungen der Gehalt von metallischem Aluminium in den Schlacken der Abfallverbrennung steigen wird.

Für Verbundstoffe, deren Hauptanteil Aluminium ist (wie zum Beispiel bei Joghurtbecherdeckeln), besteht bereits die Möglichkeit der getrennten Sammlung im Behälter für Metallverpackungen. Es kann jedoch angenommen werden, dass bei Anwendung einer intensiven Informationskampagne die Nutzungsrate dieser Möglichkeit zu steigern ist.

Umweltfreundliche Alternativstoffe, die aromatische Produkte oder Lebensmittel, die länger halten sollen, vor Licht und Sauerstoff bei ähnlich geringem Materialeinsatz schützen können wie Aluminium, sind derzeit nicht bekannt.

3.1.1.4 Getrennte Sammlung und Vermeidung von PVC

In Deutschland ist PVC für ca. 50 % des Chlorgehaltes (UMWELTBUNDESAMT DEUTSCHLAND 2001) der Stoffe, die in die Müllverbrennung gelangen, sowie für ca. 10 % des Cadmium- und weniger als 1 % des Bleigehaltes verantwortlich (BAITZ et al. 2004).

Obwohl PVC vor allem als Verpackungsmaterial seit Jahren ersetzt wird (SCHRAMM et al. 2002), kommt es noch in sehr vielen weiteren Anwendungsbereichen vor (nähere Angaben siehe ANHANG).

Ein Teil des heute im Restabfall enthaltenen PVCs stammt von Elektroaltgeräten wie zum Beispiel Mobiltelefonen. Die Verbesserung der getrennten Sammlung von Elektroaltgeräten durch die neue Elektroaltgeräteverordnung (BMLFUW 2005) sollte somit auch den PVC-Gehalt im Restabfall reduzieren.

Ein genereller Ersatz von PVC durch einen anderen Stoff muss von Anwendungsfall zu Anwendungsfall betrachtet werden. Aufgrund der Vielfalt der PVC-Anwendungen würde die Untersuchung von möglichen Ersatzstoffen den Umfang dieser Arbeit sprengen. Hier soll lediglich die Empfehlung ausgesprochen werden, dass eine Studie zur Identifikation von Möglichkeiten, PVC in Konsumgütern, in Verpackungen, in elektrischen Anwendungen und als Baustoff weiter zu ersetzen, durchgeführt werden sollte.

Auch wenn ein erhöhter organischer Chlorgehalt im Abfall zu einer Überführung von Schwermetallen aus der Schlacke in die Flugasche beitragen kann (siehe ANHANG), ist eine Verringerung des Chlorgehaltes in den Abfällen aus Umweltsicht insgesamt anzustreben.

⁶ NEUBACHER, F. – UV&P Umweltmanagement-Verfahrenstechnik Neubacher & Partner GmbH, persönliche Mitteilung, September 2004.



3.1.2 Behandlung von hoch belasteten Abfallfraktionen

Aufgrund der Zusammensetzung und der hohen Schwermetall-Belastung einiger industrieller und gewerblicher Abfallfraktionen (z. B. der Shredderleichtfraktion) führt eine gemeinsame Verbrennung mit anderen Abfallarten zu einer Verschlechterung der Aschen- und Schlackenqualität, unter gewissen Bedingungen können dann Deponiegrenzwerte nicht mehr eingehalten werden. Zusätzlich würde bei einer stärkeren Entfrachtung von (Siedlungs)Abfällen ein neuer (hoch belasteter) Abfallstrom entstehen, welcher behandelt werden muss.

Mögliche Lösungen könnten sein:

- Thermische Behandlung von Abfällen mit hohen Schadstoffgehalten und ungünstigen Eigenschaften in eigens dafür konzipierten Anlagen; Ablagerung der Rückstände aus dieser Verbrennung in Untertagedeponien oder geeignete Vorbehandlung der Rückstände vor der Deponierung.
- Nicht-thermische Behandlungsverfahren für diese Abfälle.
- Einsatzbeschränkung dieser Abfälle: dies bedeutet, einen Kompromiss über das Ausmaß der zulässigen Verdünnung zu erarbeiten
- Generelle Vorbehandlung von Abfällen aus der Verbrennung vor der Deponierung.

3.1.3 Behandlung von Aschen und Schlacken (Grobaschen) aus Abfallverbrennungsanlagen

Für die Behandlung von Verbrennungsrückständen sind Techniken zur Nachbehandlung verfügbar, mit denen

- die Mobilität der Schadstoffe in den Verbrennungsrückständen verringert werden kann.
- die Schadstoffe extrahiert werden können.
- die Schadstoffe mittels thermischer Behandlung entfernt werden können.

Entscheidende Parameter seitens der Rückstände sind:

- Ausbrand (Restgehalt an organischen Verbindungen),
- Reaktivität der Metalle,
- Eluierbarkeit der Metalle,
- Salzgehalt,
- Mechanische Belastbarkeit, Korngröße und Korngrößenverteilung (BREF WASTE INCINERATION 2004).

Generell sind die Auswirkungen dieser Verfahren (z. B. Energieeinsatz, Emissionen) und der erzielbare Nutzen zu prüfen.

Als Primärverfahren wird die optimale Führung des Verbrennungsprozesses angesehen. Dadurch kann

- ein optimaler Ausbrand der Kohlenstoffverbindungen erzielt werden und es
- können Schwermetalle verstärkt in die Gasphase überführt und in der Filterasche angereichert (und dort konzentriert behandelt) werden.
- Bei Wirbelschichtfeuerungen:

- Abscheidung von Feinasche mit einer Korngröße von 40–100 µm in einer Zyclonbatterie bzw. über den Sichter im Aschekreis; Behandlung: Deponierung auf einer geeigneten Deponie.
- Abscheidung von Feinstasche (Korngröße: < 40 µm), auf der sich Dioxine/Furane und Schwermetalle angereichert haben; Behandlung: Untertagedeponie.
- In der Schlacke verbleibende Stoffe können verbessert in diese eingebunden und ihre Löslichkeit verringert werden.

Eine Erhöhung der Verbrennungstemperatur und ein hoher Chlorgehalt begünstigen im Allgemeinen den Übergang der Schwermetalle in die Gasphase bzw. Flugasche. Für manche Metalle (z. B. Zinn oder Arsen) fördern reduktive Bedingungen die Flüchtigkeit, für andere (z. B. Zink, Kupfer oder Antimon) oxidative Bedingungen. Andere Komponenten, die im zu verbrennenden Abfall enthalten sein können, hemmen meist den Übergang in die Gasphase (BELEVI 2004).

In (BREF WASTE INCINERATION 2004) wird eine Reihe von Verfahren angeführt, mit der sich die Verbrennung optimieren lässt.

Als Sekundärverfahren wird die mechanische Schlackeaufbereitung angewandt (siehe Kap. 3.1.3.1).

3.1.3.1 Verfahren zur Behandlung von Grobaschen (Schlacken) aus der Abfallverbrennung

Mechanische Schlackeaufbereitung

Zur Verbesserung der Deponieeigenschaften wird die mechanische Schlackeaufbereitung mit folgenden Schritten durchgeführt:

- Grobteilabscheidung (ca. 300 mm Stabsieb)
- Eisenabtrennung
- Alterung in einem Zwischenlager
- Siebung ca. 50 mm
- Grobzerkleinerung und Eisenabtrennung aus dem Überkorn
- Eisenabtrennung und Klassierung des Unterkorns
- Feinstkornabtrennung
- Abtrennung von Unverbranntem aus dem Überkorn in Schwimm-Sink-Anlagen
- Nichteisenmetallabscheidung über Wirbelstromabscheider
- Schlackenwäsche zur Abtrennung von anhaftendem Feinstkorn und löslichen Bestandteilen (LECHNER & STUBENVOLL 2004).

In Deutschland und den Niederlanden werden diese Verfahren auch eingesetzt, um gewisse Qualitätsanforderungen für die Wiederverwendung (z. B. im Straßenbau) zu erfüllen.

Es bestehen Forschungsprojekte mit dem Ziel, neue Verfahren der Sortierung von Aluminium zu entwickeln (AST 2003; MUTZ & PRETZ 2003).

Der abgetrennte Eisenschrott kann zu einem Preis, der üblicherweise zwischen 10 und 50 €/t liegt, verkauft werden. Für die Nichteisenmetalle müssen weitere Aufbereitungsschritte folgen. Der Marktwert der Nichteisenfraktion aus der Verbrennung von Siedlungsabfall ist vor allem vom Aluminiumgehalt abhängig und liegt üblicherweise zwischen 100 und 600 €/t (BREF WASTE INCINERATION 2004).



„Beschleunigte“ Alterung

Frische Schlacke ist ein chemisch reaktives Material. Die „beschleunigte“ Alterung wird angewandt, um die Restreaktivität und die Löslichkeit der Schwermetalle herabzusetzen. Durch Befeuchtung der Asche, Lagerung unter Luftzufuhr und das regelmäßige Umschichten der Schlacke, werden Salze herausgelöst, die Carbonatisierung der Schlacke beschleunigt und damit in 6 bis 20 Wochen, ausgehend von einem pH-Wert von über 12, ein pH-Wert von unter 11 erreicht werden, bei dem die Löslichkeit der meisten Schwermetalle deutlich geringer ist. Weiters wird durch Hydratation die Partikelstabilität erhöht. Metallisches Aluminium kann auch mit $\text{Ca}(\text{OH})_2$ und Wasser Aluminiumhydroxid und Wasserstoff bilden. Beide haben eine volumenvergrößernde Wirkung auf die Schlacke (BREF WASTE INCINERATION 2004).

Nasse Schlackenaufbereitung

Bei der nassen Schlackenaufbereitung erfolgt eine Trennung in eine nieder belastete und eine hoch belastete Fraktion im Verhältnis von ungefähr 1:1. Es werden Eisen- und Nichteisenmetalle und eine Fraktion mit unverbranntem Kohlenstoff abgetrennt. Mit dem Wasser wird die Feinfraktion (0–2 mm) und mit dieser Fraktion der Hauptteil der leichter löslichen Stoffe (Salze) und der Metalle der Schlacke mitgerissen. Ein Problem stellt die Behandlung des Abwassers und der Feinfraktion dar (BREF WASTE INCINERATION 2004).

Thermische Aufbereitung durch Verglasung

Durch Verglasung (Vitrifizierung) kann die Löslichkeit der Schwermetalle aus Schlacke, Flugasche bzw. Rauchgasreinigungsrückständen und damit das Gefährdungspotenzial der Abfallverbrennungsrückstände reduziert werden.

Bei Abfallverbrennung in Drehrohröfen ist die integrierte Verbrennung und Verglasung in einem Verfahrensschritt Stand der Technik (BREF WASTE INCINERATION 2004). Bestehende Rost- und Wirbelschichtverfahren können mit nachgeschalteten Schmelzprozessen ausgestattet werden.

Bei der Verglasung werden zunächst Eisen- und Nichteisenmetalle abgetrennt und die Schlacken/Aschen auf Korngrößen kleiner 1 mm zerkleinert. In einem Drehrohröfen werden die Schlacken/Aschen/Stäube auf 1.300 bis 1.500 °C erhitzt und dann schnell mit Luft oder Wasser abgeschreckt (gequencht). Durch das schnelle Abkühlen koaguliert die Schmelze zu kleinen, glasigen Körnern. Die Schwermetalle werden in die Glasmatrix eingeschlossen. Die Geschwindigkeit, mit der die Schwermetalle wieder in die Umwelt freigegeben werden, sinkt. Auch allenfalls vorhandene Dioxine werden zerstört.

Die ausgeführte Verfahrensbeschreibung ist eine von vielen Möglichkeiten, die im Labor- oder Pilotmaßstab ausgeführt wurden. Großtechnisch wurde die nachgeschaltete Verglasung von Abfallverbrennungsschlacke bisher lediglich in Japan umgesetzt (JONES et al. 2001). Der dort umgesetzte Prozess verursacht Kosten von 100 €/t Schlacke (BREF WASTE INCINERATION 2004).

Die Nachteile der Verglasung sind die hohen Kosten und der hohe Energieverbrauch (mehr Energie muss aufgewendet werden, als durch den Abfall zur Verfügung gestellt wird) (TANGRI 2003). Bei der Verglasung von Rückständen aus der Rauchgasreinigung kann der hohe Salzgehalt zu Korrosionsproblemen führen.

Tab. 83 fasst die Vor- und Nachteile der Verglasung zusammen.

Tab. 83:
Vorteile und Grenzen der Verglasung von Verbrennungsrückständen (JONES et al. 2001; BREF WASTE INCINERATION 2004).

Vorteile	Nachteile
<ul style="list-style-type: none"> ● Nach der Verglasung ist die Eluierbarkeit der Rückstände deutlich verringert und das Material ist gegen wässrigen, chemischen oder thermischen Angriff gut geschützt. ● Verglasung kann bei Flugaschen mit sehr unterschiedlichen Zusammensetzungen angewandt werden. ● Deutliche Verringerung des Rückstandsvolumens. ● Geringe Staubentwicklung. ● Verglasungsmaterialien verursachen geringe Kosten. 	<ul style="list-style-type: none"> ● Im Glas können schädliche Gase (z. B. Cl, SO₂, Hg) gefangen sein. ● Verglasung fordert hohen Energieeinsatz. ● Komplexes Verfahren. ● Korrosion bei der Behandlung salzhaltiger Materialien.

Thermische Aufbereitung durch Sinterung

Eine integrierte Teilverglasung (Sinterung) während der Verbrennung auf einem Rost kann durch den SYNCOM-plus Prozess erzielt werden. Durch die Anreicherung der Verbrennungsluft mit Sauerstoff erreicht die Bett-Temperatur ein höheres Niveau, das Bettmaterial wird bis zu 50 bis 80 % aufgeschmolzen und sintert zusammen. Der ungeschmolzene Anteil schützt den Rost. Nach dem Abschrecken wird das ungesinterte vom gesinterten Material getrennt und der Verbrennung erneut zugeführt. Einige Parameter, die die verbesserten Schlackeeigenschaften zeigen sollen, sind in Tab. 84 dargestellt. Dabei handelt es sich aber um berechnete Daten bzw. um Auslegungsdaten. Bessere Informationen sind von Betriebsdaten zu erwarten. Wenn der Dioxingehalt in der Flugasche zu hoch ist, besteht die Möglichkeit, diese dem Verbrennungsprozess zuzuführen und sie gemeinsam mit der Schlacke zu versintern. Da es dabei zu Schwermetallanreicherungen im gesamten Verfahren kommt, kann die Verschlackung nur für einen Teil (maximal 75 %) der Flugasche durchgeführt werden (GOHLKE et al. 2003). Die Investitionskosten einer SYNCOM-Plus-Anlage sollen um 5 bis 10 % über jenen einer konventionellen Rostfeuerung liegen (BREF WASTE INCINERATION 2004).

Tab. 84:
Schlackequalität* nach dem SYNCOM-Prozess im Vergleich zur Qualität nach einer konventionellen Rostfeuerung (BREF WASTE INCINERATION 2004).

	Konventionelle Rostfeuerung	SYNCOM	SYNCOM-plus
Glühverlust in %	2	1	0,1
Blei im Eluat in mg/l	0,2	0,05	0,01
Dioxin/Furan-Gehalt in ng _{TEQ} /kg	15	8	0.3

* Angaben des Anlagenbauers – keine Betriebsdaten



In Österreich wird das sogenannte Martin-SYNCOM-Verfahren in Arnoldstein zur Siedlungsabfallverbrennung seit 2004 angewandt. Die wichtigsten Merkmale dieses Verfahrens sind:

- Martin-Rückschub-Rost,
- 2-stufiges 4-row-stitching-System für die Sekundärlufteindüsung,
- Ersatz eines großen Teiles der Sekundärluft durch rezirkuliertes Abgas,
- Regelungstechnik mit IR-Kamera und Signalverarbeitung mit Fuzzy-Logic,
- Anreicherung der Primärluft mit Sauerstoff,
- Abgasreinigung mit Kalkmilch-Sprühabsorber, Gewebefilter, Aktivkoks festbettfilter und SCR-Entstickung.

Verbrennungstemperaturen von bis zu 1.200 °C werden erreicht (deutlich höher als bei der konventionellen Rostfeuerung) (VERBUND UMWELT 2001). Durch die veränderten Verbrennungsbedingungen ergeben sich andere Verteilungen zwischen Schlacke und Rauchgas als bei der konventionellen Rostfeuerung (siehe Tab. 85, errechnete Daten).

Tab. 85: Transferkoeffizienten für Schwermetalle in %* bei der Restabfall-Verbrennung, errechnet für das Martin SYNCOM-Verfahren in Arnoldstein (KRV 2001); im Vergleich Transferkoeffizienten in einer konventionellen Rostfeuerung (UMWELTBUNDESAMT 2001b).

	Konventionelle Rostfeuerung		KRV-Arnoldstein	
	Schlacke	Flugasche + Rückstände Rauchgasreinigung	Schlacke	Flugasche + Rückstände Rauchgasreinigung
Cd	9,50	90	27,5	72,4
Hg	5	95	1	97
Pb	71	28	45	55

* Angaben des Anlagenbauers

Thermische Behandlung zur Metallabtrennung

Die thermische Behandlung zur Metallabtrennung ähnelt der Verglasung. Hauptunterschiede bestehen im Abkühlungsprozess und in der Beigabe von Stoffen, die zur Ausbildung einer glasigen oder einer kristallinen Matrix beitragen. Oxidative Bedingungen unterbinden die Phasentrennung und Metalltropfenbildung, während reduktive Bedingungen zur Ausbildung einer getrennten Metallphase führen.

Die Schlacke aus diesem Prozess zeigt sehr gutes Eluatverhalten, jedoch kann sie wegen der geringen mechanischen Belastbarkeit nicht als Baumaterial verwendet werden. Der Energiebedarf liegt bei 700–1.200 kWh/t, die Kosten bei 100 bis 600 €/t. In den USA und Japan ist die thermische Behandlung von Verbrennungsrückständen weit verbreitet (BREF WASTE INCINERATION 2004).

In Europa wurden technische Verfahren zur Nachbehandlung von Verbrennungsrückständen wie das HSR-Verfahren (Hochtemperatur-Schmelz-Redox-Verfahren) an verschiedenen Abfallverbrennungsanlagen (Züricher MVA Hagenholz, Von Roll in Klus/Kanton Solothurn, RCP-Anlage/Bremerhaven, Thermoselect SA und Siemens KWU) im **Pilotmaßstab** untersucht.

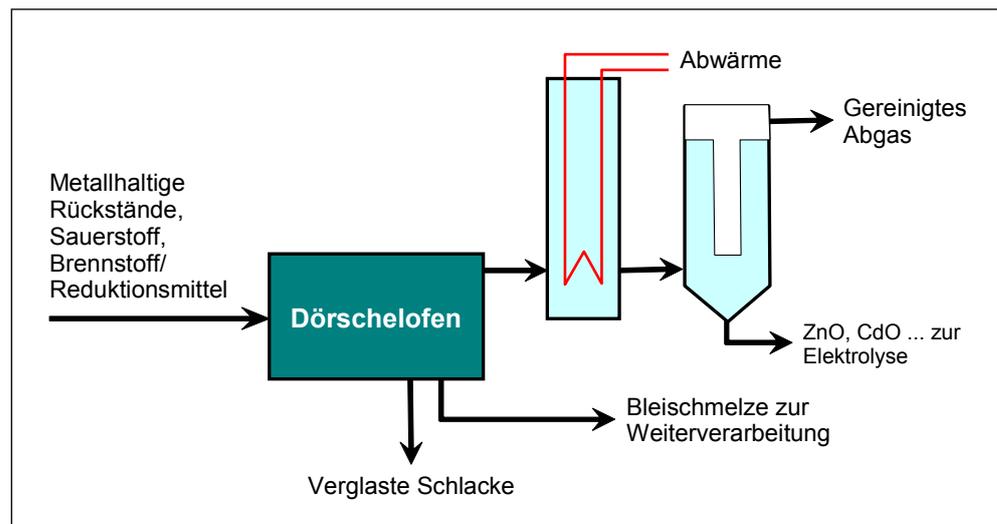
Beim HSR-Verfahren entstehen eine Silikat- und eine Metallschmelze, die aufgrund der großen Dichteunterschiede leicht zu trennen sind. In der Metallschmelze reichern sich einige Metalle, wie Eisen oder Kupfer, deutlich an (ZESCHMAR-LAHL 2004).

Ein ähnliches Verfahren ist der Dörschelofenprozess, bei dem durch Abfahren eines Temperaturprofils und der abwechselnden Einstellung reduktiver und oxidativer Verhältnisse eine Auftrennung in drei Phasen erfolgt (siehe Abb. 26):

- Metalle mit niedrigem Siedepunkt und leichter Oxidierbarkeit, wie Zink und Cadmium, gehen als Oxide in den Filterstaub.
- Weitere Metalle, wie Blei, bilden eine metallische Schmelze.
- Die restlichen anorganischen Feststoffe des eingesetzten Materials bilden eine stabile Schlacke.

Um die oxidierten Metalle wieder nutzen zu können sind weitere elektrolytische Löse- und Trennschritte notwendig. Ab einem Schwermetallgehalt von 5 Masse-% im Einsatz rechnet sich das Verfahren durch die Erlöse aus dem Metallverkauf. Der Dörschelofenprozess wurde bisher zur Verhüttung von zinkhaltigen Erzen eingesetzt. Zur Aufbereitung von Verbrennungsrückständen liegen Versuche vor. Die Kosten je Tonne behandeltem Reststoff im Dörschelofenprozess (ohne weitere Aufarbeitung) wurden auf ca. 200 €/t geschätzt⁷.

Abb. 26:
Verfahrensschema des
Dörschelofenprozesses.



Das RESHMENT-Verfahren

Das RESHMENT-Verfahren wurde speziell für die Behandlung der Shredderleichtfraktion mit dem Ziel entwickelt, die enthaltenen Wertstoffe zur Weiterverarbeitung abzutrennen, den Kohlenstoffgehalt zu minimieren und die verbleibenden Stoffe zu inertisieren.

Das RESHMENT-Verfahren basiert auf einem zweistufigen Prozess (siehe Abb. 27). In der ersten Stufe werden die Shredderrückstände zerkleinert und Metalle abgetrennt. Anschließend werden die feinfaserigen Shredderrückstände mit Flugaschen

⁷ Persönliche Mitteilung SCHWEIGER H. ehemals Bleiberger Bergwerks Union, Dezember 2004



aus der Abfallverbrennung und Sauerstoff in einem CONTOP-Schmelzzyklon mit Nachbrennkammer bei bis zu 2.000°C verbrannt. Die Nachbrennkammer ist zur Erzielung eines vollständigen Ausbrandes notwendig. Durch die hohen Temperaturen entsteht eine Schmelze, die aus 2 Phasen besteht. Die Metallphase besteht u. a. aus Eisen, Kupfer, Nickel und Chrom und wird zur Weiterverarbeitung abgetrennt. Die mineralische Phase enthält nur mehr geringe Konzentrationen an Metallen, wird zur Verglasung abgeschreckt und kann deponiert werden. In der Flugasche sind die flüchtigen Metalle (Zn, Pb, Cd) angereichert. Nach der Abtrennung der Flugasche aus dem Rauchgas wird sie zur Metallgewinnung weiter aufgearbeitet. Die möglichen Transferkoeffizienten einiger Metalle sind in Tab. 86 dargestellt.

Bisher bestehen für das RESHMENT-Verfahren **Pilotanlagen**. Eine Großanlage mit einer Kapazität für 50.000–60.000 t/a Shredderleichtfraktion, 30.000–40.000 t/a Filterasche, 5.000–10.000 t/a Klärschlämme/Metallhydroxidschlämme ist in Monthey/Wallis (Schweiz) geplant. Mit einer Fertigstellung ist frühestens Ende 2007 zu rechnen. Als Generalunternehmer und Planer tritt die VAI Voest-Alpine-Industrieanlagenbau GmbH&Co auf. Die Kosten für die Behandlung der Shredderrückstände werden mit 162 €/t angegeben, wobei anzunehmen ist, dass die ersparten Kosten für die in der Schweiz sehr teure Deponierung der Input-Flugasche eingerechnet sind (REINHARDT & RICHERS 2004). Derzeit verzögern sich die Planungsarbeiten aufgrund von Einwänden einiger Stakeholder, welche eine Monopolstellung dieser Anlage und Wettbewerbsverzerrungen befürchten.

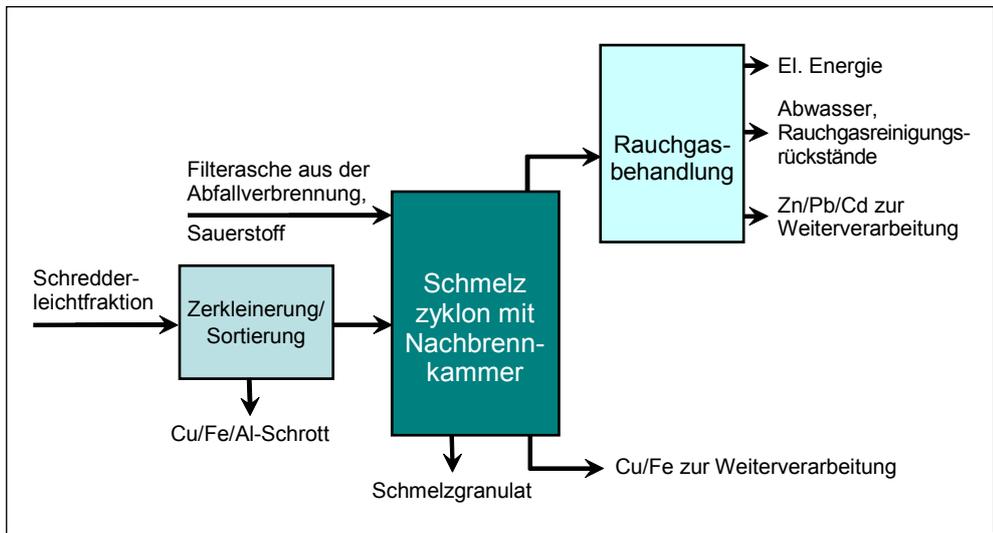


Abb. 27: Verfahrensschema des RESHMENT-Prozesses (REINHARDT & RICHERS 2004).

	Anteil im mechanisch abgetrennten Material in %	Anteil im Schmelzgranulat in %	Anteil in der Metallschmelze in %	Anteil im Schwermetallstaub in %
Al	35	65	0	0
Cd	< 1	< 1	< 1	98
Cu	29	7	60,5	3,5
Fe metallisch	22,5	1,5	69	7
Pb	7	10	< 1	82
Zn	< 0,5	6,5	< 1	92

Tab. 86: Transferkoeffizienten ausgewählter Metalle im RESHMENT-Prozess bei einem Einsatz von 45 % Filterstaub aus der Verbrennung von Siedlungsabfall und 55 % Shredderleichtfraktion (SCHAUB 2002).

3.1.3.2 Verfahren zur Behandlung von Flugasche und anderen Rauchgasreinigungsrückständen

Zementverfestigung

Der Hauptzweck der Zementverfestigung ist es, ein Material zu produzieren, aus welchem die enthaltenen Schadstoffe so wenig wie möglich freigesetzt werden können. Die Beimischung von Zement verringert die Geschwindigkeit, mit der Sickerwasser und Gefahrstoffe miteinander reagieren können, verringert die Porosität des Materials und erhöht die mechanische Stabilität. Durch die Bildung von Hydroxid- und Carbonat-Bindungen wird die Löslichkeit der Schwermetalle herabgesetzt.

Neben Zement können noch eine Reihe anderer Bindemittel verwendet werden, wie zum Beispiel Kalk oder Flugasche aus der Kohleverbrennung (BREF WASTE INCINERATION 2004).

Die **Nachteile** der Zementverfestigung sind:

- Der pH-Wert bleibt hoch und damit die Möglichkeit, amphotere Metalle wie Zink oder Blei in Lösung zu bringen.
- Die Auswaschung löslicher Salze wird zwar verlangsamt, nicht aber grundsätzlich verhindert, und kann zum Zerfall der verfestigten Matrix führen, was wiederum weitere Auswaschungen zur Folge hat.
- Die Masse an abzulagerndem Material verdoppelt sich.
- Nach Schweizer Studien wird die Eluierbarkeit von Gefahrstoffen nur in den ersten Jahren der Deponierung verringert (BREF WASTE INCINERATION 2004).

Bei der Zementverfestigung handelt es sich um ein Verfahren, das dem Stand der Technik entspricht und verbreitet eingesetzt wird. Das verfestigte Material wird im Allgemeinen deponiert oder als Verfüllmaterial in alten Salzminen eingesetzt. Die Kosten der Zementverfestigung liegen bei 25 €/t Verbrennungsrückstand (BREF WASTE INCINERATION 2004).

In Österreich ist die Zementverfestigung aufgrund der bekannten Probleme in der Deponieverordnung Anlage 5 geregelt (Inputbegrenzung, Eluatgrenzwerte, Verfügbarkeitstest, Diffusionstest, Carbonatisieren, Alterung, Frostbeständigkeit, Wasserlagerung).

Verglasung und Schmelzen von Rauchgasreinigungsrückständen

Die in den vorangegangenen Kapiteln beschriebenen Verfahren zur Verglasung von Schlacken oder zur Metallabtrennung aus Schlacken können auch analog für die Behandlung der Rückstände aus der Rauchgasreinigung, inklusive der Flugasche, angewandt werden.

Extraktion

Beim FLUWA-Prozess werden Kessel- und Filterasche mit dem sauren Abwasser des ersten (sauren) Rauchgaswäschers bei einem pH-Wert von 3,5, einem Lösungsmittel/Feststoffverhältnis von 4 und einer Verweilzeit von 45 Minuten gewaschen. Die behandelte Asche wird mit Wasser nachgereinigt und zusammen mit der Schlacke deponiert. Die gelösten Metalle werden durch Neutralisation und/oder Zugabe von Fällungsmitteln gefällt oder durch Ionentausch abgetrennt. Der gereinigte Filterkuchen enthält bis zu 25 % Zink und kann in metallurgischen Prozessen zur



Gewinnung von Zink, Cadmium und Quecksilber eingesetzt werden. Aus der Flugasche werden $\geq 85\%$ des enthaltenen Cadmiums, $\geq 85\%$ des Zinks, $\geq 33\%$ des Kupfers und Bleis sowie $\geq 95\%$ des Quecksilbers abgetrennt. Die Löslichkeit der in der Asche verbleibenden Schwermetalle verringert sich um den Faktor 100 bis 1.000.

Seit 1996 wird dieses Verfahren in der Schweiz und seit 1999 in der Tschechischen Republik (Liberec) angewandt. Die Kosten belaufen sich auf 150 bis 250 €/t Flugasche.

Weitere Verfahrensvarianten bestehen durch die Rückführung der behandelten Flugasche zum Zustrom der Rostfeuerung (3-R-Prozess), den Einsatz der behandelten Flugasche in einem Drehrohr (MR-Prozess) oder die Verwendung von Sulfiden als Fällstoff (AES-Prozess) (BREF WASTE INCINERATION 2004).

Für die Behandlung von Abfällen, die metallhaltiges Aluminium enthalten, wurde ein gemischtes Extraktions-/Immobilisierungsverfahren beschrieben (NEUBACHER et al. 2003). Mit alkalischen Lösungen werden die Rückstände aus der Abfallverbrennung behandelt, so dass metallisches Aluminium zu Aluminat reagiert und Schwermetalle gelöst werden. Die Rückstände werden mit dichtenden, mineralischen Feinanteilen karbonatisch-silikatischer und schluffig-toniger Sedimente intensiv vermengt. Nicht näher ausgeführt wurde, was mit den extrahierten Schwermetallen in weiterer Folge geschieht.

Rückgewinnung der Chloride

Theoretisch wäre es möglich, die in der Abgasreinigung abgeschiedenen Chloride zu reinigen, aufzukonzentrieren und am Markt abzusetzen, um so den Kreislauf für diese Stoffgruppe zu schließen. Jedoch ist der Marktwert der Chlorsalze sehr niedrig und der Aufwand für die Trennung von schädlichen Schwermetallsalzen sehr hoch.

3.1.4 Bewertung der technologisch/organisatorischen Optionen für Abfallvermeidung und -verwertung von Aschen, Schlacken und Stäuben aus der Abfallverbrennung

Eine Reduktion der Abfallmengen und deren Schadstoffgehalte wird einerseits durch Abfallvermeidung und andererseits durch eine eingangsseitige Entfrachtung des zur Verbrennung gelangenden Abfalls bewirkt. Die Reduktion des Inputs von Schadstoffen in eine Behandlungsanlage entspricht auch dem Stand der Technik (Stichwort: Reduktion der Emissionen an der Quelle).

Folgende Maßnahmen zur eingangsseitigen Entfrachtung des Restabfalls sollten weiter forciert werden:

- Vermehrte Reparatur von Elektrogeräten.
- Erhöhung der Sammelraten für Elektronikschrott und Batterien.
- Ersetzen von Batterien durch cadmiumfreie Akkumulatoren.
- Ersatz von cadmium- bzw. quecksilberhaltigen Batterien und Akkumulatoren durch cadmium- bzw. quecksilberfreie Batterien und Akkumulatoren.
- Ersatz von quecksilberhaltigen durch quecksilberfreie Messinstrumente.

Für die eingangsseitige Aluminium-Entfrachtung des Restabfalls sollte darauf hingewirkt werden, dass bei Aluminiumverpackungen und aluminiumhaltigen Verbundverpackungen die Raten der getrennten Sammlung steigen.

Generell sollten vor der thermischen Behandlung von hoch belasteten Abfällen vergleichende Analysen der möglichen und verfügbaren Techniken unter Berücksichtigung des Vorsorgeprinzips und einer integrierten Betrachtung durchgeführt werden.

Im Fall der Grobasche und der Flugasche kann eine ausgangsseitige Entfrachtung oder eine Fixierung der Schadstoffe eine Verbesserung des Deponieverhaltens (Gesamtgehalte und Eluatverhalten) bewirken.

Die dafür zur Verfügung stehenden Verfahren sollten vor allem dann hinsichtlich ihrer praktischen Anwendbarkeit geprüft werden, wenn der Eintrag von Schadstoffen in eine Anlage hoch ist und anderweitig – d. h. nach Prüfen alternativer Vermeidungs- und Behandlungswege – nicht verhindert werden kann (z. B. im Fall der Shredderleichtfraktion oder von diversen industriellen und gewerblichen Abfällen). Die Möglichkeiten zur Wiedergewinnung der Schwermetalle sollte in so einem Fall geprüft werden.

Diese Prüfung sollte sich auf Betriebserfahrungen von entsprechenden Anlagen unter Berücksichtigung der jeweiligen Rahmenbedingungen und des Vorsorgeprinzips stützen. Eine integrierte Betrachtung von Aufwand und Emissionen ist anzustellen.

Zusätzlich wird empfohlen, die Betriebserfahrungen aus der Anwendung des Martin-SYNCOM Verfahrens (für welches derzeit noch keine Betriebsdaten vorliegen) zu sammeln und hinsichtlich der ökologischen Vorteile zu überprüfen.

3.2 Rückstände und Abfälle aus Mitverbrennungsanlagen

Bei der Mitverbrennung kommt es infolge der Minderung von Luftemissionen nach dem Stand der Technik in Abhängigkeit von der Menge und der Zusammensetzung der eingesetzten Abfälle zu einer stärkeren Belastung des Abwassers aus der Rauchgaswäsche und der Asche aus der trockenen Abscheidung.

Bei der Grob- und Flugasche ist im Vergleich zur reinen Kohlefeuerung mit höheren Gehalten an Cl, P und Schwermetallen zu rechnen.

Aus der Sicht eines vorsorgenden Umweltschutzes, aber auch im Interesse der Kraftwerks- bzw Anlagenbetreiber, darf sich die Qualität der Aschen und des REA-Gipses durch die Mitverbrennung nicht verschlechtern, um bestehende Möglichkeiten der Weitergabe an die Zement- und Baustoffindustrie weiterhin nutzen zu können. Durch diese Forderung können in der Regel nur Abfallfraktionen, deren Zusammensetzung (z. B.: hinsichtlich Schwermetalle) ähnlich der von Kohle ist und vergleichbar geringen Schwankungen unterliegt, mitverbrannt werden.

Üblicherweise wird die Zusammensetzung der Abfälle kontrolliert bzw. der Abfalleinsatz auf wenige Prozent beschränkt. Allerdings führt eine rein mengenmäßige Beschränkung des Abfalleinsatzes aufgrund der – im Vergleich zu Abfallverbrennungsanlagen – nicht vorhandenen oder weniger effektiven Senken zu einer Verteilung von Schadstoffen in Luft, Wasser, festen Abfällen und gegebenenfalls Produkten (auch unter Einhaltung von Normen und Emissionsgrenzwerten).

3.3 Rückstände und Abfälle aus Kraftwerken

Der Brennstoffeinsatz in Kraftwerken richtet sich nach den Marktbedingungen (v. a. Brennstoffpreis, Strompreis), dem Bedarf und den klimatischen und hydraulischen Bedingungen. In der Regel sind Kohlekessel für eine gewisse Bandbreite der Kohlequalitäten ausgelegt. Eine Verminderung der anfallenden Aschen und Schlacken kann v. a. durch Senkung des Energieverbrauches, durch Brennstoffumstellung und/oder durch eine Erhöhung des Wirkungsgrades erzielt werden. Eine Minderung der Schwermetallgehalte der Rückstände aus der Kohleverbrennung wird durch den Einsatz von „sauberen“ Kohlen mit hohem Heizwert erzielt, wobei der Aschegehalt für die Konzentration der Schadstoffe der entscheidende Parameter ist. Eine Reinigung der Kohle vor der Verbrennung erfolgt im Allgemeinen nicht.

Stand der Technik ist der Betrieb und die Konzeption der Feuerung und der Rauchgasreinigungsanlagen in der Art, dass die Zusammensetzung der Aschen und des REA-Gipses den Qualitätsanforderungen für den Einsatz in der Zement- und Baustoffindustrie entspricht.

Unter der Voraussetzung, dass sich die Eigenschaften des Zements bzw. der Baustoffe (wichtige Parameter sind u. a. der Glühverlust, der Gehalt an Chloriden und der Gehalt an freiem CaO) durch die Zugabe von Kraftwerksrückständen verbessern (z. B. Erhöhung der Langzeitfestigkeit) oder zumindest nicht ändern und keine Anreicherung an Schadstoffen (Schwermetalle) im Endprodukt stattfindet, bestehen folgende Wiederverwendungsmöglichkeiten:

- Einsatz von Gips (Entschwefelungsprodukt aus der nassen Rauchgaswäsche) nach der Trocknung und Entwässerung in der Zement- und Baustoffindustrie.
- Einsatz von Grobasche in der Ziegelindustrie.
- Einsatz von Flugasche als Betonzusatzstoff sowie als Rohmehlbestandteil und/oder Zumahlstoff in der Zementindustrie.

Der Filterkuchen aus der Abwasserreinigungsanlage ist wegen der hohen Schadstoffbelastung im Regelfall entsprechend dem Stand der Technik zu deponieren.

Abfälle, welche aufgrund ihrer Zusammensetzung keiner weiteren Verwendung zugeführt werden können, sind nach dem Stand der Technik zu deponieren.

3.3.1 Flugasche als Zusatzstoff in Beton

Flugasche kann aufgrund seiner puzzolanischen (= latent hydraulischen) Eigenschaften als Betonzusatzstoff verwendet werden und einen Teil des Zementes substituieren. Dabei gilt ein Zusatzstoff nach ON EN 450 als fein verteilter, anorganischer, puzzolanischer Stoff, welcher dem Beton zur Verbesserung seiner Eigenschaften oder zur Erzielung besonderer Eigenschaften zugegeben werden kann.

ON EN 450 regelt die Qualitätsanforderungen an die Flugasche, nicht jedoch deren Anwendung in Beton. Als chemische Parameter sind in dieser Norm Obergrenzen für den Glühverlust (max. 5 %), den Chloridgehalt (max. 0,1 %) und den Gehalt an freiem Calciumoxid (max. 2,5 %) angeführt. Als Anwendungsnormen dienen ON B 4200-10, DIN 1045 sowie die europäische Vornorm ENV 206.

Um den besseren Qualitäten aufbereiteter Flugaschen Rechnung zu tragen, dürfen nach dem nationalen Anhang der ENV 206 diese Flugaschen in größeren Mengen dem Beton zugesetzt werden, wenn sie den Anforderungen der ON B 3309 genügen.

Als zur Verwendung im Beton geeignet hat sich aufbereitete Flugasche erwiesen, welche vom Verbund unter dem Markennamen Flual vermarktet wurde. Flual ist aufbereitete Braunkohleflugasche, die am Standort des KW St. Andrä 2 durch Trocknung, Mahlung und Sichtung hergestellt wird. Wesentlich dabei ist die Verwendung jahrelang frei gelagerter Deponieasche, wodurch es zu einer Deaktivierung der adsorbierenden Wirkung des Aktivkohlegehaltes (diese führen zu unerwünschten Reaktionen mit Betonzusatzmitteln) kommt.

Der Einsatz von Flual ist seit über 30 Jahren erprobt und konnte beim Bau von nachstehenden Objekten eingesetzt werden:

- Talsperren (Maltatal),
- Flusskraftwerke an der Drau, Salzach und am Inn,
- Kühltürme und Schornsteine von kalorischen Kraftwerken,
- Straßen- und Eisenbahntunnel,
- U-Bahn (Wien).

3.3.2 Flugasche in Zement

Flugaschen kommen in der Zementindustrie als Zumahlstoff zur Anwendung. Beim Einsatz als Zumahlstoff erfolgt eine gemeinsame Vermahlung von Flugasche und Zementklinker im Zement- oder Mahlwerk. Gemäß ÖNORM EN 197-1 „Zement“ kann der Zement zwischen 6 und 35 % (Massenanteil) Flugasche enthalten, wobei diese Flugasche aus der reinen Kohlefeuerung stammen muss.

Im Unterschied zur früher gültigen ÖNORM B 3310 („Zement für Bauzwecke“) werden in der ÖNORM EN 197-1 keine Qualitätskriterien für Flugasche selber festgelegt, sondern mechanische, physikalische und chemische Anforderungsprofile für die jeweiligen Zementarten definiert. Hinsichtlich chemischer Parameter wird die Höhe des Glühverlustes, des unlöslichen Rückstandes, des Sulfatgehaltes, des Chloridgehaltes und der Puzzolanität begrenzt.

3.3.3 Flugasche als zementstabilisierte Aschemischung zur Verfüllung von Hohlräumen

Zementstabilisierte Aschemischungen (Braunkohleflugasche, Zement, Wasser) werden vom Verbund unter dem Markennamen SAM zur Verfüllung von Hohlräumen (hauptsächlich Künetten für Fernwärmerohre) eingesetzt.

SAM zeigt dabei folgende Eigenschaften:

- gute Pumpbarkeit und Selbstnivellierung,
- Setzungsfreiheit,
- gute Erhärtung,
- leichte Entfernbarkeit,
- gleichmäßige Zusammensetzung,
- gute Umweltverträglichkeit.



3.3.4 Asche als Versatzstoff im Bergbau

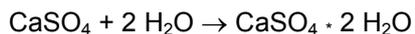
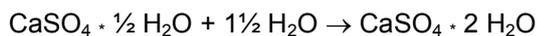
Flug- und Grobaschen aus dem Braunkohlekraftwerk Voitsberg 3 werden zur Verfüllung des nahe gelegenen ehemaligen Kohletagbaues Karlschacht 2 verwendet.

3.3.5 REA-Gips in der Baustoffindustrie

Prinzipielle Anwendungsgebiete von REA-Gips sind die Verwendung als Erstarungsregler bei der Zementherstellung und in der Baustoffindustrie zur Erzeugung von Gipsputzen und Gipskartonplatten. Um den Qualitätsansprüchen für diese Verwendungsmöglichkeiten zu genügen, muss das Rauchgas vor der Entschwefelung hinreichend entstaubt werden. Bei Ausfall der Entstaubung erhöht sich der Grauwert des Gipses, so dass dieser deponiert werden muss.

Vor der Verwendung von REA-Gips in der Baustoffindustrie muss dieser getrocknet und anschließend durch Brennen zu Halbhydrat oder Anhydrit entwässert werden. Baugipse bestehen zu mindestens 50 % aus Dehydratationsprodukten des Gipses.

Baugips erhärtet nach Zugabe von Wasser, wobei folgende Reaktionen stattfinden:



Wichtige Faktoren für die Verwendung in der Baustoffindustrie sind die Größe der Gipskristalle (je größer, desto besser) und der Kristallwassergehalt.

Für die Verwendung des Produktes REA-Gips wurden u. a. von EUROGYPSUM Qualitätskriterien und Analysenmethoden veröffentlicht. Unabhängig von diesen Qualitätskriterien steht es den Abnehmern von REA-Gips frei, mit dem REA-Gipslieferanten weitergehende, auf den Verwendungszweck zugeschnittene Spezifikationen zu vereinbaren. Es gibt keinen Listenpreis für REA-Gips. Der REA-Gipspreis wird bei Vertragsabschluss zwischen Abnehmer und Lieferanten festgelegt und orientiert sich an den vorherrschenden Marktbedingungen. Maßgeblich wird der Frankopreis für REA-Gips vom Logistikkonzept beeinflusst.

Gemäß Punkt 5.4 der ÖNORM EN 197-1 wird Calciumsulfat dem Zement zur Regelung des Erstarrungsverhaltens zugegeben. Calciumsulfat kann Gips (Calciumsulfatdihydrat, Calciumsulfathalbydrat) oder Anhydrit (kristallwasserfreies Calciumsulfat) oder eine Mischung davon sein. Gips und Anhydrit liegen als natürliche Stoffe oder als Nebenprodukte industrieller Verfahren (REA-Gips) vor. Für den Gips selbst gibt es innerhalb der Norm keine Regelungen, allerdings darf der Gehalt an Sulfaten im Zement (angegeben als SO_3) in Abhängigkeit von der Zementsorte maximal 3,5–4 Gew.% betragen, der Chlorid-Gehalt im Zement ist mit 0,1 % begrenzt.

Im Regelfall übernehmen die Kraftwerksbetreiber die Kosten für den Ausgangsstoff des Gipses (Kalkstein) und den Transport des Gipses zum Zementwerk, in manchen Fällen müssen sie bis zu 5 €/t für die Abnahme des Gipses bezahlen.

3.3.6 Rückstand aus dem Sprühabsorptionsverfahren (SAV): Verwendung als Deponiebasisabdichtung und im Bergbau

Der Rückstand aus dem SAV aus der Feuerung von konventionellen Brennstoffen ist gemäß ÖNORM S 2100 als gefährlicher Abfall eingestuft. Manchmal werden die Rückstände der SAV (mit Bescheid) auch unter der Schlüsselnummer 31 315 (REA-Gips) geführt. Für die Verwendung als Düngemittel ist eine Ausstufung erforderlich.

Dieser Rückstand wurde für die Herstellung mineralischer Dichtschichten für den Deponiebau (Klärschlammdeponie Asten), für die Herstellung von Deponieoberflächendichtungen (Hausmülldeponie Steinfeld und Steinabrückl) und im Bergbau eingesetzt. Diese Verwendung entspricht aufgrund der Materialeigenschaften jedoch nicht dem Stand der Technik.

3.3.7 Grobasche aus der Kohlefeuerung

Der weitaus größte Teil der Grobasche wird in der Zementindustrie und in der Baustoffindustrie verwertet, nur ein kleiner Teil wird deponiert.

3.3.8 Flugasche aus der Ölfeuerung

Flugasche eines österreichischen Kraftwerks mit Ölfeuerung (Simmering III) wird zur Wiedergewinnung von Vanadium verwendet.

3.4 Rückstände und Abfälle aus der Metallerzeugung

3.4.1 Eisen- und Stahlindustrie

3.4.1.1 Aufbereitung von Schlacken

Bei der Gewinnung von Roheisen und Rohstahl entstehen neben den gewünschten Produkten prozessbedingt mineralische Reststoffe (Schlacken), die die nichtmetallischen Anteile der Einsatzstoffe enthalten. In den letzten Jahren konnte der Schlackenanteil durch verfahrenstechnische Verbesserungen deutlich reduziert werden (z. B. Reduktion des Anfalls an Hochofenschlacke von 700 kg/t Roheisen auf 220–300 kg/t Roheisen). Eine weitere Reduktion des Schlackenanteils ist aus verfahrens- und produktionstechnischen Gründen praktisch kaum mehr möglich. Die Hochofen- und Stahlwerksschlacken machen ca. 90 % des Gesamtanteils an Schlacke pro Jahr aus. In integrierten Hüttenwerken fallen etwa 375 kg Schlacken pro Tonne Rohstahl an.

Die Schlackenverwertung hat bereits lange Tradition. Schlacken aus dem Thomas-Prozess wurden als Düngemittel verwendet, Hochofenschlacken im Straßenbau und in der Zementherstellung. Heute liegt die Behandlungsquote bereits bei 90 %. Produkte aus Schlacken unterliegen einer regelmäßigen Gütekontrolle. Entsprechend wird bei modernen Hochöfen die Fahrweise so eingestellt, dass sowohl die Qualität des Roheisens als auch der Schlacke optimiert wird. In Abb. 28 sind die Verwertungsmöglichkeiten von Hochofen- und Stahlwerksschlacken dargestellt.

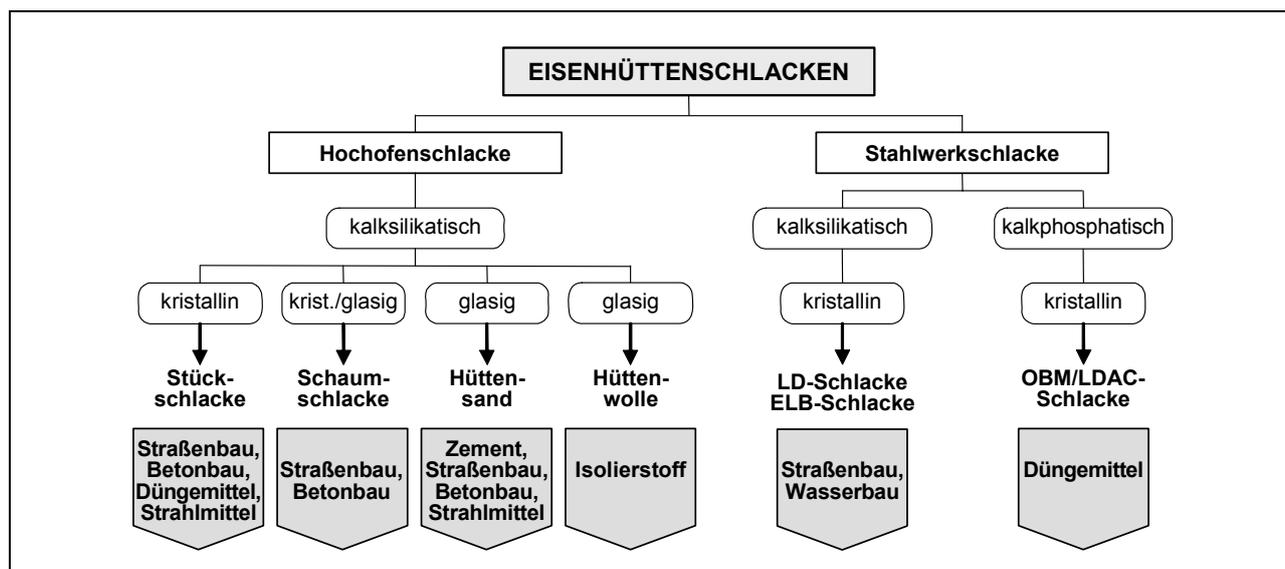


Abb. 28: Übersicht der Behandlungsmöglichkeiten von Hochofen- und Stahlwerkschlacken (FEHS 1992).

Hochofenschlacke

Das mengenmäßig bedeutsamste Nebenprodukt, das beim Hochofenprozess anfällt, ist die Hochofenschlacke. Pro Tonne Roheisen fallen heute etwa 220 bis 300 kg Hochofenschlacke an. In den 50er Jahren betrug der Schlackenanfall pro Tonne Roheisen noch 700 kg (PHILIPP et al. 1993).

Je nach Abkühlbedingungen erstarrt die Hochofenschlacke zu kristalliner *Hochofenstückschlacke*, zu poriger *Hochofenschaumschlacke* (Hüttenbims) oder zu feinkörnigem *Hüttensand*.

Die chemische Zusammensetzung (siehe Tab. 87) ist abhängig von der Gangart und dem hergestellten Roheisen. Neben der chemischen Zusammensetzung ist auch die Auslaugbarkeit (Eluation) von umweltgefährdenden Inhaltsstoffen (insbesondere Schwermetalle) von Bedeutung. Hochofenschlacke in Form von Stückschlacke und Hüttensand ist bezüglich ihrer Eluatwerte als unbedenklich zu bezeichnen.

Inhaltsstoffe	HO-Schl. in M %
SiO ₂	33–40
Al ₂ O ₃	8–14
CaO	31–42
MgO	7–15
Fe _{gesamt}	0,2–0,7
Mn _{gesamt}	0,2–0,8
P ₂ O ₅	< 0,05
Na ₂ O	0,3–1,2
K ₂ O	0,6–1,2
S _{gesamt}	0,7–1,6
TiO ₂	0,1–2,7
CaO/SiO ₂	0,8–1,2
(CaO + MgO)/SiO ₂	1,0–1,3

Tab. 87:
Chemische
Zusammensetzung von
Hochofenschlacke
(HO-Schl.) in M %
(JUCKES 1995).

Tab. 88 fasst die Aufbereitungsmöglichkeiten von Hochofenschlacke zusammen. Die Produkte Hüttenwolle und Hochofenpellets werden in Österreich nicht erzeugt, die Herstellung von Hüttenbims wurde eingestellt.

Tab. 88:
Aufbereitungs-
möglichkeiten von
Hochofenschlacke.

Aufbereitung	Struktur	Produkt
Langsame Abkühlung an der Luft	Kristallines Gefüge	Hochofen- stückschlacke
sehr schnelle Abkühlung mit Wasser in Granulationsanlagen	Glasig, amorph	Hüttersand
mittlere Abkühlung in Verbindung mit gezieltem Einleiten von Gasen oder durch freigesetzte Gase bei der Erstarrung	Hochporös teils glasig/teils kristallin erstarrt	Hüttenbims
Verdüsen mit Luft oder Wasserdampf	Feinfaserig, glasig erstarrt	Hüttenwolle
flüssige Schlacke fließt auf rotierende, wassergekühlte Walze und wird dabei abgerissen	Feine Fraktion: fast völlig glasig grobe Fraktion: teils glasig/ teils kristallin	Hochofen- schlacken- pellets

Stahlwerksschlacken

Stahlwerksschlacken (LD-Schlacken) unterscheiden sich in ihrer stofflichen Zusammensetzung erheblich von der Hochofenschlacke (siehe Tab. 89 und Tab. 87).

Pro Tonne Rohstahl fallen etwa 120–150 kg an Stahlwerksschlacke an. Die chemische Zusammensetzung der Schlacke ist stark vom jeweiligen Stahlerzeugungsverfahren, den Zuschlagstoffen etc. abhängig. Im Wesentlichen unterscheidet sie sich im Kalk-, Phosphat-, Silikat- und Eisenanteil. Für die Verwertbarkeit der Schlacken ist die Auslaugbarkeit von umweltgefährdenden Inhaltsstoffen das Einteilungskriterium für die Behandlung (Zuordnung von Abfällen zu Deponietypen). Bei Stahlwerksschlacken gilt ebenso wie für Hochofen- und Elektroofenschlacken, dass die Eluatwerte deutlich unter den vorgeschriebenen Grenzwerten für die Deponierung liegen.

Stahlwerksschlacken werden meist an der Luft abgekühlt und erstarren daher meist kristallin. LD-Konverterschlacken werden für den Tiefbau bzw. als Sekundärrohstoff zur Eisenrückgewinnung eingesetzt oder nach Konditionierung deponiert (UMWELTBUNDESAMT 2004).

Tab. 89:
Chemische
Zusammensetzung von
BOF-Schlacken in M %
für LD- und LD/AC-
Verfahren (JUCKES 1995;
KÜHN 1992 et al.;
GEISELER 1991).

Inhaltstoffe	LD (M %)	LD/AC (M %)
CaO	36–50	50
SiO ₂	10–15	9
Al ₂ O ₃	1,0–3,5	< 2
MgO	4–8	< 3
Fe _{gesamt}	18–24	12
Fe _{metallisch}	< 1	< 1
MnO	5	< 4
P ₂ O ₅	0,7–2,0	15
Cr ₂ O ₃	< 1	< 1
CaO _{frei}	< 10	< 7
S _{gesamt}	0,1–0,2	k. A.
CaO/SiO ₂	2,9–4,3	4



Elektroofenschlacke

Elektroofenschlacke unterscheidet sich von LD-Schlacken im Wesentlichen durch einen geringeren Gehalt an freiem, chemisch ungebundenem Kalk (siehe Tab. 90). Pro Tonne Rohstahl fallen etwa 80–150 kg an EAF-Schlacke je nach eingesetztem Produktionsverfahren an. Beispielsweise ist der Schlackenanteil bei der Produktion von Edelstählen höher (ca. 170 kg/t) als bei der Grund- und Qualitätsstahlerzeugung (ca. 130 kg/t). Weiters bestimmen die spezifischen Einsatzstoffe wie Schrott, Zuschläge und Legierungselemente die chemische Zusammensetzung der Schlacken. Laut UMWELTBUNDESAMT (2001c) eignet sich Elektroofenschlacke aufgrund der hohen Festigkeit und Unempfindlichkeit gegen Schwankungen des Wassergehaltes gut für den Einsatz im Straßen- und Wasserbau.

Inhaltstoffe	EAF (Grund- und Qualitätsstahl)	AOD* (Edelstahl)	Entschwefelung
CaO	35–45	35–50	50–60
SiO ₂	10–18	25–35	15–25
Al ₂ O ₃	3–8	1–10	< 4
MgO	7–15	4–7	1–5
Fe _{gesamt}	10–30	< 2	< 1
Fe _{metallisch}	< 1	< 1	< 1
MnO	< 1	k. A.	< 1
P ₂ O ₅	< 1	< 0,4	< 1
Cr ₂ O ₃	< 2	1–5	< 1
CaO _{frei}	< 5	< 5	< 10
S _{gesamt}	0,2–1	< 0,4	1

* AOD: Argon-Oxygen-Decarburization (Edelstahlproduktion)

Tab. 90:
Chemische
Zusammensetzung von
EAF-Schlacken in M %
für die Grund-, Qualitäts-
und Edelstahlproduktion
(UMWELTBUNDESAMT
2001c).

Die vielfältigen Möglichkeiten zur **Aufarbeitung von Schlacken** sind in den folgenden Unterkapiteln zusammengefasst (nur wenige Verfahren davon sind tatsächlich im großtechnischen Maßstab in Verwendung). Bei Hochofenschlacke gewinnt die Aufbereitung zu Hüttensand zunehmend an Bedeutung.

Hüttensand zur Herstellung von Zementen

Hochofenschlacke, die vor allem aus Kalk, Kieselsäure, Aluminium- und Magnesiumoxid besteht, wird heute meist in Granulationsanlagen aufgearbeitet. Durch das Abschrecken der flüssigen Schlacke entsteht ein glasig erstarrter, feinkörniger Hüttensand. Dieser eignet sich besonders als Rohstoff für die Herstellung von hochwertigen Zementen.

Aufbereitung von Hochofenschlacke zu Düngemitteln

Aus Hochofenschlacke können durch langsames Erstarren und anschließender Aufbereitung (z. B. Vermahlen, Granulation von vermahlener Hochofenschlacke, Absieben, Anreicherung mit Rohphosphat) hochwertige Produkte (Hüttenkalke) hergestellt werden. In den Boden eingebrachte Hüttenkalke setzen ihren Kalkanteil nach den Bedürfnissen der Pflanzen frei.

Aufbereitung von Eisenhüttenschlacken mit Wärmerückgewinnung

Bei der Aufarbeitung von heißer, flüssiger Hochofen- und Stahlwerksschlacke werden große Wärmemengen frei. Um diese ungenutzte Abwärme rückgewinnen zu können, wurden Anlagen entwickelt, die sowohl verkaufsfähiges Schlackeprodukt herstellen als auch die Abwärme nutzbar machen.

Aufbereitung von Stahlwerksschlacke zu Straßenbaumaterial

Das folgende Zitat stammt aus einer Studie des Umweltbundesamtes (UMWELT-BUNDESAMT 2001c):

„Dazu werden flüssige Stahlwerksschlacken in Beete gegossen und erstarren unter Ausbildung einer kristallinen Struktur. Die Eisenpartikel können durch magnetische Sedimentation abgetrennt werden und finden als Eisenträger wieder ihren Einsatz im Hüttenwerk. Der verbleibende Schlackenanteil wird in Brech- und Siebanlagen zu Produkten stückiger oder körniger Struktur aufgearbeitet. Die Eisenrückgewinnung kann wiederholt werden. Vor dem Einsatz im Straßenbau oder im Wasserbau müssen die Schlackenprodukte auf ihren Anteil an freiem Kalk untersucht werden, da nur raumbeständige Materialien dafür eingesetzt werden können.“

Aufbereitung von Stahlwerksschlacke zu Düngemittel

Bei der Stahlerzeugung fallen kalksilikatische Konverterschlacken mit geringem Gehalt an Phosphor an. Diese werden vermahlen und anschließend durch Aufbereitungsschritte zu verschiedenen Düngemitteln verarbeitet.

3.4.1.2 Verfahren zur hütteninternen Behandlung von Stäuben, Schlämmen und Walzzunder

Eisenhaltige Hüttenreststoffe und -abfälle, die aufgrund ihrer physikalischen bzw. chemischen Beschaffenheit nicht direkt in die metallurgischen Primärprozesse rückgeführt werden können, müssen vor dem Wiedereinsatz einer Behandlung bzw. Aufbereitung unterzogen werden.

Zu diesen Reststoffen und Abfällen zählen insbesondere

- Filterstäube mit hohen Zn-Konzentrationen,
- Schlämme (Gichtgasschlamm, Konverterschlamm),
- ölhaltiger Walzzunder (> 1–2 % Ölanteil).

Heißbrikettierung

Um einen Wiedereinsatz des im LD-Prozess anfallenden Grob- und Feinstaubes als Ersatz für Schrott und Kühlerz im Konverter zu ermöglichen, müssen diese zu Briquets agglomeriert werden.

Für die Brikettierung gibt es zwei Verfahrensvarianten: die gleichzeitige Beschickung von Grob- und Feinstaub (Lurgi-Variante) bzw. die getrennte Beschickung (Thyssen-Variante).



Durch die wiederholte Rückführung der Briketts in den Konverter steigen der Zink- und der Bleigehalt im Staub kontinuierlich an. Es findet eine Aufkonzentration von Zn im Staub bis zu 17–35 % statt. Um den Zn-Gehalt konstant zu halten (ca. 18–20 %), müssen ca. 6 % der Gesamtmenge der Zn-reichen Staubfrachten regelmäßig ausgeschleust werden. Dieser mit Zn angereicherte Staub (> 20 %) kann als Sekundärrohstoff außerhalb des Hüttenwerkes in einer NE-Metallhütte für die Zinkgewinnung weiterverarbeitet werden. Die Rückführung der Briketts ist allerdings mit erhöhtem Energieverbrauch im Schmelzaggregat verbunden (Reduktion und Verdampfung von Zink und Blei).

Konverterschlammrückführung

Mehr als 90 % aller Konverter weltweit werden nass auf Basis von Venturi-Wäschern entstaubt. Damit verbunden ist der Anfall von großen Mengen an Konverterschlämmen, die bisher nicht behandelt wurden und daher deponiert werden mussten. Der Konverterschlamm wird aus dem Sedimentationsbecken zuerst in einer Filterpresse entwässert und unter Beigabe von gebranntem Kalk und anderen Zuschlagstoffen als Bindemittel agglomeriert (ca. 25 % freier Wassergehalt). Eine weitere Trocknung und Abtrennung von nichteisenhaltigen Komponenten (Zn, Pb, Alkalien) erfolgt in einem Drehrohrofen. Der granuliert eisenreiche Reststoff kann danach wieder in den BOF rückgeführt und eine Deponierung vermieden werden.

Großtechnische Betriebserfahrungen liegen nicht vor.

Indirekt beheizter Drehrohrofen zur Entölung von Walzzunderschlamm

Ziel des Verfahrens ist die Trocknung und Entölung von Walzzunderschlamm, um die Wiederverwendung der eisenhaltigen Abfälle in metallurgische Prozesse (Sinteranlage, BOF, EAF) zu ermöglichen. Der Walzzunderschlamm wird in einen indirekt beheizten Drehrohrofen chargiert.

Großtechnische Betriebserfahrungen liegen für den indirekt beheizten Drehrohrofen noch keine vor. Ein mit Brennern direkt beheizter Drehrohrofen zur Behandlung von Walzzunderschlamm wird bei den Mannesmann Röhrenwerken in Mühlheim (D) eingesetzt. Die Jahreskapazität beträgt ca. 12.000 t/a.

Hydrozyklon-Verfahren

Die Zn/Pb-Konzentration hängt stark von der Korngröße des Gichtgasschlammes ab. Bei den kleinsten Partikeln (< 5 µm) ist die Zn-Konzentration deutlich höher als bei den groben Kornfraktionen. Aufbauend auf dieser Erkenntnis wurde ein hydro-mechanisches Verfahren entwickelt, das eine gezielte Korngrößen-fraktionierung ermöglicht. Das so genannte Hydrozyklon-Verfahren funktioniert nach dem Prinzip eines Luft-Zyklons, wobei Wasser als tragendes Medium eingesetzt wird.

Das Hydrozyklon-Verfahren wird bereits bei mehreren Stahlwerken (z. B. British Steel, Hoogovens/NL) erfolgreich großtechnisch eingesetzt.

Carbofer[®]-Verfahren und Behandlung von Stäuben im EAF

Der Carbofer[®]-Prozess („Carbon“ und „Ferrite“) ist ein Verfahrenskonzept, bei dem eine Mischung aus ölhaltigem Walzzunder, EAF-Staub, Kohlenstaub und Kalk über eine Einblasvorrichtung in ein EAF-Schmelzaggregat eingeblasen und verwertet werden kann.

Neben der speziellen Carbofer[®]-Mischung gibt es eine Vielzahl von Pilotversuchen, EAF-Staub direkt in das EAF-Schmelzaggregat einzublasen und damit den Zn-Gehalt > 30 % im Staub anzureichern und für die externe Behandlung in NE-Metallhütten aufzubereiten.

Zirkulierende Wirbelschicht

Mit dem Verfahren der zirkulierenden Wirbelschicht sollen vor allem feinkörnige Reststoffe (Stäube, Schlämme) mit mittleren Zinkgehalten (1–10 %) so aufbereitet werden, dass die zinkreiche Fraktion (> 25 %) in einem nachfolgenden Wälzrohr weiter angereichert und den entsprechenden Verwertungswegen zugeführt werden kann. Die verbleibende eisenreiche Fraktion kann über die Sinteranlage rezirkuliert werden.

Grundprinzip des Verfahrens ist die selektive Reduktion der Nichteisenmetalloxide in einem zirkulierenden Wirbelbett bei hohen Temperaturen.

Im Vergleich zu anderen Entzinkungsverfahren hat der Prozess der zirkulierenden Wirbelschicht den Vorteil, dass er eine selektive Reduktion der leichtflüchtigen Elemente ohne vorherige Reduktion des im Reststoff beinhalteten Eisenoxides ermöglicht.

Als Produkte werden Eisenoxid und an Zink angereicherter Staub (ca. 25–35 % Zink-Gehalt) gewonnen. Ein großer Nachteil des Verfahrens (beim heutigen Entwicklungsstand) liegt darin, dass der Restzinkgehalt des Eisenoxids mit 0,3 % für eine Rückführung der eisenreichen Fraktion in den Hochofen zu hoch ist.

Großtechnisch wurde das Verfahren noch nicht realisiert.

3.4.1.3 Hüttenexterne Aufbereitung von Stäuben, Schlämmen und Walzzunder

Neben den Prozessen und Maßnahmen, die eine Aufbereitung und den direkten Wiedereinsatz von eisenhaltigen Hüttenreststoffen und -abfällen in die metallurgischen Primärprozesse ermöglichen, gibt es Verfahren, die hüttenextern zur Behandlung von Hüttenreststoffen und -abfällen verwendet werden.

Inmetco-Direktreduktionsverfahren

Der wichtigste Prozess zur Behandlung eisenreicher Hüttenreststoffe und Hüttenabfälle ist der so genannte Inmetco-Prozess.

Zu jenen Reststoffen und Abfällen eines integrierten Hüttenwerkes, die durch das Inmetco-Verfahren aufgearbeitet werden können, zählen:

- Gichtgasstäube (Feinstäube),
- Gichtgasschlämme aus der Nassreinigung,
- Stahlwerksstäube aus der Konverterabgasreinigung,
- Stahlwerksschlämme aus der Konverterabgasreinigung,

- Filterstäube aus der Abgasreinigung der Sinteranlage,
- Filterstäube aus Hallen- und Bunkerentstaubungen
- und ölhaltiger Walzenzunder.

Der Prozess besteht aus drei Verfahrensstufen, der Grünpelletherstellung, der Direktreduktion und der Weiterverarbeitung des Eisenschwammes (Abb. 29). Es werden zwei Produkte erzeugt. Einerseits Eisenschwamm, der zu einem hohen Prozentsatz von Schwermetallen und weitgehend von Alkalien befreit ist und andererseits Sekundärstaub, dessen Schwermetallkonzentration (Zn/Pb) so hoch ist, dass er für die Weiterverarbeitung und Wiedergewinnung geeignet ist.

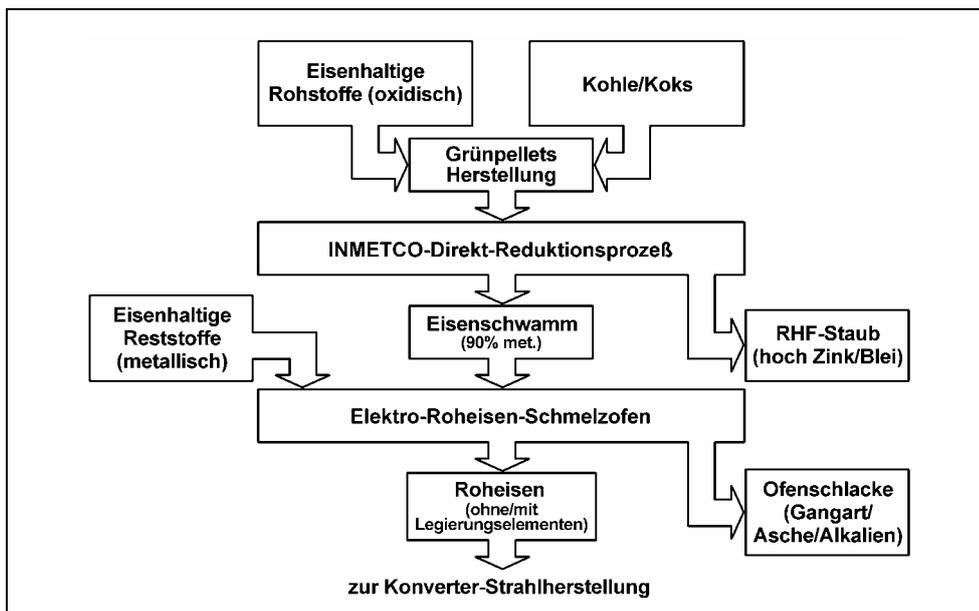


Abb. 29:
Verfahrensschema
des Inmetco-Direkt-
reduktionsverfahrens
(UMWELTBUNDESAMT
2001c).

Wälzverfahren

Der Wälzprozess ist das am weitesten verbreitete Direktreduktionsverfahren. Haupteinsatzgebiet in der Hüttenindustrie ist die Aufbereitung von Stäuben aus der Stahlerzeugung (BOF, EAF), die bereits einen hohen Zinkgehalt (über 20 %) aufweisen. Mit dem Wälzprozess können allerdings nur Zn und Pb zurückgewonnen werden. Der Eisenanteil bleibt in der Schlacke gebunden und kann nicht weiterverwertet werden.

Hydrometallurgische Verfahren

Hydrometallurgische Verfahren spielen in der Praxis eine untergeordnete Rolle, da die anfallenden Abfälle (eisenhaltige Rückstände) nach wie vor deponiert werden müssen.

Die einzige großtechnische realisierte Anlage, auf Basis der Cebedau-Laugung steht in Frankreich (Kapazität ca. 12.000 t/a).

Cebedau-Laugung

Hierbei erfolgt die Separation der Nichteisenmetalle aus dem Elektroofenstaub mit Hilfe von Natronlauge.

3.4.2 Nichteisenmetallindustrie

3.4.2.1 Sekundäraluminiumindustrie

Die Abfälle bzw. Reststoffe aus der Sekundäraluminiumerzeugung sind gemäß Stand der Technik zu behandeln. Das betrifft einerseits Krätze und Krätzestaub aus der Krätzeverarbeitung, Filterstaub und den prozessbedingten Ofenausbruch sowie andererseits Salzschlacke, die im Hinblick auf Rückgewinnung von Aluminium und Salz sowie durch Verwertung des Tonerderückstandes aufgearbeitet werden kann.

Salzschlacke

Bei der Aufbereitung von Salzschlacke sind gemäß Stand der Technik folgende Fraktionen erfassbar:

- Aluminiumgranulat (wird in der Sekundäraluminiumproduktion wieder eingesetzt).
- Tonerderückstand (kann bei < 0,2 % Salzgehalt in der Zementindustrie als Al_2O_3 -Träger eingesetzt werden).
- Schmelzsalz (kann wieder im Drehtrommelofen eingesetzt werden).
- Abgase.
- Ammonsulfat aus der Nassreinigung (Einsatz in Düngemittelproduktion).

Tab. 91:
Zusammensetzung des
Tonerderückstands in
Gewichtsprozent
(BECKMANN 1991).

Inhaltsstoff	Typischer Analysenwert (%)	Bandbreite (%)
Al_2O_3	44	40–50
Mg-Al-Spinell	32	30–35
div. andere Al-Verbindg.	6	5–10
SiO_2	11	10–15
Na-Silikat, -silikofluorid	1	1–2
CaF_2 , Gips	5	4–6
Ba, Sr-Carbonat, -sulfat	0,6	0,2–1
div. Cu, Ni, Pb, Zn-Sulfide	0,5	0,2–1
NaCl, KCl	< 0,4	-0,4

Tab. 92:
Schwermetallgehalt von
Tonerderückstand
(UMWELTBUNDESAMT
2000).

Element	Gehalt (%)	Element	Gehalt (%)
Cu	0,15–0,5	Ni	0,01–0,03
Zn	0,05–0,17	As, Be, Co	jeweils < 0,01
Pb	0,0015–0,15	Hg, Cd	jeweils < 0,0002
Cr	0,0075–0,065	V	< 0,05



Die Aufbereitung von Salzschlacke ist heute bereits Stand der Technik und erfolgt im Allgemeinen nach dem Löse-Kristallisationsverfahren (BUS-Verfahren). Dieses Verfahren umfasst 5 Prozessschritte:

1. Mechanische Zerkleinerung, Sieben und trockene Aluminium-Abscheidung.
2. Verlösen, Entgasen, Herstellung einer Fest/Flüssig-Suspension.
3. Abscheiden der im Löseprozess entstehenden Schadgase.
4. Eindicken, Filtration, Gewinnung des tonerdehaltigen Rückstandes.
5. Kristallisieren, Zentrifugieren, Gewinnung des Recyclingsalzes.

Mit diesem Prozess können die bei der Sekundär-Aluminiumproduktion anfallenden Salzschlacken sowie Krätzestäube verwertet werden. Die gewonnenen Mengen Aluminium-Granulat, Mischsalz und Tonerderückstand hängen von der Zusammensetzung der eingesetzten Schlacken ab.

Weitere Behandlungswege

Verarbeitung von Salzschlacke bei ARTS in Cleveland

Die Anlage des amerikanischen Betriebes ist für die Aufarbeitung von Krätzen, die auch einen gewissen Salzgehalt aufweisen, konzipiert. Dadurch besteht auch prinzipiell die Möglichkeit, Salzschlacken im Prozess zu verarbeiten.

Das Verfahren umfasst eine Mahlung des Einsatzmaterials mit anschließender Klassierung. Die so gewonnenen Fraktionen werden zur Entfernung des löslichen Anteiles mit kaltem Wasser gelaugt und mittels Siebung weiter aufgetrennt. Durch Kristallisation wird der Salzgehalt der Lauge zurückgewonnen. Durch die wiederholte Klassierung erfolgt eine Auftrennung in eine Grobfraktion, die im Schmelzofen zur Rückgewinnung des metallischen Aluminiums eingesetzt wird, in eine Al-haltige Feinfraktion, die in der Stahlindustrie Anwendung findet, sowie einen tonerdehaltigen Rückstand, der zum Teil in der Mineralfaser- und Schleifmittelproduktion eingesetzt wird.

Verarbeitung der Salzschlacke bei der Fa. Aluscan in Norwegen

Die Verarbeitung der Salzschlacke erfolgt mittels Backen- und Rotationsbrechern, in der Folge wird das Material in Rotationsmühlen mit Wasser gemahlen und das metallische Aluminium abgeseibt. Die Aluminiumfraktion wird getrocknet und mechanisch/magnetisch aufbereitet.

Die von der Al-Fraktion abgetrennte Feststofffraktion besteht aus Tonerde, kleinen Salzkümpeln, Steinen, Blechen und Armierungseisen und wird auf eine nahe gelegene Deponie geführt. Die Deponie ist ein vertikaler Schacht, dessen Verbindungen mit der Mine verbetoniert wurden. Die Sickerwässer werden in den Fjord gedrückt.

Die salzhaltige Wassersuspension wird gemeinsam mit dem Abwasser des Wäschers in die Mine gepumpt und erreicht nach unbestimmter Zeit einen dem Fjord vorgeschalteten Sandfilter. Das Prozesswasser erfährt eine Sedimentation suspendierter Feststoffpartikel und eine starke Verdünnung mit Süßwasser.

Verarbeitung von Salzschlacke bei der Firma K+S (Kali und Salz) – REKAL-Verfahren

Die Salzschlacke dient als Rohstoffersatz für das Kaliwerk, nur KCl wird gewonnen. Das Verfahren umfasst vier Prozessschritte und arbeitet weitgehend abwasserfrei. Bei diesem Verfahren fallen Aluminium-Metall, KCl, Tonerde mit NaCl, Ammonsulfat und eine phosphat- und sulfathaltige Lauge an.

Die mit NaCl vermischte Tonerde wird auf der Salzhalde des Betriebes gelagert.

Verarbeitung von Salzschlacke bei SALTS in Wendover, UTAH (USA)

Die Anlage nutzt Wind- und Solarenergie, um die Salzsolen einzudampfen.

Filterstaub

Derzeit wird Filterstaub aus der Sekundäraluminiumproduktion üblicherweise noch deponiert, wobei diese Vorgangsweise aufgrund der eluierbaren Komponenten sowie der anorganischen und organischen Schadstoffe (z. B. PCDD/F) nicht dem Stand der Technik entspricht. Bei einer Deponierung muss zumindest sichergestellt werden, dass die Grenzwerte der Deponieverordnung nicht überschritten werden und die PCDD/F-Fracht nicht freigesetzt wird. Im Allgemeinen ist das nur durch Vorbehandlung erreichbar, eine andere Möglichkeit besteht in der Ablagerung in Untertagedeponien (nach entsprechender Verpackung in big-bags).

Die Abluftreinigung der zwei starren Drehtrommelöfen der AMAG casting erfolgt seit 1998 mittels Trockensorptionsverfahren: Der abgeschiedene Filterstaub wird als Additiv im Vorfilter eingesetzt. Der anfallende Filterstaub des Vorfilters wird als Abdecksalz in den Drehtrommelöfen verwendet, eine Weiterbehandlung erfolgt daher schlussendlich mit der Salzschlacke.

Eine Behandlung von Filterstaub wird beispielsweise von der Fa. Ryder Point (GB) bei der Produktion von Entschwefelungsmitteln für die Stahlindustrie praktiziert. Dem Entschwefelungsmittel auf Basis $\text{CaO-CaF}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ wird ein gewisser Prozentsatz Filterstaub (5–15 %) zugesetzt.

In Deutschland arbeitet eine Anlage zur Aufarbeitung der Filterstäube nach einem thermischen Verfahren, wobei der Salzinhalt zurückgewonnen wird. Bei diesem Verfahren erhält man durch Behandlung mit Wasser eine Sedimentationsphase (unlösliche Anteile, Hydroxidschlämme), eine Flüssigphase mit gelösten Salzen, eine Aufschwimmphase (organische Stoffe, schlecht netzbare Anteile) sowie eine Gasphase (NH_3 , Amine).

Ein ähnliches, jedoch weiter gehendes Verfahren zur Behandlung der Filterstäube wurde mit der Zielsetzung PCDD/F-Zerstörung, Wertstoffrückgewinnung und Verwertung oder Ablagerung der Rückstände entwickelt. Denkbar scheint durch die vorgeschaltete thermische Behandlung eine Aufarbeitung von Filterstäuben in Salzschlackenaufbereitungsanlagen.

Ofenausbruch

Der aus der Sekundäraluminiumherstellung und aus Gießereien stammende Ofenausbruch wird heute zumeist noch deponiert. Der Einsatz von Ofenausbruch zur Herstellung von Ofenspritzmassen ist grundsätzlich möglich. In geringem Umfang wird Ofenausbruch wie Krätze aufgearbeitet.



Krätze

Die Krätze wird aufgearbeitet, um den darin enthaltenen Metallgehalt, der bis zu 80 % betragen kann, möglichst vollständig zurückzugewinnen. Dabei kann nach drei verschiedenen Verfahrensweisen vorgegangen werden (MORITZ 1989):

- Eine schnelle Krätzekühlung in Trommelkühlern, um den Abbrand des Metallgehaltes zu unterbinden, mit anschließender Aufmahlung und Gewinnung verschiedener Siebfraktionen,
- das Auspressen des noch flüssigen Metalls mit einer hydraulischen Presse aus der heißen Krätze nach dem Compa-Verfahren (PECHINEY ALUMINIUM ENGINEERING 1986) oder dem Verfahren der ALTEK International Inc. und
- eine zweistufige Aufarbeitung, wobei der erste Schritt im Ausrühren eines Großteils des Metalls aus der noch heißen Krätze besteht. Im zweiten Schritt wird die restliche Krätze schnell gekühlt und anschließend aufgemahlen.

Die nach dem Aufmahlen gewonnene Grobfraktion enthält etwa 70–85 % Al-Metall. Sie wird als Rohstoff in der Sekundäraluminiumproduktion eingesetzt. Die Feinfraktion (Krätzestaub) kann bei der Salzschlackenaufbereitung eingesetzt werden.

Die komplette Krätze kann auch im Plasma geschmolzen werden, um metallisches Aluminium wiederzugewinnen (LAVOIE & LITALIEN 1993). Die Krätze aus diesem Prozess enthält laut Firmenangaben 16 % AlN und ist wegen der dadurch bedingten Ammoniakausgasung problematisch zu handhaben. Dieser Prozess wird in Kanada von ALCAN angewandt. Er ist jedoch mit hohen Stromkosten verbunden.

Zusammenfassung:

Krätzen sind prozessbedingte Abfälle bzw. Reststoffe. Bei allen salzfrei betriebenen Schmelzöfen kommen zu dem durch Oxidation der Metallbadoberfläche entstehenden Oxid noch die mit dem Schrott eingetragenen Oxide dazu, dadurch erhöht sich der Krätzeanfall. Um den Krätzeanfall in Grenzen zu halten, sind in salzfrei betriebenen Schmelzöfen nur Materialien einzusetzen, die mit einem Minimum an Oxidanhaftungen versehen sind, d. h. mit Metallausbeuten > 93%.

Filterstäube aus der Rauchgasreinigung entstehen bei Primär- und Sekundärproduktion in ähnlichen Mengen. Bei der Sekundäraluminiumproduktion wird der Filterstaubanfall sowohl vom verwendeten Ofentyp wie vom Salzeinsatz bestimmt. Salzbeaufschlagte Drehtrommelöfen weisen einen höheren Filterstaubanfall auf als Herdöfen: verdampfte und hydrolysierte Chloride sowie Feinststaubanteile des chargierten Materials gehen in den Filterstaub; bei Herdöfen (z. B. Closed-well Ofen) entfällt das verdampfte Salz, daher ist der Filterstaubanfall geringer.

Ofenausbruch ist prozessbedingt und daher nicht vermeidbar.

Der typische Abfall bzw. Reststoff aus der Sekundäraluminiumproduktion im Drehtrommelofen ist die **Salzschlacke**. Abdecksalz dient bei der Sekundäraluminiumproduktion im Drehtrommelofen zum Schutz vor Oxidation und zur Aufnahme von Verunreinigungen aus der Schmelze. Beim Recycling von verunreinigten und nicht sortenreinen Schrotten (besonders Schrotten mit einem hohen Oxidanteil, d. h. Krätzen) wird auch in Zukunft auf das Salztrommelverfahren nicht verzichtet werden können. Jedoch ist durch Reduktion des Salzfaktors und Einsatz des kippbaren Drehtrommelofens ein Einsparungspotenzial für den Anfall von Salzschlacke gegeben.

Der Einsatz von Herd- (z. B. Closed-well Ofen) und Induktionsöfen, die ohne Schmelzsalz auskommen, kann nur bei sortenreinen, gereinigten Schrotten erfolgen. Organisch verunreinigte Schrotte sind für den Einsatz im Closed-well Ofen geeignet. Eine Schmelzreinigung mit Schmelzsalz findet nicht statt. In Side-well Herdöfen kann großstückiger Schrott in einem Schmelzbecken (Vorherd bzw. Side-well) mit flüssigem Metall überflutet werden oder kleinstückiger Schrott in eine Metalltrombe eingezogen werden. Dadurch können z. B. Späne ohne Salz in Side-well Herdöfen eingeschmolzen werden. Wenn möglich, werden Späne in Closed-well Öfen, Side-well Öfen oder auch in Induktionsöfen eingeschmolzen. Steigt jedoch der Feinanteil und/oder der Oxidanteil, so ist der Drehtrommelofen das bessere Schmelzaggregat, ebenso bei Mischspänen und bei häufigerem Legierungswechsel.

Einen wichtigen Beitrag zur Verringerung des Salzbedarfes beim Umschmelzen von Aluminium bildet die **Schrottvorbehandlung**. Allerdings müssen dann Vorkehrungen für die Behandlung und Entsorgung der Abfälle und Minderung der Emissionen aus der Vorbehandlung gemäß Stand der Technik getroffen werden.

3.4.2.2 Sekundärkupferindustrie

Mengenmäßig relevante Abfälle bzw. Reststoffe der Sekundärkupfererzeugung sind Schlacken, Filterstäube und Ofenausbruch. Schachtofenschlacke der Montanwerke Brixlegg mit einer Korngröße von 0,25–2,8 mm wird gemäß Bescheid der BH Kufstein nicht als Abfall eingestuft und als Sandstrahlgut verkauft. Über- und Unterkorn wird innerbetrieblich im Schachtofen wieder eingesetzt. Konverterschlacke und Anodenschlacke werden im Schachtofen wieder eingesetzt. Filterstäube der Schachtofenanlage und der Konverter werden extern verwertet, der Filterstaub des Anodenofens wird wieder im Schachtofen eingesetzt.

3.4.2.3 Sekundärbleiindustrie

Die Silikatschlacke sowie der Ofenausbruch der BMG Metall und Recycling GmbH in Österreich werden auf der Reststoffdeponie der ABRG (Asamer-Becker Recycling GmbH) deponiert, wobei es sich bei der Schlacke um einen gefährlichen Abfall handelt. Die Schlacken aus Nichteisenmetallschmelzen wurden 2003 gemäß Deponieverordnung ausgestuft.

Bleikrätze, Bleiasche, Filterstaub und Bleischlamm der BMG Metall und Recycling GmbH werden thermo-metallurgisch verwertet.

3.4.2.4 Refraktärmetallproduktion

Die Treibacher Industrie AG setzt sowohl betriebseigene als auch Abfälle von Dritten in verschiedenen Prozessen ein. Ein Großteil der Abfälle ist der Schlüsselnummerngruppe 312 „Metallurgische Schlacken, Krätzen und Stäube“ zugeordnet. Die Ausstufung von gefährlichen Abfällen mit den SN 31221 (sonstige Schlacken aus der Stahlerzeugung) und 51310 (sonstige Metallhydroxide) wurde genehmigt.

Seit August 1993 wird eine eigene Deponie (St. Kosmas) für nicht gefährliche betriebseigene Abfälle wie Schlacken, Ofenausbrüche und Schlämme betrieben. Der Großteil der deponierten Abfälle besteht aus Laugungsrückstand der Vanadiumoxidanlage, aber auch aus Molybdän-, Vanadium- und FeNi-haltigen Schlacken.



3.5 Zementindustrie

3.5.1 Einsatz von Aschen und Schlacken in der Zementindustrie

In der Zementindustrie werden Aschen und Schlacken aus anderen Industriezweigen als Sekundärrohstoffe und Zumahlstoffe eingesetzt.

Sekundärrohstoffe

Die chemische Zusammensetzung des Rohmehls muss so gewählt werden, dass nach der Zersetzung des Calciumkarbonats und dem Klinkerbrand die gewünschte Klinkerzusammensetzung erreicht wird.

Es hat sich als zweckmäßig erwiesen, die Eigenschaften des Rohmehls vor der Kalkzination anhand von Kennzahlen zu beschreiben.

- Der **Kalkstandard (KSt)** gibt an, wie viel vorhandener Kalk zu Klinkerphasen reagieren kann. Zu viel überschüssiger Kalk bildet Freikalk und ist nicht erwünscht. Der Kalkstandard liegt normalerweise im Bereich von 90–102, bei gutem Zement über 96.
- Der **Silikatmodul (SM)** bringt die Menge an Schmelzphase während der Sinterung zum Ausdruck. SiO_2 liegt bei Sintertertemperatur in fester Phase vor, während Al_2O_3 bzw. Fe_2O_3 die flüssige Phase bilden. In Zementen liegt SM im Bereich zwischen 1,8 und 3,0.
- Der **Tonerdemodul (TM)** hingegen beschreibt die Viskosität der Schmelze. Steigender Eisenoxidgehalt und daher abnehmender TM lässt die Viskosität der Schmelze sinken, das bedeutet, dass sie dünnflüssiger und damit reaktionsfähiger wird. TM liegt im Bereich zwischen 1,3 und 4,0. In besonderen Fällen kann er bis etwa 0,4 erniedrigt werden.

Bis zu einem bestimmten Teil können Tone, Kalkstein und Mergel durch vermehrt als Korrekturstoffe im Einsatz befindliche Sekundärrohstoffe ersetzt werden.

Die für die Rohmehlherstellung wichtigen Kennzahlen Kalkstandard (KSt), Silikatmodul (SM) und Tonerdemodul (TM) müssen für die eingesetzten Sekundärrohstoffe bekannt sein, damit sie bei der Mischung des Rohmehls berücksichtigt werden können. Für LD Schlacke und Elektroschlacke können diese Module wie folgt angegeben werden (UMWELTBUNDESAMT 1995a):

- LD Schlacke: KS: 112; SM 0,45; TM 0,1
- Elektroschlacke: KS: 67; SM 0,62; TM 0,3

Ein Vergleich mit den Anforderungen an das Rohmehl zeigt, dass bei LD Schlacke lediglich Korrekturen bezüglich Silikat und Tonerde notwendig sind. Andererseits kann LD Schlacke ausgleichend für hochtonerdehaltige und silikathaltige Rohstoffe wirken. Ähnliches gilt für Elektroschlacke (UMWELTBUNDESAMT 1995a).

Der Einsatz von Reststoffen aus der Aluminiumerzeugung hingegen ist für den Einsatz bei der Zementherstellung problematisch, da der Alkaligehalt als limitierender Faktor angesehen werden muss (Umweltbundesamt 1995a).

Kupferschlacken werden in der Zementindustrie nicht eingesetzt, da Kupferschlacke eine hohe Härte aufweist, so dass ein Zusatz einen höheren Energieverbrauch der Mühlen mit sich brächte (Umweltbundesamt 1995a).

Im Jahr 2003 wurden in der österreichischen Zementindustrie 33.224 t diverse Schlacken und 35.313 t Gießereialtsande sowie Kiesabbrand, Walzzunder, Ziegelstaub etc. als Sekundärrohstoffe eingesetzt (Mauschitz 2004).

Der Einsatz dieser Sekundärrohstoffe erforderte in der Zementindustrie insofern Prozessmodifikationen, als dass die Rohmehlmischung an die Reststoffe angepasst werden musste. Auf den Alkali- und Schwermetallgehalt ist in üblicher Weise zu achten (Umweltbundesamt 1995a). Um negative Auswirkungen auf die Klinkerqualität zu vermeiden, müssen die eingesetzten Schlacken in ausreichender Menge und gleich bleibender Qualität zur Verfügung stehen.

Sekundärzumahlstoffe

Durch die Mahlung des Klinkers mit den verschiedenen Zumahlstoffen werden unterschiedliche Zementqualitäten erzeugt.

In der EN 197-1 (2000) sind Anforderungen an die Zumahlstoffe Flugasche und Hüttensand festgelegt. Schwermetallgehalte werden mit dieser Norm nicht begrenzt.

Flugasche im Sinne der EN 197-1 wird bei der elektrostatischen oder mechanischen Abscheidung von staubartigen Partikeln aus Rauchgasen von Feuerungen, die mit gemahlener Kohle befeuert werden, erhalten. Flugasche aus Feuerungen, bei denen statt gemahlener Kohle andere aschehaltige Brennstoffe homogener Beschaffenheit – wie z. B. Papier – eingesetzt werden, dürfen für Zemente nur dann verwendet werden, wenn die Eignung im Rahmen einer hinsichtlich Dauerbeständigkeit des Betons erweiterten Erstprüfung nachgewiesen wird.

Die Anforderungen an die chemische Zusammensetzung von Flugasche nach EN 197-1 (2000) sind beispielsweise:

- $\text{SiO}_2 > 25 \%$
- CaO reaktionsfähig $< 10 \%$.

Hüttensand (granulierte Hochofenschlacke) wird durch schnelles Abkühlen einer Schlackenschmelze geeigneter Zusammensetzung, die im Hochofen bei der Verhüttung von Eisenerz anfällt, erhalten. Der Hüttensand muss nach Massenanteilen mindestens zwei Drittel glasig erstarrte Schlacke enthalten und die Summe der Massenanteile aus CaO , MgO und SiO_2 muss mindestens zwei Drittel betragen. Das Masseverhältnis $(\text{CaO} + \text{MgO})/\text{SiO}_2$ muss größer als 1,0 sein. Der Gehalt an Schwefelverbindungen, angegeben als SO_3 , darf 4 % der Masse nicht übersteigen.

Der SO_3 -Gehalt ist genau einzustellen, weil zuviel Sulfat im Zement zu Treiberscheinungen führen kann. Der optimale Sulfatgehalt für C_3A -reiche, alkalireiche und feingemahlene Zemente beträgt ca. 4,5 %, der für C_3A -arme, alkaliarmer grobe Zemente beträgt etwa 2,5 % (WINNAKER-KÜCHLER 1983).

Der SO_3 -Gehalt wird sowohl von den Zumahlstoffen als auch vom Schwefelgehalt des Klinkers beeinflusst.

In der Zementindustrie wurden im Jahr 2002 Hochofenschlacke (497.710 t), Flugasche (66.459 t) und REA-Gips (43.380 t) als Sekundärzumahlstoffe eingesetzt (Hackl & MAUSCHITZ 2003).

3.5.2 Betriebsinterne Kreislaufführung von Stäuben

Die mit den Rohmaterialien, Brennstoffen und Abfällen (Ersatzbrennstoffe) dem Klinkerbrand zugeführten Elemente und Verbindungen können in den heißen Zonen des Vorwärmens und/oder des Ofens verdampfen, mit den gasförmig vorliegenden Verbindungen im Drehrohrföfen und Vorwärmer reagieren und in den höheren Zonen des Ofensystems wieder auf dem Brenngut kondensieren. Erfolgt dieser Phasenwechsel weitgehend im Bereich des Vorwärmers, so gelangt die verdampfte Elementmenge nicht mit dem Brenngut in die heißeren Bereiche des Vorwärmers bzw. des Ofens zurück. Es bildet sich infolgedessen der Ofen-/Vorwärmerkreislauf (innerer Kreislauf) aus. Im Unterschied dazu werden konventionsgemäß in den Entstaubern nach dem Vorwärmen abgeschiedene Stäube und die in ihnen enthaltenen Verbindungen und Elemente dem äußeren Kreislauf zugeordnet.

Der äußere Kreislauf gilt dann als geschlossen, wenn die abgeschiedenen Stäube erneut dem Rohmehl beigefügt werden. Innere und äußere Kreisläufe sind unterbrochen, wenn daraus Teilmengen abgezogen oder wenn die abgeschiedenen Stäube nicht oder nur zum Teil dem Prozess rückgeführt werden.

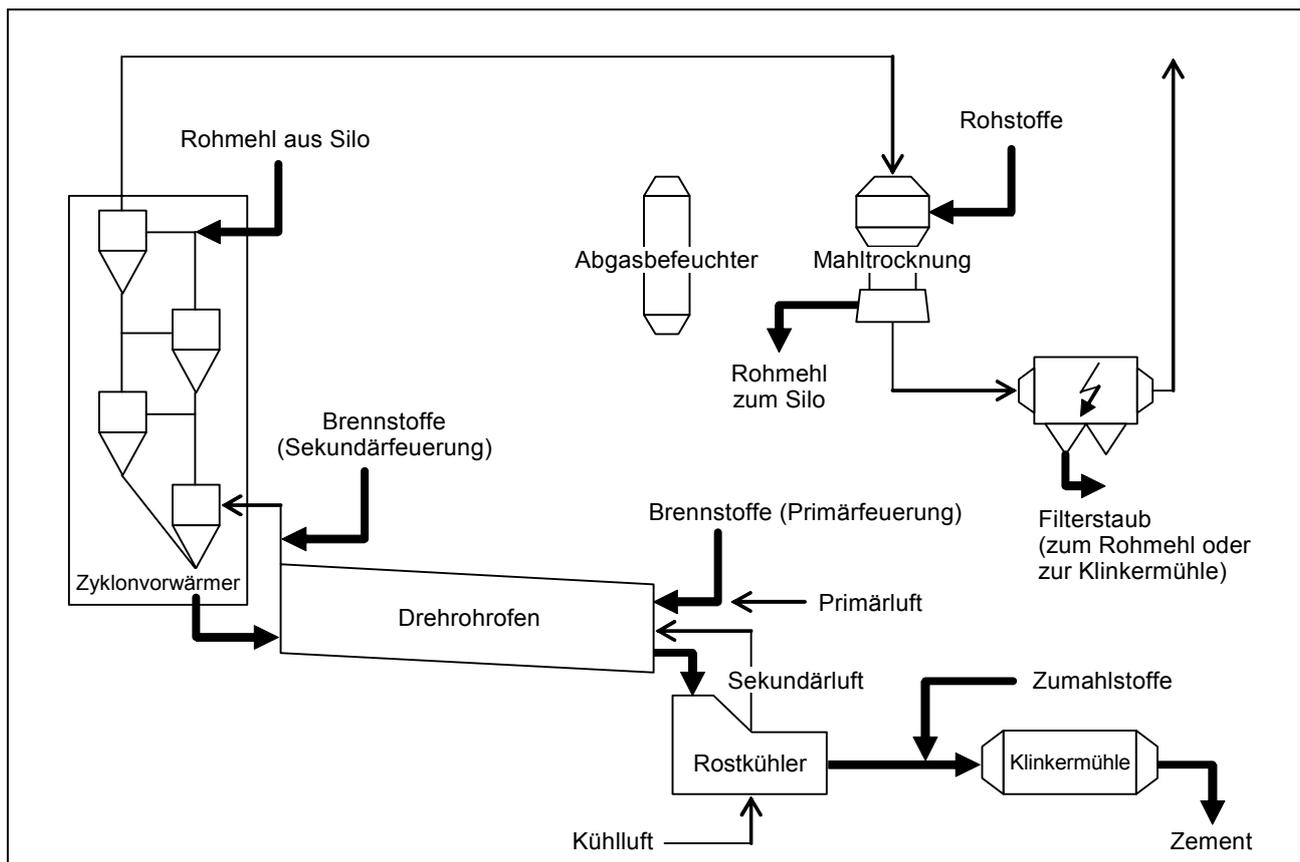


Abb. 30: Fließschema eines Zyklonwärmefofens im Verbundbetrieb (Fette Pfeile bezeichnen den Stofffluss, dünne Pfeile den Gasfluss, inkl. Flugstaub) (UMWELTBUNDESAMT 1995a).

In Österreich werden alle abgeschiedenen Stäube rückgeführt, wodurch es zu einer Anreicherung von Schwermetallen und Chloriden im Zementherstellungsprozess kommen kann. Das Verhalten ausgewählter Stoffe ist nachfolgend dargestellt. Die Art der Bilanzierung kann in einer Studie des Umweltbundesamtes nachgelesen werden (UMWELTBUNDESAMT 1995a).

Tab. 93:
Das Verhalten
ausgewählter
Schwermetalle im
Zementherstellungs-
prozess.

Zn	Schwerflüchtig: 80–99 % werden bei Zyklonvorwärmeröfen im Klinker eingebunden Filterstaub: ESP bei Zyklonvorwärmern 7 % des Zn; Rostvorwärmer 2 %; Zwischengasstäube 3 % Es kommt zu einer Anreicherung im inneren Kreislauf.
Pb	Schwerflüchtig: Einbindung in den Klinker: wie Zn es existieren ein innerer und äußerer Bleikreislauf. Bei Vorhandensein von Chloriden erhöht sich die Flüchtigkeit von Pb enorm.
Ni	Nichtflüchtig: Bis zu 97 % im Klinker gebunden, der Rest im Ofenstaub Keine inneren Kreisläufe < 0,01 % im Reingasstaub.
Cr	Nichtflüchtig. Ähnlich wie Ni; Hauptquellen: Mergel, Abrieb von Chromatsteinen in der Ofenausmauerung, Mahlabrieb der Mahlkugeln.
As	Nichtflüchtig: 83–91 % der Bilanzsumme im Klinker; der Rest im Rohgasstaub Es bildet sich kein Elementkreislauf, die Emission erfolgt in staubgebundener Form.
Cd	Schwerflüchtig: Klinker Zyklonvorwärmer: 74–88 %; Rostvorwärmeröfen 25–64 % bei Zyklonvorwärmern besteht innerer Kreislauf Eine erhöhte Cd-Konzentration im Ofenmehl führt nicht zu einer höheren Einbin- dungsrate im Klinker, sondern zu einer Erhöhung der in inneren und äußeren Kreisläufe und eventuell zu erhöhten Emissionen.
Tl	Leichtflüchtig: Klinker < 2 % Eintrag zu 90 % aus natürlichen Rohstoffen Im Betrieb eines Zyklonvorwärmerofens reichert sich Thallium bei geschlossenem Kreislauf an.
Cl	Chloride werden praktisch nicht in den Klinker eingebunden. Chlorid reagiert mit Alkalien oder Schwermetallen und bildet flüchtige Verbindungen, die innere Kreisläufe bilden können. Für einen stabilen Ofenbetrieb sind Cl-Bypässe nötig, wenn der Cl-Eintrag > 0,2 g/kg Klinker ist. Gebundene Schwermetallchloride reichen sich im äußeren Kreislauf an, oder werden über das Reingas ausgetragen.
Hg	Hochflüchtig. Im Direktbetrieb etwa 50 % im Elektrofilter abgeschieden; im Verbundbetrieb wird eine Abscheiderate von 98 % erzielt. Wird also Filterstaub dem Rohmehl zugemischt, kann es zu einer Anreicherung zwischen Vorwärmer und E-Filter kommen. Da die Rohgas-Staubbelastung bei Verbundbetrieb wesent- lich höher als bei Direktbetrieb ist, folgt, dass die Quecksilberkonzentration im Staub bei vergleichbarer Fracht im Falle des Direktbetriebes höher ist. Aus- schleusung des Filterstaubes während des Direktbetriebes wäre effektive Senke.

Bei zu hohen Chlorgehalten ist eine Rückführung nicht unbegrenzt möglich, da die Anreicherungen bei der Kreislaufführung zu Anbackungen führen bzw. auch die Klinkerzusammensetzung negativ beeinflussen. In diesen Fällen wird ein Bypass installiert. Die im Bypass ausgeschleusten Stäube werden in Österreich dem Zementherstellungsprozess wieder zugeführt. In anderen Ländern und bei anderen Rahmenbedingungen werden diese Stäube teilweise deponiert (z. B.: GB, USA). In Österreich sollte die interne Verwendung von Stäuben, bei geregelter Schadstoffeintrag, Vorrang gegenüber einer Ausschleusung und Deponierung haben.



Bypasstechnik

Durch die Anwendung von Bypässen wird versucht, innere und in weiterer Folge äußere Kreisläufe im Ofenbetrieb durch Abzug von Teilmengen zu entlasten und so eine selektive Ausschleusung von Schadstoffen zu erreichen. Bypässe können realisiert werden, indem entweder Heißgas nicht, oder nur teilweise zum Vorwärmen oder Trocknen des Rohmaterials verwendet wird (Heißgasbypass) oder dass Teile des heißen Rohmaterials abgezweigt werden (Heißmehlbypass).

Eine gängige Möglichkeit, die allerdings im herkömmlichen Sinn nicht als Bypasstechnik zu verstehen ist, besteht darin, Filterstäube nicht mehr dem Rohmehl zuzumischen. Wenn die chemische Zusammensetzung es erlaubt, können Filterstäube dem Zement zugemahlen werden. Die Zusammensetzung der Filterstäube, die bei Verbund- und Direktbetrieb anfallen, ist unterschiedlich.

Zur Minderung der Chloridkreisläufe bzw. der Alkalienkreisläufe kann ein Teil der heißen Ofenabgase vor dem Vorwärmer abgezogen und heiß entstaubt werden (Heißgasbypass). Nachteilig an diesem Verfahren ist der Wärmeverlust der Anlage. Der Vorteil besteht in einer hohen Chlorid-Ausschleusung. Das gefilterte Heißgas kann entweder über einen eigenen Kamin abgeführt werden oder dem Hauptabgasstrom wieder zugeführt werden. Auch eine Verwertung des heißen Abgases bei der Mahltrocknung ist möglich.

Eine weitere Möglichkeit besteht in der Installation eines Heißmehlbypasses. Ein Teil des kalzinierten heißen Rohmehls wird durch einen gekühlten Schneckenförderer nach der obersten Zyklonstufe direkt vor dem Ofeneinlauf ausgeschleust. Die Minderungsrate für Chloride ist geringer als bei einem Heißgasbypass, allerdings entfällt die aufwendige Entstaubung von Heißgas. Außerdem ist der Wärmeverlust geringer. Das abgezogene Heißmehl wird dem Zement zugemahlen. Eine gute Wirkung hat der eingebaute Bypass auf die Entfernung von Chlor.

4 BARRIEREN GEGEN EFFIZIENTE VERMEIDUNG/VERWERTUNG

Barrieren können technischer, ökologischer, marktwirtschaftlicher, sozio-ökonomischer, finanzieller oder legislativer Natur sein. In diesem Kapitel werden Barrieren für mögliche Maßnahmen zur Senkung der Schadstoffgehalte von Aschen, Schlacken und Stäuben beschrieben. Es wird dargelegt, wer die Stakeholder sind, welche Interessen diese Stakeholder verfolgen, welche Barrieren sie davon abhalten eine Maßnahme anzuwenden und was sie dazu bewegen könnte, diese Barriere zu überwinden.

4.1 Rückstände und Abfälle aus der Abfallverbrennung

4.1.1 Eingangsseitige Entfrachtung

Anhand der vorangegangenen Kapitel kann abgeleitet werden, dass zur Senkung des Schwermetallgehaltes im Restabfall u. a. folgende technische und organisatorische Optionen zur Verfügung stehen:

- Vermehrte Reparatur von Elektrogeräten.
- Erhöhung der Sammelraten für Elektronikschrott und Batterien.
- Ersetzen von Batterien durch Akkumulatoren.
- Ersatz von cadmium- bzw. quecksilberhaltigen Batterien und Akkumulatoren durch cadmium- bzw. quecksilberfreie.
- Ersatz von quecksilberhaltigen durch quecksilberfreie Messinstrumente.

Im Folgenden werden mögliche Barrieren für diese Maßnahmen beschrieben.

Der Bereich der **Reparatur von Elektrogeräten** involviert eine Reihe von Stakeholdern mit unterschiedlichen Interessen:

- Produzenten sind vor allem daran interessiert, konkurrenzfähige Produkte auf den Markt zu bringen und dadurch den Marktanteil, den Umsatz und den Gewinn zu steigern. Dazu gibt es unterschiedliche Marktstrategien. Eine davon könnte sein, durch die Reparaturfähigkeit der Produkte einen entscheidenden Mehrwert gegenüber Konkurrenzprodukten zu erlangen. Eine weitere Marktstrategie könnte sein, gerade an der Reparatur durch die Lieferung von Ersatzteilen zu verdienen. Diese beiden Strategien können im Hochpreissegment, bei Qualitätsprodukten und bei nahezu gesättigten Märkten durchaus erfolgreich sein und werden, wie das Beispiel der Autoreparatur zeigt, durchaus auch angewandt. Bei den Wachstumstechnologien mit großen Massenmärkten aber ist die Strategie jedoch viel häufiger, den Markt immer wieder mit immer besseren Produkten zu bearbeiten. Für Produzenten kann es dabei durchaus von Interesse sein, die Altgeräte möglichst schnell vom Markt zu verdrängen.

In stark umkämpften, sich schnell entwickelnden Märkten kommt es auch oft darauf an, die nächste Generation eines Produktes vor der Konkurrenz auf den Markt zu bringen. Die Entwicklung eines reparaturfreundlichen Produktes kostet in den meisten Fällen zusätzliche Zeit, so dass ein solches Produkt mitunter zu spät auf den Markt kommt.



- Händler sind daran interessiert, Produkte günstig zu erstehen, zu einem guten Preis weiterzuverkaufen, einen großen Kundenkreis zu entwickeln und dabei die eigenen Kosten zu minimieren. Für Hochpreissegmente ist das Anbieten von Servicepaketen inklusive Reparaturmöglichkeiten eine gern genutzte Verkaufsstrategie. Bei weniger teuren Produkten können die Manipulationskosten zur Rücknahme und Weiterleitung an Reparaturzentren aber durchaus ins Gewicht fallen.
- Eine wesentliche Barriere ist, dass gerade die Dienstleistung der Reparatur im Vergleich zum defekten Gerät unverhältnismäßig teuer ist; in vielen Fällen übersteigen die Kosten für einen Kostenvoranschlag bereits die Kosten für eine Neubeschaffung des Gerätes (bei der Mehrzahl der Elektrogeräte handelt es sich um relativ billige Massenware).
- Der Konsument ist – abgesehen von Prestigeprodukten – eigentlich nicht so sehr am Produkt, sondern an der Dienstleistung interessiert, die dieses Produkt liefern soll. Das Produkt soll den Bedarf immer dann decken können, wenn er gerade auftritt. Wenn ein Produkt repariert werden muss, kann diese Bedarfsdeckung nicht stattfinden. Und wenn man sich schon die Mühe machen muss, ein Gerät zur Reparatur zu bringen, kann man ja gleich ein neues, schickes kaufen. Wer weiss denn schon, was die Reparatur kostet, wie lange sie dauert und wie lange das Gerät dann noch hält. Das heisst, das bessere Image eines Neugerätes, die zusätzlichen Mühen und die Unsicherheit, ob sich eine Reparatur überhaupt auszahlt und wie lange auf das Gerät verzichtet werden muss, sind Barrieren für die Reparatur von Elektrogeräten aus Sicht des Konsumenten.
- Auch aus Sicht des Reparateurs ist der Reparaturmarkt ein unsicherer. Er ist darauf angewiesen, dass sich die Geräte überhaupt reparieren lassen, dass der Produzent auch Ersatzteile herstellt, dass Konsumenten überhaupt gewillt sind etwas reparieren zu lassen und dass die Reparaturkosten einschließlich eines intensiven Marketings deutlich niedriger sind als die Kosten für die Anschaffung eines Neugerätes.
- Die öffentliche Verwaltung hätte prinzipiell die Möglichkeit, die Erzielung des volkswirtschaftlichen und ökologischen Optimums durch Informationskampagnen, Gebote und Verbote, Steuern und Förderungen zu unterstützen. Aber all diese Maßnahmen verursachen zusätzliche Kosten (sogenannte Transferkosten) und bedeuten einen Eingriff in den Markt, der sehr gut begründet sein muss, und durchaus auch negative Nebeneffekte zeigen kann. Bei Elektrogeräten handelt es sich meist um einen Europamarkt, bei Elektronikgeräten um einen Weltmarkt. Die Einflussnahme auf die Produzenten ist daher meist eine indirekte über die Importeure. Rückkoppelnde Wirkungen auf die Produzenten sind bei einem Alleingang Österreichs eher zu bezweifeln.

Die **Barrieren gegen eine Erhöhung der Sammelraten von Elektronikschrott und Batterien** liegen primär beim Konsumenten, da Sammelsysteme für Elektronikschrott in jeder Gemeinde und für Batterien in vielen Einzelhandelskaufäden vorhanden sind. Mit 0,8 Masse-% bzw. mit 0,06 Masse-% haben Elektronikschrott und Altbatterien nur einen recht kleinen Anteil am Restabfall. Ein Problem bei billigen elektronischen Spielgeräten ist die oft fix eingebaute Batterie, welche nicht getrennt zu entsorgen ist, so dass sie in vielen Fällen in den Restmüll gelangt. Es fehlt sicherlich auch das Bewusstsein, dass man mit kleinen Metallteilen schon einen erheblichen Teil der Umweltbelastung der Abfälle verursacht.



Warum werden **Batterien nicht vermehrt durch Akkumulatoren ersetzt**?

- Die günstigste Alternative zu Batterien ist in vielen Anwendungsfällen ausgerechnet der umweltschädliche Nickel-Cadmium-Akkumulator
- Batterien bekommt man in jedem Lebensmittelladen, Akkumulatoren nur in Spezialgeschäften.
- Akkumulatoren sind in der Anschaffung wesentlich teurer als Batterien.
- Ein Ladegerät muss gekauft werden.
- Das Aufladen geht auf Kosten der Convenience.
- Es ist nicht bekannt, bei welchen Anwendungen Akkumulatoren besser wären.

Warum werden **cadmiumhaltige Batterien/Akkumulatoren** immer noch verwendet?

- Sie sind für bestimmte Anwendungsfälle die kostengünstigste und verlässlichste Alternative.
- Es ist nicht bekannt, dass es auch andere Akkumulatortypen für die entsprechenden Anwendungsfälle gibt.

Warum werden immer noch **quecksilberhaltige Messinstrumente** verwendet?

- Alternativen erscheinen weniger verlässlich.
- Gewohnheit.

Ein aus Sicht der Abfallbehandlung eventuell wünschenswerter Ersatz von **Aluminium** in Verbundverpackungen scheitert am Mangel an effizienten Alternativen. Die Barrieren gegen eine Erhöhung der Sammelraten von Aluminiumverpackungen und aluminiumhaltigen Verpackungen entsprechen den oben diskutierten Barrieren gegen eine Erhöhung der Sammelraten von Elektronikschrott und Batterien.

Die primäre Barriere gegen den Ersatz von **PVC** in Konsumgütern ist das Faktum, dass PVC aufgrund seiner nachgefragten Eigenschaften (geringe Brennbarkeit, hoher elektrischer und mechanischer Widerstand, Haltbarkeit, geringe Erzeugungskosten) für viele Anwendungsfälle nicht leicht zu ersetzen ist. Auf der einen Seite müssten alternative, weniger umweltbelastende Materialien mit ähnlichen Nutzungseigenschaften erst entwickelt werden, auf der anderen Seite müsste der Konsument bereit sein, die Zusatzkosten eines Alternativproduktes auch zu tragen.

4.1.2 Barrieren gegen die Behandlung der Abfallverbrennungsrückstände

Die Barrieren gegen die Aufarbeitung von Rückständen aus der Abfallverbrennung können wie folgt zusammengefasst werden:

Derzeit werden Rückstände/Abfälle aus Abfallverbrennungsanlagen untertägig oder obertägig deponiert, zu Kosten von rund 60–150 €/t. Aus betriebswirtschaftlicher Sicht dürfen die Kosten für ein alternatives Verfahren (inklusive Emissionsminderung und Behandlung der bei diesem Verfahren anfallenden Rückstände/Abfälle und abzüglich allfälliger Erlöse aus der Gewinnung höherwertiger Fraktionen) minus der Erlöse aus dem Verkauf der gewonnenen Wertstoffe nicht höher sein als die Kosten für die Deponierung. Dies ist unter den aktuellen ökonomischen, technischen und gesetzlichen Rahmenbedingungen (z. B. für die Aufarbeitung von Kupfer oder Zink aus den Rückständen der Siedlungsabfallverbrennung) nicht der Fall. Im Einzelnen gibt es folgende Barrieren:



- Hoher Energieverbrauch für alternative Verfahren.
- Hoher Aufwand für die Minderung der Emissionen der alternativen Verfahren (Luft, Wasser).
- Kosten für die Behandlung allfälliger Rückstände/Abfälle aus dem alternativen Verfahren.
- Kein aktueller Bedarf an aufbereiteten Rückständen (z. B. in der Baustoffindustrie).
- Keine hinreichenden Betriebserfahrungen für die Rückgewinnung von Schwermetallen aus Rückständen/Abfällen von Abfallverbrennungsanlagen.
- Vergleichsweise geringe Kosten für die Deponierung von Rückständen/Abfällen.
- Kein Kostenunterschied für die Deponierung unterschiedlich belasteter Abfälle.

4.2 Rückstände und Abfälle aus Mitverbrennungsanlagen

Die Mitverbrennung in Kohlekraftwerken wird auch im Hinblick auf die bestehenden Behandlungswege der Rückstände betrieben. Eine Änderung dieser Behandlungswege würde die Kosteneinsparung durch die Mitverbrennung mehr als kompensieren.

4.3 Rückstände und Abfälle aus Kraftwerken

Die Rückstände aus Kohlekraftwerken werden zum größten Teil in der Zement- und Baustoffindustrie weiterverwendet. Dies ist einerseits aufgrund der Zusammensetzung möglich, andererseits würde eine Deponierung von Grob- und Flugasche einen wirtschaftlichen Betrieb von Kohlekraftwerken nicht erlauben.

Die Flugaschen (Zyklon- und Feinstflugasche) aus Biomasseanlagen müssen in der Regel deponiert werden; aufgrund der hohen Gehalte an Alkali- und Erdalkalimetallen sowie von Phosphor ist eine Verwendung in der Baustoffindustrie kaum möglich. Grobaschen aus Biomasseanlagen können bei Einhaltung der Grenzwerte der Kompostverordnung auf Böden aufgebracht werden. Für die Behandlung der Aschen aus Biomasseanlagen gelten im Wesentlichen die gleichen Barrieren wie für die Rückstände aus Abfallverbrennungsanlagen.

4.4 Rückstände und Abfälle aus der Metallerzeugung

4.4.1 Eisen- und Stahlindustrie

Die hohen Recyclingquoten sowohl hütteninterner Reststoffe und Abfälle – wie Stäube, Zunder und Schlämme – als auch externer Reststoffe und Abfälle – wie Schrott – führen zu unerwünschten Anreicherungen von Begleitelementen, vor allem von Schwermetallen (Zn, Pb). Die „Verschleppung“ von Zn in die metallurgischen Prozesse führt vermehrt zu verfahrenstechnischen Problemen. Bei zu hohem Zink-Ein-



trag sinkt die Qualität der Produkte (Roheisen, Stahl) und Nebenprodukte (Schlacken), der Ausschuss steigt und letztendlich wird der spezifische Abfallanfall erhöht.

Ein weiteres Hindernis der Verwertung ist der Ölgehalt des Zunders. Um die Wiederverwendung der eisenhaltigen Abfälle in metallurgische Prozesse zu ermöglichen, sollten diese getrocknet und entölt werden.

Hochofenschlackenprodukte werden in der Zementindustrie, als Streusplitt für den Winterdienst sowie im Hoch- und Tiefbau eingesetzt. LD Konverterschlacke wird für den Tiefbau und als Sekundärrohstoff zur Eisenrückgewinnung eingesetzt.

Ein Einsatz von Reststoffen/Abfällen aus der Eisen- und Stahlindustrie mit zu hohen Schwermetallanteilen in der Zementindustrie ist aufgrund der Produktnormen für Zement nicht mehr möglich.

4.4.2 Nichteisenmetallindustrie

In der Nichteisenmetallindustrie ist bei zu hohem Fremdmetalanteil eine Rückgewinnung des Ausgangsmetalls nicht mehr möglich.

Der Schadstoffgehalt der Abfälle/Reststoffe reichert sich im Produktionsprozess an, so dass ein Wiedereinsatz nicht mehr möglich ist. Die Abfälle/Reststoffe müssen dann in einem anderen Nichteisenmetallsektor aufbereitet bzw. deponiert werden.

4.4.2.1 Sekundäraluminiumindustrie

Die wesentlichen Kriterien zur Auswahl der optimal geeigneten Schmelzöfen sind die Verunreinigung der Rohstoffe bzw. Abfälle/Reststoffe durch Oxide, anhaftendes Eisen und organisches Fremdmaterial, der Magnesiumgehalt, das Verhältnis Oberfläche zu Masse der Schrottteilchen sowie das jeweils dünnste Wandstärkemaß der Schrottteilchen.

Ausgehend von dieser qualitativen Zuordnung leitet Abb. 31 quantifizierbare Kriterien für die Zuordnung von Schrotten bzw. Abfällen/Reststoffen zu den einzelnen Schmelzaggregaten ab.

Grundsätzlich besteht die Möglichkeit, Schrotte mit oder ohne Salz einzuschmelzen. Als Schmelzaggregate finden die salzbetriebenen Trommelöfen, die starr oder kippar ausgeführt sind, salzlos betriebene Herdöfen (Closed-well Herdofen, Side-well Herdofen) oder Induktionsöfen Verwendung.

Für organisch verunreinigte, jedoch oxidarme Schrotte, ist der ohne Schmelzsalz betriebene Closed-well Herdofen das geeignete Schmelzaggregat.

In Side-well Herdöfen kann großstückiger Schrott in einem Schmelzbecken mit flüssigem Metall überflutet werden oder feinstückiger Schrott in einer Metalltrombe eingezogen werden. Dadurch eignet sich dieses Schmelzaggregat besonders für das Einschmelzen von Spänen.

Je höher der Oxidanteil in einem Schrott ist, desto eher wird dieser in einem Drehtrommelofen eingeschmolzen. Dadurch kommt es auch zu einem erhöhten Anfall an Salzschlacke, die gemäß Stand der Technik behandelt werden muss.

Induktionsöfen werden in den Sekundärschmelzwerken aufgrund der Anforderung nach sauberen, praktisch oxidfreien Schrotten nur vereinzelt eingesetzt.



Eine konsequente Schrottvorbereitung ermöglicht den Einsatz des aufbereiteten Schrottes im jeweils best geeigneten Schmelzaggreat. Dadurch können Emissionen in die Luft und der Anfall von Abfällen bzw. Reststoffen minimiert werden.

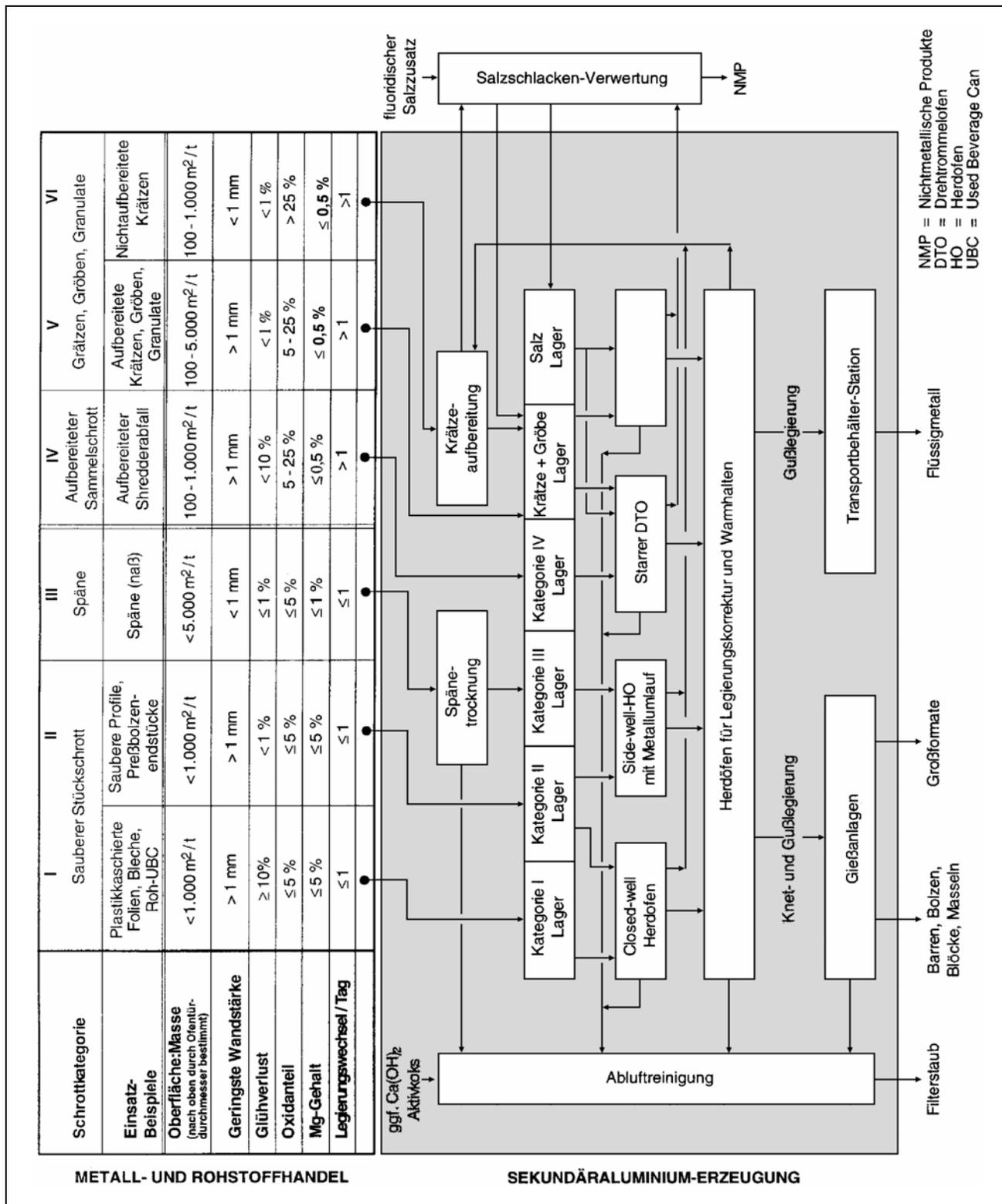


Abb. 31: Stand der Technik für die Sekundäraluminiumerzeugung zur Verarbeitung aller Schrottkategorien (UMWELTBUNDESAMT 2000).



4.5 Zementindustrie

In der Zementindustrie werden u. a. Aschen, Schlacken und Rückstände aus der Rauchgasreinigung (REA-Gips) aus anderen Industriezweigen, vor allem aus Kraftwerken und der Eisen- und Stahlindustrie als Sekundärroh- und Sekundärzumahlstoffe eingesetzt. Zusätzlich werden (heizwertreiche) Abfälle als Ersatzbrennstoffe eingesetzt.

Der Einsatz von Aschen, Schlacken und Abfällen kann zu einer Erhöhung des Eintrags von Schwermetallen und anderen Elementen in den Zementherstellungsprozess führen.

Die im Zementprozess aus der Verbrennung resultierenden Aschen werden im Drehrohr eingesetzt. Stäube, welche durch nachgeschaltete Filter abgeschieden wurden, werden dem Klinker bzw. dem Zement wieder zugesetzt. Dadurch werden in Österreich alle anfallenden Aschen, Schlacken oder Stäube intern verwendet. Durch diesen internen Kreislauf kann es zu einer Anreicherung von Schadstoffen im Produkt (Zement bzw. Beton) kommen. Die interne Verwendung von Stäuben (bei geregelter Schadstoffeintrag) sollte Vorrang gegenüber einer Ausschleusung und Deponierung haben.

Die bautechnische Zusammensetzung des Zements, nicht aber die Höhe der Schwermetall- und Schadstoffgehalte im Zement, ist durch europäische und österreichische Normen geregelt. Um die Emissionen von Schwermetallen in Umweltmedien und Produkte zu begrenzen, werden dzt. Eingangsbeschränkungen für bestimmte Schwermetalle bei Ersatzbrennstoffen erarbeitet; zudem sollten die Schadstoffgehalte in Ersatzrohstoffen und Zumahlstoffen begrenzt werden.



5 ABFALLVERMEIDUNGS- UND VERWERTUNGSMASSNAHMEN

5.1 Rückstände und Abfälle aus Abfallverbrennungsanlagen

Folgende in den vorangegangenen Kapiteln beschriebenen möglichen Handlungsfelder zur Senkung des Schwermetallgehaltes im Restabfall bzw. zur Behandlung von Rückständen aus der Verbrennung werden hier näher erläutert (Abfallvermeidung und -verwertung):

A – Handlungsfeld vor der Verbrennung (eingangsseitige Optionen)

- Verringerung des Schwermetallgehalts im Restabfall durch
 - vermehrte Reparatur von Elektrogeräten,
 - Erhöhung der Sammelraten für Elektronikschrott und Batterien,
 - verringerte Verwendung cadmiumhaltiger Akkus,
 - verringerte Verwendung quecksilberhaltiger Messinstrumente,
 - verringerte Verwendung von batteriehaltigem (Billig)spielzeug, Werbegeschenken und Glückwunschpostkarten u. Ä.,
 - Maßnahmen über das Nicht-Inverkehr-Bringen solcher Produkte (z. B. durch Besteuerung, freiwillige Vereinbarungen, Verbote bestimmter schadstoffhaltiger Anteile).
- Ersatz von Aluminium in Verbundverpackungen.
- Ersatz von PVC.
- Getrennthalten von belasteten Abfällen vor der Anlieferung zur Verbrennungsanlage und eigene (nicht-thermische) Behandlung.

B – Handlungsfeld während bzw. nach der Verbrennung (in-situ und ausgangsseitige Maßnahmen)

- Ausgangsseitige Entfrachtung oder Fixierung von Schadstoffen bei hohem Eintrag in die Verbrennungsanlage (z. B. Shredderleichtfraktion) inklusive Rückgewinnung einiger Schwermetalle.
- Verbrennung von hoch belasteten Abfällen in einer eigenen Anlage inklusive Behandlung der anfallenden Rückstände und Rückgewinnung einiger Schwermetalle.
- Behandlung von Aschen und Schlacken.

Für den Bereich der eingangsseitigen Entfrachtung des Siedlungsabfalls wurde von öffentlicher Seite bereits eine Reihe von Maßnahmen gesetzt. Dazu gehören unter anderem die in Tab. 94 zusammengefassten Verordnungen.

Zusätzlich ist eine Elektroaltgeräteverordnung (EAG-VO) (BMLFUW 2005) erst kürzlich erlassen worden, die eine Verbesserung der getrennten Sammlung von Elektroaltgeräten (zum Beispiel durch eine Rücknahmeverpflichtung von Altgeräten bei Neukauf eines äquivalenten Gerätes) bringen könnte.

Tab. 95 zeigt, durch welche ordnungspolitischen Maßnahmen diese Handlungsfelder unterstützt werden könnten.



Tab. 94:
Beispiele für bestehende
Verordnungen, die unter
anderem auf eine
Entfrachtung des
Siedlungsabfalls
abzielen.

Verordnung	Wesentliche Bestimmungen (zusammengefasst)
zur Rücknahme und Schadstoffbegrenzung von Batterien (Batterieverordnung) (BGBl. 514/1990, 3/1991, 495/1999)	<ul style="list-style-type: none"> ● Rücknahmeverpflichtung für Batterien ● Maximalgehalt für Quecksilber und Cadmium ● Verpflichtung, Produkte so zu designen, dass Batterien nach Gebrauch entfernt werden können
zur Bestimmung von Problemstoffen (BGBl. 771/1990)	<ul style="list-style-type: none"> ● getrennte Sammlung von Problemstoffen
zur Kennzeichnung, Rücknahme und Pfanderhebung von bestimmten Lampen (BGBl. 144/1992)	<ul style="list-style-type: none"> ● Rücknahmeverpflichtung und Pfandsystem für Leuchtstoffröhren und ähnliche Lampen (Quecksilberrecycling)
über die Rücknahme von Kühlgeräten (BGBl. 408/1992, 168/1995)	<ul style="list-style-type: none"> ● Rücknahmeverpflichtung von Altkühlgeräten ● Entsorgungsplakette um ATS 100,- ● Getrennte Sammlung der Kühlgeräte und Abtrennung von Kühlmittel und Isolierschaum (FCKW), Kompressoröl sowie Schaltern (Hg)
Abfallbehandlungspflichtenverordnung (BGBl. II Nr. 459/2004)	<p>Behandlungsvorschriften für folgende Abfallarten mit dem Ziel, ein Maximum an gefährlichen Stoffen und Wertstoffen abzutrennen und einer Wiederverwertung zuzuführen:</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Elektro- und Elektronik-Altgeräte ● Kühl- und Klimageräte ● Batterien und Akkumulatoren ● Medizinische Abfälle ● Amalgamreste ● PCB-haltige Abfälle

Tab. 95: Maßnahmen zur Umsetzung des
Vermeidungs- und Verwertungspotenzials bei Rückständen aus der Abfallverbrennung.

Handlungsfeld	Instrument	Maßnahme
Verringerung des Schwermetallgehalts im Restabfall durch:	Information, Organisation, Bildung	Verbreitung der Erfahrungen des Reparaturnetzwerks Wien auf ganz Österreich, inklusive Motivationskampagne Reparatur
	Steuern, Gebühren, Förderungen	<p>Förderung der Entwicklung reparaturfähiger Geräte</p> <p>Verringerte Steuer auf Reparaturdienstleistungen</p> <p>Unterstützung für das Marketing von reparaturfähigen Produkten und Reparaturzentren</p>
	Standards, Gebote, Verbote	
	Vereinbarungen	<p>Vereinbarung mit Elektrogeräteherstellern zur Entwicklung reparaturfähiger Geräte</p> <p>Verstärkte Reparaturen im öffentlichen Bereich</p>
Erhöhung der Sammelraten für Elektronikschrott und Batterien	Information, Organisation, Bildung	Als unterstützende Maßnahmen zur Umsetzung der EAG-VO, Informations-kampagne über die Schädlichkeit von Elektronikschrott und Batterien im Restmüll und über richtiges Verhalten
	Steuern, Gebühren, Förderungen	Pfandsystem auf Batterien und Elektrogeräte



Handlungsfeld	Instrument	Maßnahme	
Verringerung des Schwermetallgehalts im Restabfall durch (Fortsetzung)	Erhöhung der Sammelraten für Elektronikschrott und Batterien (Fortsetzung)	Standards, Gebote, Verbote	Zusätzlich zu Rücknahmeverpflichtungen der Elektroaltgeräteverordnung (BMLFUW 2005) Rücknahmeverpflichtung auch für Elektrobauteile wie Kabel, Stecker, Steckdosen, Glühbirnen
		Vereinbarungen	
	Verringerte Verwendung cadmiumhaltiger Batterien	Information, Organisation, Bildung	-Informationskampagne über die Schädlichkeit cadmiumhaltiger Akkus und über Alternativen -Motivationskampagne zur verbesserten Sammlung
		Steuern, Gebühren, Förderungen	Förderung anderer Akku-Systeme/von Minibrennstoffzellen Umweltgebühr für NiCd-Akkus
		Standards, Gebote, Verbote	Limitierung des Cadmiumgehaltes auf 20 mg/kg für alle Batterien/Akkus (EUROPEAN PARLIAMENT & COUNCIL 2004)
		Vereinbarungen	Vermeidung cadmiumhaltiger Akkus im öffentlichen Bereich
	Verringerte Verwendung quecksilberhaltiger Messinstrumente und Batterien	Information, Organisation, Bildung	Informationskampagne über die Schädlichkeit von Quecksilber, über Alternativen und über Rückgabemöglichkeiten
		Steuern, Gebühren, Förderungen	Umweltgebühr für Hg-haltige Geräte Förderungen für Alternativen
		Standards, Gebote, Verbote	Limitierung des Quecksilbergehaltes in allen Batterietypen auf 5 mg/kg (EUROPEAN PARLIAMENT & COUNCIL 2004) Verbot von Hg-haltigen Geräten
		Vereinbarungen	Vermeidung von Hg-haltigen Instrumenten im öffentlichen Bereich
	Verringerte Verwendung von batteriehaltigem (Billig)-spielzeug, Werbegeschenken und Glückwunschpostkarten u. ä. Maßnahmen über das Nicht-In-Verkehr-Bringen solcher Produkte (z. B. durch Besteuerung, freiwillige Vereinbarungen, Verbote bestimmter schadstoffhaltiger Anteile)	Information, Organisation, Bildung	Informationskampagne
		Steuern, Gebühren, Förderungen	Umweltgebühr für diese Produkte
Standards, Gebote, Verbote		Verbote bestimmter schadstoffhaltiger Anteile in diesen Produkten	
Vereinbarungen		Freiwillige Vereinbarung über „Nicht-In-Verkehrsetzung bzw. Rücknahme nach Gebrauch	
Ersatz von Aluminium in Verbundverpackungen	Information, Organisation, Bildung	Studien über die Möglichkeit Aluminium in Verbundverpackungen zu ersetzen Information der Konsumenten über richtiges Verhalten	
		Steuern, Gebühren, Förderungen	Förderung für die Entwicklung von Ersatzverpackungen
	Standards, Gebote, Verbote	Vereinbarungen	Vereinbarungen über die Einführung von Ersatzverpackungen



Handlungsfeld	Instrument	Maßnahme
Ersatz von PVC	Information, Organisation, Bildung	Studie wo PVC noch genutzt wird, Möglichkeiten PVC zu ersetzen Information der Konsumenten, wo PVC vermeidbar
	Steuern, Gebühren, Förderungen	Förderung für die Entwicklung von Ersatzmaterialien
	Standards, Gebote, Verbote	
	Vereinbarungen	Vereinbarungen über die Einführung von Ersatzmaterialien
Getrennthalten von belasteten Abfällen vor der Anlieferung zur Verbrennungsanlage und eigene (nicht-thermische) Behandlung	Information, Organisation, Bildung	Vergleichende Analysen der möglichen Techniken unter Berücksichtigung des Vorsorgeprinzips und einer integrierten Betrachtung
	Steuern, Gebühren, Förderungen	Deponiegebühren abhängig von Schwermetallgehalt und Elutionsverhalten
	Standards, Gebote, Verbote	
	Vereinbarungen	
Ausgangsseitige Entfrachtung oder Fixierung von Schadstoffen bei hohem Eintrag in die Verbrennungsanlage (z. B. Shredderleichtfraktion) inklusive Rückgewinnung einiger Schwermetalle	Information, Organisation, Bildung	Analyse der möglichen Techniken in Hinblick auf ökologischen Nutzen und ökologische/ökonomische Kosten unter Berücksichtigung des Vorsorgeprinzips und einer integrierten Betrachtung
	Steuern, Gebühren, Förderungen	
	Standards, Gebote, Verbote	
	Vereinbarungen	
Verbrennung von hoch belasteten Abfällen in einer eigenen Anlage inklusive Behandlung der anfallenden Rückstände und Rückgewinnung einiger Schwermetalle	Information, Organisation, Bildung	Analyse der möglichen Techniken in Hinblick auf ökologischen Nutzen und ökologische/ökonomische Kosten unter Berücksichtigung des Vorsorgeprinzips und einer integrierten Betrachtung
	Steuern, Gebühren, Förderungen	
	Standards, Gebote, Verbote	
	Vereinbarungen	
Behandlung von Aschen und Schlacken	Information, Organisation, Bildung	Analyse der möglichen Techniken in Hinblick auf ökologischen Nutzen und ökologische/ökonomische Kosten unter Berücksichtigung des Vorsorgeprinzips und einer integrierten Betrachtung
	Steuern, Gebühren, Förderungen	
	Standards, Gebote, Verbote	
	Vereinbarungen	Intensiviertes Monitoring von Zusammensetzung/Elutionsverhalten der Abfallverbrennungsrückstände

In Tab. 96 wird eine Abschätzung getroffen, welche Maßnahmen die größten Chancen auf Realisierung haben. Dabei werden dann die höchsten Realisierungschancen gesehen wenn

- die Maßnahme direkt auf die Zielgruppe wirkt, die die gewünschte Handlung oder Handlungsänderung setzen soll.
- die Maßnahme einfach zu administrieren ist und geringe Transferkosten verursacht.
- die Maßnahme selbst geringe Kosten verursacht.
- die Maßnahme innerhalb der Befugnisse des BMLFUW beschlossen werden kann.
- die Maßnahme für die österreichische Abfallwirtschaft und die betroffenen Stakeholder geringe Zusatzkosten verursacht.
- die Maßnahme für die österreichische Abfallwirtschaft die Chance auf einen neuen Markt eröffnet.

Jene Maßnahmen, die auf Basis dieser Kriterien als die chancenreichsten identifiziert wurden, sind noch einmal in Tab. 97 zusammengefasst.

Tab. 96: Chancenbewertung der Maßnahmen zur Umsetzung des Vermeidungs- und Verwertungspotenzials bei Rückständen aus der Abfallverbrennung.

Handlungsfeld	Maßnahme	Chance	Begründung	
Verringerung des Schwermetallgehalts im Restabfall durch:	vermehrte Reparatur von Elektrogeräten	Verbreitung der Erfahrungen des Reparaturnetzwerks Wien auf ganz Österreich inklusive Motivationskampagne Reparatur	hoch Einfache Maßnahme mit relativ geringem Aufwand	
		Förderung der Entwicklung reparaturfähiger Geräte	gering Teuer, komplex	
		Verringerte Steuer auf Reparaturdienstleistungen	gering Eingriff in Steuersystem; administrativer Aufwand	
		Finanzielle Unterstützung für das Marketing von reparaturfähigen Produkten und Reparaturzentren	mittel Hoher finanzieller Mitteleinsatz notwendig	
		Vereinbarung mit Elektrogeräteherstellern zur Entwicklung reparaturfähiger Geräte	gering Wettbewerbsnachteile durch längere Produktentwicklungszeiten	
		Verstärkte Reparaturen im öffentlichen Bereich	gering Komplex	
	Erhöhung der Sammelraten für Elektronikschrott und Batterien	Als unterstützende Maßnahmen zur Umsetzung der EAG-Verordnung	hoch	Relativ geringer Aufwand, im Zuge der Einführung EAG-Verordnung notwendig
		Informationskampagne über die Schädlichkeit von Elektronikschrott und Batterien im Restmüll und über richtiges Verhalten		
		Pfandsystem auf Batterien und Elektrogeräte	sehr gering	Hohe Widerstände wie in Deutschland zu erwarten
	Verringerte Verwendung cadmiumhaltiger Batterien	Rücknahmeverpflichtung für Elektroaltgeräte	sehr hoch	EAG-VO (BMLFUW 2005)
Zusätzlich Rücknahmeverpflichtung für Elektrobauteile wie Kabel, Stecker, Steckdosen, Glühlampen		gering	EAG-VO (BMLFUW 2005)	
Informationskampagne über die Schädlichkeit cadmiumhaltiger Akkus/Batterien und über Alternativen		sehr hoch	Notwendig, wenn auf EU Ebene Cd-Gehalt von Batterien auf niedrigem Niveau limitiert	
Motivationskampagne zur verbesserten Sammlung		sehr gering	Nur sinnvoll wenn Ni-Cd nicht verboten	



Handlungsfeld	Maßnahme	Chance	Begründung	
Verringerung des Schwermetallgehalts im Restabfall durch: (Fortsetzung)	Verringerte Verwendung cadmiumhaltiger Batterien (Fortsetzung)	Förderung anderer Akku-Systeme/ von Minibrennstoffzellen	mittel Hoher Finanzieller Mitteleinsatz und Einbindung anderer Ministerien notwendig	
		Umweltgebühr für NiCd-Akkus	sehr gering Nur sinnvoll wenn Ni-Cd nicht verboten	
		Limitierung des Cadmiumgehaltes auf 20 mg/kg für alle Batterien/Akkus	sehr hoch Wenn EU-weit beschlossen	
		Vermeidung cadmiumhaltiger Akkus im öffentlichen Bereich	sehr gering Nur sinnvoll wenn Ni-Cd nicht verboten	
	Verringerte Verwendung quecksilberhaltiger Messinstrumente und Batterien	Informationskampagne über die Schädlichkeit von Quecksilber, über Alternativen und über Rückgabemöglichkeiten	sehr hoch	Relativ einfach und in Zusammenhang mit EAG-Verordnung sinnvoll
		Umweltgebühr für Hg-haltige Geräte	sehr gering	Schwierig zu administrieren
		Förderungen für Alternativen	gering	Hoher finanzieller Mitteleinsatz
		Limitierung des Quecksilbergehaltes in allen Batterietypen auf 5 mg/kg	sehr hoch	Wenn EU-weit beschlossen
		Verbot von Hg-haltigen Geräten	gering	Alternativen müssen vorhanden sein, EU muss zustimmen
		Vermeidung von Hg-haltigen Instrumenten im öffentlichen Bereich	mittel	Komplex, Alternativen müssen vorhanden sein
Verringerte Verwendung von batteriehaltigem (Billig)spielzeug, Werbegeschenken und Glückwunschpostkarten u. ä. Maßnahmen über das Nicht-Inverkehr-Bringen solcher Produkte (z. B. durch Besteuerung, Freiwillige Vereinbarungen, Verbote bestimmter schadstoffhaltiger Anteile)	Informationskampagne	hoch	Relativ geringer Aufwand	
	Umweltgebühr für diese Produkte	gering	Schwer zu administrieren	
	Verbote bestimmter schadstoffhaltiger Anteile in diesen Produkten	gering	Schwer zu administrieren; Widerstand der Stakeholder	
	Freiwillige Vereinbarung über „Nicht-In-Verkehr-Setzung bzw. Rücknahme nach Gebrauch	hoch	Wenn Industrie dafür positives Image erhält	
	Studien über die Möglichkeit Aluminium in Verbundverpackungen zu ersetzen	sehr hoch	Geringer Aufwand	
Ersatz von Aluminium in Verbundverpackungen	Information der Konsumenten über richtiges Verhalten	sehr hoch	Geringer zusätzlicher Aufwand zu bestehenden Informationsverpflichtungen	
	Förderung für die Entwicklung von Ersatzverpackungen	gering	Hoher finanzieller Aufwand, Einbindung anderer Ministerien	
	Vereinbarungen über die Einführung von Ersatzverpackungen	gering	Unklar, ob es kostengünstige Ersatzverpackungen gibt	
	Studie wo PVC noch genutzt wird, Möglichkeiten PVC zu ersetzen	sehr hoch	Notwendig, um weitere Maßnahmen zu konzipieren, relativ geringer Aufwand	
Ersatz von PVC	Information der Konsumenten wo PVC vermeidbar	mittel	Information muss erst erarbeitet werden	
	Förderung für die Entwicklung von Ersatzmaterialien	gering	Hoher Mitteleinsatz	
	Vereinbarungen über die Einführung von Ersatzmaterialien	gering	Nur dort möglich, wo es kostengünstige Alternativen gibt	



Handlungsfeld	Maßnahme	Chance	Begründung
Getrennthalten von belasteten Abfällen vor der Anlieferung zur Verbrennungsanlage und eigene (nicht-thermische) Behandlung	Vergleichende Analysen der möglichen Techniken unter Berücksichtigung des Vorsorgeprinzips und einer integrierten Betrachtung Deponiegebühr abh. von Schwermetallgehalt und Elutionsverhalten	sehr hoch	Notwendig für das Konzipieren weiterer Maßnahmen
Ausgangsseitige Entfrachtung oder Fixierung von Schadstoffen bei hohem Eintrag in die Verbrennungsanlage (z. B. Shredderleichtfraktion) inklusive Rückgewinnung einiger Schwermetalle	Analyse der möglichen Techniken in Hinblick auf ökologischen Nutzen und ökologische/ökonomische Kosten unter Berücksichtigung des Vorsorgeprinzips und einer integrierten Betrachtung	sehr hoch	Notwendig für das Konzipieren weiterer Maßnahmen
Verbrennung von hoch belasteten Abfällen in einer eigenen Anlage inklusive Behandlung der anfallenden Rückstände und Rückgewinnung einiger Schwermetalle	Analyse der möglichen Techniken in Hinblick auf ökologischen Nutzen und ökologische/ökonomische Kosten unter Berücksichtigung des Vorsorgeprinzips und einer integrierten Betrachtung	sehr hoch	Notwendig für das Konzipieren weiterer Maßnahmen
	Ermittlung der Kosten für eine eigene Anlage	mittel	Nur sinnvoll, wenn Erfahrungen in der Schweiz oder anderen Ländern positiv
Behandlung von Aschen und Schlacken	Analyse der möglichen Techniken in Hinblick auf ökologischen Nutzen und ökologische/ökonomische Kosten unter Berücksichtigung des Vorsorgeprinzips und einer integrierten Betrachtung	sehr hoch	Einfach und notwendig
	Intensiviertes Monitoring von Zusammensetzung /Elutionsverhalten der Abfallverbrennungsrückstände	hoch	Mittlerer Widerstand aber notwendig

Tab. 97: Chancenreichste Maßnahmen zur Umsetzung des Vermeidungs- und Verwertungspotenzials bei Rückständen aus der Abfallverbrennung.

Handlungsfeld	Maßnahme	Chance	Begründung	
Verringerung des Schwermetallgehalts im Restabfall durch:	vermehrte Reparatur von Elektrogeräten	Verbreitung der Erfahrungen des Reparaturnetzwerks Wien auf ganz Österreich inklusive Motivationskampagne Reparatur	Hoch	Einfache Maßnahme mit relativ geringem Aufwand
	Erhöhung der Sammelraten für Elektronikschrott und Batterien	Als unterstützende Maßnahmen zur Umsetzung der EAG-Verordnung, Informationskampagne über die Schädlichkeit von Elektronikschrott und Batterien im Restmüll und über richtiges Verhalten	hoch	Relativ geringer Aufwand, im Zuge der Einführung EAG Verordnung notwendig
		Rücknahmeverpflichtung für Elektroaltgeräte	sehr hoch	In EAG-VO vorgesehen
	Verringerte Verwendung cadmiumhaltiger Batterien	Informationskampagne über die Schädlichkeit Cadmium-haltiger Akkus/Batterien und über Alternativen Limitierung des Cadmiumgehaltes auf 20 mg/kg für alle Batterien/Akkus	sehr hoch sehr hoch	Notwendig wenn auf EU Ebene Cd-Gehalt von Batterien auf niedrigem Niveau limitiert Wenn EU-weit beschlossen
Verringerte Verwendung quecksilberhaltiger Messinstrumente und Batterie	Informationskampagne über die Schädlichkeit von Quecksilber, über Alternativen und über Rückgabemöglichkeiten	sehr hoch	Relativ einfach und in Zusammenhang mit EAG-Verordnung sinnvoll	



Handlungsfeld		Maßnahme	Chance	Begründung
Verringerung des Schwermetallgehalts im Restabfall durch: (Fortsetzung)	Verringerte Verwendung quecksilberhaltiger Messinstrumente und Batterie (Fortsetzung)	Limitierung des Quecksilbergehaltes in allen Batterietypen auf 5 mg/kg	sehr hoch	Wenn EU-weit beschlossen
	Verringerte Verwendung von batterie-haltigem (Billig)spielzeug, Werbegeschenken und Glückwunschpostkarten u. ä. Maßnahmen über das Nicht-In-Verkehr-Bringen solcher Produkte (z. B. durch Besteuerung, Freiwillige Vereinbarungen, Verbote bestimmter schadstoffhaltiger Anteile)	Informationskampagne Freiwillige Vereinbarung über „Nicht-In-Verkehr-Setzung bzw. Rücknahme nach Gebrauch	hoch hoch	Relativ geringer Aufwand Wenn Industrie dafür positives Image erhält
Ersatz von Aluminium in Verbundverpackungen		Studien über die Möglichkeit Aluminium in Verbundverpackungen zu ersetzen	sehr hoch	Geringer Aufwand
		Information der Konsumenten über richtiges Verhalten	sehr hoch	Geringer zusätzlicher Aufwand zu bestehenden Informationsverpflichtungen
Ersatz von PVC		Studie wo PVC noch genutzt wird, Möglichkeiten PVC zu ersetzen	sehr hoch	Notwendig um weitere Maßnahmen zu konzipieren, relativ geringer Aufwand
Getrennthalten von belasteten Abfällen vor der Anlieferung zur Verbrennungsanlage und eigene (nicht-thermische) Behandlung		Vergleichende Analysen der möglichen Techniken unter Berücksichtigung des Vorsorgeprinzips und einer integrierten Betrachtung	sehr hoch	Notwendig für das Konzipieren weiterer Maßnahmen
Ausgangsseitige Entfrachtung oder Fixierung von Schadstoffen bei hohem Eintrag in die Verbrennungsanlage (z. B. Shredderleichtfraktion) inklusive Rückgewinnung einiger Schwermetalle		Analyse der möglichen Techniken in Hinblick auf ökologischen Nutzen und ökologische/ ökonomische Kosten unter Berücksichtigung des Vorsorgeprinzips und einer integrierten Betrachtung	sehr hoch	Notwendig für das Konzipieren weiterer Maßnahmen
Verbrennung von hoch belasteten Abfällen in einer eigenen Anlage inklusive Behandlung der anfallenden Rückstände und Rückgewinnung einiger Schwermetalle		Analyse der möglichen Techniken in Hinblick auf ökologischen Nutzen und ökologische/ ökonomische Kosten unter Berücksichtigung des Vorsorgeprinzips und einer integrierten Betrachtung	sehr hoch	Notwendig für das Konzipieren weiterer Maßnahmen
Behandlung von Aschen und Schlacken		Analyse der möglichen Techniken in Hinblick auf ökologischen Nutzen und ökologische/ ökonomische Kosten unter Berücksichtigung des Vorsorgeprinzips und einer integrierten Betrachtung	sehr hoch	Einfach und notwendig
		Intensiviertes Monitoring von Zusammensetzung/ Elutionsverhalten der Abfallverbrennungsrückstände	hoch	Mittlerer Widerstand aber notwendig



5.2 Rückstände und Abfälle aus Kraftwerken und Mitverbrennungsanlagen

Stand der Technik ist der Betrieb und die Konzeption der Feuerung und der Rauchgasreinigungsanlagen in der Art, dass die Zusammensetzung der Aschen und des REA-Gipses den Qualitätsanforderungen für den Einsatz in der Zement- und Baustoffindustrie entspricht.

Unter der Voraussetzung, dass sich die Eigenschaften des Zements bzw. der Baustoffe (wichtige Parameter sind u. a. der Glühverlust, der Gehalt an Chloriden und der Gehalt an freiem CaO) durch die Zugabe von Kraftwerksrückständen verbessern (z. B. Erhöhung der Langzeitfestigkeit) oder zumindest nicht ändern und keine Anreicherung an Schadstoffen (Schwermetalle) im Endprodukt stattfindet, bestehen folgende Wiederverwendungsmöglichkeiten:

- Einsatz von Gips (Entschwefelungsprodukt aus der nassen Rauchgaswäsche) nach der Trocknung und Entwässerung in der Zement- und Baustoffindustrie.
- Einsatz von Grobasche in der Ziegelindustrie.
- Einsatz von Flugasche als Betonzusatzstoff sowie als Rohmehlbestandteil und/oder Zumahlstoff in der Zementindustrie.

Der Filterkuchen aus der Abwasserreinigungsanlage ist wegen der hohen Schadstoffbelastung im Regelfall entsprechend dem Stand der Technik zu deponieren.

Abfälle, welche aufgrund ihrer Zusammensetzung keiner weiteren Verwendung zugeführt werden können, sind nach dem Stand der Technik zu deponieren. (UMWELTBUNDESAMT 2003).

Die zunehmende Mitverbrennung von Abfällen ändert die Art und Zusammensetzung der Abfälle und Reststoffe. Die Mitverbrennung von Abfällen in der Kraftwerksindustrie sollte jedoch nicht dazu führen, dass die anfallenden Abfälle/Reststoffe von der Baustoffindustrie nicht mehr übernommen werden.

Zur Festlegung von Schwermetallgehalten in Ersatzbrennstoffen wurde vom BMLFUW ein Arbeitskreis „Ersatzbrennstoffe“ eingerichtet.

Die Flugaschen (Zyklon- und Feinstflugasche) aus Biomasseanlagen müssen in der Regel deponiert werden; aufgrund der hohen Gehalte an Alkali- und Erdalkalimetallen sowie von Phosphor ist eine Verwendung in der Baustoffindustrie kaum möglich. Grobaschen aus Biomasseanlagen können bei Einhaltung der Grenzwerte der Kompostverordnung auf Böden aufgebracht werden. Für die Behandlung der Aschen aus Biomasseanlagen gelten im Wesentlichen die gleichen Barrieren wie für die Rückstände aus Abfallverbrennungsanlagen.

5.3 Rückstände und Abfälle aus der Metallerzeugung

5.3.1 Eisen- und Stahlindustrie

Hüttenintern anfallende Abfälle (v. a. Stäube, Schlämme, Zunder) sollten soweit möglich einer direkten Verwertung in den bestehenden metallurgischen Prozessen (z. B. Sinteranlage, Hochofen, BOF, EAF) zugeführt werden, da dadurch insbesondere die eisenreiche Fraktion verwertet werden kann. Die Anlagen, in denen diese Abfälle behandelt werden, sollten jedenfalls mit effizienten Rauchgasreinigungsanlagen ausgerüstet werden und einen niedrigen spezifischen Energiebedarf aufweisen.

Ist ein direkter Wiedereinsatz nicht möglich, v. a. bei stark ölkontaminierten Eisenträgern (Walzzunder, Schrott), bzw. bei mit Zink und Blei angereicherten Stäuben und Schlämmen, sollte geprüft werden, ob Verfahren (Entzinken, Entbleien, Entölen) eingesetzt werden können, die eine Wiedergewinnung der Eisen- und Schwermetallfraktion ermöglichen.

Eine hüttenexterne Nutzung von Reststoffen und Abfällen – v. a. von Schlacke – ist durch geeignete Prozessführung zu forcieren, um eine Deponierung zu vermeiden (z. B. Einsatz von Schlacken in der Baustoffindustrie).

5.3.2 Nichteisenmetallindustrie

5.3.2.1 Sekundäraluminiumindustrie

Weil Abfälle bzw. Reststoffe aus der Sekundäraluminiumproduktion kaum vermeidbar sind, muss vermehrtes Augenmerk auf die Behandlungsmöglichkeiten dieser Abfälle bzw. Reststoffe gelegt werden.

Aufgrund dieser Überlegungen ergeben sich folgende Schwerpunkte:

- Getrennte, sortenreine Erfassung von Aluminiumschrotten.
- Verbesserung der Schrottaufbereitung dahingehend, dass der Verbrauch von Abdecksalz reduziert wird bzw. das Umschmelzen von Sekundäraluminium in Herd- oder Induktionsöfen möglich ist.
- Behandlung der anfallenden Salzschlacke gemäß Stand der Technik mittels Löse-Kristallisationsverfahren.
- Bei der Krätzeaufbereitung wird Aluminium, das im Drehtrommelofen wieder eingesetzt werden kann, und Krätzestaub gewonnen. Dieser kann bei der Salzschlackenaufbereitung mit eingesetzt werden.
- Die Abgasreinigung in Umschmelzwerken erfolgt gemäß Stand der Technik mittels Gewebefilter und Trockensorptionsverfahren bzw. Flugstromverfahren. Dabei werden mit dem Staub auch Schwermetalle, HCl, HF, SO₂ und PCDD/F abgeschieden.
- Die Minderungsmöglichkeiten für Filterstaub sind gering und abhängig vom Verfahren (Additivzugabe) und Emissionsminderungsgrad. Der Einsatz von salzlos betriebenen Herdöfen bedingt jedoch einen deutlich geringeren Filterstaubanfall.



5.3.2.2 Sekundärkupferindustrie

Mengenmäßig relevante Abfälle bzw. Reststoffe der Sekundärkupfererzeugung sind Schlacken, Filterstäube und Ofenausbruch. Schachtofenschlacke der Montanwerke Brixlegg mit einer Korngröße von 0,25–2,8 mm wird gemäß Bescheid der BH Kufstein nicht als Abfall eingestuft und als Sandstrahlgut verkauft. Über- und Unterkorn wird innerbetrieblich (im Schachtofen) wieder eingesetzt. Konverterschlacke und Anodenschlacke werden im Schachtofen wieder eingesetzt. Filterstäube der Schachtofenanlage und der Konverter werden extern verwertet, der Filterstaub des Anodenofens wird wieder im Schachtofen eingesetzt.

5.3.2.3 Sekundärbleiindustrie

Die Silikatschlacke sowie der Ofenausbruch der BMG Metall und Recycling GmbH werden auf der Reststoffdeponie der ABRG deponiert, wobei es sich bei der Schlacke um einen gefährlichen Abfall handelt. Die Schlacken aus Nichteisenmetallschmelzen wurden 2003 gemäß Deponieverordnung ausgestuft.

Bleikrätze, Bleiasche, Filterstaub und Bleischlamm der BMG werden thermo-metallurgisch verwertet.

5.3.2.4 Refraktärmetallindustrie

Ein Großteil der Abfälle der Treibacher Industrie AG ist der Schlüsselnummerngruppe 312 „Metallurgische Schlacken, Krätzen und Stäube“ zugeordnet.

Seit August 1993 wird eine eigene Deponie (St. Kosmas) für nicht gefährliche betriebseigene Abfälle wie Schlacken, Ofenausbrüche und Schlämme betrieben. Der Großteil der deponierten Abfälle besteht aus Laugungsrückstand der Vanadiumoxidanlage, aber auch aus Molybdän-, Vanadium-, FeNi-haltige Schlacken.

5.4 Zementindustrie

In Österreich werden die bei der Herstellung von Zement anfallenden Stäube im Produktionsprozess wieder eingesetzt, wodurch keine Abfälle anfallen.

Die Zement- und Baustoffindustrie setzt Aschen, Schlacken, Stäube aus Kraftwerken und Industrieprozessen ein. Über die eingesetzten Mengen wird seit 1988 berichtet HACKL & MAUSCHITZ (1995, 1997, 2001, 2003). Über die Zusammensetzung der eingesetzten Aschen, Schlacken und Stäube ist weniger bekannt.

6 VERMEIDUNGS- UND VERWERTUNGSPOTENZIALE BEI DER ABFALLVERBRENNUNG

In diesem Kapitel sollen mögliche Vermeidungs- und Verwertungspotenziale für Aschen und Schlacken im Bereich der Abfallverbrennung und -mitverbrennung dargestellt werden.

Vermeidungspotenziale können sowohl qualitativer als auch quantitativer Natur sein. Da es sich bei den Aschen und Schlacken aus der Abfallverbrennung um Ströme handelt, die gezielt geschaffen werden, um gesicherte Senken für nicht mehr nutzbare Stoffe zu bilden, wird in diesem Zusammenhang keine mengenmäßige Verringerung des Stoffstroms, also keine quantitative Abfallvermeidung angestrebt. Es ist aber durchaus das Ziel dieser Studie, Möglichkeiten zur (eingangsseitigen) Schadstoffentfrachtung – also Potenziale der qualitativen Abfallvermeidung – zu identifizieren, um die Qualität der Aschen und Schlacken für die Lagerung zu verbessern. Zu bestimmen sind folgende Potenziale:

- **Das technische Potenzial**

- der qualitativen Abfallvermeidung,
- der Abfallverwertung

als jenes Potenzial, welches durch die technischen Randbedingungen im Idealfall limitiert ist.

- **Das sozio-ökonomische Potenzial**

- der qualitativen Abfallvermeidung,
- der Abfallverwertung

als jenes Potenzial innerhalb des technischen Potenziales, welches durch die sozio-ökonomischen Randbedingungen (das heißt vor allem durch die Interessen und Bedürfnisse der Marktteilnehmer und Endverbraucher) limitiert ist.

- **Das realisierbare Potenzial**

- der qualitativen Abfallvermeidung,
- der Abfallverwertung

als jenes Potenzial innerhalb des sozio-ökonomischen Potenziales, welches durch einen optimalen Mix der oben untersuchten Maßnahmen realisierbar wäre.

In diesem Kapitel wird eine Grobabschätzung getroffen, in welcher Größenordnung das technische, sozio-ökonomische und realisierbare Potenziale für folgende Maßnahmen liegen könnten:

- Verringerung des Schwermetallgehalts im Restabfall
 - durch vermehrte Reparatur von Elektrogeräten,
 - durch Erhöhung der Sammelraten für Elektroaltgeräte und Batterien,
 - durch eine verringerte Verwendung cadmiumhaltiger Batterien und Akkumulatoren,
 - durch eine verringerte Verwendung quecksilberhaltiger Bauteile und Geräte.
- Verringerung des Aluminiumgehaltes im Restabfall durch verringerte Verwendung aluminiumhaltiger Verpackungen und verbesserte getrennte Sammlung.
- Verringerung des PVC-Gehaltes im Restmüll durch den Ersatz von PVC.
- Abtrennung der Metalle.

Die Abschätzung des Potenzials zur **Verringerung des Schwermetallgehaltes** im Restabfall basiert auf folgenden Informationen und Annahmen:

- Es wird angenommen, dass die einzelnen Fraktionen des Restabfalls in Österreich in ähnlicher Weise zum Gesamtschwermetallgehalt beitragen wie in Bayern und dass die Schwermetallkonzentrationen in den Fraktionen der Tab. 22 „sonstige Verbunde“ und „Elektronikschrott“ zur Gänze auf den Elektronikschrott im Restabfall zurückzuführen ist. Daraus resultiert, dass 28 % des Blei-, Cadmium- und Zinkgehalts und 78 % des Kupfergehalts im Restmüll auf Elektronikschrott zurückzuführen ist. Für den Schwermetallgehalt im Restabfall insgesamt wird angenommen, dass er zu 44 % auf Elektroaltgeräte und Elektronikschrott zurückzuführen ist.
- Es wird angenommen, dass 14 % des Quecksilbers (siehe Abb. 7), 10 % des Zinks und 77 % des Cadmiums im Restabfall auf die Fraktion Batterien zurückzuführen ist (siehe Kapitel 2.1.5.2). Für den Schwermetallgehalt insgesamt wird angenommen, dass Batterien zu 10 % für den Schwermetallgehalt im Restabfall verantwortlich sind.
- Für die Abschätzung des Schwermetallvermeidungspotenzials im Restmüll durch die verstärkte Reparatur von Elektrogeräten wird angenommen, dass durch solche Reparaturen Lebensdauererlängerungen von 30 % zu erzielen sind. Das technische Potenzial zur Schwermetallvermeidung im Restmüll ist somit: 44 % (Schwermetall durch Elektroaltgeräte) * 30 % (durch Lebensdauererlängerung) = 13 %. Für die Abschätzung des sozio-ökonomischen Potenzials wird angenommen, dass sich bei 10 % aller Elektrogeräte eine Lebensdauer verlängernde Reparatur aus Sicht des Konsumenten auszahlen würde. Damit ergibt sich ein sozio-ökonomisches Potenzial von 1,3 %.
Für das realisierbare Potenzial wird angenommen, dass sich das sozio-ökonomische Potenzial bei einem optimalen, heute realisierbaren Maßnahmenmix auch tatsächlich umsetzen ließe. Damit ergibt sich ein realisierbares Potenzial zur Reduzierung des Schwermetallgehaltes im Restabfall durch verstärkte Reparaturen von 1,3 %.
Zum Vergleich soll hier genannt werden, dass die Förderung der Reparaturbetriebe durch die Initiative „Abfallvermeidung in Wien“ zu einer Reduktion des Anfalls an Elektronikschrott von 400 t/a geführt hat, das sind ca. 1,7 % des Elektronikschrotts von Wien (SEIDL 2004).
- Für die Verringerung des Schwermetallgehaltes im Restabfall durch Verbesserung der getrennten Sammlung ergibt sich ein technisches Potenzial von 54 % (44 % vom Elektronikschrott + 10 % von Batterien).
- Bei gut etablierten Rücknahmesystemen und einer Belohnung für die Rückgabe, sollten 80 % des technischen Potenzials auch sozio-ökonomisch umsetzbar sein. Daraus resultiert ein sozio-ökonomisches Potenzial von 43 %.
Unter den gegebenen Einschränkungen für Belohnungssysteme (Knappheit an finanziellen Ressourcen) erscheinen 50 % des sozio-ökonomischen Potenzials realisierbar. Dies ergibt ein realisierbares Potenzial von 22 %.
- Es wird angenommen, dass der Cadmiumgehalt im Restabfall zu 77 % auf den Eintrag über Nickel-Cadmium-Batterien und -Akkumulatoren zurückzuführen ist (siehe Kapitel 2.1.5.2). Aus technischer Sicht ließen sich diese Energiespeicher durch andere ersetzen, weshalb das technische Potenzial zur Vermeidung von Cadmium im Restabfall mit 77 % geschätzt wird.
Gemäß Stellungnahmen der Wirtschaftskammer (WKO 2004), lassen sich Nickel-Cadmium-Akkumulatoren nicht in allen Anwendungen auf ökonomische Art er-

setzen. Es wird angenommen, dass diese Anwendungen 10 % des Marktes für Nickel-Cadmium-Batterien ausmachen. Daher wird das sozio-ökonomische Potenzial auf 69 % abgeschätzt. Bei Beschlussfassung der aktuell diskutierten Batterierichtlinie (EUROPEAN PARLIAMENT & COUNCIL 2004) wäre das sozio-ökonomische Potenzial auch realisierbar.

- Es wird angenommen, dass der Großteil des im Restmüll enthaltenen Quecksilbers ursprünglich aus Messinstrumenten (Thermometern), Batterien (vor allem aus Geräten und Spielzeugen, die von außerhalb der EU importiert wurden), Beleuchtungsmitteln (Energiesparlampen) und elektrischen Relais stammen. Es wird angenommen, dass sich Quecksilber technisch in den Fraktionen Elektronikschrott und Batterien vollständig und in den verbleibenden Fraktionen des Restabfalls zur Hälfte reduzieren ließe. Dies ergibt ein technisches Vermeidungspotenzial für Quecksilber im Restabfall von 70 % (vergleiche mit Abbildung 7). Es wird angenommen, dass das technische Potenzial nach einem EU-weiten Verbot von quecksilberhaltigen Batterien und entsprechenden Maßnahmen zur Förderung des Umstieges von quecksilberhaltigen auf quecksilberfreie Messinstrument sozio-ökonomisch zur Hälfte aktivierbar und auch realisierbar wäre.
- Für die Berechnung des Potenziales zur Verringerung des Schwermetallgehaltes im Abfall durch ein verringertes In-Verkehr-Bringen von batteriehaltigem (Billig-)Spielzeug und Produkten wird angenommen, dass 44 % des Schwermetallgehaltes im Restmüll von Elektronikschrott stammt und davon rund 20 % aus diesen Geräten. Das ergibt ein technisches Verringerungspotenzial für Schwermetalle im Restabfall von 8,8 %. Diese Geräte und Spielsachen sind jedoch sehr beliebt und lassen sich aufgrund der geringen Größe „leicht“ wegwerfen. Daher wird angenommen, dass durch Informationskampagnen, Rücknahmepflichten oder freiwillige Vereinbarungen das resultierende sozio-ökonomische und das realisierbare Potenzial rund 4 % beträgt.

Für die Abschätzung der Potenziale zur Verringerung des Gehaltes an **metallischem Aluminium** im Restabfall werden folgende Annahmen getroffen:

- Aus technischer Sicht lässt sich Aluminium in Verbundverpackungen sicherlich durch eine andere Technologie substituieren (technisches Potenzial daher 100 %), die dafür anfallenden Kosten und allenfalls entstehende Nachteile und das entsprechende sozio-ökonomische Potenzial können aber nicht abgeschätzt werden.
- Für eine verbesserte getrennte Sammlung wird angenommen, dass sich durch entsprechende verstärkte Information und Motivation 10 % an Aluminium im Restabfall vermeiden ließen.

Für die Verringerung des **Chlor- und Schwermetallgehalts** im Restmüll durch den **Ersatz von PVC** lässt sich lediglich feststellen, dass ein erheblicher Anteil (ca. 50 %) des Chlorgehaltes, maximal 10 % des Cadmium- und maximal 1 % des Blei-gehaltes auf PVC zurückzuführen ist. Dabei sollte die Cadmiumfracht aus PVC-Abfällen durch das Phase-out dieses Schwermetalls als PVC-Stabilisator bereits sinken. Ein Sinken der Bleifracht sollte aufgrund einer industriellen Selbstverpflichtung ab 2015 zu erzielen sein.

Aus technischer Sicht lässt sich PVC sicherlich in den meisten Anwendungen durch eine andere Technologie substituieren, die dafür notwendigen Kosten und allenfalls entstehende Nachteile können aber nicht abgeschätzt werden. Für eine Abschätzung der Vermeidungspotenziale sind die vorhandenen Informationen zu gering.

Als nächstes wird am Beispiel **Zink** abgeschätzt welcher Anteil der im Restabfall enthaltenen **Schwermetalle** sich durch die Extraktion der Schwermetalle aus der Flugasche einer Abfallverbrennungsanlage wiedergewinnen lassen müssten. Ca. 46 % des im Restmüll enthaltenen Zinks gehen in die Flugasche (siehe Tab. 16). Wenn diese Flugasche zum Beispiel im Reshment-Verfahren eingesetzt wird sollte das enthaltene Zink zu 92 % in den Schwermetallstaub gehen (siehe Tab. 98) und damit ca. 40 % des ursprünglich im Restabfall enthaltenen Zinks metallisch wieder aufbereitbar sein. Solange die Metallpreise nicht deutlich steigen, besteht kein betriebswirtschaftliches Potenzial. Sollte die öffentliche Hand bereit sein, die Kosten zu tragen oder das Verfahren zwingend vorzuschreiben, so wäre das technische Potenzial auch realisierbar.

Abschließend soll noch eine Abschätzung getroffen werden, wie groß die Dissipationsminderungspotenziale für die Rückstände der Abfallverbrennung durch **Verglasung** sind. Durch die Versinterung im Syncom-Plus-Prozess sollte eine Verringerung der Eluatkonzentration des Bleis aus der Verbrennungsschlacke um 95 % zu erzielen sein (siehe Tab. 98). Um auf der sicheren Seite zu liegen, wird für die Schwermetalle im Schnitt unter Betriebsbedingungen ein technisches Potenzial zur Verringerung der Eluatkonzentration und somit zur Verringerung der Dissipation von 90 % angenommen. (Diese Annahme muss aber durch Betriebsdaten vor allem in Hinblick auf resultierende Konzentrationen im Deponiesickerwasser verifiziert werden.)

Ohne Internalisierung der externen Kosten, die durch die Dissipation der Schadstoffe verursacht werden, besteht kein betriebswirtschaftliches Potenzial für die Verglasung. Sollte die öffentliche Hand jedoch bereit sein, die Kosten zu tragen oder die Verglasung zwingend vorzuschreiben, so wäre das technische Potenzial auch realisierbar.

Tab. 98 fasst die Abschätzung der technischen, sozio-ökonomischen und realisierbaren Potenziale der Vermeidung und Verwertung für die Rückstände aus der Abfallverbrennung zusammen. Was die Verringerung des Schwermetallgehaltes im Restabfall betrifft, zeigen die Verbote von Cadmium und Quecksilberbatterien sowie eine verbesserte getrennte Sammlung von Elektronikschrott und Batterien die größten Potenziale. Wegen der Verringerung des Schwermetallgehaltes im Restmüll alleine würde man eine verstärkte Reparatur der Elektrogeräte nicht fördern. Wenn das gesamte Elektronikschrottreime betrachtet wird, ist der Effekt jedoch substantiell. Für die restlichen 4 Handlungsfelder (Verringerung von metallischem Aluminium und PVC im Restabfall, Extrahieren von Schwermetallen aus Rückständen mit hohen Schwermetallkonzentrationen und Verglasung der Rückstände) müssen sich die Maßnahmen zunächst auf eine Verbreiterung der Informationsbasis konzentrieren. Erst dann kann abgeschätzt werden, ob realisierbare Potenziale bestehen bzw. ob diese auf effiziente Art umgesetzt werden können.



Tab. 98: Potenzialabschätzung für die Vermeidung und Verwertung im Bereich der Rückstände aus der Abfallverbrennung.

Handlungsfeld	Annahmen	Indikator	Vermeidungs-/ Verwertungs-/ Dissipations- minderungspotenzial			
			technisches	sozio- ökonomisches	realisierbares	
Verringerung des Schwermetallgehalts im Restabfall durch	vermehrte Reparatur von Elektrogeräten	44 % des Schwermetallgehalts kommen vom Elektronikschrott; Lebensdauererweiterung um 30 %; bei 10 % der Geräte zahlt sich eine Reparatur unter Einrechnung der Zusatzmühen für den Konsumenten aus; das sozio-ökonomische Potenzial sollte sich durch einen optimalen Maßnahmenmix auch aktivieren lassen	Schwermetallgehalt im Restabfall	13 %	1,3 %	1,3 %
	Erhöhung der Sammelraten für Elektronikschrott und Batterien	44 % des Schwermetallgehalts kommen vom Elektronikschrott, 10 % von Batterien; bei gut etablierten Rücknahmesystemen und einer Belohnung für die Rückgabe sollten 80 % des technischen Potenzials auch sozio-ökonomisch umsetzbar sein, unter den gegebenen Einschränkungen für Belohnungssysteme erscheinen 50 % des sozio-ökonomischen Potenzials realisierbar.	Schwermetallgehalt im Restabfall	54 %	43 %	22 %
	verringerte Verwendung cadmiumhaltiger Batterien	77 % des Cadmiums in der Batteriefraktion; ließen sich bei einem Verbot aus sozioökonomischer und ordnungspolitischer Sicht auch realisieren.	Cadmiumgehalt im Restabfall	77 %	69 %	69 %
	verringerte Verwendung quecksilberhaltiger Messinstrumente und Batterien	70 % des Quecksilbers sollten durch die Anwendung anderer Technologien vermeidbar sein. Durch Importe von außerhalb der EU und unperfektes Sammelverhalten von Elektronikschrott und Leuchtkörper wird das sozio-ökonomische und realisierbare Potenzial auf die Hälfte eingeschränkt.	Quecksilbergehalt im Restabfall	70 %	35 %	35 %
verringerte Verwendung von batteriehaltigem (Billig)spielzeug, Werbegeschenken und Glückwunschkarten u. ä. Maßnahmen über das Nicht-Inverkehr-Bringen solcher Produkte (z. B. durch Besteuerung, freiwillige Vereinbarungen, Verbote bestimmter schadstoffhaltiger Anteile)	Für die Berechnung des Potenziales zur Verringerung des Schwermetallgehaltes im Abfall durch ein verringertes In-Verkehr-Bringen von batteriehaltigem (Billig)Spielzeug und Produkten wird angenommen, dass 44 % des Schwermetallgehaltes im Restmüll von Elektronikschrott stammt und davon rund 20 % aus diesen Geräten		8,8 %	4 %	4 %	
Ersatz von Aluminium in Verbundverpackungen und verbesserte getrennte Sammlung	Aus technischer Sicht lässt sich Aluminium in Verbundverpackungen sicherlich durch eine andere Technologie substituieren, die dafür notwendigen Kosten und allenfalls entstehende Nachteile und das entsprechende sozio-ökonomische Potenzial können aber nicht abgeschätzt werden. Für eine verbesserte getrennte Sammlung wird angenommen, dass sich durch entsprechende verstärkte Information und Motivation 10 % an Aluminium im Restabfall vermeiden lassen.	metallisches Aluminium im Restabfall	100 %	?	10 %	

Handlungsfeld	Annahmen	Indikator	Vermeidungs-/ Verwertungs-/ Dissipations- minderungspotenzial		
			technisches	sozio- ökonomisches	realisierbares
Ersatz von PVC	Es wird angenommen, dass PVC für einen erheblichen Teil des Chlorgehalts (ca. 50 %) und einem gewissen Teil des Pb-, Cd-, Zn- und Sn-Gehaltes (um die 1 bis maximal 10 %) im Restabfall verantwortlich ist. Aus technischer Sicht lässt sich PVC sicherlich in den meisten Anwendungen durch eine andere Technologie substituieren, die dafür notwendigen Kosten und allenfalls entstehende Nachteile können aber nicht abgeschätzt werden.	Gehalt an Chlor, Blei, Cadmium, Zink und Zinn im Restabfall	?	?	?
Abtrennung der Metalle aus Flugaschen (v.a. Zink)	Es wird angenommen, dass sich in der Flugasche befindliche Metalle zu 90 % extrahieren lassen. Bezogen auf den Restabfall könnten ca 40 % des enthaltenen Zinks recycelt werden. Solange die Metallpreise nicht deutlich steigen, besteht kein betriebswirtschaftliches Potenzial. Sollte die öffentliche Hand bereit sein, die Kosten zu tragen, oder das Verfahren zwingend vorzuschreiben, so wäre das technische Potenzial auch realisierbar.	Recycling der Metalle Eisen, Kupfer, Blei und Zink	40 %	0 %	40 %
Verglasung verbleibender schwermetallhaltiger Rückstände	Es wird angenommen, dass sich die Eluatkonzentrationen durch Verglasung zumindest um 90 % verringern lassen. Ohne Internalisierung externer Kosten besteht kein betriebswirtschaftliches Potenzial. Sollte die öffentliche Hand bereit sein, die Kosten zu tragen, oder das Verfahren zwingend vorzuschreiben, so wäre das technische Potenzial auch realisierbar.	Schwermetall-eluatkonzentrationen	90 %	0 %	90 %

Hier soll nun eine Bewertung getroffen werden, was diese Potenzialabschätzung bedeutet. Welche Auswirkungen könnten die vorgeschlagenen Maßnahmen zusammen mit der aktuellen Einführung der Elektroaltgeräteverordnung auf die Schlacken/Aschen/Stäube aus der Abfallverbrennung im Speziellen und auf die österreichische Abfall- und Kreislaufwirtschaft im Allgemeinen haben?

Zunächst zielen die Maßnahmen auf die Verringerung des Schwermetallgehaltes jener Stoffe, die zur Abfallverbrennung gelangen, ab.

Anhand der zur Verfügung stehenden Daten wird abgeschätzt, dass sich ca. 70 % des Cd-Gehaltes und ca. 35 % des Hg-Gehaltes im Abfall vermeiden lassen. Dies sollte zu einer entsprechenden Verringerung der Mittelwerte des Cd- und Hg-Gehaltes vor allem in den Flugaschen führen. Für die anderen Schwermetalle, in erster Linie Blei, Kupfer und Zink wird ein Vermeidungspotenzial von 20 % gesehen. Der verringerte Gehalt von Blei und Zink würde eine Verbesserung der Flugaschequalität (jeweils auf den Mittelwert bezogen), der verringerte Kupfergehalt eine Verbesserung der Schlackequalität bewirken.

Das Minderungspotenzial für die eingangseitige Entfrachtung ist jedoch durch die undefinierte Zusammensetzung des Restmülls und den Umstand, dass sich ein wesentlicher Anteil der Schadstoffe (Schwermetalle) in der Feinfraktion befindet, beschränkt.

Was die Deponierung der Flugaschen aus der Abfallverbrennung betrifft, könnten Chargen, die heute wegen eines zu hohen Quecksilbergehaltes oder einer zu hohen Blei-, Zink- oder Cadmiumlöslichkeit heute untertage deponiert werden müssen, in Zukunft im Einzelfall tauglich für die Deponierung auf der Reststoffdeponie werden. Ein Erreichen der Richtwerte für Recycling-Baustoffe ist durch die vorgeschlagenen Maßnahmen für keinen Rückstandsstrom aus der Abfallverbrennung zu erwarten.

Die zu erwartenden positiven Effekte der eingangsseitigen Abfallvermeidung und verbesserten Abfalltrennung vor der Verbrennung aus Sicht der Aschen, Schlacken und Stäube ist somit primär eine Verringerung der Dissipation von Schadstoffen während der Abfallverbrennung und der Deponierung der Verbrennungsrückstände.

Über die Verbesserung der Asche/Schlackequalität hinausgehend kann der zusätzliche Nutzen einer Entfrachtung des Siedlungsabfalles aus Sicht der Abfall- und Kreislaufwirtschaft wie folgt zusammengefasst werden:

- Im verringerten Verbrauch von Primärressourcen (Materialien und Energie).
- In der Verringerung der mit dem Ressourcenabbau verbundenen Emissionen.
- In verringerten Schadstofffrachten auch bei der mechanisch-biologischen Behandlung
- und – bei vollständigem Ersatz der Schwermetalle – in der verringerten Emission und Dissipation von Schadstoffen während des gesamten Lebenszyklus der involvierten Konsumgüter.

Weitere vorgeschlagene Maßnahmen umfassen den Informationsgewinn über den Ersatz von Aluminium als Verbundverpackungsmaterial, über den Ersatz von PVC, über die Aufbereitung von speziellen Verbrennungsrückständen zur Wiedergewinnung von Metall und über die Nachbehandlung der Verbrennungsrückstände. Für diese Maßnahmen sind zunächst keine Auswirkungen auf die Abfall- und Kreislaufströme zu erwarten.

7 ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

ARA.....	Abwasserreinigungsanlage
AWG	Abfallwirtschaftsgesetz
BMLFUW	Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft
BOF.....	Sauerstoffkonverter
BTV	Biotrockensubstanzverwertung
BWL	Brennstoffwärmeleistung
DTO	Drehtrommelofen
EAF	electric arc furnace (Elektrobogenofen)
EAG	Elektroaltgeräte
FA	Flugasche
FHKW	Fernheizkraftwerk
GA.....	Grobasche
GJ	Geschäftsjahr
GJ	Gigajoule
HO.....	Hochofen
HSR	Hochtemperatur-Schmelz-Redox-Verfahren
KW	Kraftwerk
KWK.....	Kraftwärmekopplung
LD	Linz-Donawitz-Verfahren der Stahlerzeugung
LD50 Ratte.....	Lethale Dosis für 50 % der Versuchsratten
MA.....	Mechanische Abfallbehandlungsanlage
MAK	Maximale Arbeitsplatzkonzentration
MBA	Mechnisch-BiologischeAbfallbehandlungsanlage
NMP	nicht metallisches Produkt
n.n.	Nicht nachweisbar
NRW	Nordrhein-Westfalen
PPK.....	Papier, Pappe, Karton
QA.....	Qualitätsanforderung
REA.....	Rauchgasentschwefelungsanlage
SAM	Zementstabilisierte Aschemischungen
SAV	Sprühabsorptionsverfahren
SN.....	Schlüsselnummer
TRK	Technische Richtkonzentration,
TS	Trockensubstanz

8 LITERATUR

- AGIUS, R. (2004): Nickel in the environment and health.
www.agius.com/hew/resource/nickel.htm.
- ALLGAIER, G. & STEGMANN, R. (2004): Batterien im Restmüll – Untersuchungen zum Batteriefluss im System „thermische Restmüllbehandlung“. Proc. Depotech 2004, Leoben 24.-26.11.2004, Verlag Glückauf GMBH, Essen (2004) S. 672–676.
- AMT DER OBERÖSTERREICHISCHEN LANDESREGIERUNG, UMWELTRECHTSABTEILUNG (2004): Bescheid – TBS Transportbeton GmbH; Molln; Shredderrückstandsaufbereitungsanlage in Molln. Linz, 20.12.2004.
- ANONYMUS (1999): Waste incineration and public health. National Academy Press, Washington.
- ANONYMUS (2002): Umwelterklärung 2002 für den Standort Kraftwerk Dürrrohr. Verbund – ATP, EVN, Dürrrohr.
- ANONYMUS (2003): Umwelterklärung zum Standort Voitsberg. Verbund – Austrian Thermal Power, Voitsberg.
- ARES, E. & BOLTON, P. (2002): Waste incineration. House of Commons Library, Research Paper 92/34, London.
- AST (2003): Sauberes Sortieren. Recyclingmagazin (2004) 1. S. 12–13.
- ASTLR – AMT DER STEIERMÄRKISCHEN LANDESREGIERUNG (2001): § 29 AWG Bescheid des Landes Steiermark: Versuchsbetrieb für Tiermehlverbrennung im Kraftwerk Voitsberg, Graz 12.1.2001.
- AWG – ABFALLWIRTSCHAFTSGESETZ (2002): Bundesgesetz der Republik Österreich, mit dem ein Bundesgesetz über eine nachhaltige Abfallwirtschaft erlassen und das Kraftfahr-gesetz 1967 und das Immissionsschutzgesetz-Luft geändert wird. BGBl. I Nr. 102/2002.
- BAITZ, M.; KREISSIG, J. et al. (2004): Life Cycle Assessment of PVC. PE-Europe, IKP, IPU/DTU, RANDA Group, Commissioned by the European Commission, July, 2004.
- BARZ, M. & HEINISCH, R. (1999); Biomasse fuer die Wirbelkammerfeuerung; BWK, 51 (1999) Nr. 3. pp. 48–50.
- BECKMANN, M. (1991): Aufarbeitung von Aluminiumsalzschlacken in Nordrheinwestfalen. In: Aluminium 67 (1991), Nr. 6. S. 586–592.
- BELEVI, H. (2004): Kann in Müllverbrennungsanlagen eine schadstoffarme Schlacke produziert werden? Proc. Depotech 2004, Leoben 24.–26.11.2004, Verlag Glückauf GMBH, Essen. S. 181–188.
- BIO INTELLIGENCE SERVICE (2003): Impact assessment on selected policy options for revision of the battery directive. European Commission, Directorate General Environment, Brussels.
- BIOBIBA – Database for biofuels (2005): Inst. f. Verfahrenstechnik, Umwelttechnik und Techn. Biowissenschaften, TU Wien. http://www.blf.bmlf.gv.at/Report2003/Projekte_mit_ABE/BLT_033436/BLT_033436.htm.
- BMLF – BUNDESMINISTERIUM FÜR LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT (1995): Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft über die Begrenzung von Abwasseremissionen aus der Reinigung von Verbrennungsgas. BGBl. 886/1995 (VerbrennungsgasVO).



- BMLF – BUNDESMINISTERIUM FÜR LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT (1996): Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft über die allgemeine Begrenzung von Abwasseremissionen in Fließgewässer und öffentliche Kanalisationen. BGBl. 186/1996 (AAEV).
- BMLFUW – BUNDESMINISTERIUM FÜR LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT, UMWELT UND WASSERWIRTSCHAFT (1999): Verordnung des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt- und Wasserwirtschaft mit der die Verordnung über die Rücknahme und Schadstoffbegrenzung von Batterien und Akkumulatoren (Batterieverordnung) geändert wird (Allgemeine Abwasseremissionsverordnung). BGBl. II Nr. 495/1999.
- BMLFUW – BUNDESMINISTERIUM FÜR LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT, UMWELT UND WASSERWIRTSCHAFT (2001): Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft über Qualitätsanforderungen an Komposte aus Abfällen (Kompostverordnung). BGBl. II Nr. 292/2001.
- BMLFUW – BUNDESMINISTERIUM FÜR LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT, UMWELT UND WASSERWIRTSCHAFT (2001a): Bundes-Abfallwirtschaftsplan – Bundesabfallbericht 2001. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt- und Wasserwirtschaft, Wien 30.06.2001.
- BMLFUW – BUNDESMINISTERIUM FÜR LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT, UMWELT UND WASSERWIRTSCHAFT (2005): Verordnung über die Abfallvermeidung, Sammlung und Behandlung von elektrischen und elektronischen Altgeräten (Elektroaltgeräteverordnung). BGBl. II Nr. 121/2005.
- BMU – BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT (1996): Verordnung des Bundesministers für Umwelt über die Ablagerung von Abfällen (Deponieverordnung). BGBl. Nr. 164/1996, BGBl. Nr. 49/2004 (BMLFUW, 2004).
- BMUJF – BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, JUGEND UND FAMILIE (1988): Leitlinien zur Abfallwirtschaft. Umweltbundesamt, Wien.
- BMUJF – BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, JUGEND UND FAMILIE (1990): Verordnung des Bundesministeriums für Umwelt, Jugend und Familie über die Rücknahme und Schadstoffbegrenzung von Batterien und Akkumulatoren (Batterieverordnung). BGBl. 514/1990, BGBl. 3/1991, BGBl. II 495/1999.
- BMUJF – BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, JUGEND UND FAMILIE (1992): Bundes-Abfallwirtschaftsplan 1992. Umweltbundesamt, Wien.
- BMUJF – BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, JUGEND UND FAMILIE (1995): Bundes-Abfallwirtschaftsplan 1995. Umweltbundesamt, Wien.
- BMUJF – BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, JUGEND UND FAMILIE (1998): Bundes-Abfallwirtschaftsplan - Bundesabfallbericht 1998. Bundesministerium für Umwelt, Jugend und Familie, Wien 30.06.1998.
- BMUJF – BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, JUGEND UND FAMILIE (2000): Verordnung der Bundesministers für Umwelt, Jugend und Familie über die Festsetzung von gefährlichen Abfällen und Problemstoffen (Festsetzungsverordnung gefährlicher Abfälle). BGBl. II Nr. 178/2000.
- BMWA – BUNDESMINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFTLICHE ANGELEGENHEITEN (1998): Renewable Energy in Austria; Vienna.
- BMWA – BUNDESMINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT UND ARBEIT (2003): Verordnung des Bundesministers für Wirtschaft und Arbeit über Grenzwerte für Arbeitsstoffe und über Krebs erzeugende Arbeitsstoffe (Grenzwertverordnung 2003). BGBl. II Nr. 253/2001, II Nr. 393/2002, II Nr. 184/2003, II Nr. 231/2003.



- BONTOUX, L. (1999): The incineration of waste in Europe: Issues and perspectives. European Commission Joint Research Centre EUR 18717 EN, IPTS Sevilla.
- BREF WASTE INCINERATION (2004): Integrated Pollution Prevention and Control – Draft Reference Document on Best Available Techniques for Waste Incineration. European Commission, Directorate General JRC, Joint Research Centre, Sevilla, March 2004; <http://eippcb.jrc.es>.
- BRUNNER, P.H. & RECHBERGER, H. (2004): Practical Handbook of Material Flow Analysis. Lewis Publishers, Boca Raton.
- BRUNNER, T. et al. (2002): Aerosol and fly ash formation in fixed bed biomass combustion systems using woody biofuels. 12th European Conference and Technology Exhibition for Energy, Industry and Climate Protection, Amsterdam, 17–21. June 2002.
- BRUNS, E. (2004): Auflistung möglicher Schadstoffe. www.schadstoffmessungen.de.
- BUCHBERGER, H. (1998): Stromerzeugung aus Biomasse; VEOe Vienna, 650/449, ISBN: 3-901411-47-x.
- BUTSCHER, R. (2004): Kraftvolle Zwerge – Report Batterien/Akkus. Bild der Wissenschaft 2. S. 100–106.
- CONNETT, P. (1998): Municipal waste incineration – a poor solution for the twenty first century. www.mindfully.org/Air/Connett-Waste-Incineration-24nov98.htm.
- CORN, M. et al. (1993): Handbook of Hazardous Materials. Academic Press, San Diego.
- DEKANT, W. & VAMVAKAS, S. (1994): Toxikologie für Chemiker und Biologen. Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg.
- DEPONIE RAUTENWEG (1998): Eignungsprüfung Schlacke-Asche-Beton. Wien.
- DFG – DEUTSCHE FORSCHUNGSGEMEINSCHAFT (1999): MAK- und BAT-Werte-Liste 1999 vorgelegt – Zahlreiche Änderungen und Neuaufnahmen. Pressemitteilung Nr. 34 13. Juli 1999. http://www.dfg.de/aktuelles_presse/pressemitteilungen/1999/presse_1999_34.html.
- DFG – DEUTSCHE FORSCHUNGSGEMEINSCHAFT (2004): Liste aller Änderungen und Neuaufnahmen in der MAK- und BAT-Werte-Liste 2004. Deutsche Forschungsgemeinschaft, Bonn.
- DIEWITZ, C. (1998): Einfluss der Abfallzusammensetzung auf Schadstoffgehalt und -menge der Verbrennungsrückstände – Phase 2. Umweltbundesamt, UBA-FB-Nr. 99-045, Berlin.
- ECOBA (1999): Pressemitteilung.
- E-CONTROL – ENERGIE-CONTROL GMBH (2004): Bericht über die Ökostrom-Entwicklung und Kraft-Wärme-Kopplung Juni 2004. Energie-Control GmbH, Wien. www.e-control.at.
- E-CONTROL – ENERGIE-CONTROL GMBH (2005): 1. Energie Round Table 2005. Ökostrom Jahresgesamtzahlen 2004 und weitere Entwicklung 2005. Energie-Control GmbH, Wien. www.e-control.at.
- EDER, M. et al. (2004): Verteilung von Stofffrachten in österreichischen Abfällen. Proc. Depotech 2004, Leoben 24.–26.11.2004, Verlag Glückauf GMBH, Essen. S. 681–684.
- EK – EUROPÄISCHE KOMMISSION (2003): Vorschlag für eine Richtlinie des Europäischen Parlaments und des Rates über Batterien und Akkumulatoren sowie Altbatterien und Altakkumulatoren. KOM (2003) 723. Brüssel, 02.12.2003.
- ENDS – ENVIRONMENT DAILY 1636 (2004): issue@environmentdaily.com, 25.03.2004.
- ENDS – ENVIRONMENT DAILY 1649 (2004): issue@environmentdaily.com, 19.04.04.



- ENVIRONMENT AGENCY (2002): Solid residues from municipal waste incinerators in England and Wales. Environment Agency, London.
- EUROPEAN PARLIAMENT & COUNCIL (2004): Draft directive of the European Parliament and of the Council on batteries and accumulators and waste batteries and accumulators, in: EurActiv 2000.
- EUWID – RECYCLING UND ENTSORGUNG (2005): Band 6.
- EVA/BMWA (2003): Erneuerbare Energie in Österreich; 2. Auflage.
- EVC – EUROPEAN VINYL CORPORATION (2004): Rund um PVC-Anwendungen. <http://www.evc>.
- FAULSTICH, M. (1996): Behandlungsverfahren für feste Rückstände aus der Abfallverbrennung. Aus: Müllhandbuch, Erich Schmidt Verlag, Berlin.
- FEHRINGER, R. et al. (1999): Positivlisten für Reststoffe in der Zementindustrie: Methoden und Ansätze (PRISMA). Technische Universität Wien, Institut für Wassergüte und Abfallwirtschaft.
- FEHS (Hrsg.) (1992): Eisenhüttenschlacken – Eigenschaften und Verwertung, Schriftenreihe der Forschungsgemeinschaft Eisenhüttenschlacken, Heft 1, Duisburg.
- FELLINGER, R. et al. (2000): Behandlungsgrundsätze Batterien und Akkumulatoren. Im Auftrag des Bundesministeriums für Land.
- GEISELER, J. (1991): Verwertung der Stahlwerksschlacken. Stahl und Eisen 111, Nr. 1.
- GÖERNER, K. (2003): Waste Incineration – European state of the art and new developments. IFRF Combustion Journal Article 200303, July 2003.
- GOHLKE, O. et al. (2003): The SYNCOM-PLUS process – a grate-based waste-to-energy system for producing an inert ash granulate and further reducing dioxin discharge. In: Optimierungspotenzial der Abfallverbrennung, Thome-Kozmiensky K.J. (Ed.), ISBN 3-935317-13-1.
- GRECH, H., et al. (2002): Behandlung von Schlämmen aus der Zellstoff- und Papierindustrie.
- GUERIN, L. (2000): Devenir des polluants inorganiques contenus dans les résidus solides issus de la combustion des déchets ménagers. Spéciation et élaboration de tests de mobilité en vue de leur stockage ou de leur valorisation. These, Université de Toulon et du VAR U.F.R. de sciences et techniques, Toulon.
- HAAS, R. & BERGER, M. (2000): Strom aus Erneuerbaren in Österreich; Proc. Die Rahmenbindungen für Erneuerbare, Bundesverband Erneuerbare Energie, Wien, 17. November 2000.
- HAAS, R. & KRANZL, L. (2002): Bioenergie und Gesamtwirtschaft. Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, Wien, 2002.
- HACKL, A. & MAUSCHITZ, G (1995): Emissionen aus Anlagen der österreichischen Zementindustrie I. Zement + Beton HandelsgmbH.
- HACKL, A. & MAUSCHITZ, G (1997): Emissionen aus Anlagen der österreichischen Zementindustrie II. Zement + Beton HandelsgmbH.
- HACKL, A. & MAUSCHITZ, G (2001): Emissionen aus Anlagen der österreichischen Zementindustrie III. Zement + Beton Handel.
- HACKL, A. & MAUSCHITZ, G (2003): Emissionen aus Anlagen der österreichischen Zementindustrie IV. Zement + Beton HandelsgmbH.
- HACKL, A. & MAUSCHITZ, G (2004): Emissionen aus Anlagen der österreichischen Zementindustrie V. Zement + Beton HandelsgmbH.

- HACKL, A. E. (2004): Beitrag der Abfallwirtschaft zur österreichischen Klimastrategie / Prof. Dr. Albert E. Hackl. in: Abfallwirtschaft für Wien, TK Verlag Karl Thome Kozmiensky, Neuruppin. S. 37–48.
- HAGBECK, TH. (2002): Presse-Information 16/02 – Nickel-Cadmium-Akkus belasten die Umwelt in Deutschland mit 400 Tonnen Cadmium pro Jahr.
www.umweltbundesamt.de/uba-info-presse/presse-informationen/pd3902.htm.
- HAUER, W. et al. (2004): Mobiltelefone: Sammlung und Weiterverwendung von Altgeräten sowie Verwertung und Entsorgung. Proc. Depotech 2004, Leoben 24.-26.11.2004, Verlag Glückauf GMBH, Essen. S. 737–740.
- HOFBAUER, H. (1999): Thermische Biomassennutzung in Oesterreich; VEOe-Journal, 6–7. S. 66–71.
- HOLLANDLISTE – MINISTERIE VAN VOLKSHUISVESTING, RUIMTELIJKE ORDENING EN MILIEUBEHEER (VROM, HRSG.) (1994): Niederländische Liste 1994: Interventions (I-Werte) – und Referenzwerte (S-Werte) für Böden und Grundwasser. ROSENKRANZ, D.; EINSELE, G.; HARREß, H.-M. (Hrsg.): Bodenschutz. Ergänzbare Handbuch der Maßnahmen und Empfehlungen für Schutz, Pflege und Sanierung von Böden, Landschaft und Grundwasser 8936: 1–4.
- HOLZNER, H. & OBERNBERGER, I. (1997): Der Sachgerechte Einsatz von Pflanzenaschen im Wald. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Fachbeirat für Bodenfruchtbarkeit und Bodenschutz. Wien.
- HOLZNER, H. & OBERNBERGER, I. (1998): Der Sachgerechte Einsatz von Pflanzenaschen im Acker- und Grünland. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Fachbeirat für Bodenfruchtbarkeit und Bodenschutz. Wien.
- HORNUNG, A. (2002): Polymer and plastics waste combustion. Helsinki University of Technology, Helsinki. http://eny.hut.fi/education/courses/Ene-47_200-2002/.
- JOHNKE, B. & QUEIßER, G. (1995): Verwertung und sonstige Entsorgung von Schlacken aus Verbrennungsanlagen für Siedlungsabfälle unter Beachtung rechtlicher und technischer Regelungen. Aus: Müllhandbuch, Erich Schmidt Verlag, Berlin.
- JONES, H. et al. (2001): Review of BAT for new waste incineration issues - Part 3 New IPPC Considerations. AEA Technology Environment, R&D Technical Report HOCO410; Environment Agency, Bristol, 2001, www.environment-agency.gov.uk.
- JUCKES, L. M. (1995): Utilisation of Steel Industry Slags. In: European Symposium on Environmental Control in the Steel Industry, Prag.
- KAISER, J. (2001): Fragebogen zum FHKW Neudorf/Werndorf.
- KOCH, R. (1989): Umweltchemikalien. VCH, Weinheim.
- KOST, TH. (2001): Brennstofftechnische Charakterisierung von Haushaltsabfällen. Technische Universität Dresden, Beiträge zur Abfallwirtschaft/Altlasten, Band 16, Dresden.
- KRONE, K. (1994): Solid Residues in Secondary Aluminium Production – Formation, Reclamation and Utilization. Vortrag gehalten bei der 3. Tagung der ECE Task-Force „By-Product Utilization from Stationary Installations“ (Wien: 23.3.1994).
- KRV – KÄRNTNER RESTMÜLLVERWERTUNGS GMBH (2001): Umweltverträglichkeitserklärung der TBA Arnoldstein. Kärntner Restmüllverwertungs GmbH, Klagenfurt.
- KÜHN, M. et al. (1992): Verwertung von Stäuben und Schlämmen der Stahlindustrie. In: Eisenhüttenschlacken – Eigenschaften und Verwertung, Schriftenreihe der Forschungsgemeinschaft Eisenhüttenschlacken, Heft 1, Duisburg.



- LAVOIE, S. & LITALIEN, M. (1993): Processing of Dross in a plasma arc heated furnace. veröffentlicht bei der 122. Jahrestagung der „AMS“ (Denver/Colorado: Februar 1993) In: Light Metals 1993, AIME Metallurg. Soc. Warrendale.
- LECHNER, H. (1998): Potenziale der Biomasse-Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen in Österreich – Zukünftige Ausbaumöglichkeiten und Umsetzungsstrategien; EVA.
- LECHNER, P. & STUBENVOLL, J. (2004): Verbrennung von Abfällen. in: Lechner, P. (Hg.): Kommunale Abfallentsorgung. Facultas Verlag, Wien S. 195–246.
- LEHNER, J. & GOULD, L. (1995): Treatment and Recycling of Oil-Containing Ferrous Materials in Integrated Iron & Steel Works. VAI.
- LEHNERT, W.; DROSSEL, G.; LIESENBERG, O. et al. (1996): Aluminium Zentrale e.V., Düsseldorf (Hrsg.) Aluminium.
- LEMAN (1997): Quellen der Gesundheitsgefährdung. GBU Hirschberg; www.gbu-net.de/quellen.htm.
- LENNTECH (2004): Nickel. www.lennotech.com/deutsch/Data-PSE/Ni.htm.
- MARB, C. et al. (2004): Restmüllzusammensetzung, Schadstoffe und physikalisch chemische Eigenschaften. Proc. Depotech 2004, Leoben 24.-26.11.2004, Verlag Glückauf GMBH, Essen. S. 685–688.
- MAUSCHITZ, G (2004): Emissionen aus Anlagen der österreichischen Zementindustrie, Berichtsjahr 2003. Zement+Beton Handels- und Werbeges.m.b.H.
- McGLADE, J. (2004): European Packaging Waste Trends and the Role of Economic Instruments. European Voice conference Packaging our Futures, Brussels, 1-2 March 2004.
- MIELE, S. & SCHULTE, B. (2003): Echt Ätzend – Sicherheitsskript. Uni Münster, Fachschaftsvertretung Chemie, Münster.
- MORF, L. et al. (2004): Vier Jahre routinemäßiges Stoffflussmonitoring an der MVA Spittelau – Resultate und Erfahrungen aus der Praxis. Proc. Depotech 2004, Leoben 24.–26.11.2004, Verlag Glückauf GMBH, Essen. S. 497–504.
- MORITZ, D. (1989): Krätzebehandlung in Aluminiumhütten und Halbzeuggießereien. In: Aluminium 65(1), 50.
- MORY, A. & TAUSCHITZ, J. (1999): Mitverbrennung von Biomasse in Kohlekraftwerken; VGB Kraftwerkstechnik 1. p. 65–70.
- MUTZ, ST. & PRETZ, TH. (2003): The increased usage of aluminium in the European automobile industry and the newest recycling technology for sorting of aluminium and its alloys. Proc. VII International Aluminium Recycling Seminar, Sao Paulo Brazil, October 2003.
- MVA SPITTELAU (2004): Schlacke, Asche – Gesamtgehalt, Eluatkonzentrationen. Angerer Th., persönliche Mitteilung 14.06.2004.
- NEUBACHER, F. et al. (2003): Restmüllbehandlung select 2004. ARGEV Verpackungsverwertungs GmbH, Wien.
- NEUBARTH, J. & KALTSCHMITT, M. (2000): Erneuerbare Energien in Österreich. Springer, Wien.
- NEURAUTER, R. et al. (2001): Leitfaden Aschen aus Biomassefeuerungsanlagen. Amt der Tiroler Landesregierung, Innsbruck.
- NEURAUTER, R. et al. (2004): Leitfaden Aschen aus Biomassefeuerungsanlagen. Amt der Tiroler Landesregierung, Innsbruck

- NRW (2003): Leitfaden zur energetischen Verwertung von Abfällen in Zement- und Kalkindustrie und Kraftwerken in Nordrhein Westfalen. Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein Westfalen.
- OBERNBERGER, I. (1997): Aschen aus Biomassefeuerungen – Zusammensetzung und Verwertung: VDI Bericht 1319 „Termische Biomassenutzung – Technik und Realisierung“, VDI-Verlag, Düsseldorf. S. 199–222.
- OBERNBERGER, I. & HAMMERSCHMID, A. (1999): Dezentrale Biomasse-Kraft-Wärme-Kopplungstechnologien; bm:vw Schriftenreihe Thermische Biomassenutzung, dbv-Verlag, Graz.
- ÖBRV – ÖSTERREICHISCHER BAUSTOFF-RECYCLING VERBAND, ÖSTERREICHISCHER GÜTESCHUTZVERBAND RECYCLING-BAUSTOFFE (2004): Richtlinie für Recyclingbaustoffe. Wien, 6. Auflage.
- PARZEFALL, W. (2001): Anhang 4: Toxikologische Grundlagen als Hilfe zur Festsetzung von Gewichtungsfaktoren. SUP Wiener Abfallwirtschaftsplan, Magistrat Wien.
- PECHINEY ALUMINIUM ENGINEERING (1986): Original Dross Compression Process – Compal.
- PHILIPP, J. A. et al. (1993): Recycling in the steel industry. In: Proceedings zum UN ECE – Seminar on Metallurgy and Ecology, Working Party on steel, Sem. 19, Nancy.
- PLASTICKER-NEWS (2005): Österreich: Volkswagen-SiCon-Verfahren zur Altauverwertung gestartet. RWE-Umwelt, PlasTicker-News vom 27.06.2005.
<http://www.plasticker.de/news/shownews.php?nr=1707>.
- RAPPOLDER, M. (2004): Dioxin 2004. UWSF – Z Umweltchem Ökotox 16, 4. S. 278–280.
- RAT DER EUROPÄISCHEN UNION (1999): Richtlinie 1999/30/EG des Rates vom 22. April 1999 über Grenzwerte für Schwefeldioxid, Stickstoffdioxid und Stickstoffoxide, Partikel und Blei in der Luft. Abl. L 163/41 vom 29.6.1999.
- REINHARDT, T. & RICHERS, U. (2004): Entsorgung von Shredderrückständen – ein aktueller Überblick. Forschungszentrum Karlsruhe Wissenschaftliche Berichte FZKA 6940, Karlsruhe.
- REISINGER, H. et al. (2001): Entwicklung einer Zielerreichungsstrategie für Renewables im Rahmen der EU-Richtlinie Strom aus erneuerbaren Energieträgern. Bundesministerium für wirtschaftliche Angelegenheiten, Wien.
- RIEDL, R. et al. (1999): Corrosion in fire tube boilers of biomass combustion plants. Proc. China International Corrosion Control Conference '99, paper Nr. 90129, Beijing, October.
- RL 2001/77/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 27. September 2001 zur Förderung der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energiequellen im Elektrizitätsbinnenmarkt. Abl. L 283/33 vom 27.10.2001.
- ROTTER, S. (2002): Schwermetalle in Haushaltsabfällen – Potenzial, Verteilung und Steuerungsmöglichkeiten durch Aufbereitung. Technische Universität Dresden, Beiträge zur Abfallwirtschaft/Altlasten, Band 27, Dresden.
- SALHOFER, ST.: Abfallwirtschaft LVA 520.029 – Verwertung von Abfällen. Universität für Bodenkultur, Wien.
- SCHAUB, M. (2002): Rohstoffliches Recycling am Beispiel der RESH-Verwertung mit dem RESHMENT Prozess. ISWA Führungstagung, 11.4.2002, Dübendorf;
<http://www.iswa.ch/Info/Documents/Stoffliches/TagungstunterlagenSchaub.pdf>.
- SCHENK, P. (2003): Erhaltung – Energestandort Dampfkraftwerk Voitsberg 3. AK-Steiermark, Graz, 2003. http://stmk.arbeiterkammer.at/pictures/d12/Studie_VO_2003.pdf.



- SCHIRMER, M. et al. (2004): Chlorverhalten im Verbrennungsprozess. Proc. Depotech 2004, Leoben 24.–26.11.2004, Verlag Glückauf GMBH, Essen. S. 165–172.
- SCHNEEBERGER, M. (1999): Biomasse – zeichnet sich eine Renaissance ab?; VEOe-Journal, 6–7. p. 3
- SCHRAMM, K.-W. et al. (2002): Die Dioxinbelastung beim Recycling von PVC und Elektronikschrott. Gefahrstoffe – Reinhaltung der Luft 62 (2002) 3. S. 113–118.
- SEDMIDUBSKY, A. (2004): Daten zur erneuerbaren Energie in Österreich 2004. Energieverwertungsagentur, Wien.
- SEEL, F. (1973): Grundlagen der analytischen Chemie. Verlag Chemie, Weinheim.
- SEIDL, S. (2004): ReparaturNetzWerk Wien: erfolgreicher Kontrapunkt zur Wegwerfgesellschaft. „die umweltberatung“ Wien.
- STOIBER, H. et al. (2003): Umweltverträgliches Alt-Pkw-Recycling – Freiwillige Vereinbarung in Österreich – Berichtsjahr 2002. Wirtschaftskammer Österreich, Wien.
- STUBENVOLL, J. (2004): Entsorgungstechnik – Thermische Systeme – Vertiefungsstudie zur thermischen Behandlung von Abfällen. TB Umwelttechnik, Hinterstoder.
- STUBENVOLL, J. et al. (2002): State of the Art for Waste Incineration Plants. Umweltbundesamt, BMLFUW, Wien, Schriftenreihe des BMLFUW Band 24.
- TANGRI, N. (2003): Waste incineration: A dying technology. GAIA Global Anti-Incinerator Alliance, Quezon City; www.no-burn.org.
- TETRA PAK (2005): Tetra Top – Fragen und Antworten zur neuen Verpackung. Tetra Pak GmbH, Wien. <http://www.kaerntnermilch.at/deutsch/uebersicht/tetratop.htm>.
- TUOMISTO, J. et al. (2004): Integrated Monitoring of Dioxins and PCBs in the Baltic Region. Technical Working Group on Integrated Monitoring, Abingdon (2004); www.environmentalhealth.org.
- UE VASD (1999, 2001, 2003): voestalpine Stahl Donawitz GmbH, Umwelterklärungen der Jahre 1999, 2001 und 2003.
- UMWELTBUNDESAMT – DEUTSCHLAND (2001): Polyvinylchlorid. Daten und Fakten. Berlin, 01.03. 2001. <http://www.umweltbundesamt.de/uba-info-daten/daten/polyvinylchlorid.htm>.
- UMWELTBUNDESAMT (1995a): REITER, B. & STROH, R.: Behandlung von Abfällen in der Zementindustrie. Monographie M-72, Umweltbundesamt. Wien.
- UMWELTBUNDESAMT (1995b): SCHACHERMAYER, E. et al.: Messung der Güter- und Stoffbilanz einer Müllverbrennungsanlage. Umweltbundesamt, Monografien Bd. 56, Wien.
- UMWELTBUNDESAMT (1999): STUBENVOLL, J. et al.: Stand der Technik in der Sekundärkupfererzeugung im Hinblick auf die IPPC. Umweltbundesamt, Monographie M-115. Wien.
- UMWELTBUNDESAMT (2000): BOIN, U. et al.: Stand der Technik in der Sekundäraluminiumerzeugung im Hinblick auf die IPPC-Richtlinie. Umweltbundesamt. Monographien M-120, Wien.
- UMWELTBUNDESAMT (2001a): Aufkommen, Verwertung und Behandlung von Abfällen in Österreich – Materialien zum Bundes-Abfallwirtschaftsplan 2001. Umweltbundesamt, Monographien M-138, Wien.
- UMWELTBUNDESAMT (2001b): BRUNNER, P.H. et al.: Bewertung abfallwirtschaftlicher Maßnahmen mit dem Ziel der nachsorgefreien Deponie (BEWEND). Umweltbundesamt, Monografien Band 149, Wien.



- UMWELTBUNDESAMT (2001c): GARA, S. & SCHRIMPF, S.: Behandlung von Reststoffen und Abfällen in der Eisen- und Stahlindustrie. Umweltbundesamt, Monographie M-092, Wien.
- UMWELTBUNDESAMT (2003) BÖHMER, S. et al.: Stand der Technik bei kalorischen Kraftwerken und Referenzanlagen in Österreich. Umweltbundesamt. Monographien M-162, Wien.
- UMWELTBUNDESAMT (2004a): BOUBELA, G. et al.: Materialien zur thermischen Behandlung und Verwertung von Abfällen und Reststoffen in der Zellstoff-, Papier-, Span- und Faserplattenindustrie. Umweltbundesamt. Berichte BE-248, Wien.
- UMWELTBUNDESAMT (2004b): KÜGLER, I. et al.: Dezentrale Klärschlammverbrennung. Umweltbundesamt, Berichte BE-260, Wien.
- UMWELTBUNDESAMT (2004c): Medienübergreifende Umweltkontrolle in ausgewählten Gebieten. Umweltbundesamt, Monographien M-168, Wien.
- UMWELTFORUM BATTERIEN (2005): Kandelhart, persönliche Mitteilung, Wien, 31.01.2005.
- VAN VELZEN, D. et al. (2002): Review: Mercury in waste incineration. WasteManageRes 20 S. 556–568.
- VEHLOW, J. et al. (2000): Das UPSWING-Verfahren – Der Schlüssel zur kostengünstigen Abfallverbrennung. Nachrichten Forschungszentrum Karlsruhe, 32 3. S. 201–210.
- VEHLOW, J. et al. (2004): Mitverbrennung der SLF im MHKW Würzburg und Verbesserung der Ökonomie durch das UPSWING-Verfahren. VDI Wissensforum, Stoffliche und energetische Verwertung von Shredderrückständen, Seminar 439102, 25.–26. März 2004, Stuttgart.
- VERBAND SCHWEIZERISCHER ELEKTROUNTERNEHMEN (2004): Energie und Kraftwerk „sanfte Techniken“ – Verbrennungsparameter.
<http://www.poweron.ch/upload/cms/user/64EnergieundKraftwerk.pdf>.
- VERBUND UMWELT (2001): Netzwerk Umwelttechnik am Standort Arnoldstein. Verbund Umwelt, KWF, Kärnten Technologie, Klagenfurt/Arnoldstein.
- VERBUNDGESELLSCHAFT (1995): Umweltbericht.
- VERBUNDGESELLSCHAFT (1997): Umweltbericht.
- VERBUNDGESELLSCHAFT (1998): Umweltbericht.
- VERBUNDGESELLSCHAFT (2001): Umweltbericht.
- WAGNER, W. (1985): Thermische Apparate und Dampferzeuger. Vogel-Buchverlag, Würzburg.
- WINNAKER-KÜCHLER: Chemische Technologie. Hanser München Wien, 1983.
- WKO – WIRTSCHAFTSKAMMER ÖSTERREICH (2004): Batterie.
- ZEHETNER, G. (2005): Daten zur Zusammensetzung der Rückstände der MVA Dürnrohr; Beantwortung des Fragebogens.
- ZELLINGER, G. (2005): Daten zur Zusammensetzung der Rückstände der KRV Arnoldstein; Beantwortung des Fragebogens.
- ZESCHMAR-LAHL, B. (2004): Stoffflussanalyse als Instrument zur Optimierung der Abfallbehandlung/Dr. Barbara Zeschmar-Lahl. in: Abfallwirtschaft für Wien, TK Verlag Karl Thome Kozmiensky, Neuruppin.S. 399–430.
- ZIEHENBERGER, G. (2004): Die mechanisch-biologische Abfallbehandlungsanlage der Servus Abfall in Frohnleiten. WASTE MAGAZIN 3. S.47–49.

ANHANG

Gefahrenpotenzial von Schwermetallen und ausgewählten Schadstoffen

Im Folgenden wird das Gefahrenpotenzial⁸ ausgewählter Schadstoffe dargestellt.

Schwermetalle

Als Schwermetalle werden im Allgemeinen Metalle bezeichnet, deren Dichte bei 300 K größer als 5 g/cm³ ist. Tab. 99 gibt einen Überblick über physikalische und toxikologische Eigenschaften einiger Schwermetalle.

Antimon

Die geschätzte Weltjahresproduktion an Antimon und seinen Verbindungen beträgt etwa 80.000 Tonnen. Der größte Teil der Antimonproduktion wird für Antimonblei in Akkumulatorbatterien verwendet. Große Bedeutung hat Antimon ebenfalls als Flammenschutzmittel. Es wird gerade bei Kunststoffen in großem Maße, zusammen mit bromierten Verbindungen, als Antimontrioxid eingesetzt. Ein weiterer Eintrag in die Umwelt geschieht durch die Verbrennung von fossilen Brennstoffen (geschätzt jährlich 5.000 bis 10.000 Tonnen). Antimon wird auch als Katalysator in der Kunststoffindustrie eingesetzt.

Kunststoffe, die mit Antimontrioxid als Flammenschutzmittel behandelt wurden, weisen Gehalte bis zu 50.000 mg/kg auf. Textilien, bei denen aufgrund von Farbstoffen oder bei deren Produktion Antimon als Katalysator verwendet wurde, weisen Gehalte bis zu 100 mg/kg auf. Es besteht die Vermutung, dass sich das Antimon aus dem Kunststoff bzw. den Textilien mobilisieren lässt und damit in die Haut eindringen kann⁹.

Stibin (Antimonwasserstoff) hat eine höhere Toxizität als Arsenik (Arsenwasserstoff). Stäube des als Flammenschutzmittel verwendeten Antimontrioxids verursachten in Inhalationsstudien eine signifikant erhöhte Inzidenz an Lungentumoren und wurden deshalb von der MAK-Kommission als Krebs erregend Kategorie 2 (III A2) eingestuft. Trotzdem kommen Antimonvergiftungen seltener als Arsenvergiftungen vor. Dies hat zum einen seinen Grund in der geringeren Verbreitung, zum anderen liegt die Ursache darin, dass die Antimonsalze die Magen- und Darmwände schwerer durchwandern.

In Langzeitversuchen mit deponierten Abfällen wurde gezeigt, dass Deponiesickerwasser auch noch nach 15 Jahren Antimonkonzentrationen enthält, die um das 5 bis 10 fache über dem Trinkwasserschwellenwert von 0,005 mg/l liegen¹⁰.

⁸ <http://www.hvbg.de/d/bia/fac/stoffdb/index.html>

⁹ <http://www.indikator-labor.de/antimon.htm>

¹⁰ MOSTBAUER, P. (2004): persönliche Mitteilung, BOKU-Wien, 5.11.2004.



Tab. 99: Physikalische und toxikologische Eigenschaften einiger Schwermetalle (u. a. DFG 2004; BMWA 2003).

	Antimon	Blei	Cadmium	Chrom(VI)	Kupfer	Nickel	Quecksilber	Zink
Formel	Sb	Pb	Cd	Cr ^{VI+}	Cu	Ni	Hg	Zn
Siedepunkt in °C	1.637	1.751	767		2.580	2.730	357	907
Schmelzpunkt in °C	630,7	327	321	320 Na ₂ Cr ₂ O ₇	1.083	1.453	38,9	419,5
Dichte in kg/l	6,68	11,34	8,65	2,52	8,96	8,9	13,595	7,14
Toxizität	-	++	+++	++	-	-	++	-
Karzinogenität	Sb: - (Sb ₂ O ₃ : ++)	Pb: - (Pb ₃ (AsO ₄) ₂ , PbCrO ₄ , Pb ₂ OCrO ₄ : ++)	++	++	-	++	Hg: + (Hg ₃ (AsO ₄) ₂ : +++)	-
LD ₅₀ Ratte in mg/kg	7.000	-	225	80 bei CrO ₃	-			1.000
MAK-Wert in mg/m ³ (Tagesmittelwert)	0,5	0,1 (0,05 Pb-alkylverbindungen: ++)			1 (0,1 alveolengängiger Anteil)		0,05 (0,1 anorganische Hg-Verbindungen, 0,01 organische Hg-Verbindungen)	5 ZnO-alveolengängiger Anteil
TRK-Wert in mg/m ³ (Tagesmittelwert)	Sb ₂ O ₃ : 0,3 (bei Herstellung von Sb ₂ O ₃ , sonst 0,1)	Pb ₃ (AsO ₄) ₂ , PbCrO ₄ , Pb ₂ OCrO ₄ : 0,1	0,03 (bei einigen Produktionsverfahren, sonst 0,015)	0,1 (bei Herstellung und Lichtbogenschweißen, sonst 0,05)		0,5		

Legende:

Toxizität: + = gesundheitsschädlich;

++ = giftig;

+++ = sehr giftig;

Karzinogenität: + = vermutlich Krebs erregend;

++ = begründeter Verdacht auf Krebs erregende Wirkung;

+++ = Krebs erregend

MAK: Der MAK-Wert (Maximale Arbeitsplatz-Konzentration) ist der Mittelwert in einem bestimmten Beurteilungszeitraum, der die höchstzulässige Konzentration eines Arbeitsstoffes als Gas, Dampf oder Schwebstoff in der Luft am Arbeitsplatz angibt. Bei Einhaltung der MAK-Werte wird im Allgemeinen auch bei wiederholter und langfristiger Exposition die Gesundheit von Arbeitnehmer/innen nicht beeinträchtigt und werden diese nicht unangemessen belästigt.

TRK: Der TRK-Wert (Technische Richt-Konzentration) ist der Mittelwert in einem bestimmten Beurteilungszeitraum, der jene Konzentration eines gefährlichen Arbeitsstoffes als Gas, Dampf oder Schwebstoff in der Luft angibt, die nach dem Stand der Technik erreicht werden kann und die als Anhalt für die zu treffenden Schutzmaßnahmen und die messtechnische Überwachung am Arbeitsplatz heranzuziehen ist.

TRK-Werte sind nur für solche gefährlichen Arbeitsstoffe (z. B. eindeutig als Krebs erzeugend ausgewiesene Arbeitsstoffe gemäß Grenzwertverordnung 2003 (BMWA, 2003)) festzusetzen, für die nach dem jeweiligen Stand der Wissenschaft keine toxikologisch-arbeitsmedizinisch begründeten MAK-Werte aufgestellt werden können.

Die hier wiedergegebenen MAK-Werte und TRK-Werte gelten gemäß Grenzwertverordnung (BMWA, 2003) in Österreich und können sich von den Festlegungen der MAK-Kommission in Deutschland unterscheiden.

Blei

Physikalisch-chemische Eigenschaften

Metallisches Blei bildet an der Atmosphäre eine schützende Oxidschicht aus, welche jedoch im stark Basischen und bereits im schwach Sauren löslich ist (siehe Abb. 32).

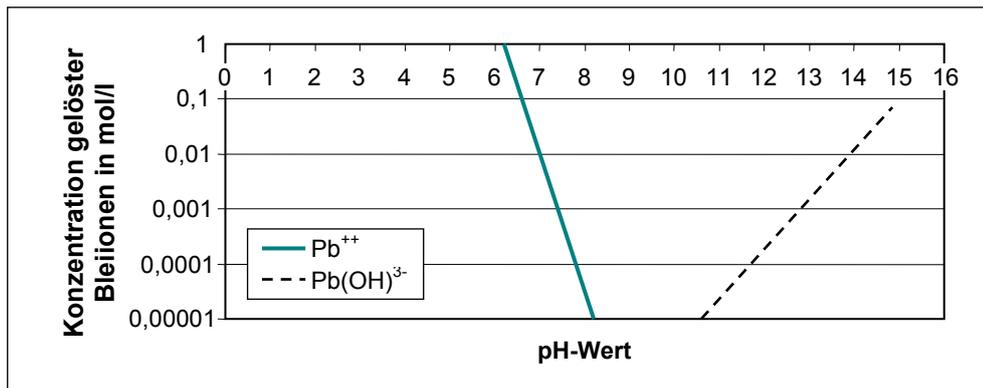


Abb. 32:
Löslichkeit von
Blei-Ionen als Funktion
des pH-Wertes
(SEEL 1973).

Tab. 100 zeigt die Löslichkeit verschiedener Bleisalze in Wasser. Es ist zu sehen, dass einige Bleisalze, wie Bleisulfid oder Bleiphosphat als geradezu unlöslich in neutralem Wasser anzusehen sind, während andere Bleisalze wie Bleiacetat oder Bleinitrat eine ausgesprochen gute Wasserlöslichkeit aufweisen. Durch Komplexbildungen kann die Wasserlöslichkeit noch weiter erhöht werden.

Anion	Löslichkeit in g/100 ml	
	in kaltem Wasser	in heißem Wasser
Acetat	44,300000	221,000
Nitrat	37,650000	127,000
Bromat	1,380000	
Chlorid	0,990000	3,340
Bromid	0,844000	4,710
Fluorid	0,064000	
Iodid	0,063000	0,410
Thiocyanat	0,050000	0,200
Azid	0,023000	0,090
Hydrid	0,015500	
Sulfat	0,004250	0,006
Oxid	0,001700	
Iodat	0,001200	0,003
Oxalat	0,000160	
Carbonat	0,000100	
Sulfid	0,000086	
Phosphat	0,000014	
Chromat	0,000006	

Tab. 100:
Wasserlöslichkeit
ausgewählter Bleisalze
(Koch 1989).

Gesundheitsgefährdung

Blei und Bleiverbindungen – insbesondere organische Bleiverbindungen – sind giftig und können sowohl oral als auch über die Atmung oder die Haut aufgenommen werden. Bei einmaliger Aufnahme von Blei oder Bleisalzen ist kaum eine Giftwirkung zu bemerken. Werden jedoch vergleichsweise geringe Mengen über einen längeren Zeitraum eingenommen, kann es zu einer Akkumulation im Körper und zu chronischen Vergiftungen kommen. Das Blei ersetzt Calcium in den Mitochondrien und unterbindet so die Zellatmung. Als persistente Substanz kann Blei das zentrale und periphere Nervensystem, Lunge, Niere, Blut, das Herzkreislaufsystem, das Immun- und Enzymsystem sowie den Knochenaufbau schädigen. Bei Kindern kann das Blei insbesondere die Entwicklung des Nervensystems stören und auf die geistig motorische Entwicklung hemmend wirken. Bereits bei geringfügig erhöhten Bleiwerten sind entsprechende Defizite festzustellen. Bleibelastungen während der Schwangerschaft können zu Früh- und Totgeburten führen, verursachen aber auch Fehlbildungen sowie vermindertes Geburtsgewicht. Tierversuche weisen darauf hin, dass Blei auch Krebs erzeugende Wirkung besitzt. Epidemiologische Untersuchungen lassen vermuten, dass Blei ein Auslöser für Lungen-, Magen/Darm- und Nierenkrebs ist (CORN et al. 1993). Blei wurde von der MAK-Kommission als Krebs erregend Kat. 3B und als keimzellenmutagen Kat. 3A eingestuft.

Bei der Verbrennung gehen flüchtige Bleiverbindungen (wie z. B. PbCl_2) bevorzugt in die Gasphase und sind dann zum Großteil in der Flugasche zu finden, während nichtflüchtige Verbindungen wie PbO großteils in der Schlacke verbleiben. Blei, welches in brennbarem Abfall (wie Papier oder Kunststoffen) enthalten ist, verdampft und sammelt sich in der Flugasche, während Blei aus nicht brennbarem Abfall nach der Verbrennung in der Schlacke zu finden ist. Verdampftes Blei kondensiert bevorzugt an sehr kleinen Staubteilchen.

Cadmium

Aufgrund einer Reihe von gewünschten physikalischen und chemischen Eigenschaften (z. B. gelbe und rote Farbe der Sulfide und Sulfoselenide, Korrosionsschutz) wird Cadmium in der Farben-, Elektro- und Automobilindustrie intensiv eingesetzt. Im Endverbrauch kommt Cadmium vor allem in Ni-Cd-Akkumulatoren, sonstigen Batterien und im PVC zur Anwendung (EDER et al. 2004). Den größten Beitrag zur Umweltbelastung leisten die Erzverhüttung und die unsachgemäße Entsorgung von Ni-Cd-Akkumulatoren sowie Klärschlamm.

Von Cadmium geht eine erhebliche Gesundheitsgefährdung aus, da Cadmium mit dem Zinkstoffwechsel interagiert. Cadmium reichert sich in der Zelle an (chronische Akkumulation) und beeinträchtigt die intrazelluläre Zinkversorgung. Das Schwermetall kann über die Atemluft, mit Nahrungsmitteln oder aus dem Trinkwasser aufgenommen werden. Cadmium reichert sich in der Leber und besonders in den Nieren an. Eine schwere Organschädigung kann die Folge sein. Cadmiumsalze sind für den Menschen bereits in Milligramm-Dosen (50 mg) toxisch, da sie im Allgemeinen schnell resorbiert werden.

Cd-Dämpfe können zu einer Reizung der Augen und vor allem der Atemwege führen. Inhalation kann Kopfschmerzen verursachen und Lungenödeme erzeugen.

Eine chronische Cadmiumvergiftung kann u. a. zum Ausfall des Geruchsvermögens, gelb gefärbten Zahnhälsen und Blutarmut führen. Betroffene klagen über Wirbel- und Knochenmarksschmerzen. Cadmium kann zu Osteoporose führen.



Aufmerksam wurde man auf das Schwermetall im Zusammenhang mit der sog. Itai-Itai-Krankheit in Japan, die mit schweren Skelettveränderungen einherging.

Bei sehr hoher chronischer Exposition kann Cadmium an der Entstehung von Prostatakarzinomen beteiligt sein (PARZEFALL 2001). Weiters stehen Cadmium und seine Verbindungen im Verdacht mutagen für Keimzellen zu sein (DFG 2004). Cadmium behindert die Reparatur von DNA-Schäden in der Zelle und begünstigt so die Krebsentstehung. Cadmium kann die Fortpflanzungsfähigkeit beeinträchtigen und möglicherweise das Kind im Mutterleib schädigen. Die MAK-Kommission hat Cadmium als Krebs erregend Kategorie 1 (III A1) eingestuft.

Chrom

Chrom ist auf der Erde und vor allem im Erdkern ein weitverbreitetes Element. Es kommt meist als Chrom(III) vor und ist ein essenzielles Spurenelement sowohl für Pflanzen als auch für Tiere. In höheren Dosen und speziell in der Oxidationsstufe Cr(VI) ist Chrom giftig. Chrom bietet für Eisen Korrosionsschutz und wird deshalb in der Stahlindustrie intensiv verwendet. Auch für die Innenauskleidung von Hochtemperaturreaktoren wird Chrom wegen des hohen Schmelzpunkts gerne verwendet.

Chrom kann allergische Reaktionen der Haut auslösen. Dreiwertiges Chrom wirkt in niedrigen Konzentrationen nicht oral toxisch, kann jedoch hautreizend wirken. Chrom(VI)-Verbindungen weisen gegenüber dreiwertigem Chrom ein höheres toxisches Potenzial auf. Gut wasserlösliche Chrom(VI)-Verbindungen verursachen bei Augenkontakt schwere und persistente Schädigungen der Hornhaut (Schwellung, Trübung). An der Haut entwickeln sich Reizungen bis Verätzungen. Die Inhalation von Chrom(VI)-Verbindungen führt zu Schädigungen der Atemwege. Schon geringe Konzentrationen können an der Nasenschleimhaut Reizungen auslösen. Im Einzelfall sind auch allergische Reaktionen möglich. Höhere Konzentrationen reizen die tieferen Atemwege und können die Lunge schädigen (Ödem, Pneumonie). Bei Arbeitern mit einer Langzeitexposition von Chrom(VI) muss ein erhöhtes Lungenkrebsrisiko festgestellt werden (CORN et al. 1993). Bei Chrom(VI) kann es aufgrund der hohen Reaktivität und der oxidativen Wirkung zur Ausbildung von Magengeschwüren kommen.

In Tierversuchen waren reproduktionstoxische Effekte nach hohen Cr(VI)-Dosen nachweisbar. Für Zinkchromate und Chromtrioxide wurde die kanzerogene Wirkung nachgewiesen.

Kupfer

Metallisches Kupfer ist für den Menschen ungiftig. Inhalation von Kupferstäuben bzw. -dämpfen kann Metallfieber verursachen. Die Inhalation von Kupfersalzen führt zu starken Schleimhautreizungen. Länger andauernde Inhalation metallischer Kupfer-Stäube oder -Rauche kann an den Schleimhäuten Geschwüre bewirken. Weiterhin wurden nach Inhalation von Kupfer-Rauchen gastro-intestinale Symptome registriert (Brechreiz, Magenschmerzen, Diarrhoe).

Die Aufnahme von großen Mengen an Kupfersalzen kann tödlich sein. Für viele Pflanzen und Einzeller ist auch das metallische Kupfer ein starkes Gift (MIELE & SCHULTE 2003). Seine durch saures Wasser gelösten Ionen können beim Menschen schwere Leberschäden hervorrufen. Kupfersulfat (Kupfervitriol) gilt als starkes Brechmittel.

Kupfer ist aber auch Bestandteil des Hämocyanin, das bei vielen Weichtieren und Gliederfüßern als Blutfarbstoff dem Sauerstofftransport dient. Auch bei allen höheren Lebewesen ist Kupfer als Bestandteil vieler Enzyme ein lebensnotwendiges Spurenelement. Der tägliche Bedarf eines erwachsenen Menschen beträgt etwa 2 Milligramm.

Für Kupfer wurde in Österreich eine maximale Arbeitsplatzkonzentration im Tagesmittel von 1 mg/m^3 an einatembarer Fraktion und von $0,1 \text{ mg/m}^3$ an lungengängiger Fraktion (Rauch) festgelegt (BMWA 2003). Die Deutsche MAK-Kommission hingegen legte 2004 den MAK-Wert für Kupfer auf $0,1 \text{ mg/m}^3$ und strich den MAK-Wert für Kupfer in Rauch (DFG 2004).

Nickel

Nickel ist ein ferromagnetisches Übergangsmetall mit ähnlichen Eigenschaften wie Eisen und Kobalt. Mit einem Schmelzpunkt von 1.453 °C zählt es zu den lithophilen Stoffen, die bei der Abfallverbrennung zum überwiegenden Teil in der Schlacke verbleiben.

Nickel ist aufgrund seiner Korrosionsschutzwirkung als Legierungsbestandteil von Edelstahl weit verbreitet. Daneben ist es in Schmuck, Münzen, Waschmitteln und Batterien in Verwendung.

Nickel ist für viele Organismen essentiell, ob das auch für den Mensch gilt ist derzeit noch nicht vollständig geklärt. In hohen Dosen kann es jedoch zu einer Reihe von Erkrankungen führen. Besonders gut lösliche Verbindungen, wie Nickelacetat und Nickelsulfid-Komplexe stehen im Verdacht Krebs erregend zu sein.

Nickel weist kein akutes toxisches Potenzial auf. Allergische Hautreaktionen (Kontaktdermatitis) sind die häufigsten Krankheitserscheinungen. Der Hauptaufnahmeweg für Nickelstäube erfolgt über den Atemtrakt und kann zu einer Reizung der Atemwege führen. Bei chronischer Belastung stehen auch hier allergische Reaktionen im Vordergrund (Ausbildung von Lungenasthma) (DFG 2004; AGIUS 2004; LENNTECH 2004). Zudem besteht der begründete Verdacht auf kanzerogenes Potenzial.

Als MAK-Wert für die einatembare Fraktion ist eine Konzentration von $0,5 \text{ mg/m}^3$ angegeben.

Als TRK-Wert für die einatembare Fraktion ist eine Konzentration von $0,5 \text{ mg/m}^3$ angegeben.

Quecksilber

Quecksilber ist ein silbrig glänzendes Schwermetall mit niedrigem Schmelz- und Siedepunkt (357 °C), daher sehr flüchtig. Bei der Verbrennung von quecksilberhaltigen Stoffen entstehen hoch flüchtige Quecksilberverbindungen, wie zum Beispiel HgCl_2 , welches bei 280 °C schmilzt und bei 303 °C siedet.

Gesundheitsgefährdung

Lösliche Quecksilberverbindungen sind oral und inhalativ toxisch. Quecksilberdämpfe, die schon bei Zimmertemperatur entstehen, sind sehr giftig. Das Schwermetall blockiert lebenswichtige Enzyme und schädigt auf diese Weise massiv die Körper-



zellen. Toxisch wirkt organisches Quecksilber vor allem auf das zentrale Nervensystem (Sprachstörungen, Hörstörungen). Beim Erwachsenen wirken 150–300 mg Quecksilber als einmalige Dosis tödlich. Bei einer akuten Vergiftung treten Zittern, Schwindel und Kopfschmerzen auf.

Meistens handelt es sich bei Quecksilber jedoch um chronische Vergiftungen, bei denen kleine Mengen dauerhaft aufgenommen werden. Eine chronische Quecksilbervergiftung äußert sich unter anderem in Müdigkeit, Kopf- und Gliederschmerzen, Verfall und Schwäche der Gedächtnisleistungen sowie ZNS-Störungen bis hin zum Tod.

Kinder, die schon vor ihrer Geburt mit Quecksilber belastet wurden, können unter Verhaltens- und Entwicklungsstörungen leiden. Methylquecksilber ist darüber hinaus ein potentes Teratogen (das heißt, es löst bei Mensch und Tier Missbildungen aus) (PARZEFALL 2001).

Für Österreich wurde ein MAK-Wert von 0,05 für metallisches Quecksilber, 0,1 für anorganische Hg-Verbindungen und 0,01 für organische Hg-Verbindungen festgelegt, obwohl die deutsche MAK-Kommission Quecksilber und seine Verbindungen 1999 in die Krebsverdachtskategorie 3 aufgenommen hat (DFG 1999).

Der Verdacht auf kanzerogenes Potenzial von Quecksilber wird dadurch begründet, dass Hg²⁺ als "Metabolit" von Hg im Tierexperiment kanzerogene Wirkungen zeigte.

Zink

Zink ist für alle Organismen (Bakterien bis Mensch) ein essenzielles Spurenelement. Der Erwachsene benötigt täglich rund 22 mg Zink. Die Toxizität des Metalls und der meisten seiner Verbindungen ist gering. Als tödlich gilt die Einnahme von 3 bis 5 g ZnSO₄ oder ZnCl₂.

Zink übt auf Haut und Augenschleimhäute eine reizende Wirkung aus. Typisch für schwere Zinkstaubexpositionen sind Symptome des so genannten "Metалldampfiebers" (Druck- und Schmerzempfindungen im Brustbereich, Atembeschwerden, metallische oder widerlich süßliche Geschmacksempfindungen, allgemeines Unwohlsein, Abgeschlagenheit, Kopfschmerzen, Müdigkeit, Appetitlosigkeit, evtl. Erbrechen, Schüttelfrost und Fieberanfälle sowie Kreislaufstörungen). Es besteht die Gefahr der Ausbildung eines toxischen Lungenödems. Meist sind jedoch die oben beschriebenen Symptome reversibel und klingen nach spätestens 48 Stunden ohne Spätfolgen ab.

Schwermetallsalze

Einige Schwermetallsalze besitzen eine gute Löslichkeit in Wasser (siehe Tab. 101) und können daher leicht mobilisiert werden und ohne geeignete Gegenmaßnahmen ins Grund- oder Trinkwasser gelangen.

Vor allem wasserlösliche Schwermetallsalze können zu Gesundheitsgefährdungen führen. Weitere Informationen finden sich in den vorhergehenden Abschnitten.

Tab. 101:
 Löslichkeit
 verschiedener
 Schwermetallsalze
 in Wasser
 (UMWELTBUNDESAMT
 2001b).

	Löslichkeit in g/100 ml H ₂ O	bei °C
ZnF ₂	1,62	20
PbF ₂	0,064	20
CdF ₂	4,35	25
HgCl ₂	6,9	20
ZnCl ₂	432	25
PbCl ₂	0,99	20
CdCl ₂	140	29
ZnSO ₄ ·7H ₂ O	96,5	20
PbSO ₄	0,00425	25
CdSO ₄	75,5	0
Zn(NO ₃) ₂ ·3H ₂ O	327,3	40
Pb(NO ₃) ₂	37,65	0
Cd(NO ₃) ₂ ·4H ₂ O	215	20

Aluminium

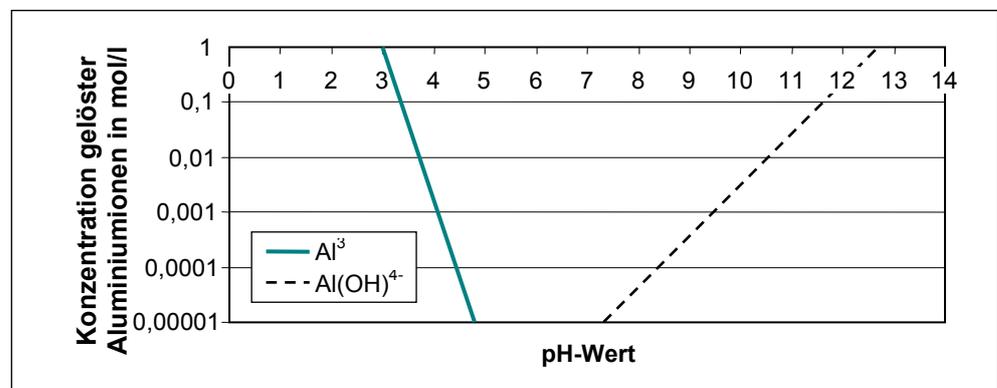
Wegen der geringen Dichte von Aluminium wird dieses Metall vor allem in der Produktion für Luft- und Raumfahrt und zunehmend im Fahrzeugbau eingesetzt.

Auch im Haushalt ist Aluminium weit verbreitet. Man findet es in Form von Getränkedosen, Aluminiumfolien, als Kochtöpfe und im Verbund mit Kunststoffen oder Papier als Verpackungsmaterial (z. B. für Säfte, H-Milch, Packerisuppe, Butter, Kaffee, Schokoriegel, Kartoffelchips oder Medikamente) (ROTTER 2002).

In Pulverform (< 500 µm) ist Aluminium – vor allem wenn es nicht phlegmatisiert („Herabsetzung der Reaktivität“) ist – aufgrund seiner großen Oberfläche sehr reaktiv. So reagiert es beispielsweise mit Wasser unter Abgabe von Wasserstoff zu Aluminiumoxid.

Aluminiumoxid ist chemisch eine sehr beständige Verbindung. Dennoch kann es sowohl im sauren Milieu ($\text{Al}_2\text{O}_3 + 6\text{H}^+ \Rightarrow 2\text{Al}^{3+} + 3\text{H}_2\text{O}$) als auch im basischen Milieu ($\text{Al}_2\text{O}_3 + 2\text{OH}^- + 3\text{H}_2\text{O} \Rightarrow 2\text{Al}(\text{OH})_4^-$) in Lösung gebracht werden (siehe Abb. 33).

Abb. 33:
 Löslichkeit von
 Aluminium-Ionen als
 Funktion des pH-Wertes
 (SEEL 1973).





Einige Prozent der Bevölkerung zeigen allergische Reaktionen gegen Aluminium in Form von Ausschlägen oder der Unfähigkeit, Nährstoffe aus der Nahrung aufzunehmen, die in Aluminiumtöpfen gekocht wurden.

Für den Rest der Bevölkerung ist die Giftigkeit von Aluminium so gering, dass Aluminiumgeschirr bei der Nahrungszubereitung verwendet werden kann. Übermäßiger Verbrauch von Mitteln gegen Sodbrennen und Deodorants, die Aluminium enthalten, gilt jedoch als wahrscheinliche Ursache von Vergiftungserscheinungen¹¹. Die MAK-Kommission empfiehlt einen Arbeitsplatz-Grenzwert für den alveolengängigen Aerosolanteil von 1,5 mg/m³.

Bei der Verbrennung entstehen aus metallischem Aluminium knapp unterhalb des Schmelzpunktes von 660 °C kleine Kügelchen (Aluminiumgrieß) die durch eine wenige Moleküle dicke Oxidschicht vor weiteren Angriffen geschützt sind. Schlacken aus der Rostfeuerung weisen daher einen Gehalt an metallischem Aluminium von etwa 2 % auf, Aschen von 0,5 bis maximal 10 % (NEUBACHER et al. 2003). Bei der Deponierung mit oder ohne Zementverfestigung bildet metallisches Aluminium brennbaren Wasserstoff und wirkt als treibendes Mittel für den Deponiekörper. Der Aluminiumgrieß ist durch mechanische Verfahren nicht entfernbar, Oxidation durch thermische Behandlung in einem Drehrohr ist mit hohem Energieaufwand verbunden (NEUBACHER et al. 2003).

In Zukunft ist durch Aluminiumverbundstoffe mit einem weiteren Anstieg des Gehaltes an metallischem Aluminium im Restabfall zu rechnen. Eine verstärkte Abtrennung und wertstoffliche Verwertung von dünnen Aluminiumverbundstoffen vor der Verbrennung funktioniert nach (NEUBACHER et al. 2003) praktisch nicht.

Chlorhaltige Abfälle und PVC

Chlorhaltige Abfälle

Chlor kommt in Abfällen als Bestandteil von organischen Chlorderivaten oder von anorganischen Chloriden (NaCl, KCl) vor. Die organische Chlorbelastung lässt sich im Wesentlichen auf PVC zurückführen. Daneben existieren Weichmacher und polyhalogenierte Flammschutzmittel. Die anorganischen Chloride sind vor allem in der Organikfraktion (im Küchenabfall) und im Feinanteil des Restabfalls zu finden (SCHIRMER et al. 2004). In Deutschland ist PVC für ca. 50 % und andere Chlorverbindungen sind für die verbleibenden 50 % des Chlorgehaltes im Restmüll verantwortlich (UMWELTBUNDESAMT – DEUTSCHLAND 2001).

Chlor ist in der Abfallverbrennung ein hoch flüchtiges Element, das bevorzugt als HCl in das Abgas übertritt. Nahezu der gesamte organische Chloranteil wird freigesetzt. Die Freisetzung des Chlors aus den anorganischen Chlorverbindungen hängt stark von den mitverbrannten Stoffen (vor allem der Konzentration des Schwefels) ab (SCHIRMER et al. 2004).

Ein erhöhter Chlorgehalt im Abfall führt in Laborversuchen zu einer Erhöhung der Flüchtigkeit der Schwermetalle Zn, Cu, Cd, Pb, Sn, Mo, Sb und As. Es wird vermutet, dass durch einen erhöhten Chlorgehalt die Konzentration dieser Schwermetalle in der Schlacke verringert und dafür in der Flugasche erhöht werden kann (BELEVI 2004). Wie weit sich eine Veränderung des Chlorgehaltes im Restmüll auf die Ver-

¹¹ <http://de.wikipedia.org/wiki/Aluminium>

teilungskoeffizienten der Schwermetalle im praktischen Betrieb auswirkt, kann anhand der verfügbaren Informationen nicht abgeschätzt werden.

1 kg Siedlungsabfall enthält 3 bis 9 g Chlor. HCl wird in der Nasswäsche weitestgehend abgetrennt und neutralisiert, so dass es nur in sehr geringen Mengen emittiert wird (CONNETT 1998). Jedoch tragen die Chloride in den Flugaschen und Filterkuchen zur Löslichkeit dieser Abfallströme und zur Mobilisierung der enthaltenen Schwermetalle bei.

Weiters greift HCl während der Verbrennung die Anlagenteile durch Korrosion an. Vom thermodynamischen Standpunkt ausgehend, ist Korrosion nicht zu verhindern. Sie kann durch bauliche und betriebliche Maßnahmen verringert werden und durch die Verringerung des Eintrages von korrosiven Stoffen (Chlorid, Schwefelverbindungen) in den Abfall.

Insgesamt überwiegen die Nachteile eines erhöhten Chlorgehaltes (Emissionen bei der Herstellung, bei der Verwendung und der Abfallbehandlung, Korrosion, hoher Energieverbrauch bei der Herstellung von Chlor und Chlorverbindungen) die potenziellen Vorteile (stärkere Überführung der Schwermetalle aus der Schlacke in die Flugasche), so dass eine Verringerung insbesondere des organischen Chlorgehaltes in den Abfällen angestrebt werden sollte.

PVC

In Westeuropa ist Polyvinylchlorid (PVC) mit 1,45 Mio. t im Jahr 1997 und Steigerungsraten von 0,4 %/a mengenmäßig der zweitwichtigste Kunststoff nach Polyethylen. Rund ein Drittel der produzierten PVC-Menge wurde zu Weich-PVC mit Additiven verarbeitet. Weich-PVC wird meist in Produkten von relativ kurzer Lebensdauer (2 bis 20 Jahre) verwendet. PVC-Produkte werden nach der Nutzung zurzeit hauptsächlich verbrannt.

PVC enthält je nach Anwendung 1,8 bis 11 % Stabilisatoren, die wiederum Barium, Blei, Cadmium, Zinn oder Zink enthalten können. Europaweit wird Cadmium seit dem Jahr 2000, in Österreich seit 1994 nicht mehr als PVC-Stabilisator eingesetzt. Für Blei gibt es eine Selbstverpflichtung der Industrie ab 2015, dieses nicht mehr als PVC Stabilisator einzusetzen.

Siedlungsabfall besteht zu 0,1 bis 0,4 % aus PVC (HORNUNG 2002). Dieses kommt vor allem in den Fraktionen „Sonstige Kunststoffgegenstände“, in Kunststoff-Aluminium-Verbunden (als Verpackungen von aromaintensiven Produkten wie Kaffee, Schokoriegel oder Tabletten), in Schuhen (als Sohle oder Kunstleder) und in Elektronikschrott (als Kabelisolation) vor. Durch die zunehmende Substitution von PVC im Verpackungsbereich ist in diesen Fraktionen in Zukunft mit leicht fallenden Chlorgehalten zu rechnen. (SCHIRMER et al. 2004). In der Tab. 102 werden Anwendungsbeispiele für PVC angeführt.

In Deutschland ist PVC für ca. 50 % des Chlorgehaltes (UMWELTBUNDESAMT – DEUTSCHLAND 2001) der Stoffe, die in die Müllverbrennung gelangen sowie für ca. 10 % des Cadmium- und weniger als 1 % des Bleigehaltes verantwortlich (BAITZ et al. 2004).

Bei der thermischen Behandlung von PVC besteht die Möglichkeit erhöhter Dioxin-emissionen. Dies ist jedoch abhängig von den Parametern der Verbrennung (Luftzufuhr, Verweilzeit, Turbulenz der Rauchgase) sowie der verwendeten Technologien zur Rauchgasreinigung.

PVC in Elektro- und Elektronikgeräten	PVC im Büro	PVC in Freizeit und Sport
Tastaturen Elektrowerkzeuge Kabel Telefonsysteme Bauteilgehäuse Gehäuse von Mobiltelefonen	Büromaterialien (z. B. Ordner, Ringbücher, Lineale, Radiergummi) Computergehäuse Computertastaturen Drucker Bürofolie	Spielzeug (z. B. Puppen) Fußbälle Schwimmringe und -flügel Gartenschläuche Rettungsboote Schiffsbauprodukte
PVC in der Bekleidung	PVC in der Verpackung	PVC in Karten
Regenmäntel Rettungswesten Schuhe Schuhsohlen Gummistiefel Modeartikel und -accessoires Kunstleder	Lebensmittelverpackung (z. B. tiefgezogene Becher) Mineralwasserflaschen Haffolien Non-Food-Verpackungen (z. B. Schalen, Kosmetika- und Reinigungsmittelbehälter) Kronkorkenbeschichtungen	Kreditkarten „Intelligente“ Karten Identitätskarten Telefonkarten
PVC als Baustoff	PVC in Fahrzeugen	PVC in der Medizin
Fensterrahmen und Türen Trinkwasser-, Kanalrohre und Formstücke Dachrinnen Kabelschutzrohre und -kanäle Bodenbeläge Tapeten Wasserreservoirauskleidungen Folien, Platten und Planen Rollladen Sitze in Sportstadien	Innenverkleidungen (z. B. Sonnenblenden, Teile von Handbremsen und Schalthebeln, Fußmatten) Fenstereinrahmungen Oberflächen von Armaturentafeln Beschichtete Gewebe (z. B. Sitzbeschichtungen, Türinnenverkleidungen) Kabelmäntel Dichtungsmassen (z. B. Unterbodenschutz, Antidröhnmassen)	Pharmazeutika-, Blisterverpackungen Blutbeutel Plasmabeutel Flexible Schläuche Infusionsgeräte

Tab. 102:
Anwendungsbeispiele
für PVC (aus Evc 2004).

Dioxine und Furane

Unter Dioxinen versteht man eine Stoffgruppe von polychlorierten Dibenzo-p-dioxinen und Dibenzofuranen, die in insgesamt 210 Kongeneren auftreten können.

Dioxine sind giftige, persistente, feste aromatische chlororganische Verbindungen, die bevorzugt bei der Synthese oder Verbrennung von chlorierten Polyaromaten bzw. in Gegenwart von Chlorverbindungen und Schwermetallen als unerwünschte Nebenprodukte (de-novo-Synthese) entstehen. Die Halbwertszeit von 2,3,7,8-Tetrachlordibenzo-p-dioxin beträgt bei Abwesenheit von UV-Strahlung 10 Jahre.

Dioxin wird vorwiegend über die Nahrung aufgenommen, wobei es über die Nahrungskette zu einer Konzentrationssteigerung kommt. Aufgrund von epidemiologischen Daten hat die WHO einen Grenzwert für die tägliche Aufnahme von 1 bis 4 pg/kg Körpergewicht festgelegt. Das Scientific Committee on Food der Europäischen Kommission schätzte im Jahr 2000, dass die tägliche Aufnahme von Dioxin bei einem europäischen Erwachsenen zwischen 1,2 und 3 pg/kg Körpergewicht liegt (TU-OMISTO et al. 2004).



Bei ca. 25 bis 100-fach höherer Exposition, als es der gegenwärtigen Hintergrund-Körperbelastung entspricht (Konzentrationen zwischen 1 und 10 ng/m³), können Chlorakne, Leberschädigungen und – bei langjähriger Belastung – beschleunigtes Wachstum von Tumorstufen auftreten (PARZEFALL 2001). Weitere Krankheitsbilder bei chronischer Exposition sind fortschreitender Gewichtsverlust, Schrumpfung der Thy-musdrüse, Magen-Darm-Blutungen und Induktion von erhöhten Enzymaktivitäten. Besonders bei Meerschweinchen ist die letale Dosis LD₅₀ mit 1 µg/kg sehr niedrig (PARZEFALL 2001). Im Fettgewebe kommt es bevorzugt zu einer Anreicherung nach chronischer Exposition (die Eliminationshalbwertszeit beträgt ca. 7 Jahre).

Mehrere Langzeitstudien haben die erbgutschädigende Wirkung und die Kanzerogenität von Dioxinen nachgewiesen. Dioxine verursachen die Bildung von Weichgewebssarkomen (bösartige Tumore), Krebs im Lymphbereich und Lungenkrebs (CORN et al. 1993).

Besonders gefährdet sind Industriearbeiter, die bei der Herstellung von Herbiziden eingesetzt werden sowie Anwender von Herbiziden.