Umweltforschungsplan
des Bundesministers für Umwelt,
Naturschutz und Reaktorsicherheit

Forschungsprojekt 296 94 006

Exemplarische Untersuchung zum Stand der praktischen Umsetzung des integrierten Umweltschutzes in der Metallindustrie und Entwicklung von generellen Anforderungen

o. Prof. Dr. Otto Rentz
Dipl.-Ing. Stephan Hähre
Dipl.-Wirtschaftsing. Rainer Jochum
Dipl.-Wirtschaftsing. Jutta Geldermann
Dipl.-Ing. Martin Krippner
Dr. Frank Schultmann

Deutsch-Französisches Institut für Umweltforschung
Universität Karlsruhe (TH)
Hertzstraße 16
76187 Karlsruhe

Institutsleiter
o. Prof. Dr. Otto Rentz

IM AUFTRAG
DES UMWELTBUNDESAMTS

Dezember 1999

Envirnomental Research Plan
of the Federal Minister for the Environment,
Nature Conservation and Safety

Research Project 296 94 006

Exemplary Investigation into the State of Practical Realisation of Integrated Environmental Protection within the Metal Industry and Development of General Requirements

o. Prof. Dr. Otto Rentz
Dipl.-Ing. Stephan Hähre
Dipl.-Wirtschaftsing. Rainer Jochum
Dipl.-Wirtschaftsing. Jutta Geldermann
Dipl.-Ing. Martin Krippner
Dr. Frank Schultmann

French-German Institute for Environmental Research
University of Karlsruhe (TH)
Hertzstraße 16
76187 Karlsruhe

Director of Institute
o. Prof. Dr. Otto Rentz

ON BEHALF OF THE
FEDERAL ENVIRONMENTAL AGENGY

December 1999

Die diesem Bericht zugrundeliegenden Arbeiten wurden durch das Umweltbundesamt aus Mitteln des Bundesministers für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt liegt allein bei den Autoren.

Berichts - Kennblatt

Berichtsnummer 1. UBA-FB 50 462 / 1	2.	3.
4. Titel des Berichts Exemplarische Untersuchung zum Stand der praktischen Umsetzung des integrierten Umweltschutzes in der Metallindustrie und Entwicklung von generellen Anforderungen		
5. Autor(en), Name(n), Vorname(n) Rentz, Otto; Hähre, Stephan; Jochum, Rainer; Geldermann, Jutta; Krippner, Martin; Schultmann, Frank		8. Abschlußdatum September 1999
6. Durchführende Institution (Name, Anschrift) Deutsch-Französisches Institut für Umweltforschung (DFIU) Universität Karlsruhe (TH) Hertzstraße 16 76187 Karlsruhe		9. Veröffentlichungsdatum Dezember 1999 10. UFOPLAN-Nr. 296 94 006 11. Seitenzahl 265
7. Fördernde Institution (Name, Anschrift) Umweltbundesamt Bismarckplatz 1, 14193 Berlin		12. Literaturangaben 118 13. Tabellen und Diagramme 220
15. Zusätzliche Angaben Der Bericht umfaßt 4 Ergänzungsbände mit zusammen 1.130 Seiten.		14. Abbildungen 60
16. Kurzfassung Im Projekt wurde der Stand der Umsetzung des integrierten Umweltschutzes in der Metallindustrie in Deutschland, insbesondere in den Industriebereichen Primärstahlerzeugung, Elektrostahlerzeugung, Stahlverarbeitung in Warm- und Kaltwalzwerken sowie Herstellung von Zink, Blei und Kupfer untersucht und eine Methodik zur Bestimmung von Besten Verfügbaren Techniken (BVT) entwickelt. Das Forschungsprojekt beinhaltet drei zentrale Ziele, die sich in den Rahmen des von der IVU-RL geforderten europäischen Informationsaustausch über BVT einordnen. Das erste Ziel ist die Erstellung nationaler *Positionspapiere* zu BVT in der deutschen Metallindustrie. Inhalt dieser Positionspapiere sind für die sektorspezifische Bestimmung von BVT erforderliche Informationen zum Stand des integrierten Umweltschutzes in der Stahlindustrie und der Nichteisenmetallindustrie. Zweites Ziel ist die Entwicklung einer praktikablen medienübergreifenden Methodik im Rahmen der Arbeiten der Europäischen Kommission zur Festlegung derjenigen BVT, die ein hohes Schutzniveau für die Umwelt insgesamt garantieren. Das dritte Projektziel umfaßt die Kommentierung von Beiträgen Dritter zum europäischen Informationsaustausch und die Mitarbeit in verschiedenen, mit der Bestimmung von BVT befaßten Gremien auf nationaler und internationaler Ebene auf Grundlage der im Rahmen des Projekts erarbeiteten Informationen. Der hier vorliegende Abschlußbericht stellt die durchgeführten Arbeitsschritte und zentralen Ergebnisse zusammenfassend vor.		
17. Schlagwörter Integrierter Umweltschutz, Beste Verfügbare Techniken (BVT), Metallindustrie, Stahlindustrie, NE-Metallindustrie, Bewertungsmethodik, Medienübergreifend, IVU		
18. Preis	19.	20.

Report No. 1. UBA-FB 50 462 / 1	2.	3.

4. Report Title

Exemplary investigation into the state of practical realisation of integrated environmental protection within the metal industry and development of general requirements

5. Author(s), Family Name(s), First Name(s) Rentz, Otto; Hähre, Stephan; Jochum, Rainer; Geldermann, Jutta; Krippner, Martin; Schultmann, Frank	8. Report Date September 1999
6. Performing Organisation (Name, Address) French-German Institute for Environmental Research University of Karlsruhe (TH) Hertzstraße 16 D-76187 Karlsruhe	9. Publication Date December 1999 10. UFOPLAN-Ref.No. 296 94 006 11. No. of Pages 265
7. Sponsoring Agency (Name, Address) Umweltbundesamt Bismarckplatz 1, D-14193 Berlin, Germany	12. No. of References 118 13. No. of Tables, Diagrams 220
15. Supplementary Notes The report comprises 4 supplementary volumes of totally 1,130 pages.	14. No. of Figures 60

16. Abstract

Within this project the state of the implementation of integrated environmental protection in the metal industry, in particular in integrated steelworks, electric steelmaking plants, hot and cold rolling mills as well as copper, zinc and lead producing plants, has been investigated. Furthermore, an assessment methodology for the determination of Best Available Techniques (BAT) has been developed. The research project has three main goals, which are related to the European Information exchange on BAT demanded by the IPPC-Directive. First of all, the preparation of national so-called *position papers* on BAT in the metal industry is the central goal. Contents of these reports are information on the state of the implementation of integrated environmental protection in the steel industry and the non-ferrous metal industy, that are necessary for a sector-specific determination of BAT. The second goal of the project is the development of a practicable methodology for the determination of those BAT, which guarantee a high level of protection for the environment taken as a whole. The third goal of the project comprises the commenting on contributions of third parties to the European information exchange and the participation in several committees, that deal with the determination of BAT, on basis of the information that have been elaborated within the project. This report gives an overview of the steps carried out and the important results within the project.

17. Keywords

Integrated pollution prevention and control (IPPC), Best available techniques (BAT), Metal industry, Steel industry, Non-ferrous metal industry, Assessment methodology, Cross-media

18. Price	19.	20.

Zusammenfassung

Am 24. September 1996 wurde vom Rat der Europäischen Union die „*Richtlinie über die integrierte Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung*“ (IVU-RL, 96/61/EG) erlassen. Die IVU-RL hat wesentliche Auswirkungen auf die Genehmigung des Betriebs einer ganzen Reihe von Industrieanlagen. Als zentrales Element zur Umsetzung der IVU-RL wird in Art. 16 Abs. 2, IVU-RL, ein Informationsaustausch auf europäischer Ebene über die „*Besten Verfügbaren Techniken*“ (BVT, englisch Best Available Techniques, BAT) für alle im Anhang I der IVU-RL aufgeführten Industrieanlagen gefordert. An diesem von der EU-Kommission organisierten Informationsaustausch sind sowohl die betroffenen Industrien als auch die Mitgliedstaaten der Europäischen Gemeinschaft beteiligt. Inhalte des Informationsaustauschs sind Angaben für die in der IVU-RL angeführten Industriebereiche zu angewandten und Besten Verfügbaren Techniken für die integrierte Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung, Einsatzstoffen und Emissionen in die Umweltmedien Luft, Wasser und Boden sowie Ansätze für eine medienübergreifende Bewertungsmethodik zur Bestimmung von BVT.

Der vorliegende Abschlußbericht dokumentiert Inhalte und Ergebnisse, die im Rahmen des Projekts „*Exemplarische Untersuchung zum Stand der praktischen Umsetzung des integrierten Umweltschutzes in der Metallindustrie und Entwicklung von generellen Anforderungen*“ für die Bereiche Erzeugung von Stahl, Zink, Blei und Kupfer und Weiterverarbeitung von Stahl in Walzwerken sowie zur Entwicklung einer medienübergreifenden Bewertungsmethodik im Auftrag des Umweltbundesamtes erstellt wurden. Die Ergebnisse des durchgeführten Projekts liefern zugleich Beiträge zum europäischen Informationsaustausch gemäß IVU-RL. Im folgenden werden zunächst Ausgangslage, Zielsetzung und Aufbau des Berichts skizziert, um dann zentrale Ergebnisse der umfangreichen Arbeiten im Projekt zur Bestimmung von BVT in den genannten Bereichen der Metallindustrie und zur Entwicklung einer medienübergreifenden Bewertungsmethodik zusammenfassend darzustellen.

Ausgangslage, Zielsetzung und Aufbau des Berichts

Die IVU-RL führt in das europäische Recht ein neues, integriertes Genehmigungsverfahren für den Betrieb bestimmter Industrieanlagen ein. Dabei ist zur Umsetzung der Richtlinie die Bestimmung von BVT für die Anlagen des Anhang I, IVU-RL, notwendig, da von den zuständigen Genehmigungsbehörden im Verlauf des Genehmigungsverfahrens insbesondere Emissionsgrenzwerte auf Basis von BVT festzusetzen sind (vgl. Art. 9 und Art. 16, IVU-RL). Der integrierte Ansatz der IVU-RL verursacht hinsichtlich der Bestimmung von BVT Handlungsbedarf in zwei zentralen Bereichen. Es sind zum einen Informationen über wesentliche angewandte Techniken, Einsatzstoffe und entstehende Emissionen der Anlagen des Anhang I,

IVU-RL, zur Verfügung zu stellen, wobei die Vielfalt an aufgeführten Industriebereichen eine sektorspezifische Bestimmung von BVT erfordert. Zum anderen ergeben sich aus dem medienübergreifenden Ansatz weitreichende Bewertungsfragen beim Vergleich verschiedener Techniken, die durch die Entwicklung einer Bewertungsmethodik zu unterstützen sind.

Zielsetzung dieses Abschlußberichts ist die Darstellung der zentralen Ergebnisse, die im Rahmen des zugrunde liegenden Forschungsprojekts als Beiträge zum europäischen Informationsaustausch über BVT in der Metallindustrie und zur Entwicklung einer Bewertungsmethodik erarbeitet wurden und in die entsprechenden Arbeiten zur Erstellung von BVT Referenz Dokumenten (BREFs) am European Integrated Pollution Prevention and Control Bureau (EIPPCB) in Sevilla eingeflossen sind.

Der Abschlußbericht als Ganzes ist modular aufgebaut, um die umfangreichen Tätigkeiten und erzielten Ergebnisse im Rahmen des zugrunde liegenden Forschungsprojekts übersichtlich und die erarbeiteten schriftlichen Beiträge vollständig darzustellen. Er umfaßt den vorliegenden Hauptteil mit der Ausgangslage, den wichtigsten Tätigkeiten und den zentralen Ergebnissen des Forschungsprojekts im Überblick, sowie vier Ergänzungsbände. Die Ergänzungsbände enthalten eigenständige, im Verlauf des Projekts erstellte Berichte als Beiträge zum europäischen Informationsaustausch über BVT im Rahmen der Umsetzung der IVU-RL. Im vorliegenden Hauptteil des Abschlußberichts werden zunächst Ausgangspunkte der IVU-RL für den Informationsaustausch über BVT in Form allgemeiner Vorgaben der Richtlinie zur Bestimmung von BVT analysiert und notwendige Aktivitäten zur Umsetzung der IVU-RL in Europa auf internationaler und nationaler Ebene vorgestellt. Anschließend werden die wichtigsten Inhalte und zentralen Ergebnisse des Forschungsprojekts dargestellt. Dabei wird zunächst auf die Tätigkeiten und insbesondere die Ergebnisse der Beiträge im Rahmen des Projekts zum technischen Informationsaustausch über BVT in der Metallindustrie eingegangen. Die Ausführungen des Hauptteils zu BVT in der Metallindustrie beziehen sich auf die im Rahmen des Forschungsprojektes vom DFIU in englischer Sprache erstellten Positionspapiere. Diese zur Unterstützung der technischen Arbeitsgruppen (Technical Working Groups, TWG) Iron and Steel (TWG IS), Ferrous Metals Processing (TWG FMP) sowie Non-Ferrous Metal Processes (TWG NFM) erstellten Berichte „*Report on BAT in the Electric Steelmaking Industry*", „*Report on BAT in the German Ferrous Metals Processing Industry*", „*Report on BAT in German Zinc and Lead Production*" und „*Report on BAT in German Copper Production*" sind vollständig im Original in den Ergänzungsbänden 1 und 2 zu diesem Bericht enthalten. Danach werden die in diesem Projekt erarbeiteten Beiträge zur Entwicklung und Anwendung einer medienübergreifenden Methode zur Identifikation von BVT vorgestellt. Die Darstellung der Ergebnisse zur Entwicklung einer Bewertungsmethodik bezieht sich auf den Bericht „*Vorschlag für eine medienübergreifende Bewertungsmethode zur Identifikation der "Besten Verfügbaren Techniken" BVT im Rahmen der Arbeiten der Europäischen Kommissi-*

on“, der vollständig in den Ergänzungsbänden 3 und 4 in deutscher bzw. englischer Sprache vorliegt. Im folgenden werden die im Projekt identifizierten BVT für die Stahl- und die Nichteisenmetallindustrie sowie die entwickelte Methode zur Bestimmung von medienübergreifenden BVT als zentrale Ergebnisse des Projekts jeweils in einer Übersicht zusammengefaßt.

Ergebnisse der Untersuchungen zu BVT in der Stahlindustrie

Die Stahlindustrie ist hinsichtlich der produzierten Menge mit Abstand die bedeutendste Branche der Metallindustrie in Deutschland. Abbildung 1 zeigt Standorte von integrierten Hüttenwerke, wichtigen Elektrostahlwerken sowie von ausgewählten Warmwalz-, Kaltwalz- und Röhrenwerken in Deutschland.

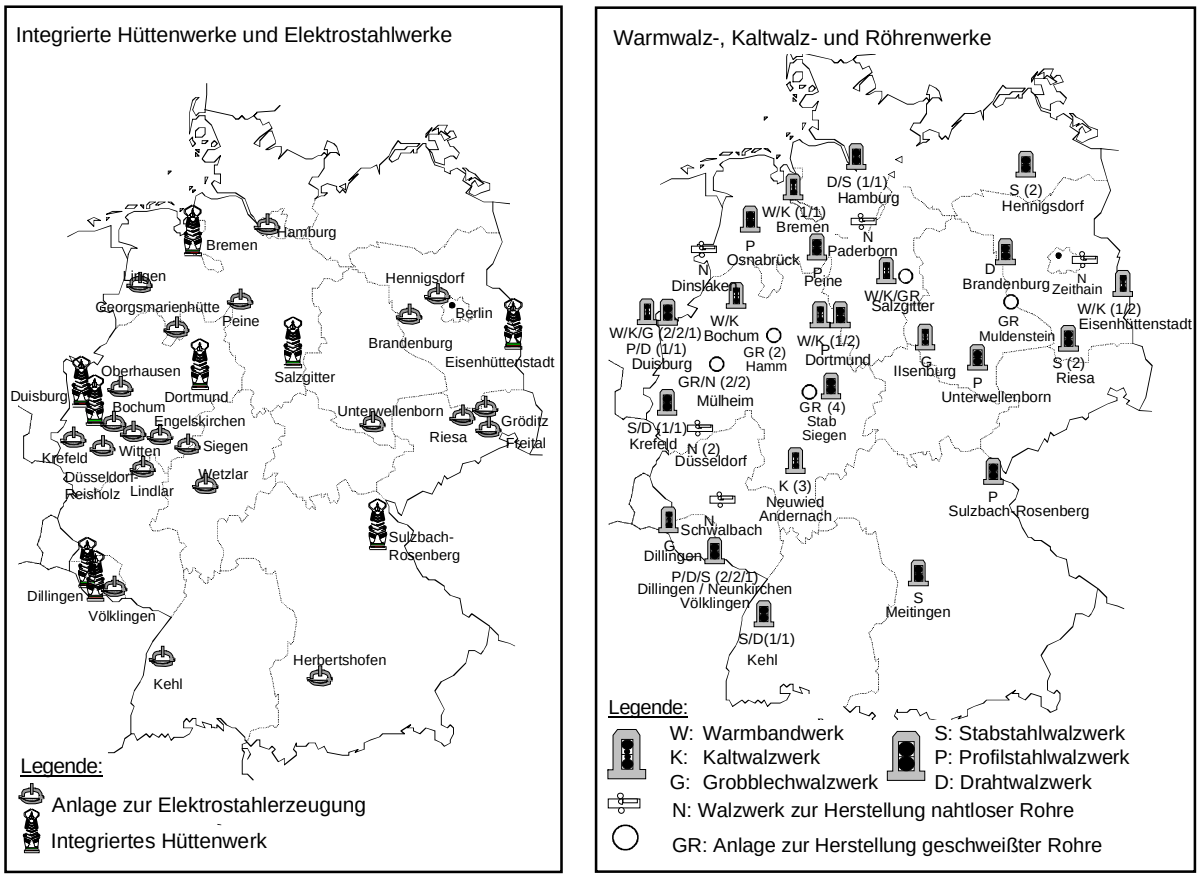

Abbildung 1: Standorte der Stahlindustrie in Deutschland

In Deutschland wird in integrierten Hüttenwerken hauptsächlich phosphorarmes Roheisen hergestellt. Auch Rohstahl wird mit über 75 % noch vorwiegend in integrierten Hüttenwerken erzeugt, wobei der Anteil der Elektrostahlerzeugung in den letzten Jahren beständig gestiegen ist. Als Walzstahlfertigerzeugnisse werden in Deutschland überwiegend Flacherzeugnisse hergestellt. Tabelle 1 zeigt in einer Übersicht die in den letzten Jahren in Deutschland produzierten Mengen an Roheisen, Rohstahl und Walzstahlfertigerzeugnissen.

Tabelle 1: Produktion von Roheisen, Rohstahl und Walzstahlfertigerzeugnissen in Deutschland

Jahr [Angaben in Mio. t]	**1995**	**1994**	**1993**	**1992**	**1990**	**1985**
Roheisenproduktion	**30,012**	**29,923**	**26,970**	**28,548**	**30,097**	**31,531**
davon phosphorarm	28,562	28,584	25,787	27,101	28,360	28,854
Rohstahlproduktion	**42,051**	**40,837**	**37,625**	**39,711**	**38,434**	**40,497**
davon Elektrostahl	10,143	8,921	8,115	8,581	7,106	7,477
Walzstahlfertigerzeugnisse	**33,800**	**33,212**	**30,690**	**32,438**	**31,090**	**30,881**
davon Profilstahl	10,698	10,277	9,702	10,219	8,433	8,549
davon Flachzeug	21,846	21,790	20,016	21,172	21,295	20,370
davon Stahlröhren, nahtlos	1,256	1,145	972	1,047	1,362	1,962

Quelle: Wirtschaftsvereinigung Stahl [113]

Zentrale Ergebnisse der durchgeführten Projektarbeiten im Bereich Stahlindustrie sind die identifizierten BVT für Elektrostahlwerke, Warmwalz- und Kaltwalzwerke. Für den Bereich der Elektrostahlerzeugung werden im nationalen Positionspapier „*Report on Best Available Techniques in the Electric Steelmaking Industry*“ (vgl. Kapitel 4.3) in Abstimmung mit Industrie- und Behördenvertretern die in Tabelle 2 angegebenen Techniken als BVT identifiziert. Die hier angegebenen Techniken sind in verschiedene Kategorien eingeteilt, die Schwerpunkte hinsichtlich des Bezugs der jeweiligen Techniken kennzeichnen.

Tabelle 2: BVT-Übersicht Elektrostahlerzeugung

Technik	**Technik**
Spezielle Produktionstechnologie	**Emissionsminderung Luft (Fortsetzung)**
(Ultra) High Power Betrieb	Eindüsen von Adsorbens
Wassergekühlte Seitenelemente und Deckel	Wärmerückgewinnung (Abgas)
Sauerstoff-Brennstoffbrenner, Sauerstofflanzen	Elektroabscheider
Exzentrischer Bodenabstich	Gewebefilter
Schaumschlackentechnik	**Schlackenwirtschaft**
Pfannen- oder Sekundärmetallurgie	Nutzung EAF-Schlacken (z.B. Baubereich)
Automatisierung des Ofenbetriebs	Nutzung SM-Schlacken (z.B. Kalkdünger, Recycling)
Wärmerückgewinnung (Ofenkühlung)	**Staub- und Feuerfestaufbereitung**
Schrottsortierung und -reinigung	Recycling abgeschiedener Stäube in EAF
Schrottvorwärmung	Wälzprozeß (Staub aus C-Stahlwerken)
Ofenkonzepte	DK-Prozeß (Staub aus C-Stahlwerken)
Comelt EAF	Imperial Smelting (IS) Ofen
Contiarc-Ofen	Aufbereitung durch speziellen EAF (Edelstahlstaub)
EODC-TEAF	Scan dust-Prozeß (Staub aus Edelstahlwerken)
Doppelgefäßofen	BSW-Prozeß (Staub aus C-Stahlwerken)
Emissionsminderung Luft	Feuerfestausbruchaufbereitung (Recycling)
Direktabsaugung der Ofenabgase	**Wasserwirtschaft**
Haubensystem über Ofen	Geschlossener Kühlkreislauf
Ofeneinhausung	**Lärmminderung**
Hallenentstaubung	Einhausung
Abgasnachverbrennung	Schalldämmung
Rasche Abgaskühlung (Quenchen)	Akustische Sperren und weitere Maßnahmen

Für den Bereich Warmwalzwerke werden im nationalen Positionspapier „*Report on Best Available Techniques in the German Ferrous Metals Processing Industry*“ (vgl. Kapitel 4.4) in Abstimmung mit Industrie- und Behördenvertretern die in Tabelle 3 angegebenen Techniken als BVT in deutschen Warmwalzwerken identifiziert. Abbildung 2 zeigt in einer schematischen Darstellung die entsprechenden Einsatzstellen im Prozeßablauf.

Tabelle 3: BVT-Übersicht Warmwalzwerke

Nr.	Technik(en)	Nr.	Technik(en)
1	Bereitstellung von Einsatzmaterial hoher Qualität	12	Minimierung von Hitzeverlusten durch Abgas, Abgaswärmerückgewinnung
2	Staubabscheidung Flämmabgas	13	Optimiertes Ofenkonzept mit mehreren Zonen
3	Selektives Flämmen	14	Installation von Coilbox und Coilofen
4	(Automatisierte) Prozeßkontrolle zur Minimierung des zu flämmenden Materials	15	Optimierte Anlagenbelegung, Instandhaltung, Betriebsweise, near-net-shape Produktion
5	Wahl geeigneten Brennstoffs	16	Recycling des Feuerfestausbruchs
6	Autom. Optimierung der Verbrennungsbedingungen	17	Automatisiertes, optimiertes Schopfen
7	Geeignete Brenner (z.B. Low-NO_x-Brenner)	18	Verwertung von Prozeßöl
8	Ofen mit hoher thermischer Effizienz, Minimierung der Wärmeverluste	19	Kreislaufführung, getrennt entsprechend den Anforderungen an die Wasserqualität
9	Vorwärmen der Brennluft	20	Mehrstufige Wasseraufbereitung: Grob-, Mittel- und Feinreinigung
10	Vermeidung von Materialabkühlung: Warm- bzw. Heißeinsatz, Abdeckhauben	21	Recycling eisenhaltiger Abfälle in metallurgische Prozesse
11	Gerichtetes Besprühen des Walzguts zur Verminderung von Staubemissionen	22	Aufbereitungsverfahren für ölhaltigen Walzzunder

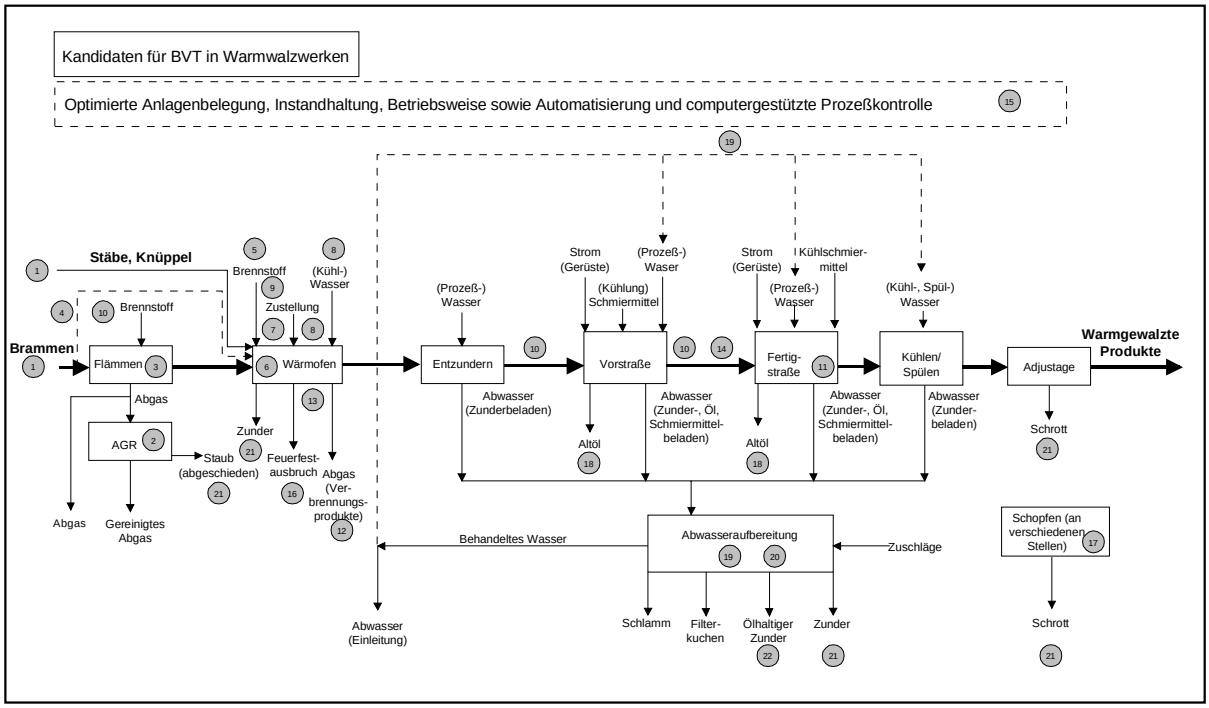

Abbildung 2: Schematische Darstellung der BVT-Übersicht Warmwalzwerke

Für den Bereich Kaltwalzwerke werden im oben genannten nationalen Positionspapier die in Tabelle 4 angegebenen Techniken als BVT für deutsche Anlagen identifiziert. Die Einsatzstellen der Techniken im Prozeßablauf sind in Abbildung 3 schematisch dargestellt.

Tabelle 4: BVT-Übersicht Kaltwalzwerke

Nr.	Technik(en)	Nr.	Technik(en)
1	Staubabscheidung Biegestreckrichtanlage	13	Flachbadbeize
2	Optimale Beizzusammensetzung und -temperatur	14	Wärmerückgewinnung (Beize und Regenerat)
3	Einhausung und Entlüftung des Beizbads	15	Minimierung der Wärmeverluste des Beizbads
4	Tropfenabscheider, falls erforderlich	16	Auswahl eines geeigneten Beizmediums
5	Abluftreinigung, entsprechend dem Aufbereitungs- bzw. Regenerationsprozeß	17	Automatische Steuerung von Hilfsaggregaten zur Energieverlustminimierung bei Anlagenstillstand
6	Absaugung, Abscheidung entstehenden Ölnebels	18	Kontinuierliches Beizen und Kaltwalzen
7	Wahl geeigneten Brennstoffs	19	Abgaswärmerückgewinnung
8	Optimale Einstellung der Verbrennungsbedingungen durch computergestützte Steuerung, Verminderung von Abgaswärmeverlusten	20	Optimiertes Produkthandling, geeignete Anlagen zur Vermeidung von Produktbeschädigungen, Einsatz von Material hoher Qualität
9	Einsatz von Low-NO_x-Brennern	21	Aufbereitung von Altbeize
10	Einsatz von Hochkonvektionsöfen	22	Prozeßsteuerung zur Materialverlustminimierung
11	Einsatz von Dampf-Wärmetauschern zur Bad-erhitzung, ggf. Bandvorwärmung durch Kondensat	23	Minimierung von Verschleppungsverlusten, Kaskadenspülsysteme, Beizeaufbereitung
12	Absaugung und Reinigung von Abluft	24	Kreislaufführung von Kühlschmiermitteln
		25	Recycling eisenhaltiger Abfälle in metallurg. Prozesse

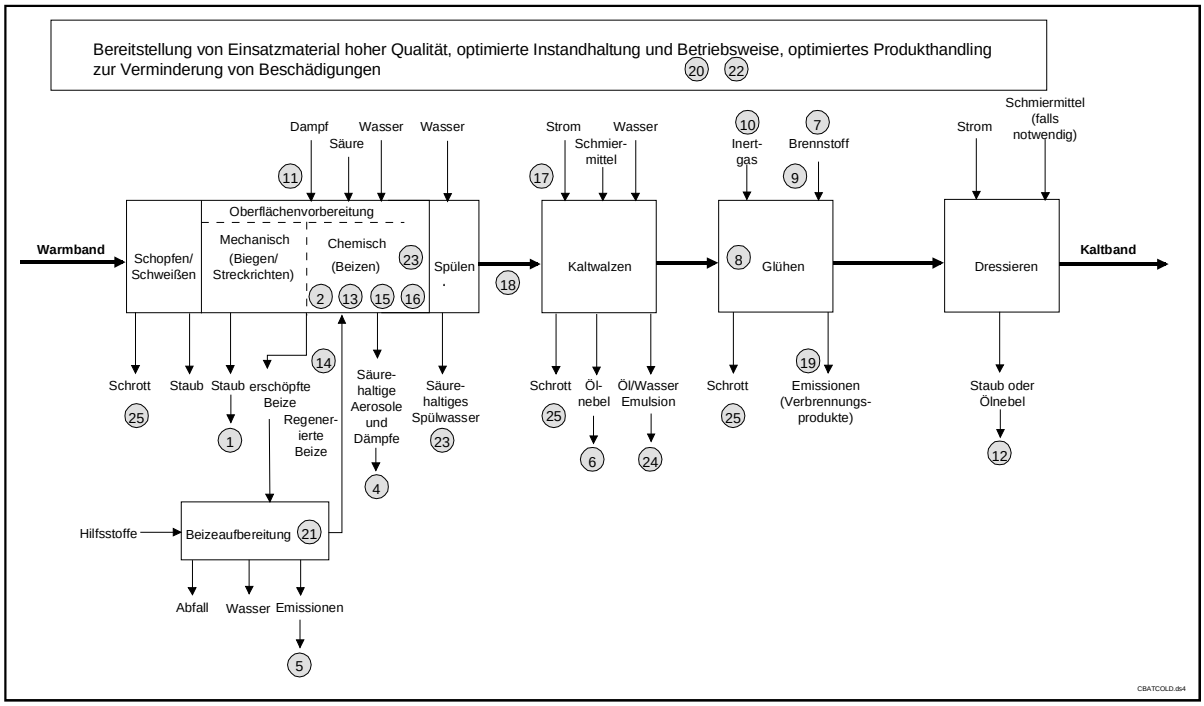

Abbildung 3: Schematische Darstellung der BVT-Übersicht Kaltwalzwerke

Ergebnisse der Untersuchungen zu BVT in der Nichteisenmetallindustrie

Zink, Blei und Kupfer sind zusammen mit Aluminium, das im Rahmen des durchgeführten Projektes nicht zu berücksichtigen war, hinsichtlich der erzeugten Mengen die wichtigsten Nichteisenmetalle in Deutschland. In Tabelle 5 und Tabelle 6 sind Produktionszahlen für die drei Metalle angegeben. Weiterhin zeigt Abbildung 4 die Standorte von Zink-, Blei- und Kupferhütten in Deutschland.

Tabelle 5: Produktion von Zink und Blei in Deutschland, Europa und der Welt

Jahr	**Deutschland** [Mio. t]		**EG** [Mio. t]		**Weltweit** [Mio. t]	
Zink	**Produktion*)**	**Verbrauch**	**Produktion*)**	**Verbrauch**	**Produktion*)**	**Verbrauch**
1996	0,328	0,480	1,980	1,929	7,428	7,533
1997	0,318	0,486	1,968	1,966	7,736	7,720
Blei	**Produktion**	**Verbrauch**	**Produktion**	**Verbrauch**	**Produktion**	**Verbrauch**
1996	0,238	0,342	1,520	1,659	5,881	6,033
1997	0,329	0,336	1,613	1,647	5,975	5,977

*) Angaben für SHG-Zink; die Produktion von umgeschmolzenem Zink und Zinkstaub ist nicht eingeschlossen.

Quellen: Bundesamt für Wirtschaft [15], Rentz et al. [81], International Zinc Association [59], Graf [41]

Tabelle 6: Produktion von Kupfer und wichtiger Kupfererzeugnisse in Deutschland

Produkt [Angaben in Mio. t]	**1992**	**1993**	**1994**	**1995**	**1996**
Raffiniertes Cu gesamt	0,582	0,632	0,592	0,616	0,671
davon elektrolytisch raffiniert	0,471	0,540	0,504	0,537	0,592
Halbzeug, Cu und Cu-Legierungen	1,470	1,340	1,456	1,530	1,461
Leitermaterial	0,607	0,521	0,516	0,549	0,583

Quelle: Bundesamt für Wirtschaft [15]

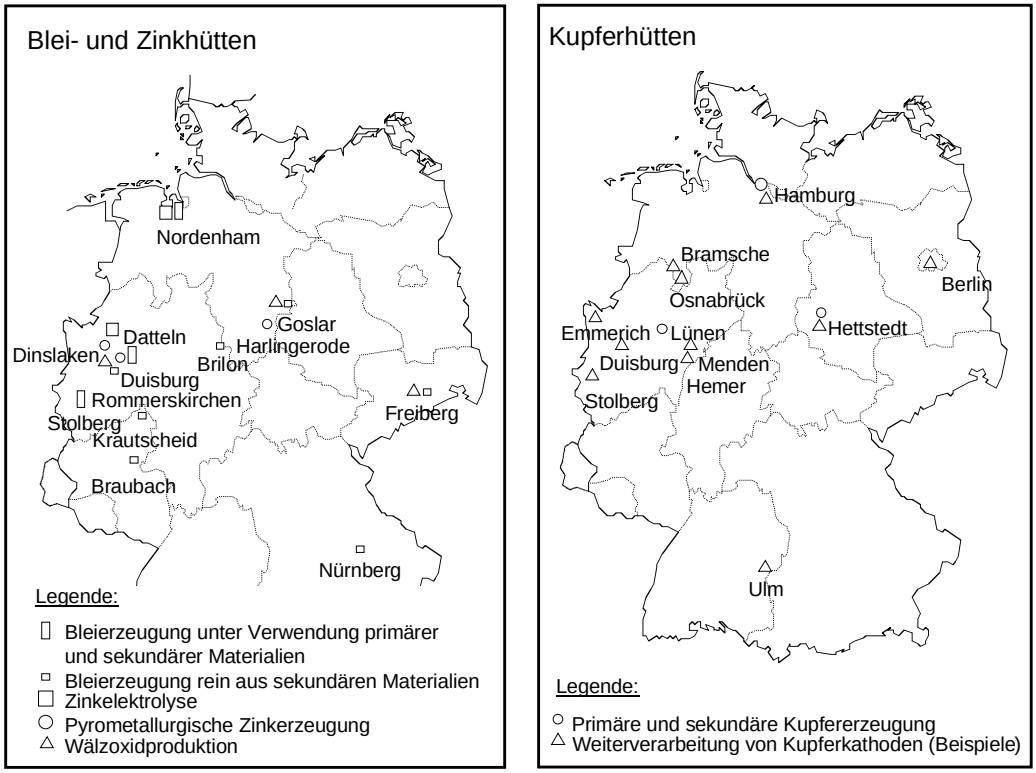

Abbildung 4: Standorte der NE-Metallindustrie in Deutschland

Zentrale Ergebnisse des nationalen Positionspapiers „*Report on Best Available Techniques in German Zinc and Lead Production*“ (vgl. Kapitel 4.4 und 4.5) sind in Abstimmung mit Industrie- und Behördenvertretern identifizierte BVT für deutsche Anlagen zur Zinkerzeugung, die für die einzelnen Produktionsprozesse in Tabelle 7 bis Tabelle 10 dargestellt sind.

Tabelle 7: BVT-Übersicht Zinkerzeugung (1)

Techniken für Zinkelektrolyseanlage
Verminderung von Emissionen in die Luft
Rohstoffvorbereitung/Röstung/Röstgasreinigung
Einhausung des Rösters und der Zementatmühle
Absaugung Zementatkühler, Kugelmühle, Röster und Umgebungsluft des Rösters
Abgasreinigung mit Gewebefiltern
Röstgasreinigung mit Kühlen, Entstauben (Zyklone, Heiß-EGR), Waschen und Naß-EGR
Behandlung des Röstgases (z.B. Boliden/Norzink-Prozeß)
Weitere Röstgasbehandlung in der Schwefelsäureanlage
Schwefelsäureanlage
Doppelkontaktanlage (z.B. vierlagiger Vanadiumoxid-SO_2-Konverter/Doppelkontakt-SO_3-Absorber)
Mehrere Röhrenfilter
Laugung/Reinigung/hydrometallurgische Kadmiumanlage
Zentraler Gaswäscher für Abgase aller Reaktoren
Wäsche der Abgase mit starken Oxidantien, sofern Gefahr von Arsenwasserstoffemissionen besteht
Elektrolyse
Absaugung Kühltürme
Absaugung Elektrolysebäderhalle
Abluftreinigung mit Tröpfchenabscheider
Kadmiumanlage/Kadmiumraffination
Permanente Absaugung Kadmiumofen, Schmelztiegel und Gießanlage
Wäsche der abgesaugten Luft
Trockene Reinigung der Ofenabgase, der Abgase der Destillationskolonne und der Gießanlage durch EGR
Schmelzen/(Legieren)/Gießen
Zentraler Gewebefilter zur Induktionsofenabgasreinigung
Wasserverbrauchsminderung, Abwasserbehandlung
Zentrale Kläranlage
Sammlung und interne Verwendung des Regenwassers
Röstgasreinigungsabwasserbehandlung in Kläranlage
Verminderung Energieverbrauch, Wärmerückgewinnung
Abhitzekessel zur Abgaswärmerückgewinnung
Reststoffrecycling, Abfallvermeidung/ -behandlung
Auswahl der Einsatzmaterialien
Rückgewinnung von Quecksilber aus dem Röstgas
Ausfällen von Cu, Cd und Co durch Zinkstaubzugabe
Verarbeitung von Kadmiumbriketts durch Destillation
Einsatz von Blei/Silber-Rückständen zur Bleierzeugung
Abwasserbehandlungsschlammrecycling in Bleihütten
Grundlegende Prinzipien des Abfallmanagements (u.a. Einlagerung von Jarosit in speziellen Untertagedeponien)
Verzicht auf heiße Laugung und Recycling von Zink/Eisen-Zwischenprodukten aus der Laugung
Internes Recycling der Krätzen der Gießanlage

Tabelle 8: BVT-Übersicht Zinkerzeugung (2)

Techniken für Imperial-Smelting-Prozeß
Verminderung von Emissionen in die Luft
Sinteranlage/Röstgasreinigung
Röstgasreinigung: Heißgas-EGR, Wäscher und Naß-EGR
Weitere Röstgasbehandlung (Boliden/Norzink-Prozeß)
Naß-EGR zur abschließenden Entstaubung
Weitere Röstgasverarbeitung in der Schwefelsäureanlage
Abgasreinigung mit Gewebefiltern
Absaugung der Abluft des Sinterkühlens und -brechens
Schwefelsäureanlage
Doppelkontaktanlage (z.B. vierlagiger Vanadiumoxid-SO_2-Konverter/Doppelkontakt-SO_3-absorber).
Mehrere Röhrenfilter
Kadmiumanlage
Nasser Transport kadmiumhaltiger Stäube
Heißbrikettieranlage
Gewebefilter zur Abgasreinigung
Nachgeschalteter Aktivkohlefilter
IS-Ofen/Sprühkondensator/Zink-Blei-Trennung/Gasreinigung/Schlackebehandlung
Doppelglocke
Naß-EGR zur Reinigung gesammelter diffuser Emissionen aus oberer Ofenzone und Schlackengranulation
Desintegrator zur Reinigung der IS-Prozeßgase
Gewebefilter (Sekundärentstaubung des Ofenareals)
Raffination
siehe New-Jersey -Raffinationsanlagen
Wasserverbrauchsminderung, Abwasserbehandlung
Zentrale Kläranlage
Vorbehandlung der Abwässer der Röstgasreinigung (endgültige Reinigung in der zentralen Kläranlage)
Abscheidung von Thallium (Vorbehandlung von Abwässern der Kadmiumanlage)
Reststoffrecycling, Abfallvermeidung/-behandlung
Rückgewinnung von Kadmium aus der Röstgasreinigung
Rückgewinnung von Quecksilber aus dem Röstgas
Int. Recycling bleihaltiger Reststoffe zu Kadmiumanlage
Verwendung von beladenem Koks aus der Gasreinigung als Brennstoff im IS-Ofen
Granulation der IS-Ofenschlacke
Internes Recycling von Schlamm aus der Kläranlage
Verminderung Energieverbrauch, Wärmerückgewinnung
Abhitzekessel: Wärmerückgewinnung Raffinationsabgas
Interne Verwendung des IS-Ofenabgases (Koksvorwärmung, Betrieb von Winderhitzern)

Tabelle 9: BVT-Übersicht Zinkerzeugung (3)

Techniken für Wälzanlage
Verminderung von Emissionen in die Luft
Vorbereitung/Lagerung der Einsatzstoffe
Pelletierung im Gebäude und direkte Beschickung mit frischen Pellets
Gewebefilter für die Übergabepunkte der Pelletieranlage, einschließlich Staubsilos und Dosierförderband
Abgedeckte Förderbänder für Staub und Pellets
Wälzofen/Gasreinigungssystem
Primärhauben an der Ofenöffnung
Konventionelle Gasreinigung mit Staubabsetzkammer, Kühler, Gewebefilter oder EGR oder nasse Gasreinigung
Venturiwäscher (zur Vorwärmung von Prozeßwasser für die Wälzoxidlaugung)
Ggf. zusätzliche Gasreinigung zum Entfernen von Quecksilber und PCDD/PCDF-Emissionen (z.B. Eindüsung von Adsorbents oder Installation eines Kohlebettfilters)
Schlackebehandlung
Haube, Absaugsystem
Eindüsen von Abgas: - in den Ofen, - in den Hauptabgasstrom
Wälzoxidlaugung (falls angewendet)
Entstaubungssystem für das Sodasilo
Abgasfilter an Umladestationen für trockene Stäube
Gewebefilter für das Trocknungsareal
Wasserverbrauchsminderung, Abwasserbehandlung
Behandlung des Abwassers der Wälzoxidlaugung
Absetztanks für Regenwasser
Rückführung des Kühlwassers der Schlackekühlung (geschlossener Kreislauf)
Reststoffrecycling, Abfallvermeidung/-behandlung
Behandlung der Wälzschlacke
Internes Recycling von Feststoffen aus der Abwasserbehandlung und den Regenwasserabsetztanks
Internes Recycling von Feststoffen der Betriebsgeländereinigung
Wälzoxidlaugung
Recycling von gebrauchtem Feuerfestmaterial
Verminderung Energieverbrauch, Wärmerückgewinnung
Venturiwäscher zur Kühlung des Wälzrohrabgases und Vorwärmung des Wassers für die Laugung
Wärmetauscher für zweiten Laugungsschritt
Primärhaube an der Ofenöffnung

Tabelle 10: BVT-Übersicht Zinkerzeugung (4)

Techniken für Umschmelzanlagen
Verminderung von Emissionen in die Luft
Gewebefilter zur Abgasreinigung
Wasserverbrauchsminderung, Abwasserbehandlung
Kühlwasserkreislauf
Recycling, Abfallvermeidung/ -behandlung
Internes Recycling von Stäuben, Aschen und Krätzen
Techniken für Schlackeverblaseanlagen
Verminderung von Emissionen in die Luft
Nachverbrennung mit Lufteindüsung
Gewebefilter zur abschließenden Gasreinigung
Recycling, Abfallvermeidung/ -behandlung
Schlackebehandlung
Externe Verarbeitung der Mischoxide
Verminderung Energieverbrauch
Abhitzekessel
Techniken für New-Jersey Zinkraffinationsanlagen
Verminderung von Emissionen in die Luft
Gewebefilter zur Behandlung der Abgase der Heizkammern, Raffinieröfen
Recycling, Abfallvermeidung/ -behandlung
Externes Recycling von Zink-Kadmiumlegierungen
Recycling zinkhaltiger Filterstäube
Verminderung Energieverbrauch
Wärmetauscher zur Abgaskühlung
Techniken für New-Jersey-Prozeß
Verminderung von Emissionen in die Luft
Wäscher und Nachverbrennung
Wasserverbrauchsminderung, Abwasserbehandlung
Kühlwasserkreislauf
Recycling, Abfallvermeidung/ -behandlung
Internes Recycling zinkhaltiger Gasreinigungsschlämme
Verminderung Energieverbrauch
Luftvorwärmung
Interne Nutzung von Prozeßgas

Im nationalen Positionspapier „*Report on Best Available Techniques in German Zinc and Lead Production*“ (vgl. Kapitel 4.4 und Kapitel 4.5) werden für deutsche Anlagen zur Bleierzeugung in Abstimmung mit Industrie- und Behördenvertretern die in Tabelle 11 bis Tabelle 14 dargestellten Techniken als BVT identifiziert.

Tabelle 11: BVT-Übersicht Bleierzeugung (1)

Techniken für QSL-Prozeß-Anlage
Verminderung von Emissionen in die Luft
Rohstoffvorbereitung
Hauben
Gewebefilter
QSL-Reaktor/Gasreinigungssystem
Prozeßgasreinigung: Kühlung Heißgas-EGR, Naß-EGR
Weitere Abgasreinigung (Boliden/Norzink-Prozeß)
Weitere Abgasbehandlung in Schwefelsäureanlage
Hauben, Einhausung Rohblei- /Schlackeöffnungen
Gewebefilter zur Abgasreinigung
Schwefelsäureanlage
Doppelkontaktanlage
Schlackebehandlung
Hauben
Naß-EGR
Kadmiumlaugungsanlage
Säurelaugung
Raffination
siehe Bleiraffinationsanlage
Wasserverbrauchsminderung, Abwasserbehandlung
Zentrale Kläranlage
Interne Prozeßwassernutzung
Rezirkulation von Kühlwasser
Reststoffrecycling, Abfallvermeidung/-behandlung
Schlackengranulation
Laugung der Flugstäube
Interne Rezirkulation der Laugungsrückstände
Entkupferung des Rohbleis
Rückgewinnung von Quecksilber aus Röstgas
Verminderung Energieverbrauch, Wärmerückgewinnung
Abhitzekessel zur Ofenabgaswärmerückgewinnung
Erzeugung elektrischer Energie
Techniken für Bleiraffinationsanlagen
Verminderung von Emissionen in die Luft
Absaugung/Haubensystem für Raffinationskessel
Gewebefilter zur Abgasreinigung
Abziehmaschine zur Entfernung von Krätzen, Schlacken
Recycling, Abfallvermeidung/ -behandlung
Internes oder externes Recycling von Krätzen, Ansätzen

Tabelle 12: BVT-Übersicht Bleierzeugung (2)

Techniken für Sirosmelt Anlage
Verminderung von Emissionen in die Luft
Rohstoffvorbereitung
Komplette Einhausung der Lagerung und Hauben, geschlossene Förderbänder
Gewebefilter
QSL Reaktor/Gasreinigungssystem
Prozeßgasreinigung mit Kühlung: Heißgas-EGR, Naß-EGR
Abgasreinigung (Boliden/Norzink-Prozeß)
Abgasbehandlung in der Schwefelsäureanlage
Hauben und komplette Einhausung der Rohblei/Schlackenöffnungen
Hochvakuumentstaubungseinheit
Schwefelsäureanlage
Doppelkontaktanlage
Boliden Chemie Prozeß zur Quecksilberentfernung
Schlackebehandlung
Hauben
Naß-EGR
Kadmiumlaugungsanlage
Säurelaugung
Raffination
siehe Bleiraffinationsanlage
Wasserverbrauchsminderung, Abwasserbehandlung
Zentrale Kläranlage
Interne Verwendung von Regen- und Prozeßwasser
Rezirkulation von Kühlwasser
Reststoffrecycling, Abfallvermeidung/-behandlung
Schlackengranulation
Interne Rezirkulation der Hauptmenge des Flugstaubs
Interne Laugung des verbleibenden Flugstaubs
Interne Rezirkulation der Laugungsreststoffe
Entkupferung des Rohbleis
Quecksilberrückgewinnung aus der Schwefelsäure
Verminderung Energieverbrauch, Wärmerückgewinnung
Abhitzekessel zur Ofenabgaswärmerückgewinnung
Sauerstoffanreicherung des Windes

Tabelle 13: BVT-Übersicht Bleierzeugung (3)

Techniken für Schachtofenanlage - Batterierecycling
Verminderung von Emissionen in die Luft
Rohstoffvorbereitung
Befeuchtung der Einsatzmaterialien
Geschlossene bzw. überdachte Lagerung
Entfernung von Teilen der Abfallsäure
Schachtofen/Gasreinigung
Sekundärhauben am Abstich
Gasreinigungssystem mit Nachbrennkammer (Minimum: 850 °C, typisch: 1.100 °C), trockenes Quenchen mit sekundären Abgasen, Gewebefilter
Sauerstoffanreicherung der Prozeßluft
Eindüsung von Kalziumhydroxid, falls notwendig
Raffination
siehe Bleiraffinationsanlage
Wasserverbrauchsminderung, Abwasserbehandlung
Angemessene Abwasserbehandlung
Interne Verwendung des behandelten Abwassers
Rezirkulation des Schachtofenkühlwassers
Reststoffrecycling, Abfallvermeidung/-behandlung
Abtrennung, Sammlung, Behandlung und Wiederverwendung der Abfallsäure
Externe Behandlung des Steins
Externe Laugung des Schachtofenstaubs
Internes Recycling des Schachtofenstaubs
Internes Recycling der Schachtofenschlacke
Externe Verwendung verbleibender Schachtofenschlacke
Verwendung raffinierter Krätzen (intern/extern)
Verminderung Energieverbrauch, Wärmerückgewinnung
Sauerstoffanreicherung der Prozeßluft

Tabelle 14: BVT-Übersicht Bleierzeugung (4)

Techniken für Kurztrommelanlage
Verminderung von Emissionen in die Luft
Rohstoffvorbereitung/Batteriebehandlung
Geschlossene bzw. überdachte Lagerung (Typ A+B)
Drehofen/Abgasreinigungssystem
Ofeneinhausung (Typ A+B)
Gewebefilter zur Abgasreinigung (Typ A+B)
Raffination
siehe Bleiraffinationsanlage
Wasserverbrauchsminderung, Abwasserbehandlung
Angemessene Abwasserbehandlung (Typ A+B)
Rezirkulation des Prozeßwassers der Hydroseparation (Typ A+B)
Reststoffrecycling, Abfallvermeidung/-behandlung
Trennung von Ebonit, PVC und Polypropylen (Typ A+B)
Sammlung, (interne) Behandlung Abfallsäure (Typ A+B)
Agglomeration, Recycling des Flugstaubs (Typ A+B)
Kompoundierung von Polypropylen (Typ A+B)
Entschwefelung der Paste (Typ B)
Externes Recycling der Batteriepaste (Typ A)
Internes Recycling von Schlämmen aus der Abwasserbehandlung (Typ A+B)
Verminderung Energieverbrauch, Wärmerückgewinnung
Trennung Kunststoffmaterial (Typ A+B)
Wärmerückgewinnung (Ofenabgas) (Typ A+B)

Typ A: Einschmelzen des Gittermetalls und externe Verwertung der Batteriepaste

Typ B: Entschwefelung Batteriepaste, Einschmelzen von Gittermetall und Paste, Produktion Natriumsulphat

Im nationalen Positionspapier „*Report on Best Available Techniques in German Copper Production*“ (vgl. Kapitel 4.7) werden in Abstimmung mit Industrie- und Behördenvertretern die in Tabelle 15 und Tabelle 16 dargestellten BVT für die Kupfererzeugung identifiziert.

Tabelle 15: BVT-Übersicht primäre Kupfererzeugung

Produktionsschritt	Prozeßtechnik	Emissionsminderungsmaßnahmen	Energieverbrauchsminderung, Abwärmenutzung
Schmelzen und Konvertieren	Outokumpu Schwebeschmelzofen	Sekundärhaubensystem, Heißgas-EGR, Schwefelsäureanlage	Abhitzekessel, Nutzung der Abgase zur Prozeßluftvorwärmung
	Pierce-Smith Konverter	Sekundärhaubensystem, EGR, Schwefelsäureanlage	Einschmelzen interner Rückläufe und Kupferschrotte, Wärmetauscher zur Abgasvorwärmung von Kesselspeisewasser
Pyrometallurgisches Raffinieren (inkl. Anodengießen)	Anodenofen (Typ Drehofen), inkl. Gießrad	Nachbrennkammer (während des Polens), Gewebefilter	-
Elektrolytisches Raffinieren	Elektrolyse	Tröpfchenabscheider für die Abluft der Regulierungstanks	-

Tabelle 16: BVT-Übersicht sekundäre Kupfererzeugung

Produktionsschritt	Prozeßtechnik	Emissionsminderungs-maßnahmen	Energieverbrauchsminderung, Abwärmenutzung
Schmelzen	Hochofen	Sekundärhaubensystem, Absetzkammer (dient auch als Nachbrennkammer), Gewebefilter	Abhitzekessel, Röhrenkühler
	Elektroofen	Sekundärhaubensystem, Schwefelsäureanlage	-
Konvertieren	Pierce-Smith Konverter	Sekundärhaubensystem, EGR, Schwefelsäureanlage	Abhitzekessel (sofern es Temperaturbedingungen erlauben)
	Schrottkonverter vom Typ Pierce-Smith	Sekundärhaubensystem	Abhitzekessel (sofern es Temperaturbedingungen erlauben), Röhrenkühler
Pyrometallurgisches Raffinieren (inkl. Anodengießen)	Contimeltanlage	Sekundärhaubensystem, Nachbrennkammer, Adsorbtionsfilter, Gewebefilter	Vorwärmung der Einsatzstoffe, Vorwärmung der Prozeßluft
	Anodenflammofen (Typ Herdofen)	Sekundärhaubensystem, Gewebefilter	Abhitzekessel
	Kombination eines Anodenschachtofens und eines Trommelofens	Sekundärhaubensystem, Nachbrennkammer, Adsorbtionsfilter, Gewebefilter	Vorwärmung der Prozeßluft
Elektrolytisches Raffinieren	Elektrolyse	Tröpfchenabscheider für die Abluft der Regulierungstanks	-

Weiterhin werden für den Bereich Kupfer auch BVT für die Herstellung von Halbzeugprodukten aus Kupfer identifiziert. Diese sind in einer Übersicht in Tabelle 17 dargestellt.

Tabelle 17: BVT-Übersicht Herstellung von Halbzeugprodukten

Anlage	Angewandte Emissionsminderungsmaßnahmen
Schachtofen (Typ ASARCO)	Beim Einsatz reiner Kupferkathoden: Gewebefilter Bei zusätzlichem Schrotteinsatz: Nachbrennkammer, Gewebefilter
	Gewebefilter
Elektroofen	Gewebefilter
	Zyklone (funkensicher), Gewebefilter
Drehofen	Gewebefilter

Leistungsdaten zu den dargestellten BVT für deutsche Anlagen werden in diesem Abschlußbericht sowie ausführlich in den vom DFIU erarbeiteten Positionspapieren angegeben.

Entwicklung von generellen Anforderungen und exemplarische Anwendung einer medienübergreifenden Bewertungsmethodik

Grundsätzliches Ziel der Entwicklung einer Methode zur Bewertung von BVT ist eine standortunabhängige, sektorielle BVT-Bestimmung auf EU-Ebene. Dabei soll eine integrierte Betrachtung der Auswirkung der Techniken auf die Umwelt insgesamt und insbesondere auf die Umweltmedien Luft, Wasser und Boden sowie die Effizienz des Energieeinsatzes sichergestellt werden. Entsprechend der Vorgaben der IVU-RL muß die Evaluierung u.a. die international relevanten Umweltqualitätsnormen beachten und sollte ggf. um lokal besonders relevante Parameter für bestimmte Anlagen ergänzt werden, ohne das Prinzip der standortunabhängigen Bewertung aufzugeben. Sie sollte in einem zweiten Schritt, ggf. modular, durch geeignete Vorgaben ergänzt werden, um eine sinnvolle lokale Anwendung von BVT zu ermöglichen. Weder die standortunabhängige noch die lokale Methode dürfen jedoch dazu führen, daß eine bestimmte Technik vorgeschrieben wird. Da die Methode zunächst nur auf bereits großtechnisch erprobte Techniken angewendet wird, die Gegenstand der nationalen BVT-Positionspapiere sind, wird die wirtschaftliche Vertretbarkeit als gegeben angenommen und bei der Bewertung zunächst nicht durch zusätzliche Parameter berücksichtigt. Die Bestimmung von BVT auf internationaler Ebene ist ein wesentlicher Schritt zur Harmonisierung der Anforderungen an industrielle Anlagen und sollte nur auf Grundlage einer allgemein anerkannten Methode durchgeführt werden. Als Basis der Entwicklung einer Methode zur BVT-Bestimmung werden daher zwei existierende Ansätze zur ökologischen Bewertung untersucht:

- Methode von Byrne Ó Cléirigh Ltd. (nach dem Final Report „Integrated Environmental Protection Based on BAT-The Practical Implications of Assessing and Choosing Best Available Techniques in the Context of an Integrated Approach to Environmental Protection“, European Commission DG XI, April 1997); entwickelt in einer Studie im Auftrag der EU zur Umsetzung des in der IVU-RL geforderten Informationsaustausches.
- Ökobilanz nach der Methode der Wirkungskategorien (entsprechend UBA-Texte 23/95 und 52/95 sowie ISO 14040); diese wurde vom UBA für die ökologische Bewertung von Getränkeverpackungen veröffentlicht und ist das zur ökologischen Bewertung derzeit am weitesten entwickelte und anerkannte Instrument.

Ó Cléirigh stellt eine praktikable Vorgehensweise vor, die jedoch erhebliche Mängel bei der Bewertung der Wirkungspotentiale der Emissionen auf die in der IVU-RL genannten Schutzgüter aufweist. Andererseits ist die „Ökobilanz gemäß UBA“ für die Bestimmung von BVT nicht unmittelbar anwendbar, da sie zunächst für die umfassende Bewertung des gesamten Lebensweges von Produkten entwickelt wurde und derzeit auf die Bewertung von Prozessen zugeschnitten werden muß. Trotz der noch unvollständigen Wirkungskategorien bietet dieses Konzept dennoch den am besten erforschten naturwissenschaftlichen Bezug zwischen den Emissionen und deren ökologischen Wirkungspotentialen.

Um die Anforderungen der IVU-RL zu erfüllen, wird im durchgeführten Forschungsprojekt eine medienübergreifende Bewertungsmethode in enger Anlehnung an die existierenden Vorarbeiten konzipiert. Der hier vorgestellte Vorschlag ist einerseits durch stark strukturierte Ab-

läufe gekennzeichnet, andererseits wird der Expertendiskussion genug Raum und Kompetenz gelassen. Dadurch wird ein nachvollziehbares und zugleich pragmatisches Vorgehen gewährleistet, ohne die Konsistenz der Bewertung zu verletzen (vgl. Abbildung 5).

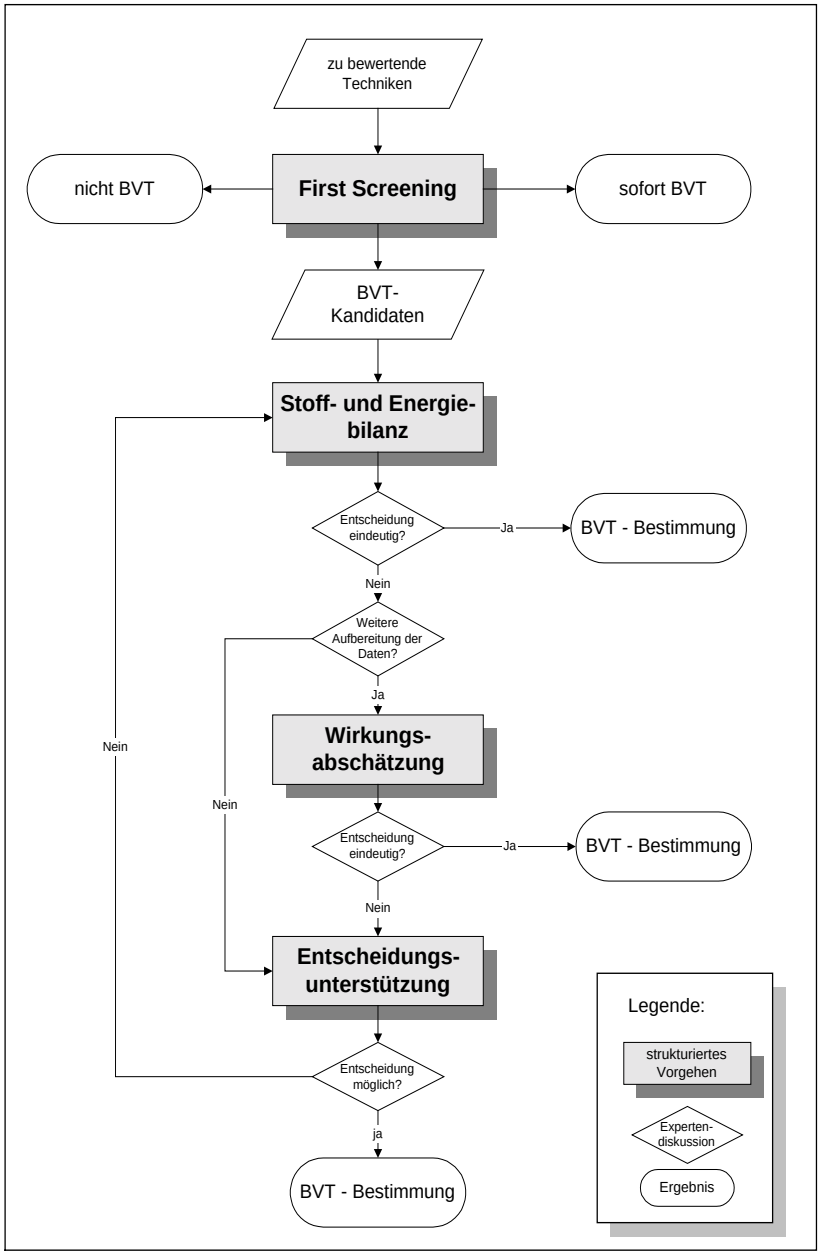

Abbildung 5: Ablaufschema der entwickelten medienübergreifenden Bewertungsmethode

Die vorgeschlagene integrierte Bewertungsmethode zur Identifikation der BVT auf EU-Ebene entspricht aufgrund der Gliederung in First Screening, Stoff- und Energiebilanz, Wirkungsabschätzung und Entscheidungsunterstützung der Struktur einer Ökobilanz. Die Expertendiskussion, die auf EU-Ebene z.B. im Rahmen der Arbeit der „Technical Working Groups“ erfolgen kann, ist ein fester Bestandteil der Methode. Ziel der Methode ist es, die Diskussion auf die zentralen Fragen der Technikauswahl zu lenken. Sobald die BVT-Bestimmung offensichtlich ist, kann das Verfahren bei jedem der vier Bewertungsschritte beendet werden. Die Bewertungsschritte werden im folgenden kurz charakterisiert.

Das *First Screening* umfaßt die Auswahl der zu untersuchenden Techniken aus den verfügbaren Techniken, die etwa in den nationalen BVT-Positionspapieren beschrieben sind. Die Nichteinhaltung EU-weit geltender Emissionsgrenzwerte gilt als Ausschlußkriterium für eine untersuchte Technik und führt, falls keine Nachbesserung der Technik möglich ist, zu einer Einstufung als „Nicht-BVT“. Falls keine EU-weit geltenden Emissionsgrenzwerte vorliegen, könnten sich die TWGs auch auf die Anwendung anderer internationaler und nationaler Emissionsgrenzwerte einigen. Gleichzeitig bedürfen Techniken ohne relevante Umweltauswirkungen keiner weiteren detaillierten Untersuchung, wenn sie als "Sofort-BVT" identifiziert werden. Die übrigen Techniken, die sogenannten „BVT-Kandidaten“, werden dem nächsten Bewertungsschritt zugeführt.

In der *Stoff- und Energiebilanz* erfolgt für die BVT-Kandidaten die Ermittlung und Sammlung aller relevanten Einsatzmengen, Emissions- und Energiedaten. Die Expertenrunde entscheidet über die Erweiterung des zu untersuchenden Systems um Vorstufen oder nachgeschaltete Prozesse sowie über die Einschränkung auf die relevanten Emissionen und Einsatzmengen. Sowohl im First Screening als auch bei der Erstellung der Stoff- und Energiebilanz erfolgt somit in der Expertenrunde eine Eingrenzung und Reduzierung des Untersuchungsaufwandes. Wenn schon anhand der (ggf. graphisch aufbereiteten) Informationen aus diesen beiden Schritten die BVT-Bestimmung im Expertenkreis möglich ist, kann das Verfahren beendet werden.

Anderenfalls werden in der *Wirkungsabschätzung* die einzelnen Stoffe hinsichtlich ihrer potentiellen Umweltwirkungen klassifiziert und - soweit möglich - in Wirkungskategorien zusammengefaßt. Dieser Schritt erfolgt in starker Anlehnung an die Ökobilanz, wie sie vom UBA für die ökologische Bewertung von Getränkeverpackungen entwickelt und angewendet wurde. Für die standortunabhängige sektorielle BVT-Bestimmung erweisen sich prinzipiell die Wirkungskategorien als geeignet, die überwiegend regional und überregional relevante Umweltauswirkungen quantifizieren und wissenschaftlich weitgehend abgesichert sind: *Treibhauseffekt, Ozonabbau, Versauerung der Gewässer und Böden, Eutrophierung der Gewässer* und *Bildung von Photooxidantien*. Um die Bewertung von Techniken pragmatisch zu unterstützen, werden die Wirkungskategorien *Ressourcenverknappung, Humantoxizität, Ökotoxizität* und *Abfall* modifiziert zur Diskussion gestellt. So ist die Inanspruchnahme von Ressourcen differenziert nach fossilen Energieträgern, mineralischen Rohstoffen und sich erneuernden Rohstoffen (z.B. Holz und Wasser) zu betrachten. Zur Beurteilung der Human- und Ökotoxizität werden human- und ökotoxische Stoffe mit Hilfe der Umweltsqualitätnormen aus den gültigen EU-Richtlinien und WHO Air Quality Guidelines pragmatisch berücksichtigt, da aufgrund der komplexen Wirkungszusammenhänge noch keine konsensfähigen Aggregationsmethoden vorliegen. Für die Bewertung des Abfallaufkommens und der Energieerzeugung erfolgt zunächst eine einfache Klassierung, und nur bei signifikanten Unterschieden wird eine umfassende Bewertung der Stoffe vorgenommen. Die umfassendere Bewertung des Wirkpotentials der wassergängigen Emissionen erfolgt neben der Erfassung in der Kategorie Ökotoxizität zusätzlich in der neu eingeführten Wirkungskategorie „*Meeresschutz*“.

Diese Verdichtung der in der Sachbilanz enthaltenen Informationen in Wirkungskategorien erleichtert die abschließende Entscheidung. Aufgrund der noch nicht ausreichend erforschten Cross-Media Effekte gibt es allerdings derzeit keine wissenschaftliche Grundlage, die Wirkungskategorien weiter zu aggregieren. Daher ist es nicht möglich, eine eindeutige Rangfolge der untersuchten Techniken abzuleiten. Falls die Experten anhand der Wirkungsabschätzung und ergänzend anhand der Stoff- und Energiebilanz die BVT-Bestimmung vornehmen können, endet die Methode.

Anderenfalls wird als *Entscheidungsunterstützung* eine aussagekräftige Datenaufbereitung und ein strukturiertes Vorgehen vorgeschlagen, um eine zielgerichtete Expertendiskussion zur Entscheidung über die Gruppe der BVT zu ermöglichen. Die Datenaufbereitung erfolgt in der Normierung durch den Vergleich der Techniken mit deren Mittelwerten bezüglich der Bewertungskategorien (Wirkungspotentiale und entscheidungsrelevante Stoff- und Energieströme, die nicht in Wirkungspotentiale umgerechnet werden können). Die Gewichtung der Bewertungskategorien sollte im Expertenkreis vorgenommen werden, um die Bedeutung entscheidungsrelevanter Aspekte zu differenzieren. Als Orientierung für die Gewichtung wird dazu die mengenmäßige Relevanz durch den Vergleich mit europäischen Emissionsdaten abgeschätzt (in der Ökobilanz als Normalisierung bezeichnet). Die formale Methode der paarweisen Vergleiche wertet die bisherigen Ergebnisse multikriteriell aus und bietet eine geeignete Grundlage für die abschließende BVT-Bestimmung in der Expertendiskussion.

Um die Eignung, Praktikabilität und Transparenz der vorgeschlagenen medienübergreifenden Bewertungsmethode zu prüfen sowie zur Verdeutlichung ihres Ablaufs, werden praktische Beispiele aus der Metallindustrie (Sinter-, Elektrostahl- und Aluminiumherstellung) vorgestellt. Als wesentliche Schlußfolgerung läßt sich festhalten, daß die Flexibilität der vorgeschlagenen Methode ein einheitliches und strukturiertes Vorgehen der Expertenrunde bei der BVT-Bestimmung auf EU-Ebene ermöglicht.

In Zukunft sind die derzeit diskutierten Wirkungskategorien kontinuierlich an den Stand der Wissenschaft anzupassen und für bestimmte Industriesektoren ggf. speziell zu definieren, um die potentiellen Umweltauswirkungen angemessen zu berücksichtigen. Grundsätzlich wird ein strukturiertes Vorgehen nach konsistenten Regeln den Entscheidungsprozeß transparenter und effizienter gestalten und damit zur Harmonisierung der Anforderungen an industrielle Anlagen in der EU erheblich beitragen.

Executive summary

The Council of the European Commission issued at the 24th of September in 1996 the „Directive on integrated pollution prevention and control“ (IPPC-Directive, 96/61/EC). The IPPC-Directive has important consequences for the licensing of a number of industrial activities. As the central element to implement the IPPC-Directive, an information exchange is demanded on an European level on the „Best Available Techniques“ (BAT) for all industrial activities listed in Annex I of the IPPC-Directive. Taking part in this information exchange, organised by the European Commission, are both the affected industries and the member states of the European Community. Contents of the information exchange are data on the industrial activities listed in the IPPC-Directive with respect to applied and Best Available Techniques to control and prevent pollution of the environmental media air, water and soil as well as on approaches for a cross-media assessment of BAT.

This final report documents contents and results, which have been elaborated within the research project „*Investigation into the state of practical realisation of integrated environmental protection within the metal industry and development of general requirements*“. The results of the project are at the same time contributions to the European information exchange according to the IPPC-Directive. In the following, the starting points, the objectives and the structure of the report are presented, then central results of the wide workings on the identification of BAT in the metal industry and the development of a cross-media approach are outlined.

Starting points, objectives and structure of the report

The IPPC-Directive introduces a new, integrated licensing system into European law. The implementation of the IPPC-Directive requires the identification of BAT for industrial activites of its Annex I, as during the course of the licensing procedure in particular emission limit values on basis of BAT are to lay down by the licensing authorities (cf. Art. 9 and 16, IPPC-Directive). The integrated approach of the IPPC-Directive causes need for action with respect to the determination of BAT in two central fields. On the one hand, it is necessary to provide information on applied techniques, inputs and arising emissions for the industrial activities of the Annex I, IPPC-Directive, whereby the multitude of industrial activities necitates of sector-specific determination of BAT. On the other hand, the integrated approach causes many problems with respect to the comparison of different techniques, that are to tackle by the development of an evaluation methodology.

Objective of this final report is the presentation of the main results, which have been elaborated as contributions to the European information exchange on BAT in the metal industry as well as to the development of an evaluation methodology. These results have been adopted in

the work of the European Integrated Pollution Prevention and Control Bureau (EIPPCB) in Seville during the work on BAT Reference Documents (BREFs).

This final report is put up in modules, in order to provide a clear presentation of the results and a complete presentation of the written contributions of the project. It includes this main part with starting points, most important actions and main results of the research project in an overview, as well as four supplementing volumes. The supplementing volumes contain original documents, which have been elaborated in the course of this project as contributions to the European information exchange on BAT in the framework of the IPPC-Directive. Within this main part the starting points of the IPPC-Directive for the determination of BAT are analysed and necessary actions for an implementation of the IPPC-Directive in Europe on a national and an international level are presented. In the following the most important contents and central results of the research project are described. Thereby, the focus is first of all on the activities and in particular on the results of the contributions in the framework of this project to the technical information exchange on BAT in the metal industries. The statements of this main part on BAT in the metal industry relate to the so-called position papers, i.e. reports, which have been elaborated in the framework of this project in English language. These reports supporting the Technical Working Groups (TWG) Iron and Steel (TWG IS), Ferrous Metals Processing (TWG FMP) and Non-Ferrous Metal Processes (TWG NFM) have the respective titels „*Report on BAT in the Electric Steelmaking Industry*", „*Report on BAT in the German Ferrous Metals Processing Industry*", „*Report on BAT in German Zinc and Lead Production*" as well as „*Report on BAT in German Copper Production*" and are completly contained in original in the supplementing volumes 1 and 2 to this main part. Then follows the presentation of contributions to the development and application of a methodology, that fosters the identification of cross-media BAT. These results go back on the report „*Proposal for an integrated approach for the assessment of cross-media aspects relevant for the determination of 'Best Available Techniques' BAT in the European Union*", which can be found in the suppelmenting volumes 3 and 4 (in German and English language). Within the next paragraphs the identified BAT for the steel industry and the non-ferrous metals industry as well as the developped methodology for the determination of cross-media BAT as central results of this research project are presented in an overview.

Results of the investigations into BAT in the steel industry

With respect to the produced amount of products, the steel industry is the most important branche of the metal industry in Germany. Figure 1 shows locations of integrated steelworks, important electric steelmaking plants as well as selected hot rolling, cold rolling and tube mills in Germany.

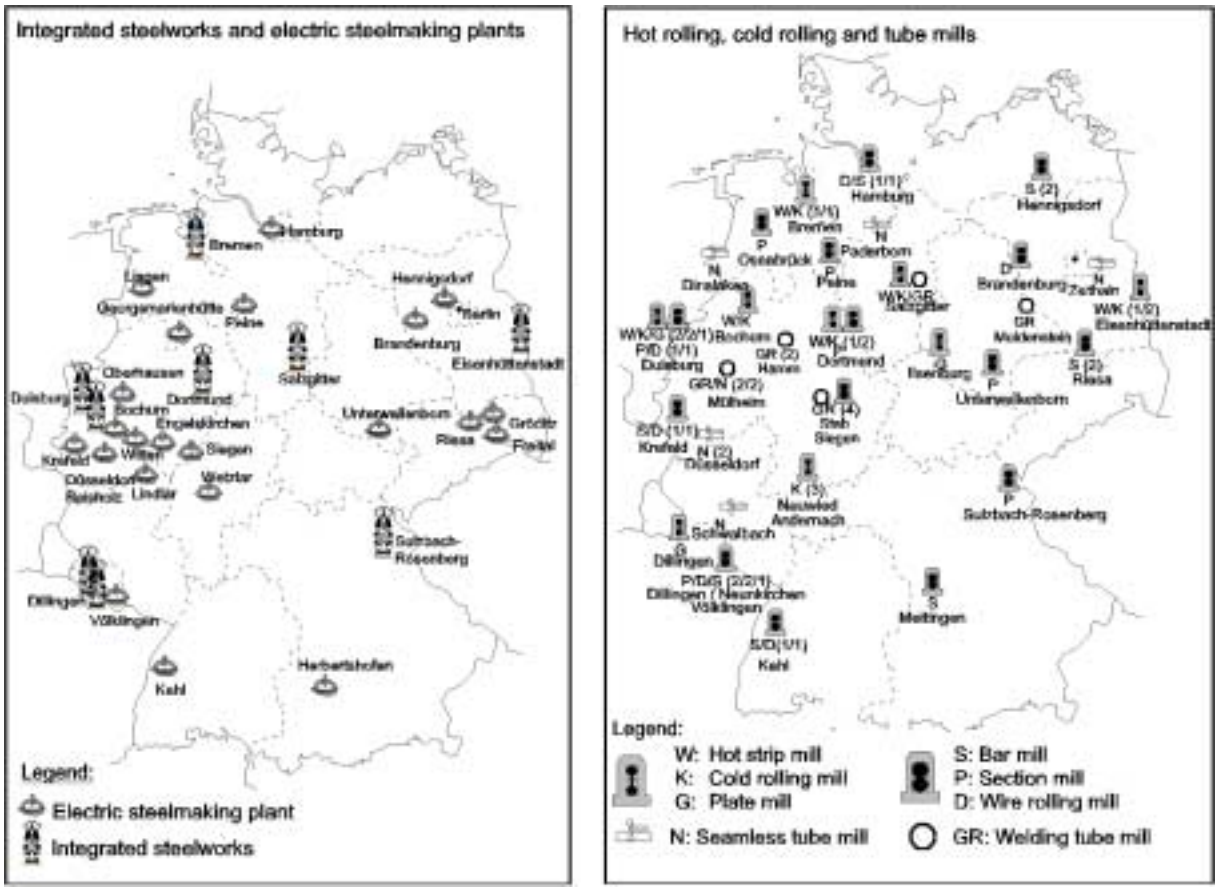

Figure 1: Locations of the steel industry in Germany

Integrated steelworks in Germany produce mainly low-phosphorus pig iron. Also over 75 % of crude steel are still being produced in integrated steelworks, however, the share of electric steelmaking has increased within the last years steadily. The major share of final products belongs to the category of flat products. Table 1 shows in an overview the amounts of pig iron, crude steel and rolled products produced in Germany within the last years.

Table 1: Production of pig iron, crude steel and final products in Germany

Year [data in Mio. t]	**1995**	**1994**	**1993**	**1992**	**1990**	**1985**
Pig iron production	**30.012**	**29.923**	**26.970**	**28.548**	**30.097**	**31.531**
of that low phosphorus	28.562	28.584	25.787	27.101	28.360	28.854
Crude steel production	**42.051**	**40.837**	**37.625**	**39.711**	**38.434**	**40.497**
of that electric steel	10.143	8.921	8.115	8.581	7.106	7.477
Rolled final products	**33.800**	**33.212**	**30.690**	**32.438**	**31.090**	**30.881**
of that sections	10.698	10.277	9.702	10.219	8.433	8.549
of that flat products	21.846	21.790	20.016	21.172	21.295	20.370
of that seamless tubes	1.256	1.145	972	1.047	1.362	1.962

Source: Wirtschaftsvereinigung Stahl [113]

Central results of the works carried out in this research project are the identified (German) BAT for electric steelmaking plants, hot rolling mills and cold rolling mills. In the position paper „*Report on Best Available Techniques in the Electric Steelmaking Industry*“ (cf. Chapter 4.3) BAT have been identified for electric steelmaking plants in co-ordination with representatives of authorities and industry, which are shown in Table 2. These techniques are classified in several categories to point out a certain focus of techniques.

Table 2: Overview over BAT for electric steelmaking

Technique(s)	**Technique(s)**
Developments in production technology	**Reduction of emissions into air (cont.)**
(Ultra) High power operation	Use of energy content (waste gas)
Water cooled side walls and roof	Injection of adsorbents
Oxy-fuel burners and oxygen lancing	Electrostatic precipitator
Eccentric bottom tapping	Bag filter
Foaming slag practice	**Treatment of slags**
Ladle or secondary metallurgy	Use in construction (EAF slag)
Automation of furnace operation	Processing to lime fertiliser or recycling (Sec. Metal.)
Heat recovery of furnace cooling	**Treatment of dust and refractory breaks**
Scrap sorting and cleaning	Recycling of precipitated dusts
Scrap preheating	Waelz process (commercial steel dust)
New furnace concepts	DK-process (commercial steel dust)
Comelt EAF	Imperial Smelting Furnace
Contiarc furnace	Treatment by submerged EAF (high grade steel dust)
EODC-TEAF	Scan dust process (high grade steel dust)
Double shell furnace	BSW-process (commercial steel dust)
Reduction of emissions into air	Refractory breaks treatment
Direct extraction of process fumes	**Water treatment**
Hood system	Closed loop cooling system
Furnace enclosure	**Noise reduction**
Total building evacuation	Encapsulation
Post combustion of waste gases	Muffling
Cooling of waste gases (quenching)	Acoustic barriers and further measures

In the position paper „*Report on Best Available Techniques in the German Ferrous Metals Processing Industry*“ (cf. Chapter 4.4) BAT have been identified for hot rolling mills in co-

ordination with representatives of authorities and industry, which are shown in Table 3. Figure 2 shows a diagrammatic view of corresponding locations of use in the course of production.

Table 3: Overview over BAT for hot rolling mills

No.	Technique(s)	No.	Technique(s)
1	Supply of good input quality of cast material	12	Minimise waste gas heat losses, recovery w. gas heat
2	Cleaning of off-gas from scarfing	13	Furnace concept to optimise heating
3	Selective scarfing to minimise scarfing losses	14	Installation of coil box and coil furnace
4	(Automated) Process quality control to minimise material to be scarfed	15	Good scheduling, maintenance, operating and engineering practices, near-net-shape production
5	Choice of fuel	16	Treatment of refractory breaks
6	(Automated) Optimisation of combustion conditions	17	Automated, computer aided cropping
7	Suitable burners (eg. low-NO_x-burners)	18	Treatment and / or use of spent oil
8	Furnace with high thermal efficiency, minimisation of heat losses	19	Use of several loops corresponding to water quality requirements
9	Preheating of combustion air	20	Water treatment: coarse, intermediate, fine cleaning
10	Retaining heat of cast material: hot charging, thermal covers	21	Recycling of clean ferrous material to metallurgical processes
11	Directed water spraying to arrest emitted dust	22	Treatment processes for oily mill scale

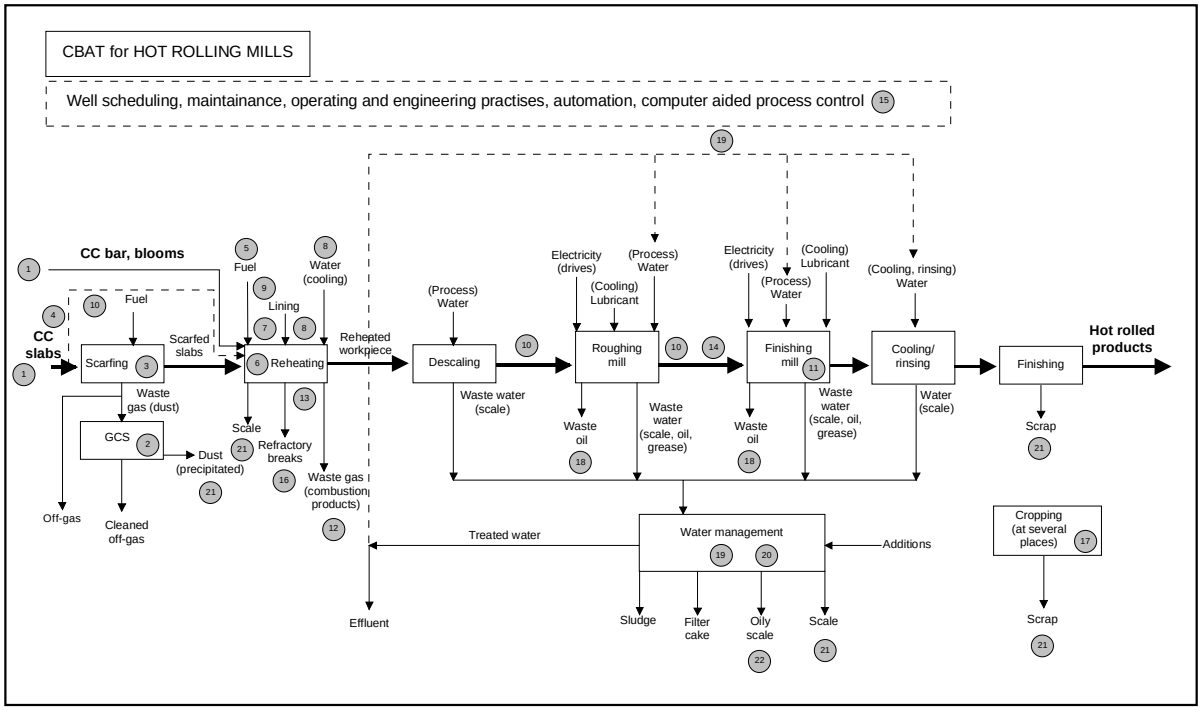

Figure 2: Diagrammatic view of the overview of BAT for hot rolling mills

BAT identified for cold rolling mills in the above mentioned position paper are shown in Table 4. The locations of use are depicted in Figure 3 in a diagrammatic view.

Table 4: Overview over BAT for cold rolling mills

No.	Technique(s)	No.	Technique(s)
1	Cleaning off-gas of mechanical surface preparation	13	Shallow bath pickling
2	Optimisation of temperature, composition of pickle	14	Heat recovery from spent pickle or regenerate
3	Covering of bath, well operation of tank evacuation	15	Minimisation of heat losses from the tanks
4	Cleaning of off-gas, depending on pickle	16	Careful choice of pickling agent / acid
5	Cleaning of off-gas, depending on treatment / regeneration process	17	Use of control devices to minimise energy input for auxiliary equipment during delays
6	Cleaning of exhausted oil mist	18	Linking of pickling and cold rolling
7	Choice of fuel	19	Recovery of waste gas heat
8	Good control of combustion conditions by computer aided control systems, reduction of waste gas heat losses	20	Optimised product handling procedures and equipment to reduce damage; optimise quality of incoming hot strip
9	Use of low-No_x burners	21	Regeneration / treatment of spent pickle
10	Use of high-convection annealing furnaces	22	Good process control to minimise material losses
11	Use of steam / heat exchanger for bath heating, possibly strip preheating by condensate	23	Minimisation of entrainment losses, rinsing in cascades, integrated pickle regeneration
12	Cleaning of exhausted off-gases	24	Use of coolants / lubricants in loops
		25	Recycling of scrap to metallurgical processes

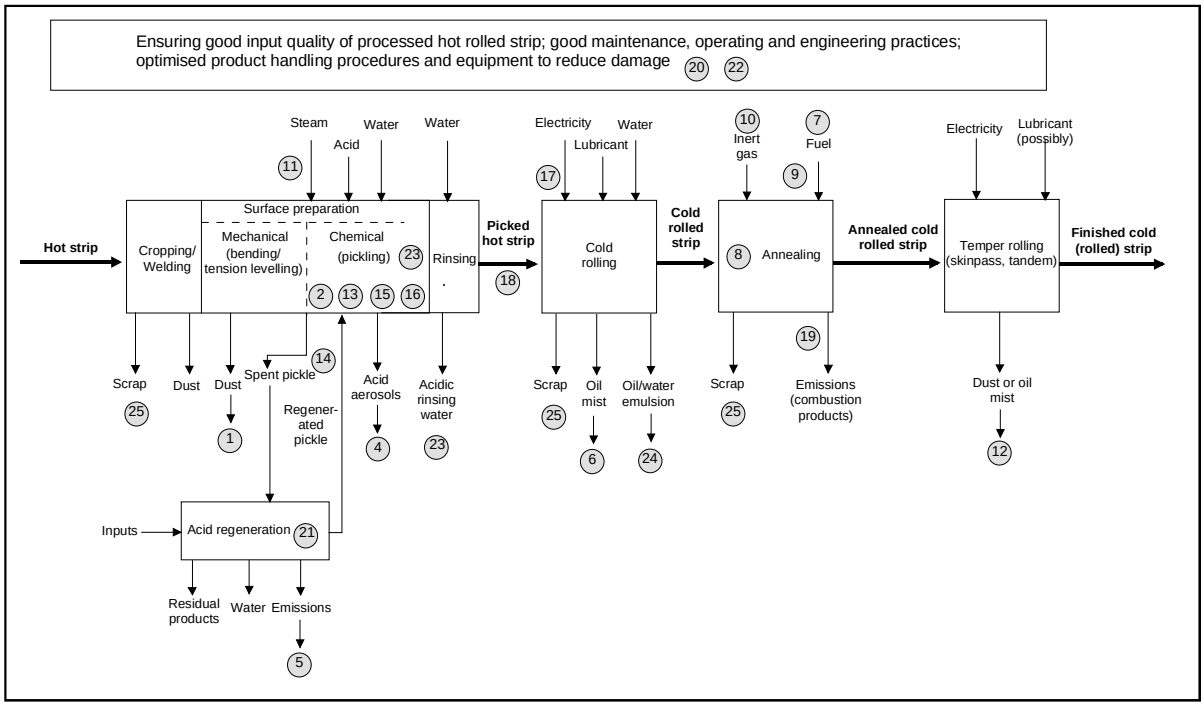

Figure 3: Diagrammatic view of the overview over BAT for cold rolling mills

Results of the investigations into BAT in the non-ferrous metals industry

Zinc, lead and copper are together with Aluminium, which was not to cover within this research project, with respect to produced quantities the most important non-ferrous metals in Germany. Table 5 and Table 6 show production figures for Zn, Pb and Cu. Furthermore in Figure 4 locations of zinc, lead and copper production plants are indicated.

Table 5: Production of zinc and lead in Germany, Europe and world-wide

Year	Germany [Mio. t]		EC [Mio. t]		Worldwide [Mio. t]	
Zinc	**Production*)**	**Consumption**	**Production*)**	**Consumption**	**Production*)**	**Consumption**
1996	0.328	0.480	1.980	1.929	7.428	7.533
1997	0.318	0.486	1.968	1.966	7.736	7.720
Lead	**Production**	**Consumption**	**Production**	**Consumption**	**Production**	**Consumption**
1996	0.238	0.342	1.520	1.659	5.881	6.033
1997	0.329	0.336	1.613	1.647	5.975	5.977

*) data for SHG-Zinc; the production of remelted zinc and zinc dust is not included.

Sources: Bundesamt für Wirtschaft [15], Rentz et al. [81], International Zinc Association [59], Graf [41], others

Table 6: Production of copper and important copper products in Germany

Product [data in Mio. t]	**1992**	**1993**	**1994**	**1995**	**1996**
Total refined Cu	0.582	0.632	0.592	0.616	0.671
of that electrolytic refining	0.471	0.540	0.504	0.537	0.592
Semi-finished products, Cu and Cu alloys	1.470	1.340	1.456	1.530	1.461
Conducting material	0.607	0.521	0.516	0.549	0.583

Source: Bundesamt für Wirtschaft [15]

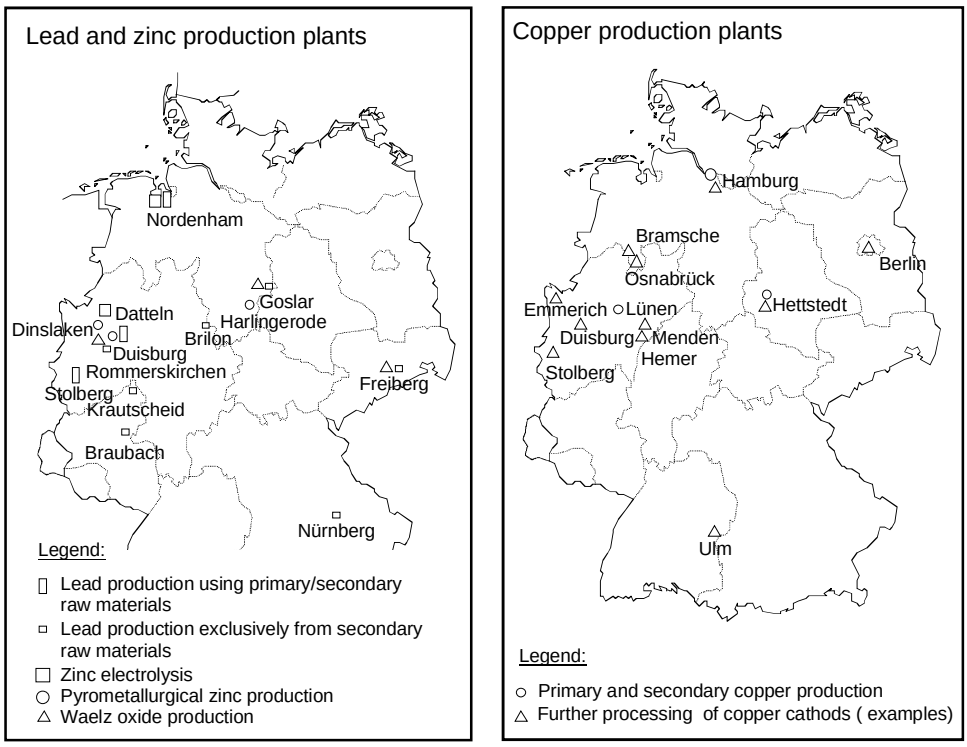

Figure 4: Locations of the non-ferrous metals industry in Germany

Central results of the position paper „*Report on Best Available Techniques in German Zinc and Lead Production*“ (cf. Chapter 4.5 and Chapter 4.6) are BAT for German zinc production plants, which have been identified in co-ordination with representatives of authorities and industry. These results are shown in Table 7 to Table 10.

Table 7: BAT-overview production of zinc (1)

Techniques for zinc electrolysis plants
Abatement of air pollution
Raw materials handling/roasting/roast gas cleaning
Enclosement of roaster shop & calcine classification mill
Suction ventilation system for collecting emissions from calcine coolers, ballmill, start-up phase roaster, ambient air roaster shop
Exhaust gases are cleaned in a bag filter
Roast gas cleaning with cooling, dedusting (cyclones, hot ESP), scrubbing, wet ESP
Further treatment roast gas (eg. Boliden/Norzink process)
Further roast gas processing in a sulphuric acid plant
Sulphuric acid plant
Double catalysts acid plant (eg. four-layer vanadium oxide SO_2-converter / double contact SO_3 absorber)
Multiple tube filters
Leaching plant/purification/hydrometall. cadmium plant
Central gas scrubbing system for reactor exhaust gases
Scrubbing of exhaust gas with strong oxidative medium if the risk of arsine emissions occurs
Electrolysis
Ventilation of cooling towers
Ventilation of the whole cellhouse
Mist collectors for the treatment of exhaust air
Cadmium plant/cadmium refinery
Permanent air exhaustion cadmium furnace, smelter, ...
Exhaust gas scrubbing
Dry gas cleaning using ESP for exhaust gases from the furnaces, distillation column, casting section
Melting/(alloying)/casting
Central bag filter for induction furnace off-gas cleaning
Reduction water consumption, treatment waste water
Adequate waste water treatment
Collection of rain water and internal use
Effluents from roast gas cleaning are treated in the central waste water treatment plant
Reduction of energy consumption and heat recovery
Waste heat boiler for heat recovery from roast gas
Recycling solid materials/waste prevention, handling
Change/choice of input materials
Recovery of mercury from roast gas
Precipitation of Cu, Cd, Co by addition of zinc dust
Processing of cadmium briquettes by distillation
External treatment of lead-silver concentrate in pyrometal-lurgical lead production plants
Recycling of sludges (waste water treatment) to plant
Basic principles in the field of waste management (safe disposal of Jarosite in specialised ponds)
Omission of hot leach and recycling of zinc-iron interme-diate from leaching
Internal recycling of dross from casting

Table 8: BAT-overview production of zinc (2)

Techniques for the Imperial smelting process
Abatement of air pollution
Sinter plant/roast gas cleaning
Roast gas cleaning with hot ESP, wet scrubber, wet ESP
Further treatment of roast gas (Boliden/Norzink process)
Wet ESP for final dedusting
Further roast gas processing in a sulphuric acid plant
Exhaust gas cleaning with bag filters
Collection of exhaust gases from sinter cooling/breaking
Sulphuric acid plant
Double catalysts acid plant (eg. four-layer vanadium oxide SO_2-converter / double contact SO_3 absorber)
Filters
Cadmium plant
Transport of wet cadmium containing dust
Hot briquetting plant
Fabric filter for off-gas cleaning
Subsequent activated coke filter
IS furnace/spray condenser/zinc-lead separator/gas cleaning/slag treatment
Double bell
Wet ESP for cleaning of collected fugitive emissions from top furnace area and slag granulation
Desintegrator for IS process gas cleaning
Fabric filter for exhaust gas cleaning (secondary dedusting furnace area)
Refinery
see New-Jersey refining plants
Reduction water consumption, treatment waste water
Use of a central waste water treatment plant
Pre-treatment of effluent from roast gas cleaning (final treatment in the central waste water plant)
Precipitation of thallium as pre-treatment step for waste water from the cadmium plant
Recycling solid materials/waste prevention, handling
Recovery of cadmium from roast gas cleaning
Recovery of mercury from roast gas
Internal recycling of lead containing residue from the cadmium plant
Use of loaded coke from gas cleaning as fuel in the IS furnace
Granulation of IS furnace slag
Internal recycling of sludge from the waste water plant
Reduction of energy consumption and heat recovery
Waste heat boiler for heat recovery from off-gases from the refinery
Internal use of IS furnace off-gas (coke preheating, cow-per operation)

Table 9: BAT-overview production of zinc (3)

Techniques for Waelz kiln plants
Abatement of air pollution
Raw materials/handling/charging
In-house pelletising and direct feeding of fresh pellets
Bag filter for the transferring points of the pelletising plant, including the dust hoppers and the dosing belt conveyor
Covered belt conveyors for dust and pellets handling
Rotary kiln/gas cleaning system
Primary hood at the furnace mouth
Conventional gas cleaning with dust settler, cooling, bag filter or ESP or wet gas cleaning
Venturi scrubber unit (for the preheating of water used for the waelz oxide leaching plant)
Supplement gas cleaning for the removal of mercury and PCDD/PCDF emissions, if necessary (eg. injection of adsorbent or installation of a coke bed filter)
Slag treatment
Hood, ventilation system
Injection of exhaust gases into furnace or main off-gas stream
Waelz oxide leaching (if applied)
Dedusting system for the soda silo
Exhaust filter at dry dust handling stations
Bag filter for the drying area
Reduction water consumption, treatment waste water
Adequate treatment of waste water from the waelz oxide leaching plant
Use of settling tanks for rain water
Recirculation of cooling water from slag cooling (closed loop)
Recycling solid materials/waste prevention, handling
Treatment of waelz slag
Internal recycling of solids from the waste water treatment plant and the rain water settling tanks
Internal recycling of solids from sweeping and vacuum cleaning machine
Waelz oxide leaching
Recycling of used refractory material
Reduction of energy consumption and heat recovery
Venturi scrubber for cooling the waelz kiln gas and heating the water for the leaching plant
Heat exchanger for the second leaching step
Primary hood at the furnace mouth

Table 10: BAT-overview production of zinc (4)

Techniques for remelting plants
Abatement of air pollution
Bag filter for off-gas cleaning
Reduction water consumption, treatment waste water
Cooling water circuit
Recycling solid materials/waste prevention, handling
Internal recycling of dusts, ashes and drosses
Techniques for fuming reactor plants
Abatement of air pollution
Post combustion with air injection
Bag filter for final gas cleaning
Recycling solid materials/waste prevention, handling
Slag treatment
External processing of mixed oxide
Reduction of energy consumption and heat recovery
Waste heat boiler
Techniques for New Jersey refining plants
Abatement of air pollution
Bag filter for treatment of off-gases from heating chambers, refining furnaces
Recycling solid materials/waste prevention, handling
External recyling of zinc-cadmium alloy
Recycling of zinc containing filter dust
Reduction of energy consumption and heat recovery
Recuperators for waste gas cooling
Techniques for New-Jersey retort plants
Abatement of air pollution
Wet scrubbing and post combustion
Reduction water consumption, treatment waste water
Cooling water circuit
Recycling solid materials/waste prevention, handling
Internal recycling zinc bearing sludge from gas cleaning
Reduction of energy consumption and heat recovery
Air preheating
Internal use of process gas

Central results of the position paper „*Report on Best Available Techniques in German Zinc and Lead Production*“ (cf. Chapter 4.5 and Chapter 4.6) are also BAT for German lead production plants, which have been identified in co-ordination with representatives of authorities and industry. These results are shown in Table 11 to Table 14.

Table 11: BAT-overview production of lead (1)

Techniques for QSL plants
Abatement of air pollution
Raw materials/handling/preparation
Hoods
Bag filters
QSL reactor/Gas cleaning system
Process gas cleaning with cooling. hot ESP and wet ESP
Further off-gas cleaning (Boliden/Norzink process)
Further off-gas processing in a sulphuric acid plant
Hoods, complete enclosement of lead bullion/slag outlet
Bag filter for exhaust gas cleaning
Sulphuric acid plant
Double absorption contact plant
Slag treatment
Hoods
Wet ESP
Cadmium leaching plant
Acidic leaching
Refinery
cf. Lead refining plant
Reduction water consumption, treatment waste water
Use of a central waste water treatment plant
Internal use of process water
Recirculation of cooling water
Recycling solid materials/waste prevention, handling
Granulation of slag
Leaching of flue dusts
Internal recirculation of the leaching residue
Decopperizing of lead bullion
Recovery of mercury from roast gas
Reduction of energy consumption and heat recovery
Waste heat boiler for heat recovery from furnace off-gas
Generation of electrical energy
Techniques for lead refining plants
Abatement of air pollution
Ventilation/hood system for refining kettles
Fabric filters for exhaust gas cleaning
Skimming machines for removal of drosses and slags
Recycling solid materials/waste prevention, handling
Internal or external recycling of dross, crusts

Table 12: BAT-overview production of lead (2)

Techniques for the Sirosmelt plant
Abatement of air pollution
Raw materials/handling/preparation
Total enclosed storage, hoods, closed conveyors
Bag filters
QSL reactor/Gas cleaning system
Process gas cleaning with cooling. Hot ESP and wet ESP
Further off-gas cleaning (Boliden/Norzink process)
Further off-gas processing in a sulphuric acid plant
Hoods, complete enclosement of lead bullion/slag outlet
High vacuum dedusting unit
Sulphuric acid plant
Double absorption contact plant
Boliden Chemie Process for mercury removal
Slag treatment
Hoods
Wet ESP
Cadmium leaching plant
Acidic leaching
Refinery
cf. Lead refining plant
Reduction water consumption, treatment waste water
Waste water treatment in central treatment plant
Internal use of rain and process water
Recirculation of cooling water
Recycling solid materials/waste prevention, handling
Granulation of slag
Internal recirculation of the main part of the flue dust
Internal leaching of remaining flue dust
Internal recirculation of leaching residue
Decopperizing of lead bullion
Recovery of mercury from sulphuric acid
Reduction of energy consumption and heat recovery
Waste heat boiler for recovery of heat from furnace off-gas
Oxygen enrichment of blast

Table 13: BAT-overview production of lead (3)

Techniques for shaft furnace plants - battery recycling
Abatement of air pollution
Raw materials handling
Moistening of raw materials
Indoor storage or storage under a roof
Removal of parts of the waste acid
Shaft furnace/gas cleaning
Secondary hoods at the tapping area
Gas cleaning system with post combustion chamber (minimum: 850°C, typically: 1,100°C), dry quenching with secondary off-gases, fabric filter
Oxygen enrichment of process air
Injection of calcium hydroxide, if necessary
Refinery
cf. Lead refining plant
Reduction water consumption, treatment waste water
Adequate waste water treatment
Internal use of treated water
Recirculation of shaft furnace cooling water
Recycling solid materials/waste prevention, handling
Separation, collection, treatment and re-use of waste acid
External treatment of matte
External leaching of shaft furnace dust
Internal recycling of lead carbonate
Internal recycling of shaft furnace slag as return slag
External use of remaining shaft furnace slag
Use of refining dross (internal/external)
Reduction of energy consumption and heat recovery
Oxygen enrichment of process air

Table 14: BAT-overview production of lead (4)

Techniques for rotary furnace plants
Abatement of air pollution
Raw materials handling/battery treatment
Indoor storage or storage under a roof (Type A+B)
Rotary furnace/gas cleaning system
Furnace encapsulation (Type A+B)
Fabric filter for off-gas cleaning (Type A+B)
Refinery
cf. Lead refining plant
Reduction water consumption, treatment waste water
Adequate waste water treatment (Type A+B)
Recirculation of process water from hydroseparation (Type A+B)
Recycling solid materials/waste prevention, handling
Separation of ebonite, PVC, polypropylene (Type A+B)
Collection, (internal) treatment of waste acid (Type A+B)
Agglomeration and recycling of flue dust (Type A+B)
Compoundation of polypropylene (Type A+B)
Desulphurisation of paste (Type B)
External recycling of battery paste (Type A)
Internal recycling of sludges from waste water treatment (Type A + B)
Reduction of energy consumption and heat recovery
Separation of plastic materials (Type A+B)
Waste heat recovery (furnace off-gas) (Type A+B)

Typ A: Smelting of grid metal / external treatment of paste
Typ B: Paste desulphurisation / smelting of grid metal and paste / sodium sulphate production

Central results of the „*Report on Best Available Techniques in German Copper Production*“ (cf. Chapter 4.7) are BAT for German copper production plants, which have been identified in co-ordination with representatives of authorities and industry (cf. Table 15 and Table 16).

Table 15: BAT-overview primary production of copper

Production step	Process technique	Applied techniques to prevent emissions	Applied techniques for minimisation of energy supply, waste heat recovery
Smelting and converting	Outokumpu flash smelting furnace	Secondary hood system, hot gas ESP, sulphuric acid plant	Waste heat boiler, pre-heating of process air
	Pierce-Smith converter	Secondary hood system, ESP, sulphuric acid plant	Remelting internal reverts and copper scrap, air to gas cooler for pre-heating of boiler feed water
Fire refining (including anode casting)	Anode furnace (rotary type) including casting wheel	Post-combustion chamber (during poling), fabric filter	-
Electrolytic refining	Electrolytic plant	Mist collector for exhaust air from regulator tanks	-

Table 16: BAT-overview secondary production of copper

Production step	Process technique	Applied techniques to prevent emissions	Applied techniques to minimise energy supply, waste heat recovery
Smelting	Blast furnace	Secondary hood system, settling chamber (serves also as post-combustion chamber), fabric filter	Waste heat boiler, tubular cooler
	Electric furnace	Secondary hood system, sulphuric acid plant	-
Converting	Pierce-Smith converter	Secondary hood system, ESP, sulphuric acid plant	Waste heat boiler if premitted by the temperatur conditions
	Scrap converter, Pierce-Smith type	Secondary hood system	Waste heat boiler if premitted by the temperatur conditions, tubular cooler
Fire refining (including anode casting)	Contimelt process	Secondary hood system, post-combustion chamber, adsorption filter, fabric filter	Pre-heating of feedstock, waste heat boiler, pre-heating of process air
	Reverberatory anode furnace (hearth type)	Secondary hood system, fabric filter	Waste heat boiler
	Combination of anode hearth shaft furnace and drum furnace	Secondary hood system, post-combustion chamber, adsorption filter, fabric filter	Pre-heating of process air
Electrolytic refining	Electrolytic plant	Mist collector for exhaust air from regulator tanks	-

Furthermore, in this report BAT for semifinished copperware are identified (cf. Table 17).

Table 17: BAT-overview primary production of semi-finished products

Equipment	Abatement techniques
Shaft furnace (Asarco type)	Afterburner & fabric filter.
	Fabric filter.
Electric furnace	Fabric filter.
	Cyclones (spark arresting), fabric filter.
Rotary furnace	Fabric filter.

Performace data on all of the presented BAT for German plants are given in the main part of this report and extensively in the positon papers elaborated by DFIU.

Development of general requirements and application of a proposed approach for the assessment of cross-media aspects

Basic objective of the development of a methodology for the determination of BAT is a sectoral and locally independent assessment on an European level. In this context, cross-media aspects of techniques on the environment as a whole and in particular impacts on air, water and soil as well as efficiency of energy input are to be taken into account. According to the IPPC-Directive, the proposed assessment approach must take into account inter alia the internationally relevant environmental quality standards and should, if it is required, be supplemented by locally especially relevant parameters for certain installations, without deviating from the approach of a locally independent assessment. In a second stage, the proposed cross-media assessment approach might, if necessary modularly, be supplemented by suitable instructions, in order to allow a practicable local application of BAT determination. However, neither the locally independent, nor the local application of the proposed assessment approach should lead to a situation where a certain technique is prescribed. With the assessment approach being applied only to techniques, which have already been tested on industrial scale (like those described in the compiled background information), within this study, the economic viability is taken as a given precondition and is not explicitly considered in the BAT determination. The determination of BAT on an international level is an essential step towards a harmonisation of the requirements made for industrial installations in the EU and should be based on an agreed approach for the assessment of cross-media aspects. Two existing approaches for ecological assessment are examined with regard to the requirements of the IPPC-Directive as a basis for the development of an assessment methodology:

- Approach proposed by Byrne Ó Cléirigh Ltd. (presented in the final report ‘Integrated Environmental Protection based on BAT - The Practical Implications of Assessing and Choosing Best Available Techniques in the Context of an Integrated Approach to Environmental Protection” (European Commission DG XI; April 1997)) on behalf of the EU to implement the information exchange as required by the IPPC-Directive.
- Life Cycle Assessment (LCA) using the impact categories (according to UBA-Texts 23/95 and 52/95 as well as ISO 14040), which is at present the most developed and accepted method for the ecological assessment of products.

Ó Cléirigh presents a pragmatic approach which, however, shows considerable deficiencies in the assessment of the potential impacts of emissions on the objects of environmental protection. On the other hand, the LCA according to UBA cannot be used immediately for the BAT determination, because it is developed for a comprehensive assessment of the entire life cycle of a product and must therefore be redesigned for the evaluation of unit processes and techniques. Despite the incomplete impact categories and their shortcomings due to the rather simple impact assessment factors, this approach is still the one which, with the best scientific research as a background, best shows the relation between emissions and their potential for environmental pollution.

In order to meet the requirements of the IPPC-Directive, the proposed assessment approach taking into account cross-media aspects is developed on the basis of earlier works. The proposed approach is characterised by structured flow charts on the one hand, on the other hand there is still enough freedom and competence left for the experts' discussion. Thus, an understandable and also pragmatic procedure is ensured, without impairing the consistency of the BAT determination (cf. Figure 5).

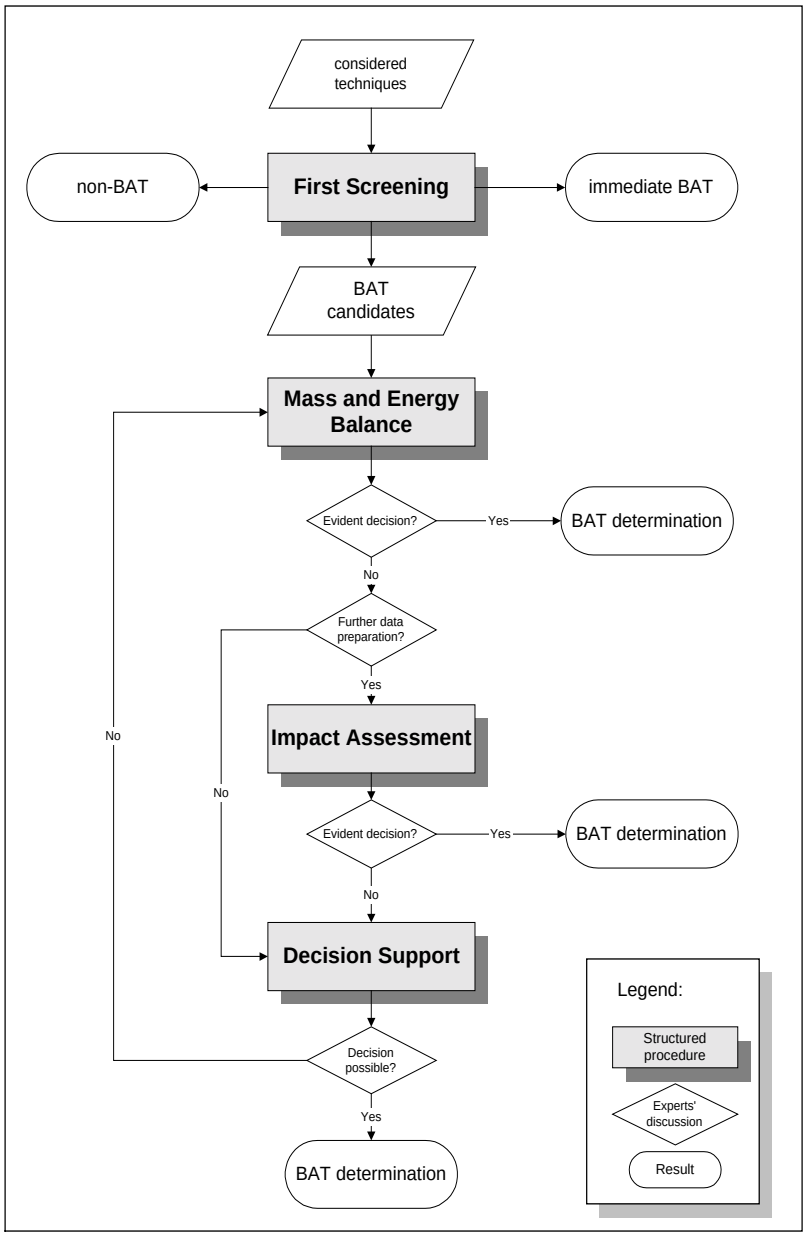

Figure 5: Flow chart of the proposed cross-media aspects assessment approach

The proposed integrated assessment methodology for the identification of BAT on an EU level corresponds because of its structure first screening, mass and energy balance, impact assessment and decision support to the structure of a Life Cycle Assessment. The expert discussion, which can take place on an EU level eg. in the framework of the „Technical Working Groups", is an integrated element of the method. Aim of the method is it to focus the discussion on crucial aspects of the selection of techniques. As soon as the determination of BAT is

evident, the methodology can be short cut at each of the four steps. These steps are shortly described in the following.

The *First Screening* includes the selection of the techniques to be examined from all available techniques, which are eg. described in the national BAT notes. The non-compliance with EU-wide binding emission limit values may be used as a cut-off criterion for an examined technique and leads to the classification of the particular technique as 'non-BAT', if an improvement of that technique is not possible. If no EU-wide binding emission limit values are available, the TWGs could also agree on the application of other international or national emission limit values. At the same time, techniques without any relevant environmental impacts do not require any further detailed examination, if they are identified as 'immediate BAT'. The other techniques, the so-called 'BAT candidates' are submitted to the subsequent step of evaluation.

In the *Mass and Energy Balance* all relevant mass and energy flows, emissions and energy data of BAT candidates are compiled. The experts' discussion then decides on an extension of the system through preliminary stages or relevant associated activities, but also on the limitation of the examination on the relevant mass and energy flows. In the First Screening, but also in the compilation of the Mass and Energy Balance, the experts' discussion thus limits and reduces the extent of the examination. If a BAT determination in the experts' discussion is possible with the data gained in these two steps, the procedure can be cut short at this stage.

Otherwise the individual substances are classified in the *Impact Assessment* with regard to their potential environmental impacts and can be - as far as possible - summarised in impact categories. This step is modelled to a great extent on the LCA, as it has been developed by the UBA for the ecological evaluation of drinks packaging systems. For the locally independent sectoral BAT determination, firstly the impact categories modelling regionally and supra-regionally relevant environmental aspects are decisive: the consumption of resources, water and energy, emissions of substance with supranational effects on human beings, material goods and environmental quality, as well as the production of waste. This is taken into account in the proposed cross-media aspects assessment approach by means of these impact categories, which quantify mainly regional and global environmental. These are at present *Global warming, Ozone depletion (stratosphere), Acidification of water and land, Eutrophication of water, and Photochemical oxidant formation.* For supporting a pragmatic BAT determination, the impact categories *Consumption of resources, Humantoxicity, Ecotoxicity and (Hazardous) Waste* are modified and put up for discussion. Accordingly, the *Consumption of resources* is differentiated in fossil energy carriers, mineral raw materials and regenerative resources (like wood and water). Human toxic and ecotoxic substances are taken into account pragmatically by means of the environmental quality standards in the valid EC Directives as well as the WHO Air Quality Guidelines, since because of the complex interdependencies consensus could not yet be reached on an aggregation of these effects. For the evaluation of waste and energy generation, a first simple classification is made, and only if significant differences arise, will a comprehensive evaluation be carried out. The comprehensive assessment

of the impact potential of aquatic emissions is not only done in the impact category *Ecotoxicity*, but also in the newly introduced impact category '*Protection of the maritime environment*'.

This condensing of the data of the Mass and Energy Balance serves as preparation for the subsequent evaluation and makes the final decision much easier. Due to a lack of scientific work on cross-media aspects there is, however, no scientific basis to further aggregate the data gained from ecological evaluations into a clear ranking of examined techniques. If the BAT determination becomes evident in the experts' discussion from the information gained in the Impact Assessment, the procedure is cut short.

Otherwise, the *Decision Support* offers a convincing data preparation and a structured procedure to permit effective experts' discussion about the BAT determination. The data is prepared by a standardisation through a comparison of techniques with respect to considered criteria (impact potentials and decision relevant mass and energy flows, which can not be transformed into impact potentials). The criteria need also to be weighted in an experts' discussion, in order to differentiate the importance of decision relevant aspects. As an orientation for the weighting the quantitative relevance is estimated by a comparison with European emission data (in Life Cycle Assessment this is called standardisation). The formal method of pairwise comparisons evaluates the results as a multi-critiria decision problem and provides a suitable basis for the final BAT determination in the experts' discussion.

In order to demonstrate the suitability, practicability and transparency of the proposed assessment approach as well as to clarify its course, practical examples from the metal industry (sinter production, electric steelmaking and primary aluminium production) are presented. An important conclusion of this application is, that the flexibility of the proposed methodology allows a uniform and structured action of the experts during the course of BAT determination on an EU-level.

In future, the impact categories currently discussed will have to be adapted continuously to the latest developments in research and further impact categories may have to be formulated for the determination of BAT in particular sectors, in order to consider potential environmental impacts adequately. In general, structured action following consistent rules will make the decision process more transparent and efficient and will contribute for this resaon significantly to a harmonisation of requirements for industrial plants in the EU.

INHALT

ZUSAMMENFASSUNG

EXECUTIVE SUMMARY

1 EINLEITUNG ... 1

1.1 Ausgangslage ... 1
1.2 Zielsetzung des Forschungsprojekts ... 2
1.3 Vorgehensweise ... 2

2 VORGABEN DER IVU-RICHTLINIE ZUR BESTIMMUNG VON BESTEN VERFÜGBAREN TECHNIKEN ... 5

2.1 Zur Entstehung der IVU-Richtlinie ... 5
2.2 Ziel und Ansatz der IVU-RL ... 6
2.3 Definition und Anforderungen zur Bestimmung der „Besten Verfügbaren Techniken“ in der IVU-RL ... 7
2.4 Aufbau der IVU-RL und Bedeutung des Konzepts der BVT ... 8

3 AKTIVITÄTEN ZUR BESTIMMUNG VON BVT ZUR UMSETZUNG DER IVU-RL IN EUROPA ... 11

3.1 Informationsaustausch auf europäischer Ebene ... 11
3.2 Sektorspezifische Bestimmung von Besten Verfügbaren Techniken auf europäischer Ebene ... 14
3.3 Informationsbereitstellung auf nationaler Ebene ... 16

4 ERSTELLUNG VON BVT-POSITIONSPAPIEREN IM RAHMEN DES INTERNATIONALEN INFORMATIONSAUSTAUSCHS GEMÄß ARTIKEL 16.2 DER IVU-RL ... 19

4.1 Mitarbeit in den Technical Working Groups am EIPPCB in Sevilla ... 19
4.2 Informationssammlung zum Stand der Primärstahlerzeugung in Deutschland ... 21
4.2.1 Informationen zur Branche ... 21
4.2.2 Informationen zum Bereich Sinteranlage ... 23
4.2.2.1 Sinteranlagen in Deutschland ... 24
4.2.2.2 Darstellung des Sinterprozesses ... 25
4.2.2.3 Zusammensetzung ausgewählter Stoffströme im Bereich der Sinteranlage ... 27
4.2.2.4 Überblick über den Einsatz moderner Techniken in deutschen Sinteranlagen ... 31
4.2.3 Informationen zum Bereich Kokerei ... 33
4.2.4 Informationen zum Bereich Hochofen ... 33
4.2.4.1 Hochöfen in Deutschland ... 34
4.2.4.2 Darstellung des Hochofenprozesses ... 34
4.2.4.3 Zusammensetzung ausgewählter Stoffströme im Bereich der Hochofenanlage ... 37
4.2.4.4 Überblick über den Einsatz moderner Techniken in deutschen Hochöfen ... 39
4.2.5 Informationen zu den Bereichen Roheisenvorbehandlung, Oxygenstahlwerk und Stranggießanlage ... 40
4.2.5.1 Bereich Roheisenvorbehandlung ... 40
4.2.5.2 Bereich Oxygenstahlwerk ... 41
4.2.5.3 Bereich Stranggießanlage ... 47
4.2.5.4 Überblick über den Einsatz moderner Techniken in den Bereichen Roheisenvorbehandlung, Oxygenstahlwerk und Stranggießanlage ... 49
4.3 Zusammenfassung des BVT-Positionspapiers „Elektrostahlerzeugung“ ... 50
4.3.1 Informationen zur Branche ... 50
4.3.2 Angewandte Produktionsprozesse und Emissionsminderungsmaßnahmen ... 52
4.3.2.1 Abgrenzung des Untersuchungsumfangs ... 52
4.3.2.2 Darstellung der Stahlerzeugung im Elektrolichtbogenofen ... 53
4.3.3 Verbrauchs- und Emissionswerte angewandter Techniken ... 56
4.3.3.1 Einsatzstoffe und Emissionen im Elektrostahlwerk ... 56

4.3.3.2 Einsatzstoffe und Emissionen der Sekundärmetallurgie ... 61
4.3.4 Kandidaten für beste verfügbare Techniken zur Elektrostahlerzeugung ... 62
4.3.4.1 Übersicht über Kandidaten für BVT zur Elektrostahlerzeugung ... 62
4.3.4.2 Fallstudien moderner deutscher Elektrostahlwerke ... 65
4.4 Zusammenfassung des BVT-Positionspapiers „Walzen von Stahlprodukten“ ... 69
4.4.1 Informationen zur Branche ... 69
4.4.2 Angewandte Produktionsprozesse und Emissionsminderungsmaßnahmen ... 73
4.4.2.1 Abgrenzung des Untersuchungsumfangs ... 73
4.4.2.2 Darstellung der Stahlverarbeitung im Warmwalzwerk ... 75
4.4.2.3 Darstellung der Stahlverarbeitung im Kaltwalzwerk ... 78
4.4.2.4 Darstellung der Herstellung von Stahlröhren ... 80
4.4.3 Verbrauchs- und Emissionswerte angewandter Techniken ... 80
4.4.3.1 Einsatzstoffe und Emissionen im Warmwalzwerk ... 80
4.4.3.2 Einsatzstoffe und Emissionen im Kaltwalzwerk ... 83
4.4.4 Kandidaten für beste verfügbare Techniken in Walzwerken ... 87
4.4.4.1 Übersicht über Kandidaten für BVT in Warmwalzwerken ... 87
4.4.4.2 Übersicht über Kandidaten für BVT in Kaltwalzwerken ... 90
4.4.4.3 Fallstudien deutscher Warm- und Kaltwalzwerke ... 92
4.5 Zusammenfassung des BVT-Positionspapiers „Primäre und Sekundäre Zinkerzeugung“ ... 96
4.5.1 Informationen zur Branche ... 96
4.5.2 Angewandte Produktionsprozesse und Emissionsminderungsmaßnahmen ... 98
4.5.2.1 Abgrenzung des Untersuchungsumfangs ... 98
4.5.2.2 Darstellung der hydrometallurgischen Erzeugung von Zink ... 99
4.5.2.3 Darstellung der pyrometallurgischen Erzeugung von Zink ... 100
4.5.3 Verbrauchs- und Emissionswerte angewandter Techniken ... 102
4.5.3.1 Einsatzstoffe und Emissionen deutscher Anlagen zur hydrometallurgischen Zinkerzeugung ... 102
4.5.3.2 Einsatzstoffe und Emissionen deutscher Anlagen zur pyrometallurgischen Zinkerzeugung ... 106
4.5.4 Kandidaten für beste verfügbare Techniken zur Zinkerzeugung ... 114
4.6 Zusammenfassung des BVT-Positionspapiers „Primäre und Sekundäre Bleierzeugung“ ... 125
4.6.1 Informationen zur Branche ... 125
4.6.2 Angewandte Produktionsprozesse und Emissionsminderungsmaßnahmen ... 128
4.6.2.1 Abgrenzung des Untersuchungsumfangs ... 128
4.6.2.2 Darstellung traditioneller Verfahren zur Bleierzeugung (Sinteranlagen-Hochofen-Route) ... 128
4.6.2.3 Darstellung moderner Verfahren zur Bleierzeugung ... 129
4.6.2.4 Darstellung der Bleierzeugung aus Sekundärmaterialien ... 129
4.6.3 Verbrauchs- und Emissionswerte angewandter Techniken ... 130
4.6.3.1 Einsatzstoffe und Emissionen moderner Verfahren zur Bleierzeugung ... 130
4.6.3.2 Einsatzstoffe und Emissionen der Bleierzeugung aus Sekundärmaterialien im Schachtofen ... 134
4.6.3.3 Einsatzstoffe und Emissionen der Bleierzeugung aus Sekundärmaterialien im Kurztrommelofen ... 136
4.6.4 Kandidaten für beste verfügbare Techniken zur Bleierzeugung ... 145
4.7 Zusammenfassung des BVT-Positionspapiers „Primäre und Sekundäre Kupfererzeugung“ ... 155
4.7.1 Informationen zur Branche ... 155
4.7.2 Angewandte Produktionsprozesse und Emissionsminderungsmaßnahmen ... 158
4.7.2.1 Abgrenzung des Untersuchungsumfangs ... 158
4.7.2.2 Darstellung der Primärerzeugung von Kupfer ... 159
4.7.2.3 Darstellung der Sekundärerzeugung von Kupfer ... 160
4.7.2.4 Darstellung der Weiterverarbeitung von Kupferkathoden ... 162
4.7.3 Verbrauchs- und Emissionswerte angewandter Techniken ... 163
4.7.3.1 Einsatzstoffe und Emissionen der Kupfererzeugung bei der NA ... 163

4.7.3.2 Einsatzstoffe und Emissionen der Sekundärkupfererzeugung bei der HK 166
4.7.3.3 Einsatzstoffe und Emissionen der Kupfererzeugung bei der MKM 169
4.7.3.4 Einsatzstoffe und Emissionen der Erzeugung von Halbzeugprodukten aus Kupfer und Kupferlegierungen 171
4.7.4 Kandidaten für BVT zur Kupfererzeugung 172
4.7.4.1 Übersicht über BVT zur Primärkupfererzeugung 172
4.7.4.2 Übersicht über BVT zur Sekundärkupfererzeugung 173

5 ENTWICKLUNG VON GENERELLEN ANFORDERUNGEN UND EXEMPLARISCHE ANWENDUNG EINER MEDIENÜBERGREIFENDEN BEWERTUNGSMETHODE 175

5.1 Begleitung der Arbeitsgruppe des Umweltbundesamtes zur Entwicklung einer medienübergreifenden Bewertungsmethode 175
5.2 Vorschlag einer medienübergreifenden Bewertungsmethode zur Identifikation der BVT im Rahmen der Arbeiten der Europäischen Gemeinschaft 176
5.2.1 First Screening 181
5.2.2 Stoff- und Energiebilanz 181
5.2.3 Wirkungsabschätzung 181
5.2.4 Entscheidungsunterstützung 184
5.3 Fallbeispiele zur Konkretisierung der Bewertungsmethoden 185
5.3.1 Fallbeispiel Sinterherstellung mit Staubabscheidung 185
5.3.2 Fallbeispiel Elektrostahlherstellung 199
5.3.3 Fallbeispiel Aluminiumherstellung 199
5.4 Schlußfolgerungen aus Anwendung der Methode 199
5.5 Aufwandsabschätzung für den Einsatz der Methode 201
5.6 Handlungsempfehlungen 202
5.7 Organisation eines Europäischen Workshops zur Abstimmung der bislang praktizierten Bewertungsansätze 203

6 LITERATURVERZEICHNIS 205

6.1 Übersicht über die im Rahmen des Projektes erstellten Berichte und Veröffentlichungen 205
6.2 Weitere Literatur 206

INHALT DER ERGÄNZUNGSBÄNDE

ERGÄNZUNGSBAND 1

Report on Best Available Techniques in the Electric Steelmaking Industry
Report on Best Available Techniques in the German Ferrous Metals Processing Industry

ERGÄNZUNGSBAND 2

Report on Best Available Techniques in German Zinc and Lead Production
Report on Best Available Techniques in German Copper Production

ERGÄNZUNGSBAND 3

Vorschlag für eine medienübergreifende Bewertungsmethode zur Identifikation der "Besten Verfügbaren Techniken" BVT im Rahmen der Arbeiten der Europäischen Kommission

ERGÄNZUNGSBAND 4

Proposal for an integrated approach for the assessment of cross-media aspects relevant for the determination of 'Best Available Techniques' BAT in the European Union

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 2.2-1: Vereinfachte Übersicht über die im Anhang I der IVU-RL aufgeführten Industriebereiche 6
Abbildung 3.1-1: Struktur des europäischen Informationsaustauschs über BVT 13
Abbildung 3.3-1: Struktur der Abstimmung und Kommunikation über BVT auf nationaler Ebene 17
Abbildung 4.2-1: Standorte von integrierten Hüttenwerken in Deutschland 22
Abbildung 4.2-2: Schematische Darstellung einer Bandsinteranlage 25
Abbildung 4.2-3: Schematische Darstellung des Aufbaus einer Hochofenanlage 35
Abbildung 4.2-4: Schematische Darstellung der Stoffströme im Bereich einer Hochofenanlage 36
Abbildung 4.2-5: Schematische Darstellung eines Konverters 42
Abbildung 4.3-1: Ausgewählte Standorte von Elektrostahlwerken in Deutschland 51
Abbildung 4.3-2: Angewandte Prozesse und Emissionsminderungsmaßnahmen der Elektrostahlerzeugung 53
Abbildung 4.3-3: Schematische Darstellung der Prozeßkette der Elektrostahlerzeugung 54
Abbildung 4.3-4: Schematische Darstellung von Stoffströmen in Elektrostahlwerken 57
Abbildung 4.3-5: Schematische Darstellung der Energieströme beim Betrieb zweier EAF 58
Abbildung 4.3-6: Schematische Darstellung von Stoffströmen in der Sekundärmetallurgie 62
Abbildung 4.3-7: Schematische Darstellung der Abgasreinigung eines deutschen Elektrostahlwerks 65
Abbildung 4.4-1: Ausgewählte Standorte von Walzwerken in Deutschland 70
Abbildung 4.4-2: Schematische Darstellung der Teilprozesse, Anlagen und Produkte der Stahlumformung 73
Abbildung 4.4-3: Anlagen zur Herstellung von Stahlband von der Stranggießanlage bis zum Kaltwalzwerk 74
Abbildung 4.4-4: Schematische Darstellung ausgewählter Inputs und Outputs des Beizprozesses 85
Abbildung 4.4-5: Schematische Übersicht über BVT in Warmwalzwerken 89
Abbildung 4.4-6: Schematische Übersicht über BVT in Kaltwalzwerken 91
Abbildung 4.5-1: Standorte von Anlagen zur Zinkerzeugung in Deutschland 97
Abbildung 4.5-2: Schematische Darstellung einer Zinkelektrolyseanlage (Fallstudie Z1) 103
Abbildung 4.5-3: Schematische Darstellung einer Zinkelektrolyseanlage (Fallstudie Z2) 105
Abbildung 4.5-4: Schematische Darstellung einer ISP-Anlage (Fallstudie Z3) 107
Abbildung 4.5-5: Schematische Darstellung einer Wälzanlage (Fallstudie Z7) 110
Abbildung 4.5-6: Schematische Darstellung eines New-Jersey-Prozesses (Fallstudie Z6) 112
Abbildung 4.5-7: Schematische Darstellung einer Umschmelzanlage zur sekundären Zinkerzeugung (Fallstudie Z8) 113
Abbildung 4.6-1: Standorte von Anlagen zur Bleierzeugung in Deutschland 126
Abbildung 4.6-2: Schematische Darstellung einer QSL-Anlage (Fallstudie L1) 131
Abbildung 4.6-3: Schematische Darstellung einer Sirosmelt-Anlage (Fallstudie L2) 133
Abbildung 4.6-4: Schematische Darstellung einer Schachtofenanlage (Fallstudie L5) 135
Abbildung 4.6-5: Schematische Darstellung einer KTO-Anlage (Fallstudie L4) 137
Abbildung 4.6-6: Schematische Darstellung einer KTO-Anlage (Fallstudie L6) 140
Abbildung 4.6-7: Schematische Darstellung einer KTO-Anlage (Fallstudie L7) 142
Abbildung 4.6-8: Schematische Darstellung einer Bleirecyclinganlage (Fallstudie L10) 145
Abbildung 4.7-1: Standorte von Anlagen zur Kupfererzeugung und Weiterverarbeitung in Deutschland 157
Abbildung 4.7-2: Schematische Darstellung der Primärkupfererzeugung 159
Abbildung 4.7-3: Schematische Darstellung der Sekundärkupfererzeugung 161
Abbildung 4.7-4: Schematische Darstellung der Erzeugung von Halbzeugprodukten 163
Abbildung 4.7-5: Schematische Darstellung der Produktionsanlagen der NA 164
Abbildung 4.7-6: Schematische Darstellung der Produktionsanlagen der HK 167
Abbildung 4.7-7: Schematische Darstellung der Kupfererzeugung der MKM 169
Abbildung 4.7-8: Schematische Darstellung einer Anlage zur Primärkupfererzeugung 172
Abbildung 4.7-9: Schematische Darstellung einer Anlage zur Sekundärkupfererzeugung 173
Abbildung 5.2-1: Ablaufschema der medienübergreifenden Bewertungsmethode 180
Abbildung 5.2-2: Ablaufschema der Entscheidungsunterstützung 184

Abbildung 5.3-1: Graphische Darstellung der Ergebnisse der Wirkungsabschätzung für vier Techniken zur Sinterherstellung 192
Abbildung 5.3-2: Rangfolgenbildung für die vier untersuchten Techniken zur Sinterherstellung 193
Abbildung 5.3-3: Graphische Darstellung der relativen Stärke und Schwäche der untersuchten Techniken zur Sinterherstellung 197

TABELLENVEZEICHNIS

Tabelle 3.1-1: Allgemeiner Aufbau von BVT-Merkblättern ... 14
Tabelle 4.2-1: Erzeugung von Roheisen und Rohstahl in Deutschland ... 21
Tabelle 4.2-2: Daten zu integrierten Hüttenwerken in Deutschland ... 23
Tabelle 4.2-3: Technische Daten zu Sinteranlagen in Deutschland ... 24
Tabelle 4.2-4: Ausgewählte technische Daten zu Elektroabscheidern von Sinteranlagen ... 26
Tabelle 4.2-5: Inputs und Outputs beim Betrieb einer Sinteranlage ... 27
Tabelle 4.2-6: Energiebilanz einer Sinteranlage ... 27
Tabelle 4.2-7: Anforderungen an die Qualität von Fertigsinter ... 28
Tabelle 4.2-8: Analysen von Sintermischungen eines deutschen Hüttenwerkes ... 28
Tabelle 4.2-9: Chemische Zusammensetzung ausgewählter Sintermischungen ... 29
Tabelle 4.2-10: Schwermetallgehalte im Reingas von Sinteranlagen ... 30
Tabelle 4.2-11: Chemische Zusammensetzung von Sinterstaub ... 31
Tabelle 4.2-12: Kandidaten für BVT im Bereich Sinteranlage ... 32
Tabelle 4.2-13: Technische Daten zu Kokereien in Deutschland ... 33
Tabelle 4.2-14: Technische Daten zu Hochöfen in Deutschland ... 34
Tabelle 4.2-15: Spezifische Einsatz- und Ausbringungsmengen einer Hochofenanlage ... 36
Tabelle 4.2-16: Einsatzstoffe und Entfall in Hochofenwerken in Deutschland ... 37
Tabelle 4.2-17: Chemische Zusammensetzung von Roheisen ... 37
Tabelle 4.2-18: Chemische Zusammensetzung von Hochofenschlacken ... 38
Tabelle 4.2-19: Chemische Zusammensetzung von Gichtstaub und -schlamm ... 38
Tabelle 4.2-20: Kandidaten für BVT im Bereich des Hochofens ... 39
Tabelle 4.2-21: Spezifische Einsatz- und Ausbringungsmengen der Roheisenvorbehandlung ... 40
Tabelle 4.2-22: Chemische Zusammensetzung einer Entschwefelungsschlacke ... 40
Tabelle 4.2-23: Technische Daten zu Oxygenstahlwerken in Deutschland ... 41
Tabelle 4.2-24: Spezifische Einsatz- und Ausbringungsmengen des Oxygenstahlwerks ... 43
Tabelle 4.2-25: Chemische Zusammensetzung von Stahlwerksschlacken ... 44
Tabelle 4.2-26: Chemische Zusammensetzung von Konverterstäuben ... 44
Tabelle 4.2-27: Spurenstoffe im Roh- und Reingas sowie im Filterstaub eines Oxygenstahlwerks (1) ... 45
Tabelle 4.2-28: Spurenstoffe im Roh- und Reingas sowie im Filterstaub eines Oxygenstahlwerks (2) ... 45
Tabelle 4.2-29: Spurenstoffe im Roh- und Reingas sowie im Filterstaub eines Oxygenstahlwerks (3) ... 46
Tabelle 4.2-30: Technische Daten zu Stranggießanlagen für Brammen und Knüppel in Deutschland ... 48
Tabelle 4.2-31: Kandidaten für BVT der Bereiche Roheisenvorbehandlung, Oxygenstahlwerk und Stranggießanlage ... 49
Tabelle 4.3-1: Daten zu Elektrostahlwerken in Deutschland ... 52
Tabelle 4.3-2: Typische Einsatzstoffe und Emissionen der Massenstahlerzeugung im EAF ... 57
Tabelle 4.3-3: Chemische Zusammensetzung von Elektroofen- und Sekundärmetallurgieschlacken ... 59
Tabelle 4.3-4: Analyse des Rohabgases aus Elektroöfen ausgewählter deutscher Elektrostahlwerke ... 60
Tabelle 4.3-5: Typische chemische Zusammensetzungen von EAF-Stäuben ... 61
Tabelle 4.3-6: Technische Daten zu Elektrostahlwerken in Deutschland ... 63
Tabelle 4.3-7: Kandidaten für BVT in der Elektrostahlerzeugung ... 64
Tabelle 4.3-8: Spezifische Inputs und Outputs eines ausgewählten Elektrostahlwerks ... 66
Tabelle 4.3-9: Technische Daten zu ausgewählten Elektrostahlwerken und Abgasreinigungssystemen ... 66
Tabelle 4.3-10: Durchschnittliche Schwermetallkonzentrationen im Reingas ausgewählter Elektrostahlwerke ... 67
Tabelle 4.3-11: Schadstoffe im Reingas ausgewählter Elektroöfen ... 68
Tabelle 4.4-1: Produktion von Walzstahlfertigerzeugnissen in Deutschland ... 69
Tabelle 4.4-2: Warmwalzwerke in Deutschland mit einer Kapazität größer 250.000 t/a ... 71
Tabelle 4.4-3: Kaltwalzwerke in Deutschland mit einer Kapazität größer 250.000 t/a ... 72
Tabelle 4.4-4: Röhrenwerke in Deutschland mit einer Kapazität ab 100.000 t/a ... 72
Tabelle 4.4-5: Inputs und Outputs beim Betrieb von Wiedererwärmöfen ... 82

Tabelle 4.4-6: Beispiele für den Bedarf an Umformenergie in Warmbreitbandstraßen ... 83
Tabelle 4.4-7: Inputs und Outputs beim Betrieb von Warmwalzstraßen ... 83
Tabelle 4.4-8: Inputs und Outputs beim Betrieb von Beizprozessen ... 86
Tabelle 4.4-9: Inputs und Outputs beim Betrieb von Kaltwalzstraßen ... 86
Tabelle 4.4-10: Inputs und Outputs beim Betrieb von Anlagen zum Glühen ... 87
Tabelle 4.4-11: Kandidaten für BVT in Warmwalzwerken ... 88
Tabelle 4.4-12: Kandidaten für BVT in Kaltwalzwerken ... 90
Tabelle 4.4-13: Daten zu Fallstudien deutscher Warmwalzwerke ... 92
Tabelle 4.4-14: Daten zu Fallstudien deutscher Kaltwalzwerke ... 94
Tabelle 4.5-1: Zinkproduktion in Deutschland, der EG und weltweit in Mio. t ... 96
Tabelle 4.5-2: Daten zu Zinkerzeugungs- und Recyclinganlagen in Deutschland ... 98
Tabelle 4.5-3: Verbrauchs- und Produktionsdaten der Fallstudie Z1 ... 103
Tabelle 4.5-4: Emissionen der Fallstudie Z1 nach Abgas-/Abluftreinigung ... 104
Tabelle 4.5-5: Abwasseranfall der Fallstudie Z1 ... 104
Tabelle 4.5-6: Nebenprodukte und Reststoffe der Fallstudie Z1 ... 104
Tabelle 4.5-7: Verbrauchs- und Produktionsdaten der Fallstudie Z2 ... 105
Tabelle 4.5-8: Emissionen der Fallstudie Z2 nach Abgas-/Abluftreinigung ... 106
Tabelle 4.5-9: Abwasseranfall der Fallstudie Z2 ... 106
Tabelle 4.5-10: Nebenprodukte und Reststoffe der Fallstudie Z2 ... 106
Tabelle 4.5-11: Verbrauchs- und Produktionsdaten der Fallstudie Z3 ... 107
Tabelle 4.5-12: Emissionen der Fallstudie Z3 nach Abgas-/Abluftreinigung ... 108
Tabelle 4.5-13: Abwasseranfall der Fallstudie Z3 ... 108
Tabelle 4.5-14: Nebenprodukte und Reststoffe der Fallstudie Z3 ... 108
Tabelle 4.5-15: Technische Daten zu den Fallstudien Z4 und Z5 ... 109
Tabelle 4.5-16: Verbrauchs- und Produktionsdaten der Fallstudie Z4 ... 109
Tabelle 4.5-17: Technische Daten zur Fallstudie Z7 ... 109
Tabelle 4.5-18: Verbrauchs- und Produktionsdaten der Fallstudie Z7 ... 110
Tabelle 4.5-19: Emissionen der Fallstudien Z4, Z5 und Z7 nach Abgas-/Abluftreinigung ... 111
Tabelle 4.5-20: Abwasseranfall der Fallstudie Z5 ... 111
Tabelle 4.5-21: Nebenprodukte und Reststoffe der Fallstudien Z4, Z5 und Z7 ... 112
Tabelle 4.5-22: Emissionen der Fallstudie Z6 nach Abgas-/Abluftreinigung ... 113
Tabelle 4.5-23: Nebenprodukte und Reststoffe der Fallstudie Z6 ... 113
Tabelle 4.5-24: Emissionen der Fallstudie Z8 nach Abgas-/Abluftreinigung ... 114
Tabelle 4.5-25: Nebenprodukte und Reststoffe der Fallstudie Z8 ... 114
Tabelle 4.5-26: Kandidaten für BVT zur Verminderung von Emissionen in die Luft bei der Zinkelektrolyseanlage ... 115
Tabelle 4.5-27: Kandidaten für BVT zur Wasserverbrauchsminderung und zur Abwasserbehandlung bei der Zinkelektrolyseanlage ... 116
Tabelle 4.5-28: Kandidaten für BVT zur Verminderung des Energieverbrauchs und Wärmerückgewinnung bei der Zinkelektrolyseanlage ... 116
Tabelle 4.5-29: Kandidaten für BVT zum Reststoffrecycling sowie zur Abfallvermeidung/-behandlung bei der Zinkelektrolyseanlage ... 116
Tabelle 4.5-30: Erreichbare Emissionswerte für Emissionen in die Atmosphäre nach Abgas-/Abluftreinigung (Hauptquellen) bei der Zinkelektrolyseanlage ... 117
Tabelle 4.5-31: Erreichte Emissionswerte für die Einleitung von Abwasser bei der Zinkelektrolyseanlage ... 117
Tabelle 4.5-32: Kandidaten für BVT zur Verminderung von Emissionen in die Luft beim Imperial-Smelting-Prozeß ... 118
Tabelle 4.5-33: Kandidaten für BVT zur Wasserverbrauchsminderung und zur Abwasserbehandlung beim Imperial-Smelting-Prozeß ... 119

Tabelle 4.5-34: Kandidaten für BVT zum Reststoffrecycling sowie zur Abfallvermeidung/-behandlung beim Imperial-Smelting-Prozeß ... 119
Tabelle 4.5-35: Kandidaten für BVT zur Verminderung des Energieverbrauchs und Wärmerückgewinnung beim Imperial-Smelting-Prozeß ... 119
Tabelle 4.5-36: Erreichbare Emissionswerte für Emissionen in die Atmosphäre nach Abgas-/Abluftreinigung (Hauptquellen) beim Imperial-Smelting-Prozeß ... 120
Tabelle 4.5-37: Erreichte Emissionswerte für die Einleitung von Abwasser beim Imperial-Smelting-Prozeß ... 120
Tabelle 4.5-38: Kandidaten für BVT zur Verminderung von Emissionen in die Luft bei der Wälzanlage ... 121
Tabelle 4.5-39: Kandidaten für BVT zur Wasserverbrauchsminderung und zur Abwasserbehandlung bei der Wälzanlage ... 122
Tabelle 4.5-40: Kandidaten für BVT zum Reststoffrecycling sowie zur Abfallvermeidung/-behandlung bei der Wälzanlage ... 122
Tabelle 4.5-41: Kandidaten für BVT zur Verminderung des Energieverbrauchs und Wärmerückgewinnung bei der Wälzanlage ... 122
Tabelle 4.5-42: Erreichbare Emissionswerte für Emissionen in die Atmosphäre nach Abgas-/Abluftreinigung (Hauptquellen) bei der Wälzanlage ... 122
Tabelle 4.5-43: Erreichte Emissionswerte für die Einleitung von Abwasser bei der Wälzanlage ... 123
Tabelle 4.5-44: Kandidaten für BVT in Umschmelzanlagen ... 123
Tabelle 4.5-45: Kandidaten für BVT in Schlackeverblaseanlagen ... 123
Tabelle 4.5-46: Kandidaten für BVT in New-Jersey Zinkraffinationsanlagen ... 124
Tabelle 4.5-47: Angewandte Techniken in New-Jersey-Retortenanlagen ... 124
Tabelle 4.6-1: Bleiproduktion/-verbrauch in Deutschland, der EG und weltweit in Mio. t ... 125
Tabelle 4.6-2: Daten zu Bleihütten und Recyclinganlagen in Deutschland ... 127
Tabelle 4.6-3: Verbrauchs- und Produktionsdaten der Fallstudie L1 ... 131
Tabelle 4.6-4: Emissionen der Fallstudie L1 nach Abgas-/Abluftreinigung ... 132
Tabelle 4.6-5: Abwasseranfall der Fallstudie L1 ... 132
Tabelle 4.6-6: Nebenprodukte und Reststoffe der Fallstudie L1 ... 132
Tabelle 4.6-7: Verbrauchs- und Produktionsdaten der Fallstudie L2 ... 133
Tabelle 4.6-8: Emissionen der Fallstudie L2 nach Abgas-/Abluftreinigung ... 134
Tabelle 4.6-9: Abwasseranfall der Fallstudie L2 ... 134
Tabelle 4.6-10: Nebenprodukte und Reststoffe der Fallstudie L2 ... 134
Tabelle 4.6-11: Verbrauchs- und Produktionsdaten der Fallstudie L5 ... 135
Tabelle 4.6-12: Emissionen der Fallstudie L5 nach Abgas-/Abluftreinigung ... 135
Tabelle 4.6-13: Abwasseranfall der Fallstudie L5 ... 136
Tabelle 4.6-14: Nebenprodukte und Reststoffe der Fallstudie L5 ... 136
Tabelle 4.6-15: Verbrauchs- und Produktionsdaten der Fallstudie L4 ... 138
Tabelle 4.6-16: Emissionen der Fallstudie L4 nach Abgas-/Abluftreinigung ... 138
Tabelle 4.6-17: Abwasseranfall der Fallstudie L4 ... 138
Tabelle 4.6-18: Nebenprodukte und Reststoffe der Fallstudie L4 ... 139
Tabelle 4.6-19: Verbrauchs- und Produktionsdaten der Fallstudie L6 ... 139
Tabelle 4.6-20: Emissionen der Fallstudie L6 nach Abgas-/Abluftreinigung ... 140
Tabelle 4.6-21: Schadstoffkonzentrationen im Abwasser der Fallstudie L6 ... 140
Tabelle 4.6-22: Nebenprodukte und Reststoffe der Fallstudie L6 ... 141
Tabelle 4.6-23: Verbrauchs- und Produktionszahlen der Fallstudie L7 ... 141
Tabelle 4.6-24: Emissionen der Fallstudie L7 nach Abgas-/Abluftreinigung ... 142
Tabelle 4.6-25: Schadstoffkonzentrationen im abgeleiteten Abwasser der Fallstudie L7 ... 143
Tabelle 4.6-26: Verbrauchs- und Produktionsdaten der Fallstudie L8 ... 143
Tabelle 4.6-27: Emissionen der Fallstudie L8 nach Abgas-/Abluftreinigung ... 144
Tabelle 4.6-28: Genehmigte Schadstoffkonzentrationen im Abwasser der Fallstudie L8 ... 144

Tabelle 4.6-29: Kandidaten für BVT zur Verminderung von Emissionen in die Luft bei der QSL-Prozeß-Anlage ... 146
Tabelle 4.6-30: Kandidaten für BVT zur Wasserverbrauchsminderung und zur Abwasserbehandlung bei der QSL-Prozeß-Anlage ... 146
Tabelle 4.6-31: Kandidaten für BVT zum Reststoffrecycling sowie zur Abfallvermeidung/-behandlung bei der QSL-Prozeß-Anlage ... 147
Tabelle 4.6-32: Kandidaten für BVT zur Verminderung des Energieverbrauchs und Wärmerückgewinnung bei der QSL-Prozeß-Anlage ... 147
Tabelle 4.6-33: Erreichbare Emissionswerte für Emissionen in die Atmosphäre nach Abgas-/Abluftreinigung (Hauptquellen) bei der QSL-Prozeß-Anlage ... 147
Tabelle 4.6-34: Erreichte Emissionswerte für die Einleitung von Abwasser bei der QSL-Prozeß-Anlage ... 148
Tabelle 4.6-35: Kandidaten für BVT zur Verminderung von Emissionen in die Luft bei der Sirosmelt Anlage 148
Tabelle 4.6-36: Kandidaten für BVT zur Wasserverbrauchsminderung und zur Abwasserbehandlung bei der Sirosmelt Anlage ... 149
Tabelle 4.6-37: Kandidaten für BVT zum Reststoffrecycling sowie zur Abfallvermeidung/-behandlung bei der Sirosmelt Anlage ... 149
Tabelle 4.6-38: Kandidaten für BVT zur Verminderung des Energieverbrauchs und Wärmerückgewinnung bei der Sirosmelt Anlage ... 149
Tabelle 4.6-39: Erreichbare Emissionswerte für Emissionen in die Atmosphäre nach Abgas-/Abluftreinigung (Hauptquellen) bei der Sirosmelt Anlage ... 150
Tabelle 4.6-40: Erreichte Emissionswerte für die Einleitung von Abwasser bei der Sirosmelt Anlage ... 150
Tabelle 4.6-41: Kandidaten für BVT zur Verminderung von Emissionen in die Luft bei der Schachtofenanlage zum Batterierecycling ... 151
Tabelle 4.6-42: Kandidaten für BVT zur Wasserverbrauchsminderung und zur Abwasserbehandlung bei der Schachtofenanlage zum Batterierecycling ... 151
Tabelle 4.6-43: Kandidaten für BVT zum Reststoffrecycling sowie zur Abfallvermeidung/-behandlung bei der Schachtofenanlage zum Batterierecycling ... 151
Tabelle 4.6-44: Kandidaten für BVT zur Verminderung des Energieverbrauchs und Wärmerückgewinnung bei der Schachtofenanlage zum Batterierecycling ... 152
Tabelle 4.6-45: Erreichbare Emissionswerte für Emissionen in die Atmosphäre nach Abgas-/Abluftreinigung (Hauptquellen) bei der Schachtofenanlage zum Batterierecycling ... 152
Tabelle 4.6-46: Erreichte Emissionswerte für die Einleitung von Abwasser bei der Schachtofenanlage zum Batterierecycling ... 152
Tabelle 4.6-47: Kandidaten für BVT zur Verminderung von Emissionen in die Luft bei der Kurztrommelofenanlage mit Batterieaufbereitung ... 153
Tabelle 4.6-48: Kandidaten für BVT zur Wasserverbrauchsminderung und zur Abwasserbehandlung bei der Kurztrommelofenanlage mit Batterieaufbereitung ... 153
Tabelle 4.6-49: Kandidaten für BVT zum Reststoffrecycling sowie zur Abfallvermeidung/-behandlung bei der KTO-Anlage mit Batterieaufbereitung ... 153
Tabelle 4.6-50: Kandidaten für BVT zur Verminderung des Energieverbrauchs und Wärmerückgewinnung bei der KTO-Anlage mit Batterieaufbereitung ... 154
Tabelle 4.6-51: Erreichbare Emissionswerte für Emissionen in die Atmosphäre nach Abgas-/Abluftreinigung bei der KTO-Anlage mit Batterieaufbereitung ... 154
Tabelle 4.6-52: Erreichte Emissionswerte für die Einleitung von Abwasser bei der KTO-Anlage mit Batterieaufbereitung ... 154
Tabelle 4.6-53: Kandidaten für BVT für Bleiraffinationsanlagen ... 154
Tabelle 4.7-1: Kupferproduktion in Deutschland ... 155
Tabelle 4.7-2: Daten zur Kupfererzeugung in Deutschland ... 156
Tabelle 4.7-3: Daten zu Unternehmen der Weiterverarbeitung von Kupfer in Deutschland ... 158
Tabelle 4.7-4: Verbrauchs- und Produktionsdaten der NA (1996) ... 165

Tabelle 4.7-5: Emissionen der Kupfererzeugung bei der NA ... 165
Tabelle 4.7-6: Schadstoffbeladung der Abwässer der NA ... 165
Tabelle 4.7-7: Zwischenprodukte, Nebenprodukte und Reststoffe der Kupfererzeugung bei der NA ... 166
Tabelle 4.7-8: Verbrauchs- und Produktionsdaten der HK ... 167
Tabelle 4.7-9: Gesamtemissionen der Kupfererzeugung bei HK ... 167
Tabelle 4.7-10: Schadstoffbeladung des Abwassers der HK ... 168
Tabelle 4.7-11: Zwischenprodukte, Nebenprodukte und Reststoffe der Kupfererzeugung bei HK ... 168
Tabelle 4.7-12: Verbrauchs- und Produktionszahlen der MKM GmbH ... 169
Tabelle 4.7-13: Spezifische gerichtete Emissionen der verschiedenen Anlagen bei MKM ... 170
Tabelle 4.7-14: Wichtige Zwischenprodukte, Nebenprodukte und Reststoffe der Kupfererzeugung bei MKM . 170
Tabelle 4.7-15: Spezifische Emissionen der Halbzeugproduktion ... 171
Tabelle 4.7-16: Schadstoffbeladung des Abwassers einer Halbzeugproduktionsanlage ... 172
Tabelle 4.7-17: Kandidaten für BVT zur primären Kupfererzeugung ... 173
Tabelle 4.7-18: Kandidaten für BVT zur sekundären Kupfererzeugung ... 174
Tabelle 4.7-19: Kandidaten für BVT zur Herstellung von Halbzeugprodukten ... 174
Tabelle 5.2-1: Begriffsbestimmung des Artikel 2(2) IVU-RL: “Umweltverschmutzung” und deren Berücksichtigung in der Methode von Ó Cléirigh und in der Ökobilanz gemäß UBA ... 178
Tabelle 5.2-2: Schadstoffe nach Anhang III IVU-RL und deren Berücksichtigung in der Methode von Ó Cléirigh und in der Ökobilanz gemäß UBA ... 179
Tabelle 5.2-3: Wirkungskategorien für die BVT-Bestimmung nach dem integrierten Ansatz ... 183
Tabelle 5.3-1: Stoff- und Energiebilanz für vier Techniken zur Sinterherstellung ... 188
Tabelle 5.3-2: Wirkungsabschätzung für Technik D zur Sinterherstellung ... 191
Tabelle 5.3-3: Entscheidungstabelle für vier Techniken zur Sinterherstellung ... 193
Tabelle 5.3-4: Ableitung der Gewichtungsfaktoren aus Mengenrelevanz und ökologischer Bedeutung ... 195
Tabelle 5.3-5: Maße für die relative Stärke und Schwäche der untersuchten Techniken zur Sinterherstellung .. 196
Tabelle 5.3-6: Sensitivitätsanalyse für die Gewichtung der vier untersuchten Techniken zur Sinterherstellung . 198
Tabelle 5.5-1: Bestandteile der medienübergreifenden Bewertungsmethode zur Umsetzung der IVU-RL und Abschätzung des zeitlichen Aufwands ... 202

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

A

Abs.	Absatz
abs.	absolut
AC	Alternate Current
AGR	Abgasreinigung
AOD	Argon Oxygen Decarburisation
Art.	Artikel

B

B.U.S.	Berzelius Umwelt Service AG
BAT	Best Available Technique(s)
BImSchG	Bundes-Immissionsschutzgesetz
BMU	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit
BOF	Basic Oxygen Furnace
BREF	BAT Reference Document
BSB	Blei- und Silberhütte Braubach
BSR	Biegestreckrichtanlage
BSW	Badische Stahlwerke GmbH
BVT	Beste Verfügbare Technik(en)

C

CRM	Centre de Recherche Métallurgique
CSB	Chemischer Sauerstoffbedarf
C-Stahl	Kohlenstoffstahl

D

DC	Direct Current
DCI	Direct Carbon Injection
DFIU	Deutsch-Französisches Institut für Umweltforschung
DG	Directorate General
Dl	Deckelloch
DSD	Duales System Deutschland

E

E-Absch.	Elektroabscheider
EAF	Elektrolichtbogenofen (Electric Arc Furnace)
EBT	Eccentric Bottom Tapping
EG	Europäische Gemeinschaft
EGR	Elektrische Gasreinigung
EGV	Vertrag über die Europäische Gemeinschaft
EII	Environmental Impact Index
EIPPCB	European Integrated Pollution and Prevention Control Bureau
EODC-TEAF	Energy Optimised Direct Current Twin Shell EAF
EOS	Emission optimised sintering
EP	End-of-Pipe
Erd	Erdgas
EU	Europäische Union
EWG	Europäische Wirtschaftsgemeinschaft

G

GDMB	Gesellschaft für Bergbau, Metallurgie, Rohstoff- und Umwelttechnik

H

HK	Hüttenwerke Kayser AG
HKM	Hüttenwerke Krupp-Mannesmann AG
HP	High Power

I

IEF	Information Exchange Forum
IISI	International Iron and Steel Institute
IPPC	Integrated Pollution Prevention and Control
IPTS	Institute for Prospective Technology Studies
ISO	International Organisation for Standardisation
ISP	Imperial Smelting Process
IVU	Integrierte Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung

K

k.A.	keine Angabe
RWO	Rohhütte Werk Ost
KrW-/AbfG	Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz
KTO	Kurztrommelofen

L

LABO	Bund-/Länderarbeitsgemeinschaft Bodenschutz
LAGA	Länderarbeitsgemeinschaft Abfall
LAI	Länderausschuß für Immissionsschutz
LAWA	Länderarbeitsgemeinschaft Wasser
LD	Linz-Donawitz
LDAC	Linz-Donawitz Arbed CRM
LPG	Liquid Petroleum Gas
LT	Lurgi Thyssen

M

M.I.M.	Mount ISA Mining
MKM	Mansfelder Kupfer und Messing
MRU	Muldenhütten Recycling und Umwelttechnik GmbH

N

NA	Norddeutsche Affinerie AG
NE	Nichteisen
NMH	Neue Maxhütte
n.n.	nicht nachweisbar

O

OBM	Oxygen Bottom Maxhütte
OBT	Oval Bottom Tapping

P

PAH	Polyzyklische Kohlenwasserstoffe
PCB	Polychlorierte Biphenyle
PCDD	Polychlorierte Dibenzo-p-Dioxine
PCDF	Polychlorierte Dibenzofurane
PE	Polyethylen
PER	Pollution Emission Report
PI	Prozeßintegriert
PP	Polypropylen
PVC	Polyvinychlorid

Q

QSL	Queneau-Schuhmann-Lurgi

R

RAC	Regenerative Activated Carbon
RDI	Reduction Degradation Index
RE	Roheisen
RL	Richtlinie
RSH	Rostfrei, säurebeständig, hitzebeständig
RSt	Rohstahl
RWTH	Rheinisch-Westfälisch Technische Hochschule

S

SCR	Selective Catalytic Reduction
SdT	Stand der Technik
SHG-Zink	Special High Grade-Zink
SM	Sekundärmetallurgie
StW	Stahlwerk

T

TA	Technische Anleitung
TE	Toxic Equivalent
TS	Trockensubstanz
TWGs	Technical Working Groups

U

UBA	Umweltbundesamt
UGB	Umweltgesetzbuch
UHP	Ultra High Power
UK	United Kingdom
UNECE	Untited Nations Economic Comission for Europe

V

VAI	Voest-Alpine Industrieanlagenbau GmbH
VDEh	Verein Deutscher Eisenhüttenleute
VOC	Volatile Organic Compounds

W

WHO	World Health Organisation

Chemische Symbole

Al_2O_3	Aluminiumoxid
AOX	Adsorbable Organic Halogen Compounds
As	Arsen
C	Kohlenstoff
Ca	Calcium
CaO	Calciumoxid
CaS	Calciumsulfat
Cd	Cadmium
$CdCO_3$	Cadmiumcarbonat
Cl	Chlor
CO	Kohlenstoffmonoxid
Co	Kobalt
CO_2	Kohlenstoffdioxid
COD	Chemical Oxygen Demand
CO_x	Kohlenstoffoxide
Cr	Chrom
Cr_2O_3	Chromoxid
Cu	Kupfer
CuO	Kupferoxid
F	Fluor
Fe	Eisen
Fe_2O_3	Hämatit
FeO	Wüstit
H	Wasserstoff
H_2SO_4	Schwefelsäure
HCl	Salzsäure
HF	Fluorwasserstoffsäure
Hg	Quecksilber
MgO	Magnesiumoxid
Mn	Mangan
MnO	Manganoxid
Mo	Molybdän
N_2	Stickstoff
Na_2O	Natriumoxid
NaOH	Natriumhydroxid
Ni	Nickel
NiO	Nickeloxid
NO_x	Stickoxide
O	Sauerstoff
P	Phosphor
P_2O_5	Bleipentoxid
Pb	Blei
Pd	Palladium
Pt	Platin
Rh	Rhodium
S	Schwefel
Sb	Antimon
Si	Silicium
SiO_2	Siliciumdioxid
Sn	Zinn
SO_2	Schwefeldioxid
SO_3	Schwefeltrioxid
SO_x	Schwefeloxide
Te	Tellur
Ti	Titan
TiO_2	Titandioxid
V	Vanadium
V_2O_5	Vanadiumpentoxid
Zn	Zink
ZnO	Zinkoxid
ZnS	Zinksulfid

Einheiten

µg	Mikrogramm
°C	Grad Celsius
a	Jahr
cm	Zentimeter
cm^3	Kubikzentimeter
d	Durchsatz
dB(a)	Dezibel (akustisch)
GJ	Gigajoule
h	Stunde
kcal	Kilokalorien
kg	Kilogramm
kVA	Kilovoltampere
kW	Kilowatt
kWh	Kilowattstunde
l	Liter
m^2	Quadratmeter
m^3	Kubikmeter
mg	Milligramm
Mio	Million
MJ	Megajoule
mm	Millimeter
MVA	Megavoltampere
MWh	Megawattstunde
N	Newton
s	Sekunde
t	Tonne
°	Grad

1 Einleitung

1.1 Ausgangslage

Am 24.09.1996 verabschiedete der Rat der Europäischen Union die „*Richtlinie über die integrierte Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung*“ (*IVU-RL*, 96/61/EG). Ziel der Richtlinie ist es, *ein hohes Schutzniveau für die Umwelt insgesamt zu erreichen*. Dieses Ziel soll durch die Vermeidung oder, falls eine Vermeidung nicht möglich ist, durch die Verminderung von Emissionen aus Industrieanlagen mit besonderer Umweltrelevanz erreicht werden, die im Anhang I der IVU-Richtlinie aufgelistet sind. Die IVU-RL führt dazu ein neues integriertes Genehmigungsverfahren zum Schutz der Rechtsgüter Boden, Wasser und Luft in das europäische Recht ein. Der medienübergreifende Ansatz der IVU-RL weicht dabei auch vom sektoralen, auf einzelne Rechtsgüter bezogenen deutschen Recht ab [5].

Im Rahmen des integrierten Genehmigungsverfahrens für Anlagen des Anhang I der IVU-RL sind von den Genehmigungsbehörden insbesondere verpflichtende Emissionsgrenzwerte auf Basis von *Besten Verfügbaren Techniken (BVT)* festzusetzen. Das Konzept der BVT ist in der europäischen Umweltschutzpolitik und im Gemeinschaftsrecht eine Neuerung und auch mit Begriffen des deutschen Umweltrechts wie etwa dem Stand der Technik nicht direkt vergleichbar [5]. In der IVU-RL ist das Konzept der BVT neben der Festlegung von Emissionsgrenzwerten noch an weiteren Stellen von Bedeutung, etwa um Anforderungen an den Betrieb von Anlagen zu spezifizieren. Die BVT werden in der IVU-RL nicht materiell konkretisiert. Um jedoch eine einheitliche Anwendung der BVT zu gewährleisten und die Mitgliedsstaaten bei der Erfüllung dieser Anforderungen zu unterstützen, wird nach Art. 16.(2) ein Informationsaustausch über BVT durchgeführt. Dieser umfaßt auch den Austausch über verbundene Überwachungsmaßnahmen und der Verfolgung von Entwicklungen auf diesem Gebiet. Die Bestimmung von BVT sektoral für alle Industriebereiche des Anhang I der IVU-RL hat daher große praktische Bedeutung bei der Umsetzung der Richtlinie.

Der integrierte Ansatz der IVU-RL verbunden mit dem Konzept der BVT verursacht hinsichtlich der Bestimmung von BVT Handlungsbedarf in zwei zentralen Bereichen. Da die Beachtung des „*betrieblichen Inneren*“ ein wesentlicher Ausgangspunkt der IVU-RL ist [5], müssen geeignete und hinreichende Informationen über Einsatzstoffe, entstehende Emissionen und angewandte Techniken der in Anhang I der IVU-RL genannten Anlagen zur Verfügung stehen, wobei die Vielfalt an aufgeführten Industriebereichen eine sektorspezifische Bestimmung von BVT erfordert. Weiterhin ergeben sich aus dem medienübergreifenden Ansatz weitreichende Bewertungsfragen beim Vergleich verschiedener Techniken. Die Bestimmung von BVT erfordert ein transparentes, konsistentes und einheitliches Vorgehen in allen Industriebe-

reichen des Anhang I der IVU-RL und muß bei der Bewertung und Auswahl zu nachvollziehbaren und akzeptierten Ergebnissen führen. Der Informationsaustausch über BVT muß daher eine geeignete Basis an Informationen über den Stand der Technik in den untersuchten Bereichen liefern, die eine Bestimmung von BVT grundsätzlich ermöglicht. Dazu muß eine zweckmäßige und akzeptierte Methodik zur systematischen Auswahl von BVT entwickelt werden.

1.2 Zielsetzung des Forschungsprojekts

Dieses Forschungsprojekt beinhaltet drei zentrale Ziele, die sich in den Rahmen des europäischen Informationsaustauschs über BVT einordnen. Das erste Ziel ist die Erstellung nationaler Positionspapiere zu BVT in der deutschen Metallindustrie. Inhalt dieser Positionspapiere sind für die sektorspezifische Bestimmung von BVT erforderliche Informationen zum Stand des integrierten Umweltschutzes in der Stahlindustrie und der Nichteisenmetallindustrie. Zweites Ziel ist die Entwicklung einer praktikablen medienübergreifenden Methodik zur Festlegung derjenigen BVT, die ein hohes Schutzniveau für die Umwelt insgesamt garantieren. Das dritte Projektziel umfaßt die Kommentierung von Beiträgen Dritter zum europäischen Informationsaustausch und die Mitarbeit in verschiedenen, mit der Bestimmung von BVT befaßten Gremien auf nationaler und internationaler Ebene auf Grundlage der im Projekt erarbeiteten Informationen.

1.3 Vorgehensweise

Der vorliegende Abschlußbericht dokumentiert die im Rahmen des Projekts erarbeiteten Beiträge zur Erreichung der dargestellten Ziele. Er umfaßt einen eigenständigen Hauptteil und vier Ergänzungsbände, die wiederum eigenständige Dokumente enthalten. Im vorliegenden Hauptteil werden die Ausgangslage und Rahmenbedingungen des Projekts sowie alle durchgeführten Arbeitsschritte und erarbeiteten Beiträge in einer Übersicht dargestellt. Die Ergänzungsbände beinhalten die im Rahmen des Projektes in englischer Sprache erstellten Positionspapiere zu *BVT in der Stahlindustrie* (Ergänzungsband 1), in der *NE-Metallindustrie* (Ergänzungsband 2) sowie den Bericht zum *Vorschlag einer medienübergreifenden Bewertungsmethode* zur Identifikation der Besten Verfügbaren Techniken im Rahmen der Arbeiten der Europäischen Kommission (Ergänzungsband 3 - deutsch, Ergänzungsband 4 - englisch).

Der hier vorliegende Hauptteil des Abschlußberichts ist wie folgt aufgebaut: In Kapitel 2 werden allgemeine Vorgaben der IVU-RL zur Bestimmung von BVT aufgezeigt, die als Ausgangspunkt der durchgeführten Arbeiten zu sehen sind. Kapitel 3 stellt notwendige Aktivitäten zur Umsetzung der IVU-RL in Europa auf internationaler und nationaler Ebene dar, die durch dieses Forschungsprojekt Unterstützung erfahren. Im 4. Kapitel werden die Beiträge des DFIU zum internationalen Informationsaustausch im Rahmen der Erstellung von Positionspapieren, der Kommentierung von Arbeiten Dritter und der Mitarbeit in mehreren Arbeitsgrup-

pen zur Bestimmung von BVT auf nationaler und internationaler Ebene in einer Übersicht dargestellt. Dabei sind insbesondere ausführliche Zusammenfassungen der innerhalb des Projekts erstellten Positionspapiere zu BVT in der Metallindustrie enthalten, die im Original in den Ergänzungsbänden 1 und 2 zu diesem Hauptteil vorliegen. Kapitel 5 stellt die in diesem Projekt erarbeiteten Beiträge zur Entwicklung und Anwendung einer medienübergreifenden Methode zur Identifikation von BVT vor. Das Kapitel ist eine Zusammenfassung des weiter oben erwähnten Berichts über die Entwicklung einer medienübergreifenden Bewertungsmethode zur Identifikation der Besten Verfügbaren Techniken, der in den Ergänzungsbänden 3 und 4 in deutscher bzw. englischer Sprache vorliegt. Kapitel 6 enthält abschließend eine Zusammenfassung der Ausgangslage, der Zielsetzung und der durchgeführten Arbeitsschritte im Rahmen des Projekts.

2 Vorgaben der IVU-Richtlinie zur Bestimmung von Besten Verfügbaren Techniken

In diesem Kapitel werden die Entstehung der IVU-RL, Anforderungen der Richtlinie an die Bestimmung von BVT und die Bedeutung des Konzepts der BVT innerhalb der IVU-RL aufgezeigt. Dazu wird zunächst die Entstehung sowie das Ziel und der Ansatz der IVU-Richtlinie als Hintergrund des BVT-Konzepts skizziert. Anschließend folgt ausgehend von der BVT-Definition des Art. 2 Punkt 11, IVU-RL, die Darstellung von Vorgaben zur Bestimmung von BVT im Rahmen des integrierten Ansatzes der IVU-RL und die Bedeutung des BVT-Konzepts in der Richtlinie.

2.1 Zur Entstehung der IVU-Richtlinie

Die IVU-RL ist das zentrale Instrument zur Umsetzung des Leitbildes *integrierter Umweltschutz* bei der Genehmigung von Industrieanlagen in der Europäischen Union [67]. Die Ursprünge des integrierten Umweltschutzes auf europäischer Ebene liegen dabei in den sogenannten Umweltaktionsprogrammen, in denen die EU jeweils für einen Zeitraum von mehreren Jahren umweltpolitische Ziele und Grundsätze, anzuwendende Instrumente und geplante Aktionen festlegt. Vier Aktionsprogramme sind bisher durchgeführt worden, das erste wurde im Jahre 1973 ins Leben gerufen, das vierte lief Ende 1992 aus. Während in der Anfangszeit aktuelle Probleme zur Beseitigung akuter Umweltbelastungen im Vordergrund standen, trat im vierten Aktionsprogramm durch die Wahl neuer strategischer Grundsätze eine Wende in der europäischen Umweltpolitik ein. Diese Wende im vierten Aktionsprogramm war gekennzeichnet durch eine verstärkte Öffentlichkeitsbeteiligung, eine stärkere Einbeziehung marktwirtschaftlicher Instrumente und durch zunehmend medienübergreifende Konzepte [67]. Das fünfte Umweltaktionsprogramm (1993-2000) „*Für eine dauerhafte und umweltgerechte Entwicklung*“ nimmt insbesondere die integrierte Vermeidung und Verminderung von Umweltverschmutzung in das Aktionsfeld „*Integrierter Umweltschutz*“ auf. Als ein Ziel beinhaltet dieses Umweltaktionsprogramm die Schaffung von funktionierenden Schnittstellen zwischen Industrie- und Umweltpolitik durch eine Verbesserung von Gesetzen und Genehmigungsverfahren [4].

Nach mehrjährigen Vorarbeiten legte die Kommission am 30.9.1993 einen Vorschlag für die „*Richtlinie über die integrierte Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung*“ vor, der sich im wesentlichen am britischen Environmental Act von 1990 orientierte [67]. Grundsätzlich begrüßte man auf seiten der Mitgliedstaaten den integrierten Ansatz des Vorschlags [4], doch im Detail wurde er insbesondere wegen der unzureichenden Berücksichtigung des Vorsorgegrundsatzes und seiner Verfahrenslastigkeit auch von Deutschland zunächst abgelehnt [118]. Erst nach Einbeziehung einiger zusätzlicher Anforderungen, wie etwa mate-

rieller Betreiberpflichten, der Aufnahme des Verursacherprinzips und der Möglichkeit einer gemeinschaftseinheitlichen Festlegung von Emissionsgrenzwerten, konnte die Richtlinie am 24.9.1996 verabschiedet werden [118]. Die notwendige Umsetzung der IVU-RL in nationales Recht sollte in Deutschland im Rahmen der Kodifikation des Umweltrechts im einem ersten Buch zu einem Umweltgesetzbuch (UGB I) erfolgen. Da jedoch die gesetzgeberische Kompentenz für den Umweltschutz bei den Bundesländern liegt, soll die Richtlinie nun zunächst mit Hilfe eines Artikelgesetzes umgesetzt werden.

2.2 Ziel und Ansatz der IVU-RL

Art. 1 nennt als Ziel der IVU-RL, „*ein hohes Schutzniveau für die Umwelt insgesamt zu erreichen*“. Dieses Ziel soll durch die Zweckbestimmung des Art. 1 der IVU-RL, „die *integrierte Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung infolge der in Anhang I genannten Tätigkeiten*“, realisiert werden. Die im Anhang I der IVU-RL erfaßten Industrieanlagen sind in Abbildung 2.2-1 in einer Übersicht dargestellt.

1. Energiewirtschaft
1.1 Feuerungsanlagen > 50 MW_{th}
1.2 Mineralöl- und Gasraffinerien
1.3 Kokereien
1.4 Kohlevergasungs- und Verflüssigungsanlagen
2. Herstellung und Verarbeitung von Metallen
2.1 Röst- und Sinteranlagen für Metallerze einschließlich sulfidischer Erze
2.2 Anlagen für die Herstellung von Roheisen oder Stahl (Primär oder Sekundärschmelzung) einschließlich Stranggießen mit einer Kapazität > 2,5 t/h
2.3 Anlagen zur Verarbeitung von Eisenmetallen durch
a) Warmwalzen mit einer Leistung > 20 $t_{Rohstahl}$/h
b) Schmieden mit Hämmern (Schlagenergie > 50 kJ /Hammer, Wärmeleistung > 20 MW)
c) Aufbringen von schmelzflüssigen metallischen Schutzschichten (Verarbeitungskapazität > 2 $t_{Rohstahl}$/h)
2.4 Eisenmetallgießereien (Kapazität > 20 t/d)
2.5 Anlagen
a) zur Gewinnung von NE-Rohmetallen aus Erzen, Konzentraten oder sekundären Rohstoffen durch metallurgische Verfahren, chemische Verfahren oder elektrolytische Verfahren
b) zum Schmelzen von Nichteisenmetallen einschließlich Legierungen, darunter auch Wiedergewinnungsprodukte (Raffination, Gießen) mit einer Schmelzkapazität von mehr als 4 t/Tag bei Blei und Kadmium oder 20 t/Tag bei allen anderen Metallen
3. Mineralverarbeitende Industrie
3.1 Anlagen zur Herstellung von Zementklinker (Drehrohröfen > 500 t/d, andere Öfen > 50 t/d) oder von Kalk (Drehrohröfen > 50 t/d)
3.2 Analgen zur Gewinnung von Asbest oder zur Herstellung von Erzeugnissen aus Asbest
3.3 Anlagen zur Herstellung von Glas (Kapazität > 20 t/d)
3.4 Anlagen zum Schmelzen mineralischer Stoffe (Kapazität > 20 t/d)
3.5 Anlagen zur Herstellung keramischer Erzeugnisse (differenzierte Kapazitätsgrenzen)
4. Chemische Industrie
(Differenzierte Aufteilung in die Nrn. 4.1 bis 4.6 in verschiedene Stoffe und Stoffgruppen; es werden Anlagen erfaßt, bei denen Stoffe oder Stoffgruppen im industriellen Umfang chemisch umgewandelt werden.)
5. Abfallbehandlung
5.1 Anlagen zur beseitigung oder Verwertung von gefährlichen Abfällen ... (im Sinne bestimmter EG-Richtlinien)
5.2 Müllverbrennungsanlagen für Siedlungsmüll... (im Sinne bestimmter EG-Richtlinien)
5.3 Anlagen zur >Beseitigung ungefährlicher Abfälle... (im Sinne bestimmter EG-Richtlinien), Kapazität > 50 t/d
5.4 Deponien mit einer Aufnahmekapazität > 10 t/d oder einer Gesamtkapazität > 25.000 t.
6. Sonstige Industriezweige
6.1 Industrieanlagen zur Herstellung von a) Zellstoff...b) Papier und Pappe (> 20 t/d)
6.2 Anlagen zur Vorbehandlung ... und zum Färben von Fasern oder Textilien (> 10 t/d)
6.3 Anlagen zum Gerben von Häuten oder Fellen (> 12 t/d)
6.4 Anlagen zur Behandlung oder Verarbeitung von Milch (> 200 t/d im Jahresdurchschnitt)
6.5 Tierkörperbeseitigungsanlagen(>10 t/d)
6.6 Intensivtierhaltung(> 40.000 Geflügel, > 2.000 Mastschweinen, > 750 Sauen)
6.7 Anlagen zur Oberflächenbehandlung ... mit organischen Lösungsmitteln (> 150 kg/h oder 200 t/a)
6.8 Anlagen zur Herstellung vonHartbrandkohle und Elektrographit

Abbildung 2.2-1: Vereinfachte Übersicht über die im Anhang I der IVU-RL aufgeführten Industriebereiche

Zur Umsetzung des Ziels der IVU-RL wird ein neues integriertes Genehmigungsverfahren für die genannten Industrieanlagen mit einem *großen Potential zur Umweltverschmutzung* in das europäische Recht eingeführt [5].

Der umfassende Ansatz der IVU-RL wird besonders deutlich durch die weite Definition von Umweltverschmutzung in Art. 2 Punkt 2 als *„die durch menschliche Tätigkeiten direkt oder indirekt bewirkte Freisetzung von Stoffen, Erschütterungen, Wärme oder Lärm in Luft, Wasser oder Boden, die der menschlichen Gesundheit oder der Umweltqualität schaden oder zu einer Schädigung von Sachwerten bzw. zu einer Beeinträchtigung oder Störung von Annehmlichkeiten und anderen legitimen Nutzungen der Umwelt führen können*“. Durch die Richtlinie wird ein in mehrfacher Hinsicht integrierter Ansatz verfolgt: Es werden *„Maßnahmen zur Vermeidung und, sofern dies nicht möglich ist, zur Verminderung von Emissionen aus den genannten Tätigkeiten in Luft, Wasser und Boden – darunter auch den Abfall betreffende Maßnahmen*“ festgelegt und damit der produktionsintegrierte und der medienübergreifende Aspekt der Genehmigung betont (Art. 1, IVU-RL). Weiterhin ist bei der Umsetzung des Genehmigungsverfahrens seitens der Mitgliedstaaten für eine Integration der beteiligten Behörden zu sorgen, mit den *„erforderlichen Maßnahmen für eine vollständige Koordinierung des Genehmigungsverfahrens und der Genehmigungsauflagen* [...], *um ein wirksames integriertes Konzept aller für diese Verfahren zuständigen Behörden sicherzustellen*“ (Art. 7, IVU-RL).

Der Ansatz der IVU-RL umfaßt damit die drei Schutzgüter Luft, Wasser und Boden und zielt auf ein hohes Schutzniveau für die Umwelt insgesamt ab. Zur Erreichung dieses Ziels wird ein Genehmigungsverfahrens für den Betrieb industrieller Aktivitäten mit einem großem Potential zur Umweltverschmutzung in das europäische Recht eingeführt, das seitens der Genehmigungsbehörden vollständig zu koordinieren ist und das „betriebliche Innere“ u.a. mittels Grundpflichten für Betreiber und der Pflicht zum Einsatz von BVT regelt (vgl. 2.4).

2.3 Definition und Anforderungen zur Bestimmung der „Besten Verfügbaren Techniken“ in der IVU-RL

Art. 2 Abs. 11, IVU-RL definiert BVT als *„den effizientesten und fortschrittlichsten Entwicklungsstand der Tätigkeiten und entsprechenden Betriebsmethoden, der spezielle Techniken als praktisch geeignet erscheinen läßt, grundsätzlich als Grundlage für Emissionsgrenzwerte zu dienen, um Emissionen in und Auswirkungen auf die gesamte Umwelt allgemein zu vermeiden oder, wenn dies nicht möglich ist, zu vermindern*.“ Dabei bezeichnet

- *„‘Technik’ sowohl die angewandte Technologie als auch die Art und Weise, wie die Anlage geplant, gebaut, gewartet, betrieben und stillgelegt wird;*
- *‘verfügbar’ die Techniken, die in einem Maßstab entwickelt sind, der unter Berücksichtigung des Kosten/Nutzen-Verhältnisses die Anwendung unter in dem betreffenden industriellen Sektor wirtschaftlich und technisch vertretbaren Verhältnissen ermöglicht, gleich, ob diese Techniken innerhalb des betreffenden Mit-*

gliedstaats verwendet oder hergestellt werden, sofern sie zu vertretbaren Bedingungen für den Betreiber zugänglich sind;

- *'beste' die Techniken, die am wirksamsten zur Erreichung eines allgemein hohen Schutzniveaus für die Umwelt insgesamt beitragen.*

Bei der Festlegung der besten verfügbaren Techniken sind die in Anhang IV aufgeführten Punkte besonders zu berücksichtigen" (Art 2 Abs. 11, IVU-RL). In Anhang IV werden folgende zusätzliche Kriterien für die Bestimmung von BVT genannt (Anhang IV, IVU-RL):

„unter Berücksichtigung der sich aus einer bestimmten Maßnahme ergebenden Kosten und ihres Nutzens sowie des Grundsatzes der Vorsorge und der Vorbeugung [ist] *im allgemeinen wie auch im Einzelfall folgendes zu berücksichtigen:*

1. *Einsatz abfallarmer Technologie*
2. *Einsatz weniger gefährlicher Stoffe*
3. *Förderung der Rückgewinnung und Wiederverwertung der bei den einzelnen Verfahren erzeugten und verwendeten Stoffe und gegebenenfalls der Abfälle*
4. *Vergleichbare Verfahren, Vorrichtungen und Betriebsmethoden, die mit Erfolg im industriellen Maßstab erprobt wurden*
5. *Fortschritte in der Technologie und in den wissenschaftlichen Erkenntnissen*
6. *Art, Auswirkungen und Menge der jeweiligen Emissionen*
7. *Zeitpunkte der Inbetriebnahme der neuen oder der bestehenden Anlagen*
8. *Für die Einführung einer besseren verfügbaren Technik erforderliche Zeit*
9. *Verbrauch an Rohstoffen und Art der bei den einzelnen Verfahren verwendeten Rohstoffe (einschließlich Wasser) sowie Energieeffizienz*
10. *Die Notwendigkeit, die Gesamtwirkung der Emissionen und die Gefahren für die Umwelt so weit wie möglich zu vermeiden oder zu verringern*
11. *Die Notwendigkeit, Unfällen vorzubeugen und deren Folgen für die Umwelt zu verringern*
12. *Die von der Kommission gemäß Artikel 16 Absatz 2 oder von internationalen Organisationen veröffentlichten Informationen*".

2.4 Aufbau der IVU-RL und Bedeutung des Konzepts der BVT

Die IVU-RL weist keine klare Logik des Aufbaus der Norm auf, sie kann aber in einen materiellen und einen prozeduralen (verfahrensrechtlichen) Teil unterschieden werden [4]. Der materielle Teil enthält dabei das Finalprogramm mit Zweck und Ziel der IVU-RL (Art. 1), die Legaldefinitionen (Art. 2), die allgemeinen Grundpflichten der Betreiber (Art. 3) und die Genehmigungsvoraussetzungen (Art. 9 und Art. 10). Der prozedurale Teil der IVU-RL weist im wesentlichen Vorgaben zum Genehmigungsantrag (Art. 6), zum integrierten Konzept des Genehmigungsverfahrens (Art. 7), zum Genehmigungsverfahren selbst (Art. 9), zum Verfahren bei grenzüberschreitenden Auswirkungen von Anlagen (Art. 17), zur Beteiligung der Öffentlichkeit (Art. 15) und zur Überwachung von in Betrieb befindlichen Anlagen (Art. 13, Art. 14) auf [4]. Die für die Umsetzung und Entwicklung der IVU-RL wichtigen Vorschriften zum Informationsaustausch zwischen den Mitgliedstaaten und Gemeinschaft enthält Art. 16.

Wesentliche *materielle* Forderungen der Richtlinie bestehen, neben dem bereits vorgestellten Ziel eines hohen Schutzniveaus für die Umwelt insgesamt als gewünschter zukünftiger Zustand der IVU-Richtlinie, der Zweckbestimmung einer Vermeidung und Verminderung von Emissionen in die Medien Luft, Wasser und Boden (Art. 1) sowie der Definition der BVT in Art. 2 Abs. 11, in der Festlegung von Genehmigungsvoraussetzungen in Form umfassender Umweltstandards. In Art. 3 der Richtlinie werden die folgenden „*Allgemeine Prinzipien der Grundpflichten der Betreiber*“ definiert (Artikel 3, IVU-RL):

„*Die Mitgliedstaaten treffen die erforderlichen Vorkehrungen, damit die zuständigen Behörden sich vergewissern, daß die Anlage so betrieben wird, daß*

a) alle geeigneten Vorsorgemaßnahmen gegen Umweltverschmutzungen, insbesondere durch den Einsatz der besten verfügbaren Techniken, getroffen werden;
b) keine erheblichen Umweltverschmutzungen verursacht werden;
c) die Entstehung von Abfällen entsprechend der Richtlinie 75/442/EWG des Rates vom 15. Juli 1975 über Abfälle vermieden wird; andernfalls werden sie verwertet oder, falls dies aus technischen oder wirtschaftlichen Gründen nicht möglich ist, beseitigt, wobei Auswirkungen auf die Umwelt zu vermeiden oder zu vermindern sind;
d) Energie effizient verwendet wird;
e) die notwendigen Maßnahmen ergriffen werden, um Unfälle zu verhindern und deren Folgen zu begrenzen;
f) bei einer endgültigen Stillegung die erforderlichen Maßnahmen getroffen werden, um jegliche Gefahr einer Umweltverschmutzung zu vermeiden und um einen zufriedenstellenden Zustand des Betriebsgeländes wiederherzustellen“

Die Einhaltung dieser Betreiberpflichten stellt einen wesentlichen Teil der Voraussetzung für die Genehmigung des Anlagenbetriebs dar, die als Genehmigungsauflagen in Art. 9 festgelegt sind. In der Genehmigung sind außerdem Emissionsgrenzwerte festzulegen, ggf. ergänzt durch weitere geeignete Auflagen zum Schutz des Bodens, des Wassers und der Behandlung erzeugter Abfälle. Diese Parameter sind vorbehaltlich eventuell strengerer Anforderungen der EU auf BVT zu stützen.

Unter *prozeduralen* Gesichtspunkten wurde das medienübergreifende Schutzkonzept bei der Regelung der Antragsunterlagen, der Öffentlichkeitsbeteiligung und der Auflagen verwirklicht. Jeder Genehmigungsantrag muß eine Beschreibung von „*Art und Menge der vorhersehbaren Emissionen aus der Anlage in jedes einzelne Umweltmedium sowie die Feststellung von erheblichen Auswirkungen der Emissionen auf die Umwelt*“ (Art. 6 Abs. 1) enthalten. Dieser Antrag ist der Öffentlichkeit zugänglich zu machen. Schließlich sind Genehmigungsaufgaben vollständig zu koordinieren, falls mehrere Behörden an einer Genehmigung beteiligt sind; auch hier ist ein „*wirksames integriertes Konzept*“ aller Behörden sicherzustellen [118]. Die Forderungen der Richtlinie sind Mindestanforderungen, weitergehende innerstaatliche Anforderungen sind nach Art. 130t EGV zulässig. In Art. 16 (2), IVU-RL, wird die Kommission zur Durchführung eines Informationsaustauschs zwischen den Mitgliedstaaten und den betroffe-

nen Industrien über die BVT, verbundenen Überwachungsmaßnahmen und Entwicklungen auf diesem Gebiet aufgefordert.

Das Konzept der „besten verfügbaren Techniken“ nimmt eine Schlüsselrolle zur praktischen Umsetzung der Ziele der IVU-RL ein. Der Begriff „BVT“ wird in der Richtlinien an mehreren Stellen verwendet. Im oben vorgestellten Art. 3 mit den allgemeinen Prinzipien der Grundpflichten der Betreiber, werden die Betreiber unter anderem dazu verpflichtet, *„...daß alle geeigneten Vorsorgemaßnahmen gegen Umweltverschmutzungen, insbesondere durch den Einsatz der besten verfügbaren Techniken getroffen werden"*. Art. 9 betrifft die Genehmigungsvoraussetzungen in den Mitgliedstaaten und spezifiziert die Rolle der BVT näher. Eine Genehmigung muß alle notwendigen Maßnahmen enthalten, *„...um durch den Schutz von Luft, Wasser und Boden zu einem hohen Schutzniveau für die Umwelt insgesamt beizutragen...“* (Art. 9 Abs. 1). Weiter heißt es im Art. 9 Abs. 3: *„Die Genehmigung muß Emissionsgrenzwerte für die Schadstoffe der Liste in Anhang II enthalten, die von der betroffenen Anlage unter Berücksichtigung der Art der Schadstoffe und der Gefahr einer Verlagerung der Verschmutzung von einem Medium auf ein anderes (Wasser, Luft, Boden) in relevanter Menge emittiert werden können. Erforderlichenfalls enthält die Genehmigung geeignete Auflagen zum Schutz des Bodens und des Grundwassers sowie Maßnahmen zur Behandlung der von der Anlage erzeugten Abfälle...“*. Abs. 4 dieses Artikels spezifiziert die Verwendung von BVT im Genehmigungsfall: *„Die in Absatz 3 genannten Emissionsgrenzwerte, äquivalenten Parameter und äquivalenten technischen Maßnahmen sind vorbehaltlich des Artikels 10 auf die besten verfügbaren Techniken zu stützen, ohne daß die Anwendung einer bestimmten Technik oder Technologie vorgeschrieben wird“*. Damit werden die Emissionsgrenzwerte und äquivalenten Parameter entsprechend den nach den Kriterien des Anhangs IV, IVU-RL, bestimmten BVT festgelegt. Art. 10 sieht darüber hinaus vor, daß zusätzliche Auflagen in der Genehmigung vorzusehen sind, soweit die geforderten Umweltqualitätsnormen nicht durch die Anwendung der BVT zu erfüllen sind.

Zusammenfassend läßt sich festhalten, daß BVT im Rahmen der IVU-Richtlinie als technische Basis zur Fixierung von Anforderungen dienen. Diese Anforderungen können dabei sowohl geeignete Vorsorgemaßnahmen gegen Umweltverschmutzung, als auch Emissionsgrenzwerte oder andere äquivalente Parameter umfassen.

3 Aktivitäten zur Bestimmung von BVT zur Umsetzung der IVU-RL in Europa

In diesem Kapitel werden wichtige Aktivitäten zur Bestimmung von BVT im Rahmen der Umsetzung der IVU-RL in der Europäischen Gemeinschaft auf Gemeinschaftsebene sowie auf Ebene der Mitgliedstaaten dargestellt. Zunächst folgt eine Aufstellung von Arbeiten, die im Rahmen des Informationsaustauschs über BVT gemäß Art. 16 Abs. 2 der IVU-RL auf Ebene der EG initiiert wurden. Anschließend werden Aktivitäten auf Gemeinschaftsebene vorgestellt, die zwar nicht direkt durch die IVU-RL gefordert sind, die sich aber im Rahmen der Umsetzung als notwendig erwiesen haben und auf die Entwicklung einer systematischen, strukturierten und konsistenten Vorgehensweise für Auswahl von BVT in den einzelnen von der IVU-RL betroffenen Industriesektoren abzielen. Im letzten Abschnitt werden, konkretisiert für den Mitgliedstaat Deutschland, wesentliche Arbeitsschritte dargestellt, die auf Ebene der einzelnen Mitgliedstaaten zur Umsetzung der IVU-RL und insbesondere im Rahmen der Bestimmung von BVT erforderlich sind.

3.1 Informationsaustausch auf europäischer Ebene

Nach Art. 16 Abs. 2 der IVU-RL führt die Europäische Kommission einen Informationsaustausch zwischen den Mitgliedsstaaten und den betroffenen Industrien durch, der sich mit BVT, verbundenen Überwachungsmaßnahmen und Entwicklungen auf diesem Gebiet befaßt. Mit diesem Informationsaustausch wurde von der Kommission bereits Anfang 1995 im Vorgriff auf die Verabschiedung der Richtlinie begonnen [67]. Die Kommission hat in den beiden Dokumenten „*Overall Organisation and Working Procedures of the Information Exchange on Best Available Techniques (BAT) under Directive 96/61/EC on IPPC*“ [20] und „*General Task Description for TWGs*“ [19] die grundlegende Vorgehensweise für den Informationsaustausch festgelegt. Auf diese beiden Dokumente beziehen sich auch im wesentlichen die folgenden Ausführungen. Ziele des Informationsaustauschs nach Art. 16 Abs. 2, IVU-RL sind u.a. [20, Erwägungsgrund 25, IVU-RL]:

- die Beobachtung und Untersuchung von BVT weltweit für alle industriellen Aktivitäten des Anhang I der IVU-RL,
- der Informationsaustausch über die Techniken, die den Kriterien des Art. 2 Abs. 11 und des Anhang IV der IVU-RL entsprechen,
- die Ableitung von Verbrauchs- und Emissionswerten zur Leistung der BVT, um diese den Behörden, der Industrie, Umweltverbänden und der Öffentlichkeit zur Verfügung zu stellen,
- die Erleichterung der Bestimmung von BVT auf der Ebene einzelner Anlagen,
- einen Beitrag zum Ausgleich von Ungleichgewichten auf technologischer Ebene in der Gemeinschaft zu leisten.

Ein zentrales Element zur Veröffentlichung der Ergebnisse des Informationsaustauschs über

BVT sind sogenannte BVT-Merkblätter (englisch: BAT Reference Documents, BREFs). Sie enthalten alle im Rahmen des Austauschs gesammelten relevanten Informationen einschließlich der als BVT identifizierten Techniken und den mit diesen erreichbaren Emissions- und Verbrauchswerten.

Im folgenden wird kurz die von der Kommission geschaffene Organisationsstruktur zur Koordination des Informationsaustauschs dargestellt. Anschließend folgt eine knappe Charakterisierung des BVT-Pilotpapiers Ammoniakerzeugung, das im Vorfeld der Verabschiedung der IVU-Richtlinie erstellt wurde. Die Erfahrungen bei der Erstellung dieses Papiers prägten maßgeblich die Vorgaben für die weiteren zu erstellenden BREFs.

Organisationsstruktur des Informationsaustauschs über BVT

Zur Umsetzung des Art. 16 Abs. 2 wurde von der Kommission das folgende Vorgehen eingeführt [115]:

- Beschreibung von BVT für alle Anlagenarten des Anhang I der IVU-RL im Rahmen eines mehrjährigen Arbeitsprogramms in sektorbezogenen BVT-Merkblättern
- Sammlung der erforderlichen Informationen im Rahmen sektorbezogener Arbeitsgruppen, bestehend aus Vertretern von Mitgliedsländern, Industrie und Umweltverbänden
- Textliches Abfassen der Entwürfe der jeweiligen Merkblätter durch ausgewählte Experten
- Vorlage der Entwürfe der Merkblätter an Vertreter der Mitgliedstaaten und der Industrie zur Zustimmung bzw. Kommentierung

Zur Koordination des Informationsaustauschs wurde ein sogenanntes „Information Exchange Forum“ (IEF) eingerichtet, das sich aus Vertretern der Mitgliedsstaaten, der Industrie und Umweltverbänden zusammensetzt. Den Vorsitz des IEF führt die EU-Kommission, DG Umwelt. Das IEF richtet für die von der IVU-RL betroffenen Industriesektoren sogenannte „Technical Working Groups“ (TWGs) ein. Die TWGs entsprechen in ihrer Einteilung zwar nicht genau der Gliederung der industriellen Aktivitäten in Anhang I der IVU-Richtlinie, decken aber in ihrer Gesamtheit alle von der IVU-Richtlinie betroffenen Industrien ab. Die TWGs setzen sich wiederum aus Experten der Mitgliedsstaaten, der Industrie- und Umweltverbände zusammen. Sie dienen als Forum für Informationsaustausch und Diskussionen und haben die Aufgabe, Informationen zu sammeln und BVT des jeweiligen Industriesektors zu bestimmen.

Zur technischen und administrativen Unterstützung der TWGs wurde das European Integrated Pollution Prevention and Control Bureau (EIPPCB) in Sevilla als neutrale Institution eingerichtet. Aufgabe des EIPPCB ist es, Informationen von allen TWG-Mitgliedern und sonstigen Quellen zu sammeln und diese in Entwürfe für BVT-Merkblätter umzusetzen. Der Zuschnitt der BVT-Merkblätter wird im Vorfeld durch das IEF abgesteckt und ggf. durch die jeweilige

TWG konkretisiert. Vom EIPPCB erstellte Entwurfsversionen für BVT-Merkblätter werden den Mitgliedern der jeweiligen TWGs zur Kommentierung vorgelegt und nach Berücksichtigung aller Kommentare dieser Expertenrunde zur Bewertung an das IEF weitergeleitet. Während des Abstimmungsprozesses ist es Aufgabe des EIPPCB, das IEF über den aktuellen Stand der Arbeiten zu unterrichten.

Das dargestellte Vorgehen zur Umsetzung des Art. 16 Abs. 2, IVU-RL wird somit durch das IEF koordiniert und vom EIPPCB maßgeblich begleitet. In Abbildung 3.1-1 ist in einer Übersicht der Kommunikationsfluß bei der Erstellung von BVT-Merkblättern zur Umsetzung des Art. 16 Abs. 2 der IVU-RL schematisch dargestellt.

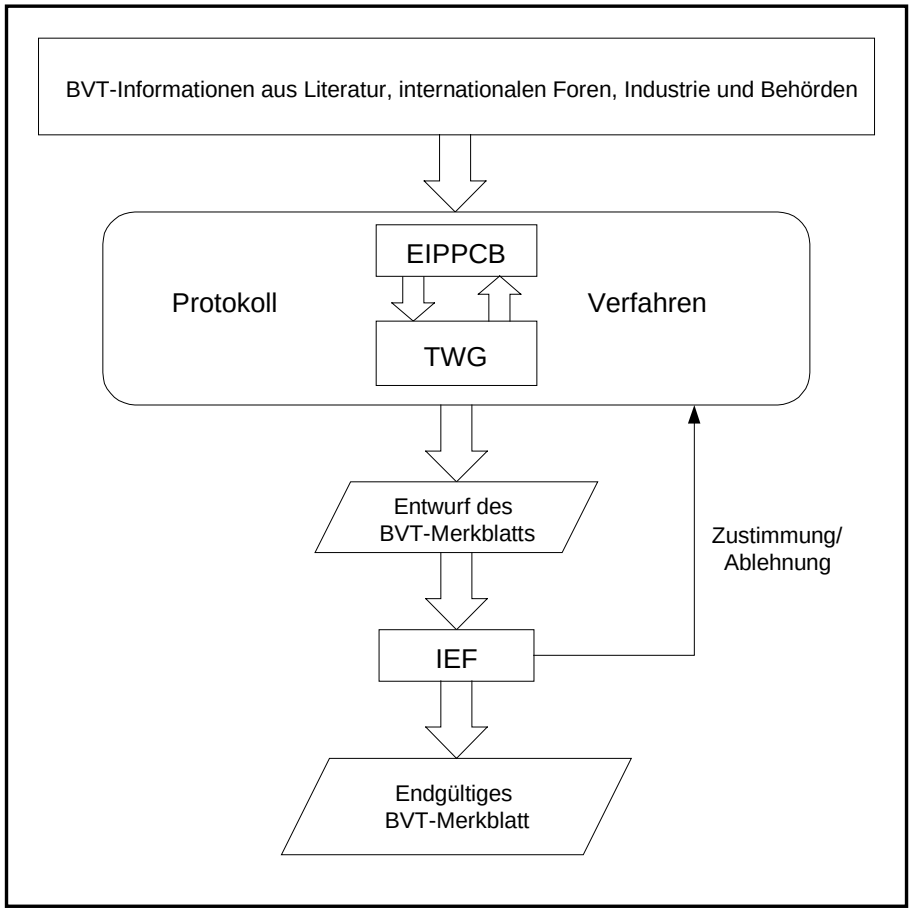

Abbildung 3.1-1: Struktur des europäischen Informationsaustauschs über BVT

Quelle: Umweltbundesamt

BVT-Pilotpapier

Bereits vor der offiziellen Einrichtung des EIPPCB hat die EU-Kommission, DG XI, das Institute for Prospective Technological Studies (IPTS) in Sevilla beauftragt, im Rahmen eines Pilotprojekts ein BVT-Pilotpapier über die Ammoniakerzeugung [12] zu erstellen. Ziel dieses Pilotpapiers war die Entwicklung einer tragfähigen Struktur für BVT-Merkblätter und das Sammeln erster Erfahrungen für den von der IVU-Richtlinie geforderten Informationsaustausch. Das Papier wurde von einem eigens dafür eingerichteten Expertengremium (entspre-

chend den späteren TWGs) erarbeitet. Aufgabe des IPTS war es, den Informationsaustausch zu koordinieren und das BVT-Merkblatt zu verfassen. Bei der Erstellung dieses ersten Papiers hat sich bereits die Organisationsstruktur herausgebildet, die nun bei den anderen Industriebereichen zum Tragen kommt. Das EIPPCB wurde nach einer öffentlichen Ausschreibung am IPTS eingerichtet und ist für die Koordination des Informationsaustauschs und die Erstellung der BVT-Merkblätter verantwortlich. Die nach den Erfahrungen bei der Erstellung des Pilot-BVT-Merkblatts „Ammoniakerzeugung“ entwickelte Vorgabe für den Aufbau von BVT-Merkblättern ist in Tabelle 3.1-1 in einer verkürzten Übersicht dargestellt.

Tabelle 3.1-1: Allgemeiner Aufbau von BVT-Merkblättern

Chapter/Kapitel	Inhalt
Preface	Vorwort
Executive Summary	Kurze Zusammenfassung des Merkblattes
1. General Information	Gesamtwirtschaftliche Daten über den Sektor
2. Applied Processes and Techniques	Kurze Beschreibung existierender Herstellungsverfahren
3. Present Consumption/Emission Levels	Input/Outputniveaus der Verfahren
4. Techniques to consider in the determination of BAT - Available Techniques - Environmental Performance (levels of emission/consumption) - Economic Performance	Techniken, die bei der Bestimmung von BVT in Betracht zu ziehen sind - Verfügbare Techniken - Umweltleistung (Verbrauchs- und Emissionswerte) - Wirtschaftliche Aspekte
5. Best Available Techniques	Bestimmung/Auswahl und Beschreibung der BVT
6. Emerging Techniques	Darstellung neuer Techniken, die u.U. zukünftig BVT werden können
7. Conclusions and Recommendations	Schlußfolgerungen und Handlungsempfehlungen
8. Annexes - Literature - Detailed figures on the sector - Existing national and international legislation - Monitoring of emissions - Technical information on candidate BAT	Anhang - Literatur - Genaueres Zahlenmaterial über den Industriesektor - Nationale und internationale Gesetzgebung - Emissionsüberwachung - Technische Angaben im Detail zu BVT-Kandidaten

Quelle: in Anlehnung an [19]

3.2 Sektorspezifische Bestimmung von Besten Verfügbaren Techniken auf europäischer Ebene

Zur Unterstützung der Bestimmung von BVT und verbundener Abstimmungsprozeduren gibt es Bestrebungen seitens der EU-Kommission, eine Methode zur Bewertung von BVT bereitzustellen. Dabei soll insbesondere die Auswahl geeigneter Techniken unter Berücksichtigung von Aspekten des medienübergreifenden Umweltschutzes unterstützt werden. Auf Initiative der Niederlande wurde 1996 in Den Haag ein Treffen zum Informationsaustausch über Bewertungsmethoden durchgeführt. Als Ergebnis dieses Treffens, an dem Vertreter der Europäischen Kommission, Großbritanniens und Deutschlands teilnahmen, beauftragte die Kommis-

sion das irische Beratungsbüro O'Cleirigh mit einer Studie über den integrierten Umweltschutz auf Basis von BVT [18].

Ziel der Studie war es, auf Grundlage einer Beschreibung des Konzepts der BVT Methoden zur Bestimmung von integrierten BVT auf Sektor- und Anlagenebene zu entwickeln. Dazu wurden Genehmigungsverfahren deutscher, irischer, niederländischer, schwedischer und britischer Behörden untersucht und auf Empfehlung dieser Behörden Anlagen für Fallstudien ausgewählt. Im folgenden wurde ein Vorschlag für eine Methodik zur Unterstützung der BVT-Bewertung auf Sektor- und auf Anlagenebene abgeleitet. Es sollte die Sammlung von Daten formalisiert und ein einheitlicher Bewertungsansatz im Bereich der EU sichergestellt werden. Die Bewertung des von O'Cleirigh entwickelten Ansatzes beruht auf der Berechnung eines sogenannten „Environmental Impact Index" (EII), der Auswirkungen aller relevanten Emissionen in die Umweltmedien Wasser, Luft und Boden adäquat berücksichtigen soll. An dieser Methode wurde seitens des IEF und Deutschland u.a. der hohe Aggregationsgrad der EII und die fehlende Möglichkeit, umweltrelevante Stoffe nicht nur bezüglich einzelner Medien zu gewichten, sondern auch Quervergleiche zwischen verschiedenen Umweltmedien zuzulassen sowie die mangelnde Einflußmöglichkeit von Experten kritisiert (vgl. auch Kapitel 5 im vorliegenden Bericht).

Aufgrund der Dringlichkeit des Bedarfs einer medienübergreifenden Bewertungsmethode zur sektorspezifischen BVT-Bestimmung auf europäischer Ebene wurde ein Arbeitskreis am UBA einberufen. Die Treffen des Arbeitskreises wurden vom DFIU im Rahmen dieses Projekts begleitet mit dem Ziel, existierende Bewertungsansätze, die vom UBA entwickelt bzw. angewendet werden, mit den Anforderungen der IVU-RL abzugleichen. Um die Ergebnisse EU-weit zur Verfügung zu stellen und zu diskutieren und um die in Den Haag aufgenommenen Aktivitäten fortzuführen, wurde mit Unterstützung der DG XI in Berlin 1998 ein weiterer Workshop [97] veranstaltet, der mit der Teilnahme von 130 Experten auf große Resonanz stieß. Inhalt des Workshops war die Präsentation und Diskussion unterschiedlicher Bewertungsansätze. Dabei wurde insbesondere als Ziel verfolgt, eine produktive Debatte im Information Exchange Forum zu erleichtern und die Diskussionen in den TWGs zu bereichern. Als Ergebnis des Workshops bleibt festzuhalten, daß der Wunsch nach einer gemeinsamen, konsistenten und integrierten Bewertungsmethode übereinstimmend vorhanden ist, jedoch noch weitere Schritte zur Entwicklung einer solchen Methode erforderlich sind. Weiterhin wurde festgestellt, daß aufgrund der Komplexität der Umsetzung der IVU-RL jede Bewertungsmethode nur eine vereinfachte Darstellung der realen Zusammenhänge ermöglicht, indem einzelne Probleme besonders beleuchtet werden. Eine vollständige Verknüpfung aller Einzelprobleme wird auch in Zukunft schwerlich erreichbar sein. Ein strukturiertes Vorgehen nach konsistenten Regeln wird jedoch den Entscheidungsprozeß transparenter und effizienter gestalten

und damit zur Harmonisierung der Anforderungen an industrielle Anlagen in der EU erheblich beitragen.

3.3 Informationsbereitstellung auf nationaler Ebene

Im Rahmen der Umsetzung der IVU-RL sind aus Sicht dieses Projekts auf nationaler Ebene vier Aufgabenbereiche zu identifizieren. Zum einen erfordert die Verwirklichung des integrierten Genehmigungsverfahrens für Industrieanlagen in der Europäischen Gemeinschaft in Form einer Richtlinie die *Umsetzung der IVU-RL in nationales Recht*. Da die Darstellung der Arbeiten zur Umsetzung der IVU-RL in deutsches Recht nicht Bestandteil dieses Projekts ist, werden sie aber an dieser Stelle nicht weiter vertieft. In der Literatur finden sich dazu jedoch eine Reihe von Veröffentlichungen (vgl. etwa [35], [80]).

Um den Informationsaustausch nach Art. 16 Abs. 2, IVU-RL, erfolgreich zu gestalten, ergeben sich die weitere, wesentliche Aufgabenbereiche. Diese entstehen zum einen aus der Notwendigkeit einer Unterstützung des geforderten Informationsaustauschs zu BVT und zum anderen dem Bedarf der Entwicklung einer akzeptierten Methodik zur Bewertung und Auswahl von BVT. Ein zweites Aufgabengebiet umfaßt damit die *Bereitstellung von Informationen zu BVT für die industriellen Aktivitäten des Anhang I* der IVU-RL. Zur Unterstützung des Informationsaustausches und des EIPPCB ist es sinnvoll, auf nationaler Ebene die Informationen über den Stand der in Deutschland angewandten Techniken bereits in an den späteren BVT-Merkblättern angelehnter Form zu erarbeiten. Ein wesentlicher deutscher Beitrag ist hier die Erstellung von sogenannten Positionspapieren zum integrierten Umweltschutz, wie sie im Rahmen des durchgeführten Projekts für die Sektoren „Eisen und Stahl“ und „Nichteisen-Metallindustrie“ im Auftrag des UBA vom DFIU erarbeitet wurden (vgl. ausführlicher Kapitel 4.3 bis Kapitel 4.7). Diese Papiere werden in die TWGs als Hintergrundinformationen eingebracht, um die Arbeiten in Sevilla entsprechend zu unterstützen. Ein sich anschließendes drittes Aufgabengebiet ist die *Kommentierung von Entwürfen zu BREFs*, die den Teilnehmern der TWGs vom EIPPCB vorgelegt werden In Deutschland organisiert das Umweltbundesamt in seiner Funktion als „national focal point“ diese Kommentierung auf Bund- und Länderebene. Die geplante Struktur dieser Abstimmungsvorgänge ist in Abbildung 3.3-1 in einer Übersicht dargestellt.

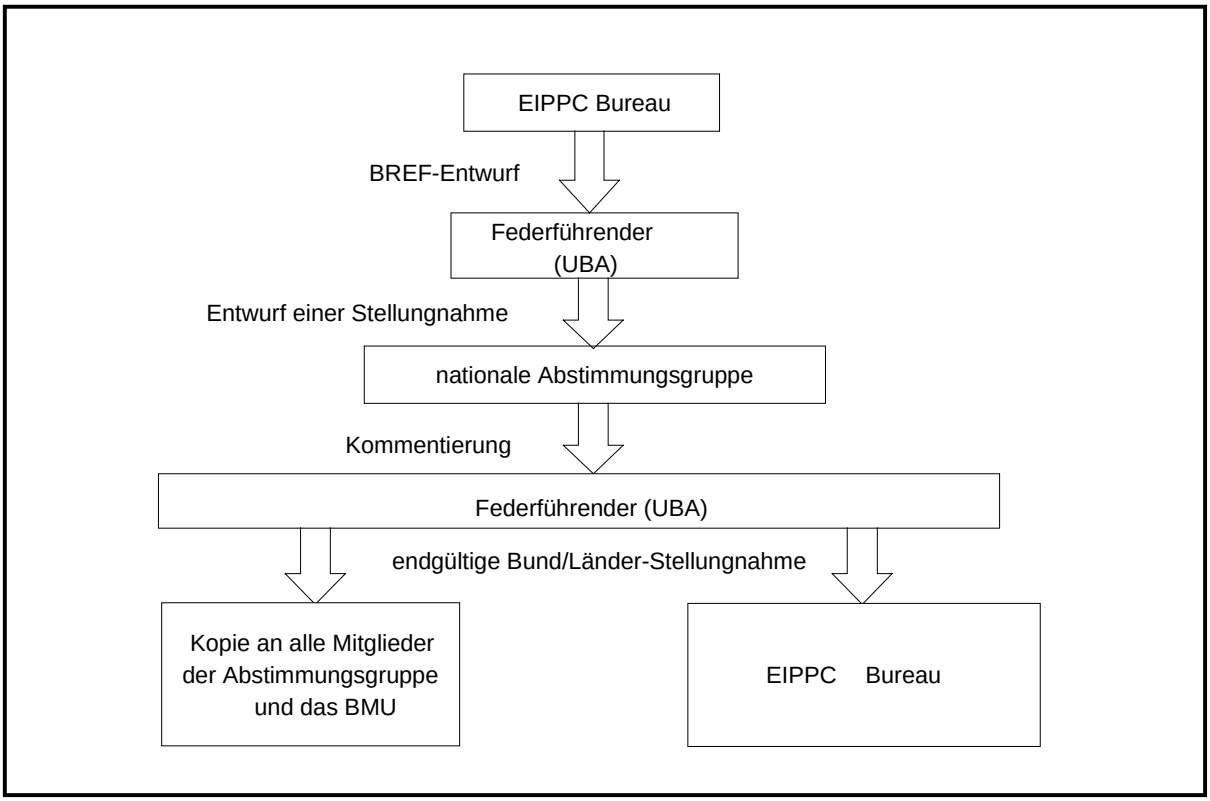

Abbildung 3.3-1: Struktur der Abstimmung und Kommunikation über BVT auf nationaler Ebene

Quelle: Umweltbundesamt

Die Arbeiten des DFIU im Kontext der Kommentierung von BREFs im besonderen und der Unterstützung der TWGs im allgemeinen werden in den Kapiteln 4.1 und 4.2 dargestellt. Parallel zum technischen Informationsaustausch ist ein weiteres Aufgabengebiet, wie bereits in Kapitel 3.2 angeführt wurde, die *Unterstützung der Entwicklung einer allgemein akzeptierten Bewertungsmethodik*. Aktivitäten in diesem Bereich werden zwar nicht explizit durch die IVU-RL gefordert, sind aber im Rahmen der Mitwirkung bei Aktivitäten auf europäischer Ebene von Bedeutung. Eine ausführliche Zusammenfassung der Beiträge des DFIU zur Entwicklung einer solchen Bewertungsmethodik findet sich in Kapitel 5 des vorliegenden Berichts.

4 Erstellung von BVT-Positionspapieren im Rahmen des internationalen Informationsaustauschs gemäß Artikel 16.2 der IVU-RL

In diesem Kapitel werden die schriftlichen und organisatorischen Beiträge des DFIU zur Unterstützung des europäischen Informationsaustauschs über BVT in der Metallindustrie dargestellt, die im Auftrag des Umweltbundesamtes im Rahmen des Forschungsprojekts „*Exemplarische Untersuchung zum Stand der praktischen Umsetzung des integrierten Umweltschutzes in der Metallindustrie und Entwicklung von generellen Anforderungen*“ erarbeitet wurden. Zunächst folgt eine Übersicht über alle wesentlichen Beiträge, die das DFIU im Rahmen der Mitwirkung in mehreren TWG am EIPPCB in Sevilla erstellte. Anschließend werden die zentralen schriftlichen Beiträge in ausführlicher Form dokumentiert. Dies erfolgt durch erweiterte Zusammenfassungen der Berichte zum Stand des integrierten Umweltschutzes, die das DFIU im Original in englischer Sprache zur Unterstützung des vom EIPPCB koordinierten Informationsaustauschs anfertigte. Ziel dieser sogenannten Positionspapiere ist die Bereitstellung ausführlicher technischer Hintergrundinformationen aus deutscher Sicht für die Erstellung europäischer „*Reference Documents on BAT*“.[1]

4.1 Mitarbeit in den Technical Working Groups am EIPPCB in Sevilla

Im Rahmen des Forschungsprojektes ist das DFIU an der Arbeit folgender technischer Arbeitsgruppen im Bereich der Metallindustrie aktiv beteiligt:

- Iron and Steel (TWG IS)
- Ferrous Metals Processing (TWG FMP)
- Non-Ferrous Metal Processes (TWG NFM)

Der Informationsaustausch zu BVT auf europäischer Ebene wird dabei vom DFIU auf mehreren Ebenen unterstützt. Ein grundlegender Beitrag ist die Zusammenstellung von Informationen zum Stand des integrierten Umweltschutzes in den Industriebereichen Primär- und Elektrostahlerzeugung (TWG IS), Verarbeitung von Stahl in Warm- und Kaltwalzwerken und kontinuierliche Oberflächenverzinkung von Stahl (TWG FMP) sowie Erzeugung von Zink, Blei und Kupfer (TWG NFM) in Deutschland. Das DFIU erstellte dazu Berichte über Beste Verfügbare Techniken, sogenannte Positionspapiere, und Informationssammlungen in Abstimmung und Zusammenarbeit mit Industrie- und Behördenvertretern. Da die Positionspapiere als Referenzberichte dem EIPPCB unmittelbar zur Verfügung stehen sollten, wurden vom DFIU folgende Berichte in englischer Sprache verfaßt:

- „*Report on Best Available Techniques in the Electric Steelmaking Industry*”
- „*Report on Best Available Techniques in the German Ferrous Metals Processing Industry*”

[1] Die im weiteren vorgestellten Positionspapiere sind vollständig im Original in den Ergänzungsbänden 1 (Stahlindustrie) und 2 (NE-Metallindustrie) zu diesem Bericht enthalten.

- „*Report on Best Available Techniques in German Zinc and Lead Production*"
- „*Report on Best Available Techniques in German Copper Production*"

Weiterhin wurde eine „*Informationssammlung zum Stand der Primärstahlerzeugung in Deutschland*" durch das DFIU erarbeitet. Die Informationssammlung ist maßgeblicher Bestandteil der Kommentierung eines Berichts des niederländischen Umweltministeriums zu BVT in der Primärstahlerzeugung [vgl. 68], die das DFIU im Auftrag des Umweltbundesamts zur Überprüfung und Übertragung der Ergebnisse dieses Berichts auf Deutschland durchführte. Der niederländische Beitrag zum Informationsaustausch wurde ebenso wie die Informationssammlung und Positionspapiere des DFIU dem EIPPCB als Hintergrundmaterial zur Verfügung gestellt.

Als zweiter Beitrag zur Unterstützung des Informationsaustauschs erfolgte im Rahmen des Projekts die Teilnahme an den Sitzungen der oben angeführten TWG in Sevilla. Bis zur Fertigstellung dieses Endberichts fanden folgende Sitzungen mit Beteiligung des DFIU statt:

- TWG 1 Iron and Steel, 22.-23. Mai 1997
- TWG 2 Iron and Steel (Final Meeting), 18.-20. November 1998
- TWG 1 Primary and Secondary Non Ferrous Metals, 20.-23. Januar 1998
- TWG 1 Ferrous Metals Processing, , 11.-12. Dezember 1997

Weiterhin wurden die bis dato vom EIPPCB erstellten Entwürfe für BREFs vom DFIU in fachlicher Hinsicht kommentiert, so daß Kommentare über das Umweltbundesamt an das EIBBCB zu folgenden Entwürfen für BREFs übermittelt wurden:

- Draft Reference Document on Best Available Techniques in the Iron and Steel Industry (September 1997)
- Draft Reference Document on Best Available Techniques in the Iron and Steel Industry (August 1998)
- Draft Reference Document on Best Available Techniques in the Ferrous Metals Processing Industry (December 1998)
- Draft Reference Document on Best Available Techniques in Non Ferrous Metals Industries (October 1998)

Schließlich ist das DFIU an zahlreichen Unterabstimmungsgruppen beteiligt, die sich auf nationaler und internationaler Ebene mit der Bestimmung von BVT zur Unterstützung des Informationsaustauschs beschäftigen.

4.2 Informationssammlung zum Stand der Primärstahlerzeugung in Deutschland

Die vorliegende Informationssammlung gibt einen Überblick über den Stand der Technik der primären Stahlerzeugung in Deutschland, d.h. Informationen zur Rohstahlproduktion entlang der Route Sinteranlage-Hochofen-Konverter. Ziel der Informationssammlung ist ein Vergleich des in Deutschland implementierten Standes mit den Vorschlägen des EIPPCB zu besten verfügbaren Techniken[2] im *BREF on the Production of Iron and Steel, July 1999*. In nächsten Abschnitt folgt zunächst ein allgemeiner Überblick über die Industriebranche „Primärstahlerzeugung“ in Deutschland. In den weiteren Abschnitten werden die Hauptproduktionsaggregate Sinteranlage, Kokerei, Hochofen, Roheisenvorbehandlung, Stahlwerk sowie Stranggießanlage näher dargestellt und Detailinformationen über Einsatzstoffe und entstehende Haupt- und Nebenprodukte sowie Emissionen gegeben. Anschließend wird jeweils geprüft, inwieweit die Vorschläge des EIPPCB zu BVT in deutschen Anlagen eingesetzt sind.

4.2.1 Informationen zur Branche

Tabelle 4.2-1 zeigt die Produktionsmengen von Roheisen und Rohstahl in Deutschland im Jahre 1995. In deutschen Hochöfen wird fast ausschließlich phosphorarmes Roheisen produziert (97,6 %). Die Stahlerzeugung in Oxygenstahlwerken hat in Deutschland einen Anteil von 75,9 % und ist damit trotz eines steigenden Anteils der Elektrostahlerzeugung nach wie vor das wichtigste Verfahren. Zur Stahlerzeugung in Oxygenstahlwerken wurden 1995 5,785 Mio. t Schrott eingesetzt. Ein regionaler Schwerpunkt der primären Stahlerzeugung in Deutschland befindet sich in Nordrhein-Westfalen, wie ein Vergleich des Verhältnisses der Roheisenerzeugung zur Rohstahlerzeugung für dieses Bundesland mit dem Verhältnis von Gesamtdeutschland verdeutlicht.

Tabelle 4.2-1: Erzeugung von Roheisen und Rohstahl in Deutschland

Roheisenerzeugung			Rohstahlerzeugung		Verhältnis Roheisen- zur Rohstahlerzeugung (%)		Schrottverbrauch zur Rohstahlerzeugung	
gesamt (inkl. Gießereiroheisen)	phosphorarm	phosphorhaltig	gesamt	Oxygenstahl	D	NRW	gesamt	Oxygenstahl
30.012	28.562	717	42.051	31.908	71,4	83,1	15.672	5.785

Angaben in 1.000t (1995)

Quelle: Wirtschaftsvereinigung Stahl [113]

---

[2] Ursprünglich war die Informationssammlung Bestandteil der Kommentierung des Berichts „*Dutch Notes on BAT for the Production of Primary Iron and Steel*“, der im Auftrag der niederländischen Regierung zusammengestellt wurde. In dieser Studie [68] werden beste verfügbare Techniken für die Primärstahlerzeugung vorgeschlagen. Der Bericht wurde, wie die im weiteren vorgestellten Berichte des DFIU/UBA, dem EIPPCB in Sevilla als Hintergrundmaterial zur Verfügung gestellt. Die Ergebnisse der Dokumente wurden jeweils größtenteils in das vom EIPPCB erstellte BREF aufgenommen; die Ergebnisse der Informationssammlung können daher entsprechend auf das BREF übertragen werden.

Abbildung 4.2-1 zeigt die Standorte der Primärstahlproduktion in Deutschland, die historisch bedingt an den Transportwegen Rhein und Ruhr, aber auch im Saarland und in Salzgitter in der Nähe zu Rohstoffvorkommen (Kohle, Eisenerz) entstanden.

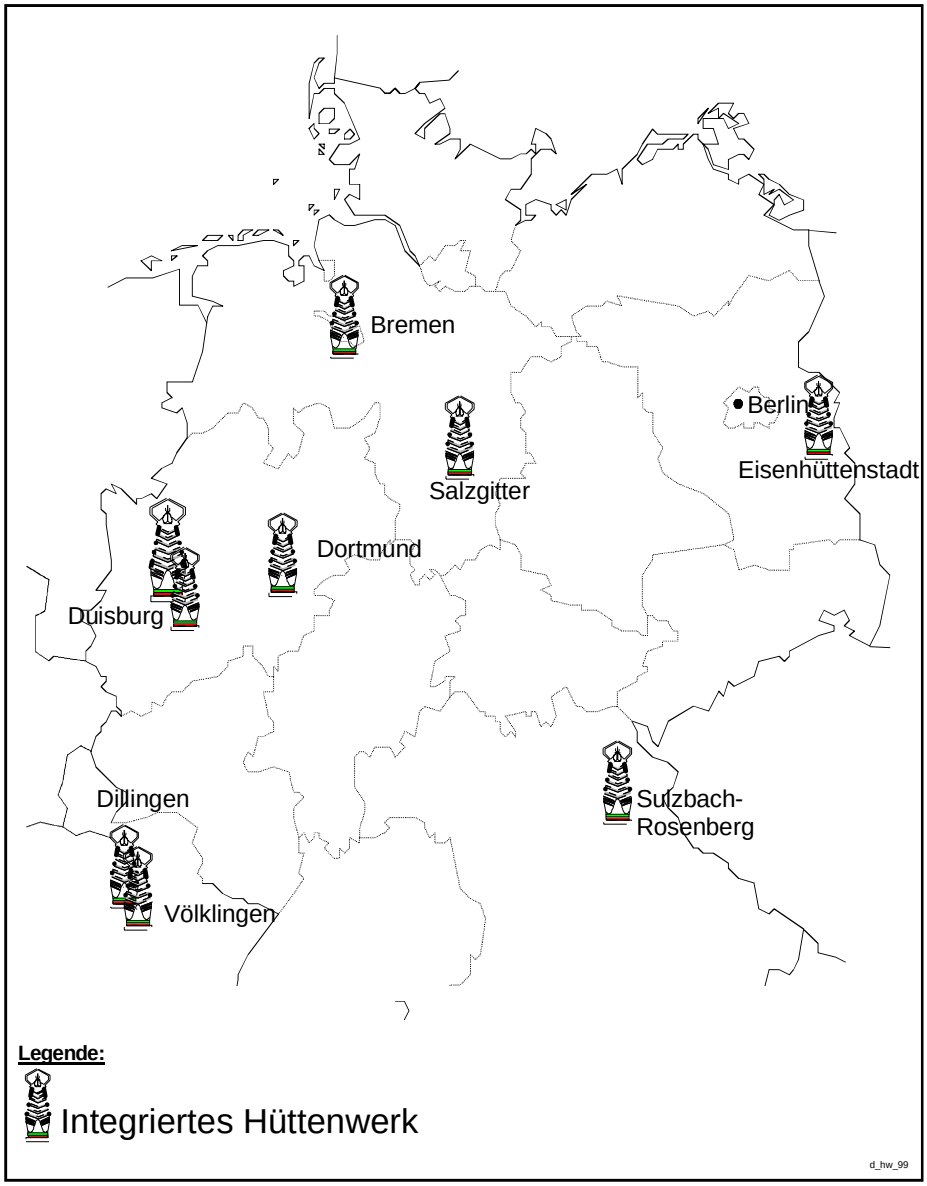

Abbildung 4.2-1: Standorte von integrierten Hüttenwerken in Deutschland

Quelle: Firmeninformationen, Wirtschaftsvereinigung Stahl (Hrsg.) [113]

In Tabelle 4.2-2 sind Betreiber der einzelnen Standorte aufgeführt, zusätzlich sind Angaben zur Produktionsmenge und der derzeitigen Anlagenstruktur enthalten.

Tabelle 4.2-2: Daten zu integrierten Hüttenwerken in Deutschland[3]

Betreiber	Jahreserzeugung (1995)	Mio. t	Ausgewählte Produktionsanlagen
EKO Stahl GmbH, Eisenhüttenstadt	Roheisen Rohstahl Walzwerkserzeugnisse	1,486 1,719 1,037	Sinteranlage, 2 Hochöfen, Roheisenentschwefelung, 2 Sauerstoffaufblaskonverter, 2 Stranggießanlagen (Brammen 2 Stränge / Vorblöcke 6 Stränge)
Hüttenwerke Krupp- Mannesmann GmbH, Duisburg	Roheisen Rohstahl	3,70 4,32	Sinteranlage, Kokerei, 2 Hochöfen 2 LD-Wechselkonverter, 3 Pfannenbehandlungsstände, 4 Stranggießanlagen (Brammen/Rund)
Krupp Hoesch Stahl AG, Dortmund	Rohstahlaufkommen (inkl. Brammenzulieferungen HKM)	6,8	Sinteranlage (2 Sinterbänder), 3 Hochöfen, 3 Stände zur Roheisenvorbehandlung, 3 LD-Konverter, Stahlfeinung/Vakuumbehandlung, 3 Brammenstranggießanlagen
Preussag Stahl AG, Salzgitter	Roheisen Rohstahl Walzstahlversand	4,278 4,73 3,995	Sinteranlage, Kokerei, 2 Hochöfen, 3 Konverter, Stahlentgasung, 2 Brammenstranggießanlagen
Roheisengesellschaft Saar mbH, Dillingen	Roheisen	3,544	2 Sinteranlagen, 4 Hochöfen
Saarstahl AG, Völklingen	Rohstahl Walzstahlerzeugnisse	2,44 2,17	RE-Entschwefelungsanlagen, 3 LD-Konverter, 4 Stranggießanlagen (sechsadrig)
AG der Dillinger Hüttenwerke, Dillingen	Rohstahl Grobblech	1,752 1,178	2 LD-Konverter, 2 Stranggießanlagen, 1 Blockgußanlage
Stahlwerke Bremen GmbH, Bremen	Rohstahl Walzstahlerzeugnisse	3,11 3,074	Sinteranlage, 2 Hochofen, RE-Entschwefelung, LD-Konverter, Brammenstranggießanlage
NMH Stahlwerke GmbH, Sulzbach-Rosenberg	Rohstahl	0,45	Hochofen, OBM-Stahlwerk
Thyssen Stahl AG, Duisburg	Roheisen Rohstahl Roh-, Walzstahl für Verkauf	9,2 10,7 10,4	3 Sinteranlagen, Hüttenkokerei, 4 Hochöfen, 3 LD-Stahlwerke, 3 Stranggießanlagen

Quelle: VDEh [105]

4.2.2 Informationen zum Bereich Sinteranlage

Der Sinterprozeß zum Stückigmachen von feinkörnigen eisenhaltigen Einsatzmaterialien wird in Deutschland zur Vorbereitung des Eisenerzes für den Hochofenprozeß eingesetzt. Pelletieranlagen als Alternative zur Eisenerzsinterung werden in Deutschland nicht betrieben, die im Hochofen eingesetzten Pellets werden importiert. Darüber hinaus hat der Sinterprozeß eine hohe Bedeutung für die werksinterne Reststoffwirtschaft, da er ein Recycling von weiteren eisenhaltigen Materialien wie Stäuben und Schlämmen aus Anlagen zur Gasreinigung oder auch Walzzunder ermöglicht. Für eine ausführliche Beschreibung des Sinterprozesses und der

[3] Die Mitte 1997 rückwirkend zum 1.4.1997 beschlossene Fusion der Krupp Hoesch Stahl AG, Dortmund, und der Thyssen Stahl AG, Duisburg, ist in der Tabelle 4.2-2 noch nicht berücksichtigt.

eingesetzten Anlagentechnik sei auf die einschlägige Literatur verwiesen (vergleiche u.a. [82], [83], [11]).

4.2.2.1 Sinteranlagen in Deutschland

In Tabelle 4.2-3 sind ausgewählte technische Daten zu den derzeit in Deutschland betriebenen Sinteranlagen zusammengestellt. In diesen Sinteranlagen wird eine Jahresproduktion von insgesamt ca. 28 Mio. t Fertigsinter (1995) erzeugt.

Tabelle 4.2-3: Technische Daten zu Sinteranlagen in Deutschland

Betreiber/ Standort der Anlage(n)	**Baujahr**	**Letzte Mod.**	**Saugfläche gesamt** [m^2]	**Bandbreite** [m]	**Schichthöhe** [mm]	**Bauart Sinterkühler**	**Auslegekapazität** [1000 t/a]
Thyssen Stahl AG, Schwelgern	64	76	150	3,00	540	Druck	2.200
	70	96	444	4,70	550	Druck	6.475
	79	86	250	3,70	550	Dreh	3.600
ROGESA mbH, Dillingen	60*)	91	180	3,00	350	Dreh	2.000
	81	k.A.	258	3,00	500	Dreh	3.000
Krupp-Hoesch Stahl AG, Dortmund	61	82	150	3,00	400	Dreh	1.660
	74	86	174	3,00	500	Dreh	2.660
Preussag Stahl AG, Salzgitter	63	k.A.	180	3,00	400	Zellenrund	1.800
Stahlwerke Bremen GmbH, Bremen	70	k.A.	150	3,00	520	Dreh	1.800
HW Krupp Mannesmann GmbH, Huckingen	72*)	86	400	4,00	650	Schachtring	4.950
DK GmbH, Duisburg	81	k.A.	60	2,50	500	k.A.	380
EKO Stahl GmbH, Eisenhüttenstadt	75	97	156	3,00	500	Kühlung auf dem Band	1.500

*) Diese Anlagen wurde im Rahmen des im Auftrag des UBA vom VDEh durchgeführten Dioxinmeßprogrammes untersucht [90].

Quelle: Jahrbuch Stahl 1997 [105], VDEh [102]

4.2.2.2 Darstellung des Sinterprozesses

Abbildung 4.2-2 zeigt schematisch das Fließbild einer Bandsinteranlage.

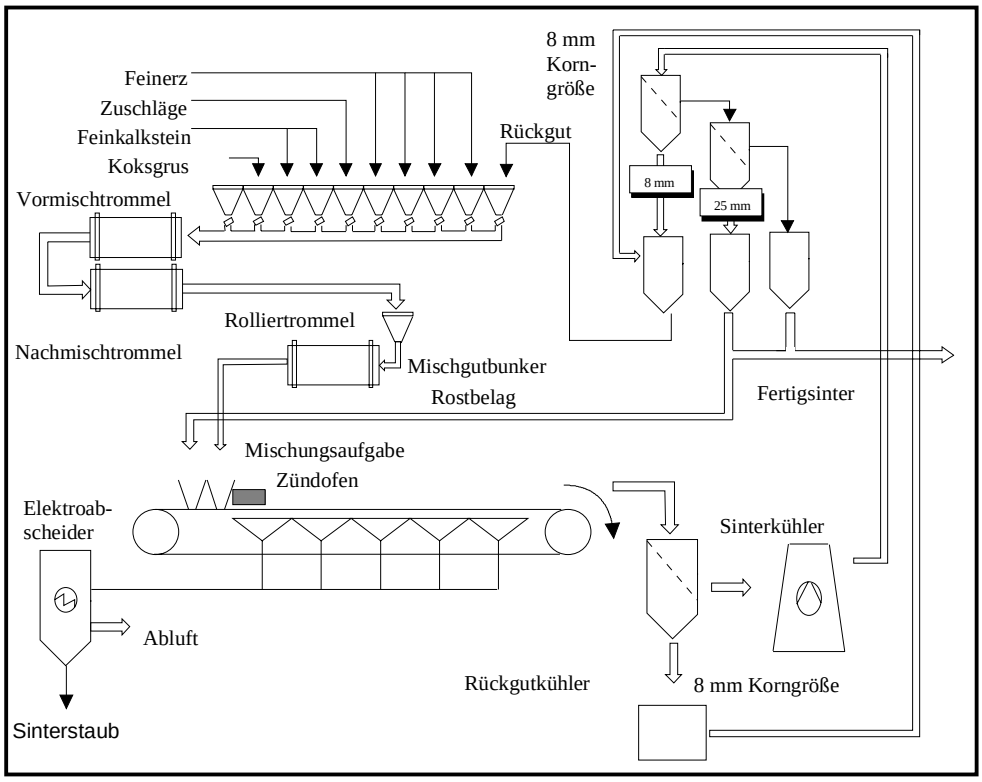

Abbildung 4.2-2: Schematische Darstellung einer Bandsinteranlage

Quelle: Rentz et al. [83]

Als Einsatzstoffe werden pro Tonne Erzmischung 40-60 kg Koksgruß (Brennstoff), 10-25 kg Branntkalk und 300-600 kg zurückgeführter Feinanteil zugegeben. Zusätzlich erfolgt eine Anfeuchtung der Sintermischung durch Wasser. Pro Tonne Fertigsinter ist beim Sintern der Einsatz von etwa 1.500-2.500 Nm³ Sinterluft notwendig ([36],[11]). Nach der Durchmischung, die i.d.R. in Mischbetten, Rollier- und Mischtrommeln abläuft, wird das Einsatzmaterial in entsprechender Schichthöhe auf das Sinterband gebracht und durchläuft anschließend die Teilprozesse Trocknung, Sinterung, Warmabsiebung, Sinterkühlung und Kaltabsiebung. Theobald [90] nennt als Produktionsleistung Werte zwischen 30-32,7 t Fertigsinter/(d*m²) (z.B.: ROGESA 31,4t/(d*m²)). Eine Zusammenstellung ausgewählter Angaben enthält Tabelle 4.2-4.

Tabelle 4.2-4: Ausgewählte technische Daten zu Elektroabscheidern von Sinteranlagen

Technische Daten	Einheit	ROGESA	HKM
Hersteller/Baujahr/Umbau	-	BSH/1978/1993	Lurgi/1971/k.A.
Bau- und Betriebsdaten der Elektroabscheider			
Abgasvolumenstrom	Nm³/h	495.000	2*533.000
Wirksame Abscheidungsfläche	m²	15.768	2*17.850
Gassenbreite	cm	30	25
Druckverlust	Pa	200	250
Nennleistung des Gebläses	kW	2*2.000	2*7.000
Abgastemperatur (vor Filter)	°C	180-200	100-150
Eindüsen von Wasser, ...	-	nein	nein

Quelle: Theobald [90]

Bei den von Theobald untersuchten Sinteranlagen werden als Abgasvolumenstrom pro Elektroabscheider etwa 500.000 Nm³/h angegeben, die Abreinigung erfolgt mechanisch. Das entstehende Prozeßgas wird den Staubabscheidern über ein Absaugsystem (Saugzuggebläse) zugeleitet; es wird nach der Reinigung über einen Kamin an die Umwelt abgegeben. Eine Sekundärentstaubung wird zur Entstaubung der Hallenluft betrieben. In allen deutschen Sinteranlagen werden Trockenelektroabscheider als Hauptreinigungsstufe eingesetzt, um den Grenzwert für Staubemissionen nach der TA Luft (50 mg/Nm³) einzuhalten[4]. Anhaltspunkte über Staubkonzentrationen im Roh- und Reingas gibt Theobald [90]. So werden etwa 80-85 % der Stäube abgeschieden (Beispiel 1 und Beispiel 2). Auch in Beispiel 3 erreicht der E-Abscheider i.d.R. Abscheidegrade von über 80 % (Anlage 1, HKM: Rohgas 187 mg/Nm³, Reingas 33 mg/Nm³; Anlage 2, HKM: Rohgas 273 mg/Nm³, Reingas 39 mg/Nm³; Anlage 3, [96]: Rohgas vor E-Abscheider 594-928 mg/Nm³, Rohgas nach E-Abscheider 148-124 mg/Nm³, Reingas nach Gewebefilter < 0,3-1,6 mg/Nm³). Der anfallende Staub wird oftmals über die Sinteranlage wieder eingesetzt, jedoch werden hierdurch höhere Chloridgehalte im Fertigsinter verursacht, die wiederum zu prozeßtechnischen Problemen im Hochofen führen können [82]. In Bremen wird der Staubaustrag aus dem Elektroabscheider der Sinteranlage derzeit deponiert. Abgesiebtes Rückgut wird wieder in den Sinterprozeß zurückgeführt. Als umweltrelevante Problemfelder beim Betrieb von Eisenerzsinteranlagen sind in erster Linie zu nennen:

- Relativ hohe Staubemissionen, die aufgrund der schlechten Abscheidung der chloridhaltigen Stäube im Elektroabscheider entstehen.

[4] Bei den Stahlwerken Bremen wird der Einsatz eines dem Elektroabscheider nachgeschalteten Schlauchfiltersystems im Rahmen eines UBA-geförderten Forschungsvorhabens untersucht [110]. Zur Minderung der Dioxin- und Furanemissionen wird zusätzlich Aktivkohle bzw. Herdofenkoks oder Kalkhydrat eingedüst. Weitere Möglichkeiten zur Minderung der Dioxin- und Furanemissionen werden derzeit untersucht (u.a. Einsatz naßarbeitender Abscheider, Verbesserung herkömmlicher Elektroabscheider, Eindüsung von Adsorbentien, umlaufende Niederschlagselektroden). Zur Lösung dieser Problematik haben verschiedene Stahlunternehmen eine Arbeitsgemeinschaft zur Entwicklung eines geeigneten Verfahrens gebildet [90].

- Zusammensetzung der Staubemissionen im Abgas, u.a. Dioxine und Furane, Schwermetalle (insbesondere Cd, Cu, Ni, Pb). Die Ergebnisse des Dioxinmeßprogrammes zeigen Sinteranlagen als Hauptemittenten für Dioxine und Furane im Bereich der Stahlindustrie (vergleiche [90]).
- SO_2-, NO_x- und CO-Gehalt des Sinteranlagenabgases. Die Sinteranlagen sind für SO_2 (ca. 95 %) und NO_x (ca. 75 %) die Hauptemittenten im Bereich der Stahlindustrie; insgesamt ist der Anteil der Stahlindustrie an den deutschen Gesamtemissionen mit 1,4 bzw. 2,1 % im Jahr 1992 jedoch relativ gering [83].

Weitere Staubemissionen entstehen in vor- und nachgelagerten Schritten (Lagerung, Aufhaldung und Transport der Einsatzmaterialien und Produkte). Abfälle und Abwasser (an einigen Aggregaten wird Kühlwasser verwendet) stellen bei der derzeitigen Betriebspraxis in Deutschland keine besonderen Problemfelder dar. Tabelle 4.2-5 zeigt eine spezifische Input-/Outputbilanz für die Produktion von Fertigsinter in einer deutschen Sinteranlage [82].

Tabelle 4.2-5: Inputs und Outputs beim Betrieb einer Sinteranlage

Inputs [kg/t Sinter]			**Outputs** [kg/t Sinter]	
Eisenträger (Feinerze, Rückgut)		853	Fertigsinter	1.000
Zuschläge		154	Rückgut	94
Koksgrus		44	Staub	1
Reststoffe:	Gichtstaub	19		
	Gichtschlamm	2		
	Konverterstaub	22		
	Walzzunder	57		
	sonst. Kreislaufstoffe	23		

Quelle: Rentz et al. [82]

Tabelle 4.2-6 zeigt die Verteilung und den Verbleib der in die Sinteranlage eingebrachten Energie.

Tabelle 4.2-6: Energiebilanz einer Sinteranlage

Energieinput	[MJ/t Sinter]	**Energieoutput**	[MJ/t Sinter]
Gesamteintrag,	1.758	Sinterabgas, latente Wärme	158
davon:		Sinterabgas, fühlbare Wärme	246
feste und gasförmige Brennstoffe	1.348	Sinter, fühlbare Wärme	791
elektrische Energie	410	Trocknen	246
		Calzinierung	176
		Verlust (Strahlung, ...)	141

Quelle: nach Rentz et al. [83]

4.2.2.3 Zusammensetzung ausgewählter Stoffströme im Bereich der Sinteranlage

Das Hauptprodukt des Sinterprozesses ist Fertigsinter, der anschließend im Hochofen eingesetzt wird. Um einen problemfreien Hochofenbetrieb zu gewährleisten, werden bestimmte

chemische, physikalische und metallurgische Anforderungen an die Qualität des Fertigsinters gestellt (vgl. Tabelle 4.2-7).

Tabelle 4.2-7: Anforderungen an die Qualität von Fertigsinter

Chemische Zusammensetzung in %	Durchschnitt Deutschland*)	Hoesch Stahl AG*)	Krupp Stahl AG*)	Thyssen Stahl AG**)
FeO	5,0-6,0	5,5-6,0	5,5-6,0	5,8
Mn	ca. 0,2	< 0,3	gering	0,2
P	ca. 0,04	gering	< 0,05	0,04
SiO_2	5,0-5,5	5,0-5,5	4,7-4,8	4,90
Al_2O_3	1,0-1,2	1,0-1,3	0,9-1,1	0,97
CaO	8-10	abhängig von SiO_2-Gehalt und Basizität		9,36
MgO	1,4-2,0	1,5-1,8	1,7-1,8	1,63
CaO/SiO_2	ca. 1,8	1,7	1,85-1,90	1,91
Physikalische und metallurgische Eigenschaften				
ISO-Festigkeit > 6,3 mm	ca. 70-80 %	> 70 %	> 80 %	76-80 %
Kornaufbau:				
Anteil < 4,5 oder < 6 mm	max. 5 %	8 % < 4mm	5 % < 5mm	3 % < 5mm
Anteil 40 oder größer 50 mm	max. 10 %	12 % > 40mm	5 % > 50mm	10 % > 50mm
RDI 2,8 mm	20-30 %	< 35 %	< 27 %	23-27 %

Quelle: *) Buckel et al. [14], **) Beer [6]

Tabelle 4.2-8 zeigt exemplarisch Analysen von zwei Sintermischungen, die zur Sinterung auf das Sinterband gegeben werden. Der Brennstoffanteil beträgt 5,3 % bei einer Feuchte von etwa 8 % und einer Basizität von 1,6-1,7.

Tabelle 4.2-8: Analysen von Sintermischungen eines deutschen Hüttenwerkes

Verbindung	Fe_{ges}	SiO_2	Al_2O_3	CaO	MgO	Mn	P	Cu	Cr
I: [Gew.-%]	61,0	5,61	1,14	9,53	1,94	0,29	0,09	0,02	0,06
II: [Gew.-%]	61,3	5,6	1,14	9,55	1,91	0,28	0,09	0,02	0,05

Quelle: UBA [96]

Die Zusammensetzung der Sintermischung unterscheidet sich in den einzelnen Werken nach den eingesetzten Inputstoffen z.T. deutlich. Theobald [90] nennt exemplarisch verschiedene Zusammensetzungen für Sintermischungen, von denen drei in Tabelle 4.2-9 vorgestellt werden[5].

[5] Eine Erläuterung der Bedeutung der einzelnen Anteile erfolgt nicht. Jedoch entspricht u.a. der Anteil an Koksgruß und an Kalkstein in etwa den in weiteren Literaturstellen genannten Werten.

Tabelle 4.2-9: Chemische Zusammensetzung ausgewählter Sintermischungen

Bestandteil	Sintermischung 1	Sintermischung 2	Sintermischung 3
Hämatit	82 *)	81,3	69,9
Magnetit	-	2,7	8,9
Rückgut	8,6	7,9	0,7
Pelletabrieb	3,8	2,2	0,2
Gichtstaub	1,9	0,3	0,7
Stahlwerksstaub	3,0	0,6	0,5
Walzzunder	4,2	1,3	1,0
Kalkstein	12,9	9,4	10,8
Olivin	1,5	3,5	2,2
Koksgrus	5,3	5,03	4,5

*) Angaben in Gewichtsprozent

Quelle: Theobald [90]

Theobald macht auch Angaben zur Zusammensetzung des Reingases aus Sinteranlagen, die im Rahmen eines vom UBA geförderten Projektes untersucht wurden [90]. Ungeachtet der Problematik des Meßverfahrens (u.a. Nachweisgrenze, Bestimmung der Ergebnisse für filtergängige und partikelgebundene Stoffe, ...) zeigt Tabelle 4.2-10 exemplarisch ausgewählte Schwermetallgehalte des Reingases von Sinteranlagen.

Tabelle 4.2-10: Schwermetallgehalte im Reingas von Sinteranlagen

Kategorie	Stoff	Mittelwerte von 3 Anlagen mit E-Abscheider (keine Berücksichtigung der Nachweisgrenze)*)	Einzelwert für Anlage mit E-Abscheider**)	Einzelwert für Anlage mit E-Abscheider u. nachgeschaltetem Gewebefilter**)	
		[µg/Nm³]	[µg/Nm³]	[µg/Nm³]	[g/h]
Klasse I	Σ	76	179	6,9-10	2,6-4,0
	Cd	49	126	0,2-0,6	0,1-0,2
	Hg	14	53	6,7-9,8	2,5-3,9
	Ti	13	k.A.	k.A.	k.A.
Klasse II	Σ	26	< 291	0,9-4,2	0,4-1,6
	As	4	k.A.	0,2	0,1
	Co	0	k.A.	k.A.	k.A.
	Ni	23	< 291	0,7-4,0	0,3-1,5
Klasse III	Σ	1.249	1.630	7,5-11,0	3-4
	Pb	801	384	3,7-5,6	1-2
	Cr	39	< 359	1,5-3,4	0,6-1,3
	Cu	165	328	0,7-1,3	0,3-0,5
	Mn	276	306	< 1-1,2	< 0,4-0,5
	V	6	< 24	k.A.	k.A.
	Sn	0	< 229	0,2-0,7	0,1-0,3
sonst.	Zn	1.690	657	15-36	5,7-13,4
Staub [mg/Nm³]		58,2 (33-103)	103	0,3-1,8	112-675

Quelle: *) Theobald [90], **) UBA [96]

Anhaltspunkte für die Höhe der Dioxin- und Furanemissionen aus deutschen Sinteranlagen gibt [90]. Als Mittelwerte im Reingas werden eine Massenkonzentration von 1,839 ng I-TE/Nm³ bzw. eine Fracht von 3,779 µg I-TE/t Fertigsinter genannt. Mittlerweile gibt es eine Vielzahl von weiteren Untersuchungen zur Dioxinproblematik der Sinteranlagen, die ebenfalls Massenkonzentrationen von 1-4 ng I-TE/Nm³ bestätigen. Tabelle 4.2-11 zeigt exemplarisch die Zusammensetzung von abgeschiedenem Sinterstaub. Die relativ großen Schwankungsbreiten sind in erster Linie bedingt durch die Zusammensetzung der eingesetzten Materialien und einer unterschiedlichen Betriebspraxis.

Tabelle 4.2-11: Chemische Zusammensetzung von Sinterstaub

Verbindung	**Elektroabscheider** [Gew.-%]*)	**Elektroabscheider** [Gew.-% TS]**)	**Gewebefilter (nachgeschaltet)** [Gew.-% TS]**)
Fe_{gesamt}	35-56	17,4-29,4	1,4-1,8
SiO_2	0,6-8	k.A.	k.A.
CaO	1,2-14	5,5-7,3	25,2-35,5
MgO	0,1-11	k.A.	k.A.
S_{gesamt}	0,2-4	0,4-0,7	1,2-1,3
Schwermetalle Klasse I (Summe) 1)	k.A.	0,002-0,009	0,01-0,02
Schwermetalle Klasse II (Summe)1)	k.A.	0,004-0,008	0,001-0,002
Schwermetalle Klasse III (Summe) 1)	k.A.	0,5-1,2	1,5-1,8
davon Blei (Pb)	0,04-10	0,3-1	1,4-1,6
Zink (Zn)	0,05-0,4	0,01-0,03	0,02
C_{gesamt}	1,5-10	25,8-39,2	20,3-25,2
Chlorid	k.A.	3,7-13,3	19,5-23,8
Kalium	k.A.	4,6-13,2	16,5-22,8
Aluminium	k.A.	0,4	0,1
Glühverlust	k.A.	4,4-5,8	3,7-4,2

1) nach 3.1.4 TA Luft

Quelle: *) UNECE [100], **) UBA [96]

4.2.2.4 Überblick über den Einsatz moderner Techniken in deutschen Sinteranlagen

Die folgende Tabelle 4.2-12 zeigt im Überblick, in welchem Maße die vom EIPPCB vorgeschlagenen BVT in deutschen Anlagen eingesetzt werden[6].

[6] Die vom EIPPCB angegebenen BVT wurden im wesentlichen auf Grundlage einer niederländischen Studie [68] vorgeschlagen, die vom DFIU 1997 ausführlich kommentiert wurde.

Tabelle 4.2-12: Kandidaten für BVT im Bereich Sinteranlage

Bezeichnung	Nr.*)	Anlage(n) in Deutschland	Bemerkung
Prozeßintegrierte Maßnahmen			
Process optimisation for minimisation of PCDD/F emissions	PI.1	k.A.	
Recycling of iron-containing waste into the sinter plant	PI.2	weit verbreitete Maßnahme	Die rückführbaren Reststoffe müssen sorgfältig ausgewählt werden [82]. Diese Maßnahme betrifft vorwiegend Reststoffe anderer Betriebsbereiche.
Lowering the content of volatile hydrocarbons in the sinter feed	PI.3	weit verbreitete, bereits aus Sicherheitsgründen notwendige Maßnahme	I. d. R. werden nur ölarme Reststoffe recycelt; verschiedene Techniken zur Entölung (z.B. von Walzzunderschlamm existieren).
Lowering the sulphur content of the sinter feed	PI.4		Der Schwefelgehalt der eingesetzten Stoffe ist in D. allgemein in den letzten Jahren gesenkt worden. Der eingesetzte Koksgrus hat einen relativ hohen Schwefelgehalt.
Heat recovery from sintering and sinter cooling	PI.5	u.a. Thyssen St. AG	
Top-layer-sintering	PI.6	k.A.	
Waste gas recirculation eg. Emission Optimised Sintering (EOS)	PI.7	-	
Sectional waste gas recirculation	PI.8	-	
End-of-Pipe Techniken			
Electrostatic precipitator (ESP)	EP.1	alle Betreiber setzen Elektroabscheider ein	Die anfallenden Stäube werden rückgeführt. Die Hallenluft wird abgesaugt. UBA/VDEh-Forschungsvorhaben liefert eine Vielzahl von Meßergebnissen zur Abgasreinigung.
Fabric filter system	EP.2	nicht in D. eingesetzt	
Fabric Filter + additives	EP.2	Stahlwerke Bremen	Forschungsvorhaben (UBA): Der Gewebefilter wird dem Elektrofilter nachgeschaltet. Der Filterstaub wird derzeit deponiert.
Cyclone	EP.3	nicht in D. eingesetzt	
Fine wet scrubber, eg. Airfine	EP.4	nicht in D. eingesetzt	AIRFINE-System (Anbieter VAI), das bisher nur bei Hoogovens (NL) und VAS (Au) eingesetzt werden soll.
Desulphurisation	EP. 5	Thyssen Stahl AG	An der Sinteranlage Schwelgern 4 (Thyssen Stahl AG).
Regenerative activated carbon (RAC)	EP. 6	nicht in D. eingesetzt	
Selective catalytic reduction (SCR)	EP. 7	nicht in D. eingesetzt	

*) Die Kurzbezeichnung *PI* steht für prozeßintegrierte Maßnahmen; *EP* steht für End-of-Pipe-Maßnahmen.

4.2.3 Informationen zum Bereich Kokerei

Tabelle 4.2-13 zeigt die derzeit in Deutschland betriebenen Kokereien. In den Hüttenkokereien wurde 1995 rund 6,3 Mio. Tonnen Koks erzeugt. Seit einiger Zeit beabsichtigt die Thyssen Stahl AG, eine moderne Kokerei in Duisburg neu zu errichten.

Tabelle 4.2-13: Technische Daten zu Kokereien in Deutschland

Betreiber	Zahl der Batterien	Ofenzahl	Ofenart	Nutzvolumen [cm^3]	Kapazität nominal [1.000 t Koks/a]	Jahr der Inbetriebnahme
Zentralkokerei Saar GmbH	2	90	D	43,60	1.400	1984
Thyssen Stahl AG	6	354	KK/CS	18,50/14,60/ 18,97/35,40	2.900	1956/83/55/59/ 71/74
Hüttenwerke Krupp Mannesmann, Werk Huckingen	1	70	KK	70,00	1.150	1985
Krupp Stahl AG, Werk Rheinhausen*)	2	79	D	21,30	450	1969/73
Preussag Stahl AG, Werk Peine/Ilsede*)	4	79	KK	22,10	495	1930/49/53/71
Preussag Stahl AG, Werk: Salzgitter	2	108	O	42,63	1.420	1985/86
Saarbergwerke AG, Werk Fürstenhausen (Stampfbetrieb)	6	192	D	19,39	1.143	1959/63/64
Ruhrkohle AG, Kokerei Prosper	3	146	D	62,77	2.044	1985/89
Kokerei Hassei	6	230	O/KK	23,90	1.494	1953/55/56/ 87/57
Kaiserstuhl	2	120	KON	78,90	2.044	1993/92

*) Die markierten Kokereien sind mittlerweile nicht mehr in Betrieb, Stand 1. Juli 1993
D: Didier; KK: Krupp Koppers; CS: Carl Still; O: Otto; KON: Konsortialofen (Still-Otto, D, KK)

Quelle: Jahrbuch Stahl 1994 [103]

4.2.4 Informationen zum Bereich Hochofen

Der Hochofen ist das zentrale Aggregat des integrierten Hüttenwerkes zur Erzeugung von Roheisen aus Eisenerz. Zwar gewinnen Direktreduktionsverfahren als Alternative zum Hochofenprozeß weiter an Bedeutung, der Hochofen wird jedoch das maßgebliche Aggregat zur Roheisenproduktion bleiben. Für eine ausführliche Beschreibung des Hochofenprozesses, der zum Hochofenwerk gehörenden weiteren Aggregate und der eingesetzten Anlagentechnik wird auf die einschlägige Literatur verwiesen (vergleiche u.a. [82], [83], [11]).

4.2.4.1 Hochöfen in Deutschland

In Tabelle 4.2-14 sind verschiedene Bau- und Betriebsdaten zu den derzeit in Deutschland vorhandenen Hochöfen zusammengestellt. Insgesamt wurden von den betriebenen Hochöfen 1995 rund 30 Mio. Tonnen Roheisen produziert [113].

Tabelle 4.2-14: Technische Daten zu Hochöfen in Deutschland

Betreiber	Ofen Nr.	Baujahr / letzte Zustell.	Gestell-durchm. [m]	Arbeits-volumen [m^3]	Gichtdruck (abs.) [Bar]	Einblasen von Reduktions-mitteln	Auslege-kap. [1000 t/a]
Thyssen Stahl AG,	4	64/88	10,70	1.800	2,45	Öl+Kunststoff	1.610
Hamborn /	9	62/87	10,20	1.833	2,50	Kohle	1.610
Schwelgern	1	73/96	13,60	3.796	3,30	Kohle	3.112
	2	93/93	14,90	4.769	3,50	Kohle	3.500
ROGESA mbH,	3	71/91	8,50	1.260	1,07	Kohle	790
Dillingen	4	74/95	10,00	1.790	3,50	Kohle	1.600
	5	85/97	11,00	2.222	3,50	Kohle	2.150
NMH GmbH, Sulz-bach-Rosenberg	3	57/96	6,30	675	1,07	-	215
Krupp Hoesch	4	72/89	9,70	1.582	3,00	Kohle/Kunstst.+Öl	1.430
Stahl AG,	7	77/96	10,20	18.875	3,00	Kohle	1.540
Dortmund	3	65/90	10,00	1.589	2,50	Öl	1.430
Preussag	7	70/90	9,50	1.606	1,08	Öl	1.073
Stahl AG [7]	A	77/92	10,80	2.377	3,00	Öl	1.967
Salzgitter	B	93/93	11,20	2.530	3,50	Öl	2.146
Stahlwerke Bremen	2	73/92	12,00	2.776	2,80	Öl+Kunststoff	2.280
GmbH, Bremen	3	66/96	9,20	1.424	2,75	Öl	1.252
HKM GmbH,	A	73/90	10,30	2.081	2,50	Öl	2.300
Huckingen	B	81/81	10,30	2.226	2,50	Öl	2.300
DK GmbH, Duisburg	3	74/88	5,50	580	1,60	-	250
EKO Stahl GmbH,	1	50	7,10	858	1,20	Öl	375
Eisenhüttenstadt	3	52/86	8,10	711	1,08	Öl	410
	5	97	9,75	1.767	2,70	Öl	1.400

Quelle: Jahrbuch Stahl 1997 [105], VDEh [102]

4.2.4.2 Darstellung des Hochofenprozesses

Tabelle 4.2-15 zeigt schematisch den Aufbau einer Hochofenanlage mit den Hauptaggregaten Hochofen, Winderhitzer, Hochofengießhalle und Gichtgasbehandlungsanlage. Weiterhin sind noch Bunker- und Begichtungseinrichtungen zur Lagerung und zur Aufgabe der Einsatzstoffe, Anlagen zur Bereitstellung der benötigten Energie sowie die Transporteinrichtungen für Einsatzstoffe, Produkte und Reststoffe zu erwähnen. Als Eisenträger werden Sinter, Pellets

[7] Heute wird der Standort von der Salzgitter Stahl und Technologie AG betrieben.

oder Stückerz verwendet. Als Reduktionsmittel wird Koks zusammen mit dem Hochofenmöller eingesetzt und Heißwind durch Windformen eingedüst. Vielfach werden weitere Reduktionsmittel eingeblasen, in erster Linie Öl, Feinkohle aber auch Kunststoffe. Neben dem Hauptprodukt Roheisen, das regelmäßig mit der Hochofenschlacke abgestochen wird, entsteht als Prozeßgas Hochofengichtgas. Die Gichtgasreinigung erfolgt zweistufig (mittels Grobstaubzyklon und nachgeschaltetem Naßwäscher). Sowohl der hohe Druck des Gases als auch der latente Energieinhalt werden im Hüttenwerk genutzt (u.a. durch Entspannungsturbinen zur Stromerzeugung, zur Beheizung von Winderhitzern und Wärmeöfen). Das bei der Gichtgasreinigung anfallende belastete Prozeßwasser wird behandelt (mechanisch, chemisch) und i.a. im offenen Kreislauf geführt. Der abgeschiedene mechanisch entwässerte Schlamm wird als Gichtschlamm bezeichnet.

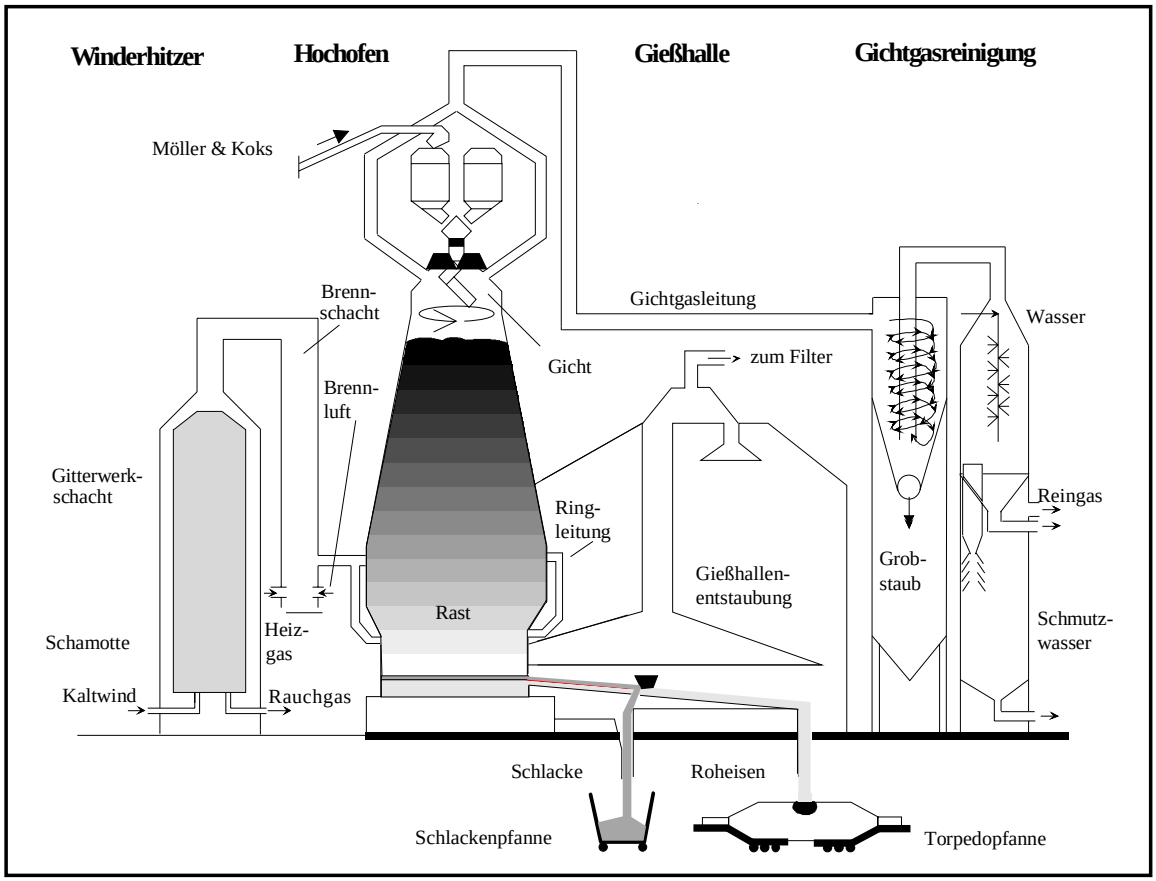

Abbildung 4.2-3: Schematische Darstellung des Aufbaus einer Hochofenanlage

Das Hochofenkühlwasser wird in geschlossenen Kreisläufen geführt, bei denen die Kühlelemente zur Senkung des Wasserbedarfs in Reihe geschaltet werden. Der Wassergebrauch moderner Anlagen liegt bei etwa 20 m³/t Roheisen.

Abbildung 4.2-4 zeigt relevante Stoffströme sowie eingesetzte Aggregate im Bereich der Hochofenanlage im Überblick, wobei outputseitig zusätzlich noch die betroffenen Umweltmedien dargestellt sind.

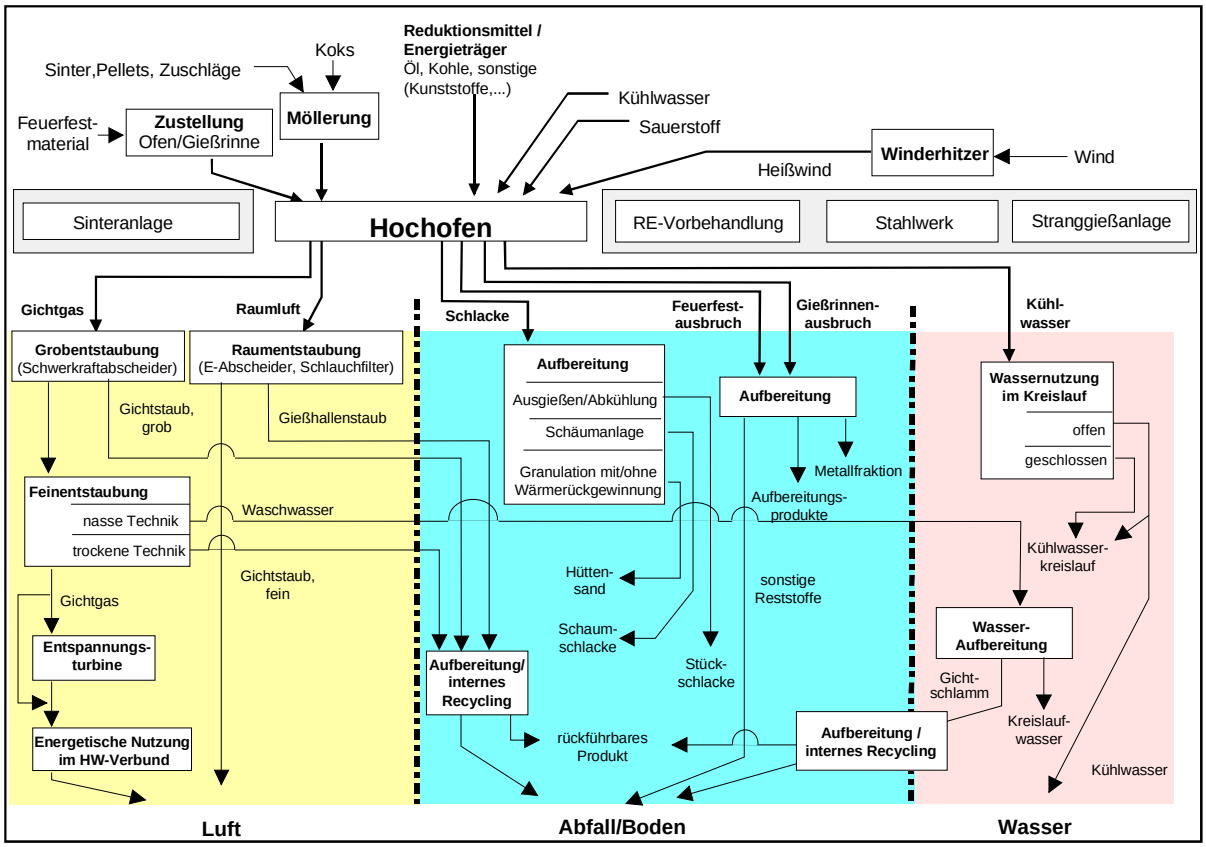

Abbildung 4.2-4: Schematische Darstellung der Stoffströme im Bereich einer Hochofenanlage

Je nach Betriebsweise und eingesetzten Techniken ergeben sich in den einzelnen Unternehmen z.T. deutliche Unterschiede bei den resultierenden Input- und Outputbilanzen. Durchschnittliche spezifische Einsatz- und Ausbringungsmengen von Hochofenanlagen werden auf Grundlage von Literaturdaten und Firmeninformationen über Einzelanlagen in Tabelle 4.2-15 dargestellt (vergleiche [83]). Neuere Zahlen zeigen, daß die Bedeutung der Pellets als Eisenträger im Hochofenprozeß weiter zunimmt (1995: Sinter 54 %; Pellets 34 %; Stückerz 12 %).

Tabelle 4.2-15: Spezifische Einsatz- und Ausbringungsmengen einer Hochofenanlage

Inputs	[Menge/t Roheisen]	**Outputs**	[Menge/t Roheisen]
Eisenträger, gesamt	etwa 1.650 kg	Roheisen	1.000 kg
- Stückerze	0-20 %	Gichtgas	1.400-1.700 Nm^3
- Sinter	65-80 %	Gichtgasstaub	7-20 kg
- Pellets	0-35 %	Gichtgasschlamm	3-10 kg
Reduktionsmittel, gesamt	440-500 kg	Gießhallenstaub (konventionelle Entstaubung)	ca. 0,5-1 kg
- Koks	260-460 kg		
- Feinkohle	0-200 kg		
- Öl	0-84 kg	Gießrinnenausbruch	ca. 5 kg
Zuschläge	ca. 10 kg	Hochofenschlacke	250-300 kg
Heißwind und O_2	1.000 m^3		

Quelle: Firmenangaben, Mertins [72], Philipp et al. [75]

Zum Vergleich zeigt Tabelle 4.2-16 eine zusammenfassende Input-/Outputbilanz für sämtliche in Deutschland betriebenen Hochöfen auf Grundlage von Angaben der Wirtschaftsvereinigung Stahl für 1995.

Tabelle 4.2-16: Einsatzstoffe und Entfall in Hochofenwerken in Deutschland

Inputs *)	**Gesamtmenge** [1.000 t/a]	[Menge/t RE]	**Outputs**	**Gesamtmenge** [1.000 t/a]	[Menge/t RE]
Eisenerze, gesamt	43.593	1.450 kg	Roheisen	30.012	1 t
davon Sinter/Briketts	28.356	940 kg	Gichtgas	4.774 Mio. Nm³ (umger. auf Heizwert 35,17 MJ/Nm³)	159 Nm³
Koks (einschließlich Koksgrus)	11.401	380 kg	Gichtgasstaub	308	10,3 kg
Zuschläge	5.351	178 kg	Hochofen-schlacke	7.871	262,3 kg

*) Die Angaben zu den Einsatzstoffen enthalten auch die zur Sintererzeugung benötigten Stoffe, Stand 1995

Quelle: Wirtschaftsvereinigung Stahl [113]

Als umweltrelevante Problemfelder beim Betrieb von Hochofenanlagen sind in erster Linie zu nennen:

- Reststoffanfall bei der Gichtgasreinigung
- Emissionen durch Staubbildung an der Gicht und im Bereich der Gießhalle
- Energieverbrauch, d.h. notwendige Maßnahmen zur Energierückgewinnung
- Wasserwirtschaft (Kühlkreisläufe, z.B. für Blasformen, Prozeßwasser der Naßreinigung, etc.)
- Einsatz moderner Techniken zur Minderung von Energieeinsatz und Emissionen bei der Schlackenaufbereitung

4.2.4.3 Zusammensetzung ausgewählter Stoffströme im Bereich der Hochofenanlage

Beispielhaft zeigt Tabelle 4.2-17 die chemische Zusammensetzung von verschiedenen Roheisenarten.

Tabelle 4.2-17: Chemische Zusammensetzung von Roheisen

Element	**C**	**Si**	**Mn**	**P**	**S**
Stahleisen	3,8-4,5 *)	0,5-1,0	1,5-5,0	0,05-0,12	< 0,05
LD-Roheisen	3,8-4,4	< 1,0	0,8-1,2	0,1	< 0,04
Thomas-Eisen	3,5-3,9	etwa 0,3	etwa 0,8	etwa 1,8	< 0,055
Gießereiroheisen I (GR I)	3,5-4,5	1,5-3,5	< 1,0	0,5-0,7	< 0,04

*) Angaben in Gewichtsprozent

Quelle: Winnacker und Küchler [112]

Hochofenschlacken, die mit 250-300 kg pro Tonne Roheisen den unter Mengengesichtspunkten bedeutensten Reststoff darstellen, werden aufbereitet (u.a. durch Granulation) und in verschiedenen Optionen als Zuschlagstoff für die Zementindustrie oder als Baustoff verwertet. Wichtigstes Aufbereitungsprodukt ist Hüttensand, der durch Wassergranulation flüssiger

Hochofenschlacke hergestellt wird. Der Wasserverbrauch zur Kühlung und Erstarrung beträgt dabei 1 m³ pro t Schlacke. Tabelle 4.2-18 zeigt die Zusammensetzung verschiedener Hochofenschlacken.

Tabelle 4.2-18: Chemische Zusammensetzung von Hochofenschlacken

Verbindung	Stahlroheisenschlacke		Gießerei-Roheisenschlacke
Klassifikation			
CaO/SiO_2	> 1,0	< 1,0	< 1,0
MgO-Gehalt	mittel	hoch	mittel - hoch
SiO_2	33,2-37,0 *)	38,4	39,1-40,5
Al_2O_3	9,1-12,0	9,2	8,1-12,4
CaO	38,1-41,7	35,6	30,8-33,9
MgO	7,0-11,4	12,2	7,0-18,8
Fe ges.	0,2-0,6	0,4	0,2-0,7
Mn ges.	0,2-0,7	0,3	0,4-0,8
Na_2O	0,3-0,6	0,5	0,4-1,2
K_2O	0,6-0,8	0,8	0,6-2,6
S_{ges} **)	1,1-2,0	1,6	1,4-1,6
TiO_2	0,5-2,7	0,7	0,1-0,2
CaO/SiO_2	1,1-1,2	0,9	0,8
$(CaO+MgO)/SiO_2$	1,3-1,5	1,2	1,0-1,3
Anfallmenge kg/t RE	199-347	233	306-365

*) Angaben in Gewichtsprozent

**) Schwefel liegt hauptsächlich als CaS vor.

Quelle: Geiseler [38]

Möglichkeiten zur Verwertung der bei der Gichtgasreinigung anfallenden Stäube und Schlämme stehen im Mittelpunkt einer Vielzahl von Forschungsprojekten, da diese aufgrund ihrer Zusammensetzung (in erster Linie durch die Anreicherung von Problemstoffen wie etwa Zink und Blei) erhöhte Anforderungen an geeignete Verwertungsverfahren stellen. Tabelle 4.2-19 zeigt die chemische Zusammensetzung verschiedener Gichtstäube und -schlämme.

Tabelle 4.2-19: Chemische Zusammensetzung von Gichtstaub und -schlamm

Reststoff	Fe_{gesamt}	SiO_2	CaO	Al_2O_3	Pb	Zn	C
Staub *)	34,4 #)	6,3	6,3	2,0	0,07	0,2	28,9
**)	25-40	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	0,1-0,25	30-40
Schlamm *)	25,7	9,2	5,4	4,6	2,0	4,2	23,1
**)	25-35	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	1-10	25-35
***)	17	k.A.	k.A.	k.A.	0,8	3	45

#) Angaben in Gewichtsprozent

Quelle: *) IISI [55], **) Mertins [72], ***) Hirsch et al. [50]

Gereinigtes Gichtgas enthält zwischen 21-28 % CO, 50 % N_2 und 23 % CO_2 sowie geringe Anteile an Schwefel und Stickstoffverbindungen. Der Staubgehalt liegt unter 10 mg/Nm³.

Das Prozeßwasser der Gichtgasreinigung beinhaltet im wesentlichen Feststoffpartikel (staubförmige Partikel aus Möller und Koks) sowie gelöste anorganische Stoffe (Eisen, Blei, Kupfer, u.a.), zusätzlich ist es thermisch belastet.

4.2.4.4 Überblick über den Einsatz moderner Techniken in deutschen Hochöfen

Die folgende Tabelle 4.2-20 zeigt im Überblick, in welchem Maße die vom EIPPCB vorgeschlagenen BVT in deutschen Anlagen eingesetzt werden[8].

Tabelle 4.2-20: Kandidaten für BVT im Bereich des Hochofens

Bezeichnung	Nr.*)	Anlage(n) in Deutschland	Bemerkung
Prozeßintegrierte Maßnahmen			
Direct injection of reducing agents	PI.1	wird i.a. eingesetzt	Eingesetzt werden Feinkohle, Öl, granulierte Kunststoffe.
Energy recovery from blast furnace gas	PI.2	wird generell eingesetzt	Nutzung im Hüttenwerksverbund (Winderhitzer, ...).
Energy recovery from top gas pressure	PI.3	Thyssen Stahl AG	
Energy savings at the hot stove	PI.4	Thyssen Stahl AG	Detailinformation liefert Joksch für die Thyssen Stahl AG [62].
Use of tar-free runner linings	PI.6	keine Detailinformationen	
End-of-Pipe Techniken			
Blast furnace gas treatment	EP.1	wird generell eingesetzt	
De-dusting of tap holes and runners	EP.2	wird generell eingesetzt	
Fume suppression during casting	EP.3	StwB	Bei den Stahlwerken Bremen erfolgt der Einsatz einer N_2-Inertisierung der Gießrinnen (UBA-gefördertes Forschungsvorhaben [44]).
Hydro-cyclonage of blast furnace sludge	EP.4	Thyssen Stahl AG	Angereicherte Fraktion wird in Gießereiindustrie abgegeben.
Treatment and reuse of scrubbing water	EP.5	wird generell eingesetzt	Der Wasserverbrauch in deutschen Hochöfen ist deutlich zurückgegangen, da das Prozeßwasser i.d.R. im Kreislauf geführt wird.
Condensation of fume from slag granulation	EP.6	z.B Thyssen Stahl AG	

*) Die Kurzbezeichnung *PI* steht für prozeßintegrierte Maßnahmen; *EP* steht für End-of-Pipe-Maßnahmen.

8 Die vom EIPPCB angegebenen BVT wurden im wesentlichen auf Grundlage einer niederländischen Studie [68] vorgeschlagen, die vom DFIU 1997 ausführlich kommentiert wurde.

4.2.5 Informationen zu den Bereichen Roheisenvorbehandlung, Oxygenstahlwerk und Stranggießanlage

Die Teilprozesse Roheisenvorbehandlung, Stahlerzeugung im Oxygenstahlwerk und der Bereich Stranggießanlage werden gemeinsam behandelt, um der in Leendertse [68] vorgeschlagenen Gliederung zu folgen.

4.2.5.1 Bereich Roheisenvorbehandlung

Als Zwischenschritt zwischen Hochofen und Stahlwerk wird das flüssige Roheisen heute üblicherweise vorbehandelt, um unerwünschte Begleitelemente (insbesondere Schwefel) zu entfernen. Dies entlastet den Konverterprozeß und führt zu einer Erhöhung der Kapazität. Die Vorbehandlung erfolgt im Transportbehälter (oftmals Torpedopfannen) oder in der Chargierpfanne des Stahlwerks. Im allgemeinen wird in Deutschland die Roheisenentschwefelung durchgeführt, indem u.a. Calciumcarbid zugegeben wird und der unerwünschte Schwefel in einer Entschwefelungsschlacke gebunden werden kann. Neben der Schlacke entsteht eine geringe Menge Entschwefelungsstaub und Pfannenausbruch (vergleiche Tabelle 4.2-21). Abwasser fällt nur bei nassen Entschwefelungsverfahren an, die heute üblicherweise nicht mehr eingesetzt werden.

Tabelle 4.2-21: Spezifische Einsatz- und Ausbringungsmengen der Roheisenvorbehandlung

Input	Menge [kg/t]	**Output**	Menge [kg/t]
Roheisen	1.001-1.015	Roheisen, entschwefelt	1.000
Entschwefelungszuschlag	4,0-5,5	Torpedopfannenausbruch	0,5
		Staub	< 1
		Entschwefelungsschlacke	5,0-18

Quelle: Theobald und Maas [92], Firmenangaben

Die chemische Zusammensetzung einer Entschwefelungsschlacke zeigt Tabelle 4.2-22 (vergleiche auch Tabelle 4.2-25). Der Entschwefelungsstaub enthält neben nicht verbrauchten Entschwefelungsmitteln auch oxidiertes Eisen und Eisenbegleiter sowie Zink- und Alkalioxide [83].

Tabelle 4.2-22: Chemische Zusammensetzung einer Entschwefelungsschlacke

Verbindung	**Anteil** [Gew.-%]
CaO	27
SiO_2	18
Al_2O_3	8
MgO	10
Fe	20
CaO_{frei}	< 5

Quelle: Rentz et al. [82]

4.2.5.2 Bereich Oxygenstahlwerk

Im Oxygenstahlwerk wird aus dem vorbehandelten Roheisen mit Hilfe von Sauerstoff Rohstahl erzeugt. Für eine ausführliche Beschreibung der ablaufenden Prozesse und der eingesetzten Anlagentechnik wird auf die einschlägige Literatur verwiesen (vergleiche [82], [83], [11]).

Oxygenstahlwerke in Deutschland

In Tabelle 4.2-23 sind verschiedene Bau- und Betriebsdaten zu den derzeit in Deutschland betriebenen Oxygenstahlwerken zusammengestellt. Insgesamt wurden in deutschen Oxygenstahlwerken 1995 nahezu 32 Mio. Tonnen Rohstahl produziert.

Tabelle 4.2-23: Technische Daten zu Oxygenstahlwerken in Deutschland

Gesellschaft / Standort d. Anlage(n)	Zahl d. Konverter	mittl. Abstichgewicht [t]	Blasverfahren	Konvertergasgewinnung	Primärentstaubung
Thyssen Stahl AG, Werk Bruckhausen	2	388	LD / Bodenspülung	ja	E-Abscheider, trocken
Werk Ruhrort	2	140	LD / Bodenspülung	ja	E-Abscheider, trocken
Werk Beeckerwerth	3	260	LD / Bodenspülung	ja	E-Abscheider, trocken
Saarstahl AG, Völklingen	3	180	LD	ja	Venturiwäscher
AG Dillinger Hüttenwerke, Dillingen	2	185	LD / Bodenspülung	nein	Venturiwäscher
Krupp-Hoesch Stahl AG, Dortmund-Hörde	3	190	LD / Bodenspülung	ja	Venturiwäscher
Preussag Stahl AG, Salzgitter	3	205	LD / Bodenspülung	ja	E-Abscheider, trocken
Stahlwerke Bremen GmbH, Bremen	2	275	LD / Bodenspülung	nein	Venturiwäscher
HKM GmbH, Huckingen	2	245	LD / Bodenspülung	nein	E-Abscheider, naß
Neue Maxhütte GmbH, Sulzbach-Rosenberg	2	65	OBM	nein	Venturiwäscher
EKO Stahl GmbH, Eisenhüttenstadt	2	235	LD / Bodenspülung	ja	E-Abscheider, trocken

Quelle: VDEh [102]

Darstellung der Rohstahlerzeugung im Oxygenstahlwerk

Den Kernstück des Stahlwerkes bilden die als Konverter bezeichneten Reaktionsgefäße. Abbildung 4.2-5 zeigt einen Querschnitt durch einen Konverter, der aus einem geschweißten Stahlmantel besteht und innen mit Feuerfestmaterial zugestellt ist. Moderne Konverter werden mittlerweile auf Abstichgewichte von bis zu 400 t ausgelegt. Weitere Aggregate des Stahlwerkes sind die Transport- und Chargiereinrichtungen für Einsatzstoffe und Produkte und die Anlagen zur Konvertergasreinigung und -gewinnung. In Deutschland wird zum Frischen des

phosphorarmen Roheisens fast ausschließlich das **L**inz/**D**onawitz-Sauerstoffausblasverfahren kombiniert mit einer Bodenspülung (Inertgas) eingesetzt. Weitere Einsatzstoffe sind bis zu 20 % Schrott (sowohl Eigen- als auch Fremdschrott) und Zuschläge wie Kalk und Sauerstoff. Bei Ablauf des Konverterprozesses entsteht hoch CO-haltiges Konvertergas mit einem Heizwert von bis zu 11 MJ/Nm³, das im Hüttenwerk energetisch genutzt wird (Brenngas, fühlbare Wärme zur Dampferzeugung). In Ausnahmefällen erfolgt ein Abfackeln und die Abgabe über den Kamin. Im Rahmen des vom UBA geförderten *Dioxin- und Furanmeßprogrammes* wurden verschiedene Oxygenstahlwerke in Deutschland untersucht, um die Bedeutung der Emissionen aus Stahlwerken allgemein und den Einfluß der eingesetzten Schrottsorten zu ermitteln. Theobald [90] diskutiert die im Vergleich zu den Sinteranlagen nahezu vernachlässigbaren Dioxinemissionen deutscher Oxygenstahlwerke. Hauptemissionsquellen sind entstaubte Sekundärabgase, wobei die Dioxin-/Furankonzentration in allen untersuchten Werken unter 0,1 ng I-TE/Nm³ bleiben.

Neben dem Hauptprodukt Rohstahl entsteht Stahlwerksschlacke, die i.a. nach entsprechender Aufbereitung in der Baustoffindustrie verwertet wird. Für die bei der zweistufigen Primärgasreinigung anfallenden Grobstäube und Feinstäube bzw. -schlämme bestehen eine Vielzahl von Verwertungsoptionen (vergleiche Rentz et al. [82], [83]), die jedoch u.a. aus prozeßtechnischen und ökonomischen Gründen nur eingeschränkt an wenigen Standorten realisiert werden. Das bei einer Naßentstaubung der Primärabgase eingesetzte Prozeßwasser wird im Kreislauf geführt. An die Sekundärentstaubung sind meistens eine Vielzahl von Emissionsquellen angeschlossen, u.a. Absaughauben über der Roheisenvorbehandlung, den Pfannenbehandlungsständen, den Anlagen zum Umfüllen des Roheisens, der Zuschlagstoffwirtschaft und dem Konvertergefäß in Chargierstellung. Die Entstaubung erfolgt in der Regel mit einem Gewebefilter, zum Teil auch mit Trockenelektroabscheidern. Tabelle 4.2-24 zeigt exemplarisch spezifische Einsatz- und Ausbringungsmengen des Oxygenstahlwerks.

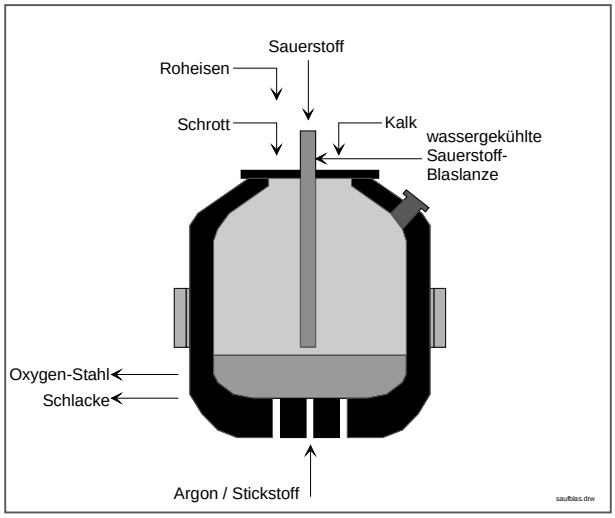

Abbildung 4.2-5: **Schematische Darstellung eines Konverters**

Quelle: Rentz et al. [83]

Tabelle 4.2-24: Spezifische Einsatz- und Ausbringungsmengen des Oxygenstahlwerks

Inputs	[Menge/t RSt]	**Outputs**	[Menge/t RSt]
Roheisen (entschw.)	890 kg	Rohstahl	1.000 kg
Eigenschrott	102 kg	Konvertergas	80 Nm^3
Fremdschrott	110 kg	Stahlwerksschlacken	120 kg
Zuschläge	53 kg	Konverterstaub, grob	5-9 kg
metallische Zuschläge	5 kg	Konverterstaub, fein *)	9-15 kg
Sauerstoff	47 Nm^3	Konverterausbruch,	10-22 kg
Erze und Sinter	3 kg	Stahlwerksschutt	k.A.

*) beim Trockenelektroabscheider

Quelle: Rentz et al. [83]

Der flüssige Rohstahl wird anschließend im Bereich der Sekundärmetallurgie behandelt, wobei weitere metallurgische Veredelungsprozesse durchgeführt werden. Je nach geforderten Produkteigenschaften gibt es hier zahlreiche Verfahren, von denen die Vakuumbehandlung eine besondere Bedeutung hat. Unter Reststoffgesichtspunkten sind die bei der Sekundärmetallurgie anfallenden Schlacken (8 kg/t Rohstahl) und der Feuerfestausbruch (4 kg/t Rohstahl) zu nennen, die stark unterschiedliche Zusammensetzungen (insbesondere bei den Gehalten an Legierungselementen) aufweisen können. Für den Bereich der Wasserwirtschaft stellt die Erzeugung des Vakuums zur Vakuumbehandlung des Stahls einen wichtigen Bereich dar. Nach [91] wird zur Evakuierung ein Wasserdurchsatz von etwa 5 m^3/t Rohstahl benötigt.

Als umweltrelevante Problemfelder beim Betrieb von Stahlwerken sind in erster Linie zu nennen:

- Erfassung der Sekundäremissionen (u.a. Staubbildung beim Chargieren, Umfüllen, Abstich, ...)
- Anfallende Reststoffe bei der Konvertergasreinigung
- Energieverbrauch, d.h. Maßnahmen zur Energierückgewinnung (Konvertergas)
- Wasserwirtschaft (Kühlkreisläufe u.a. für Blaslanzen, Waschwasser bei Naßwäsche des Konvertergases, etc.)

Ausgewählte Stoffströme im Bereich des Stahlwerks

Tabelle 4.2-25 zeigt exemplarisch die Zusammensetzung verschiedener Stahlwerksschlacken.

Tabelle 4.2-25: Chemische Zusammensetzung von Stahlwerksschlacken

Verfahren	LDAC	LD	AOD	EAF	RE-Entschwefelung	Stahl-Entschwefelung
CaO	50,0 *)	50,0	53,0	35,0	27,0	57,0
SiO_2	9,0	15,0	28,0	15,0	18,0	3,0
Al_2O_3	≤ 2	≤ 2	3,0	6,0	8,0	30,0
MgO	≤ 3	≤ 3	5,0	8,0	10,0	5,0
Fe_{gesamt}	12,0	16,0	≤ 2	18,0	20,0	≤ 1
$Fe_{metallisch}$	≤ 1	≤ 1	≤ 1	≤ 1	15,0	≤ 1
MnO	2,0	≤ 4	≤ 1	5,0	≤ 0,5	≤ 1
P_2O_5	15,0	≤ 2	≤ 0,5	≤ 1	≤ 0,2	≤ 1
Cr_2O_3	≤ 1	≤ 1	≤ 2	≤ 1	≤ 0,1	≤ 1
CaO_{frei}	≤ 7	≤ 10	≤ 5	≤ 4	≤ 5	≤ 10
S			≤ 1		≤ 4	1,0
CaO/SiO_2	4	2,5	1,8	2	1,5	10

*) Angaben in Gewichtsprozent

Quelle: Geiseler [38]

Die Zusammensetzung der bei der Gasreinigung anfallenden Stäube ist stark von der Betriebspraxis und der Qualität des eingesetzten Schrotts abhängig (vergleiche Tabelle 4.2-26).

Tabelle 4.2-26: Chemische Zusammensetzung von Konverterstäuben

Element	Grobstaub *)	Grobstaub **)	Feinstaub *)	Feinstaub **)	$Stahlwerk_{ges.}$ ***)
Fe_{gesamt}	85,4 ****)	55-72	70,4	54-62	50-70
$Fe_{metallisch}$	71,7	k.A.	19,7	k.A.	k.A.
CaO	6,5	8-21	3	8-11	3-5
Zn	0,36	0,01-0,9	2	1,4-3,2	1-3
Pb	0,04	0,01-0,22	0,2	0,2-1,0	0,2-0,5
S	0,02	0,04-0,06	0,1	0,07-0,12	0,2-0,5
C	1,4	k.A.	0,7	k.A.	20-50

****) Angaben in Gewichtsprozent

Quelle: *) Harp et al. [45], vergleiche auch Höffken et al. [51], **) IISI [55, S. 55], ***) Kola [63]

Tabelle 4.2-27 zeigt die Gehalte an filtergängigen und partikelgebundenen Spurenstoffen im Primärabgas eines Oxygenstahlwerks vor und nach Abgasreinigung im Elektroabscheider; die Werte sind gemittelt über den Einsatz von drei unterschiedlichen Schrottsorten. Zusätzlich sind die Gehalte der Spurenstoffe im abgeschiedenen Filterstaub angegeben. Der Staubanfall

variiert je nach Schrottsorte zwischen 7,5-18,9 g/Nm³ im Rohgas und 0,007-0,017 g/Nm³ im Reingas, wobei die Abscheideraten jeweils ca. 99,9 % betragen.

Tabelle 4.2-27: Spurenstoffe im Roh- und Reingas sowie im Filterstaub eines Oxygenstahlwerks (1)

Element	Rohgas [mg/Nm³]	Reingas [mg/Nm³]	Filterstaub [mg/kg]
Blei	20,58	0,095	2.190
Cadmium	0,48	0,004	23
Chrom	3,90	0,018	296
Kupfer	1,71	0,03	226
Mangan	82,58	0,315	9.080
Nickel	1,59	0,012	118
Quecksilber	0,08	0,011	0,2
Vanadium	2,17	0,01	155
Zink	121,63	0,539	7.940
Zinn	1,18	0,02	113

Angegebene Daten beziehen sich auf die Primärentstaubung (Elektroabscheider)

Quelle: UBA [96]

Tabelle 4.2-28 zeigt die Gehalte an filtergängigen und partikelgebundenen Spurenstoffen im Sekundärabgas eines Oxygenstahlwerks vor und nach Abgasreinigung im Gewebefilter.

Tabelle 4.2-28: Spurenstoffe im Roh- und Reingas sowie im Filterstaub eines Oxygenstahlwerks (2)

Element	Rohgas [µg/Nm³] Meßfahrt			Reingas [µg/Nm³] Meßfahrt			Filterstaub [mg/kg] Messung		
	I	II	III	I	II	III	I	II	III
Blei	560,9	1.761	3.127	75,9	79,7	64,8	3.650	7.230	8.030
Cadmium	10,6	114,8	170,4	3,1	3,3	2,9	83	375	357
Chrom	320	283,5	48,9	186,6	113,3	33,1	226	346	158
Kupfer	115	134,1	104,9	24,2	21,3	20,4	213	294	173
Mangan	11.234	4.955	8.664	68,6	64,7	93,5	34.100	31.600	28.840
Nickel	130,1	148,4	36,2	8,8	6,6	6,7	356	441	112
Quecksilber	2,3	4,9	15,0	< 1,1	< 0,8	< 1,0	2,91	25	33,5
Vanadium	< 48,9	< 56,9	< 33,4	8,0	< 5,1	< 4,7	184	188	86
Zink	5.309	6.444	12.784	599,9	482,6	504,8	21.700	25.900	39.100
Zinn	< 221,5	< 428,5	< 303,6	30,2	24,2	< 19,4	700	870	955

Charakteristik der Meßfahrten im Rahmen des Dioxinmeßprogrammes: Einsatz von Schrott mit *geringem* (I), *mittlerem*, d.h. repräsentativem (II) und *hohem* Anteil an nichtmetallischen Verbindungen; Schrott/Roheisenverhältnis: 0,25 (I); 0,32 (II); 0,34 (III).

Angegebene Daten beziehen sich auf Sekundärentstaubung (Gewebefilter)

Quelle: UBA [96]

Die Werte sind für die einzelnen Meßfahrten (Einsatz verschiedener Schrottmischungen) gemittelt über mehrere Messungen angegeben. Zusätzlich sind die Gehalte der Spurenstoffe im abgeschiedenen Filterstaub angegeben. Die Staubkonzentration im Rohgas variierte zwischen 276 (I), 266 (II) und 346 (III) mg/Nm³; nach der Reinigung betrugen die entsprechenden Werte 0,7 (I + II) sowie 1,1 (III) mg/Nm³. Tabelle 4.2-29 zeigt die Gehalte an filtergängigen und partikelgebundenen Spurenstoffen im Sekundärabgas eines Oxygenstahlwerks vor und nach Abgasreinigung im Elektroabscheider. Das dritte Feld des Elektroabscheider ist als Hybridfeld ausgelegt. Vom Betreiber wird ein Gesamtabscheidegrad von 98,33 % genannt, der in den Messungen jeweils übertroffen wurde. In Tabelle 4.2-29 sind zusätzlich die Gehalte der Spurenstoffe im abgeschiedenen Filterstaub angegeben. Die PCDD/F-Massenkonzentrationen lagen mit 0,009 ng I-TE/Nm³, 0,013 ng I-TE/Nm³ und 0,029 ng I-TE/Nm³ deutlich unter 0,1 ng I-TE/Nm³. Die HCl-Konzentration lag im Roh- und im Reingas unter 2 mg/Nm³.

Tabelle 4.2-29: Spurenstoffe im Roh- und Reingas sowie im Filterstaub eines Oxygenstahlwerks (3)

Element	**Rohgas** [µg/Nm³] **Meßfahrt**			**Reingas** [µg/Nm³] **Meßfahrt**			**Filterstaub** [mg/kg] **Messung**		
	I	II	III	I	II	III	I	II	III
Blei	350,3	1597	711,1	83,8	25,8	17,8	4.320	4.220	3.910
Cadmium	16,8	51,6	17,3	7,5	1	0,4	185	163	166
Chrom	47	64,4	104,1	2,4	0,6	1,2	537	571	586
Kupfer	55,6	45,1	79,9	3,1	0,6	1	518	424	389
Mangan	895,6	909,2	1. 599	24,9	9,6	21	10.600	10.600	10.600
Nickel	21,4	25,4	33,2	9,1	0,7	0,4	215	212	214
Quecksilber	2,4	2,1	0,8	3	0,9	0,7	3	3	3
Vanadium	7,7	6,8	12,9	0,5	0,3	k.A.	88	83	83
Zinn	477	1087	279,1	3,4	11,7	2,1	197	183	172
Thallium	k.A.	0,3	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	4	< 1	< 1
Antimon	14,4	3,2	4,1	k.A.	k.A.	k.A.	< 2	< 2	< 2
Arsen	1,8	1	4	k.A.	k.A.	k.A.	19	13	16
Kobalt	2,5	2,6	4	k.A.	k.A.	k.A.	47	27	27
Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (21 PAH´s)	98,2	84,4	103,5	22,3	25,1	22,5	389,4	294,6	281,7
Staubgehalt	85.000	149.000	159.000	1.000	2.000	2.000			

Charakteristik der Meßfahrten im Rahmen des Dioxinmeßprogrammes: I: 47 % Fremdschrottanteil, davon 28,3 % DSD-Schrott, 2 % kunststoffbeschichteter Eigenschrott; II 32 % Fremdschrottanteil, davon 55,6 % DSD-Schrott; III: 36 % Fremdschrottanteil, davon 39 % DSD-Schrott, 3 % kunststoffbeschichteter Eigenschrott; Schrott/ Roheisenverhältnis: 0,23 (I), 0,24 (II), 0,20 (III).

Angegebene Daten beziehen sich auf Sekundärentstaubung (Elektroabscheider)

Quelle: UBA [96]

Das Prozeßwasser der Naßreinigung enthält vor allem Feststoffe (u.a. Eisenoxide, Partikel der Zuschlagstoffe) sowie gelöste anorganische Stoffe wie Eisen, Blei, Chrom; zusätzlich ist es thermisch belastet.

4.2.5.3 Bereich Stranggießanlage

Dominierendes Verfahren zur Weiterverarbeitung des flüssigen Rohstahls ist der kontinuierliche Strangguß. Dieses Verfahren weist in Deutschland einen Anteil von ca. 95 % auf und hat damit den Blockguß für den Bereich der Halbzeugfertigung der Massenprodukte nahezu vollständig verdrängt. Grundsätzlich wird der in der Sekundärmetallurgie fertig legierte Stahl in den Tundish, d.h. einen Zwischenbehälter gebracht und von dort durch eine wassergekühlte Kokille zu einem kontinuierlichen Strang vergossen. Hauptproduktionstechnik der integrierten Hüttenwerke sind Brammenstranggießanlagen, weiterhin werden noch Knüppel und Vorblöcke gegossen. Tabelle 4.2-30 enthält Bau- und Betriebsdaten der in Deutschland derzeit betriebenen Stanggießanlagen, die LD-Stahlwerken nachgeschaltet sind[9]. Der Reststoffanfall in diesem Bereich ist relativ gering und beschränkt sich auf geringe Mengen an Zunder (1kg/t Rohstahl) und Stranggießschlacke. Wasser wird beim Strangguß sowohl für Kühlzwecke (u.a. geschlossene Kühlkreisläufe zur Kokillenkühlung) als auch als Prozeßwasser (Spritzkühlung, Brammenkühlung) genutzt. Vielfach erfolgt eine wasserwirtschaftliche Verknüpfung von Stranggießanlage und Walzwerk.

Wichtige umweltrelevante Bereiche im Bereich der Stranggießanlagen sind der Einsatz und die Nutzung des Prozeßwassers (u.a. zur Spritzkühlung) sowie der Energieeinsatz. Das Prozeßwasser nimmt Zunder, Öl und Fett auf, so daß sich Konzentrationen an abfiltrierbaren Stoffen von bis zu 200 mg/l und an lipophilen Stoffen von bis zu 20 mg/l einstellen. Der spezifische Wassergebrauch beträgt je nach Typ der Anlage und Produkt 5-35 m^3/t Rohstahl.

---

[9] Zusätzlich werden weitere Anlagen betrieben, die jedoch Rohstahl aus Elektrolichtbogenöfen als Rohmaterial verarbeiten.

Tabelle 4.2-30: Technische Daten zu Stranggießanlagen für Brammen und Knüppel in Deutschland

Gesellschaft / Standort d. Anlage(n)	Inbetriebnahme	Anzahl der Stränge	Gießformat	Strangabmessungen (min/ max) [mm]	
				Dicke	Breite
Thyssen Stahl AG, Bruckhausen	79 99	2 2	Brammen Dünnbrammen	215/215 45/60	1800/2600 900/1600
Thyssen Stahl AG, Beeckerwerth	74 80	2 2	Brammen Brammen	255/255 255/255	1180/2070 1420/2400
Saarstahl AG, Völklingen	81 81	6 6	Knüppel Knüppel	125 Kantenlänge 150 Kantenlänge	
AG Dillinger Hüttenwerke, Dillingen	68 75 98	2 2 2	Brammen Brammen Brammen	200/250 200/300 /400	860/1600 1600/2200 /2200
Krupp-Hoesch Stahl AG, Dortmund-Hörde	72 76 85	2 2 1	Brammen Brammen Brammen	220/320 220/220 220/220	800/1650 800/1650 1800/2720
Preussag Stahl AG, Salzgitter	82 73	1 2	Brammen Brammen	200/300 210/210	1900/2600 900/1950
Stahlwerke Bremen GmbH, Bremen	73	2	Brammen	220/220	900/2400
HW. Krupp Mannesmann GmbH, Huckingen	67 67	2 2	Brammen Brammen	260/260 260/260	800/2100 800/2100
EKO Stahl GmbH, Eisenhüttenstadt	84	2	Brammen	200/300	850/1850

Quelle: VDEh [102]

4.2.5.4 Überblick über den Einsatz moderner Techniken in den Bereichen Roheisenvorbehandlung, Oxygenstahlwerk und Stranggießanlage

Die folgende Tabelle 4.2-31 zeigt im Überblick, in welchem Maße die vom EIPPCB vorgeschlagenen BVT in deutschen Anlagen eingesetzt werden[10].

Tabelle 4.2-31: Kandidaten für BVT der Bereiche Roheisenvorbehandlung, Oxygenstahlwerk und Stranggießanlage

Bezeichnung	Nr.*)	Anlage(n) in Deutschland	Bemerkung
Prozeßintegrierte Maßnahmen			
Energy recovery from the BOF gas	PI.1	wird i.a. eingesetzt	Konvertergasgewinnung zur Nutzung als Brenngas durch unterdrückte Verbrennung (Joksch [62]), z.T. auch Nutzung in Abhitzekesseln.
Lowering the zinc-content of scrap	PI.2		Qualitäts- und Kostenaspekte sind für die Wahl des eingesetzten Schrottes entscheidend. Auch Recyclingmöglichkeiten für angereicherte Stäube beachten.
On-line sampling and analysis of steel	PI.3	wird i.a. eingesetzt	
End-of-Pipe Techniken			
Primary de-dusting	EP.1	wird generell eingesetzt	z.T. mit Konvertergasrückgewinnung (Lurgi-Thyssen-Verfahren).
Particulate matter abatement from pig iron pre-treatment	EP.2	wird generell eingesetzt	Haube, z.T. an die Sekundärentstaubung im Stahlwerk angeschlossen.
Secondary de-dusting	EP.3	i.d.R. Absaughauben	Verschiedene Techniken eingesetzt.
Dust hot-briquetting and recycling	EP.4	Thyssen Stahl AG	
Treatment of wastewater from wet de-dusting	EP.5	bei nasser Gasreinigung generell eingesetzt	In Deutschland erfolgt i.a. eine hüttenwerksinterne Wasserbehandlung.
Treatment of wastewater from continuous casting	EP.6	wird generell eingesetzt	Wasserwirtschaft bei den Stahlwerken Bremen (Dammann [22]).

*) Die Kurzbezeichnung *PI* steht für prozeßintegrierte Maßnahmen; *EP* steht für End-of-Pipe-Maßnahmen.

[10] Die vom EIPPCB angegebenen BVT wurden im wesentlichen auf Grundlage einer niederländischen Studie [68] vorgeschlagen, die vom DFIU 1997 ausführlich kommentiert wurde.

4.3 Zusammenfassung des BVT-Positionspapiers „Elektrostahlerzeugung“

Nach der Vorstellung der Oxygenstahlerzeugung wird im vorliegenden Unterkapitel 4.3 die Struktur der deutschen Elektrostahlindustrie dargestellt und die angewandte Produktionstechnologie analysiert. Auf Grundlage dieser Untersuchungen werden Kandidaten für beste verfügbare Techniken zur Elektrostahlerzeugung vorgeschlagen und anhand von Fallstudien die Auswirkungen der Kandidaten auf den Verbrauch an Einsatzstoffen und Emissionen dokumentiert.[11]

4.3.1 Informationen zur Branche

Die Gesamtproduktion an Rohstahl belief sich in der Bundesrepublik Deutschland im Jahre 1995 auf 42 Mio. Tonnen (1996: 40 Mio. t). In Deutschland wurde damit ein Anteil von etwa 5,6 % der Weltstahlproduktion hergestellt, dabei wurde durch den Verkauf von Roheisen, Rohstahl und Eisenlegierungen ein Umsatz ca. 39 Milliarden DM erzielt [113]. Mengenmäßig wie prozentual ist die Bedeutung der Rohstahlerzeugung im Elektrostahlwerk in den letzten 20 Jahren beständig angestiegen. Der Anteil des im Elektrostahlwerk produzierten Rohstahls stieg von 12,6 % (5 Mio. Tonnen) im Jahr 1975 auf 24,1 % (10,14 Mio. Tonnen) im Jahr 1995, bei einer insgesamt etwa gleichbleibenden Gesamtmenge produzierten Rohstahls. Im Vergleich zum Durchschnitt der EG 15 mit 34,9 % und einem weltweiten Durchschnitt von 32,6 % im Jahr 1995 erscheint ein weiteres Wachstum des Anteil der Elektrostahlproduktion in Deutschland möglich. Neue Elektrostahlwerke wurden an traditionellen Stahlstandorten (integrierte Hüttenwerke) errichtet, wo sie zum Teil bestehende Oxygenstahlwerke ersetzten, aber auch an neuen Standorten in der Nähe von Kunden und Rohstoffen (im wesentlichen Stahlschrott und Energie) gebaut. Standorte der deutschen Elektrostahlindustrie finden sich daher in den meisten Bundesländern (vgl. Abbildung 4.3-1) .

[11] Dieses Unterkapitel ist eine Zusammenfassung des BVT-Positionspapiers „*Report on BAT in the Electric Steelmaking Industry*“ in deutscher Sprache, das vollständig in Englisch im Ergänzungsband 1 zu diesem Abschlußbericht enthalten ist.

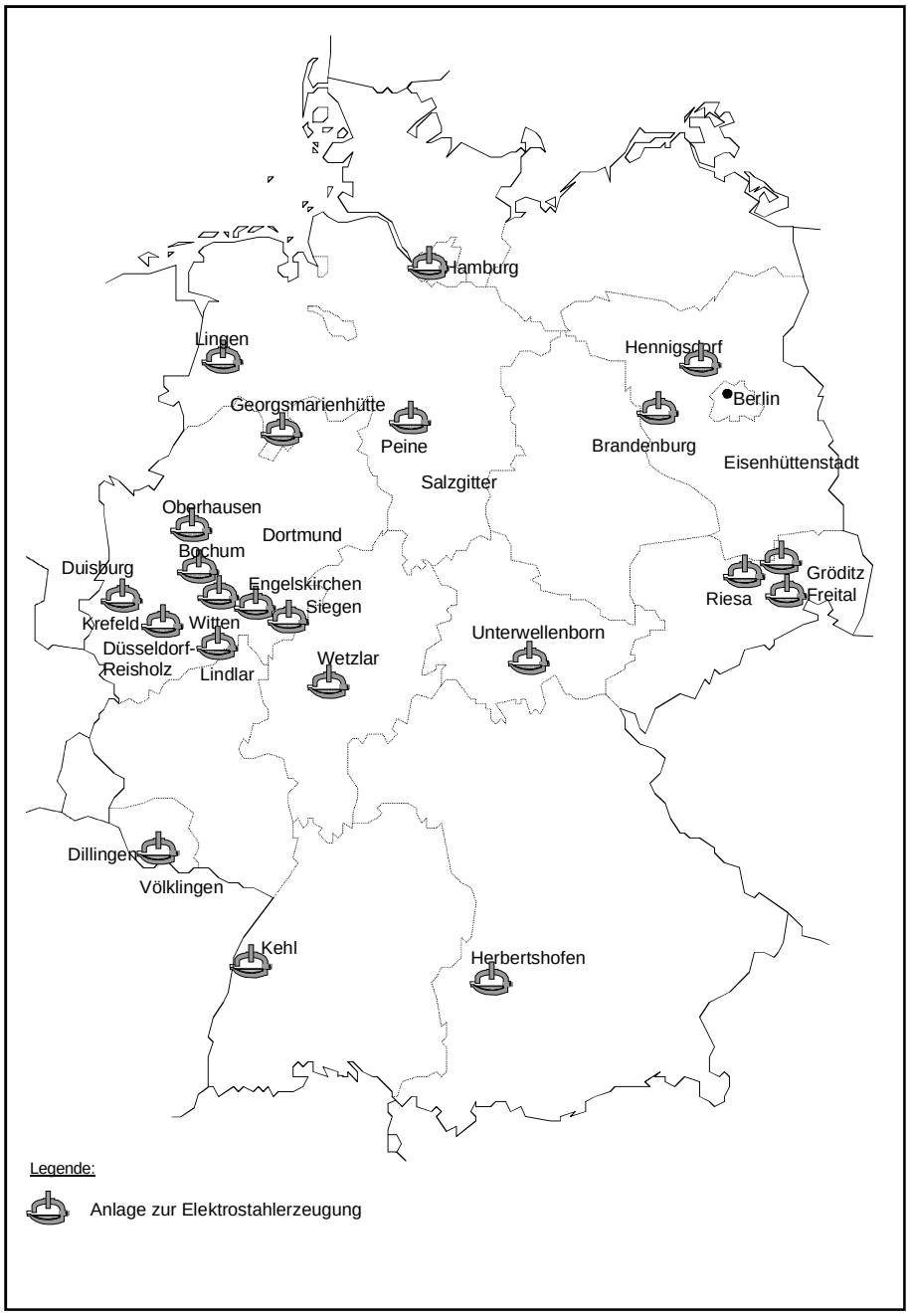

Abbildung 4.3-1: Ausgewählte Standorte von Elektrostahlwerken in Deutschland

Quelle: nach Rentz [83]

Diese Entwicklung des vermehrten Einsatzes von Elektrostahlwerken zur Stahlerzeugung ist Teil eines weltweiten Trends zum Bau sogenannter „Minimills“, d.h. Elektrostahlwerken mit direkt anschließender Stranggießanlage und Warmwalzwerk [89]. Tabelle 4.3-1 zeigt in einer Übersicht Daten zu ausgewählten Standorten deutscher Elektrostahlwerke.

Tabelle 4.3-1: Daten zu Elektrostahlwerken in Deutschland

Betreiber	Standort	Ofen-anzahl	Kapazi-tät[Tonnen]	Edelstahl	C-Stahl	Inbetrieb-nahme
Ispat-Hamburger Stahlwerke GmbH	Hamburg	1	110		x	1978
Preussag Stahl AG	Peine	1	100		x	1995
Georgsmarienhütte GmbH	Georgsmarienhütte	1	125	x	x	1994
Stahlwerke Lingen GmbH	Lingen	1	85	x		1974
Henningsdorfer Stahlwerke GmbH	Hennigsdorf	2	je 85		x	1994/1995
Brandenburger Stahlwerke GmbH	Brandenburg	2	je 125		x	1986/1994
Stahlwerk Oberhausen GmbH	Oberhausen	1	135		x	1979
Krupp Thyssen Nirosta GmbH	Bochum/Krefeld	1/1	140/80	x/x		1982/1955
Krupp Edelstahlprofile GmbH	Siegen	1	140	x		1978
Edelstahlwerke Buderus AG	Wetzlar	1	100	x		1995
ESF Elbestahl Feralpi GmbH	Riesa	1	70		x	1994
Gröditzer Stahlwerke GmbH	Gröditz	1	35		x	1968
Saarstahl AG	Völklingen	1	125		x	1977
Edelstahl Witten-Krefeld GmbH	Witten	1	110	x		1981
Stahlwerke Thüringen GmbH	Unterwellenborn	1	120		x	1995
Badische Stahlwerke GmbH	Kehl	2	je 85		x	1968/1976
Lech Stahlwerke GmbH	Herbertshofen	2	je 65		x	1972/1975
Sächsische Edelstahlwerke GmbH	Freital	1	40	x		1986

In die Tabelle sind nur Elektroöfen mit einem Abstichgewicht > 34 t/Charge aufgenommen.

Quellen: VDEh [102, 105]

Haupteisenträger bei der Elektrostahlerzeugung ist Stahlschrott. Ein wichtiger wirtschaftlicher Aspekt für die Betreiber von Elektrostahlwerken ist daher der zugängliche Schrottmarkt. Deutsche Elektrostahlwerke setzten 1995 etwa 9,9 Mio. Tonnen Stahlschrott aus verschiedenen Quellen ein [104]. Die einsetzbare Schrottmischung ist dabei von der zu produzierenden Stahlgüte abhängig. Die Qualität des eingesetzten Schrotts bestimmt außerdem signifikant die entstehende Menge und Zusammensetzung an Emissionen. Ein weiterer wichtiger Standortfaktor für Elektrostahlwerke ist die Verfügbarkeit und der Preis elektrischer Energie.

4.3.2 Angewandte Produktionsprozesse und Emissionsminderungsmaßnahmen

In diesem Kapitel werden wesentliche Teilschritte der Elektrostahlerzeugung dargestellt[12].

4.3.2.1 Abgrenzung des Untersuchungsumfangs

Fast 100 % des in Deutschland produzierten Elektrostahls und etwa 90 % weltweit werden in Elektrolichtbogenöfen produziert [117, 76], daher wird im folgenden ausschließlich die Stahl-

[12] Teilweise wird die Elektrostahlerzeugung auch als sekundäre Stahlerzeugung bezeichnet.

erzeugung im Elektrolichtbogenofen (englisch: Electric Arc Furnace - EAF) untersucht. Rohstahl aus Elektrostahlwerken wird im allgemeinen in Warmwalzwerken, aber auch in Schmieden und Röhrenwerken weiterverarbeitet.

Abbildung 4.3-2 gibt einen schematischen Überblick über Anlagen, Prozesse, Einsatzstoffe und Emissionen der Elektrostahlerzeugung, die im Rahmen dieser Studie betrachtet werden.

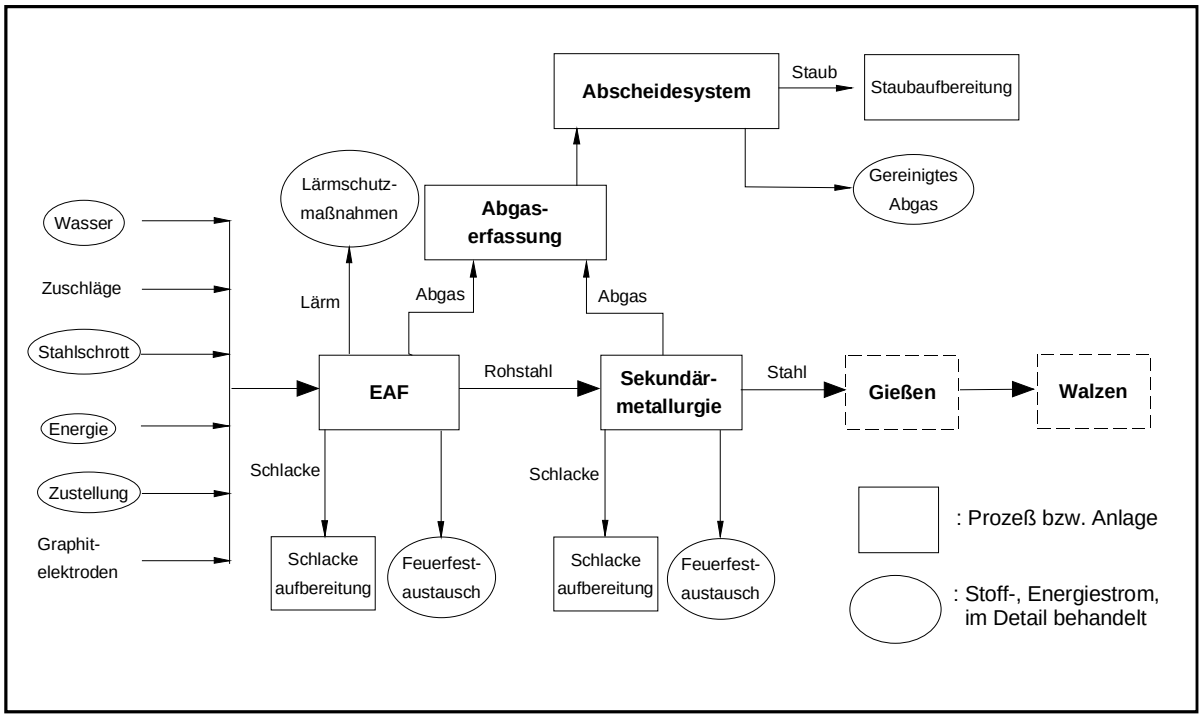

Abbildung 4.3-2: Angewandte Prozesse und Emissionsminderungsmaßnahmen der Elektrostahlerzeugung

Die erzeugte Stahlgüte bestimmt in relevantem Maß etwaige Einflüsse der Elektrostahlproduktion auf die Umwelt, da verschiedene Stahlgüten unterschiedliche Zusammensetzungen der Einsatzstoffe und verschiedene Nachbehandlungen erfordern und hieraus Änderungen der Zusammensetzungen von Schlacken und Stäuben resultieren. Die im Lichtbogenofen produzierten Stahlgüten werden in zwei relevante Gruppen unterteilt:

- Massenstahl (Kohlenstoffstahl bzw. C-Stahl)
- Edelstahl, einschließlich legiertem Stahl

4.3.2.2 Darstellung der Stahlerzeugung im Elektrolichtbogenofen

Abbildung 4.3-3 zeigt in einem Überblick wesentliche Teilprozesse im Elektrostahlwerk, die im folgenden charakterisiert werden.

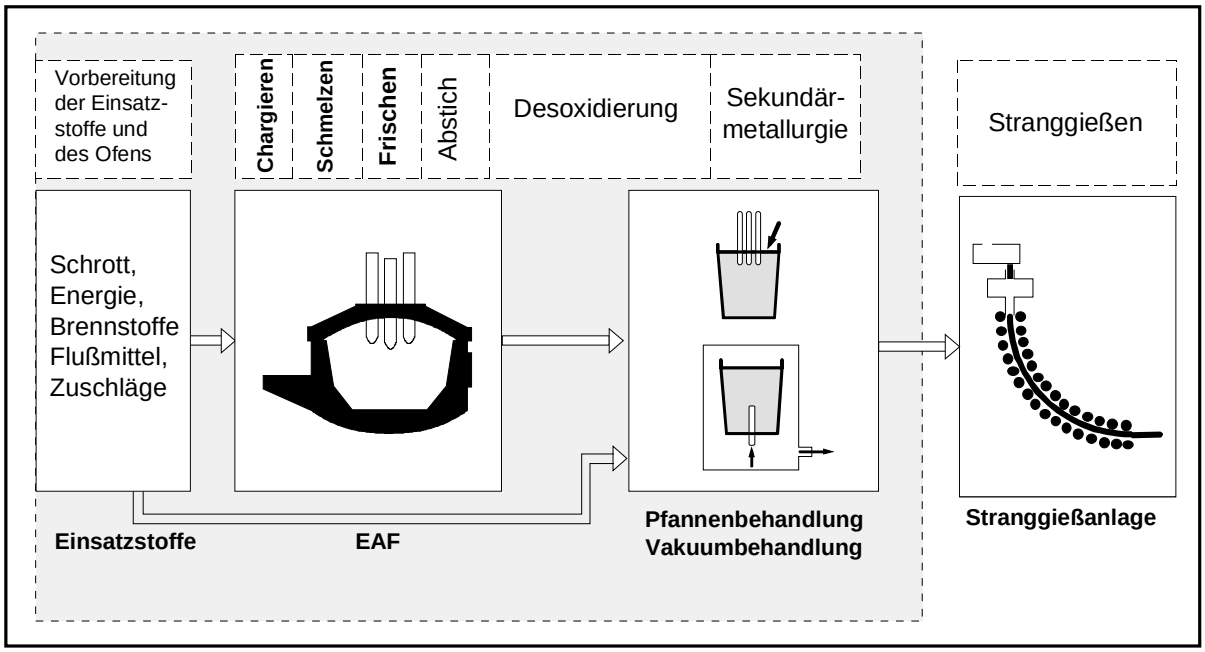

Abbildung 4.3-3: Schematische Darstellung der Prozeßkette der Elektrostahlerzeugung

Haupteinsatzstoff bei der Elektrostahlerzeugung ist Stahlschrott, welcher mittels eines Lichtbogens im Ofen eingeschmolzen wird. Weitere Inputs sind Flußmittel und Zuschläge, wie etwa Desoxidationsmittel und Legierungselemente. Das Hauptprodukt der Elektrostahlerzeugung ist Rohstahl. Neben diesem Output entstehen eine Reihe von Kuppelprodukten (wie z.B. Schlacken, staubbeladene Abgase und Feuerfestausbruch). Der Produktionsprozeß im Elektrostahlwerk umfaßt insgesamt im wesentlichen die folgenden Teilprozesse:

- Vorbereitung der Einsatzstoffe und des Ofens,
- Chargierung des Ofens,
- Einschmelzvorgang,
- Oxidierung (Frischen, Entkohlung) der Schmelze,
- Abstich der Schlacke und der Stahlschmelze,
- Desoxidation und Sekundärmetallurgie.

Voraussetzung für die Elektrostahlproduktion ist die Sicherstellung der Versorgung mit den Einsatzstoffen (hauptsächlich Stahlschrott, Zuschläge, Flußmittel und elektrische Energie) sowie eine regelmäßige Zustellung des Ofens mit verschiedenen Typen feuerfesten Materials, um das Ofengefäß gegen die entstehenden chemischen und physischen Belastungen durch Einsatzstoffe, Hitze und Schlacke zu schützen.

Das Beschicken des Ofens erfolgt in der Regel satzweise: zwei bis drei Körbe mit zum Teil vorsortiertem Schrott werden nacheinander durch das geöffnete Oberteil in den Ofen eingebracht, um die Kapazität moderner Öfen von ca. 80-150 t/Schmelze vollständig zu nutzen. Die erste Charge wird teilweise eingeschmolzen, während die folgenden Körbe vorbereitet werden. Neu entwickelte Systeme wie etwa der CONSTEEL-Prozeß ermöglichen auch ein konti-

nuierliches Beschicken der Öfen, in Deutschland haben sich diese bislang jedoch noch nicht durchgesetzt. Entsprechend der gewünschten Stahlgüte werden Flußmittel (z.B. Kalk) und Zuschläge (z.B. Kohlenstoff, Chrom) zugegeben. Die Zugabe dieser Materialien kann bei entsprechender Ausrüstung des Ofens sowohl während der Chargierung als auch während der Oxidationsphase erfolgen. Nach Chargierung des letzen Schrottkorbs wird der drehbare Deckel für den eigentlichen Schmelzprozeß erneut geschlossen, die Graphitelektroden werden durch die Deckellöcher in den Ofen nahe an den Schrott herangeführt, der Lichtbogen wird wieder gezündet und der letzte Teil der Einschmelzphase beginnt. An den heißesten Stellen im Ofengefäß entstehen während des Schmelzvorgangs Temperaturen von bis zu 3.500 °C. Zum Einsparen von elektrischer Energie und zur Beschleunigung des Schmelzprozesses werden zur Erzeugung zusätzlicher Prozeßwärme oftmals Sauerstoff oder Brennstoff-Gas-Mischungen durch spezielle Lanzen oder mittels Sauerstoff Brennstoff-Brennern in den Ofen eingebracht.

Die Oxidationsphase im Ofen beginnt nach Beendigung der Einschmelzphase. Hauptziel ist dabei die Reduzierung des Kohlenstoffgehalts der Schmelze und die Oxidation unerwünschter Begleitelemente (Gangart). Während des Einschmelzens und der Oxidationsphase wird eine aufschwimmende und schäumende Schlacke gebildet, die das Entfernen unerwünschter Begleitelemente wie Schwefel, Silizium und Mangan ermöglicht. Neben diesem positiven metallurgischen Effekt ist die Bildung einer Schaumschlacke auf der Schmelze wichtig für eine gute Energieübertragung vom Lichtbogen zur Stahlschmelze und insbesondere für den Schutz der Ofenhülle. Ein weiterer vorteilhafter Effekt der Schaumschlacke ist eine Minderung des durch den Schmelzvorgang verursachten Lärms. Die erforderliche Schäumkohle wird in der Regel zugleich mit dem Eindüsen von Sauerstoff in den Ofen eingeblasen. Teilweise wird die Badbewegung zusätzlich durch das Eindüsen von Inertgas (z.B. Argon oder Stickstoff) gefördert [53].

Der Abstichvorgang von Schlacke und Stahlschmelze beginnt mit einer Kippbewegung des Ofens, um zunächst die in den folgenden sekundärmetallurgischen Vorgängen nicht erwünschte Schlacke abzugießen. Nachfolgend wird der Rohstahl bei Temperaturen von ca. 1.600-1.680 °C abgestochen. Der erforderliche Kippwinkel zur Leerung des Ofens schwankt je nach Abstichsystem zwischen 12° und 42°. Heutzutage wird meist der exzentrische Bodenabstich (eccentric bottom tapping, EBT) eingesetzt, der bei einem Abstichwinkel von etwa 12° einen schlackefreien Abstich ermöglicht. Kleinere Abstichwinkel sind dabei vorteilhaft, da sie durch geringere Energieverluste, kürzere tap-to-tap-Zeiten und kürzere Stromleitungen Kosteneinsparungen erlauben [60].

Dem Abstich des Rohstahls folgen sekundärmetallurgische Vorgänge, von denen einige im Elektroofen selbst durchgeführt werden können. Üblicherweise wird die Feineinstellung der

Stahlgüte jedoch nicht in diesem Aggregat durchgeführt, sondern in einem Pfannenofen. Die sekundärmetallurgische Behandlung des Rohstahls wird aufgrund steigender Ansprüche an die Stahlqualität, die eine gesonderte Nachbehandlung der Stahlschmelze erforderlich machten, in eigenen Gefäßen durchgeführt. Außerdem wird so die Zeit zwischen zwei Abstichen nachhaltig verkürzt, da der leistungsstarke Elektrolichtbogenofen nun ausschließlich für den Einschmelzvorgang verwendet wird.

4.3.3 Verbrauchs- und Emissionswerte angewandter Techniken

In diesem Kapitel werden Angaben zur Art und zur Menge typischer Einsatzstoffe und Emissionen relevanter Teilprozesse in Elektrostahlwerken dargestellt.

4.3.3.1 Einsatzstoffe und Emissionen im Elektrostahlwerk

Die in Abbildung 4.3-3 dargestellten Teilprozesse im Elektrostahlwerk werden im EAF (Chargieren, Schmelzen, Frischen (Oxidieren), Abstechen und Desoxidieren) und den Gefäßen der Sekundärmetallurgie (Feineinstellung der Stahlgüte) durchgeführt. Daher erfolgt eine anlagenbezogene Aufstellung von Einsatzstoffen und Outputs. Staubemissionen, die in vor- oder nachgelagerten Teilprozessen entstehen (etwa Lagerung und Transport) werden nicht berücksichtigt. Abbildung 4.3-4 zeigt eine Darstellung relevanter Stoffströme und ausgewählter Maßnahmen zur Emissionsminderung der Elektrostahlerzeugung. Als wesentliche Einsatzstoffe zur Herstellung von Elektrostahl sind anzuführen:

- Eisenträger (üblicherweise Stahlschrott)
- Elektrische Energie
- Weitere Energieträger (Sauerstoff, Erdgas)
- Feuerfestmaterial (Ofenzustellung)
- Graphitelektroden
- Flußmittel (Kalk, Kohle)
- Zuschläge (etwa Legierungsmittel entsprechend der gewünschten Stahlqualität)
- Kühlwasser (in Abhängigkeit des Kühlsystems)
- Inertgas (falls Bodenspülen angewendet wird)

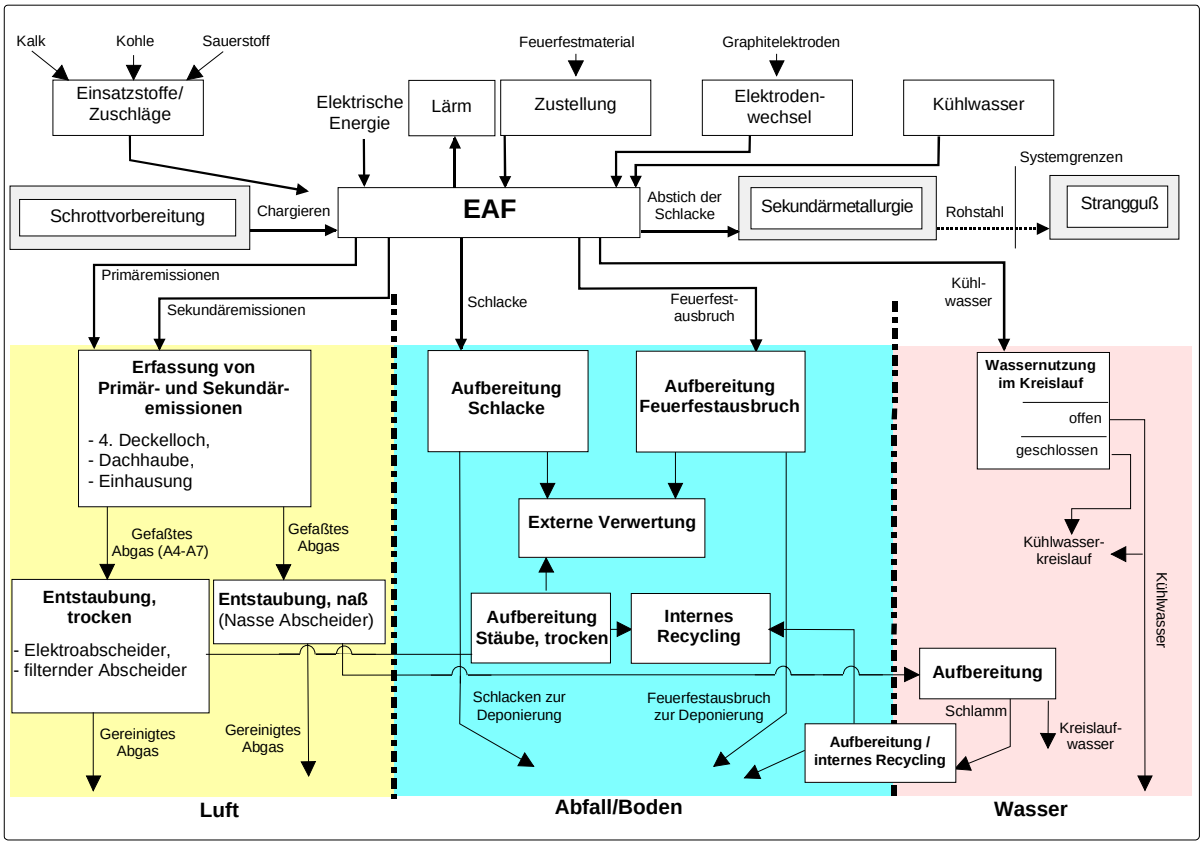

Abbildung 4.3-4: Schematische Darstellung von Stoffströmen in Elektrostahlwerken

Tabelle 4.3-2 zeigt eine Zusammenstellung typischer Inputs und Outputs für Elektrostahlwerke zur Massenstahlproduktion mit Bandbreiten üblicher Werte.

Tabelle 4.3-2: Typische Einsatzstoffe und Emissionen der Massenstahlerzeugung im EAF

Inputs			Outputs		
Stahlschrott	kg/t	1.080-1.130	Stahlschmelze	kg/t	1.000
Gesamtenergie	kWh/t	650-750	Schlacke	kg/t	100-150
davon elektrische Energie davon Sauerstoff	kWh/t m^3/t	345-490 24-47	Partikel (insgesamt abgeschieden)	kg/t	10-20
Graphitelektroden	kg/t	1.5-4.5	davon Anfall bei:		
Kalk	kg/t	30-80	Primärentstaubung	mg/m^3	3.400-33.900
Kohle	kg/t	13-15	Sek.-entstaubung	mg/m^3	150-275
Feuerfestmaterial	kg/t ∅	1.9-25.1 8.1	Feuerfestausbruch	kg/t	k.A.
Wasser	geschlossener Kreislauf		Eigenschrott	kg/t	k.A.
			Lärm	dB(A)	125-139

Quellen: Theobald [90], Weiss [109]

Stahlschrott ist der Haupteisenträger für die Elektrostahlerzeugung. Der Schrott weist in der Regel einen Eisengehalt von 80-100 % auf [74]. Etwa 1.080-1.130 kg Schrott pro Tonne Rohstahl werden bei der Erzeugung von Elektrostahl in den Ofen chargiert, in einigen Anlagen wird Schrott durch Eisenschwamm oder direkt reduziertes Eisen ersetzt.

Der Energiebedarf wird hauptsächlich in Form von elektrischer Energie zugeführt. Darüber hinaus dienen auch Elektrodenabbrand, Zusatzbrenner, Sauerstofflanzen und exotherme Reaktionen im Ofen (z.B. Abbrand von Öl, Schmierstoffen oder Kohle) als Energiequellen [65]. Abbildung 4.3-5 zeigt zur Verdeutlichung die Energieströme zweier Elektroöfen in Form von Sankey-Diagrammen.

Um das Ofeninnere vor übermäßiger Abnutzung zu schützen, wird es mit Feuerfestmaterial ausgemauert. Da die Feuerfestzustellung starker thermischer und mechanischer Belastung sowie chemischen Angriffen ausgesetzt ist, wird in regelmäßigen Abständen eine Neuzustellung des Ofens notwendig [37].

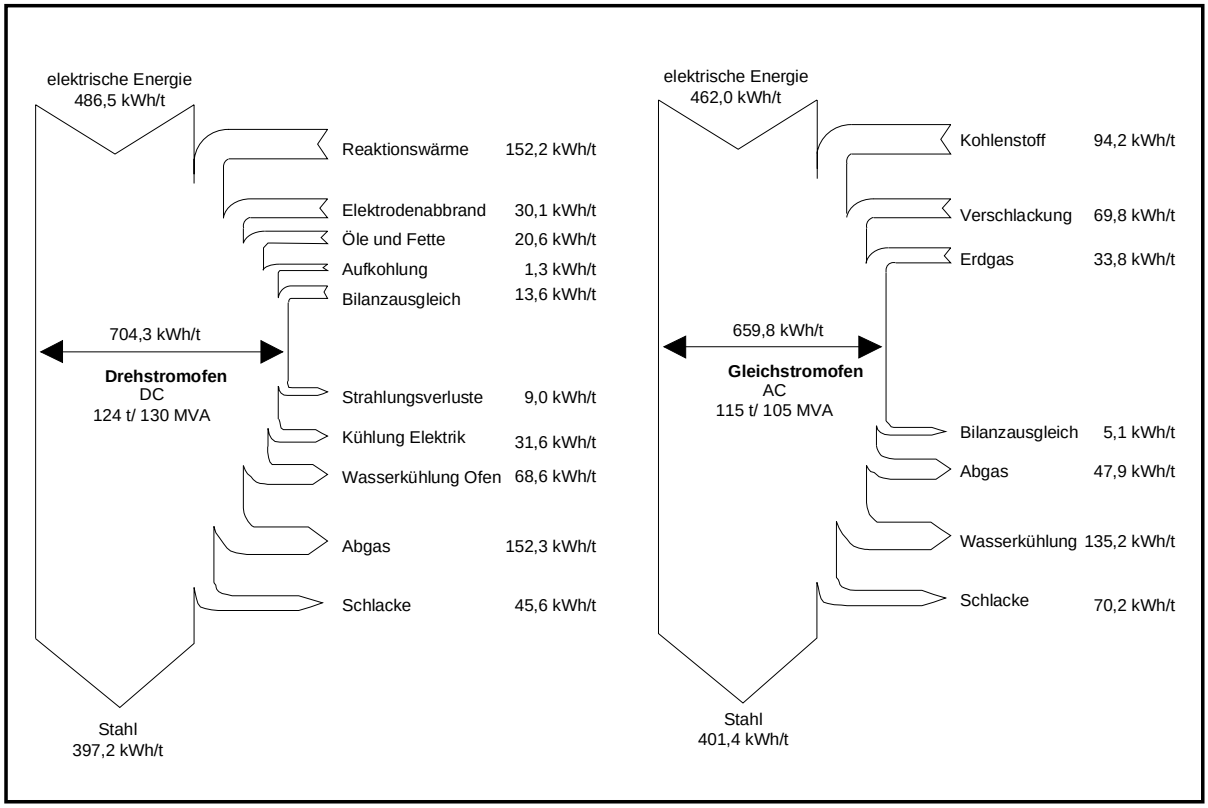

Abbildung 4.3-5: Schematische Darstellung der Energieströme beim Betrieb zweier EAF

Quelle: Krüger [65]

Hauptprodukt des Elektroofens ist Rohstahl, zusätzlich entstehen aber noch eine Reihe weiterer Outputs: Die wichtigsten sind luftgängige Emissionen während des Chargierens, Einschmelzens und Abstechens (der Staubgehalt im Rohabgas schwankt etwa zwischen 13,3 und 33,9 g/Nm^3, Primärentstaubung) sowie feste Outputs wie Schlacke (100-150 kg/t) und Feuerfestausbruch (zumeist unter 8 kg/t).

Der Bedarf an Wasser im Elektrostahlwerk ist abhängig vom Kühlsystem und der Abgasreinigungsanlage. In modernen Werken werden aber zumeist geschlossene Kühlkreisläufe und trockene Abgasreinigungsverfahren eingesetzt. Elektrostahlwerke emittieren weiterhin Lärm, insbesondere während des Einschmelzvorgangs. Dabei werden am Ofen Lärmemissionen von bis zu 125-139 dB(A) erreicht [66].

Tabelle 4.3-3 zeigt Analysen von Zusammensetzungen von Elektroofenschlacken und Schlacken der Sekundärmetallurgie, die bei der Herstellung verschiedener Stahlgüten anfallen.

Tabelle 4.3-3: Chemische Zusammensetzung von Elektroofen- und Sekundärmetallurgieschlacken

Substanz [Gew.-%]	**un- bis mittelleg. Stähle**	**un- bis mittelleg. Stähle**	**un- bis mittelleg. Stähle**	**un- bis mittelleg. Stähle**	**RSH-Stähle**	**Pfannen-schlacke A**	**Pfannen-schlacke B**	**AOD Schlacke**
Fe_{tot}	28,20	18	10-19	25	≤ 2	≤ 2	5	≤ 1
CaO	27,8	35	35-45	30	45	50	30	50
CaO_{frei}	n.a.	n.a.	n.a.	< 1	≤ 10	≤ 10	≤ 5	≤ 10
SiO_2	11,5	15	10-18	15	30	10-20	20	25
Al_2O_3	4,60	6	3-8	5	5	3	10	2
MgO	4,40	8	7-13	5	7	7	10	4
MnO	4,90	5	4-12	5	2	≤ 1	5	1
Cr_2O_3	1,44	≤ 1	n.a.	1,5	3	≤ 0,5	≤ 0,5	2
TiO_2	0,30	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
P_2O_5	0,64	≤ 1	≤ 1	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
Na_2O	0,46	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
K_2O	0,11	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
V_2O_5	0,11	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
ZnO	0,02	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
CuO	0,03	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
NiO	0,01	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
S	0,02	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
C	0,33	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
A: kalksilikatischer Typ B: aluminiumsilikatischer Typ								

Quellen: Discher [23], Geiseler [38], Heinen et al. [48], Plöckinger [76]

Andere Elemente, wie Pb, As, Sb, Hg, Cl, F, sind in Spuren in den Schlacken vorhanden. Exemplarische Analysen des Rohabgases zweier deutscher Elektroöfen für die Produktion von Kohlenstoffstahl werden in Tabelle 4.3-4 dargestellt. Die angegebenen Werte sind nach der Nachbrennkammer und den Kühlzonen gemessen, d.h. vor dem Eintritt des Abgases in das Schlauchfilterhaus. Beide Öfen sind mit Wasserquenchen für ein schnelles Abkühlen der Abgase ausgerüstet. Die Analysen sind für den Betrieb mit und ohne Quenche angegeben.

Tabelle 4.3-4: Analyse des Rohabgases aus Elektroöfen ausgewählter deutscher Elektrostahlwerke

Substanz	**EAF 1**		**EAF 2**	
	Normalbetrieb	Wasserquenche	Normalbetrieb	Wasserquenche
Gesamtstaub [mg/Nm^3]	13.379	2.458	33.875	3.659
Klasse 1: Staubähnliche anorganische Substanzen [mg/Nm^3]				
Cadmium (Cd)	3,5537	2,6032	2,59	0,743
Quecksilber (Hg)	0,1136	0,1095	n.n.	n.n.
Thallium (Tl)	0,042	n.n.	n.n.	n.n.
Klasse 2: Staubähnliche anorganische Substanzen [mg/Nm^3]				
Arsen (As)	2,6457	0,7759	6,2418	1,4396
Kobalt (Co)	0,3502	0,0888	0,6677	0,12
Nickel (Ni)	5,6898	0,8556	4,8737	0,803
Selen (Se)	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
Klasse 3: Staubähnliche anorganische Substanzen [mg/Nm^3]				
Blei (Pb)	338,3697	218,9618	373,4424	102,5526
Chrom (Cr)	44,3373	1,4533	86,9606	10,8096
Kupfer (Cu)	50,5468	8,5367	62,7648	13,4046
Mangan (Mn)	247,5962	52,9882	425,729	142,8455
Vanadium (V)	2,8437	0,1848	3,9868	0,319
Zinn (Sn)	5,4314	1,3739	4,2018	1,1443
Gasförmige anorganische Substanzen [mg/Nm^3]				
Fluor als HF	0,93	0,88	0,24	0,4
Chlor als HCl	6,2	0,6	3,2	< 0,8
Kohlenmonoxid (CO)	472	259	197	n.n.
Krebserregende Substanzen [mg/Nm^3]				
Benzopyren	0,0001	0,00015	0,00165	0,00009
Dibenzanthracen	0,00007	0,00011	0,00038	0,00004
Benzol	0,073	0,174	0,174	0,045
Organische Substanzen [ng TE/Nm^3]				
Dioxine und Furane (PCDD/PCDF)	8,11	2,55	17,32	2,58
PCB	0,00132	0,00225	0,00822	0,00074

Quelle: Weiss [108]

In Tabelle 4.3-5 sind typische Zusammensetzungen von Stäuben der Elektrostahlerzeugung angegeben, die durch trockene Abscheidung bei der Abgasreinigung anfallen.

Tabelle 4.3-5: Typische chemische Zusammensetzungen von EAF-Stäuben

Informationsquelle	Zn	Pb	$Fe_{tot.}$	CaO	$Cr_{tot.}$	Ni	Mo
Massenstahlerzeugung							
Weiss [24]	30*)	4,5	22	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
EPRI [28]	19,0	2,1	28,5	k.A.	0,39	k.A.	k.A.
Hartwell [46]	5-35	1-5	35-55	2-14	k.A.	k.A.	k.A.
Frada [34]	23,4	5,4	22	10,7	k.A.	k.A.	k.A.
Kola [63]	15-35	1-8	20-30	5-12	0,1-0,4	0,05–0,25	< 0,1
Edelstahlerzeugung							
Werner [111]	1,9	1,9	29 (Fe_2O_3)	0,7	13,7	3,75	k.A.
EPRI [29]	1,0	1,1	31,7	3,1	10,2	k.A.	k.A.
Kola [63] **)	1-7	0,2-1,5	25-45	3-10	10-15	3-7	1-2
Etienne [30]	2-5	0,3-0,7	30-40	10-25	16-22	2-4	0-4
***)	0,38	0,1	59,7	2 (Ca)	12,4	3,9	k.A.

*) Alle Angaben in Gewichtsprozent

**) Analyse von EAF-Stäuben aus der Edelstahlerzeugung

***) Firmeninformation

4.3.3.2 Einsatzstoffe und Emissionen der Sekundärmetallurgie

Die Prozeßschritte nach dem Abstich des Rohstahls bis zur Gießanlage werden als Sekundärmetallurgie bezeichnet [9]; deren Ziel besteht in der Feineinstellung der gewünschten Stahlgüte. Die Vielzahl an im Elektroofen produzierten Stahlgüten erfordert unterschiedlichste Behandlungsarten, die im allgemeinen im Pfannenofen oder im Konverter durchgeführt werden. In Abhängigkeit der gewünschten Stahlgüte werden Einsatzstoffe variiert, damit ändern sich auch die Outputs entsprechend. Die Ziele der Sekundärmetallurgie haben sich im Zeitablauf geändert; waren zunächst die Homogenisierung und Feineinstellung der Stahlzusammensetzung sowie die Desoxidation primäre Anliegen, so sind heute als Ziele anzuführen [42]:

- die Verbesserung des Reinheitsgrads,
- die Reduzierung nichtmetallischer Einschlüsse,
- die Verminderung von Kohlenstoff-, Schwefel-, Phosphor-, Wasserstoff- und Stickstoffgehalt sowie
- die Einstellung der Temperatur für den Stranggießprozeß.

Abbildung 4.3-6 zeigt typische Stoffströme und ausgewählte Emissionsminderungsmaßnahmen für die sekundärmetallurgischen Prozesse in einem Pfannenofen. Aufgrund der Vielzahl möglicher sekundärmetallurgischer Behandlungsschritte lassen sich keine repräsentativen Werte für Inputs und Outputs angeben, lediglich Anhaltspunkte dazu finden sich in Heinen [48].

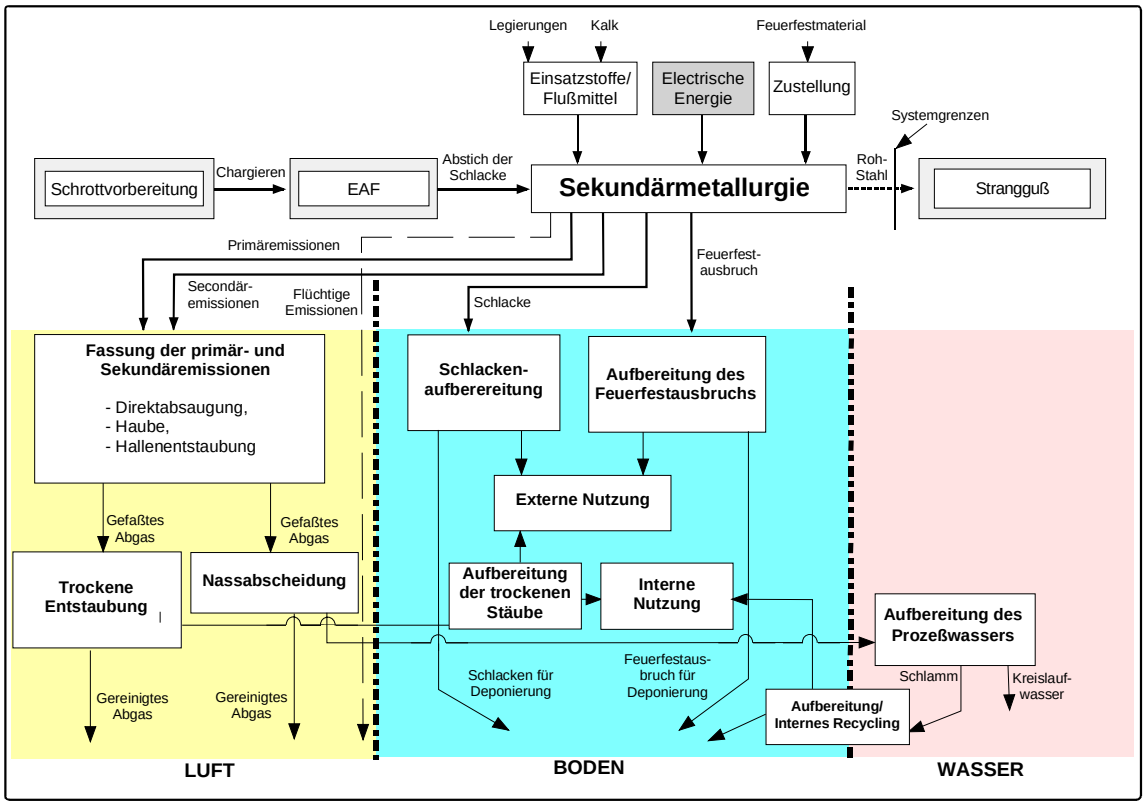

Abbildung 4.3-6: Schematische Darstellung von Stoffströmen in der Sekundärmetallurgie

4.3.4 Kandidaten für beste verfügbare Techniken zur Elektrostahlerzeugung

In diesem Kapitel wird ein Überblick über Kandidaten für beste verfügbare Techniken für den integrierten Umweltschutz in Elektrostahlwerken gegeben[13].

4.3.4.1 Übersicht über Kandidaten für BVT zur Elektrostahlerzeugung

In Tabelle 4.3-6 werden zunächst in einer Übersicht Daten zu ausgewählten deutschen Elektrostahlwerken aufgeführt. Dabei enthält die Tabelle sowohl technische Daten als auch Angaben zu Emissionsminderungsmaßnahmen in den Werken. Weiterhin zeigt Tabelle 4.3-7 eine Liste mit Kandidaten für beste verfügbare Techniken, die in verschiedene Kategorien unterteilt sind. Zunächst werden spezielle Produktionstechniken und neue Ofenkonzepte mit Auswirkungen auf die Energieeffizienz aufgeführt, die als Weiterentwicklung der Produktionstechnologie im allgemeinen gesehen werden können. Weiterhin sind Maßnahmen für die Bereiche Emissionsminderung, Schlackenwirtschaft, Staub- und Feuerfestaufbereitung, Wasserwirtschaft sowie Lärmminderung aufgelistet. Die Techniken werden hinsichtlich betroffener Umweltmedien und ihres technischen Stands eingeschätzt.

---

[13] Eine ausführlichere Darstellung dieser Techniken ist im zugrunde liegenden *"Report on Best Available Techniques in the German Electric Steelmaking Industry"* zu finden.

Tabelle 4.3-6: Technische Daten zu Elektrostahlwerken in Deutschland

Derzeitiger Betreiber *)	Stahlwerke Oberhausen	Badische Stahlwerke, Kehl	Ispat Hamburger Stahlwerke	EWK Edelstahl GmbH, Witten	Edelstahlwerke Buderus, Wetzlar
Baujahr	1979	1968/1976	1978	1981	1995
Ofentyp	AC UHP	AC UHP	AC UHP	AC	AC
Stahlgüte	Massenstahl	Massenstahl	Massenstahl	Edelstahl	Edelstahl
Abstichgewicht	135 t	je 85 t	115 t	110 t	100 t
Sp. Scheinleist.	711 kVA/t	je 800 kVA/t	910 kVA/t	682 kVA/t	570 kVA/t
Eisenträger	Stahlschrott	Stahlschrott	Stahlschrott, DRI	Stahlschrott	Stahlschrott
Kühlsystem	Wassergekühlte Seiten und Deckel	Wassergekühlte Seiten und Deckel	Wassergekühlte Seiten und Deckel	Wassergekühlte Seiten und Deckel	Wassergekühlte Seiten und Deckel
Abstichsystem	EBT	Ovalofen (OBT)	EBT	EBT	EBT
Kapazität	600.000 t/a	je 600.000 t/a	950.000 t/a	550.000 t/a	400.000 t/a
Zusätzlicher Energieeintrag	Sauerstofflanze (Seitenwände)	Brennstoffbrenner (Seitenwände und Ofentür)	Sauerstoff- Kohlenstofflanze, Gasbrenner	Brennstoffbrenner (Seitenwände und Ofentür)	Sauerstofflanze (Tür)
Abgasfassung	Direktabsaugung (4. Dl), Dachhaube	Direktabsaugung (4. Dl), Dachhaube	Direktabsaugung (4. Dl), Dachhaube	Direktabsaugung (4. Dl), Dachhaube	Direktabsaugung (4. Dl), Dachhaube
Abgasreinigung	Nachverbrennung, trockener Elektroabscheider	Nachverbrennung,Quenche, Gewebefilter	Nachverbrennung,Quenche, Gewebefilter	trockener Elektroabscheider	Gewebefilter
Energieaspekte	Ofen- und Abgaswärmerückgewinnung (Dampferz.)	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
Sekundärmetallurgie	Pfannenofen Entschwefelung	Pfannenofen	Pfannenofen	Pfannenofen, Vakuumentgasung	Pfannenofen Vakuumentgasung
Derzeitiger Betreiber	**Krupp Thyssen Nirosta, Bochum**	**Preussag Stahl AG, Peine**	**Georgsmarienhütte GmbH**	**StW Thüringen, Unterwellenborn**	*) Stand der Daten: 1997
Baujahr	1982	1995	1994	1995	
Ofentyp	AC UHP	DC UHP	DC UHP	DC UHP	
Stahlgüte	Edelstahl	Massenstahl	Massenstahl	Massenstahl	
Abstichgewicht	145 t	100 t	125 t	120 t	
Sp. Scheinleist.	724 kVA/t	1.400 kVA/t	1.300 kVA/t	1.200 kVA/t	
Eisenträger	Stahlschrott	Stahlschrott	Stahlschrott	Stahlschrott	
Kühlsystem	Wassergekühlte Seiten und Deckel	Wassergekühlte Seiten und Deckel	Wassergekühlte Seiten und Deckel	Wassergekühlte Seiten und Deckel	
Abstichsystem	Rinnenabstich	EBT	EBT	EBT	
Kapazität	600.000 t/a	750.000 t/a	600.000 t/a	600.000 t/a	
Zusätzlicher Energieeintrag	Sauerstofflanze (Seitenwände)	Gasbrenner, Kohle	Sauerstoffgasbrenner, Kohle	Sauerstoff-, Erdgasbrenner, Kohle	
Abgasfassung	Direktabsaugung (4. Dl), Einhausung	Direktabsaugung (2. Dl), Dachhaube	Direktabsaugung (2. Dl), Dachhaube	Direktabsaugung (4. Dl), große Ofeneinhausung	
Abgasreinigung	Nachverbrennung, Gewebefilter	Nachverbrennung, Zusatzbrenner, Luftquenche, Gewebefilter	Nachverbrennung, Zusatzbrenner, Wasserquenche, Gewebefilter	Nachverbrennung, Gewebefilter	
Energieaspekte	Ofen- und Abgaswärmerückgewinnung (Dampferz.)	Abgaswärmerückgewinnung	Abgaswärmerückgewinnung	Wassergekühlte Leitungen	
Sekundärmetallurgie	Pfannenofen	Pfannenofen Vakuumentgasung	Pfannenofen Vakuumentgasung	Pfannenofen	

Quellen: VDEh [102]

Tabelle 4.3-7: Kandidaten für BVT in der Elektrostahlerzeugung

Technikkandidat	Boden	Wasser	Energie	Luft	SdT	Retrofi	Neue T.
Spezielle Produktionstechnologie	x bedeutet Relevanz der Technik für die Kategorie						
(U) HP Betrieb			x		x		
Wassergekühlte Seitenelemente und Deckel		x	x		x		
Sauerstoff- Brennstoffbrenner und Sauerstofflanzen			x	x	x	x	
Exzentrischer Bodenabstich					x		
Schaumschlackentechnik					x		
Pfannen- oder Sekundärmetallurgie					x	x	
Automatisierung des Ofenbetriebs					x		
Wärmerückgewinnung (Ofenkühlung)			x		x		
Schrottsortierung und -reinigung			x	x	x	x	
Schrottvorwärmung			x	x		x	
Ofenkonzepte							
Comelt EAF			x				x
Contiarc-Ofen			x				x
EODC-TEAF			x				x
Doppelgefäßofen			x				x
Emissionsminderung Luft							
Direktabsaugung der Ofenabgase			x	x	x	x	
Haubensystem über Ofen			x	x	x	x	
Ofeneinhausung				x	x	x	
Hallenentstaubung			x	x	x	x	
Abgasnachverbrennung			x	x	x	x	
Rasche Abgaskühlung (Quenchen)			x	x	x	x	
Wärmerückgewinnung (Abgas)			x	x	x	x	
Eindüsen von Adsorbens				x	x	x	
Elektroabscheider	x		x	x	x	x	
Gewebefilter	x		x	x	x	x	
Schlackenwirtschaft							
Nutzung von EAF-Schlacken (z.B. Baubereich)	x				x	x	
Nutzung von SM-Schlacken (Kalkdünger, Recycl.)	x				x	x	
Staub- und Feuerfestaufbereitung							
Recycling abgeschiedener Stäube in EAF	x		x		x	x	
Wälzprozeß (Staub aus C-Stahlwerken)	x				x	x	
DK-Prozeß (Staub aus C-Stahlwerken)	x				x	x	
Imperial Smelting (IS) Ofen	x				x	x	
Aufbereitung durch submerged-EAF (Edelstahl)	x				x	x	
Scan dust-Prozeß (Staub aus Edelstahlwerken)	x				x	x	
BSW-Prozeß (Staub aus C-Stahlwerken)	x						x
Aufbereitung des Feuerfestausbruchs (Recycling)	x				x	x	
Wasserwirtschaft							
Geschlossener Kühlkreislauf		x			x	x	
Lärmminderung							
Einhausung					x	x	
Schalldämmung					x	x	
Akustische Sperren und weitere Maßnahmen					x	x	

4.3.4.2 Fallstudien moderner deutscher Elektrostahlwerke

Im folgenden werden anhand von Fallstudien die Auswirkungen einiger oben angeführter Techniken verdeutlicht. Im wesentlichen werden dabei Maßnahmen zur Abgasreinigung betrachtet. Abbildung 4.3-7 zeigt die schematische Darstellung der Abgasreinigungsanlage eines deutschen Elektrostahlwerks. Der Ofen ist mit Wechselstromtechnologie ausgestattet und weist ein Abstichgewicht von 85 Tonnen auf. Zur Abgaserfassung verfügt der Ofen über ein viertes Deckelloch und eine Absaughaube. Die Kühlung des Abgases auf die erforderliche Eintrittstemperatur für den Gewebefilter erfolgt durch eine Wassersprühkühlung (Quenche)[14]. Die schnelle Abkühlung verhindert die ”de novo-Synthese” von PCDD/PCDF im Abgas. Das Schlauchfilterhaus besteht aus 2.880 Schlauchfiltern, mit einer Gesamtfilteroberfläche von 28.800 m^2. Mit den eingesetzten Techniken wird im Werk ein Reingasstaubgehalt von unter 5 mg/Nm^3 erreicht, die Dioxin- und Furankonzentration liegt bei etwa 0,1 ng TE/Nm^3 [108].

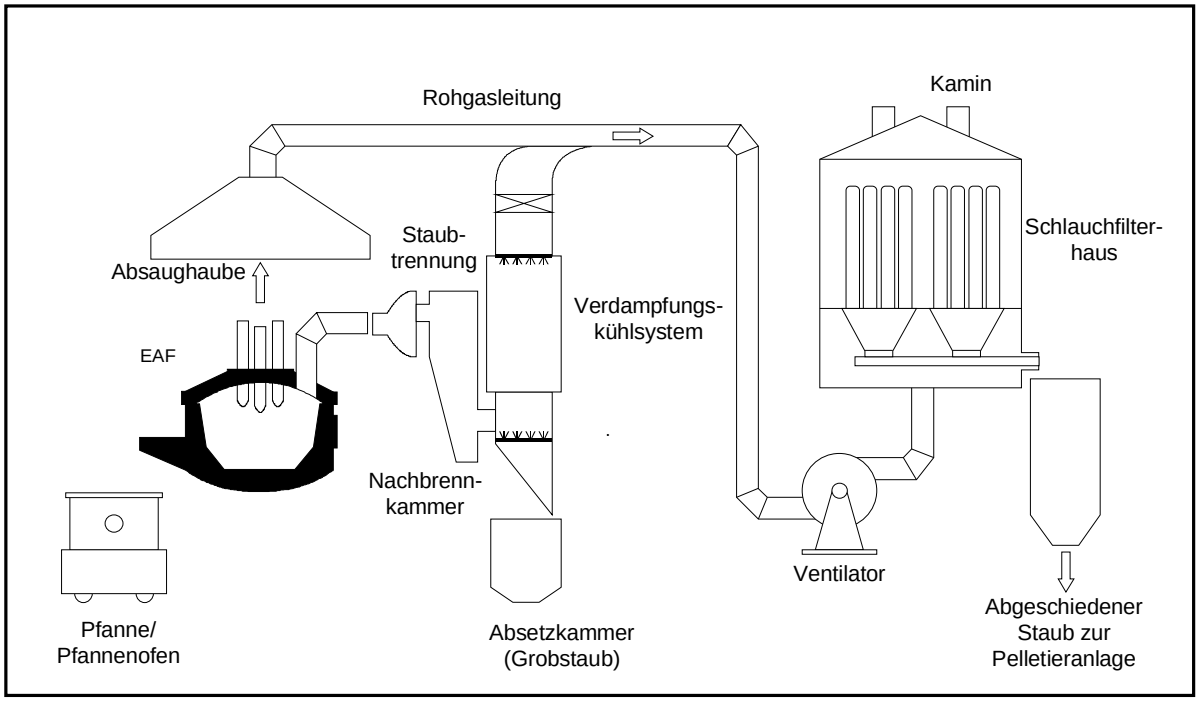

Abbildung 4.3-7: Schematische Darstellung der Abgasreinigung eines deutschen Elektrostahlwerks

In Tabelle 4.3-8 sind Angaben zu Einsatzstoffen und Outputs dieses Elektrostahlwerks zusammengestellt. Die ersten beiden Spalten der Tabelle 4.3.-11 zeigen außerdem eine detaillierte Reingasanalyse der Anlage.

[14] In Abhängigkeit des eingesetzten Filtermaterials, z.B. Polyester oder Polyamid, variiert die maximale Filtereintrittstemperatur zwischen 130 °C und 280 °C [83].

Tabelle 4.3-8: Spezifische Inputs und Outputs eines ausgewählten Elektrostahlwerks

Inputs		Outputs	
Stahlschrott [kg/t]	1.125	Rohstahl [kg/t]	1.000
Elektrische Energie [kWh/t]	360	Schlacke [kg/t]	139,7
Sauerstoff [Nm^3/t]	31,25	Abgeschiedener Staub [kg/t]	14
Erdgas [Nm^3/t]	4,375	Feuerfestausbruch [kg/t]	k.A.
Kohle [kg/t]	7,5	Abgasvolumenstrom [m^3/h]	1.200.000
Graphitelektroden [kg/t]	2,2		
Zustellung [kg/t]	12,8		

Quelle: Weiss [109]

In Tabelle 4.3-9 sind technische Daten und Angaben zu Emissionswerten für Staub und PCDD/PCDF von mehreren Elektrostahlwerken nach der Abgasreinigung dargestellt.

Tabelle 4.3-9: Technische Daten zu ausgewählten Elektrostahlwerken und Abgasreinigungssystemen

Anlage	**EAF 1**		**EAF 2**		**EAF 3**	**EAF 4**					
Technische Daten											
Abstichgewicht [t]	105		138		85/85	140					
Wirkleistung [MVA]	105		96		57/68	105					
Abgaserfassung	4. Deckelloch, Haube		4. Deckelloch, Haube		4. Deckel-loch, Haube	4. Deckelloch, Einhausung					
Nachverbrennung	Nachbrenn-kammer		Nachverbrennung im Abgasrohr		Nachbrenn-kammer	Nachverbrennung im Abgasrohr					
Abgaskühlung	Eindüsen von Wasser		Konditionierung des Abgas mit Wasser		Wasser-quenche	Kühlung durch luftgekühlten Wärmetauscher					
Abgasreinigungssystem	Schlauchfilter		Elektroabscheider		1 Schlauch-filter	2 Schlauchfilter für Primär- und Sekundärentstaubung					
Abgaskonzentration*	**M 1****	**M 2**	**M 1**	**M 2**	**M 3**	**M 1**	**M 2**	**M 1**	**M 2**	**M 3**	**M 4**
Staub im Rohgas (p)	3.398	14.246	4.200	12.500	3.600	-	-	-	-	-	
Staub im Rohgas (s)	148	273	p und s zusammen			-	-	-	-	-	-
Staub im Reingas (p)	0,76	1,05	15	15	18	1,45	1,1	< 1	< 1	< 1	< 1
Staub im Reingas (s)	Mittelwert °		-	-	-	Mittelwert °		< 1	7	3	< 1
PCDD/PCDF (I-TE, p)	-	-	-	-	-	-	-	0,252	0,201	0,240	0,810
PCDD/PCDF (I-TE, s)	-	-	-	-	-	-	-	0,027	0,010	0,023	0,057
PCDD/PCDF (p und s)	0,016	0,021	0,01	0,02	0,01	0,13	0,1	0,087	0,061	0,081	0,259

*: Roh- und Reingaskonzentrationen Staub in mg/Nm^3, Dioxinkonzentration in ng I-TE/Nm^3 (Reingas)
**: M x: Messung Nummer x an der Anlage
(p): Konzentration an der Primärentstaubung
(s): Konzentration an der Sekundärentstaubung
°: Mittelwert zweier Meßpunkte, -: keine Information verfügbar

Quelle: Theobald [90]

In Tabelle 4.3-10 sind zusammenfassend die Schwermetallgehalte im Reingas der Elektrostahlwerke der Tabelle 4.3-9 dargestellt.

Tabelle 4.3-10: Durchschnittliche Schwermetallkonzentrationen im Reingas ausgewählter Elektrostahlwerke

Element	**Kadmium**	**Nickel**	**Chrom**	**Mangan**	**Zinn**
[µg/Nm^3]	2	18	49	125	17
Element	**Quecksilber**	**Blei**	**Kupfer**	**Vanadium**	
[µg/Nm^3]	46	56	10	8	

Quelle: Theobald [90]

Tabelle 4.3-11 zeigt schließlich in detaillierter Form die Zusammensetzung des Reingases ausgewählter deutscher Elektrostahlwerke im Vergleich mit den Anforderungen der TA Luft aus dem Jahr 1986.

Tabelle 4.3-11: Schadstoffe im Reingas ausgewählter Elektroöfen

Substanz	Einheit	TA Luft	EAF A1	EAF A2	EAF B1	EAF B2
Gesamtstaub	mg/Nm^3	20	5	1	1,2	1,2
Klasse 1: Staubförmige anorganische Substanzen						
Kadmium (Cd)	µg/Nm^3	Summe	2,3	0,5	23	141
Quecksilber (Hg)	µg/Nm^3	200	0,3	< 0,1	22	13
Thallium (Tl)	µg/Nm^3		< 0,1	< 0,1	k.A.	k.A.
Klasse 2: Staubförmige anorganische Substanzen						
Arsen (As)	µg/Nm^3	Summe	2,7	< 1,7	7	6
Kobalt (Co)	µg/Nm^3	1.000	< 0,2	< 0,2	< 19	< 17
Nickel (Ni)	µg/Nm^3		0,5	< 0,3	< 9	< 8
Selen (Se)	µg/Nm^3		< 1,8	< 2,2	k.A.	k.A.
Klasse 3: Staubförmige anorganische Substanzen						
Blei (Pb)	µg/Nm^3	Summe	164,1	36,1	254	181
Chrom (Cr)	µg/Nm^3	5.000	8,4	1,1	< 19	< 17
Kupfer (Cu)	µg/Nm^3		9,7	< 1,7	221	162
Mangan (Mn)	µg/Nm^3		56,7	< 7,3	33	25
Vanadium (V)	µg/Nm^3		< 0,7	< 0,9	< 19	< 17
Zinn (Sn)	µg/Nm^3		3,8	< 2,2	< 19	< 17
Dampf- oder gasförmige anorganische Substanzen						
Fluor als HF	mg/Nm^3	5	< 0,05	< 0,05	0,1	0,1
Chlor als HCl	mg/Nm^3	30	1,2	<0,3	< 0,18 (Chlor)	< 0,19 (Chlor)
Schwefeldioxid (SO_2)	mg/Nm^3	500	8	11	5,6	3,8
NOx (NO_2)	mg/Nm^3	500	20	18	8	8
Kohlenmonoxid (CO)	mg/Nm^3	minimieren	164	275	57	64
Krebserregende Substanzen						
Benzopyren	µg/Nm^3	100	0,015	0,002	0,11	0,03
Dibenzanthracen	µg/Nm^3	100	0,006	< 0,003	0,03	0,01
PAH (EPA)	µg/Nm^3		k.A.	k.A.	83,18	39,50
Benzol	µg/Nm^3	5	298	251	k.A.	k.A.
Organische Substanzen						
Gesamtkohlenstoff (C)	mg/Nm^3	minimieren	4	3	<3	5
Dioxine und Furane (PCDD/F)	ng TE/Nm^3		0,144	0,034	0,07	0,04
PCB	µg/Nm^3		1,058	0,475	0,33	0,14
Abgasvolumenstrom	Nm^3/h		~1.200.000	~1.200.000	~1.400.000	~1.400.000
Reingastemperatur	°C		71	69	k.A.	k.A.

Quellen: UBA [96], Weiss [109]

4.4 Zusammenfassung des BVT-Positionspapiers „Walzen von Stahlprodukten“

Im vorliegenden Unterkapitel 4.4 wird die Struktur des Industriebereichs Warm- und Kaltwalzen von Stahlprodukten in Deutschland dargestellt und die angewandte Produktionstechnologie analysiert. Auf Grundlage dieser Untersuchungen werden Kandidaten für beste verfügbare Techniken für die einzelnen Bereiche vorgeschlagen und anhand von Fallstudien die Auswirkungen der Kandidaten auf den Verbrauch an Einsatzstoffen und Emissionen dokumentiert.[15]

4.4.1 Informationen zur Branche

In Deutschland wurden 1995 etwa 42,0 Mio. t Rohstahl produziert, von denen ungefähr 41,7 Mio. t zur Weiterverarbeitung vergossen wurden. Für den Gießvorgang kommt dabei nahezu ausschließlich das Stranggießverfahren zur Anwendung (1995 über 96 %) [113]. Gewalzte Stahlerzeugnisse werden entsprechend ihrer äußeren Form in Profilstahl, Flachzeug und Röhren unterteilt. In Deutschland wird ein Großteil des erzeugten Rohstahls zu Flachzeug und dabei insbesondere zu Warmbreitband verarbeitet. So wurden etwa 1995 ungefähr 19,8 Mio. t Warmbreitband als Zwischen- und Fertigprodukte hergestellt [69]. Insgesamt wurden 1995 etwa 33,8 Mio. t warm- und kaltgewalzter Fertigerzeugnisse produziert [87]. Tabelle 4.4-1 zeigt die Entwicklung der Produktion gewalzter Stahlprodukte von 1985 bis 1995.

Tabelle 4.4-1: Produktion von Walzstahlfertigerzeugnissen in Deutschland

Jahr *) [Angaben in 1.000 t]	**1995**	**1994**	**1993**	**1992**	**1990**	**1985**
Rohstahlproduktion	**42.051** *)	**40.837**	**37.625**	**39.711**	**38.434**	**40.497**
Profilstahl (insgesamt)	*10.698*	*10.277*	*9.702*	*10.219*	*8.433*	*8.549*
Walzdraht	5.436	5.424	4.933	4.908	3.765	3.438
Stabstahl	3.008	2.670	2.505	3.129	2.689	3.161
Spundwanderzeugnisse	235	239	197	223	202	189
Breitflanschträger	917	827	904	776	813	476
Formstahl	830	867	897	848	740	888
Gleisoberbauerzeugnisse	272	250	266	335	224	397
Flachzeug (insgesamt)	*21.846*	*21.790*	*20.016*	*21.172*	*21.295*	*20.370*
Warmbreitband (Fertigerz.)	4.789	4.834	4.818	4.441	5.522	4.874
Bandstahl inkl. Röhrenstreifen	1.748	1.774	1.502	2.051	2.310	2.085
Feinblech	11.552	11.422	10.207	10.693	9.823	8.549
Grobblech	3.619	3.637	3.395	3.837	3.009	4.139
Breitflachstahl	138	123	95	150	224	290
Stahlröhren, nahtlos	*1.256*	*1.145*	*972*	*1.047*	*1.362*	*1.962*
Walzstahlfertigerzeugnisse	**33.800**	**33.212**	**30.690**	**32.438**	**31.090**	**30.881**

Quelle: Statistisches Bundesamt [113]

[15] Dieses Unterkapitel ist eine Zusammenfassung des vollständig im Ergänzungsband 1 enthaltenen BVT-Positionspapiers „*Report on BAT in the German Ferrous Metals Processing Industry*“.

Die Anzahl der Beschäftigen in Warmwalzwerken belief sich 1995 in Deutschland auf etwa 16.000, im Bereich der Kaltwalzwerke auf etwa 9.200 [87]. Standorte von Walzwerken gibt es in Deutschland in fast allen Bundesländern, oftmals direkt im Anschluß an Oxygen- und Elektrostahlwerke. Anlagentypen zur Herstellung von Walzstahl werden unterschieden in Warm(breit)band-, Kalt- und Grobblechwalzwerke bei der Herstellung von Flachzeug, in Stabstahl-, Profilstahl- und Drahtwalzwerke bei der Herstellung von Profilstahl und in Anlagen zur Herstellung von nahtlosen oder geschweißten Röhren. Abbildung 4.4-1 zeigt ausgewählte Standorte verschiedener Anlagentypen.

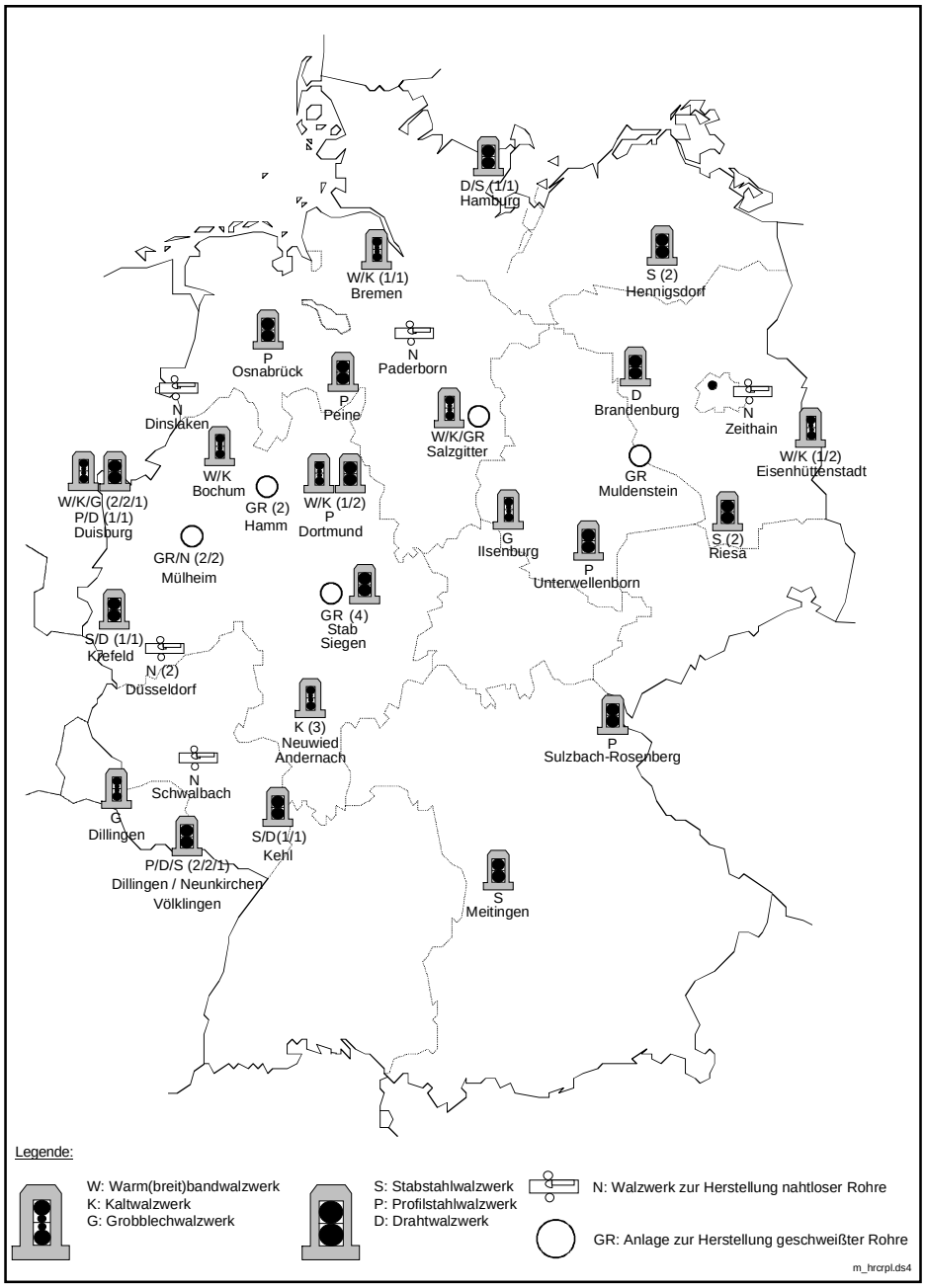

Abbildung 4.4-1: Ausgewählte Standorte von Walzwerken in Deutschland

Quellen: Firmeninformation, eigene Zusammenstellung

Tabelle 4.4-2 bis Tabelle 4.4-4 enthalten Informationen zu Betreibern und Kapazitäten.

Tabelle 4.4-2: Warmwalzwerke in Deutschland mit einer Kapazität größer 250.000 t/a

Derzeitiger Betreiber	Standort	Typ	Kapazität[16] [t/a]
EKO Stahl AG	Eisenhüttenstadt	Warmbreitband	1.500
Preussag Stahl AG	Salzgitter	Warmbreitband	2.900
Stahlwerke GmbH	Bremen	Warmbreitband	3.000
Thyssen Krupp Stahl AG	Beeckerwerth	Warmbreitband	5.150
	Dortmund	Warmbreitband	4.000
	Bochum	Warmbreitband	4.000
	Bruckhausen	Warmbreitband	3.350
AG der Dillinger Hüttenwerke	Dillingen	Grobblech	1.550
Preussag Stahl AG	Ilsenburg	Grobblech	700
Thyssen Krupp Stahl AG	Duisburg-Hüttenheim	Grobblech	900
Badische Stahlwerke GmbH	Kehl	Walzdraht	1.100
Brandenburger Elektrostahlwerke GmbH	Brandenburg	Walzdraht	300
ISPAT Hamburger Stahlwerke	Hamburg	Walzdraht	350
Krupp Thyssen Nirosta GmbH	Krefeld	Walzdraht	325
Saarstahl AG	Burbach	Walzdraht	1.000
	Neunkirchen	Walzdraht	375
k.A.	Duisburg-Hochfeld	Walzdraht	950
Badische Stahlwerke GmbH	Kehl	Stab	500
Elbe Stahlwerk-Feralpi GmbH	Riesa	Stab	450
	Riesa	Stab	300
Hennigsdorfer Elektrostahlwerke GmbH	Hennigsdorf	Stab	800
	Hennigsdorf	Stab	800
ISPAT Hamburger Stahlwerke GmbH	Hamburg	Stab	500
Krupp Edelstahlprofile GmbH	Siegen-Geisweid	Stab	450
Krupp Thyssen Nirosta GmbH	Krefeld	Stab	375
Lech-Stahlwerke GmbH	Meitingen	Stab, Edelstahl	350
Saarstahl AG	Neunkirchen	Stab	575
Georgsmarienhütte GmbH	Osnabrück	Profil	400
NMH Stahlwerke GmbH	Sulzbach-Rosenberg	Profil	425
Preussag Stahl AG	Peine	Profil	550
Saarstahl AG	Völklingen	Profil	475
	Völklingen	Profil	450
Stahlwerk Thüringen GmbH	Unterwellenborn	Profil	600
Thyssen Krupp Stahl AG	Dortmund	Schwere Profile	325
	Bruckhausen	Profil	350

Quellen: Firmeninformation, eigene Zusammenstellung, Schmitz [85]

[16] Angegebene Kapazitäten und Betreiber in dieser und den beiden folgenden Tabellen wurden im Laufe des Jahres 1998 recherchiert und repräsentieren den Stand zu diesem Zeitpunkt. Angaben sind auf volle 25 Tausend Tonnen gerundet; aktuelle Produktionszahlen und Betreiber können abweichen.

Tabelle 4.4-3: Kaltwalzwerke in Deutschland mit einer Kapazität größer 250.000 t/a

Derzeitiger Betreiber	Standort	Typ	Kapazität [t/a]
EKO Stahl GmbH	Eisenhüttenstadt	Kaltband	400
	Eisenhüttenstadt	Kaltband	1.025
Preussag Stahl AG	Salzgitter	Kaltband	1.300
Rasselstein Hoesch GmbH	Andernach	Kaltband	1.300
	Andernach	Kaltband	775
	Neuwied	Kaltband	425
Stahlwerke Bremen GmbH	Bremen	Kaltband	1.500
Thyssen Krupp Stahl AG	Dortmund	Kaltband	1.800
	Dortmund	Kaltband	575
	Bochum	Kaltband	1.250
	Beeckerwerth	Kaltband	1.700
	Bruckhausen	Kaltband	1.375

Quellen: Firmeninformation, eigene Zusammenstellung, Schmitz [85], vgl. Fußnote 16

Tabelle 4.4-4: Röhrenwerke in Deutschland mit einer Kapazität ab 100.000 t/a

Derzeitiger Betreiber	Standort	Typ	Kapazität [t/a]
Benteler AG	Paderborn	Nahtlos	225
	Dinslaken	Nahtlos	110
Mannesmannröhren-Werke AG	Düsseldorf	Nahtlos	100
	Düsseldorf	Nahtlos	100
	Mülheim	Nahtlos	100
	Mülheim	Nahtlos	100
Mannesmannröhren-Werke Sachsen GmbH	Zeithain	Nahtlos	175
k.A.	Schwalbach / Bous	Nahtlos	125
Bergrohr GmbH	Siegen	Geschweißt	100
Eisenbau Krämer mbH	Siegen	Geschweißt	125
Europipe GmbH	Mülheim	Geschweißt	150
	Mülheim	Geschweißt	150
Rohrwerke Muldenstein GmbH	Muldenstein	Geschweißt	100
Mannesmann Hoesch Präzisrohr GmbH	Hamm	Geschweißt	175
	Hamm	Geschweißt	175
Preussag Stahl AG	Salzgitter	Geschweißt	150
Röhrenwerk Gebr. Fuchs GmbH	Siegen	Geschweißt	125
Rudolf Flender GmbH & Co. KG	Siegen	Geschweißt	150

Quellen: Firmeninformation, eigene Zusammenstellung, Schmitz [85], vgl. Fußnote 16

4.4.2 Angewandte Produktionsprozesse und Emissionsminderungsmaßnahmen

In diesem Abschnitt wird die Verarbeitung von Rohstahl zu Zwischen- und Fertigprodukten in Walzwerken dargestellt. Die Herstellung von Fertigprodukten aus flüssigem Rohstahl erfolgt dabei im allgemeinen über die Teilprozesse Stranggießen, Warmformgebung, Kaltformgebung und Oberflächenveredelung. Abbildung 4.4-2 zeigt in einer Übersicht Teilprozesse, Anlagen und Produkte der Stahlumformung.

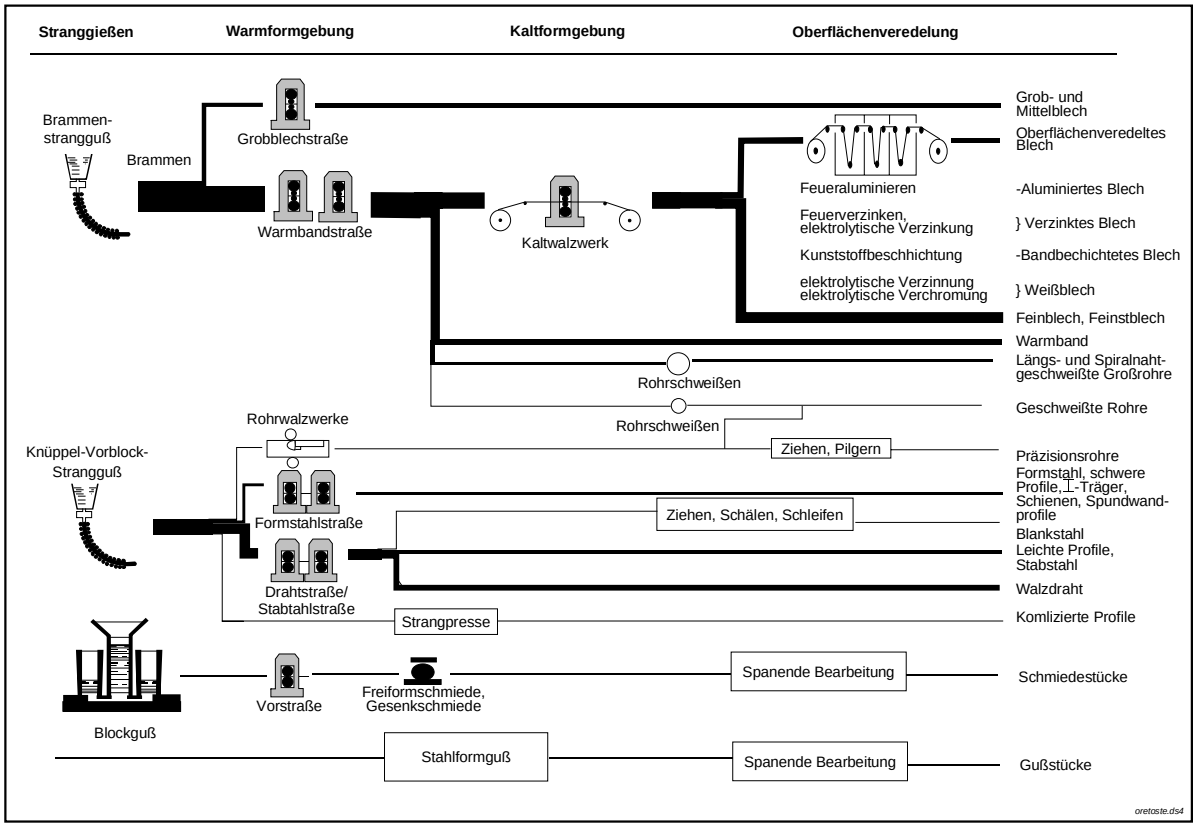

Abbildung 4.4-2: Schematische Darstellung der Teilprozesse, Anlagen und Produkte der Stahlumformung

Quelle: Stahlinformationszentrum [86]

4.4.2.1 Abgrenzung des Untersuchungsumfangs

Da in Deutschland zum Vergießen des Rohstahls nahezu ausschließlich das Stranggießverfahren verwendet wird, stellt der vorliegende Bericht die Verarbeitung von stranggegossenem Material in Walzwerken dar[17]. Die Produkte lassen sich dabei in Flachzeug und Profilstahl unterscheiden. Als Flachzeug werden gewalzte Erzeugnisse bezeichnet, deren Querschnitt etwa rechteckig und deren Breite wesentlich größer als die Dicke ist [17]. Profilstahl weist einen über die ganze Länge des geformten Stahls gleichbleibenden Querschnitt auf [27].

[17] Der Bericht umfaßt Vorgänge in Warm- und Kaltwalzwerken mit stranggegossenem Material als Einsatzstoff, Strangpressen wird nicht behandelt. Im zugrunde liegenden "*Report on BAT in the German Ferrous Metals Processing Industry*" (vgl. Ergänzungsband 1) wird zusätzlich für den Bereich Oberflächenbehandlung eine Informationssammlung zu Prozessen der kontinuierlichen Verzinkung von Bandstahl gegeben.

Abbildung 4.4-3 zeigt im Detail Anlagen zur Herstellung von Stahlband von der Stranggießanlage bis zum Kaltwalzwerk. Die Herstellung von Profilstahl in Warmwalzwerken wird im folgenden ebenso wie relevante Stoff- und Energieströme für Teilprozesse in Warm- und Kaltwalzwerken näher dargestellt.

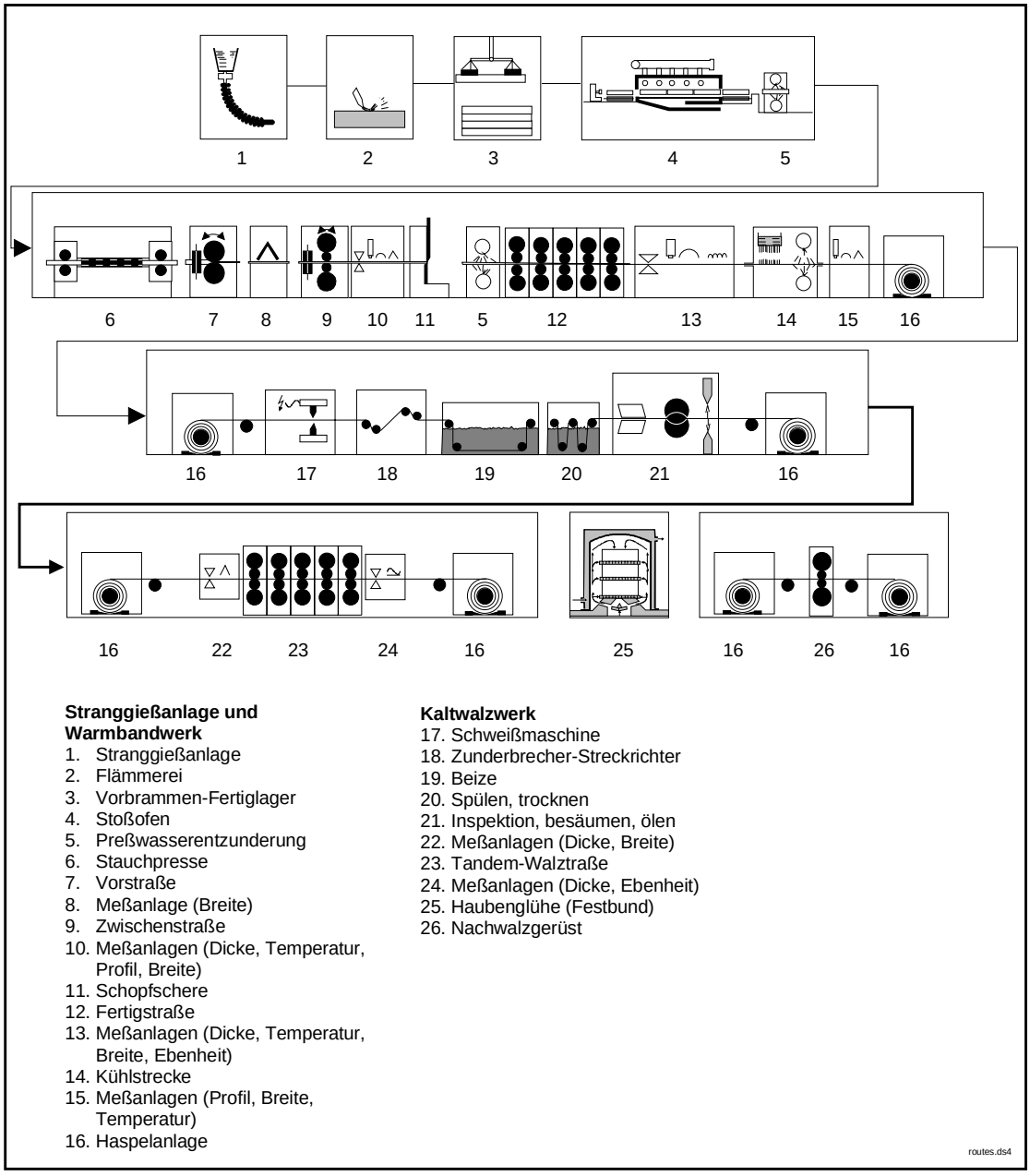

Abbildung 4.4-3: Anlagen zur Herstellung von Stahlband von der Stranggießanlage bis zum Kaltwalzwerk

Quelle: Thyssen [93]

4.4.2.2 Darstellung der Stahlverarbeitung im Warmwalzwerk

In diesem Abschnitt erfolgt die Darstellung der Stahlverarbeitung im Warmwalzwerk anhand der Charakterisierung wichtiger Teilprozesse[18]. In Deutschland wurden 1995 insgesamt 34,32 Mio. Tonnen warmgewalzter Zwischen- und Fertigprodukte hergestellt [87]. Die Umformung von Stahl in Warmwalzwerken umfaßt dabei in der Regel die Teilprozesse Oberflächenvorbereitung (hauptsächlich Flämmen bei Herstellung von Warmbreitband) und Wiedererwärmen des gegossenen Materials sowie Entzundern und Warmwalzen des erwärmten Walzguts.

Oberflächenvorbereitung und Wiedererwärmen

Für die Herstellung der verschiedenen Produkte werden unterschiedliche Ofentypen zum Wiedererwärmen des Walzguts und Walzgerüste bzw. Walzstraßen eingesetzt. Vor dem Wiedererwärmen erfolgt, hauptsächlich bei der Herstellung von Warmbreitband, eine Behandlung der Oberfläche des stranggegossenen Materials durch Handflämmen oder automatisches Flämmen zur Erhöhung der Oberflächengleichmäßigkeit.

Die Warmumformung im Warmwalzwerk findet in Abhängigkeit der Stahlgüte bei Temperaturen von etwa 1.070-1.260 °C statt [49]. Um die nach dem Gießen abgekühlten Brammen und Knüppel wieder auf die erforderliche Walztemperatur zu erwärmen, werden diese durch kontinuierliche Wärmöfen geleitet. Dazu sind insbesondere die folgenden Ofentypen im Einsatz [61]:

- Stoßöfen,
- Hubbalkenöfen,
- Drehherdöfen oder
- Induktionsöfen.

Das stranggegossene Material wird nach Kalteinsatz (mit etwa 20 °C) oder Warmeinsatz (mit etwa 600-800 °C) in den Öfen auf die erforderliche Eintrittstemperatur für die Walzstraße erwärmt. Danach folgt das Warmwalzen des erwärmten Materials zu den verschiedenen Produkten. Es folgt eine kurze Darstellung der Herstellung von Flachzeug und von Profilstahl.

Herstellung von Flachzeug

Warmgewalztes Flachzeug beinhaltet im wesentlichen Warmbreitband und Grobblech. Im folgenden wird das Vorgehen zur Herstellung dieser Produkte kurz charakterisiert.

---

[18] Das Gießwalzen zur Erzeugung von Flachzeug wird in dieser Zusammenfassung nicht behandelt, da zur Zeit der Untersuchung die derzeit im Bau befindliche Anlage der Thyssen Krupp Stahl AG noch nicht in Betrieb war. Im zugrunde liegenden Bericht "*Report on BAT in the German Ferrous Metals Processing Industry*" (vgl. Ergänzungsband 1) wird jedoch im Abschnitt "*Emerging Techniques*" näher auf diese Technik eingegangen.

Warm(breit)bandstraßen[19] umfassen in der Regel die meisten der folgenden Anlagenteile (vgl. Abbildung 4.4-3):

- Flämmerei
- Wärmofen (i.a. Stoßofen oder Hubbalkenofen)
- Hochdruckentzunderer
- Vorstraße (i.d.R. ein oder mehrere Quarto-Reversiergerüste, evt. zusätzlich Brammenstauchpresse)
- Zwischenrollgang
- Coil box und/oder Coilofen
- Schopfschere und Hochdruckentzunderer
- Fertigstraße (vier bis sieben Quartogerüste)
- Kühlzone (z.B. Laminarkühlung)
- Haspelanlage

Ausgangsmaterial der Stahlverarbeitung in Warm(breit)bandstraßen sind stranggegossene Brammen, die in Abhängigkeit der Geometrie des produzierten Warm(breit)bands ungefähr 160-300 mm dick, 600-2.200 mm breit und 5-16 m lang sind [49]. Vor den Walzgerüsten werden die erwärmten Brammen nach Austritt aus dem Ofen zunächst mittels Hochdruckentzunderern (bei einem Wasserdruck von etwa 150-170 bar) vom Zunder an ihrer Oberfläche befreit, um Einwalzungen des Zunders an der Oberfläche des Bandes zu vermeiden. In der Vorstraße erfolgt eine Reduzierung der Brammendicke auf etwa 20-60 mm. Zwischen der Vorstraße und der Schopfschere ist teilweise eine sogenannte Coilbox installiert, in der das Band aufgewickelt und sofort wieder abgewickelt wird. Dies führt u.a. zur Homogenisierung des Temperaturprofils der Bramme und ermöglicht außerdem eine Verkürzung des Zwischenrollgangs. Schopfscheren vergleichmäßigen anschließend Anfang und Ende der Brammen, darauf folgt nochmals eine Hochdruckentzunderung mit etwa 130-160 bar. In der Fertigstraße, welche in der Regel aus vier bis sieben Quartogerüsten besteht, wird die Dicke der Brammen auf etwa 1,5-20 mm reduziert. Schließlich wird das Band entsprechend den metallurgischen Erfordernissen, meist durch Laminarkühlung, auf eine Haspeltemperatur von etwa 500-780 °C kontrolliert abgekühlt. Wichtig ist die Einhaltung eines vorgegebenen Temperaturverlaufs des Bandes während des gesamten Walz- und Kühlvorgangs, um dadurch konstante mechanische Eigenschaften des Produkts zu erhalten.

Die Herstellung von Grobblechen ähnelt der Produktion von Warmband. Einsatzmaterial sind ebenso zumeist Brammen, manchmal aber auch Brammenblöcke zur Herstellung besonders dicker Grobbleche (Dicke > 100 mm). Nach dem Wiedererwärmen werden heute im allgemeinen Umkehr-Quartogerüste für die Herstellung von Grobblechen verwendet, bei Bedarf werden diese durch ein oder mehrere Vorgerüste ergänzt. Weiterhin umfassen Grobblechwalzwerke eine Richtanlage, ein Kühlbett, eine Scherenlinie und eventuell einen Glühofen für

[19] Als Warmbreitband wird Warmband mit einer Breite ≥ 600 mm bezeichnet.

notwendige Wärmebehandlungen [17]. Grobbleche werden in Abmessungen von etwa 3-160 mm Dicke, 1.000-3.500 mm (z.T. bis 5.000 mm) Breite und etwa 8-30 m (Maximum 40 m) Länge produziert.

Herstellung von Profilstahl

Zu Profilstahl werden die Produkte Stabstahl, Formstahl, Walzdraht und Spezialprofile gezählt. In Deutschland sind die wichtigsten Kategorien Walzdraht (1995: 5,44 Mio. Tonnen) und Stabstahl (1995: 3,01 Mio. Tonnen) mit einem Anteil von zusammen 79 %. Breitflanschträger (1995: 0,92 Mio. Tonnen) und Formstahl (1995: 0,83 Mio. Tonnen) haben einen Anteil von etwa 16 %. Spundwandprofile und Gleisoberbauerzeugnisse, die mengenmäßig von untergeordneter Bedeutung (zusammen etwa 5 %) sind, stellen jedoch aus qualitativer Sicht technisch anspruchsvolle Produkte dar, insbesondere Schienen.

Profilwalzwerke zur Herstellung von Formstahl oder Stabstahl bestehen in der Regel aus Duo- oder Triogerüsten, in deren Walzen Ausnehmungen (Kaliber) zur Profilgestaltung eingeschnitten sind [17]. Parallelflanschträger werden auf Universalgerüsten hergestellt, welche auch zur Produktion von Schienen eingesetzt werden können. [27]. Das große Spektrum an Formen und Größen von Profilstahlerzeugnissen erfordert eine Vielzahl an Walzenkalibrierungen und Anordnungen der Walzstraßen. In Abhängigkeit des Produktionsprogramms wird ein umfangreiches Walzenlager mit u.U. mehreren Tausend Walzen benötigt. Walzwerke für Profilstahl können nach folgenden Kriterien klassifiziert werden [27]:

- Anordnung der Gerüste und Richtung des Walzguts
- Durchmesser der Walzen und/oder des Produkts

Die Entwicklung der Anlagentechnologie zur Herstellung von Stabstahl und Walzdraht ist gekennzeichnet durch [27, 49]:

- Hohe Endwalzgeschwindigkeiten von etwa 60-120 m/s für Massenstähle und 30-60 m/s für Edelstahl
- Enge Walzguttoleranzen (etwa ± 0,12mm bei einadrigen, ± 0,15 mm bei zweiadrigen und ± 0,2 mm bei vieradrigen Walzstraßen, bezogen auf einen 5.5 mm Enddurchmesser)
- Moderne Abkühlstrecken für die beschleunigte, verzögerte und langsame Abkühlung des Walzguts
- Neue Walzstraßenkonzeptionen, unter Einsatz von Walzblöcken, Intensivumformanlagen und Kontistraßen für Edelstähle

Aufgrund der höheren Walzgeschwindigkeiten können nun auch größere Querschnitte stranggegossenen Materials im ersten Stich verarbeitet werden, ohne dabei zu geringe Walzgeschwindigkeiten am ersten Walzgerüst zu verursachen. Moderne Anlagen müssen hohe Anforderungen hinsichtlich der Oberflächenqualität und -genauigkeit sowie der mechanischen Eigenschaften des Walzguts, der Variabilität des Produktionsprogramms und der Einsatzstoffe erfüllen [43]. Drahtstraßen umfassen im wesentlichen die folgenden Anlagenteile [49]:

- Drahtvorwalzgerüst
- Mittelstaffeln
- Drahtwalzblöcke
- Wasserkühlstrecke
- Windungsleger und Transporteinrichtungen
- Scheren hinter der Vorstraße, vor den Drahtblöcken, vor dem Windungsleger bzw. im Bundsammelschacht

Da die Herstellung leichter Profile der Produktion von Walzdraht ähnelt, werden oftmals kombinierte Draht-/Stabstahlstraßen betrieben [27].

Walzstraßen zur Herstellung schwerer und mittlerer Profile bestehen in der Regel aus einer Vorstraße, einer Zwischenstraße und einer Fertigstraße [49]. Weiterhin umfassen sie Kühlbetten für eine kontrollierte Abkühlung. Für die Herstellung der verschiedenen Produkte existieren in diesem Bereich eine Vielzahl von Anlagentypen[20].

4.4.2.3 Darstellung der Stahlverarbeitung im Kaltwalzwerk

Für viele Anwendungen sind die Eigenschaften warmgewalzter Erzeugnisse nicht ausreichend [27]. Insbesondere bei der Herstellung dünner Bänder ist oftmals ein zusätzliches Kaltwalzen notwendig. Auch bei der Herstellung von Draht und Röhren wird zum Teil die Kaltumformung angewendet. Die weitaus wichtigste Anwendung des Kaltwalzens ist jedoch die Herstellung von kaltgewalzten Band, die im weiteren dargestellt wird.

Abbildung 4.4-3 zeigte bereits wesentliche Anlagen zur Herstellung von kaltgewalzten Band. Relevante Teilprozesse im Kaltwalzwerk sind:

- mechanische und chemische Oberflächenvorbereitung (Streckrichter und Beize)
- Kaltwalzen (etwa Tandem-Walzstraße oder Vielwalzengerüst)
- Glühen (Haubenglühe oder kontinuierliche Glühe)
- Dressieren (Nachwalzgerüst)

Die Verarbeitung des Stahls in Kaltwalzwerken unterscheidet sich deutlich von der in Warmwalzwerken. Zunächst wird das Einsatzmaterial (im wesentlichen Warmbreitband) zumeist mechanisch und chemisch entzundert. Danach folgen die Teilprozesse Kaltwalzen und Wärmebehandlung. Weitere Arbeitsschritte umfassen etwa Richten, Dressieren, Haspeln und Adjustage [27, 49]. In Deutschland wurden 1995 etwa 11,5 Mio. Tonnen kaltgewalztes Band und etwa 0,57 Mio. Tonnen kaltgewalzte Elektrobleche hergestellt [87].

[20] Detailliertere Informationen gibt etwa Hensel et al. [49].

Oberflächenvorbereitung

Um eine gute Oberflächenqualität und gute Reibungseigenschaften des Endproduktes zu erreichen, wird das Warmband vor dem Kaltwalzvorgang entzundert. Die Entzunderung erfolgt zumeist auf chemischen Wege (Beizen) oder durch eine Kombination von chemischen und mechanischen Verfahren (etwa Biegestreckrichten, Sandstrahlen oder Walzen). Un- und niedriglegierte Stähle werden in der Regel durch anorganische Säuren wie verdünnte Salz- oder Schwefelsäure gebeizt [55]. Für das Beizen von Edelstahl gibt es kein einzelnes Beizmedium, das für alle Arten von Stahl geeignet ist. Besonders gebräuchlich sind jedoch Mischungen von Salpetersäure und Flußsäure. Zusätzlich fördert elektrolytisches Beizen die Entzunderung sonst schwer zu behandelnder legierter Stähle [84]. Der Beizvorgang kann kontinuierlich oder in Schubbeizen durchgeführt werden. C-Stähle und niedrig legierte Stähle werden gewöhnlich in Schwefelsäurebeizen (20-30 %) bei 95-105 °C oder in Salzsäurebeizen (15-20 %) bei 60-70 °C in gekapselten Bädern gebeizt [27, 49, 84].

Kaltwalzen

Beim Kaltwalzen wird die Dicke des Warmbandes von etwa 1,5-5 mm auf 0,02-4 mm reduziert [49]. Gewalzt wird entweder in sogenannten Tandem-Walzwerken, mit zwei bis sechs Quartogerüsten in Reihe, oder in Vielwalzengerüsten mit 6 bis 20 Walzen**,** manchmal sind auch Duogerüste in Gebrauch. Der Walzvorgang wird entweder kontinuierlich oder im Reversierbetrieb durchgeführt.

Glühen

Im Kaltwalzprozeß umgeformte Stahlbänder weisen durch hohe Umformgrade häufig für die Weiterverarbeitung zu hohe Festigkeitswerte von bis zu 1600 N/mm^2 auf [61]. Beim Glühen werden durch ein gezieltes Einstellen der Glühtemperatur und der Haltezeit bestimmte Korngrößen und somit die für die Weiterverarbeitung geforderten Festigkeiten erreicht. Daher wird das Band zunächst auf eine vorgegebene Temperatur erhitzt, dann folgt der Haltevorgang zur Einstellung eines inneren und äußeren Temperaturausgleichs und schließlich ein langsamer Kühlprozeß [26]. Der Glühvorgang wird kontinuierlich oder im Batchbetrieb durchgeführt. Die untere Temperaturgrenze für das Glühen liegt bei etwa 600 °C [106]. In den Glühöfen wird das Kaltband unter Schutzgasatmosphäre erhitzt. Ein Nachteil des Batchglühens in Haubenglühen ist, daß das Glühen von Coils nur bis etwa 700 °C möglich ist, da bei höheren Temperaturen einzelne Windungen möglicherweise zusammenbacken und die Bandoberflächen Beschädigungen erfahren. In kontinuierlichen Glühöfen können Bänder bis auf 1050 °C erhitzt werden [61].

Dressieren

Kaltgewalztes, geglühtes Band wird in einem zusätzlichen Walzvorgang bei einer Dickenreduktion von etwa 0,5-3 % nochmals kaltgewalzt. Dieses sogenannte Dressieren erfolgt aus verschiedenen Gründen [17]:

- Gezielte Verdichtung sowie Aufrauhung oder Glättung der Blechoberfläche
- Verbesserung des Stapelfaktors bei Elektroblechen
- Vermeidung der Neigung des Bleches beim Umformen Knitterlinien und Fließfiguren auszubilden

4.4.2.4 Darstellung der Herstellung von Stahlröhren

Röhren werden nach der Art ihrer Herstellung in

- nahtlose Röhren
- geschweißte Röhren

unterschieden. Nahtlose Röhren werden in der Regel aus stranggegossenem Stabstahl oder seltener aus runden Knüppeln in den Schritten Lochen, Strecken und Endwalzen hergestellt. Geschweißte Röhren werden aus warm- oder kaltgewalzten Blechen, aus Warmbreitband oder aus Mittel- sowie Grobblech produziert[21].

4.4.3 Verbrauchs- und Emissionswerte angewandter Techniken

In diesem Kapitel werden Informationen zur Art und zur Menge typischer Einsatzstoffe und Emissionen relevanter Teilprozesse in Warm- und Kaltwalzwerken zusammengestellt.

4.4.3.1 Einsatzstoffe und Emissionen im Warmwalzwerk

Hinsichtlich des Einsatzes an Energie, der entstehenden Emissionen sowie der Entstehung von Abfall und Abwasser sind in Warmwalzwerken insbesondere folgende Teilprozesse relevant:

- Oberflächenvorbereitung
- Wiedererwärmen
- Warmwalzen, Entzundern und Kühlen

Unterschiede bei Einsatzstoffen und Emissionen verschiedener Anlagen sind im wesentlichen bestimmt durch die Produktgeometrie, die Anlagenart, die Betriebsweise sowie der Stahlgüte. Auf der Einsatzstoffseite ist in Warmwalzwerken insbesondere der Energieeinsatz zum Erwärmen der stranggegossenen Materials von Interesse. Als Energiequelle zur Beheizung moderner Wärmöfen wird hauptsächlich Gas (z.B. Erdgas, Koksofengas, Gichtgas, Konvertergas) verwendet.

Zu beachtende Outputs neben dem gewalzten Stahl aus Warmwalzwerken sind [56, 57, 98]:

---

[21] Detailliertere Informationen zur Herstellung von Röhren sind etwa Hensel et al. [49] zu entnehmen.

- Emissionen in die Luft durch Verbrennungsprozesse bei der Wiedererwärmung (z.B. NO_x, SO_x, CO, partikelförmige Emissionen in Abhängigkeit des Brennstoffs)
- Zunder, der beim Säubern der Stahloberfläche nach dem Erwärmen und beim Walzen anfällt
- Schopfenden, Fehlwalzungen, Schrott durch Richt- und Schneidevorgänge, verworfene Coils sowie sonstiger Schrott und Abwertungen (durch metallurgische und geometrische Fehler)
- Abwasser durch Reinigungs-, Transport- und Kühlvorgänge (hauptsächlich belastet mit Zunder und Öl)

An dieser Stelle werden kurz Einsatzstoffe und Emissionen der genannten Teilprozesse vorgestellt.

Oberflächenvorbereitung

Der Zunderanfall bei der Oberflächenvorbereitung hängt im wesentlichen von der Stahlgüte und der Art der Entzunderung ab (etwa Flämmaschine oder manuelles bzw. selektives Flämmen). Angaben zum Materialverlust durch Flämmen bewegen sich beispielsweise bei der Herstellung von Grobblechen zwischen 0,3 % und 1 % [49]. In [32] wird weiterhin einen Zunderanfall von 0,2 kg/t bis 35 kg/t bei einem Durchschnitt von 3,5 kg/t in Anlagen zum Flämmen, Schleifen und Strahlen als repräsentativ angegeben. Spezifische Daten zum Brennstoffeinsatz bei der Oberflächenbehandlung sind nicht verfügbar.

Wiedererwärmen

Wesentliche Einsatzstoffe für die Wärmofen sind Brennstoffe, Feuerfestmaterial sowie Kühlwasser. Luftgängige Emissionen entstehen kontinuierlich bei Verbrennungsprozessen, außerdem fällt beim Austausch der feuerfesten Ofenausmauerung Feuerfestausbruch an [21]. Kühlwasser wird im wesentlichen im Kreislauf genutzt [98]. Unabhängig von der Brennstoffart wird aufgrund der hohen Brenntemperaturen in den Wiedererwärmöfen NO_x gebildet [33, 98]. In Abhängigkeit des Brennstoffs entstehen folgende Emissionen in unterschiedlichen Mengen:

- NO_x
- SO_x
- CO, CO_2
- partikelförmige Emissionen

Durch die Oxidierung der Materialoberfläche entstehen Materialverluste von etwa 1-3 %, die in Form von Zunder anfallen [70]. Tabelle 4.4-5 zeigt im Überblick Inputs und Outputs von Wiedererwärmöfen. Die angegebenen Daten variieren stark mit Parametern wie Ofengröße und Brennstoff.

Tabelle 4.4-5: Inputs und Outputs beim Betrieb von Wiedererwärmöfen

Inputs		Outputs	
Stranggegossenes Material	1.010-1.030 kg/t	Erwärmtes Material	1.000 kg/t bei ca. 1.150 °C
Energie (Einsatz bei 20-1.100 °C) Brennstoffarten:	0,1-1,5 GJ/t Gas (z.B. Erdgas, Gichtgas), Öl, Brennstoffmischung	Emissionen: NO_x CO_x SO_x Staub	(abhängig vom Brennstoff) 25-500 g/t k.A. 0,02-900 g/t 0,2-30 g/t
Kühlwasser	geschlossener Kreislauf	Zunder (bei Einsatz 20°C)	5-28 kg/t
Feuerfestmaterial	k.A.	Feuerfestausbruch	k.A.

Quellen: Bleck [10], Europäische Kommission [32], Hensel [49], Jeschar [61]

Warmwalzen, Entzundern und Kühlen

Ein wichtiger Einsatzstoff für die Prozesse Warmwalzen, Entzundern und Kühlen ist Prozeßwasser. Es dient als Strahlmittel zum Entzundern, als Kühlmittel und als Transportmedium für den Zunder. Weiterhin werden elektrischer Strom zum Antrieb der Walzen und Schmierstoffe für die Lager der Walzgerüste benötigt.

Die Menge des eingesetzten Wassers im Walzstraßenbereich kann im allgemeinen mit 0,1-0,12 m^3/s in der Vorstraße, mit 0,05-0,06 m^3/s vor der Fertigstraße und mit 0,03-0,04 m^3/s in der Fertigstraße abgeschätzt werden [49]. Das Prozeßwasser wird im Sinterkanal unter der Walzstraße gesammelt und fließt von dort zur Wasseraufbereitung. Es ist mit Zunder und Öl aus den Walzgerüsten belastet, wobei die Menge des anfallenden, im Wasser mitgeführten Zunders produktabhängig ist. Der Zunderanfall bei ausgewählten Anlagen läßt sich durch folgende Bandbreiten charakterisieren, die im Rahmen einer Studie der Europäischen Gemeinschaft ermittelt wurden [32]:

- Grobblech (Umkehr-Quartogerüste): 0,5-18 kg/t, Durchschnitt 4,5 kg/t
- Warmband 0,1-3,3 kg/t: Durchschnitt 0,85 kg/t (eine Anlage bei 11 kg/t)
- Profile (Vorblöcke, Knüppel, schwere Profile): 0,5-47 kg/t, Durchschnitt 24 kg/t
- Profile (leichte und mittlere Stäbe und Profile): 1-10 kg/t, Durchschnitt 4,9 kg/t (drei Anlagen bei 25-30 kg/t)
- Draht: 0,3-12 kg/t, Durchschnitt 4 kg/t (drei Anlagen bei 18-20 kg/t)

Eine Untersuchung vom IISI [57] gibt folgende Referenzwerte für Materialverluste durch Verzunderung an[22]:

- Warmband: 0,7 %, Bandbreite der erhobenen Daten 0,5-2,0 %
- Profile (Schienen, mittlere Profile, etc.): 1,0 %, Bandbreite der erhobenen Daten 0,5-3,9 %
- Schwere Profile: 1,4 %, Bandbreite der erhobenen Daten 1,4-2,0 %

- Draht- und Stabwalzwerke: 0,6 %, Bandbreite der erhobenen Daten 0,2-2,0 %

Walzzunder ist gewöhnlich relativ grob, d.h. 85-90 % der Partikel sind größer als 0,15 mm. Der Eisenanteil beträgt etwa 70 % (auf öl- und wasserfreier Basis) mit weniger als 4 % Silizium, Aluminium, Kalk und Magnesium [56]. Das Prozeßwasser im Sinterkanal enthält jedoch außer dem Zunder auch noch Öl aus den Walzgerüsten. Vor einer Rückführung des Prozeßwassers müssen Zunder und Öl abgeschieden werden.

Der Bedarf an Energie für die Antriebe der Walzen ist stark abhängig von der Art der Walzstraße und Parametern wie Temperatur des Walzguts, Walzgeschwindigkeit, Dickenabnahme im Stich, u.s.w. [49]. Tabelle 4.4-6 verdeutlicht dies exemplarisch für verschiedene Warmbreitbandstraßen zur Verarbeitung unlegierter kohlenstoffarmer Stähle.

Tabelle 4.4-6: Beispiele für den Bedarf an Umformenergie in Warmbreitbandstraßen

Fertigstraße	1	2	3	4	5
Gerüste	6	6	6	6	7
Dimension Input	32x1.150 mm	32x1.150 mm	32x1.050 mm	32x1.850 mm	42,3x1.750 mm
Dimension Output	1,8x1.150 mm	6x1.150 mm	2,5x1.050 mm	1.8x1.850 mm	3x1.750 mm
Umformenergie	51 kWh/t	16,1 kWh/t	34,1 kWh/t	46,7 kWh/t	30,8 kWh/t

Quelle: Hensel [49]

In Tabelle 4.4-7 sind in einem Überblick Inputs und Outputs von Warmwalzstraßen zusammengestellt.

Tabelle 4.4-7: Inputs und Outputs beim Betrieb von Warmwalzstraßen

Inputs	Outputs
Umzuformendes Material	Warmgewalztes Material
Energie	Schrott, Schopfenden, Fehlwalzungen
Wasser	Beladenes Prozeßwasser (Zunder, Öl)
Öl	Staub

4.4.3.2 Einsatzstoffe und Emissionen im Kaltwalzwerk

Hinsichtlich des Einsatzes an Energie, der entstehenden Emissionen sowie der Entstehung von Abfall und Abwasser sind in Kaltwalzwerken insbesondere folgende Teilprozesse relevant:

- Oberflächenvorbereitung
- Kaltwalzen
- Glühen
- Dressieren

[22] Referenzwert bedeutet in dieser Studie, daß „the reference can be considered as representative of achievable, not necessarily the very best, yield“. Im Rahmen dieser Studie wurden zwischen 1990 und 1992 Daten von 95 Anlagen erhoben [57].

Unterschiede bei Einsatzstoffen und Emissionen verschiedener Anlagen sind im wesentlichen bestimmt durch die Produktgeometrie, die Anlagenart, die Betriebsweise sowie durch die Stahlgüte. Wichtige Einsatzstoffe von Kaltwalzwerken sind insbesondere:

- Warmband,
- Beizmedien (z.B. Schwefelsäure, Salzsäure),
- Dampf,
- Kühlschmiermittel,
- elektrische Energie,
- Brennstoffe,
- Prozeßwasser.

Neben Kaltblech als Hauptprodukt der Kaltwalzwerke sind folgende Outputs wesentlich [98]:

- Säurehaltige Aerosole und Dämpfe beim Beizen,
- VOC und Ölnebel beim Walzen,
- Verbrennungsprodukte beim Glühen,
- Schrottabschnitte,
- Beizschlamm,
- Säureaufbereitungsschlamm,
- säurehaltige Abwässer durch Spülvorgänge,
- verbrauchte Ölemulsionen,
- Eisenoxid bzw. Eisensulphat von der Säureregeneration.

Im Unterschied zur Verarbeitung von Massenstahl erfordert die Verarbeitung von Edelstahl im Kaltwalzwerk den Einsatz anderer Hilfsstoffe, wie etwa besondere Walzöle oder Säuren. Zusätzliche Informationen zur Verarbeitung von Edelstahl werden im folgenden an verschiedenen Stellen dargestellt.

Oberflächenvorbereitung

In Abhängigkeit der Stahlgüte und der gewünschten Reinigungsleistung muß ein geeignetes Beizmedium ausgewählt werden. Beim Beizen von C-Stahl ist dabei der Einsatz von Schwefelsäure und Salzsäure sehr verbreitet. Das Beizen von Edelstahl (etwa RSH-Stahl) mit hohen Anteilen an Chrom und Nickel erfordert jedoch zumeist stärkere Säuren, wie etwa Mischungen von Flußsäure und Salpetersäure [55].

Abbildung 4.4-4 stellt schematisch ausgewählte Inputs und Outputs des Beizvorgangs dar, zu denen im folgenden zusammenfassende Angaben gemacht werden.

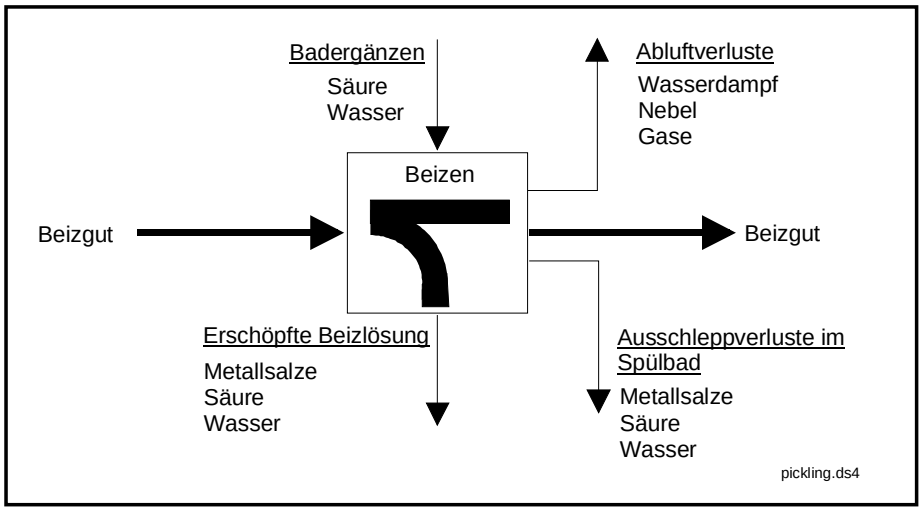

Abbildung 4.4-4: Schematische Darstellung ausgewählter Inputs und Outputs des Beizprozesses

Quelle: Rituper [84]

Die eingesetzte Säure für den Beizprozeß hängt von der Güte des zu beizenden Stahls ab. Niedrig legierte Stähle und Kohlenstoffstähle werden zumeist mit Salzsäure oder Schwefelsäure gebeizt. Für Edelstahl werden Mischsäuren, oftmals aus Flußsäure und Salpetersäure, verwendet. In Abhängigkeit der Säure variiert der Energieeinsatz zur Beizbaderwärmung. Schwefelsäure wird bis etwa 95-105 °C, Salzsäure bis etwa 60-90 °C und Mischsäuren bis etwa 70 °C durch Heißdampf oder Heißwasser erhitzt [84].

Aufgrund der erhöhten Temperatur der Beizbäder entstehen je nach Beizmedium säurehaltige Aerosole und Dämpfe [84]. Die Menge an Emissionen hängt dabei unter anderem von der Temperatur und der Badbewegung ab. Prozeßabwasser beim Beizen entsteht aufgrund von Spülvorgängen und als Waschwasser der Abluftreinigung. Feste Outputs beim Beizen und der Beizeaufbereitung sind Beizschlamm, Beizeregenerationsschlamm und Abwasserbehandlungshydroxidschlamm. Bei der Beizeaufbereitung fallen als Outputs außerdem Eisenoxid oder Eisensulphat, in Abhängigkeit des eingesetzten Aufbereitungsverfahren, an [98]. Tabelle 4.4-8 stellt im Überblick wichtige Inputs und Outputs des Beizprozesses dar.

Tabelle 4.4-8: Inputs und Outputs beim Betrieb von Beizprozessen

Inputs	Outputs
Warmband	Gebeiztes Warmband
Säure (abhängig von der Stahlgüte):	Säurehaltige Aerosole und Dämpfe
Salzsäure, Schwefelsäure, Mischsäure	Verbrauchte Beizlösung
(z.B. Fluorsäure / Salpetersäure)	Prozeßabwasser (Spülen, Abluftreinigung)
Wasser (Spülen, Abluftreinigung)	Säureaufbereitungsnebenprodukte
Dampf, Warmwasser (Baderhitzung)	(z.B. Eisenhydroxid)

Kaltwalzen

Einsatzstoffe beim Kaltwalzen sind im wesentlichen elektrischer Strom für die Walzantriebe sowie Kühlschmiermittel (Wasser, Öl oder Emulsionen) [49]. Beispiele für Kühlschmiermittel sind Fettöl, Mineralöl oder Palmöl. Aufgrund der Temperaturerhöhung beim Walzen auf etwa 50-240 °C müssen wasserfreie Walzöle Flammpunkte über 300 °C aufweisen [49], außerdem verdampft das Walzöl teilweise und bildet einen Ölnebel, der mittels Absauganlagen evakuiert wird. Weiterhin fallen gebrauchtes Kühlschmiermittel und Schrottenden durch Schopf- und Richtvorgänge an, weiterhin können Fehlwalzungen den Schrottanteil erhöhen. Tabelle 4.4-9 faßt im Überblick wichtige Inputs und Outputs des Kaltwalzens zusammen.

Tabelle 4.4-9: Inputs und Outputs beim Betrieb von Kaltwalzstraßen

Inputs	Outputs
Gebeiztes Warmband	Kaltband
Energie	Ölnebel
Kühlschmiermittel	Prozeßwasser (Zunder- und Öl beladen)
Wasser	Schrott (z.B. Fehlwalzungen)

Glühen

Die erforderlichen Einsatzstoffe und entstehenden Emissionen beim Glühen hängen im wesentlichen von der Art des Glühofens (Haubenglühofen oder kontinuierlicher Glühofen) und dem verwendeten Brennstoff ab. Bei Einsatz von Erdgas zur Beheizung sind niedrige SO_2 und Staubemissionen zu erwarten. Die Entstehung von NO_x ist nicht vollständig zu vermeiden. Um eine besserte Wärmeübertragung von der Schutzhaube zum Wärmgut zu erreichen, wird Inertgas (N_2 oder H_2)[23] eingesetzt. Schrott fällt in der Glüherei im dem Falle an, falls beim Haubenglühen zu hohe Temperaturen ein Verbacken der Coils (sogenanntes Kleben) verursachen. Tabelle 4.4-10 zeigt im Überblick Einsatzstoffe und Emissionen des Glühvorgangs.

[23] Untersuchungen zeigten, daß der Einsatz von Wasserstoff zu einer deutlichen Reduzierung der Glühzeiten führt [61].

Tabelle 4.4-10: Inputs und Outputs beim Betrieb von Anlagen zum Glühen

Inputs	Outputs
Kaltband	Geglühtes Kaltband
Energie (Brennstoff, Strom)	Emissionen (brennstoffabhängig): NO_x, CO, SO_2, Staub
Inertgase	Schrott

4.4.4 Kandidaten für beste verfügbare Techniken in Walzwerken

In diesem Abschnitt wird ein zusammenfassender Überblick über Kandidaten für beste verfügbare Techniken für den integrierten Umweltschutz in Warm- und Kaltwalzwerken vorgestellt[24].

4.4.4.1 Übersicht über Kandidaten für BVT in Warmwalzwerken

Tabelle 4.4-11 und Abbildung 4.4-5 geben eine Aufstellung von Kandidaten für BVT in Warmwalzwerken. In Abbildung 4.4-5 wird dabei ein Schema einer Anlage zur Herstellung von Flachzeug gezeigt. Die meisten Techniken können jedoch auch in Profilwalzwerken eingesetzt werden (Ausnahmen: Techniken 2, 3, 4 und 14). Die Techniken in Tabelle 4.4-11 sind dabei verschiedenen Teilprozessen im Warmwalzwerk zugeordnet.

[24] Eine ausführlichere Darstellung dieser Techniken ist im zugrunde liegenden „*Report on Best Available Techniques in the German Ferrous Metals Processing Industry*" im Ergänzungsband 1 zu finden.

Tabelle 4.4-11: Kandidaten für BVT in Warmwalzwerken

Nr.	Teilprozeß	Technik(en)	Umweltaspekt
1	Flämmen/ Gesamte Anlage	Bereitstellung von Einsatzmaterial hoher Qualität	Luft/Abfall
2	Flämmen	(Automatisierte) Prozeßkontrolle zur Minimierung des zu flämmenden Materials	Luft/Abfall
3	Flämmen	Selektives Flämmen	Luft/Abfall
4	Flämmen	Staubabscheidung Flämmabgas	Luft
5	Wiedererwärmen	Wahl eines geeigneten Brennstoffs	Luft
6	Wiedererwärmen	(Automatisierte) Optimierung der Verbrennungsbedingungen	Luft/Energie/ Abfall
7	Wiedererwärmen	Ofen mit hoher thermischer Effizienz, Minimierung der Wärmeverluste	Luft/Energie
8	Wiedererwärmen	Geeignete Brenner (z.B. Low-NO_x-Brenner)	Luft/Energie
9	Wiedererwärmen	Vorwärmen der Brennluft	Luft/Energie
10	Wiedererwärmen/ Warmwalzen	Vermeidung von Materialabkühlung: Warm- bzw. Heißeinsatz, Abdeckhauben	Luft/Energie
11	Warmwalzen	Gerichtetes Besprühen des Walzguts zur Verminderung von Staubemissionen	Luft
12	Wiedererwärmen	Minimierung von Hitzeverlusten durch Abgas, Abgaswärmerückgewinnung	Energie
13	Wiedererwärmen	Optimiertes Ofenkonzept mit mehreren Zonen	Energie
14	Warmwalzen	Installation von Coilbox und Coilofen	Energie/Abfall
15	Warmwalzen/ Gesamte Anlage	Optimierte Anlagenbelegung, Instandhaltung, Betriebsweise, near-net-shape Produktion	Energie/Abfall
16	Wiedererwärmen	Recycling des Feuerfestausbruchs	Abfall
17	Warmwalzen	Automatisiertes, optimiertes Schopfen	Abfall
18	Warmwalzen	Verwertung von Prozeßöl	Abfall
19	Wassermanagement	Kreislaufführung, getrennt entsprechend den Anforderungen an die Wasserqualität	Wasser
20	Wassermanagement	Mehrstufige Wasseraufbereitung: Grob-, mittel- und Feinreinigung	Wasser
21	Gesamte Anlage	Recycling eisenhaltiger Abfällen in metallurgische Prozesse	Abfall
22	Wassermanagement/ Gesamte Anlage	Aufbereitungsverfahren für ölhaltigen Walzzunder	Abfall

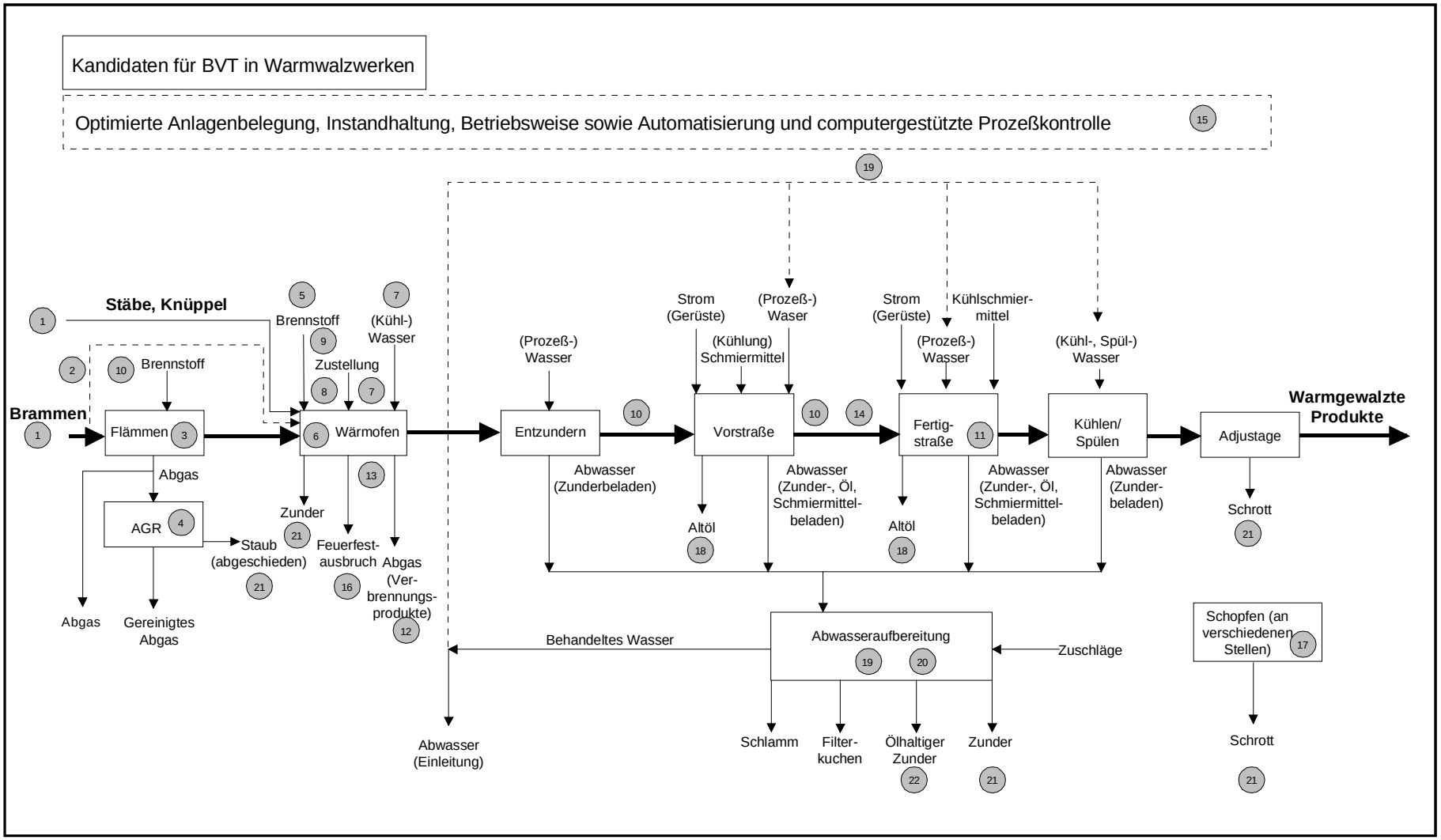

Abbildung 4.4-5: Schematische Übersicht über BVT in Warmwalzwerken

4.4.4.2 Übersicht über Kandidaten für BVT in Kaltwalzwerken

Tabelle 4.4-12 und Abbildung 4.4-6 geben eine Aufstellung von Kandidaten für BVT in Kaltwalzwerken. Die Techniken in Tabelle 4.4-12 sind dabei verschiedenen Teilprozessen im Kaltwalzwerk zugeordnet.

Tabelle 4.4-12: Kandidaten für BVT in Kaltwalzwerken

Nr.	Teilprozeß	Technik(en)	Umweltaspekt
1	Mechanische Oberflächenvorbereitung	Staubabscheidung	Luft
2	Beizen	Optimierung von Zusammensetzung und Temperatur der Beizlösung	Luft
3	Beizen	Einhausung und Entlüftung des Beizbads	Luft
4	Beizen	Tropfenabscheider, falls erforderlich	Luft
5	Beizeaufbereitung	Abluftreinigung, entsprechend dem Aufbereitungs- bzw. Regenerationsprozeß	Luft
6	Kaltwalzen	Absaugung und Abscheidung entstehenden Ölnebels	Luft
7	Glühen	Wahl geeigneten Brennstoffs	Luft
8	Glühen	Optimale Einstellung der Verbrennungsbedingungen durch computergestützte Steuerung, Verminderung von Abgaswärmeverlusten	Luft/Energie
9	Glühen	Einsatz von Low-NO_x-Brennern	Luft
10	Glühen	Einsatz von Hochkonvektionsöfen	Luft/Energie
11	Dressieren	Absaugung und Reinigung von Abluft	Luft
12	Beizen	Einsatz von Dampf-Wärmetauschern zur Baderhitzung, ggf. Bandvorwärmung durch Kondensat	Energie
13	Beizen	Flachbadbeize	Energie
14	Beizen	Wärmerückgewinnung (Beize und Regenerat)	Energie
15	Beizen	Minimierung der Wärmeverluste des Bads	Energie
16	Beizen	Auswahl eines geeigneten Beizmediums	Energie
17	Kaltwalzen	Automatische Steuerung der Hilfsaggregate zur Minimierung von Energieverlusten während Anlagenstillstandszeiten	Energie
18	Kaltwalzen/Beizen	Kontinuierliches Beizen und Kaltwalzen	Energie
19	Glühen	Abgaswärmerückgewinnung	Energie
20	Gesamte Anlage	Optimiertes Produkthandling und geeignete Anlagen zur Vermeidung von Produktbeschädigungen, Bereitstellung von Einsatzmaterial hoher Qualität	Abfall
21	Beizen	Aufbereitung von Altbeize	Abfall
22	Gesamte Anlage	Geeignete Prozeßsteuerung zur Minimierung von Materialverlusten	Abfall
23	Beizen	Minimierung von Verschleppungsverlusten, Kaskadenspülsysteme, Beizeaufbereitung	Abfall
24	Kaltwalzen	Kreislaufführung von Kühlschmiermitteln	Abfall
25	Gesamte Anlage	Recycling eisenhaltiger Abfälle in metallurgische Prozesse	Abfall

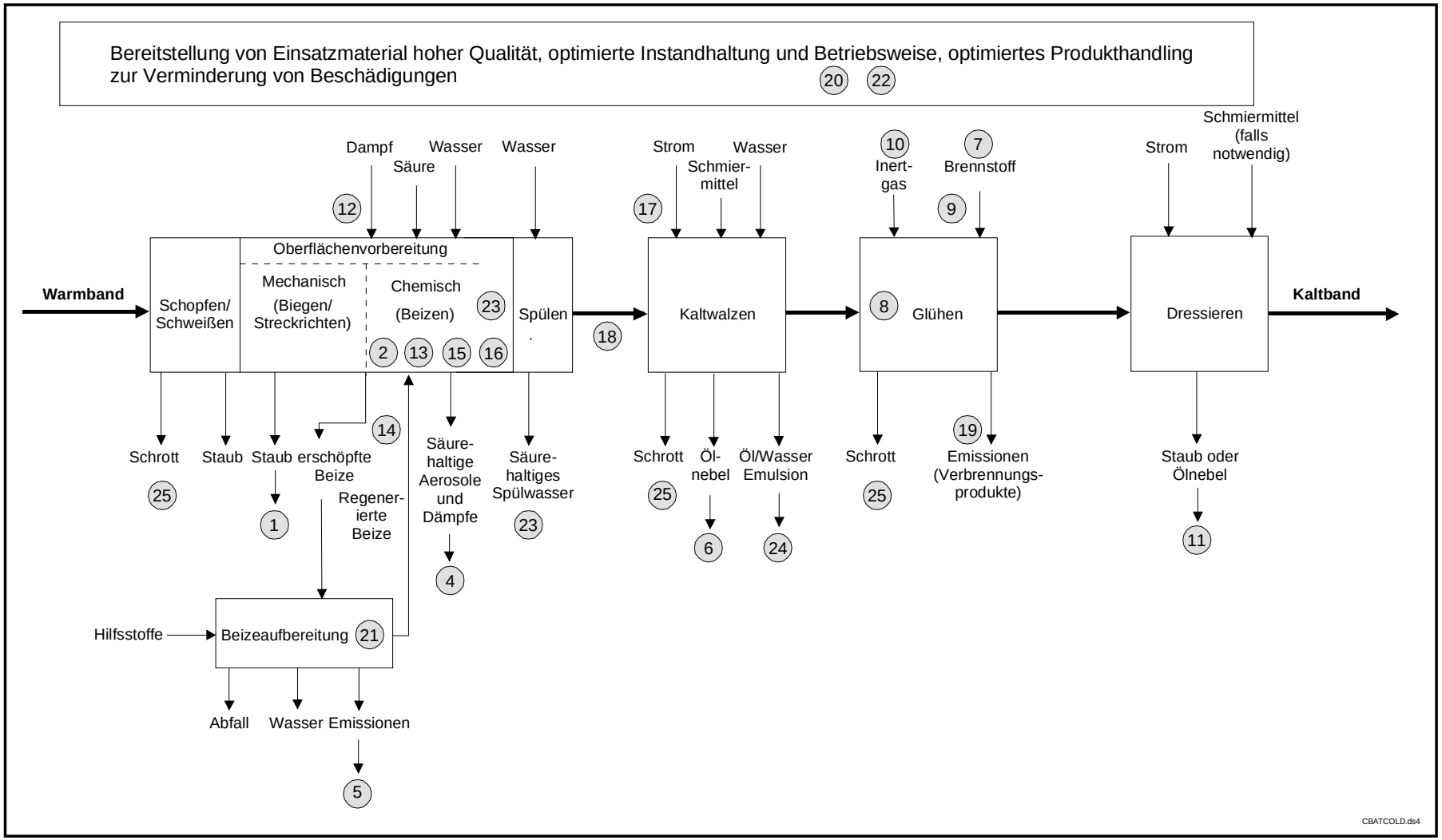

Abbildung 4.4-6: Schematische Übersicht über BVT in Kaltwalzwerken

4.4.4.3 Fallstudien deutscher Warm- und Kaltwalzwerke

In Tabelle 4.4-13 und Tabelle 4.4-14 sind technische Daten und Angaben zu Emissionen deutscher Warm- und Kaltwalzwerke zusammengestellt [96, Firmeninformationen].

Tabelle 4.4-13: Daten zu Fallstudien deutscher Warmwalzwerke

Warmwalzwerk	Fallstudie 1	Fallstudie 2	Fallstudie 3	Fallstudie 4
Allgemeine Angaben	Daten 1998	Daten 1994-1996	Daten 1994-1996	Daten 1995
Vorgeschaltete Anlagen	Integr. Hüttenwerk	Integr. Hüttenwerk	Elektrostahlwerk	Integr. Hüttenwerk
Walzwerkstyp	Warmbreitbandstraße	Warmbreitbandstraße	Profilwalzwerk	Warmbreitbandstraße
Verarbeitete Stahlgüten	C-Stahl, Edelstahl (austenit., ferritisch)	Feinblech-, Festigkeitsgüten, C-Stahl	C-Stahl	C-Stahl, Feinkornstahl
Produkte Dicke [mm] Breite [mm] Coilgewicht (max. [t])	Warmbreitband 1,5-25,0 600-2.150 45	Warmbreitband 1,5-25,0, 650-1.180 k.A.	Stabstahl, Walzdraht k.A. k.A. -	Warmbreitband 1,5-13 600-1.640 34
Output (Endprodukte)	max. 5.000.000 t/a	etwa 4.000.000 t/a	etwa 1.400.000 t/a	900.000 t/a
Baujahr / Modernisierung	1973/1997	k.A./k.A.	1966-68/k.A.	1997/-
Flämmerei				
Typ	Handflämmplätze: H Flämmaschine: M	k.A.	-	k.A.
Kapazität	H: 15 M: 63.000 t/Monat	k.A.	-	k.A.
Abgasreinigungssystem	H: - M: Gewebefilter	k.A.	-	k.A.
Brennstoff (Art / Menge)	Erdgas, Sauerstoff / -	k.A.	-	k.A.
Zunderanfall / relativer Materialverlust	Materialverlust: Flämmen 0,38 %, Abbrand 1,72 %, Schrott 0,19 %	k.A.	-	k.A.
Abgasvolumenstrom Staubgehalt	110.000 Nm³/h < 10mg/Nm³	k.A.	-	k.A.
Verwendung des Zunders	Recycl. Sinteranlage	k.A.	-	k.A.
Wiedererwärmen				
Ofentyp	2 Hubbalkenöfen	2 Stoßöfen	2 Stoßöfen	Hubbalkenofen
Kapazität	420t/h je Ofen	300t/h je Ofen	k.A.	k.A.
Eigenschaften	Brennluftvorwärm., Decken- und Seitenbrenner, Low-NO_x-Brenner	Brennluftvorwärm. (470°C/630°C), Vorwärmung auf ca. 250 °C durch Abgas	Brennluftvorwärmung	Brennluftvorwärm., Wärmerückgewinnung durch Dampferzeugung
Betriebsweise	Teilweise Heißeinsatz	k.A.	Teilweise Heißeins.	Teilweise Heißeinsatz
Brennstoff (Art / Menge)	Erdgas/ 150 Mio. Nm³/a	Koksofen-, Erdgas/ 18.000 bzw. 15.000 Nm^3/h	Erdgas, LPG / $35{,}5*10^7$ kWh, Erd $65{,}8*10^6$ kWh, LPG	Erdgas/ 90 Mio. Nm³/a
Abgasvolumenstrom [Nm³/h] NO_x [mg/Nm³] CO [mg/Nm³] C_{tota} [mg/Nm³]$_l$ SO_2 [mg/Nm³] Staub [mg/Nm³]	130.000-150.000 500-700 k.A. k.A. k.A. k.A.	70.000 543 4 46 93 k.A.	30.000 330 n.n. 1,5 k.A. k.A.	k.A.
Spezifischer Energiebedarf zum Wiedererwärmen	k.A.	k.A.	≈ 270 kWh/t, Erd und 30 kWh/t, LPG	k.A.

Warmwalzwerk	Fallstudie 1	Fallstudie 2	Fallstudie 3	Fallstudie 4
Warmwalzen				
Entzunderer	Vertikal (140bar)	2	k.A.	2 (160bar)
Vorstraße	4 Duogerüste	1 Quartogerüst	k.A.	Stauch- Quartogerüst
Coilbox , Coilofen	- , -	- , -	-	ja, ja
Fertigstraße	7 Quartogerüste	7 Quartogerüste	k.A.	5 Quartogerüste
Kühleinheit	Laminar-Wasserkühlung	k.A.	Kühlbett	Laminar-Wasserkühlung
Haspelmaschine	3 Unterflurhaspelma.	k.A.	-	vorhanden
Besonderheiten	Abdeckhauben vor Fertigstraße	k.A.	k.A.	k.A.
(Spezifischer) Energiebedarf für Walzgerüstantriebe	k.A.	k.A.	k.A.	180 GWh/a
Walzöl, Schmierstoffe	k.A.	k.A.	k.A.	Hydrauliköl: 30 t/a Schmierst.: 166 t/a
Schrottanfall	k.A.	k.A.	Gesamt 45.992 t/a	k.A.
Verwendung von Output neben Produkt	Schrottrecycling via Konverter	k.A.	Schrottrecycling via EAF	Schrottrecycling via Konverter
Wassermanagement				
Maßnahmen zur Abwasservermeidung, -verminderung	Getrennte Kreisläufe für Kühl- und Prozeßwasser	k.A.	Getrennte Kreisläufe für Kühl- und Prozeßwasser	Getrennte Kreisläufe für Kühl- und Prozeßwasser
Abwasserreinigung	Sinterbrunnen, belüftete Feinsinterfänge, Rundabsetzbecken, Kiesfilter, Kühlturm	k.A.	u.a. Kiesfilter	Zunderbrunnen, Längsklärbecken, Kiesfilter, Kühlturm, komb. Flock-, Längsklärbecken, Dekanter
Inputs / Outputs:	Prozeßwasser		Walz- und Stahlwerk	Prozeßwasser
Wasserentnahme	k.A.	k.A.	1.000 m^3/h	k.A.
Kreislaufwasser	18.000 m³/h	k.A.	k.A.	k.A.
Volumenstrom Einleitung Fe (mg/l) HC_{total} (mg/l, MKW) Zn (µg/l) Fischgiftigkeit (Verdü.fkt.) CSB (mg/l) P_{tot} (mg/l) N_{inorg} (mg/l) AOX (µg/l) Hg (µg/l) Cd (µg/l) Cr (µg/l) Ni (µg/l) Pb (µg/l) Cu (µg/l) Temperatur (°C)	k.A. 0,01-0,24 ∅ 0,11 0,10-0,11 ∅ 0,10 20,00-65,00 ∅ 27,90 2,00-2,00 ∅ 2,00 15,30-29,10 ∅ 20,70 0,01-0,29 ∅ 0,14 4,08-7,99 ∅ 5,31 26,0-187,0 ∅ 68,50 0,20-0,20 ∅ 0,20 0,20-0,20 ∅ 0,20 2,00-20,00 ∅ 2,95 3,00-40,50 ∅ 22,78 1,00-20,00 ∅ 2,90 2,60-20,00 ∅ 7,69 12,70-30,50 ∅ 24,75	k.A. k.A. k.A. k.A. k.A. k.A. k.A. k.A. k.A. k.A. k.A. k.A. k.A. k.A. k.A. k.A. k.A.	970 Nm³/h k.A. k.A. k.A. k.A. 0-6 n.n. 1-1,3 n.n. n.n. n.n. n.n. 15,0-21,0 n.n. 0,0-27 k.A.	11,4 Nm³/h 11,5 *) 6,9 *) 2.000 k.A. 113,5 *) k.A. k.A. k.A. k.A. k.A. 10,0 130,0 k.A. k.A. k.A.
Spez. Prozeßwassergebr.	k.A.	k.A.	etwa 6m^3/t Produkt	k.A.
Reinigungschemikalien	Flockungsmittel, Fällungsmittel, Flockungshilfsmittel	k.A.	Flockungsmittel	Flockungs-, Fällungs-, Flockungshilfsmittel (insg. 12 t/a)
Abfall (Art und Menge [t/a])	Grobsinter: 48.400, Feinsinter: 8.000, Zunderschlamm: 6.000; Recycl. via Sinterband und BOF	k.A.	Stranggieß- und Walzzunder: 25.700; Ext. Aufbereitung: Recycling via metallurgische Prozesse	Grobsinter: k.A. Feinsinter: k.A. Zunderschlamm: k.A. *): Abwasser wird zus. zentral behandelt

Tabelle 4.4-14: Daten zu Fallstudien deutscher Kaltwalzwerke

Kaltwalzwerk	Fallstudie 1	Fallstudie 2
Allgemeine Angaben		
Vorgeschaltete Anlagen	Integriertes Hüttenwerk, Warmwalzwerk	Integriertes Hüttenwerk, Warmwalzwerk
Vorhandene Teilprozesse (Auswahl)	Beizerei, Beizeaufbereitung, Tandemwalzwerk, Reversierdressiergerüst, konventioneller Haubenglühofen, Adjustage, kontinuierliche Feuerverzinkung	Beizerei, Beizeaufbereitung, Tandemwalzwerk, Reversierdressiergerüst, Haubenglühofen, Adjustage, kontinuierliche Feuerverzinkung
Verarbeitete Stahlgüten	C-Stahl, niedriglegierte Stähle	C-Stahl, Feinkornstähle
Produkte Breite / Dicke Coilgewicht / Coil ∅	Kaltband 50-2 mm / 0,5-2,8 mm max. 38 t / 1.000-2.300 mm	Kaltband k.A. k.A.
Output (Kaltwalzwerk)	1.200.000 t/a	1.250.000 t/a
Baujahr / Modernisierung	1962/1996	n.a./1996
Oberflächenvorbereitung		
Beizerei	Kontibeize	Kontibeize
Kapazität	1.200.000 t/a	1.000.000 t/a
Mechanisches Entzundern	Biegestreckrichtanlage (BSR)	Biegestreckrichtanlage (BSR)
Beiztemperatur	k.A.	55 °C
Spülsystem	Kaskadenspülung	Kaskadenspülung
Abluftreinigung (BSR)	k.A.	k.A.
Abluftreinigung (Beize)	Tropfenabscheider	Füllkörperabscheider
Beizsäure (Konzentration)	H_2SO_4 (25 %)	HCl (k.A.)
Frischsäureverbrauch	k.A.	1.300 t/a HCl
Abgasvolumenstrom (BSR) Staubkonzentration	k.A. k.A.	k.A. k.A.
Abgasvolumenstrom (Beize) Zusammensetzung	k.A. k.A.	k.A. k.A.
Säureregeneration		
Säureart	Schwefelsäure	Salzsäure
Regenerationsprozeß	Vakuumkristallisation	Sprühröstprozeß
Abgasreinigung	k.A.	Wäscherkolonne mit Tropfenabscheider
Entstehende Outputs (Gebrauch)	Eisensulphat (Verkauf), Neutralisationsschlamm (Deponie)	k.A.
Abgasvolumenstrom Zusammensetzung	k.A. k.A.	k.A. k.A.
Abwasser	k.A.	k.A.
Kaltwalzen		
Kaltwalzstraße	Vier 80” Quartogerüste	k.A.
Abluftreinigung	k.A.	Ölnebelabscheider
Kühlschmiermittelwirtschaft	k.A.	Kühlschmiermittelkreislauf, Emulsionsspaltanlage
(Spezifischer) Energieeinsatz für Walzgerüstantriebe	k.A.	102,86 GWh/a
Walzöl	verschiedene	k.A.
Abgasvolumenstrom / C_{total}	k.A. / k.A.	k.A. / k.A.
Abwasser	k.A.	Verbrauchte Emulsion zur Spaltanlage
Schrott	k.A.	k.A.

Kaltwalzwerk	**Fallstudie 1**	**Fallstudie 2**
Glühen		
Ofentyp	Haubenglühöfen	Haubenglühöfen
Kapazität	1.200.000 t/a	k.A.
Besonderheiten	k.A.	Nachverbrennung
Brennstoffeinatz (Art / Menge)	Erdgas / 10.400 t/a	Erdgas / 16.200 Nm³/a
Inertgas	verschiedene, u.a. H_2	H_2, N_2
Abgasvolumenstrom NO_x CO C_{total}	k.A. 74 mg/Nm³ 1.150 mg/Nm³ k.A.	k.A.
Abfall	k.A.	k.A.
Dressieren		
Dressierstraße (Anzahl und Art der Gerüste)	90”-/56”-/80” Quartogerüste Reversierdressiergerüste	k.A.
Geometrie der Produkte	Dicke: 0,5-4,0 mm, Breite: 600-2.100 mm, Coilgewicht: max. 42 t	k.A.
Abgasreinigung	k.A.	Faserfilter
Spezifischer Energieeinsatz für Walzgerüste	k.A.	k.A.
Abgasvolumenstrom Zusammensetzung	k.A. k.A.	k.A. k.A.
Abfall	k.A.	k.A.
Wassermanagement		
Inputs / Outputs:	Emulsionsspaltanlage und Neutralisation	Emulsionsspaltanlage und Neutralisation
Volumenstrom Einleitung Fe HC_{total} NO_2-N Cr VI Zn Fischgiftigkeit CSB P (gesamt) AOX Hg Cd Cr (gesamt) Ni Pb Cu	264.528 m³/a 0,41 mg/l 0,28 mg/l k.A. k.A. 0,02 mg/l k.A. k.A. k.A. k.A. k.A. k.A. 0,08 mg/l 0,03 mg/l k.A. k.A.	83.220 m³/a 0,17 mg/l *) 0,97 mg/l *) 0,41 mg/l k.A. 0,03 mg/l k.A. 121 mg/l *) 0,1 mg/l k.A. k.A. k.A. 0,01 mg/l 0,01 mg/l 0,07 mg/l 0,01 mg/l

*): Das Abwasser wird noch einer Zentralabwasserbehandlung zugeführt.

4.5 Zusammenfassung des BVT-Positionspapiers „Primäre und Sekundäre Zinkerzeugung“

Im vorliegenden Unterkapitel 4.5 wird die Struktur der deutschen Zinkindustrie dargestellt und die angewandte Produktionstechnologie analysiert. Auf Grundlage dieser Untersuchungen werden nationale Kandidaten für beste verfügbare Techniken zur Zinkerzeugung vorgeschlagen. Anhand von Fallstudien werden der Verbrauch an Einsatzstoffen und entstehende Emissionen bei der Erzeugung von Zink dokumentiert.[25]

4.5.1 Informationen zur Branche

Zink nimmt in seiner metallischen Form eine bedeutende Stellung im Korrosionsschutz und als Legierungszusatz ein. Darüber hinaus wird Zink als Verbindung wie Zinkoxid in einer Vielzahl chemischer Erzeugnisse eingesetzt. Weltweit liegt der Verbrauch unter den Nichteisenmetallen nach Aluminium und Kupfer auf dem dritten Rang. In Europa werden derzeit etwa 2 Mio. t Zink pro Jahr eingesetzt. In Deutschland wird erheblich mehr Zink eingesetzt als erzeugt. 1997 stand einem Verbrauch von 486.000 t eine Produktion von 318.000 t gegenüber. In Tabelle 4.5-1 sind die Produktions- und Verbrauchsmengen der letzten Jahre für Deutschland, die EG und weltweit zusammengestellt.

Tabelle 4.5-1: Zinkproduktion in Deutschland, der EG und weltweit in Mio. t

	Deutschland*) [Mio. t]		**EG*)** [Mio. t]		**Weltweit*)** [Mio. t]	
Jahr	**Produktion (SHG-Zink)**	**Verbrauch**	**Produktion (SHG-Zink)**	**Verbrauch**	**Produktion (SHG-Zink)**	**Verbrauch**
1990	0,338	0,484	1,699	1,655	6,691	6,666
1991	0,346	0,540	1,765	1,738	6,854	6,627
1992	0,383	0,532	1,827	1,711	6,953	6,557
1993	0,381	0,492	1,811	1,640	7,184	6,608
1994	0,360	0,519	1,922	1,892	7,131	6,981
1995	0,322	0,505	1,960	2,007	7,327	7,489
1996	0,328	0,480	1,980	1,929	7,428	7,533
1997	0,318	0,486	1,968	1,966	7,736	7,720

*) Die Produktion von umgeschmolzenem Zink und Zinkstaub ist nicht eingeschlossen.

Quelle: Bundesamt für Wirtschaft [15], Rentz et al. [81], International Zinc Association [59], Graf [41], andere

Das Recycling von Zink wird schon seit langer Zeit praktiziert. Während anfangs der hohe Zinkpreis dafür verantwortlich war, sind es heute vor allem strenge Umweltschutzauflagen, die zu hohen Deponiegebühren für industrielle Reststoffe und damit auch die Reststoffe der Zinkindustrie führen. Hauptsächliche Anwendungsfelder des Werkstoffs Zink sind die Bauin-

[25] Dieses Unterkapitel ist eine Zusammenfassung der Abschnitte zur Zinkerzeugung des BVT-Positionspapiers „*Report on BAT in German Zinc and Lead Production*“, das vollständig im Ergänzungsband 2 zu diesem Abschlußbericht enthalten ist.

dustrie, der Fahrzeugbau und der Einsatz zur Herstellung von Verkaufsprodukten wie Zink-Kohle-Batterien.

In Deutschland wird von zwei Unternehmen auf Basis einer Elektrolyse Zink erzeugt. Ein drittes Unternehmen verwendet den Imperial-Smelting-Prozeß, drei weitere Unternehmen betreiben Wälzanlagen und an einem Standort wird ein New-Jersey-Prozeß in Kombination mit einer Schlackeverblaseanlage eingesetzt. Zusätzlich wird in mehreren Anlagen Zinkschrott umgeschmolzen. Die Standorte der wichtigsten Anlagen zur Zinkerzeugung in Deutschland sind Abbildung 4.5-1 dargestellt. In Tabelle 4.5-2 wird eine Übersicht mit Daten der wichtigsten deutschen Zinkerzeugungs- und Recyclinganlagen gegeben.

Abbildung 4.5-1: Standorte von Anlagen zur Zinkerzeugung in Deutschland

Tabelle 4.5-2: Daten zu Zinkerzeugungs- und Recyclinganlagen in Deutschland

Unternehmen	**Metaleurop Weser Zink GmbH, Nordenham**	**Ruhrzink GmbH, Datteln**	**Metallhütte M.I.M. Hüttenwerke Duisburg**	**B.U.S. Metall GmbH, Duisburg**
Prozeßtechnik	Elektrolyse	Elektrolyse	Imperial-Smelting-Prozeß, Thermische Raffination	Wälzverfahren
Einsatzstoffe Verbrauch [t/a]	Konzentrate 225.000	Konzentrate 170.000	50 % Sekundärmaterialien 250.000	hauptsächlich EAF-Staub 60.000
Kapazität (erzeugtes Zink) [t/a]	130.000	105.000	100.000	12.000 (Zinkgehalt des Wälzoxids)
Hauptprodukte	Zink und Zinklegierungen	SHG-Zink	Zink und Zinklegierungen, Rohblei	Wälzoxid
Wichtigste Nebenprodukte	Schwefelsäure, Kadmium	Schwefelsäure	Schwefelsäure, Kadmiumkarbonat, IS Ofenschlacke	Schlacke
Zertifikate	ISO 9002	-	-	-
Unternehmen	**B.U.S. Zinkrecycling Freiberg GmbH**	**Harzer Zink GmbH, Harlingerode**	**Harz Metall GmbH, Goslar**	**Metallwerk Dinslaken**
Prozeßtechnik	Wälzverfahren, Wälzoxidlaugung	New-Jersey-Prozeß, Schlackeverblaseanlage, Induktionsofen	Wälzverfahren	Umschmelzen
Einsatzstoffe Verbrauch [t/a]	hauptsächlich EAF-Staub 40.000	Sekundärmaterialien 60.000	57 % EAF-Staub, 43 % Retortenreststoffe 65.000	hauptsächlich Zinkschrotte 45.000
Kapazität (erzeugtes Zink) [t/a]	9.000 (Zinkgehalt des Wälzoxids)	20.000 SHG-Zink 6.500 Umschmelzzink	9.500 (Zinkgehalt des Wälzoxids)	40.000
Hauptprodukte	Gelaugtes Wälzoxid	SHG-Zink	Wälzoxid	Zink und Zinklegierungen
Wichtigste Nebenprodukte	Schlacke	Schlacke, Mischoxid	Schlacke	Zinkaschen
Zertifikate	-	ISO 9002	-	-

4.5.2 Angewandte Produktionsprozesse und Emissionsminderungsmaßnahmen

Die folgenden Ausführungen geben einen zusammenfassenden Überblick über Produktionsprozesse und Emissionsminderungsmaßnahmen der Zinkerzeugung.

4.5.2.1 Abgrenzung des Untersuchungsumfangs

Die durchgeführte Studie umfaßt sowohl Produktionsprozesse der primären Zinkerzeugung als auch des Zinkrecyclings. Dabei wurde der Schwerpunkt auf in Deutschland angewandte Produktionsprozesse gelegt. Die Verfahren der primären und sekundären Zinkerzeugung wer-

den in dieser Studie weitgehend getrennt betrachtet. Aufgrund des hohen Integrationsgrades kann diese Trennung jedoch nicht immer strikt aufrechterhalten werden. Es wurden die Schritte der Zinkerzeugung untersucht, die normalerweise direkt im Werk durchgeführt werden: die Vorbereitung und Behandlung der Ausgangsmaterialien, der Schmelzprozeß bzw. die hydrometallurgische Behandlung der Einsatzstoffe und die Raffination des erzeugten Rohmetalls. Vorangestellte Prozesse der Primärzinkerzeugung wie Abbau, Brechen, Mahlen und Anreichern der Erze, die normalerweise direkt am Abbauort durchgeführt werden, sind nicht Teil der Betrachtung[26]. Herstellungsprozesse von Halbzeugprodukten oder Endprodukten wie das Walzen oder die Produktion von Legierungen (z.B. Messingindustrie) fallen nicht in den Geltungsbereich der IVU-Richtlinie und waren daher nicht Gegenstand der Untersuchungen.

4.5.2.2 Darstellung der hydrometallurgischen Erzeugung von Zink

Die hydrometallurgische Erzeugung von Zink ausgehend von einer Lösung aus Zinksulfat und verdünnter Schwefelsäure, die elektrolytisch zu reinem Zink umgesetzt wird, ist heutzutage mit einem Anteil von 80 % an der weltweiten Zinkproduktion der vorherrschende Prozeß. Das Verfahren besteht aus den folgenden Prozeßschritten:

- Röstung der Konzentrate,
- Laugung/Fest-Flüssig-Trennung,
- Reinigung/Filtration,
- Elektrolyse und
- Schmelzen, Legieren und Gießen.

In Deutschland wird hauptsächlich sulfidisches Zinkkonzentrat (angereicherte sulfidische Erze mit einem Zinkgehalt von über 60 % in Form von Zinkblende (ZnS)) als Rohstoff eingesetzt. Zu einem geringen Teil werden auch andere zinkhaltige Materialien wie gelaugtes Wälzoxid oder Filterstäube verwendet. Die Konzentrate werden in einem Röstofen zu Zinkoxid umgesetzt. Das entstehende Röstgas wird einer Schwefelsäureanlage zugeführt.

Bei der anschließenden Laugung wird der Großteil des im Röstgut enthaltenen Zinks als Zinksulfat in Lösung überführt. Die entstandene Lösung wird von den Feststoffen abgetrennt, durch Zementation (z.B. durch Zugabe von Zinkstaub) gereinigt und filtriert. Beim Jarositverfahren wird sie im zweiten Laugungsschritt einer Heißlaugung unterzogen, bei der als zu entsorgender Rückstand Jarosit anfällt. Um zu reinem Zinkmetall zu gelangen, erfolgt die Weiterverarbeitung der gereinigten Zinksulfatlösung in Elektrolysezellen. Die hier erzeugten Anoden werden anschließend eingeschmolzen, falls notwendig legiert und zu Zinkprodukten verschiedener Formen und Qualitäten vergossen. Wird auf den zweiten Laugungsschritt (Heißlaugung) verzichtet, so enthält der verbleibende Laugungsrückstand neben Verunreini-

[26] Der Abbau und die Aufarbeitung der Erze wird nicht mehr in Deutschland und auch nur an wenigen Orten innerhalb der EU durchgeführt.

gungen wie Eisen, Arsen und Antimon noch 20 % Zink und wird zur weiteren Zinkgewinnung im Imperial-Smelting-Prozeß eingesetzt.

4.5.2.3 Darstellung der pyrometallurgischen Erzeugung von Zink

Imperial-Smelting-Prozeß

Der pyrometallurgische Imperial-Smelting-Prozeß (ISP) wird zur simultanen Erzeugung von Zink und Blei eingesetzt. 1994 wurden mit diesem Verfahren weltweit 867.000 Tonnen Zink und 364.000 Tonnen Rohblei erzeugt. Dies entspricht etwa 12 % der gesamten Zinkproduktion und 7 % der Bleiproduktion. Der Hauptvorteil des ISP ist die Möglichkeit, eine Vielzahl von Rohstoffen zu verarbeiten. Dazu zählen neben Zinkkonzentraten, Bleikonzentraten und Zink-/Bleimischkonzentraten auch Sekundärmaterialien wie Zink/Bleioxide, Zinkaschen und zinkhaltige Batterien und Stäube. Im allgemeinen läßt sich der ISP in die folgenden Prozeßschritte unterteilen:

- Sinterröstung der Konzentrate in einer Sinteranlage bzw. Heißbrikettierung der Konzentrate,
- Schmelzen der Charge im Hochofen,
- Thermische Zinkraffination und
- Gießen.

Schwefelhaltige Einsatzstoffe wie Erzkonzentrate werden in einer Sinteranlage enschwefelt und agglomeriert. Der Schwefel und Verunreinigungen wie Kadmium, Quecksilber oder Chloride werden verdampft und verlassen die Sinteranlage über das Abgas. Zusätzlich zur Sinteranlage sind einige ISP-Anlagen mit einer Heißbrikettierung zur Verarbeitung feiner oxidischer Rohstoffe wie Zinkaschen ausgestattet. Der Sinter wird anschließend gemeinsam mit den Briketts und vorgewärmtem Koks einem Schachtofen (IS-Ofen) zugeführt. Hier wird der Koks unter Einsatz von Prozeßluft zu Kohlenmonoxid umgesetzt, das mit dem Zinkoxid der Einsatzstoffe reagiert. Zink, Kadmium und Blei werden als Dampf mit den Prozeßgasen ausgetragen und in einem Sprühkondensator durch Eindüsen von Blei abgeschieden. Die so erzeugte Legierung aus Zink und Blei wird in einer Anlage zur Zink-/Bleitrennung aufgetrennt. In einem nachfolgenden Raffinationsschritt werden durch eine fraktionierte Destillation Verunreinigungen entfernt und Zink der Qualität SHG produziert.

Das Wälzverfahren

Das Wälzverfahren wird als Prozeß zur Zinkanreicherung sekundärer Rohstoffe (z.B. oxidische Reststoffe und oxidische Stäube) eingesetzt. Heutzutage wird es nicht nur in Deutschland vorwiegend zur Behandlung von Stahlwerksstäuben verwendet. Der Prozeß läßt sich in die drei folgenden Prozeßeinheiten unterteilen:

- Rohmaterialvorbereitung,
- Drehrohr-Ofen und
- Anlagen zur Prozeßgasreinigung.

Je nach Anlage werden die Rohstoffe zur Vorbereitung gemischt und pelletiert. Anschließend werden sie gemeinsam mit Koks und Zuschlägen in ein sich langsam drehendes Drehrohr chargiert. Hier werden die Feststoffe getrocknet und durch Kontakt mit der Rohrwand und einem Gegenstrom aus heißem Gas aufgeheizt. Die im Konzentrat enthaltenen Zink-, Blei- und andere Schwermetalloxide werden zu Metallen reduziert und verdampft. Im Gasstrom werden die Metalle durch überschüssige Luft (re-)oxidiert, mit dem Prozeßgas aus dem Drehrohr abgezogen und in der nachfolgenden Prozeßgasbehandlungsanlage abgetrennt. Das so gewonnene Wälzoxid kann nach Agglomeration (Heißbrikettierung) zur pyrometallurgischen Zinkerzeugung eingesetzt werden. Eine neue Technologie ist die Laugung des Wälzoxids, so daß es nachfolgend in einer Zinkelektrolyse eingesetzt werden kann.

New-Jersey-Prozeß

Beim New-Jersey-Prozeß wird eine große Bandbreite verschiedener oxidischer und metallischer Sekundärmaterialien mit einem Zinkgehalt von mindestens 15 % verarbeitet. Die Sekundärmaterialien werden nach Bedarf durch Brechen, Sieben und Mahltrocknen vorbereitet, mit Kohle und Sulfitablauge gemischt und in einer nachfolgenden Presse brikettiert. Der Kohleanteil der Briketts wird anschließend verkokt. Die Briketts, die nun eine hohe Festigkeit und Porosität aufweisen, werden in indirekt beheizte Retorten chargiert. Dort wird das Zink reduziert, steigt als Dampf nach oben auf, wird abgezogen und in einem Kondensator zu Flüssigzink kondensiert. Nach der Zwischenspeicherung in einem Sammelofen wird das Zink entweder zu Blöcken und Platten vergossen oder direkt zu Halbzeugprodukten weiterverarbeitet.

Schlackeverblaseanlagen

Schlacken und sonstige Reduktionsrückstände der Zinkindustrie lassen sich in Schlackeverblaseanlagen unter reduzierenden Bedingungen blei- und zinkarm blasen. Dabei werden Blei- und Zinkoxide reduziert, verflüchtigt, nachverbrannt und als Flugstaub niedergeschlagen. Besonderer Vorteil dieses Verfahrens ist die Erzeugung von Flugstäuben, die frei von Chloriden, Quecksilber und Kadmium sind und dadurch in einer Elektrolyse weiterverarbeitet werden können.

Umschmelzen metallischer Rohmaterialien

Das Recycling metallischer Sekundärmaterialien wird meist in Induktionsöfen oder Muffelöfen durchgeführt. Nachdem das Material geschmolzen und verflüssigt ist, kann es in Rohzink und eine Krätze aufgetrennt werden. Der Rohzink wird vergossen und zur weiteren Reinigung einer Raffination zugeführt.

Zinkraffination

Rohzink, das durch pyrometallurgische Prozesse erzeugt wird, enthält je nach angewandtem Prozeß und Einsatzstoffen Verunreinigungen wie Blei, Eisen, Kadmium oder Arsen. Um eine zum Verkauf ausreichende Reinheit zu erzielen ist daher ein weiterer Reinigungsschritt notwendig. Heutzutage wird das Rohzink hierzu verflüssigt und anschließend in Hochtemperaturkolonnen mittels einer zweistufigen Destillation gereinigt (New-Jersey Verfahren). Die wichtigsten Prozeßschritte sind dabei:

- Schmelzen von Rohzink,
- Verdampfen von Kadmium und Teilen des Zinks in einer ersten Destillationskolonne mit nachfolgender Kondensation und
- Abtrennung des Reinzinks von einer Zink-Kadmium-Legierung in einer zweiten Kolonne.

Die Zink-Kadmium-Legierung, die in der ersten Kolonne erzeugt wird, kann zur Gewinnung von reinem Kadmium eingesetzt werden. In der ersten Kolonne fällt desweiteren ein kadmiumfreier Unterlauf an, der zur Abtrennung von Verunreinigungen verflüssigt wird.

4.5.3 Verbrauchs- und Emissionswerte angewandter Techniken

Im folgenden sind Verbrauchs- und Emissionsdaten der wichtigsten in Deutschland betriebenen Anlagen zusammengestellt.

4.5.3.1 Einsatzstoffe und Emissionen deutscher Anlagen zur hydrometallurgischen Zinkerzeugung

In Deutschland werden zwei Anlagen zur hydrometallurgischen Zinkgewinnung auf Basis der Elektrolyse mit einer Gesamtkapazität von etwa 235.000 Tonnen Zink betrieben.

Zinkelektrolyseanlage (Fallstudie Z1)

Das Unternehmen Z1 betreibt eine Anlage zur elektrolytischen Zinkerzeugung mit einer Kapazität von 130.000 Tonnen Zink pro Jahr. Hauptprodukte sind 60.000 t/a an Zink-Aluminium- und Zink-Aluminium-Blei-Legierungen zur kontinuierlichen Verzinkung und 40.000 t/a an Zink-Aluminium-Kupfer-Legierungen für Druckgußanwendungen. In Abbildung 4.5-2 ist eine schematische Ansicht der Produktionsanlage dargestellt, Verbrauchs- und Produktionsdaten des Unternehmens werden sind in Tabelle 4.5-3 aufgeführt.

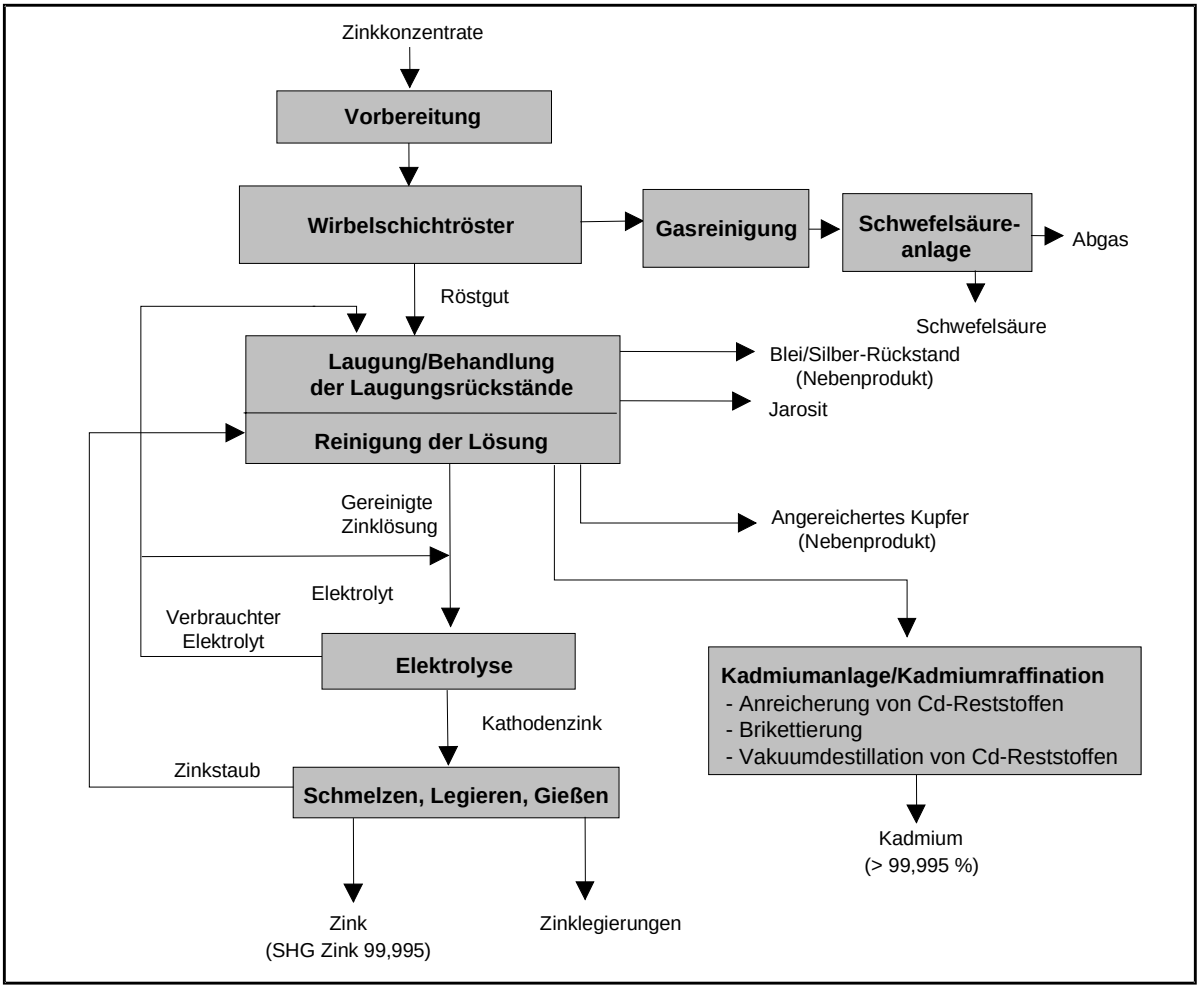

Abbildung 4.5-2: Schematische Darstellung einer Zinkelektrolyseanlage (Fallstudie Z1)

Tabelle 4.5-3: Verbrauchs- und Produktionsdaten der Fallstudie Z1

Inputs	[t/a]	**Outputs**	[t/a]
Sulfidische Zinkkonzentrate	225.000	Zinkprodukte	130.000
Elektrische Energie	k.A.	Blei/Silber-Rückstand (Neben-produkt)	15.000
		Schwefelsäure	225.000
		Hochreines Kadmium	400
		Kupfer (Nebenprodukt)	1.000
		Jarosit (trocken)	45.000
		Calomel (naß)	6
		Hg-Se Schlamm (naß)	30

Quelle: Unternehmensinformationen Unternehmen Z1, 1998

In Tabelle 4.5-4 wird eine Zusammenstellung der Emissionen nach Abgas-/Abluftreinigung der Elektrolyseanlage Z1 gegeben.

Tabelle 4.5-4: Emissionen der Fallstudie Z1 nach Abgas-/Abluftreinigung

Prozeßeinheit	Menge [Nm³/h]	Hauptkomponenten [kg/a]			
		Staub	Zn	Cd	SO_2
Schwefelsäureanlage	59.400	-	-	-	402,762
Transport/Zerkleinern der Zementate	22.000	86	46,7	0,19	-
Laugung	34.600	-	122,1	2,32	-
Reinigung der Lösung/ hydrometallurgische Kadmiumanlage	31.100	-	49,2	3,44	-
Kühltürme (Elektrolyseanlage)	1.664.300	-	533,2	-	-
Schmelzen, Legieren, Gießen (inkl. Zinkstauberzeugung)	38.100	888,8	550,6	0,06	-
Kadmiumraffination	9.200	7,1	1,1	2,72	-

Stand der Daten von 1994

Quelle: Unternehmensinformationen Unternehmen Z1, 1995

Die Naßreinigung der Röstgase ist die einzige Quelle für Prozeßabwasser. Diese werden zusammen mit den Abwässern einer benachbarten Bleierzeugung in einer zentralen Kläranlage gereinigt. In Tabelle 4.5-5 sind die Schadstoffkonzentrationen im eingeleiteten Abwasser beider Anlagen zusammengestellt.

Tabelle 4.5-5: Abwasseranfall der Fallstudie Z1

Prozeßeinheit	Behandlung	Menge [m³/h]	Hauptkomponenten [mg/l]		
			Zn	Pb	Cd
Zentrale Kläranlage	Einleitung	45-50	0,01-0,2	0,01-0,09	0,001-0,01

Quelle: Unternehmensinformationen Unternehmen Z1, 1998

Eine Zusammenstellung von Angaben über feste Nebenprodukte und Reststoffe ist Tabelle 4.5-6 zu finden.

Tabelle 4.5-6: Nebenprodukte und Reststoffe der Fallstudie Z1

Prozeßeinheit	Nebenprodukte/Reststoffe	Menge [t/a]	Verwendung/Behandlung
Gasreinigung	Calomel	6	Verkaufsprodukt
	HG-SE Schlamm (naß)	30	Entsorgung
Laugung/Behandlung der Laugungsrückstände	Blei/Silber-Rückstand	15.000	Bleierzeugung
	Jarosit	45.000	Entsorgung
Reinigung der Lösung/ Kadmiumanlage/Kadmium-raffination	Kadmium Kupfer	400 1.000	Verkaufsprodukt Kupfererzeugung
Zentrale Kläranlage	Schlämme	200	Entsorgung

Quelle: Unternehmensinformationen Unternehmen Z1, 1998

Zinkelektrolyseanlage (Fallstudie Z2)

Unternehmen Z2 betreibt eine Elektrolyseanlage mit einer jährlichen Kapazität von 105.000 t Elektrolysezink. In Abbildung 4.5-3 ist die Produktionsanlage schematisch dargestellt. Tabelle 4.5-7 gibt einen Überblick über Verbrauchs- und Produktionsdaten.

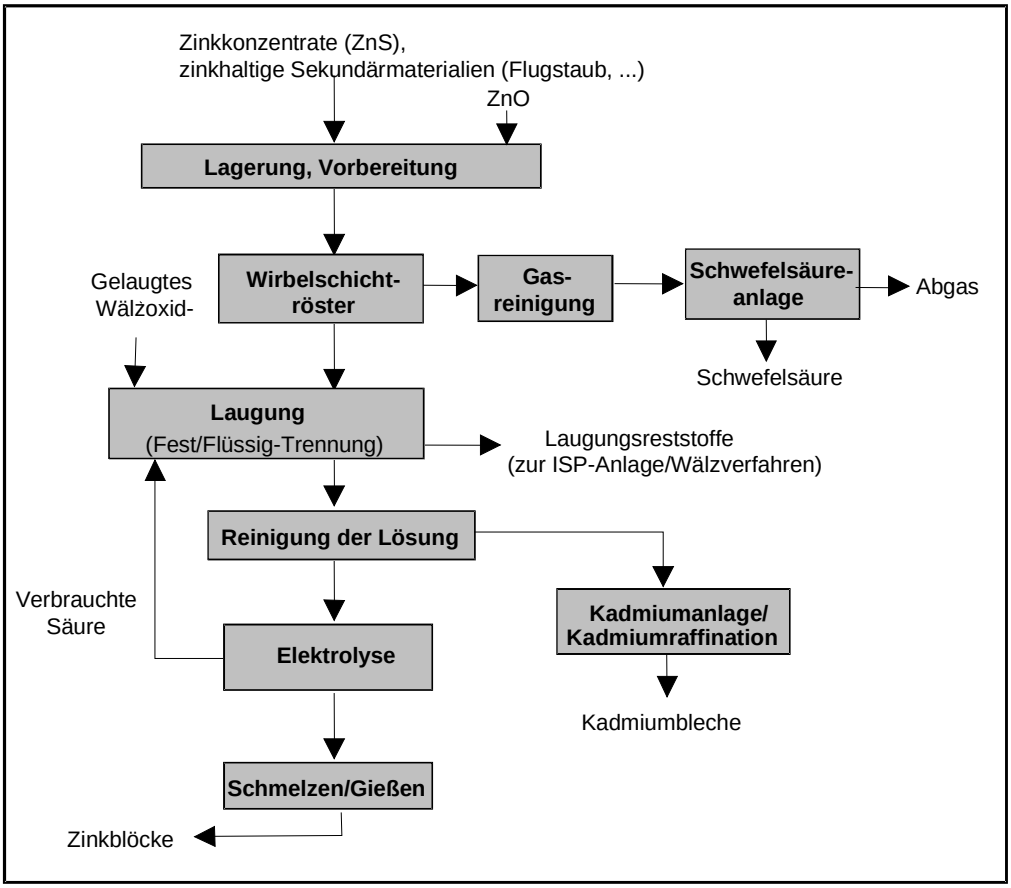

Abbildung 4.5-3: Schematische Darstellung einer Zinkelektrolyseanlage (Fallstudie Z2)

Tabelle 4.5-7: Verbrauchs- und Produktionsdaten der Fallstudie Z2

Inputs	[t/a]	**Outputs**	[t/a]
Sulfidische Zinkkonzentrate	170.000	Zinkprodukte	105.000
Zinkhaltige Materialien	40.000	Laugungsreststoff	50.000
Elektrische Energie	k.A.	Schwefelsäure	160.000
		Reines Kadmium	k.A.
		Kupfer	k.A.

Quelle: Unternehmensinformationen Unternehmen Z2, 1998

In Tabelle 4.5-8 sind die Emissionen nach Abgas-/Abluftreinigung der Zinkelektrolyseanlage zusammengestellt, Tabelle 4.5-9 faßt die Schadstoffkonzentration im Abwasser der Anlage zusammen und in Tabelle 4.5-10 wird eine Übersicht über den Anfall und die Verwertung fester Nebenprodukte und Reststoffe gegeben.

Tabelle 4.5-8: Emissionen der Fallstudie Z2 nach Abgas-/Abluftreinigung

Prozeßeinheit	Menge [Nm³/h]	Hauptkomponenten [kg/a]			
		Staub	Zn	Cd	SO_2
Schwefelsäureanlage	35.000-40.000	-	-	-	250.000-300.000
Transport/Zerkleinerung der Zementate	12.000-15.000	70-90	50-60	< 0,2	-
Laugung (inkl. Reinigung der Lösung und Kadmiumraffination)	70.000-80.000	-	20-25	1-2	-
Kühltürme (Elektrolyseanlage)	800.000-900.000	-	800-900	-	-
Schmelzen, Legieren und Gießen	60.000-70.000	200-240	130-170	-	-

Quelle: Unternehmensinformationen Unternehmen Z2, 1998

Tabelle 4.5-9: Abwasseranfall der Fallstudie Z2

Prozeßwasser	Behandlung	Menge [m³/h]	Hauptkomponenten [mg/l]		
			Zn	Pb	Cd
Zentrale Kläranlage	Einleitung	30-45	0,1-0,8	0,1-0,3	0,01-0,08

Quelle: Unternehmensinformationen Unternehmen Z2, 1998

Tabelle 4.5-10: Nebenprodukte und Reststoffe der Fallstudie Z2

Prozeßeinheit	Nebenprodukte/Reststoffe	Menge [t/a]	Verwendung/Behandlung
Laugung	Blei/Silber-Rückstand	k.A.	Einsatz zur Bleierzeugung
	Zink/Eisen-Laugungsreststoff	50.000	Einsatz zur Zinkerzeugung
Reinigung der Lösung	Metallische Zementate	k.A.	Einsatz zur Kupfererzeugung
Elektrolyse	Schlämme	k.A.	Interne Behandlung
Zentrale Kläranlage	Gips	k.A.	Zementerzeugung

Quelle: Unternehmensinformationen Unternehmen Z2, 1998

4.5.3.2 Einsatzstoffe und Emissionen deutscher Anlagen zur pyrometallurgischen Zinkerzeugung

Imperial-Smelting-Prozeß (Fallstudie Z3)

Unternehmen Z3 betreibt eine Zinkhütte nach dem Imperial-Smelting-Prozeß, mit der im Durchschnitt jährlich etwa 100.000 Tonnen Zink, 35.000 Tonnen Rohblei und 125.000 Tonnen Schwefelsäure produziert (1996). Dazu werden etwa 250.000 t primäre und sekundäre Einsatzmaterialien verarbeitet (vgl. Tabelle 4.5-11). In Abbildung 4.5-4 zeigt eine schematische Darstellung der ISP-Anlage.

Tabelle 4.5-11: Verbrauchs- und Produktionsdaten der Fallstudie Z3

Inputs	[t/a]	**Outputs**	[t/a]
Primärmaterialien	125.000	Zink (verschiedene Qualitäten)	100.000
Sekundärmaterialien	125.000	Rohblei	35.000
Koks	100.000	Schwefelsäure	125.000
		IS-Ofenschlacke	70.000
		Kadmium-Zinkkarbonat	k.A.

Quelle: Unternehmensinformationen Unternehmen Z3, 1998

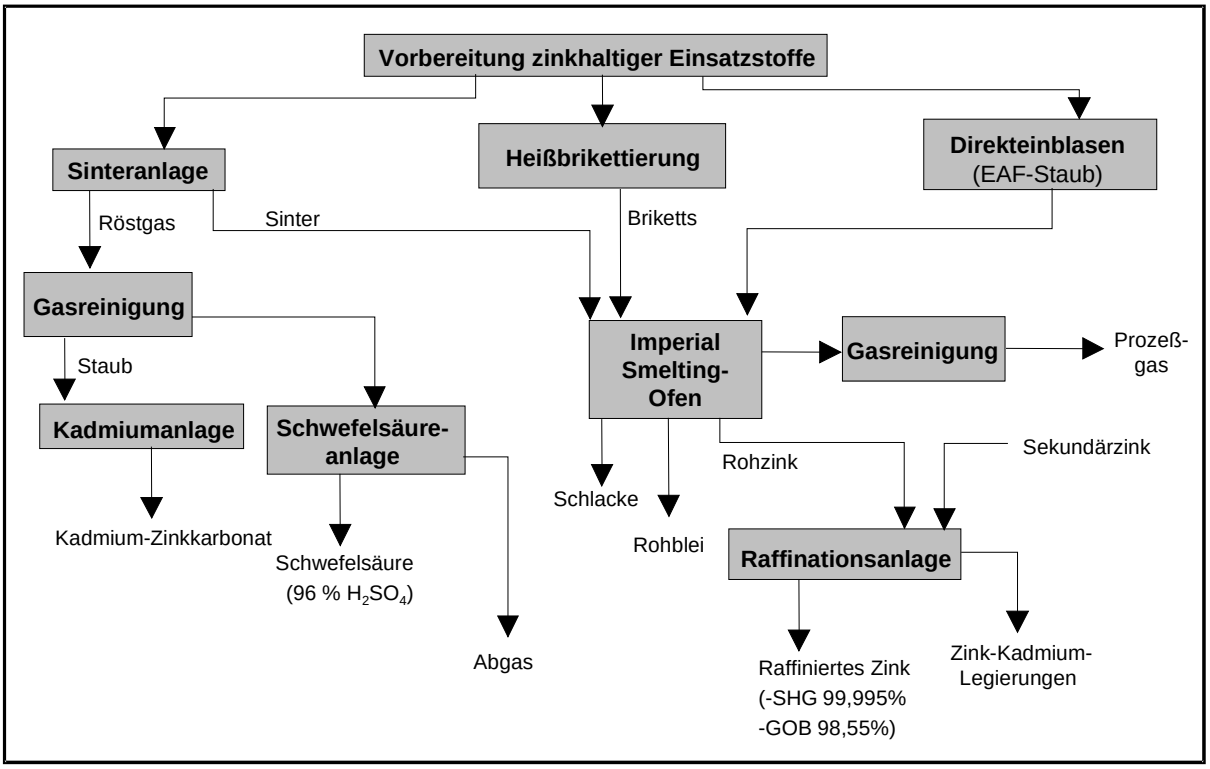

Abbildung 4.5-4: Schematische Darstellung einer ISP-Anlage (Fallstudie Z3)

Im folgenden werden Informationen zu Emissionen nach Abgas-/Abluftreinigung, zum Abwasseranfall und anfallende Reststoffe und Nebenprodukte bei Unternehmen Z3 angegeben.

Tabelle 4.5-12: Emissionen der Fallstudie Z3 nach Abgas-/Abluftreinigung

Prozeßeinheit	Menge [Nm³/h]	Hauptkomponenten [mg/Nm³]				
		Staub	Zn	Pb	Cd	SO_2
Begichtung	90.000	2-10	1-5	0,5-2	0,01-0,1	-
Sinteranlage	120.000	2-20	0,3-10	0,1-5	0,003-0,1	-
Heißbrikettierung	45.000	< 1	< 1	< 1	< 0,01	-
Schwefelsäureanlage	54.000	-	-	-	-	500-800
IS-Ofen	100.000	1-5	0,55-2,7	0,1-0,5	0,001-0,005	-
Sekundäre Entstaubungsanlage (IS-Ofen/Raffination)	200.000	0,4-0,6	0,17-0,26	0,01	0,001	-
Raffinationsanlage	35.000	1-5	0,5-3	0,05-2	0,002-0,008	-
Schlackebehandlungsanlage	50.000	3-18	2-10	0,4-3	0,008-0,02	-

Quelle: Unternehmensinformationen Unternehmen Z3, 1998

Tabelle 4.5-13: Abwasseranfall der Fallstudie Z3

Prozeßeinheit	Behandlung	Menge [m³/h]	Hauptkomponenten [mg/l]			
			Zn	Pb	Cd	As
Zentrale Kläranlage	Einleitung	380-420	0,05 -1,0	0,05-0,5	0,005-0,035	0,005-0,1

Quelle: Unternehmensinformationen Unternehmen Z3, 1998

Tabelle 4.5-14: Nebenprodukte und Reststoffe der Fallstudie Z3

Prozeßeinheit	Nebenprodukte/Reststoff	Menge [t/a]	Verwendung/Behandlung
IS-Ofen	Rohblei	35.000	Verkaufsprodukt (Einsatz in der Bleiindustrie)
Schwefelsäureanlage	Schwefelsäure	125.000	Verkaufsprodukt
Sinteranlage (Gasreinigung)	Kalomel	15	Entsorgung
	Nasser EGR-Schlamm	25	Entsorgung
Schlackebehandlungsanlage	IS-Ofenschlacke	70.000	Straßenbau
	Speise	85	Entsorgung
Kadmiumanlage	Thalliumsulfid	25	Entsorgung

Quelle: Unternehmensinformationen Unternehmen Z3, 1998

Wälzanlagen (Fallstudien Z4, Z5, Z7)

Wälzanlagen sind das in Deutschland am häufigsten eingesetzte Verfahren zur Aufarbeitung von Stahlwerksstäuben. Das Verfahren erzeugt ein Wälzoxid mit 50-60 % Zinkanteil und 7-13 % Bleianteil, das als Einsatzstoff zur Zinkproduktion verwendet wird. In Deutschland existieren drei Wälzanlagen, in denen überwiegend Stahlwerksstäube aufbereitet werden.

Wälzanlagen (Fallstudien Z4 und Z5)

Unternehmen Z4 betreibt ein Wälzrohr mit saurer Schlackeführung, Unternehmen Z5 setzt dagegen eine basische Schlackeführung ein. Das produzierte Wälzoxid wird am Standort Z5 gelaugt. Technische Daten der Wälzanlagen Z4 und Z5 sind in Tabelle 4.5-15 zu finden.

Tabelle 4.5-15: Technische Daten zu den Fallstudien Z4 und Z5

Wälzanlagen	Z4	Z5
Behandlungskapazität für Zinkreststoffe [t/a]	60.000	40.000
Durchsatz [t/h] (Werte inkl. Zuschläge und Koks)	13	9
Produktionskapazität (Wälzoxid) [t/a]	22.000	13.000
Zinkanteil [t/a]	12.000	9.000

Quelle: Unternehmensinformationen Unternehmen Z4, Z5, 1998

Tabelle 4.5-16 sind die Verbrauchs- und Produktionsdaten des Unternehmens Z4 zusammengestellt. Seit 1997 werden die Prozeßgase der Anlage Z4 mit zwei zusätzlichen Gasreinigungsstufen (Gewebefilter mit Eindüsung von Adsorbens) behandelt, um insbesondere die Quecksilber und Dioxinemissionen zu mindern [52].

Tabelle 4.5-16: Verbrauchs- und Produktionsdaten der Fallstudie Z4

Inputs			Outputs		
EAF-Staub	[t/a]	60.000	Wälzoxid	[t/a]	22.000
Koks	[t/a]	22.000	Schlacke	[t/a]	45.000
Sand, Zuschläge	[t/a]	14.000			
Elektrische Energie	[MWh/a]	6.000			

Quelle: Hoffmann [52], Unternehmensinformationen Unternehmen Z4, 1998

Wälzanlage (Fallstudie Z7)

Das Unternehmen Z7 betreibt ein Wälzrohr zur Verarbeitung zinkhaltiger Materialien, das mit saurer Schlackeführung betrieben wird. Technische Daten der Wälzanlage sind Tabelle 4.5-17 zusammengefaßt. In Abbildung 4.5-5 ist eine schematische Ansicht der Anlage dargestellt; die mehrstufige Prozeßgasreinigung ist hier besonders hervorgehoben.

Tabelle 4.5-17: Technische Daten zur Fallstudie Z7

Wälzanlage	Z7
Verarbeitungskapazität für Zinkreststoffe [t/a]	65.000
Durchsatz*) [t/h]	9
Produktionskapazität (Wälzoxid) [t/a]	18.000
Zinkanteil [t/a]	9.500

*) Dieser Wert beinhaltet Zuschläge und Koks

Stand der Daten: 1996/1997

Quelle: Unternehmensinformationen Unternehmen Z7, 1998

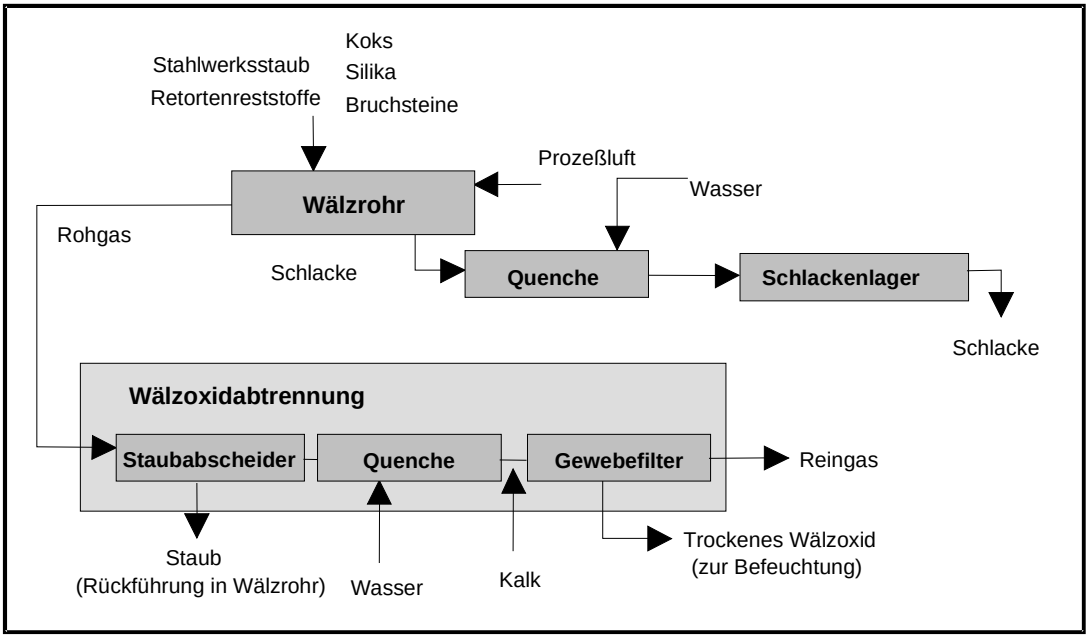

Abbildung 4.5-5: Schematische Darstellung einer Wälzanlage (Fallstudie Z7)

Tabelle 4.5-18 gibt eine Übersicht über die Verbrauchs- und Produktionsdaten der von Unternehmen Z7 betriebenen Wälzanlage.

Tabelle 4.5-18: Verbrauchs- und Produktionsdaten der Fallstudie Z7

Input	[t/a]	**Output**	[t/a]
Retortenreststoffe, trocken	27.700	Wälzoxid	17.000
Zinkträger, trocken (Stahlwerksstaub, ...)	33.700	Schlacke	48.200
Koks	10.800	Reingas *[Nm³/h]*	*70.000-90.000*
Silika	7.500		
Schutt, Kehricht	2.100		
Luft [Nm³/h]	*5.000-10.000*		
Kalk	1.000		
Elektrische Energie [MWh/a]	*4.620*		
Erdgas [Nm³/a]	*92.000*		

Stand der Daten: 1996/1997

Quelle: Unternehmensinformationen Unternehmen Z7, 1998

In Tabelle 4.5-19 sind die Emissionen nach Abgas-/Abluftreinigung der Anlagen Z4, Z5 und Z7 dargestellt.

Tabelle 4.5-19: Emissionen der Fallstudien Z4, Z5 und Z7 nach Abgas-/Abluftreinigung

Prozeßeinheit	Menge [Nm³/h]	Hauptkomponenten [mg/Nm³] Staub	Zn	Pb	Cd	SO_2
Anlage Z4						
Abgas Wälzrohr	30.000-40.000	1-5	0,1-1	< 0,1	< 0,001	-
Gas aus der Ofenöffnung	5.000-10.000	2-5	1-3	0,5-1	< 0,001	-
Schlackekühlung	20.000-25.000	2-5	0,5-1	0,5-1	< 0,001	-
Anlage Z5						
Abgas Wälzrohr	60.000	2-3	1-2	0,1-0,3	< 0,01	-
Gas aus der Ofenöffnung	10.000	1-2	0,5-1	< 0,5-1	< 0,01	-
Anlage Z7						
Abgas Wälzrohr	70.000-90.000	3-5	45-55*)	10-13*)	0,05-0,1*)	60-100
Gas aus der Ofenöffnung	15.000-25.000	3-6	40-50	10-20	0,005-0,01	-

*) Der Gehalt der Komponente im Staub [Gew.-%].

Quelle: Unternehmensinformationen Unternehmen Z4, Z5, Z7, 1998

Wälzanlagen können nahezu abwasserfrei betrieben werden. Falls zur Entfernung von Fluoriden und Chloriden eine Laugung von Wälzoxid durchgeführt wird, ist das anfallende Abwasser zu behandeln. In Tabelle 4.5-20 sind exemplarisch die Schadstoffkonzentrationen im Abwasser der Anlage Z5 aufgeführt.

Tabelle 4.5-20: Abwasseranfall der Fallstudie Z5

Prozeßeinheit	Menge [m³/a]	Durchfluß [m³/h]	Hauptkomponente [mg/l] Zn	Pb	Cd
Zentrale Kläranlage	50.000-60.000	9-10	0,8-1,0	0,3-0,5	0,05-0,2

Quelle: Unternehmensinformationen Unternehmen Z5, 1998

In den folgenden Tabellen sind die beim Betrieb der drei Anlagen entstehenden Reststoffe und Nebenprodukte zusammengestellt.

Tabelle 4.5-21: Nebenprodukte und Reststoffe der Fallstudien Z4, Z5 und Z7

Prozeßeinheit	Nebenprodukt/Reststoff	Menge [t/a]	Verwendung/Behandlung
Anlage Z4			
Schlackebehandlung	Schlacke	45.000	Straßenbau
Wälzrohr	Feuerfestmaterialien	150	Externes Recycling
Gasreinigung	Beladener Adsorbent	60	Entsorgung
Anlage Z5			
Schlackebehandlung	Schlacke	39.000	Straßenbau, Drainagelage für Deponien
Wälzrohr	Feuerfestmaterialien	100	Externes Recycling
Anlage Z7			
Schlackebehandlung	Schlacke	45.000-50.000	Deponieabdeckung
Wälzrohr	Feuerfestmaterialien	250-300	Zerkleinerung und Rückführung zum Wälzofen

Quelle: Unternehmensinformationen Unternehmen Z7, 1998

New-Jersey-Prozeß (Fallstudie Z6)

Unternehmen Z6 betreibt einen New-Jersey-Prozeß und stellt damit jährlich 20.000 t Reinzink und 6.500 t umgeschmolzenen Zink aus verschiedensten Sekundärmaterialien her. In Abbildung 4.5-6 ist eine schematische Darstellung der Anlage abgebildet. Seit 1996 ist eine neue Schlackeverblaseanlage für Sekundärrohstoffe mit niedrigem Zinkgehalt in Betrieb.

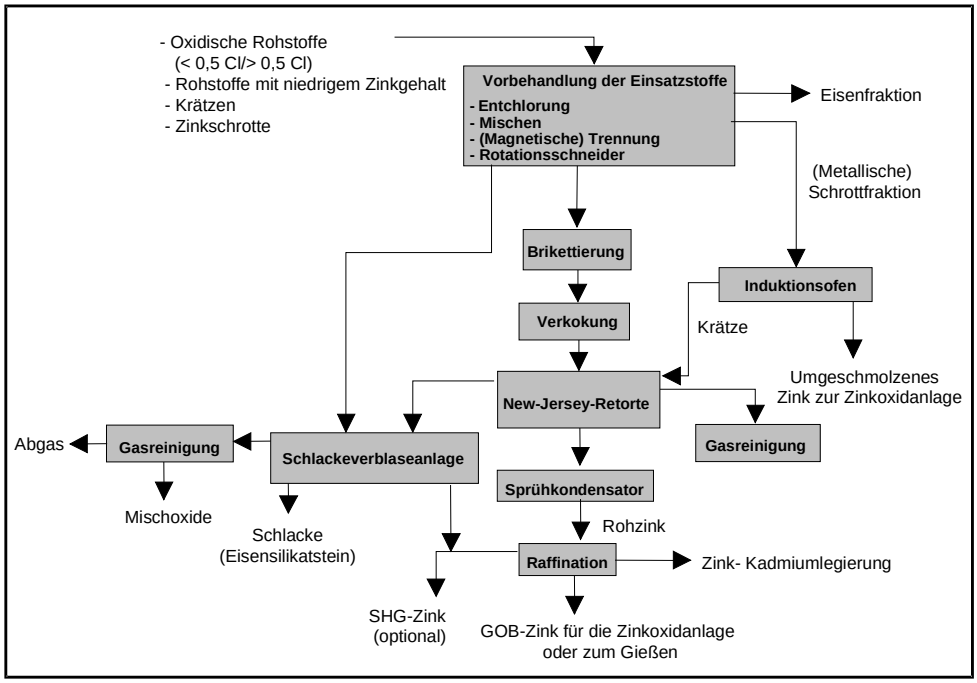

Abbildung 4.5-6: Schematische Darstellung eines New-Jersey-Prozesses (Fallstudie Z6)

Die Anlage dieses Unternehmens wird abwasserfrei betrieben, d.h. es wird keinerlei Abwasser abgeleitet. Die Emissionen nach Abgas-/Abluftreinigung der Anlage sind in Tabelle 4.5-22

zusammengestellt, anfallende Reststoffe und Nebenprodukte sind in Tabelle 4.5-23 aufgeführt.

Tabelle 4.5-22: Emissionen der Fallstudie Z6 nach Abgas-/Abluftreinigung

Prozeßeinheit	Menge [Nm³/h]	Hauptkomponente [mg/Nm³]				
		Staub	Zn	Cd	Pb	SO_2
New-Jersey-Retorten	160.000	1-5	0,5-2	< 0,001	0,1	-
Schlackeverblaseanlage	30.000	1-5	0,1-0,5	< 0,001	0,1	< 800
New-Jersey-Raffination	30.000	1-5	0,1-0,5	< 0,001	0,1	-

Quelle: Unternehmensinformationen Unternehmen Z6, 1998

Tabelle 4.5-23: Nebenprodukte und Reststoffe der Fallstudie Z6

Prozeßeinheit	Nebenprodukt/Reststoff	Menge [t/a]	Verwendung/Behandlung
New-Jersey-Retorte	Retortenreststoff	20.000	Schlackeverblaseanlage
Schlackeverblaseanlage	Schlacke	20.000	Verkaufsprodukt
Induktionsofen	Krätze	1.500	Retortenanlage
New-Jersey- Raffination	Zink-Kadmium-Legierung	20-100	Kadmiumrückgewinnung

Quelle: Unternehmensinformationen Unternehmen Z6, 1998

Sekundäre Zink- und Zinklegierungsproduktion durch Umschmelzen (Fallstudie Z8)

Unternehmen Z8 betreibt eine Umschmelzanlage mit einer Kapazität von derzeit etwa 140 t pro Tag. Zusätzlich werden Zinklegierungen produziert. In Abbildung 4.5-7 ist eine schematische Ansicht der Anlage dargestellt.

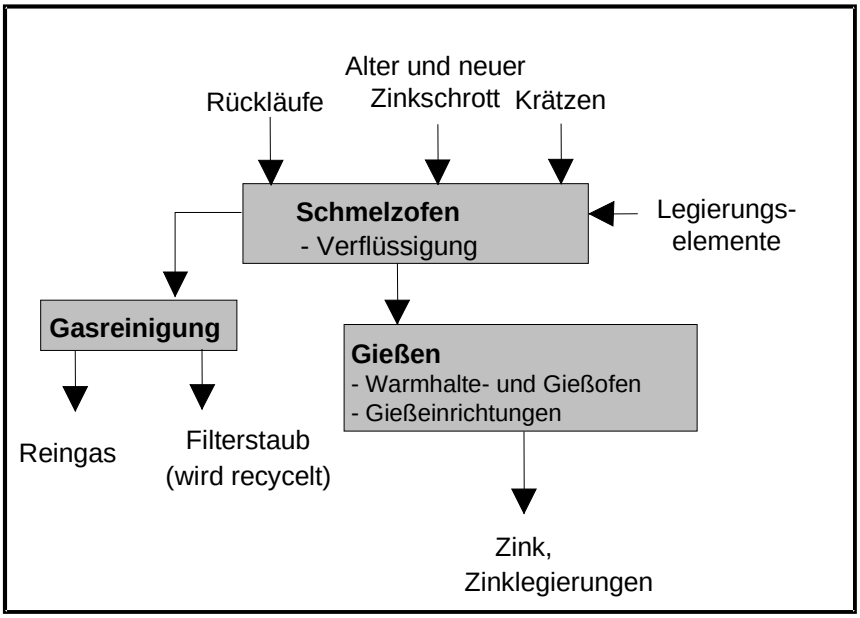

Abbildung 4.5-7: Schematische Darstellung einer Umschmelzanlage zur sekundären Zinkerzeugung (Fallstudie Z8)

In Tabelle 4.5-24 sind die Emissionen nach Abgas-/Abluftreinigung der Umschmelzanlage zusammengefaßt.

Tabelle 4.5-24: Emissionen der Fallstudie Z8 nach Abgas-/Abluftreinigung

Prozeßeinheit	Menge [Nm³/h]	Hauptkomponenten [mg/Nm³]			
		Staub	Zn	Pb	Cd
Schmelzofen	60.000	3-10	1,5-5	0,21-0,7	< 0,001-0,002
Ascheerzeugung	5.000	5-15	0,25-9	0,5-1,5	0,001-0,003

Quelle: Unternehmensinformationen Unternehmen Z8, 1998

Von Anlage Z8 werden keinerlei Abwässer abgeleitet. Tabelle 4.5-25 gibt einen Überblick über anfallende Nebenprodukte und Reststoffe.

Tabelle 4.5-25: Nebenprodukte und Reststoffe der Fallstudie Z8

Prozeßeinheit	Nebenprodukte/Reststoffe	Menge [t/a]	Verwendung/Behandlung
Umschmelzofen	Zinkaschen	6.000	Verkaufsprodukt
	Hartzink	600	Verkaufsprodukt

Quelle: Unternehmensinformationen Unternehmen Z8, 1998

4.5.4 Kandidaten für beste verfügbare Techniken zur Zinkerzeugung

In diesem Abschnitt wird eine Liste mit Kandidaten für BVT zur Zinkerzeugung in Deutschland vorgestellt, außerdem werden Emissionswerte genannt, die mit den aufgeführten Techniken erreichbar sind. Da in diesem Papier nur in Deutschland betriebene Prozesse und Techniken behandelt werden, stellen diese Kandidaten die Situation in Deutschland dar. Andere Kombinationen von Techniken und Emissionsminderungsmaßnahmen, die in etwa in anderen Ländern Europas betrieben werden, waren nicht Gegenstand der Untersuchung.

Zinkelektrolyseanlage[27]

Tabelle 4.5-26: Kandidaten für BVT zur Verminderung von Emissionen in die Luft bei der Zinkelektrolyseanlage

Nr.	Techniken	Beurteilung (Auswirkungen, Anwendbarkeit, ...)
Prozeßeinheit(en): Rohstoffvorbereitung/Röstung/Röstgasreinigung		
a1	Einhausung des Rösters und der Zementatmühle	Verminderung diffuser Emissionen
a2	Absaugung am Zementatkühler, der Kugelmühle, dem Röster und der Umgebungsluft des Rösters	Verminderung diffuser Emissionen
a3	Reinigung der Abgase in Gewebefiltern	Staubabscheidung (wird recycelt)
a4	Röstgasreinigung mit Kühlen, Entstauben (Zyklone, Heiß-EGR), Waschen und Naß-EGR	Staubabscheidung
a4	Weitere Behandlung des Röstgases (z.B. Boliden/Norzink-Prozeß)	Abscheidung von Quecksilberdämpfen
a5	Röstgasbehandlung in der Schwefelsäureanlage	Rückgewinnung des Schwefels
Prozeßeinheit(en): Schwefelsäureanlage		
b1	Doppelkontaktanlage (z.B. vierlagiger Vanadiumoxid- SO_2-Konverter/Doppelkontakt-SO_3-Absorber).	SO_2-Konversionsrate über 99,6 %
b2	Mehrere Röhrenfilter	Abscheidung des Säurenebels
Prozeßeinheit(en): Laugung/Reinigung/hydrometallurgische Kadmiumanlage		
c1	Zentraler Gaswäscher für Abgase aller Reaktoren	Vermeidung von Aerosol- und Metallemissionen
c2	Wäsche der Abgase mit starken Oxidantien, sofern das Risiko von Arsenwasserstoffemissionen besteht	Abscheidung von Arsenwasserstoff und Metallkomponenten
Prozeßeinheit(en): Elektrolyse		
d1	Absaugung der Kühltürme	Vermeidung diffuser Nebelemissionen
d2	Absaugung der Elektrolysebäderhalle	Vermeidung diffuser Nebelemissionen
d3	Abluftreinigung in Tröpfchenabscheider	Vermeidung von Nebelemissionen
Prozeßeinheit(en): Kadmiumanlage/Kadmiumraffination		
e1	Permanente Absaugung am Kadmiumofen, dem Schmelztiegel und der Gießanlage	Vermeidung diffuser Emissionen
e2	Wäsche der abgesaugten Luft	Abscheidung von Metallkomponenten
e3	Trockene Gasreinigung der Ofenabgase, der Abgase der Destillationskolonne und der Gießanlage durch eine EGR	Abscheidung von Staub (wird recycelt)
Prozeßeinheit(en): Schmelzen/(Legieren)/Gießen		
f1	Zentraler Gewebefilter zur Reinigung der Abgase des Induktionsofens	Abscheidung von Staub (wird recycelt)

[27] Weitere Informationen zu den Kandidaten für BVT werden im „*Report on BAT in German Zinc and Lead Production*“ genannt (vgl. Ergänzungsband 2). Dieser Bericht wurde in die europäischen Arbeiten eingebracht und ist Bestandteil des vom EIPPCB im Juli 1999 vorgelegten Entwurfs eines BREF für die TWG Non-ferrous Metals Processes.

Tabelle 4.5-27: Kandidaten für BVT zur Wasserverbrauchsminderung und zur Abwasserbehandlung bei der Zinkelektrolyseanlage

Nr.	Techniken	Beurteilung (Auswirkungen, Anwendbarkeit, ...)
w1	Zentrale Kläranlage	-
w2	Sammlung und interne Verwendung des Regenwassers	Verminderung des Frischwasserverbrauchs
w3	Abwässer der Röstgasreinigung werden in der zentralen Kläranlage behandelt	Verminderung des Schadstoffgehalts

Tabelle 4.5-28: Kandidaten für BVT zur Verminderung des Energieverbrauchs und Wärmerückgewinnung bei der Zinkelektrolyseanlage

Nr.	Techniken	Beurteilung (Auswirkungen, Anwendbarkeit, ...)
h1	Abhitzekessel zur Abgaswärmerückgewinnung	Erzeugung von Hochdruckdampf

Tabelle 4.5-29: Kandidaten für BVT zum Reststoffrecycling sowie zur Abfallvermeidung/-behandlung bei der Zinkelektrolyseanlage

Nr.	Techniken	Beurteilung (Auswirkungen, Anwendbarkeit, ...)
s1	Auswahl der Einsatzmaterialien	Änderung der Chargenzusammensetzung, diese Maßnahme ist jedoch durch die Verfügbarkeit der Rohstoffe limitiert
s2	Rückgewinnung von Quecksilber aus dem Röstgas	Erzeugung von Calomel
s3	Ausfällen von Kupfer, Kadmium und Kobalt durch Zugabe von Zinkstaub	Rückgewinnung von Kupfer, Kadmium und Kobalt
s4	Verarbeitung von Kadmiumbriketts durch Destillation	Erzeugung reinen Kadmiums
s5	Blei/Silber-Rückstände werden zur Bleierzeugung eingesetzt	Rückgewinnung von Blei und Silber
s6	Recycling von Schlämmen (aus der Abwasserbehandlung) in Bleihütten	Minimierung von Abfällen (Anwendbarkeit ist jedoch minimiert, so daß der verbleibende Teil entsorgt werden muß)
s7	Grundlegende Prinzipien des Abfallmanagements (u.a. sichere Einlagerung von Jarosit in speziellen Untertagedeponien)	-
s8	Verzicht auf die heiße Laugung und Recycling von Zink/Eisen-Zwischenprodukten aus der Laugung	Zink/Eisen-Zwischenprodukte können zur Zinkrückgewinnung extern verarbeitet werden (IS-Ofen, Wälzprozeß), Anwendbarkeit wird durch Kapazität des IS-Ofens limitiert
s9	Internes Recycling der Krätzen der Gießanlage	Wiederverwendung

Tabelle 4.5-30: Erreichbare Emissionswerte für Emissionen in die Atmosphäre nach Abgas-/Abluftreinigung (Hauptquellen) bei der Zinkelektrolyseanlage

Prozeßeinheit	**Emissionswerte** [mg/Nm³]	**Abgasvolumenstrom** [Nm³/h]/[Nm³/t Zink]	**Emissionsfracht** [g/t Zink]
Transport und Sieben von Röstgut	Staub: 0,6-10 Zn: 0,3-5 Cd: 0,002-0,015	12.000-22.000 / < 1.600	Staub: 0,7-1,0 Zn: 0,4-0,6 Cd: < 0,002
Schwefelsäureanlage	SO_2: 900-1.600	35.000-60.000 / 3.000-4.000	SO_2: 2.600-4.200 SO_3: 500
Laugung/Reinigung	Zn: 0,1-0,5 Cd: 0,01-0,2	65.000-80.000 / 4.000-7.000	Zn: 0,5-1,4 Cd: < 0,02-0,05
Elektrolyse (Kühltürme)	Zn: 0,1-1,0	800.000-1.650.000 / 85.000-115.000	Zn: 4,1-8,6
Schmelzen/Legieren/ Gießen	Zn: 0,5-5,0	38.000-70.000 / 2.500-4.000	Zn: 2,0-5,0

Tabelle 4.5-31: Erreichte Emissionswerte für die Einleitung von Abwasser bei der Zinkelektrolyseanlage

Element	**Emissionswert**[*)] [mg/l]	**Fracht**[*)] [g/t Zink]	**Element**	**Emissionswert**[*)] [mg/l]	**Fracht**[*)] [g/t Zink]
Cu	< 0,5	< 10	As	< 0,1	< 2
Pb	< 0,5	< 15	Ni	< 0,5	< 15
Zn	< 1	< 30	Cr	< 0,5	< 10
Cd	< 0,2	< 3	Sulphide	< 1	k.A.
Hg	< 0,05	< 1	AOX	< 1	k.A.

[*)] Hinweis: Die Emissionswerte und Frachten der Tabelle 4.5-31 sind Mindestanforderungen nach dem Anhang 39 der Abwasserverordnung. Typische Abwasserströme betragen etwa 25-40 m^3/h.

Imperial-Smelting-Prozeß

Tabelle 4.5-32: Kandidaten für BVT zur Verminderung von Emissionen in die Luft beim Imperial-Smelting-Prozeß

Nr.	Techniken	Beurteilung (Auswirkungen, Anwendbarkeit, ...)
Prozeßeinheit(en): Sinteranlage/Röstgasreinigung		
a1	Röstgasreinigung durch Heißgas-EGR, Wäscher und Naß-EGR	Abscheidung von Staub und Metallen
a2	Weitere Behandlung der Röstgase (Boliden/Norzink-Prozeß)	Abscheidung von Quecksilberdämpfen
a3	Naß-EGR zur abschließenden Entstaubung	Abschließende Reinigung
a4	Weitere Röstgasverarbeitung in der Schwefelsäureanlage	Rückgewinnung von Schwefel
a5	Abgasreinigung mit Gewebefiltern	Abscheidung von Staub
a6	Absaugung der Abluft des Sinterkühlens und -brechens	Verminderung diffuser Emissionen
Prozeßeinheit(en): Schwefelsäureanlage		
b1	Doppelkontaktanlage (z.B. vierlagiger Vanadiumoxid- SO_2-Konverter/Doppelkontakt-SO_3-absorber).	SO_2-Konversionsrate über 99,6 %
b2	Mehrere Röhrenfilter	Abscheidung des Säurenebels
Prozeßeinheit(en): Kadmiumanlage		
c1	Transport kadmiumhaltiger Stäube in nassem Zustand	Vermeidung diffuser Emissionen
Prozeßeinheit(en): Heißbrikettieranlage		
d1	Gewebefilter zur Abgasreinigung	Abscheidung von Staub
d2	Nachgeschalteter Aktivkohlefilter	Minimierung der PCDD/PCDF-Emissionen
Prozeßeinheit(en): IS-Ofen/Sprühkondensator/Zink-Blei-Trennung/Gasreinigung/Schlackebehandlung		
e1	Doppelglocke	Verminderung diffuser Emissionen
e2	Naß-EGR zur Reinigung gesammelter diffuser Emissionen aus der oberen Ofenzone und der Schlackengranulation	Abscheidung von Staub
e3	Desintegrator zur Reinigung der IS-Prozeßgase	-
e4	Gewebefilter zur Abgasreinigung (Sekundärentstaubung des Ofenareals)	Verminderung der diffusen Emissionen
Prozeßeinheit(en): Raffination		
siehe New-Jersey -Raffinationsanlagen		

Tabelle 4.5-33: Kandidaten für BVT zur Wasserverbrauchsminderung und zur Abwasserbehandlung beim Imperial-Smelting-Prozeß

Nr.	Techniken	Beurteilung (Auswirkungen, Anwendbarkeit, ...)
w1	Zentrale Kläranlage	-
w2	Vorbehandlung der Abwässer der Röstgasreinigung (endgültige Reinigung in der zentralen Kläranlage)	Verminderung des Schadstoffgehalts
w3	Abscheidung von Thallium (Vorbehandlung von Abwässern der Kadmiumanlage)	Verminderung des Schadstoffgehalts

Tabelle 4.5-34: Kandidaten für BVT zum Reststoffrecycling sowie zur Abfallvermeidung/-behandlung beim Imperial-Smelting-Prozeß

Nr.	Techniken	Beurteilung (Auswirkungen, Anwendbarkeit, ...)
s1	Rückgewinnung von Kadmium aus der Röstgasreinigung	Anreichern der Kadmiumfraktion (Absatzmöglichkeiten für Kadmium und Kadmiumverbindungen sind limitiert)
s2	Rückgewinnung von Quecksilber aus dem Röstgas	Erzeugung von Calomel (Absatzmöglichkeiten für Calomel sind limitiert)
s3	Internes Recycling von bleihaltigen Reststoffen in der Kadmiumanlage	Rückgewinnung von Blei und Zink
s4	Verwendung von beladenem Koks aus der Gasreinigung als Brennstoff im IS-Ofen	Verminderung des Brennstoffverbrauchs
s5	Granulation der IS-Ofenschlacke	Erzeugung eines absetzbaren Nebenprodukts (Straßenbau)
s6	Internes Recycling von Schlamm aus der Kläranlage	Rückgewinnung von Zink und Blei

Tabelle 4.5-35: Kandidaten für BVT zur Verminderung des Energieverbrauchs und Wärmerückgewinnung beim Imperial-Smelting-Prozeß

Nr.	Techniken	Beurteilung (Auswirkungen, Anwendbarkeit, ...)
h1	Abhitzekessel zur Wärmerückgewinnung aus dem Abgas der Raffination	Dampferzeugung
h2	Interne Verwendung des IS-Ofenabgases (Koksvorwärmung, Betrieb von Winderhitzern)	Verminderung des Energieverbrauchs

Tabelle 4.5-36: Erreichbare Emissionswerte für Emissionen in die Atmosphäre nach Abgas-/Abluftreinigung (Hauptquellen) beim Imperial-Smelting-Prozeß

Prozeßeinheit	**Emissionswerte** *) [mg/Nm³]		**Abgasvolumenstrom** [Nm³/h] / [Nm³/t Zink]	**Emissionsfracht** [g/t Zink]	
Beschickung	Staub:	1-6	90.000 / 7.500	Staub:	25
	Zn:	0,3-1,8		Zn:	8
	Cd:	0,003-0,018		Cd:	< 0,1
	Pb:	0,18-1,1		Pb:	5
Sinteranlage	Staub:	2-10	120.000 / 10.000	Staub:	58
	Zn:	0,6-3		Zn:	17
	Cd:	0,006-0,03		Cd:	0,2
	Pb:	0,3-1,8		Pb:	10
	SO_2:	< 800		SO_2:	< 7.500
Schwefelsäureanlage	SO_2:	< 730	66.000 / 4.000-5.000	SO_2:	< 4.000
				SO_3:	500
Schlackebehandlung	Staub:	3-9	70.000 / 4.000	Staub:	33
	Zn:	1,6-5		Zn:	18
	Cd:	0,003-0,009		Cd:	< 0,05
	Pb:	0,45-4		Pb:	10
	SO_2	Spuren		SO_2:	< 0,01
Heißbrikettieranlage	Staub:	< 1,0	45.000 / 3.500	Staub:	< 3,5
	Zn:	< 1,0		Zn:	< 3,5
	Cd:	< 0,001		Cd:	< 0,01
	Pb:	< 1,0		Pb:	< 3,5
IS-Ofen	Staub:	1-5	100.000 / 8.000	Staub:	24
	Zn:	0,55-2,7		Zn:	13
	Cd:	0,001-0,005		Cd:	< 0,05
	Pb:	0,1-0,5		Pb:	2,4

*) Zur Einhaltung von Emissionsgrenzwerten müssen die angegebenen Emissionswerte um etwa 3-10 mal niedriger als die entsprechenden Grenzwerte sein.

Tabelle 4.5-37: Erreichte Emissionswerte für die Einleitung von Abwasser beim Imperial-Smelting-Prozeß

Element	**Emissionswert** [mg/l]	**Fracht** [g/t Zink]	**Element**	**Emissionswert** [mg/l]	**Fracht** [g/t Zink]
Cu	0,006	< 0,2	As	0,02	< 0,7
Pb	0,1	< 3,5	Ni	0,003	< 0,1
Zn	0,2	< 7	Cr	0,001	< 0,05
Cd	0,008	< 3	Cyanide	< 0,1	< 3,5
Hg	0,006	< 0,2	Sulphide	< 0,1	< 3,5

*) Zur Einhaltung von Emissionsgrenzwerten müssen die angegebenen Emissionswerte um etwa 10 mal niedriger als die entsprechenden Grenzwerte sein. Typische Abwasserströme betragen etwa 380-420 m³/h.

Wälzanlage

Tabelle 4.5-38: Kandidaten für BVT zur Verminderung von Emissionen in die Luft bei der Wälzanlage

Nr.	Techniken	Beurteilung (Auswirkungen, Anwendbarkeit, ...)
Prozeßeinheit(en): Vorbereitung/Lagerung der Einsatzstoffe		
a1	Pelletierung im Gebäude und direkte Beschickung mit frischen Pellets	Direkte Beschickung mit frischen Pellets ist während des Normalbetriebs möglich, bei Stillstand des Ofens werden Pellets im Freien zwischengelagert.
a2	Gewebefilter für die Übergabepunkte der Pelletieranlage, einschließlich Staubsilos und Dosierförderband	Verminderung der diffusen Emissionen beim Beschicken
a3	Abgedeckte Förderbänder für Staub und Pellets	Verminderung der diffusen Emissionen beim Materialtransport
Prozeßeinheit(en): Wälzofen/Gasreinigungssystem		
b1	Primärhauben an der Ofenöffnung	Verminderung der diffusen Emissionen
b2	Konventionelle Gasreinigung mit Staubabsetzkammer, Kühler und Gewebefilter oder EGR oder nasse Gasreinigung	Abscheidung von Wälzoxid, Entfernung von Staub
b3	Venturiwäscher (zur Vorwärmung von Prozeßwasser für die Wälzoxidlaugung)	bei Normalbetrieb: Entstaubung eines Drittels der Ofengase bei Instandsetzungsmaßnahmen von EGR/Gewebefilter/nasser Gasreinigung: Entstaubung der verbleibenden Abgase des Wälzrohrs
b4	Zusätzliche Gasreinigung zum Entfernen von Quecksilber und PCDD/PCDF-Emissionen, falls notwendig (z.B. Eindüsung eines Adsorbents oder Installation eines Kohlebettfilters)	Verminderung von Quecksilber und PCDD/PCDF-Emissionen
Prozeßeinheit(en): Schlackebehandlung		
c1	Haube, Absaugsystem	Verminderung diffuser Emissionen
c2	Eindüsen von Abgas: - in den Ofen - in den Hauptabgasstrom	Verminderung von Staub- und Sprühnebelemissionen
Prozeßeinheit(en): Wälzoxidlaugung (falls angewendet)		
d1	Entstaubungssystem für das Sodasilo	Verminderung diffuser Emissionen
d2	Abgasfilter an Umladestationen für trockene Stäube	Verminderung diffuser Emissionen
d2	Gewebefilter für das Trocknungsareal	Verminderung diffuser Emissionen

Tabelle 4.5-39: Kandidaten für BVT zur Wasserverbrauchsminderung und zur Abwasserbehandlung bei der Wälzanlage

Nr.	Techniken	Beurteilung (Auswirkungen, Anwendbarkeit, ...)
w1	Behandlung des Abwassers aus der Wälzoxidlaugung	Abwasserreinigung
w2	Absetztanks für Regenwasser	Verminderung des Feststoffanteils im Regenwasser
w3	Rückführung des Kühlwassers der Schlackekühlung (geschlossener Kreislauf)	Verminderung des Wasserverbrauchs

Tabelle 4.5-40: Kandidaten für BVT zum Reststoffrecycling sowie zur Abfallvermeidung/-behandlung bei der Wälzanlage

Nr.	Techniken	Beurteilung (Auswirkungen, Anwendbarkeit, ...)
s1	Behandlung der Wälzschlacke	Erzeugung einer granulierten Schlacke für verschiedene Anwendungen
s2	Internes Recycling von Feststoffen aus der Abwasserbehandlung und den Regenwasserabsetztanks	Vermeidung von Abfällen
s3	Internes Recycling von Feststoffen der Reinigung des Betriebsgeländes	Vermeidung von Abfällen
s4	Wälzoxidlaugung	Erhaltenes doppeltgelaugtes Wälzoxid kann an Zinkelektrolysen zur Zinkerzeugung verkauft werden
s5	Recycling von gebrauchtem Feuerfestmaterial	Gebrauchtes Feuerfestmaterial kann an den Hersteller abgegeben oder gebrochen und intern recycelt werden.

Tabelle 4.5-41: Kandidaten für BVT zur Verminderung des Energieverbrauchs und Wärmerückgewinnung bei der Wälzanlage

Nr.	Techniken	Beurteilung (Auswirkungen, Anwendbarkeit, ...)
h1	Venturiwäscher zur Kühlung des Wälzrohrabgases und Vorwärmung des Wassers für die Laugung	Spart bis zu 1.200.000 kcal/h
h2	Wärmetauscher für zweiten Laugungsschritt	Rückgewinnung von ca. 900.000 kcal/h (wird zum Einstellen der Abwassertemperatur verwendet)
h3	Primärhaube an der Ofenöffnung	Eindüsung vorgewärmter Luft ins Wälzrohr

Tabelle 4.5-42: Erreichbare Emissionswerte für Emissionen in die Atmosphäre nach Abgas-/Abluftreinigung (Hauptquellen) bei der Wälzanlage

Prozeßeinheit	Emissionswert *) [mg/Nm³]		Abgasvolumenstrom [Nm³/h] / [Nm³/t Einsatz]	Emissionsfracht **) [g/t Einsatz]	
Wälzofen inklusive Schlackenkühlung (Abgas)	Staub:	1-5	50.000-75.000 / 4.000-6.000	Staub:	20-60
	Zn:	0,1-2		Zn:	10-30
	Pb	0,1-1		Pb:	2-6
	Cd:	< 0,01		Cd:	0,01-0,1

*) Zur Einhaltung von Emissionsgrenzwerten müssen die angegebenen Emissionswerte um etwa 3-10 mal niedriger als die entsprechenden Grenzwerte sein.

**) Da die Zusammensetzung der Einsatzmaterialien großen Schwankungen unterliegt, sind die Emissionsfrachten auf die Tonne Einsatzmaterial bezogen.

Tabelle 4.5-43: Erreichte Emissionswerte für die Einleitung von Abwasser bei der Wälzanlage

Element	Emissionswert [mg/l]	Fracht [g/t]	Element	Emissionswert [mg/l]	Fracht [g/t]
Cu	< 0,5	< 2	As	< 0,1	< 0,4
Pb	0,3-0,5	< 2	Ni	< 0,5-1	< 2
Zn	0,8-1	< 2	Cr	< 0,5	< 2
Cd	0,05-0,2	< 1	Sulphide	< 1	k.A.
Hg	< 0,05	< 0,2	AOX	< 1	k.A.

Bei einem Einsatz von 6 t/h Einsatzstoffen wird ein Volumenstrom von 9-10 m³/h Abwasser erreicht.

Umschmelzanlagen

Tabelle 4.5-44: Kandidaten für BVT in Umschmelzanlagen

Nr.	Techniken	Beurteilung (Auswirkungen, Anwendbarkeit, ...)
	Kandidaten BVT zur Verminderung von Emissionen in die Luft	
a1	Gewebefilter zur Abgasreinigung	Entfernung von Staub (wird recycelt)
	Kandidaten BVT zur Wasserverbrauchsminderung und zur Abwasserbehandlung	
w1	Kühlwasserkreislauf	Verminderung des Kühlwasserverbrauchs
	Kandidaten BVT zum Reststoffrecycling sowie zur Abfallvermeidung/-behandlung	
s1	Internes Recycling von Stäuben, Aschen und Krätzen	Rückgewinnung des Metallinhalts

Schlackeverblaseanlage

Tabelle 4.5-45: Kandidaten für BVT in Schlackeverblaseanlagen

Nr.	Techniken	Beurteilung (Auswirkungen, Anwendbarkeit, ...)
	Kandidaten BVT zur Verminderung von Emissionen in die Luft	
a1	Nachverbrennung mit Lufteindüsung	Oxidation von Kohlenmonoxid und Metallen
a2	Gewebefilter zur abschließenden Gasreinigung	Verminderung der Staubemissionen und Rückgewinnung von Mischoxiden
	Kandidaten BVT zum Reststoffrecycling sowie zur Abfallvermeidung/-behandlung	
s1	Schlackebehandlung	Aufbereitete Schlacke wird als Baumaterial verkauft
s2	Externe Verarbeitung der Mischoxide	Rückgewinnung von Zink und Blei
	Kandidaten BVT zur Verminderung des Energieverbrauchs	
h1	Abhitzekessel	Wärmerückgewinnung, Dampferzeugung

New-Jersey Zinkraffinationsanlagen

Tabelle 4.5-46: Kandidaten für BVT in New-Jersey Zinkraffinationsanlagen

Nr.	Techniken	Beurteilung (Auswirkungen, Anwendbarkeit, ...)
	Kandidaten BVT zur Verminderung von Emissionen in die Luft	
a1	Gewebefilter zur Behandlung der Abgase der Heizkammern, Raffinieröfen	Abgasentstaubung
	Kandidaten BVT zum Reststoffrecycling sowie zur Abfallvermeidung/-behandlung	
s1	Externes Recycling von Zink-Kadmiumlegierungen	Rückgewinnung von Zink und Kadmium
s2	Recycling zinkhaltiger Filterstäube	Rückgewinnung von Zink
	Kandidaten BVT zur Verminderung des Energieverbrauchs	
h1	Wärmetauscher zur Abgaskühlung	Vorwärmung der Prozeßluft

New-Jersey-Prozeß

Tabelle 4.5-47: Angewandte Techniken in New-Jersey-Retortenanlagen

Nr.	Techniken	Beurteilung (Auswirkungen, Anwendbarkeit, ...)
	Techniken zur Verminderung von Emissionen in die Luft	
a1	Wäscher und Nachverbrennung	Entstaubung der Prozeßgase
	Techniken zur Wasserverbrauchsminderung und zur Abwasserbehandlung	
w1	Kühlwasserkreislauf	Verminderung des Kühlwasserverbrauchs
	Techniken zum Reststoffrecycling sowie zur Abfallvermeidung/-behandlung	
s1	Internes Recycling zinkhaltiger Schlämme aus der Gasreinigung	Rückgewinnung von Zink
	Techniken zur Verminderung des Energieverbrauchs	
h1	Luftvorwärmung	Verminderung des Energieverbrauchs
h2	Interne Nutzung von Prozeßgas	Verminderung des Energieverbrauchs

4.6 Zusammenfassung des BVT-Positionspapiers „Primäre und Sekundäre Bleierzeugung“

Im vorliegenden Unterkapitel 4.6 wird die Struktur der deutschen Bleiindustrie dargestellt und die angewandte Produktionstechnologie analysiert. Auf Grundlage dieser Untersuchungen werden Kandidaten für beste verfügbare Techniken zur Bleierzeugung vorgeschlagen. Anhand von Fallstudien werden der Verbrauch an Einsatzstoffen und entstehende Emissionen bei der Erzeugung von Blei dokumentiert.[28]

4.6.1 Informationen zur Branche

Im Laufe der Jahre haben sich die Anwendungsfelder für Blei grundlegend geändert. Während aufgrund toxikologischer Erkenntnisse eine ganze Reihe von Anwendungen wie z.B. für Kosmetika, Trinkwasserleitungen, Nahrungsmittelverpackungen und der Bereich der Kraftstoffadditive wegfielen, kamen neue Einsatzgebiete hinzu. Hier sind vor allem Blei-Säure-Batterien zu nennen, für deren Herstellung heutzutage 60-70 % des erzeugten Bleis verwendet werden. Weitere Einsatzgebiete sind die Herstellung medizinischer Ausrüstung, die Kernindustrie, die Druckereibranche und das Baugewerbe. Der weltweite Verbrauch an Blei nimmt unter den Nichteisenmetallen nach Aluminium, Kupfer und Zink den vierten Rang ein. In Europa liegt der Bleiverbrauch derzeit bei etwa 1,6 Mio. t pro Jahr. Deutschland ist innerhalb der EG das Land mit dem größten Bleiverbrauch und liegt bei der Bleierzeugung auf Platz zwei hinter Großbritannien. 1997 wurden in Deutschland 329.000 t produziert und 336.000 t verbraucht. In Tabelle 4.6-1 sind die Produktions- und Verbrauchs-mengen der letzten Jahre für Deutschland, für die EG und weltweit zusammengestellt.

Tabelle 4.6-1: Bleiproduktion/-verbrauch in Deutschland, der EG und weltweit in Mio. t

	Deutschland [Mio. t]		**EG** [Mio. t]		**Weltweit** [Mio. t]	
Jahr	**Produktion**	**Verbrauch**	**Produktion**	**Verbrauch**	**Produktion**	**Verbrauch**
1990	0,349	0,392	1,389	1,513	5,419	5,407
1991	0,363	0,414	1,425	1,503	5,299	5,216
1992	0,354	0,412	1,372	1,454	5,314	5,168
1993	0,334	0,350	1,356	1,348	5,429	5,146
1994	0,332	0,354	1,569	1,604	5,464	5,493
1995	0,314	0,360	1,541	1,685	5,762	5,866
1996	0,238	0,342	1,520	1,659	5,881	6,033
1997	0,329	0,336	1,613	1,647	5,975	5,977

Quelle: Bundesamt für Wirtschaft [15], Rentz et al, [81], International Lead and Zinc Study Group [58]

[28] Dieses Unterkapitel ist eine Zusammenfassung der Abschnitte zur Bleierzeugung des BVT-Positionspapiers „*Report on BAT in German Zinc and Lead Production*“, das vollständig im Ergänzungsband 2 zu diesem Abschlußbericht enthalten ist.

Blei wird zu einem großen Teil recycelt. Weltweit wird etwa die Hälfte der gesamten Produktion aus sekundären Einsatzstoffen erzeugt. In Deutschland liegt dieser Anteil aufgrund des Recyclings von Blei-Säure-Batterien mit 54 % über dem weltweiten Durchschnitt [101].

In Deutschland wird zwei Unternehmen Blei in Badschmelzprozessen aus primären und sekundären Materialien erzeugt. Eine weitere Anlage arbeitet nach dem Imperial-Smelting-Prozeß. Da sie jedoch deutlich mehr Zink als Blei produziert, wird sie im Kapitel zur Zinkproduktion in Deutschland behandelt. Die Bleierzeugung ausschließlich aus Sekundärmaterialien wird in mehreren großen Sekundärhütten und einigen kleinen Recyclinganlagen durchgeführt. Die Standorte der deutschen Anlagen zur Bleierzeugung sind in Abbildung 4.6-1 dargestellt, detaillierte Informationen über diese Anlagen enthält Tabelle 4.6-2.

Abbildung 4.6-1: Standorte von Anlagen zur Bleierzeugung in Deutschland

Tabelle 4.6-2: Daten zu Bleihütten und Recyclinganlagen in Deutschland

Technische Daten/ Betreiber	**Berzelius Metall GmbH, Stolberg**	**Metaleurop Weser Blei GmbH, Nordenham**	**Metallhütte M.I.M. Hüttenwerke, Duisburg**	**MRU GmbH, Freiberg **)**	**VARTA Recycling GmbH, Krautscheid**
Prozeßtechnik	QSL	Sirosmelt	Imperial-Smelting-Prozeß	Engitec-Technik, KTOs	VARTA-Prozeß (Bleischachtofen)
Spezielle Anlagen	-	-	-	Sonderabfallverbrennungsanlage	-
Verbrauch Einsatzstoffe [t/a]	150.000	130.000	250.000	55.000	55.000
Zusammensetzung	Bleikonzentrate (60%), bleihaltige Sekundärmaterialien (40%) (Rohblei)	Bleikonzentrate (45%), bleihaltige Sekundärmaterialien (55%) (Rohblei)	Bleikonzentrate (50%), blei-/Zinkhaltige Sekundärmaterialien (50%)	Altbatterien, bleihaltige Sekundärmaterialien, Schrotte	Altbatterien, bleihaltige Sekundärmaterialien, Schrotte
Prod.kapazität Rohblei*) [t/a]	90.000	90.000	45.000 *100.000 Zink*	40.000	35.000
Prod.kap. raffiniertes Blei [t/a]	150.000	120.000	0	50.000	50.000
Hauptnebenprodukte	Schwefelsäure, Schlacke	Schwefelsäure, Schlacke	Schwefelsäure, Kadmiumkarbonat, Schlacke	Sodiumsulfat, PP-Chips	Schlacke, Blei-Eisen-Stein, Bleikrätze
Zertifikate	ISO 9002	ISO 9002	-	ISO 9001, 9002, 14001, EMAS	ISO 9002
Technische Daten/ Betreiber	**BSB Recycling GmbH, Braubach **)**	**Bleihütte Oker, Harz-Metall GmbH, Goslar**	**Metallhütte Hoppecke GmbH & Co. KG, Brilon**	**Metallhüttengesellschaft Schumacher Rommerskirchen**	**Hetzel Metalle GmbH, Nürnberg**
Prozeßtechnik	Engitec-Technik KTOs	MA-Technik, KTOs	KTOs	KTOs	KTOs
Spezielle Anlagen	Kompoundierungsanlage	-	-	-	-
Verbrauch Einsatzstoffe [t/a]	55.000	75.000	12.000	18.000	22.000
Zusammensetzung	Altbatterien, bleihaltige Sekundärmaterialien, Schrotte	Altbatterien bleihaltige Sekundärmaterialien, Schrotte	Altbatterien bleihaltige Sekundärmaterialien, Schrotte	Schrotte (75%) Altbatterien (25%)	Schrotte (80%) Altbatterien (20%)
Prod.kapazität Rohblei*) [t/a]	35.000	25.000	10.000	15.000	18.000
Prod.kap. raffiniertes Blei [t/a]	40.000	50.000	10.000	15.000	20.000
Hauptnebenprodukte	PP, PP-Chips, Paste	Paste	Schlacke, Bleikrätze	Schlacke, Blei-Eisenstein, Bleikrätze	Schlacke
Zertifikate	ISO 9001, 9002, 14001, EMAS (Pilotv.)	ISO 9002	-	ISO 9002	ISO 9002

*) Die Nominalkapazität liegt meist über den oben genannten Werten.

**) MRU: Muldenhütten Recycling und Umwelttechnik, BSB: Blei- und Silberhütte Braubach

4.6.2 Angewandte Produktionsprozesse und Emissionsminderungsmaßnahmen

In diesem Abschnitt wird ein Überblick über angewandte Produktionsprozesse und Emissionsminderungsmaßnahmen der bleierzeugenden Industrie gegeben.

4.6.2.1 Abgrenzung des Untersuchungsumfangs

In Rahmen des vorliegenden Berichts werden sowohl die Bleierzeugung in Primärbleihütten als auch Prozesse der Bleierzeugung aus Sekundärmaterialien dargestellt, dabei werden vorwiegend in Deutschland eingesetzte Prozesse untersucht. Sofern möglich, erfolgt die Darstellung getrennt nach primärer und sekundärer Erzeugung. Da jedoch die meisten Primärhütten auch Sekundärmaterialien einsetzen, kann diese Trennung nicht immer aufrecht erhalten werden. Es werden nur die Prozeßschritte untersucht, die in der Regel direkt im Werk durchgeführt werden: Vorbereitung der Rohstoffe, Schmelzen der Einsatzstoffe und Raffination des erzeugten Rohmetalls[29]. Prozesse zur Weiterverarbeitung des Metalls zu Halbzeug oder Endprodukten, wie z.B. Walzprozesse oder vorgelagerte Prozeßschritte wie Extraktions-, Konzentrations- und Flotationsprozesse werden nicht berücksichtigt. Zur Bleierzeugung werden derzeit nur pyrometallurgische Verfahren im industriellen Maßstab eingesetzt, hydrometallurgische Verfahren finden keine kommerzielle Verwendung und waren daher auch nicht Gegenstand der Untersuchung.

Zur primären Bleierzeugung werden am häufigsten sulfidische Bleikonzentrate mit einem mittleren Gehalt von 60-70 % Blei eingesetzt. Kohenstoffhaltige/oxidische Bleikonzentrate sind von geringerer Bedeutung. Der überwiegende Teil an sekundären Einsatzstoffen für die Bleiproduktion sind gebrauchte Blei-Säure-Batterien. An zweiter Stelle stehen Schrotte aus der Herstellung von Blei-Säure-Batterien. Andere sekundäre Einsatzstoffe von geringerer Bedeutung sind Bleche, Rohrschrotte, Schlämme und Krätzen.

4.6.2.2 Darstellung traditioneller Verfahren zur Bleierzeugung (Sinteranlagen-Hochofen-Route)

Die traditionelle Bleierzeugung umfaßt die Sinterung (oxidatives Rösten) der Erzkonzentrate zur Schwefelentfernung gefolgt von einem Reduktionsschritt im Hochofen. Das in dieser sogenannten konventionellen Schmelzroute erzeugte Rohblei wird vor der Weiterverarbeitung raffiniert (vgl. Abschnitt 4.6.2.4). Seit der Stillegung des letzten Hochofens der deutschen Bleiindustrie im Jahre 1995 sind in Deutschland keine Anlagen nach der konventionellen Schmelzroute mehr in Betrieb. Jedoch wird beim Imperial-Smelting-Prozeß ein Schachtofen eingesetzt, um aus einer Mischung aus primären und sekundären Einsatzstoffen Zink und Blei zu erzeugen. Da bei diesem Prozeß eine größere Menge Zink als Blei erzeugt wird, wird er als

[29] Der Erzabbau und die Verarbeitung der Erze werden nicht mehr in Deutschland und auch nur noch an sehr wenigen Standorten innerhalb Europas durchgeführt.

Prozeß der Zinkerzeugung angesehen. Eine detaillierte Beschreibung ist in Abschnitt 4.5.2.3 zu finden.

4.6.2.3 Darstellung moderner Verfahren zur Bleierzeugung

In den letzten Jahrzehnten wurden einige neue innovative Prozesse zur Erzeugung von Blei entwickelt, um die Nachteile des konventionellen Sinteranlagen-Hochofenprozesses zu überwinden. Die vielversprechendsten sind Schwebeschmelz- und Badschmelzprozesse. Unter ihnen haben der QSL (Queneau-Schuhmann-Lurgi)-Prozeß, die Kivcet-Technik und der TBRC-Prozeß ihre Anwendbarkeit im industriellen Maßstab bewiesen. Auch der Sirosmelt-Prozeß wird seit einiger Zeit im großtechnischen Maßstab betrieben. Der QSL-Prozeß wird weltweit in drei Anlagen industriell eingesetzt. Eine Anlage wird in Deutschland betrieben („Berzelius“ Metall GmbH, Stolberg), die beiden anderen stehen in Südkorea (Korea Zinc, Onsan) und China (CNIEC). Der Kivcet-Prozeß wird in Italien (Nuova Samim, Sardinien), in Kasachstan (UK Lead and Zinc Combine) und in Kanada (Trail, British Columbia) betrieben. In Schweden (Boliden, Rönnskar) wird seit 1976 die TBRC-Technik eingesetzt.

Die wichtigste Innovation der genannten Prozesse ist die Kombination des Oxidations- und Reduktionsschrittes, wodurch der Energieverbrauch, die zu behandelnde Abgasmenge und die Schwefeldioxidemissionen drastisch gesenkt werden können. Die resultierende hohe Schwefeldioxidkonzentration im Abgas ermöglicht die Rückgewinnung des Schwefels in einer Kontaktanlage. Die Prozesse erlauben auch den Einsatz sekundärer Einsatzstoffe bis zu einem Anteil von etwa 50 %.

4.6.2.4 Darstellung der Bleierzeugung aus Sekundärmaterialien

Die Bleierzeugung aus sekundären Materialien umfaßt prinzipiell die Prozeßschritte Aufbereitung von Schrotten und Batterien, Schmelzen der bleihaltigen Einsatzstoffe, Raffination, Legieren und weitere chemische und metallurgische Prozesse.

Vorbereitung der Schrotte und Batterien

Zur Vorbereitung gebrauchter Blei-Säure-Batterien existieren zwei unterschiedliche Verfahrenswege. Bei einem werden die Batterien aufgebrochen und in ihre Bestandteile wie Blei, Plastik und Säure aufgetrennt, so daß die Bleifraktion im anschließenden Schmelzprozeß separat weiterverarbeitet werden kann. Beim zweiten Verfahren werden die Batterien aufgebrochen und nach dem Entfernen der Säure als Ganzes weiterverarbeitet.

Schmelzöfen

In sekundären Bleihütten werden als Schmelzaggregate hauptsächlich Kurztrommelöfen (KTO) eingesetzt, wesentlich seltener werden Langtrommelöfen, Flammöfen, Schachtöfen und die ISA-Technik zum Schmelzen der Schrotte verwendet. In Schachtöfen werden entleer-

te Batterien oder Batterieschrott eingesetzt. In Deutschland sind ausschließlich Anlagen auf Basis von Schachtöfen und Trommelöfen in Betrieb und werden hier zur Erzeugung von Rohblei aus Sekundärmaterialien eingesetzt.

Bleiraffination

Der letzte Schritt der Bleierzeugung ist normalerweise die pyrometallurgische (mehr als 90 % weltweit) oder seltener die elektrolytische Raffination des Rohbleis. Die Raffination wird durchgeführt, um Verunreinigungen aus dem Rohblei, die von den Einsatzstoffen und den Zuschlägen herrühren, zu entfernen. Eine typische Raffination besteht aus den folgenden Schritten:

- Verschlacken/Entkupfern: Das vor- und endgültige Entfernen des Kupfers (Colcord-Prozeß),
- Weichmachen: Entfernen von Arsen, Zink und Antimon mit dem Harris-Prozeß oder durch Sauerstoffeinsatz,
- Entfernen von Edelmetallen (Parkes-Prozeß),
- Entfernen von Zink durch Vakkuumdestillation,
- Entfernen des Wismuths (Kroll-Betterton Prozeß),
- Entfernen von Alkalimetallen und Erdalkalimetallen,
- Oxidation und Zugabe von Sodiumhydroxid.

Die Raffinationsprozesse werden in verschiedenen Reaktoren wie z.B. Harris-Reaktoren, Flammöfen, Destillationsöfen oder Induktionsöfen durchgeführt. Am häufigsten kommen bei der Raffination von Rohblei aus der Primärerzeugung die Entkupferung und die Entfernung von Arsen, Zink und Antimon mit dem Harris-Prozeß, die Entsilberung und die Entfernung von Zink durch Vakuumdestillation zum Einsatz. Bei Sekundäranlagen werden ähnliche Prozesse eingesetzt, die notwendige Anzahl der Prozesse ist jedoch geringer, da bei Sekundärblei eine Entfernung von Kupfer, Silber und Wismuth meist nicht notwendig ist. Das Endprodukt der sekundären Bleiproduktion ist Weichblei oder Antimonblei.

4.6.3 Verbrauchs- und Emissionswerte angewandter Techniken

Im folgenden werden die wichtigsten deutschen Anlagen der Bleierzeugung vorgestellt und aktuelle Produktions-, Verbrauchs- und Emissionswerte angegeben. Da eine strikte Trennung zwischen primären und sekundären Anlagen nicht möglich ist, werden in diesem Abschnitt alle deutschen Anlagen gemeinsam dargestellt.

4.6.3.1 Einsatzstoffe und Emissionen moderner Verfahren zur Bleierzeugung

QSL-Anlage (Fallstudie L1)

Unternehmen L1 betreibt eine QSL-Anlage mit einer jährlichen Kapazität von 90.000 t Rohblei. In Abbildung 4.6-2 ist eine schematische Ansicht der Gesamtanlage dargestellt, Tabelle 4.6-3 zeigt Verbrauchs- und Produktionsdaten.

Tabelle 4.6-3: Verbrauchs- und Produktionsdaten der Fallstudie L1

Input	[t/a]	**Output**	[t/a]
Bleihaltige Materialien	130.000	Rohblei	90.000
Zuschläge (Kalk, ...)	20.000	Schlacke	50.000
Stickstoff	k.A.	Schwefelsäure	60.000
Sauerstoff	46.000	Doré Silber	250
Kohle (Staub)	12.000	Kalomel	2-5
Erdgas	k.A.	Zink-Kadmium-Karbonat	100-150

Stand der Daten: 1997

Quelle: Unternehmensinformationen Unternehmen L1, 1998

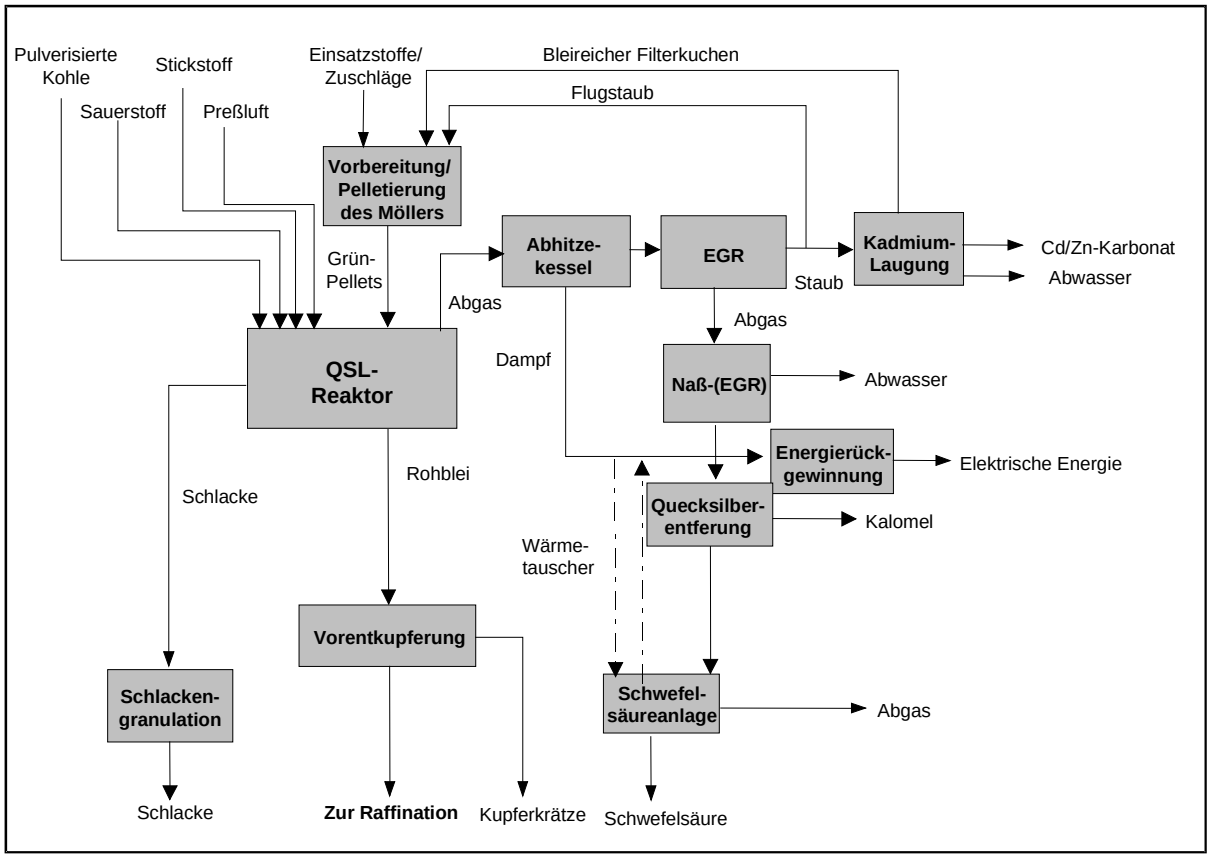

Abbildung 4.6-2: Schematische Darstellung einer QSL-Anlage (Fallstudie L1)

In Tabelle 4.6-4 sind die Emissionen nach Abgas-/Abluftreinigung der QSL-Anlage aufgeführt.

Tabelle 4.6-4: Emissionen der Fallstudie L1 nach Abgas-/Abluftreinigung

Prozeßeinheit	Menge [Nm³/h]	Hauptkomponenten [mg/Nm³]				
		Staub	Pb	Cd	SO_2	NOx
Vorbereitung/Lagerung der Einsatzstoffe	220.000	1-2	0,2-1	0,005-0,05	20-200	10-20
Reingas (Schwefelsäureanlage)	20.000	< 1	0,001-0,02	0,001-0,002	200-300	250-400
Schlackengranulation	190	1-5	0,5-2	< 0,001	< 20	< 10

Quelle: Unternehmensinformationen Unternehmen L1, 1998

Der Gehalt an PCDD/PCDF im gesamten Abgas der Anlage liegt unter 0,1 ng-TE/Nm³. In Tabelle 4.6-5 sind Schadstoffkonzentrationen im Abwasser der QSL-Anlage angegeben.

Tabelle 4.6-5: Abwasseranfall der Fallstudie L1

Prozeßeinheit	Menge [m³/a]	Menge [m³/h]	Hauptkomponenten [mg/l]						
			Pb	Cd	As	Zn	Ni	AOX	COD
Kläranlage	90.000	10	0,1	< 0,05	< 0,05	0,3	< 0,05	< 0,1	20

Quelle: Unternehmensinformationen Unternehmen L1, 1998

Einen Überblick über anfallende Nebenprodukte und Reststoffe gibt Tabelle 4.6-6.

Tabelle 4.6-6: Nebenprodukte und Reststoffe der Fallstudie L1

Prozeßeinheit	Nebenprodukte/Reststoffe	Menge [t/a]	Verwendung/Behandlung
Schlackengranulation	Granulierte Schlacke	50.000	Straßenbau
Gasreinigung	Filterstaub	k.A.	Recycling zum Schmelzreaktor Entfernung von Kadmium und Chlor
	Kalomel	2-5	Nebenprodukt zum Verkauf
	Abhitze	k.A.	Energieerzeugung
Schwefelsäureanlage	Schwefelsäure	60.000	Nebenprodukt zum Verkauf
Raffination	Doré Metalle (Silber, ..)	250	Wird behandelt und/oder verkauft
Kadmiumlaugung	Zink-Kadmium-Karbonat	100-150	Entsorgung
Kläranlage	Schlämme	k.A.	Entsorgung

Quelle: Unternehmensinformationen Unternehmen L1, 1998

Sirosmelt-Anlage (Fallstudie L2)

Unternehmen L2 betreibt eine Anlage auf Basis des Sirosmelt-Prozesses. Die Anlage ist schematisch in Abbildung 4.6-3 dargestellt, Produktions- und Verbrauchsdaten werden in Tabelle 4.6-7 angegeben.

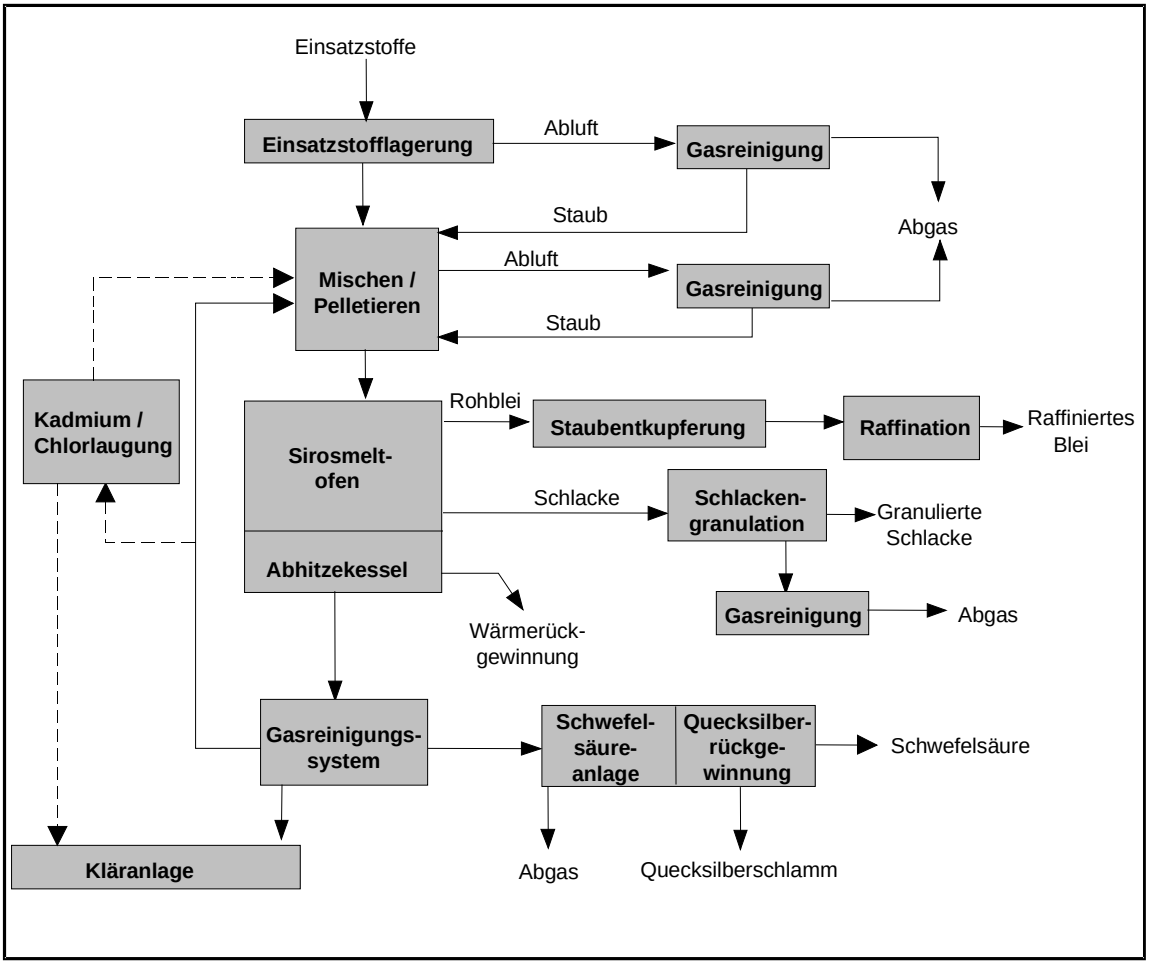

Abbildung 4.6-3: Schematische Darstellung einer Sirosmelt-Anlage (Fallstudie L2)

Tabelle 4.6-7: Verbrauchs- und Produktionsdaten der Fallstudie L2

Input *)	[t/a]	**Output** *)	[t/a]
Batteriebleipaste, andere	82.000	Blei	90.000
Bleikonzentrate	40.000	Schwefelsäure	25.000
Recycelter Flugstaub	34.000	Schlacke	10.000
Zuschläge	3.500	quecksilberhaltige Reststoffe	20
Kohle oder Koks	7.100	Flugstaub (wird zum Ofen zurückgeführt)	34.000
Sauerstoff	13.300		

*): Daten stammen aus der Projektierungsphase

Tabelle 4.6-8 zeigt die Emissionen nach Abgas-/Abluftreinigung dieser Anlage.

Tabelle 4.6-8: Emissionen der Fallstudie L2 nach Abgas-/Abluftreinigung

Prozeßeinheit	Menge [Nm³/h]	Hauptkomponenten [mg/Nm³] Staub	Pb	Cd	SO_2	NO_x
Lagerung/Vorbereitung der Einsatzstoffe	118.000	< 0,5	< 0,1	< 0,01	-	-
Reingas (Schwefelsäureanlage)	35.000	-	-	-	300-1.300	15-52
Schlackengranulation/Ofenareal	110.000	1-2	< 1	< 0,01	-	-
Raffination	66.000	< 0,5	< 0,3	< 0,01	-	-

Quelle: Unternehmensinformationen Unternehmen L2

Das Abwasser wird gemeinsam mit dem Abwasser einer benachbarten Zinkelektrolyseanlage in einer zentralen Kläranlage gereinigt. In Tabelle 4.6-9 sind die Schadstoffkonzentrationen im Abwasser dieser Anlage zusammengestellt.

Tabelle 4.6-9: Abwasseranfall der Fallstudie L2

Prozeßeinheit	Menge [m³/a]	Menge [m³/h]	Hauptkomponenten [mg/l] Pb	Cd	As	Zn	AOX	COD
Kläranlage	340.000	45-50	0,01-0,09	0,001-0,01	0,001-0,1	0,01-0,2	0,004-0,2	50-200

Quelle: Unternehmensinformationen Unternehmen L2, 1998

In Tabelle 4.6-10 wird ein Überblick über anfallende Nebenprodukte, Reststoffe und deren Verwertung gegeben.

Tabelle 4.6-10: Nebenprodukte und Reststoffe der Fallstudie L2

Prozeßeinheit	Nebenprodukte/Reststoffe	Menge [t/a]	Verwendung/Behandlung
Gasreinigungssystem	Filterstaub	34.000*)	Internes Recycling zum Reaktor
Kadmium-/Chlorlaugung	EGR-Staub	k.A.	Internes Recycling
Schwefelsäureanlage	Schwefelsäure	25.000	Nebenprodukt zum Verkauf
	Quecksilberreststoff	20	Internes Recycling
Schlackenbehandlung	Granulierte Schlacke	10.000	Straßenbau, Beton
Kläranlage	Schlämme	200**)	Entsorgung

*) Etwa 20 % des Staubs werden gelaugt, der entstehende Filterkuchen wird zum Reaktor zurückgeführt.

**) In diesem Wert sind die Reststoffe aus der Abwasserbehandlung der Zinkelektrolyseanlage enthalten.

Quelle: Unternehmensinformationen Unternehmen L2, 1998

4.6.3.2 Einsatzstoffe und Emissionen der Bleierzeugung aus Sekundärmaterialien im Schachtofen

Unternehmen L5, ein Tochterunternehmen eines Batterieherstellers, betreibt eine Recyclinganlage für Blei-Säure-Batterien mittels eines Schachtofens. In Abbildung 4.6-4 ist der Prozeß dargestellt. Tabelle 4.6-11 gibt einen Überblick über Verbrauchs- und Produktionsdaten zur groben Charakterisierung des Prozesses.

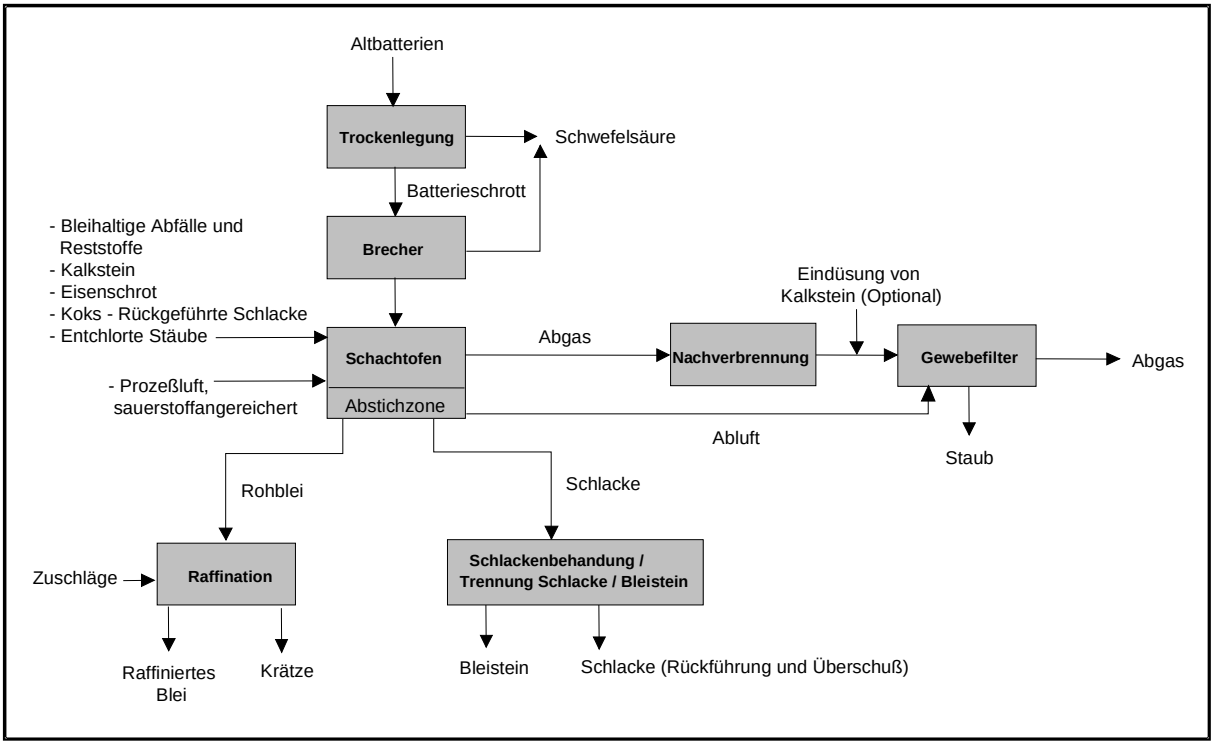

Abbildung 4.6-4: Schematische Darstellung einer Schachtofenanlage (Fallstudie L5)

Tabelle 4.6-11: Verbrauchs- und Produktionsdaten der Fallstudie L5

Inputs	[t/a]	**Outputs**	[t/a]
Altbatterien, trocken	33.000	Rohblei	30.000
Bleischrott, Abfall	9.600	Flugstaub	950
Zuschläge (Kalk)	450	Schlackenüberschuß	1.500
Koks	3.600	Rückgeführte Schlacke	16.000-18.000
Andere Einsatzstoffe (Eisen)	2.000	Bleistein	4.200
Schlacke (Rückführung)	k.A.	Verbrauchte Schwefelsäure	3.350
Sauerstoff	*1,3 Mio. Nm³*		
Bleikarbonat (aus der Flugstaubbehandlung)	1.200		
Erdgas	*450.000 m³*		
elektrische Energie	*3.200 MWh*		

Quelle: Unternehmensinformationen Unternehmen L5, 1998

Tabelle 4.6-12 zeigt die Emissionen nach Abgas-/Abluftreinigung der Schachtofenanlage L5.

Tabelle 4.6-12: Emissionen der Fallstudie L5 nach Abgas-/Abluftreinigung

	Menge	**Hauptkomponenten** [mg/Nm³]				
Prozeßeinheit	[Nm³/h]	**Staub**	**Pb**	**Cd**	**SO_2**	**NOx**
Gasreinigungssystem	65.000	< 1,0	< 0,5	< 0,05	< 500	< 50

Quelle: Unternehmensinformationen Unternehmen L5, 1998

Eingeleitete Abwässer dieser Anlage stammen aus der zentralen Kläranlage, in der alle Abwässer wie Reinigungswasser und Regenwasser behandelt werden. Gereinigtes Wasser, das

nicht intern benötigt wird, wird abgegeben. Angaben über die Schadstoffkonzentration im Abwasser werden in Tabelle 4.6-13 dargestellt.

Tabelle 4.6-13: Abwasseranfall der Fallstudie L5

Prozeßeinheit	Menge [m³/a]	Menge [m³/h]	Hauptkomponenten [mg/l]					pH
			Pb	Cd	Fe	Zn	Cu	
Kläranlage	17.000	k.A.	< 0,2	< 0,1	< 0,5	< 0,3	< 0,1	6,5-8,5

Quelle: Unternehmensinformationen Unternehmen L5, 1998

Tabelle 4.6-14 gibt einen Überblick über anfallende Nebenprodukte und Reststoffe.

Tabelle 4.6-14: Nebenprodukte und Reststoffe der Fallstudie L5

Prozeßeinheit	Nebenprodukte/Reststoffe	Menge [t/a]	Verwendung/Behandlung
Batteriebehandlung	Gebrauchte Batteriesäure	3.350	Externes Recycling
Schachtofen	Schlacke	1.500	Internes Recycling/ Straßenbau
	Flugstaub	950	Externes/Internes Recycling
	Bleistein	4.200	Nebenprodukt zum Verkauf an primäre Bleierzeuger
Raffination	Bleikrätze	3.100	Nebenprodukt zum Verkauf zur Metallrückgewinnung

Stand der Daten: 1997/98

Quelle: Unternehmensinformationen Unternehmen L5, 1998

4.6.3.3 Einsatzstoffe und Emissionen der Bleierzeugung aus Sekundärmaterialien im Kurztrommelofen

Kurztrommelofenanlage (Fallstudie L4)

Abbildung 4.6-5 zeigt eine schematische Ansicht der bei Unternehmen L4 betriebenen Kurztrommelofenanlage. Eine Besonderheit dieser Anlage ist die Integration einer modernen Sonderabfallverbrennungsanlage am gleichen Standort. In Tabelle 4.6-15 ist ein Überblick über Verbrauchs- und Produktionsdaten der Kurztrommelofenanlage zusammengestellt.

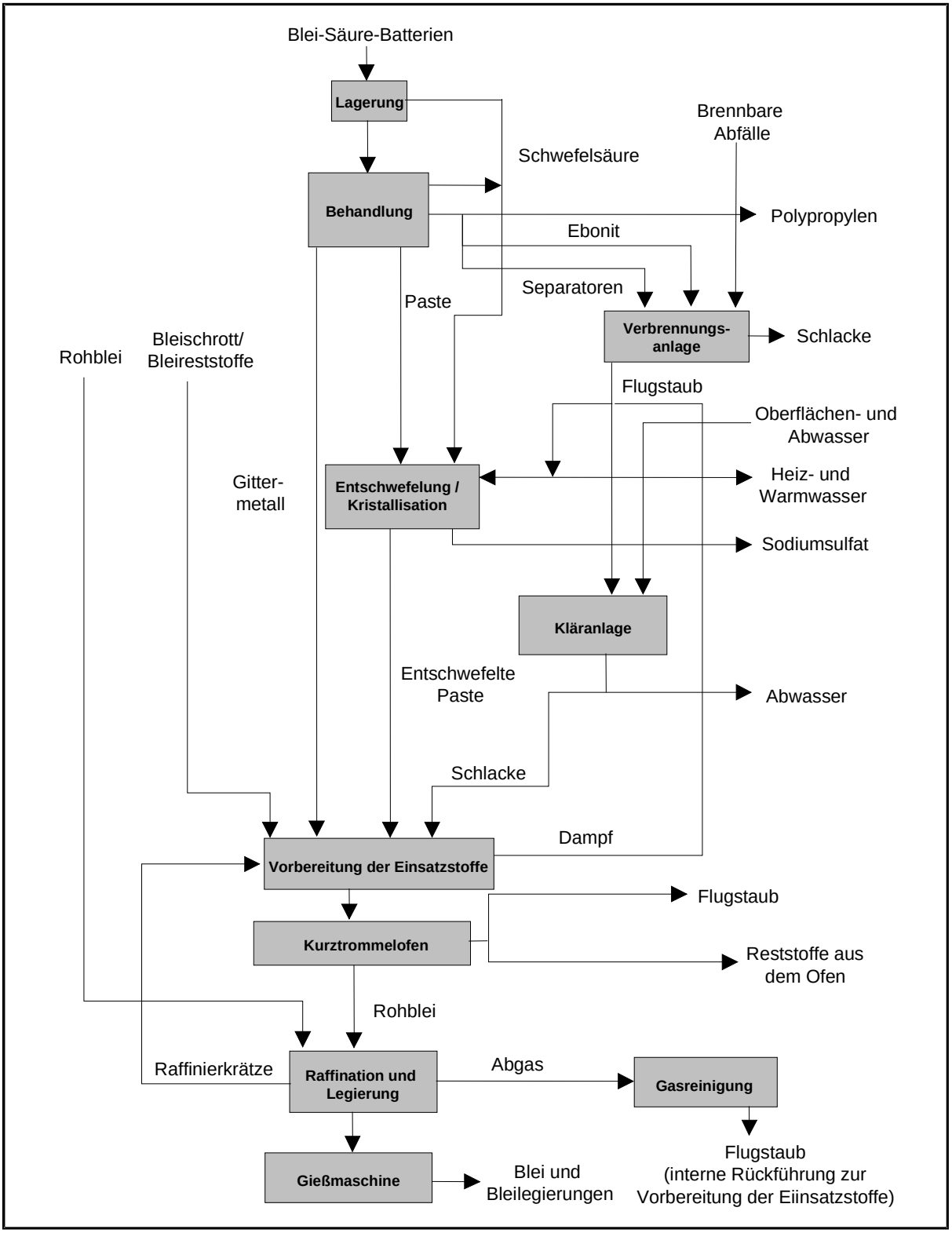

Abbildung 4.6-5: Schematische Darstellung einer KTO-Anlage (Fallstudie L4)

Quelle: Behrendt et al. [7]

Tabelle 4.6-15: Verbrauchs- und Produktionsdaten der Fallstudie L4

Input*)			Output*)		
Sekundäre Einsatzstoffe	[t/t Pb]	1,41	Produkte		
davon: Batterieschrott	[%]	79,0	Blei und Bleilegierungen	[t/t Pb]	1
Andere Materialien	[%]	3,8	Sodiumsulfat	[t/t Pb]	0,096
Rohblei, Bleischrott	[%]	16,6	Polypropylenchips	[t/t Pb]	0,051
Flugstaub aus Verbrennungsanlage	[%]	0,6	Abfälle		
Reagentien	[t/t Pb]	0,307	Plastikreststoffe	[t/t Pb]	0,108
davon: NaOH	[%]	49,8	Metallurgische Schlacke	[t/t Pb]	0,18
Stahlspäne	[%]	9,4	Andere: Abgase	[Nm³/t Pb]	37.000
Petrolkoks	[%]	17,6			
Soda	[%]	23,1			
Andere: Elektrische Energie	[MWh/t Pb]	0,20			
Erdgas	[MWh/t Pb]	0,73			
Dampf	[MWh/t Pb]	0,84			

*) Alle Werte auf eine Tonne erzeugten Bleis oder Bleilegierungen bezogen (inkl. Raffination); Stand der Daten: 1997

Quelle: Unternehmensinformationen Unternehmen L4, 1998

Tabelle 4.6-16 zeigt die Emissionen nach Abgas-/Abluftreinigung der Kurztrommelofenanlage L4.

Tabelle 4.6-16: Emissionen der Fallstudie L4 nach Abgas-/Abluftreinigung

Prozeßeinheit	Menge [Nm³/t Pb]	Hauptkomponenten [g/t Pb]				
		Staub	Pb	SO_2	NOx	HCl
Trommelöfen (A + B), Raffination	45.000	31	7	1.070	370	k.A.
Sonderabfallverbrennungsanlage	2.000	3	1,8	43	396	k.A.

Quelle: Unternehmensinformationen Unternehmen L4, 1998

1996 wurden 190.000 m³ gereinigtes Abwasser aus der Kläranlage abgeleitet. Die Angaben in Tabelle 4.6-17 umfassen die Schadstoffe im gereinigten Abwasser und im Oberflächenwasser.

Tabelle 4.6-17: Abwasseranfall der Fallstudie L4

Prozeßeinheit	Menge [m³/a]	Spezifische Menge [m³/t Pb]	Hauptkomponenten [g/t Pb]						
			Pb	Cd	As	Zn	Ni	COD	AOX
Kläranlage	190.000	4,3	1,4	0,09	0,5	1,6	0,7	225	0,4

Quelle: Unternehmen L4

In Tabelle 4.6-18 wird ein Überblick über anfallende Nebenprodukte und Reststoffe gegeben.

Tabelle 4.6-18: Nebenprodukte und Reststoffe der Fallstudie L4

Prozeßeinheit	Nebenprodukte/Reststoffe	Menge [t/a]	Verwendung/Behandlung
Kristallisationsanlage	Sodiumsulfat	4.300	Nebenprodukt zum Verkauf
Batterienbehandlung	PP Granulat	2.300	Nebenprodukt zum Verkauf
	Plastikreststoffe	4.900	Abfallverbrennungsanlage
	Schlacke	8.100	Recycling, Entsorgung
Trommelöfen	Flugstäube	n. a.	Internes Recycling

Quelle: Unternehmensinformationen Unternehmen L4, 1998

Kurztrommelofenanlage (Fallstudie L6)

Unternehmen L6 betreibt eine Kurztrommelofenanlage. Eine schematische Ansicht der Anlage ist in Abbildung 4.6-6 dargestellt, in Tabelle 4.6-19 wird ein Überblick über Verbrauchs- und Produktionsdaten gegeben.

Tabelle 4.6-19: Verbrauchs- und Produktionsdaten der Fallstudie L6

Input*)			Output*)		
Sekundäre Einsatzmaterialien	[t/t Pb]	2,12	Produkte		
davon: Batterieschrott	[%]	63	Blei und Bleilegierungen	[t/t Pb]	1
Andere Materialien	[%]	21	Batteriepaste	[t/t Pb]	0,5
Rohblei, Bleischrott	[%]	16	Polypropylenkomponenten	[t/t Pb]	0,14
Reagentien	[t/t Pb]	0,14	Abfälle		
davon: Stahlspäne	[%]	46	Plastikreststoffe	[t/t Pb]	0,035
Petrolkoks	[%]	32	Schlacke	[t/t Pb]	0,23
Soda	[%]	22	Andere: Abgase	[Nm³/t Pb]	k.A.
Andere: Elektrische Energie	[MWh/t Pb]	0,26			
Erdgas	[MWh/t Pb]	1,19			
PP Chips (extern)	[t/t Pb]	0,04			

*) Alle Werte sind auf eine Tonne erzeugten Bleis oder Bleilegierungen bezogen (inkl. Raffination); Stand der Daten: 1997

Quelle: Unternehmensinformationen Unternehmen L6, 1998

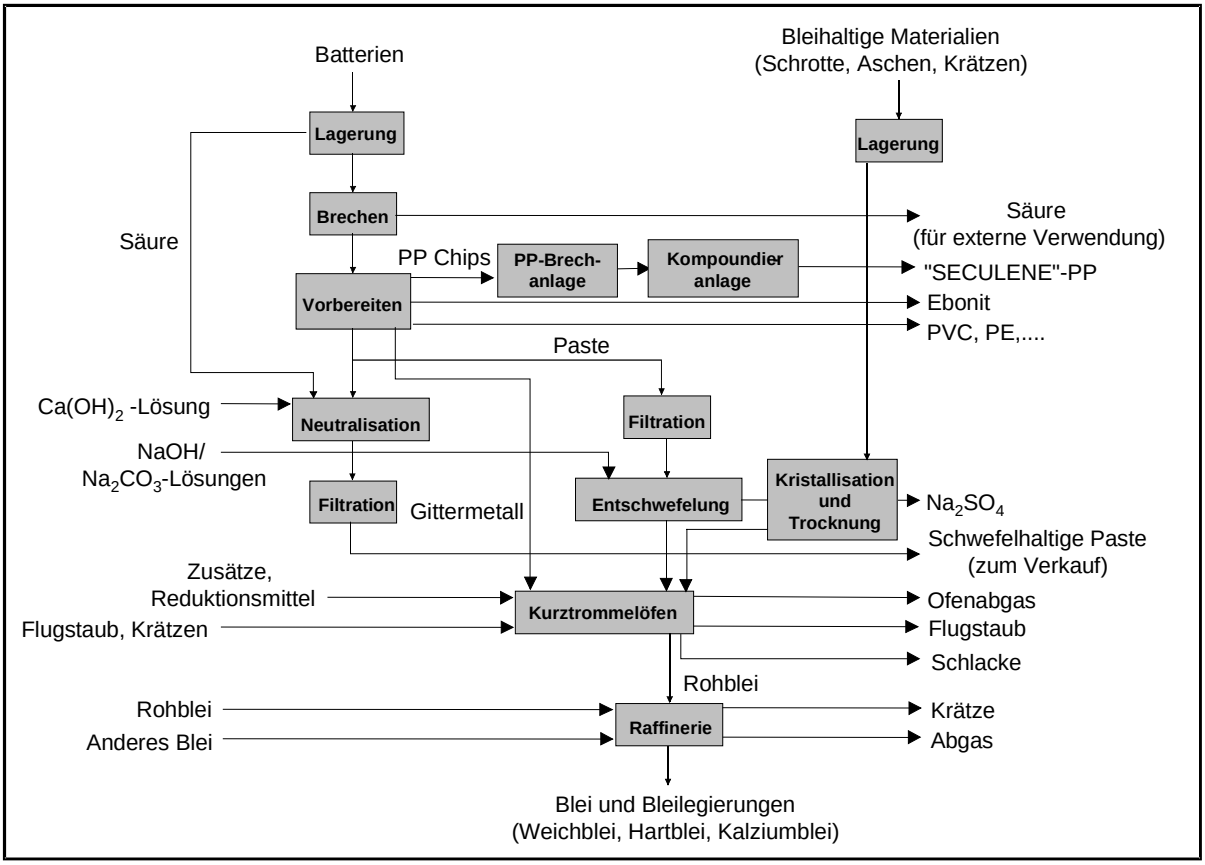

Abbildung 4.6-6: Schematische Darstellung einer KTO-Anlage (Fallstudie L6)

Quelle: Unternehmensinformationen Unternehmen L6, 1998

Tabelle 4.6-20 zeigt die Emissionen nach Abgas-/Abluftreinigung der Recyclinganlage L6, die Schadstoffkonzentrationen im Abwasser der Anlage sind in Tabelle 4.6-21 zusammengestellt.

Tabelle 4.6-20: Emissionen der Fallstudie L6 nach Abgas-/Abluftreinigung

	Menge	**Hauptkomponenten** [g/t Pb]					
Prozeßeinheit	[Nm³/t Pb]	**Staub**	**Pb**	**Cd**	**SO_2**	**NOx**	**HCl**
Trommelöfen (1-4)	9.600	< 10-100	2-10	0,001-0,01	< 2.000	200-500	50-200
Abgas (Ofenareal, Raffinerie,...)	21.000	2,1-69	0,2-2	0,4-8	< 440	k.A.	10-20

Quelle: Unternehmensinformationen Unternehmen L6

Tabelle 4.6-21: Schadstoffkonzentrationen im Abwasser der Fallstudie L6

	Menge/ Jahr	**Menge/ Stunde**	**Hauptkomponenten** [mg/l]						
Prozeßeinheit	[m³/a]	[m³/h]	**Pb**	**Cd**	**As**	**Zn**	**Ni**	**COD**	**AOX**
Kläranlage[1)]	110.000	12,7	0,12	0,06	0,05	0,14	0,1	13	0,52

[1)]: Keine produktionsspezifischen Abwässer, nur Oberflächenwasser; jährlicher Mittelwert

Quelle: Unternehmensinformationen Unternehmen L6, 1998

In Tabelle 4.6-22 wird ein Überblick über Nebenprodukte und Reststoffe der Anlage gegeben.

Tabelle 4.6-22: Nebenprodukte und Reststoffe der Fallstudie L6

Prozeßeinheit	**Nebenprodukt/Reststoff**	**Menge** [t/a]	**Verwendung/Behandlung**
Compoundieranlage	PP-Compounds	4.800	Nebenprodukt zum Verkauf
Batterienbehandlung	Sulfidische Paste	17.000	Verkauf an Primärhütten
	Plastikreststoffe	1.200	Entsorgung
Trommelöfen	Schlacke	7.800	Recycling, Entsorgung
	Flugstäube	k.A.	Internes Recycling

Quelle: Unternehmensinformationen Unternehmen L6, 1998

Kurztrommelofenanlage (Fallstudie L7)

Haupteinsatzstoffe der von Unternehmen L7 betriebenen Kurztrommelofenanlage sind gebrauchte Blei-Säure-Batterien als Batterieschrott. Eine schematische Ansicht der Anlage zeigt Abbildung 4.6-7, Verbrauchs- und Emissionswerte sind in Tabelle 4.6-23 zusammengestellt.

Tabelle 4.6-23: Verbrauchs- und Produktionszahlen der Fallstudie L7

Inputs	[t/a]	**Outputs**	[t/a]
Batterieschrott	65.000	Raffiniertes Blei und Legierungen	28.000
Batterieplatten	4.000	Batteriepaste	32.500
Bleischrott	6.000	Polypropylen	2.750
		Ebonit und Separatoren	3.500
		Schlacke	3.300

Quelle: Unternehmensinformationen Unternehmen L7, 1998

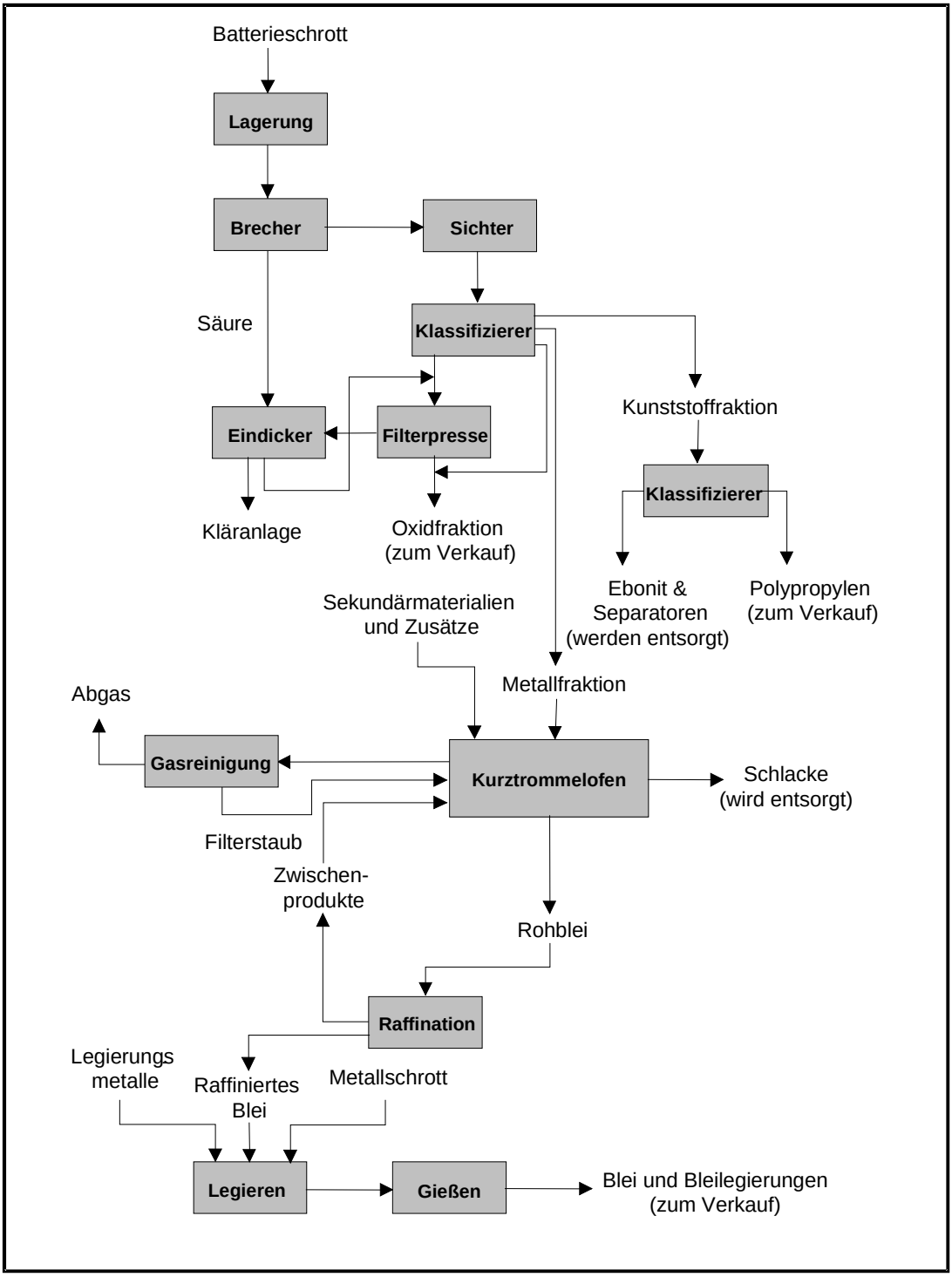

Abbildung 4.6-7: Schematische Darstellung einer KTO-Anlage (Fallstudie L7)

Tabelle 4.6-24 zeigt die kontrollierten Emissionen der Kurztrommelofenanlage L7.

Tabelle 4.6-24: Emissionen der Fallstudie L7 nach Abgas-/Abluftreinigung

Prozeßeinheit	Menge [Nm³/h]	Hauptkomponenten [mg/Nm³] Staub	Pb	NOx	SO_2
Kurztrommelofen und Raffinationsanlage	126.000	1,8	0,4	15	105

Quelle: Unternehmensinformationen Unternehmen L7, 1998

Eine typische Analyse der Schadstoffe im Abwasser der Anlage ist in Tabelle 4.6-25 zu finden.

Tabelle 4.6-25: Schadstoffkonzentrationen im abgeleiteten Abwasser der Fallstudie L7

Prozeßeinheit	Menge/ Jahr [m³/a]	Menge/ Stunde [m³/h]	Hauptkomponenten [mg/l]						
			Pb	Cd	As	Zn	Ni	COD	AOX
Kläranlage	124.000	k.A.	0,02	0,07	< 0,001	0,27	0,09	k.A.	0,2

Quelle: Unternehmensinformationen Unternehmen L7, 1998

Sowohl die Fraktion der Separatoren und des Ebonits aus der Batterieverarbeitungsanlage als auch die Schlacke des Kurztrommelofens werden auf einer eigenen Deponie entsorgt. Bei der Reinigung der Abwässer in einer Kläranlage fallen Schlämme an, die aus der Neutralisation der Schwefelsäure Gips enthalten. Dieser Schlamm wird zur Weiterverarbeitung an Primärhütten verkauft.

Kurztrommelofenanlage (Fallstudie L8)

Haupteinsatzstoffe der Anlage L8 sind bleihaltige Materialien, die zum Teil aus der benachbarten Produktion von Bleiakkumulatoren stammen. In Tabelle 4.6-26 wird ein Überblick über Verbrauchs- und Produktionsdaten der von Unternehmen L8 betriebenen Kurztrommelofenanlage gegeben.

Tabelle 4.6-26: Verbrauchs- und Produktionsdaten der Fallstudie L8

Inputs	[t/a]	Outputs	[t/a]
Bleihaltige Materialien	12.000	Rohblei	10.000
Sodiumkarbonat	920	Krätze	2.100
Kohle	290	Bleihaltiger Flugstaub	240
Öl	828	Schlacke	2.000
Sauerstoff	$2 \cdot 10^6$ m^3	Beladener Adsorber	87
Beladener Adsorber	87		
Kalkadditiv	40		
Bleihaltige Flugstäube	240		
Antimon, Antimonlegierungen	370		
Pyrit	73		

Quelle: Unternehmensinformationen Unternehmen L8

In Tabelle 4.6-27 sind die kontrollierten Emissionen der Kurztrommelofenanlage L8 zusammengestellt.

Tabelle 4.6-27: Emissionen der Fallstudie L8 nach Abgas-/Abluftreinigung

Prozeßeinheit	Menge [Nm³/h]	Hauptkomponenten [mg/Nm³] Staub	Pb	Cd	SO_2
Gasreinigung des Kurztrommelofens	k.A.	5-10	0,08-0,15	k.A.	30-50

Quelle: Unternehmensinformationen Unternehmen L8, 1998

Die in Tabelle 4.6-28 aufgeführten genehmigten Grenzwerte der Schadstoffkonzentrationen im Abwasser der Anlage sind Maximalwerte, die mit den tatsächlich auftretenden Konzentrationen weit unterschritten werden.

Tabelle 4.6-28: Genehmigte Schadstoffkonzentrationen im Abwasser der Fallstudie L8

Prozeßeinheit	Menge [m³/a]	Menge [m³/h]	Hauptkomponenten [mg/l] Pb	Cd	As	Zn	Ni	COD	AOX
Kläranlage	150.000	40	0,4	0,01	< 0,001	0,01	< 0,05	96	0,25

Quelle: Unternehmensinformationen Unternehmen L8

Als Reststoff müssen bei dieser Anlage pro Jahr 2.000 t Ofenschlacke entsorgt werden. Andere Nebenprodukte wie Filterstäube, beladener Adsorber und Bleikrätze werden intern recycelt.

Weitere Kurztrommelofenanlagen

Unternehmen L9 erzeugt mit seiner Kurztrommelofenanlage pro Jahr etwa 15.000 t Rohblei aus Bleischrotten und gebrauchten Blei-Säure-Batterien. Der Bleischrott wird zusammen mit den trockengelegten Batterien und Zuschlägen im Trommelofen verarbeitet. Hauptprodukte sind Blei-Antimon-Legierung, gebrauchte Schwefelsäure, Bleistein, Schlacke und Staub.

Bei Unternehmen L10 werden auch Trommelöfen zur Erzeugung von Blei verwendet. Als Ausgangsstoffe werden hier hauptsächlich Schrotte und gebrauchte Batterien eingesetzt. Eine schematische Ansicht der Anlage ist in Abbildung 4.6-8 dargestellt.

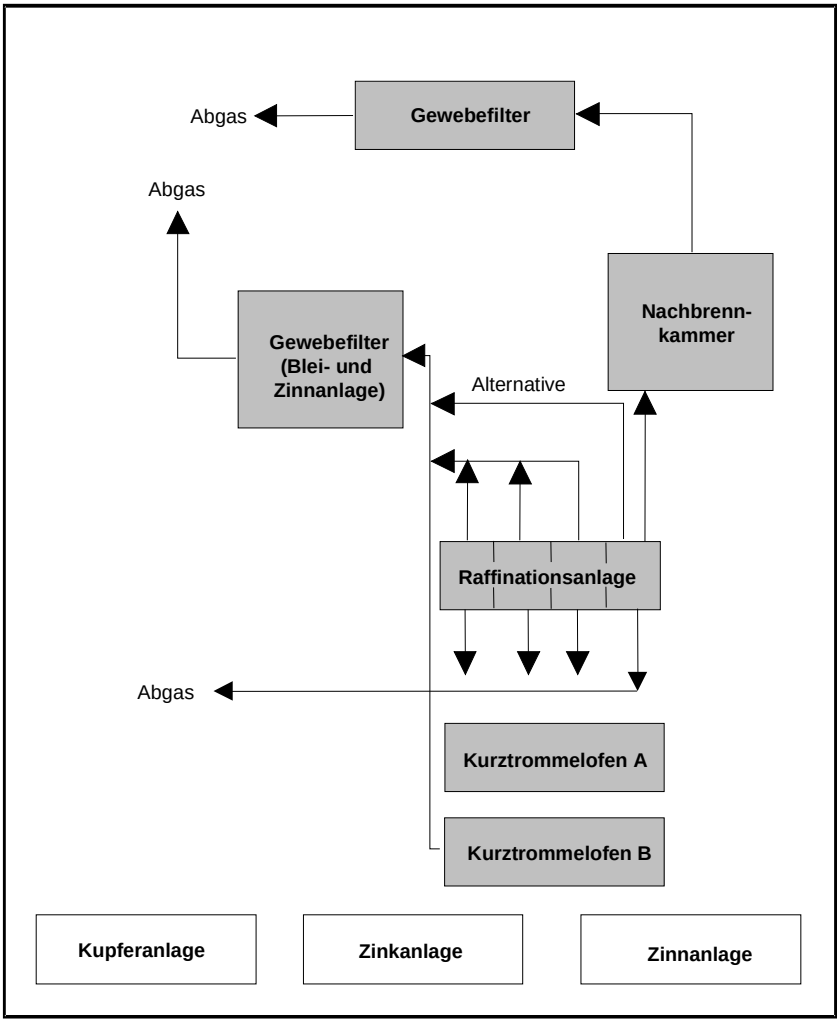

Abbildung 4.6-8: Schematische Darstellung einer Bleirecyclinganlage (Fallstudie L10)

4.6.4 Kandidaten für beste verfügbare Techniken zur Bleierzeugung

In diesem Abschnitt wird eine Liste mit Kandidaten für BVT zur Bleierzeugung in Deutschland vorgestellt, außerdem werden Emissionswerte genannt, die mit den aufgeführten Techniken erreichbar sind. Da in dieser Studie nur in Deutschland betriebene Prozesse und Techniken behandelt werden, stellen die BVT- Kandidaten die Situation in Deutschland dar. Andere Kombinationen von Techniken und Emissionsminderungsmaßnahmen, die in Europa betrieben werden, waren nicht Gegenstand der Untersuchung.

QSL-Prozeß-Anlage[30]

Tabelle 4.6-29: Kandidaten für BVT zur Verminderung von Emissionen in die Luft bei der QSL-Prozeß-Anlage

Nr.	Minderungstechniken	Beurteilung (Auswirkungen, Anwendbarkeit...)
Prozeßeinheit(en): Rohstoffvorbereitung		
a1	Hauben	Fassen von Emissionen, Vorbeugung diffuser Emissionen
a2	Gewebefilter	Abgasentstaubung
Prozeßeinheit(en): QSL-Reaktor/Gasreinigungssystem		
b1	Prozeßgasreinigung mit Kühlung Heißgas-EGR und Naß-EGR	Abgasentstaubung
b2	Weitere Abgasreinigung (Boliden/Norzink-Prozeß)	Abscheidung gasförmigen Quecksilbers
b3	Weitere Abgasbehandlung in Schwefelsäureanlage	Rückgewinnung von Schwefel
b4	Hauben und komplette Einhausung der Rohblei-/Schlackeöffnungen	Fassen von Emissionen, Vorbeugung diffuser Emissionen
b5	Gewebefilter zur Abgasreinigung	Abschließende Abgasreinigung
Prozeßeinheit(en): Schwefelsäureanlage		
d1	Doppelkontaktanlage	Umsetzung von SO_2 mit einer Effizienz von über 99,6%
Prozeßeinheit(en): Schlackebehandlung		
d1	Hauben	Fassen von Emissionen, Vorbeugung diffuser Emissionen
d2	Naß-EGR	Abschließende Abgasreinigung
Prozeßeinheit(en): Kadmiumlaugungsanlage		
e1	Säurelaugung	Laugung von Kadmium und Chloriden zur Begrenzung der Rezirkulation im Prozeß
Prozeßeinheit(en): Raffination		
siehe Bleiraffinationsanlage		

Tabelle 4.6-30: Kandidaten für BVT zur Wasserverbrauchsminderung und zur Abwasserbehandlung bei der QSL-Prozeß-Anlage

Nr.	Techniken	Beurteilung (Auswirkungen, Anwendbarkeit...)
w1	Zentrale Kläranlage	-
w2	Interne Prozeßwassernutzung	Verminderung des Frischwasserverbrauchs und der Abwassermenge
w3	Rezirkulation von Kühlwasser	Verminderung des Frischwasserverbrauchs

[30] Weitere Informationen zu den Kandidaten für BVT werden im „*Report on BAT in German Zinc and Lead Production*“ genannt (vgl. Ergänzungsband 2). Dieser Bericht wurde in die europäischen Arbeiten eingebracht und ist Bestandteil des vom EIPPCB im Juli 1999 vorgelegten Entwurfs eines BREF für die TWG Non-ferrous Metals Processes.

Tabelle 4.6-31: Kandidaten für BVT zum Reststoffrecycling sowie zur Abfallvermeidung/-behandlung bei der QSL-Prozeß-Anlage

Nr.	Techniken	Beurteilung (Auswirkungen, Anwendbarkeit...)
s1	Schlackengranulation	Granulierte Schlacke kann für verschiedene Anwendungen eingesetzt werden (u.a. im Baubereich)
s2	Laugung der Flugstäube	Abscheidung von Kadmium und Rückgewinnung als Kadmiumkarbonat
s3	Interne Rezirkulation der Laugungsrückstände	Rückgewinnung von Blei
s4	Entkupferung des Rohbleis	Abscheidung von Kupfer zur späteren Rückgewinnung
s5	Rückgewinnung des Quecksilbers aus dem Röstgas	Erzeugung von Kalomel, dessen ist jedoch begrenzt

Tabelle 4.6-32: Kandidaten für BVT zur Verminderung des Energieverbrauchs und Wärmerückgewinnung bei der QSL-Prozeß-Anlage

Nr.	Techniken	Beurteilung (Auswirkungen, Anwendbarkeit...)
h1	Abhitzekessel zur Wärmerückgewinnung aus dem Ofenabgas	Dampferzeugung
h2	Erzeugung elektrischer Energie	Interne Nutzung zum Betrieb der Anlage

Tabelle 4.6-33: Erreichbare Emissionswerte für Emissionen in die Atmosphäre nach Abgas-/Abluftreinigung (Hauptquellen) bei der QSL-Prozeß-Anlage

Prozeßeinheit	Emissionswert [mg/Nm³]	Abgasvolumenstrom [Nm³/h] / [Nm³/t Pb]	Emissionsfracht [g/t Pb]
Rohstoffvorbereitung	Staub: 1-2 Pb: 0,2-1 Cd: 0,005-0,05 NO_x: 10-20*) SO_2: 5-200*)	220.000 / 20.000	Staub: 20-40 Pb: 4-20 Cd: 0,1-1 No_x: 200-400*) SO_2: < 600*)
Schwefelsäureanlage	Staub: < 1 Pb: 0,001-0,02 Cd: 0,001-0,002 NO_x: 250-400 SO_2 200-300	20.000 / 1.900	Staub: < 2 Pb: < 0,1 Cd: < 0,01 NO_x: 500-750 SO_2: 400-600 SO_3: 200
Schlackebehandlung	Staub: 1-5 Pb: 0,5-2 Cd: < 0,001 NO_x: < 10 SO_2: < 20	190 / 20	Staub: 0,02-0,1 Pb: Spuren Cd: Spuren NO_x: < 0,2 SO_2: Spuren

*) Emissionen von SO_2 und NO_x entstehen während Raffinationsschritten.

Tabelle 4.6-34: Erreichte Emissionswerte für die Einleitung von Abwasser bei der QSL-Prozeß-Anlage

Element	Emissionswert [mg/l]	Fracht [g/t Pb]	Element	Emissionswert [mg/l]	Fracht [g/t Pb]
Cu	0,01	< 0,01	As	< 0,05	< 0,05
Pb	0,2	< 0,18	Ni	< 0,05	< 0,05
Zn	0,3	< 0,27	Cr	< 0,05	< 0,05
Cd	< 0,05	< 0,05	Sulphide	< 0,1	< 0,09
Hg	< 0,001	< 0,001	AOX	< 0,1	< 0,09

Typische Abwasserströme bei der QSL-Prozeß-Anlage betragen etwa 10 m³/h.

Sirosmelt Anlage

Tabelle 4.6-35: Kandidaten für BVT zur Verminderung von Emissionen in die Luft bei der Sirosmelt Anlage

Nr.	Minderungstechniken	Beurteilung (Auswirkungen, Anwendbarkeit...)
Prozeßeinheit(en): Rohstoffvorbereitung		
a1	Komplette Einhausung der Lagerung und Hauben, geschlossene Förderbänder	Fassen von Emissionen, Vorbeugen diffuser Emissionen
a2	Gewebefilter	Abgasentstaubung
Prozeßeinheit(en): QSL Reaktor/Gasreinigungssystem		
b1	Prozeßgasreinigung mit Kühlung Heißgas-EGR und Naß-EGR	Abgasentstaubung
b2	Weitere Abgasreinigung (Boliden/Norzink-Prozeß)	Rückgewinnung von Schwefel
b3	Weitere Abgasbehandlung in der Schwefelsäureanlage	Abschließende Abgasreinigung
b4	Hauben und komplette Einhausung der Rohblei/Schlackenöffnungen	Fassen von Emissionen, Vorbeugung diffuser Emissionen
b5	Hochvakuumentstaubungseinheit	Vorbeugung diffuser Emissionen
Prozeßeinheit(en): Schwefelsäureanlage		
d1	Doppelkontaktanlage	Umsetzung des SO_2 mit einer Effektivität von über 99.6%
d2	*Boliden Chemie Prozeß* zur Quecksilberentfernung	Abscheidung von Quecksilber
Prozeßeinheit(en): Schlackebehandlung		
d1	Hauben	Fassen von Emissionen, Vorbeugung diffuser Emissionen
d2	Naß-EGR	Abschließende Gasreinigung
Prozeßeinheit(en): Kadmiumlaugungsanlage		
e1	Säurelaugung	Abtrennung von Chlor und Kadmium und Abscheidung von $CdCO_3$
Prozeßeinheit(en): Raffination		
siehe Bleiraffinationsanlage		

Tabelle 4.6-36: Kandidaten für BVT zur Wasserverbrauchsminderung und zur Abwasserbehandlung bei der Sirosmelt Anlage

Nr.	Techniken	Beurteilung (Auswirkungen, Anwendbarkeit...)
w1	Zentrale Kläranlage	-
w2	Interne Verwendung von Regen- und Prozeßwasser	Verminderung des Frischwasserverbrauchs und der Abwassermenge
w3	Rezirkulation von Kühlwasser	Verminderung der Kühlwassermenge und der Wärmeabgabe an den Fluß

Tabelle 4.6-37: Kandidaten für BVT zum Reststoffrecycling sowie zur Abfallvermeidung/-behandlung bei der Sirosmelt Anlage

Nr.	Techniken	Beurteilung (Auswirkungen, Anwendbarkeit...)
s1	Schlackengranulation	Granulierte Schlacke findet Anwendung in verschiedenen Bereichen
s2	Interne Rezirkulation der Hauptmenge des Flugstaubs	Bleirückgewinnung
s3	Interne Laugung des verbleibenden Flugstaubs	Abtrennung von Chlor und Kadmium und Abscheidung von Kadmiumkarbonat
s4	Interne Rezirkulation der Laugungsreststoffe	Rückgewinnung von Blei
s5	Entkupferung des Rohbleis	Rückgewinnung kupferhaltiger Produkte zur weiteren Behandlung
s6	Rückgewinnung von Quecksilber aus der Schwefelsäure	Erzeugung von Quecksilberschlamm zur weiteren Behandlung und Kalomelerzeugung in der Zinkanlage

Tabelle 4.6-38: Kandidaten für BVT zur Verminderung des Energieverbrauchs und Wärmerückgewinnung bei der Sirosmelt Anlage

Nr.	Techniken	Beurteilung (Auswirkungen, Anwendbarkeit...)
h1	Abhitzekessel zur Wärmerückgewinnung aus dem Ofenabgas	Dampferzeugung (wird u.a. für Heizzwecke eingesetzt)
h2	Sauerstoffanreicherung des Windes	Verminderung des Energieverbrauchs beim Schmelzen

Tabelle 4.6-39: Erreichbare Emissionswerte für Emissionen in die Atmosphäre nach Abgas-/Abluftreinigung (Hauptquellen) bei der Sirosmelt Anlage

Prozeßeinheit	**Emissionswert** *) [mg/Nm³]		**Abgasvolumenstrom** [Nm³/h] / [Nm³/t Pb]	**Emissionsfracht** [g/t Pb]	
Rohstoffvorbereitung	Staub: Pb: Cd:	0,002-0,068 < 0,001-0,030 << 0,001	118.000 / 10.500	Staub: Pb: Cd:	0,14 0,05 < 0,001
Schwefelsäureanlage	NO_x: SO_2:	2,5-15,0 300-700	35.000 / 3.100	NO_x: SO_2:	30 1.560
Schlackebehandlung/ Ofenbereich / Entkupferung	Staub: Pb: Cd: SO_2:	0,18-3,6 0,1-2,2 << 0,001-0,017 40-600	110.000 / 9.800	Staub: Pb: Cd: SO_2	9,6 5,9 0,03 3.150
Raffination	Staub: Pb: Cd: NO_x:	0,001-0,15 < 0,001-0,11 Spuren Spuren	66.000 / 5.900	Staub: Pb: Cd: NO_x:	0,3 0,1 << 0,001 Spuren

*) Zur Einhaltung von Emissionsgrenzwerten müssen die angegebenen Emissionswerte um etwa 3-10 mal niedriger als die entsprechenden Grenzwerte sein.

Tabelle 4.6-40: Erreichte Emissionswerte für die Einleitung von Abwasser bei der Sirosmelt Anlage

Element	**Emissionswert** *) [mg/l]	**Fracht** [g/t Pb]	**Element**	**Emissionswert** *) [mg/l]	**Fracht** [g/t Pb]
Cu	k.A.	k.A.	As	< 0,001-0,1	< 0,03
Pb	0,01-0,5	< 0,02	Ni	k.A.	k.A.
Zn	0,01-0,4	< 0,04	Cr	k.A.	k.A.
Cd	< 0,005	< 0,001	Sulphide	< 0,001-0,01	< 0,01
Hg	< 0,001	< 0,001	AOX	0,004-0,13	< 0,04

*) Zur Einhaltung von Emissionsgrenzwerten müssen die angegebenen Emissionswerte um etwa 10 mal niedriger als die entsprechenden Grenzwerte sein.

Schachtofenanlage zum Batterierecycling

Tabelle 4.6-41: Kandidaten für BVT zur Verminderung von Emissionen in die Luft bei der Schachtofenanlage zum Batterierecycling

Nr.	Techniken	Beurteilung (Auswirkungen, Anwendbarkeit...)
Prozeßeinheit(en): Rohstoffvorbereitung		
a1	Befeuchtung der Einsatzmaterialien	Vorbeugung diffuser Emissionen
a2	Geschlossene bzw. überdachte Lagerung	Vorbeugung diffuser Emissionen
a3	Entfernung von Teilen der Abfallsäure	Verminderung des Schwefelgehalts der Inhaltsstoffe
Prozeßeinheit(en): Schachtofen/Gasreinigung		
b1	Sekundärhauben am Abstich	Fassen diffuser Emissionen
b2	Gasreinigungssystem mit Nachbrennkammer (Minimum: 850°C, typisch: 1.100°C), trockenes Quenchen mit sekundären Abgasen, Gewebefilter	Entfernung von Hydrokarbonaten und Staub
b3	Sauerstoffanreicherung der Prozeßluft	Verminderung des Abgasvolumens und Erzeugung von Flugstaub
b4	Eindüsung von Kalziumhydroxid, falls notwendig	Vorbeugung gegen Schwefeldioxidemissionsspitzen
Prozeßeinheit(en): Raffination		
siehe Bleiraffinationsanlage		

Tabelle 4.6-42: Kandidaten für BVT zur Wasserverbrauchsminderung und zur Abwasserbehandlung bei der Schachtofenanlage zum Batterierecycling

Nr.	Techniken	Beurteilung (Auswirkungen, Anwendbarkeit...)
w1	Angemessene Abwasserbehandlung	-
w2	Interne Verwendung des behandelten Abwassers	Verminderung des Frischwasserverbrauchs und der Abwassermenge
w3	Rezirkulation des Schachtofenkühlwassers	Verminderung des Frischwasserverbrauchs

Tabelle 4.6-43: Kandidaten für BVT zum Reststoffrecycling sowie zur Abfallvermeidung/-behandlung bei der Schachtofenanlage zum Batterierecycling

Nr.	Techniken	Beurteilung (Auswirkungen, Anwendbarkeit...)
s1	Abtrennung, Sammlung, Behandlung und Wiederverwendung der Abfallsäure	Abfallsäure kann in vielen Anwendungen Frischsäure ersetzen, falls ein Markt besteht
s2	Externe Behandlung des Steins	Rückgewinnung von Schwefel, Blei und Kupfer
s3	Externe Laugung des Schachtofenstaubs	Entfernung von Chloriden und Erzeugung von Bleikarbonat
s4	Internes Recycling des Schachtofenstaubs	Rückgewinnung des Bleis
s5	Internes Recycling der Schachtofenschlacke als Rücklaufschlacke	Die Rücklaufschlacke wird zur Porositätseinstellung der Materialsäule benötigt
s6	Externe Verwendung der verbleibenden Schachtofenschlacke	Wird als Sekundärbaustoff eingesetzt
s7	Verwendung raffinierter Krätzen (intern/extern)	Rückgewinnung von Blei und anderen Materialien

Tabelle 4.6-44: Kandidaten für BVT zur Verminderung des Energieverbrauchs und Wärmerückgewinnung bei der Schachtofenanlage zum Batterierecycling

Nr.	Techniken	Beurteilung (Auswirkungen, Anwendbarkeit...)
h1	Sauerstoffanreicherung der Prozeßluft	Erhöhung der Energieeffizienz

Tabelle 4.6-45: Erreichbare Emissionswerte für Emissionen in die Atmosphäre nach Abgas-/Abluftreinigung (Hauptquellen) bei der Schachtofenanlage zum Batterierecycling

Prozeßeinheit	Emissionswert*) [mg/Nm³]	Abgasvolumenstrom [Nm³/h] / [Nm³/t Pb] 1)	Emissionsfracht [g/t Pb]1)
Schachtofen/Gasreinigung/ Raffination	Staub: 0,2-2,0 Pb: 0,1-1,0 Cd: 0,002-0,05 No_x: 20-150 SO_2: 300-800	60.000 / 16.000	Staub: < 7 Pb: < 4 Cd: < 0,08 NO_x: < 600 SO_2: < 9.000

*) Zur Einhaltung von Emissionsgrenzwerten müssen die angegebenen Emissionswerte um etwa 3-10 mal niedriger als die entsprechenden Grenzwerte sein.

Tabelle 4.6-46: Erreichte Emissionswerte für die Einleitung von Abwasser bei der Schachtofenanlage zum Batterierecycling

Element	Emissionswert *) [mg/l]	Fracht [g/t Pb]	Element	Emissionswert *) [mg/l]	Fracht [g/t Pb]
Cu	0,01-0,05	< 0,01	As	0,001-0,01	< 0,001
Pb	0,05-0,5	< 0,08	Ni	0,02-0,2	< 0,05
Zn	0,05-0,8	< 0,10	Cr	0,005-0,05	< 0,006
Cd	0,01-0,15	< 0,05	Sulphide	0,005-0,1	< 0,006
Hg	< 0,001	<< 0,001			

*) Zur Einhaltung von Emissionsgrenzwerten müssen die angegebenen Emissionswerte um etwa 3-10 mal niedriger als die entsprechenden Grenzwerte sein. Typische Abwasserströme bei Schachtofenanlagen zum Batterierecycling betragen etwa 2 m³/h.

Kurztrommelofenanlage mit Batterieaufbereitung (MA, Engitec oder CX)

Nach der Aufbereitung der Batterien sind die beiden folgenden Verfahrenswege zu unterscheiden: Typ A - Einschmelzen des Gittermetalls und externe Verwertung der Batteriepaste, Typ B - Entschwefelung der Batteriepaste, Einschmelzen von Gittermetall und Paste und Produktion von Natriumsulphat.

Tabelle 4.6-47: Kandidaten für BVT zur Verminderung von Emissionen in die Luft bei der Kurztrommelofenanlage mit Batterieaufbereitung

Nr.	Techniken	Beurteilung (Auswirkungen, Anwendbarkeit...)
Prozeßeinheit(en): Rohstoffvorbereitung/Batteriebehandlung		
a1	Geschlossene bzw. überdachte Lagerung (Typ A+B)	Vorbeugung diffuser Emissionen
Prozeßeinheit(en): Drehofen/Abgasreinigungssystem		
b1	Ofeneinhausung (Typ A+B)	Vorbeugung diffuser Emissionen
b2	Gewebefilter zur Abgasreinigung (Typ A+B)	Entstaubung
Prozeßeinheit(en): Raffination		
siehe Bleiraffinationsanlage		

Tabelle 4.6-48: Kandidaten für BVT zur Wasserverbrauchsminderung und zur Abwasserbehandlung bei der Kurztrommelofenanlage mit Batterieaufbereitung

Nr.	Techniken	Beurteilung (Auswirkungen, Anwendbarkeit...)
w1	Angemessene Abwasserbehandlung (Typ A+B)	-
w2	Rezirkulation des Prozeßwassers der Hydroseparation (Typ A+B)	Verminderung des Frischwasserverbrauchs

Tabelle 4.6-49: Kandidaten für BVT zum Reststoffrecycling sowie zur Abfallvermeidung/-behandlung bei der KTO-Anlage mit Batterieaufbereitung

Nr.	Techniken	Beurteilung (Auswirkungen, Anwendbarkeit...)
s1	Trennung von Ebonit, PVC and Polypropylen (Typ A + B)	Rückgewinnung der Polypropylenchips als Nebenprodukt, Verwendung der Reststoffe zur Energiegewinnung, Vermeidung von Chloreinsatz im metallurgischen Prozeß, Vermeidung des Schwefeleinsatzes aus dem Ebonit im metallurgischen Prozeß
s2	Sammlung und (interne) Behandlung der Abfallsäure (Typ A + B)	-
s3	Agglomeration und Recycling des Flugstaubs (Typ A + B)	Interne Behandlung zur Rückgewinnung von Blei
s4	Compoundation von Polypropylen (Typ A + B)	Erzeugung eines absetzbaren Produkts
s5	Entschwefelung der Paste (Typ B)	Erzeugung eines wasserfreien Sodiumsulfats als Nebenprodukt Internes Recycling der entschwefelten Paste
s6	Externes Recycling der Batteriepaste (Typ A)	Rückgewinnung von Blei und Schwefel, falls die Paste in einer modernen Bleischmelzanlage verarbeitet wird
s7	Internes Recycling von Schlämmen aus der Abwasserbehandlung (Typ A + B)	Rückgewinnung von Blei

Tabelle 4.6-50: Kandidaten für BVT zur Verminderung des Energieverbrauchs und Wärmerückgewinnung bei der KTO-Anlage mit Batterieaufbereitung

Nr.	Techniken	Beurteilung (Auswirkungen, Anwendbarkeit...)
h1	Trennung des Kunststoffmaterials (Typ A + B)	Rückgewinnung von Polypropylen mit einem Energiegehalt von 3.000 MJ/t Pb Rückgewinnung anderer Kunststoffe mit einem Energiegehalt von 3.000 MJ/t Pb
h2	Wärmerückgewinnung (Ofenabgas) (Typ A+B)	Dampferzeugung zur internen Nutzung

Tabelle 4.6-51: Erreichbare Emissionswerte für Emissionen in die Atmosphäre nach Abgas-/Abluftreinigung bei der KTO-Anlage mit Batterieaufbereitung

Prozeßeinheit	Emissionswert [mg/Nm³]		Abgasvolumenstrom [Nm³/h] / [Nm³/t Pb] *)	Emissionsfracht [g/t Pb]*)	
Drehofen (Typ A + B)/ Raffination	Staub: Pb: Cd NO_x: SO_2:	0,5-4 0,2-1 < 0,005 5-20 50-150	150.000-250.000 / 30.000-45.000	Staub: Pb: Cd NO_x: SO_2:	15-80 5-25 < 0,2 200-500 2.500-4.000

*) Pro Tonne erzeugtem Blei / Werkblei

Tabelle 4.6-52: Erreichte Emissionswerte für die Einleitung von Abwasser bei der KTO-Anlage mit Batterieaufbereitung

Element	Emissionswert [mg/l]	Fracht [g/t Pb]	Element	Emissionswert [mg/l]	Fracht [g/t Pb]
Cu	0,01	< 0,05	As	0,07	< 0,3
Pb	0,12-0,2	0,4-0,7	Ni	< 0,1	< 0,4
Zn	0,2	< 0,7	Cr	< 0,05	< 0,2
Cd	0,05	< 0,2	Sulphide	< 0,2	< 0,7
Hg	< 0,001	<< 0,01	AOX	0,06-0,2	0,2-0,7

Abwasserströme bei diesen KTO-Anlagen liegen etwa in der Bandbreite 12,5-25 m³/h (bzw. 3,5-4,5 m³/t Pb).

Bleiraffinationsanlage

Tabelle 4.6-53: Kandidaten für BVT für Bleiraffinationsanlagen

Nr.	Techniken	Beurteilung (Auswirkungen, Anwendbarkeit...)
	Kandidaten BVT zur Verminderung von Emissionen in die Luft	
a1	Absaugung/Haubensystem für Raffinationskessel	Fassen von Emissionen
a2	Gewebefilter zur Abgasreinigung	Entstaubung
a3	Abziehmaschine zur Entfernung von Krätzen und Schlacken	Vorbeugung diffuser Emissionen
	Kandidaten BVT zum Reststoffrecycling sowie zur Abfallvermeidung/-behandlung	
s1	Internes oder externes Recycling von Krätzen und Ansätzen	Abfallminimierung und Metallrückgewinnung

4.7 Zusammenfassung des BVT-Positionspapiers „Primäre und Sekundäre Kupfererzeugung“

Im vorliegenden Unterkapitel 4.7 wird die Struktur der deutschen Kupferindustrie dargestellt und die angewandte Produktionstechnologie analysiert. Auf Grundlage dieser Untersuchungen werden Kandidaten für beste verfügbare Techniken zur Kupfererzeugung und -verarbeitung vorgeschlagen. Anhand von Fallstudien werden der Verbrauch an Einsatzstoffen und entstehende Emissionen bei der Erzeugung und Weiterverarbeitung von Kupfer dokumentiert.[31]

4.7.1 Informationen zur Branche

Die wesentlichen Anwendungsfelder des Werkstoffs Kupfer sind neben der Bauindustrie, der Telekommunikation und der Energieversorgung vor allem der Maschinenbau und die Transport- und Konsumgüterindustrie. Kupfer zeichnet sich durch eine hohe Beständigkeit und lange Gebrauchsfähigkeit aus und kann ohne Qualitätsverlust recycelt werden. Der weltweite Verbrauch des Metalls rangiert an zweiter Stelle der Nichteisenmetalle nach Aluminium. In Europa liegt der Verbrauch derzeit bei etwa 3 Mio. t. Deutschland ist im weltweiten Vergleich sowohl bedeutender Produzent als auch einer der größten Verbraucher von Kupfer. 1996 wurden hier 671.000 t erzeugt, während 955.000 t verbraucht wurden. In Tabelle 4.7-1 sind die in den letzten Jahren in Deutschland produzierten Mengen gegliedert nach verschiedenen Produkten und Qualitäten zusammengestellt.

Tabelle 4.7-1: Kupferproduktion in Deutschland

Produkt	**1992** [t]	**1993** [t]	**1994** [t]	**1995** [t]	**1996** [t]
Raffiniertes Cu gesamt	581.682	632.079	591.859	616.387	670.790
davon feuerraffiniert	*111.139*	*91.794*	*87.694*	*78.915*	*78.374*
elektrolytisch raffiniert	*470.543*	*540.285*	*504.165*	*537.472*	*592.361*
Cu-Gußlegierungen	58.805	52.542	57.502	58.047	53.916
Halbzeug, Cu und Cu-Legierungen	1.470.411	1.340.371	1.456.476	1.530.288	1.460.761
Leitermaterial	606.948	521.103	516.469	549.302	582.645
Gußerzeugnisse, Cu und Cu-Legierungen	89.427	71.988	81.068	86.842	73.768
Cu-Pulver	10.490	9.414	10.416	11.130	11.158

Quelle: Bundesamt für Wirtschaft [15]

Da Deutschland über fast keine Erzreserven geeigneter Qualität verfügt, hat das Recycling von Kupfer eine lange Tradition. So läßt sich der im internationalen Vergleich hohe Stellenwert der Kupfererzeugung aus Sekundärmaterialien erklären, der 1996 bei etwa 46 % lag und damit den weltweiten Durchschnitt von 40 % überstieg [88].

[31] Dieses Unterkapitel ist eine Zusammenfassung des BVT-Positionspapiers „*Report on BAT in German Copper Production*“, das vollständig im Ergänzungsband 1 zu diesem Abschlußbericht enthalten ist.

Im Bereich Kupfererzeugung sind in Deutschland im wesentlichen drei Unternehmen tätig. In Tabelle 4.7-2 sind detaillierte Informationen zu diesen Unternehmen zusammengestellt.

Tabelle 4.7-2: Daten zur Kupfererzeugung in Deutschland

Unternehmen	Norddeutsche Affinerie Aktiengesellschaft, Hamburg	Hüttenwerke Kayser AG, Lünen	Mansfelder Kupfer und Messing GmbH, Hettstedt
Primäre Kupfererzeugung	Schwebeschmelzofen, Elektroofen zur Schlackenreinigung, Kupferkonverter, Anodenofen	-	-
Sekundäre Kupfererzeugung	Elektroofen, Kupferkonverter, Contimelt-Anlage, Schrottkonverter/ Mischzinnanlage	Schachtofen, Schrottkonverter, Anodenflammofen, Mischzinnanlage	Schachtofen, Schrottkonverter, Anodenherdschachtofen, Drehofenanodenanlage
Elektrolyse	ISA-Technologie	ISA-Technologie	Konventionelle Technologie
Weiterverarbeitung	Kontinuierliche Gießmaschine, Walzwerk zur Gießdrahterzeugung	-	Kathodenschachtofen, Kontinuierliche Gießmaschine, Walzwerk zur Gießdrahterzeugung
Rohstoffverbrauch[t/a]	1,2 Mio	250,000	k.A.
Art der Rohstoffe	primäre und sekundäre Rohstoffe	sekundäre Rohstoffe	k.A.
Produktionskapazität für Kupferkathoden [t/a]	380.000	170.000	k.A.
Produktionskapazität für Gießdraht [t/h]	100	-	k.A.
Hauptnebenprodukte	Schwefelsäure, Schlacke, Edelmetalle, Blei	Zinkoxid, Zink-Bleilegierungen, Anodenschlamm, Kupfersulfat, Nickelsulfat, Schlacke	k.A.
Zertifikate	ISO 9002	ISO 9002, ISO 14001 EG Öko-Audit	k.A.

Die Norddeutsche Affinerie AG betreibt eine Anlage zur Primärerzeugung und eine Anlage zur Sekundärerzeugung von Kupfer, die Hüttenwerke Kayser AG und die Mansfelder Kupfer und Messing GmbH betreiben Anlagen zur Verarbeitung von Sekundärmaterialien. Die Weiterverarbeitung von Kupfer erfolgt in einer Reihe von Unternehmen. Einige davon haben Kapazitäten von nur wenigen Jahrestonnen, andere Kapazitäten bis zu 350.000 Tonnen pro Jahr.

Die Standorte deutscher Anlagen zur Kupfererzeugung und der größten Anlagen zur Weiterverarbeitung sind in Abbildung 4.7-1 dargestellt.

Abbildung 4.7-1: Standorte von Anlagen zur Kupfererzeugung und Weiterverarbeitung in Deutschland

Tabelle 4.7-3 enthält eine Zusammenstellung von Produkten und Kapazitäten der größten deutschen Unternehmen der Kupferweiterverarbeitung.

Tabelle 4.7-3: Daten zu Unternehmen der Weiterverarbeitung von Kupfer in Deutschland

Unternehmen	Standort	Produktion (1996) [t/a]	Produktionslinien	Mitarbeiter
Deutsche Gießdraht GmbH	Emmerich	225.000 (1997)	Gießwalzdraht	k.A.
Friedrich Kemper GmbH & Co KG, Kupfer und Drahtwerke	Duisburg	k.A.	Stangen, Profile und Vordraht, Bänder/Profile, Gießwalzdraht	k.A.
MKM Mansfelder Kupfer und Messing GmbH, Hettstedt	Hettstedt	170.000	Bleche, Platten, Stangen, Profile und Vordraht, Bänder, Folie, Rohr, Draht	1.100
Norddeutsche Affinerie Aktiengesellschaft	Hamburg	350.000	Gießwalzdraht, Knüppel, Stangen, Profile	2.100
Wieland Werke AG	Ulm, Vöhringen	307.000	Bleche, Bänder, Rohr, Stangen, Draht, Profile, geripptes Rohr	3.800
KM Europa Metal AG	Osnabrück	225.000	Rohr, Bänder, Bleche, Spezialerzeugnisse	2.380
	Berlin	63.000	Messingprodukte (Rohr, Draht, Profile)	420
Schwermetall GmbH	Stolberg	261.000	Bleche	318
Prym	Stolberg	58.000	Bänder, Bleche, Draht	417
Sundwinger Messingwerk	Hemer	12.000	Bänder, Bleche	450
Lacroix & Kress GmbH	Bramsche	k.A.	Gießwalzdraht, Draht	k.A.

4.7.2 Angewandte Produktionsprozesse und Emissionsminderungsmaßnahmen

In diesem Abschnitt wird ein Überblick über angewandte Produktionsprozesse zur Erzeugung von Kupfer und über Prozesse zur Herstellung von Halbzeug aus Kupfer und Kupferlegierungen gegeben.

4.7.2.1 Abgrenzung des Untersuchungsumfangs

Die Studie umfaßt Produktionsprozesse der primären und sekundären Kupfererzeugung mit einem Schwerpunkt auf in Deutschland angewandte Prozesse. Die primäre und die sekundäre Kupfererzeugung werden weitgehend getrennt betrachtet. Aufgrund des hohen Integrationsgrades bei Anlagen, die sowohl primäre als auch sekundäre Einsatzmaterialien verarbeiten, kann diese Trennung jedoch nicht immer aufrecht erhalten werden. Das Papier behandelt nur die Schritte der Kupfererzeugung, die normalerweise direkt im Werk durchgeführt werden: Die Vorbereitung und Behandlung der Ausgangsmaterialien, der Schmelzprozeß und die Raffination des erzeugten Rohmetalls[32]. Vorangestellte Prozesse der Primärkupfererzeugung wie der Abbau und das Brechen, Mahlen und Anreichern der Erze, die am Abbauort durchgeführt

[32] Der Abbau und die Aufarbeitung der Erze wird nicht mehr in Deutschland und auch nur an wenigen Orten innerhalb der EU durchgeführt.

werden, werden nicht behandelt. Zusätzlich zur Kupfererzeugung wird auf Anlagen zur Weiterverarbeitung des Kupfers zu Halbzeug eingegangen.

4.7.2.2 Darstellung der Primärerzeugung von Kupfer

Kupferkonzentrat, der Ausgangsstoff für die primäre Kupfererzeugung, wird heute nahezu ausschließlich auf pyrometallurgischem Wege[33] verarbeitet. Wichtigste Einsatzstoffe dieses Prozesses sind mit einem Anteil von etwa 85 % sulfidische Konzentrate (Kupfergehalt: 15-45 %). In geringem Maße werden auch oxidisch/sulfidische Mischerze und sehr selten bituminöse Erze verarbeitet. Außer den Konzentraten werden in der Primärkupfererzeugung Flußmittel (Silika, Kalk, Sand, etc.), Additive/Reaktanden (Eisen, Kohlenstoff, etc.) und Recyclingmaterialien (Schrotte, Krätzen, Kalkschlämme, gebrauchte Strahlmittel, Schlacken, Stäube, etc.) eingesetzt. Prozeßschritte der pyrometallurgischen Kupfererzeugung sind in Abbildung 4.7-2 dargestellt[34].

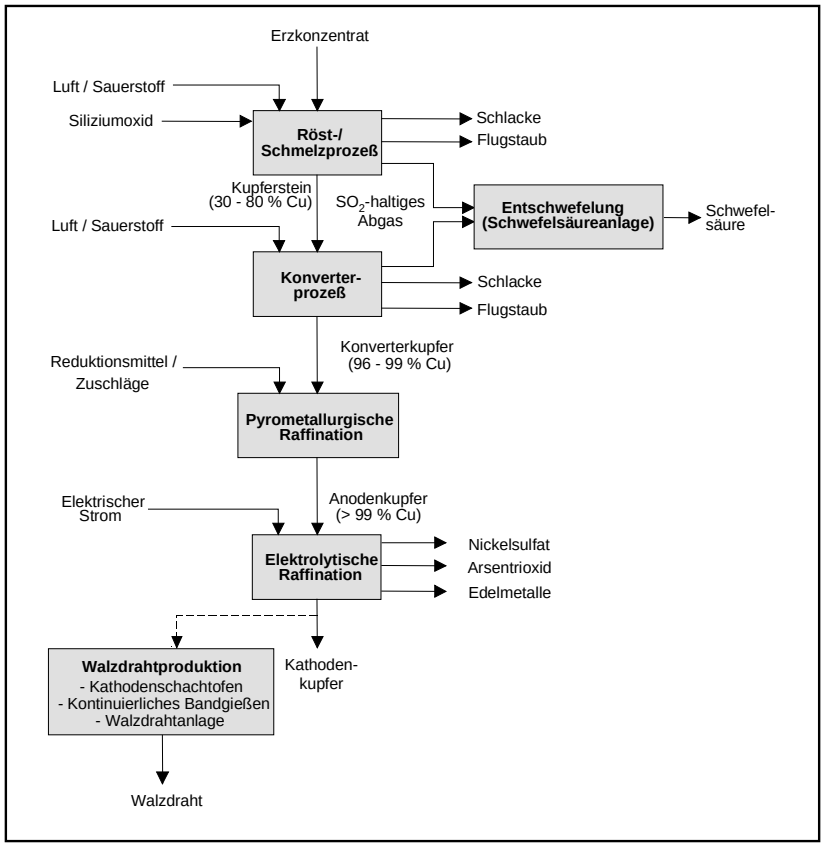

Abbildung 4.7-2: Schematische Darstellung der Primärkupfererzeugung

Quelle: Langner [65]

Beim *Röstprozeß* werden die sulfidischen Erze in oxidierender Atmosphäre erhitzt, um komplexe Sulfide in Kupfer- und Eisensulfide und Eisensulfid in Eisenoxid umzuwandeln. In Europa wird ausschließlich die Methode der partiellen Röstung eingesetzt, bei der 10 % des Ei-

---

33 Hydrometallurgische Verfahren, die nur einen kleinen Teil der weltweiten Kupferproduktion abdecken, finden in Deutschland keine Anwendung.

34 Detaillierte Informationen zur Kupfererzeugung sind in [8], [31], [107] zu finden.

sens und des Schwefels oxidiert werden. Das dabei entstehende Schwefeldioxid wird in einer Kontaktanlage zur Produktion von Schwefelsäure eingesetzt.

Im *Schmelzprozeß* wird geröstetes und ungeröstetes Material[35] mit Schlackenbildnern (Silika, Kalk) unter oxidierenden Bedingungen zu Silikatschlacke und sulfidischem Kupferstein erschmolzen. Der erzeugte Kupferstein (Kupfergehalt: 30-80 %) setzt sich aus Kupfer- und Eisensulfid in unterschiedlichen Anteilen, Edelmetallen und anderen Begleitelementen zusammen. Das während des Schmelzprozesses entstehende Abgas des Ofens enthält einen hohen Anteil an Schwefeldioxid, der in einer Kontaktanlage zu Schwefelsäure umgesetzt wird.

Neben dem Verfahren, bei denen der Röst- und Schmelzprozesse aufeinander folgen, werden Prozesse des *kombinierten Röstens und Schmelzens* eingesetzt. Vorteil dieser Prozesse ist die weitgehende Nutzung des Energieinhaltes der Erzkonzentrate.

Nach dem Schmelzen folgt der *Konverterprozeß* bei dem in einem 2-stufigen Batch-Prozeß Konverterkupfer mit einem Kupfergehalt von 96-99 % erzeugt wird. In der nachfolgenden *pyrometallurgischen Raffination* wird das Konverterkupfer (ebenfalls zweistufig) zu Anodenkupfer mit einer Reinheit von 99 % und einem Sauerstoffgehalt unter 0,1 % umgesetzt und anschließend zu Anoden vergossen. Um die gewünschte hohe Qualität des Kupfers zu erreichen, werden noch verbliebene Verunreinigungen durch eine *elektrolytische Raffination* entfernt. Dieser Schritt liefert ein für die weiterverarbeitende Industrie geeignetes Kupfer mit den geforderten elektrischen und mechanischen Eigenschaften (Reinheitsgrad: ca. 99,99 %).

4.7.2.3 Darstellung der Sekundärerzeugung von Kupfer

Die Sekundärerzeugung von Kupfer dient der Verarbeitung von hauptsächlich metallischen und oxidischen, zu geringen Teilen auch sulfidischen Sekundärmaterialien zu Reinkupfer. Dieses Reinkupfer entspricht in der Qualität dem in der Primärkupferhütte erzeugten Metall. Je nach Metallgehalt und Art der Rohstoffe sind zur Sekundärerzeugung von Kupfer verschiedene Prozeßschritte notwendig (vgl. Abbildung 4.7-3).

[35] Wenn ungeröstetes Material geschmolzen wird, kann ein vorheriger Trocknungsschritt notwendig sein. Über diesen Trocknungsschritt können auch Schlämme der Kläranlage recycelt werden. Die Abgase der Trockner werden in elektrischen Abscheidern gereinigt und einer Naßreinigung unterzogen bzw. gefiltert.

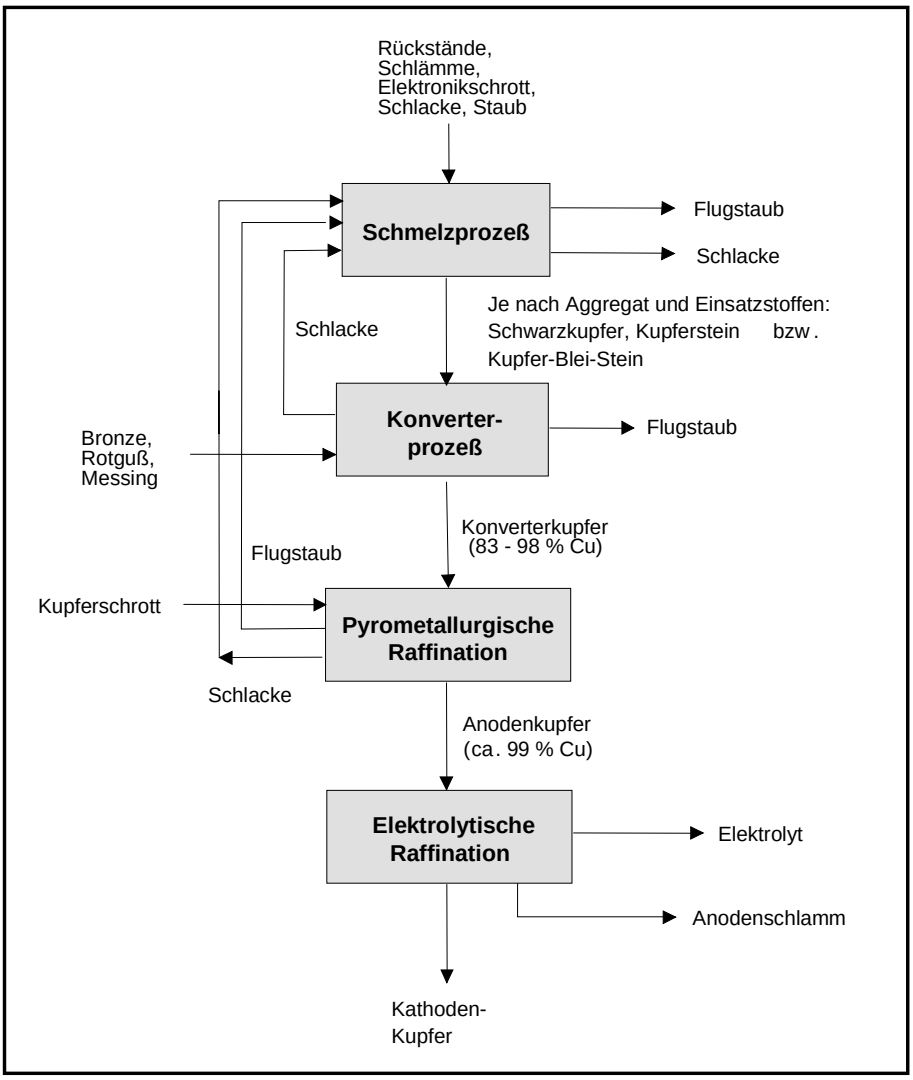

Abbildung 4.7-3: Schematische Darstellung der Sekundärkupfererzeugung

Quelle: In Anlehnung an VDI-Richtlinie 2102 [99]

Der *Schmelzprozeß* dient der Verarbeitung kupfer- und edelmetallhaltiger Sekundärrohstoffe wie kupferreichen Schlacken, Kupferkrätzen und Filter- oder Zyklonstäuben. Unter Zugabe von Zuschlägen und Koks werden diese in Schachtöfen oder Drehkonvertern zu Schwarzkupfer mit einem Kupfergehalt von 70-80 % umgesetzt. Eine neue Technologie ist der Elektroofen. Je nach verarbeitetem Material wird er auf drei verschiedene Arten betrieben:

- Einsatzmaterialien mit einem geringen Kupfergehalt und oxidische/sulfidische Materialien werden zu Kupferstein umgesetzt. Dieser wird in einem Konverter zu Konverterkupfer weiterverarbeitet.
- Einsatzmaterialien mit einem geringen Kupfergehalt und Materialien mit hohem Blei- und Sulfidanteil werden zu Kupfer-Blei-Stein verarbeitet, im Konverter erfolgt die Weiterverarbeitung zu Konverterkupfer.
- Einsatzmaterial mit geringem Kupferanteil und oxidisches Material wird zu Schwarzkupfer verarbeitet.

Bei Einsatz schwefelhaltiger Rohstoffe werden die Abgase in einer Schwefelsäurekontaktanlage weiterverarbeitet.

Neben der Verarbeitung der sulfidischen Phase (Kupferstein) wird der *Konverter* in der Sekundärkupfererzeugung auch für die weitere Anreicherung von metallischen Phasen (Schwarzkupfer) eingesetzt. Als Einsatzmaterialien werden Legierungsschrotte (z.B. Bronze, Rotguß, Messing) und geeignete Cu-Fe-Schrotten sowie Schwarzkupfer verwendet.

Dem Konverterprozeß folgt die *pyrometallurgische Raffination*. Hier werden Konverterkupfer (fest oder flüssig), Kupferaltmaterial und Rückläufe (Anodenreste aus der Elektrolyse) eingesetzt, zu Anodenkupfer mit einer Reinheit von 99 % und einer Sauerstoffkonzentration unter 0,1 % verarbeitet und zu Anoden vergossen. Der Entfernung der noch verbliebenen Begleitelemente des Anodenkupfers wie Blei, Nickel und Edelmetalle dient wie bei der primären Kupfererzeugung die *elektrolytische Raffination*.

4.7.2.4 Darstellung der Weiterverarbeitung von Kupferkathoden

Das Endprodukt der primären und sekundären Kupfererzeugung, das in der Elektrolyse in Form von Kupferkathoden entsteht, ist in dieser Form nicht zur Weiterverarbeitung geeignet und muß daher umgeschmolzen werden. Hierzu werden die im folgenden beschriebenen kontinuierlichen Prozesse zur Gießwalzdrahtproduktion und zur Erzeugung von Halbzeugprodukten aus Kupfer und Kupferlegierungen eingesetzt.

Anlagen zum kontinuierlichen Gießen von Gießwalzdraht

Anlagen zum kontinuierlichen Gießen von Gießwalzdraht können prinzipiell in zwei unterschiedliche Verfahren eingeteilt werden. Beim ersten Verfahren werden Kupferkathoden und recyceltes Kupfer in einem Ofen eingeschmolzen; die entstandene Schmelze wird in einer Gießanlage zu einem kontinuierlichen Strang vergossen, der in einem Warmwalzwerk weiterverarbeitet wird. Beim zweiten Verfahren, dem sogenannten „dip-forming“-Verfahren, wird ein Kerndraht verwendet, der durch ein Bad schmelzflüssigen, sauerstofffreien Kupfers gezogen wird und dabei durch zusätzliches, auf seiner Oberfläche erstarrendes Kupfer im Durchmesser anwächst.

Erzeugung von Halbzeugprodukten aus Kupfer und Kupferlegierungen

Zur Produktion von Halbzeugprodukten (Bänder, Bleche, Rohre, Profile) werden Kupferkathoden, reine Kupferschrotte und Kupferlegierungsschrotte eingesetzt. In Abbildung 4.7-4 ist eine schematische Darstellung dieses Prozesses dargestellt.

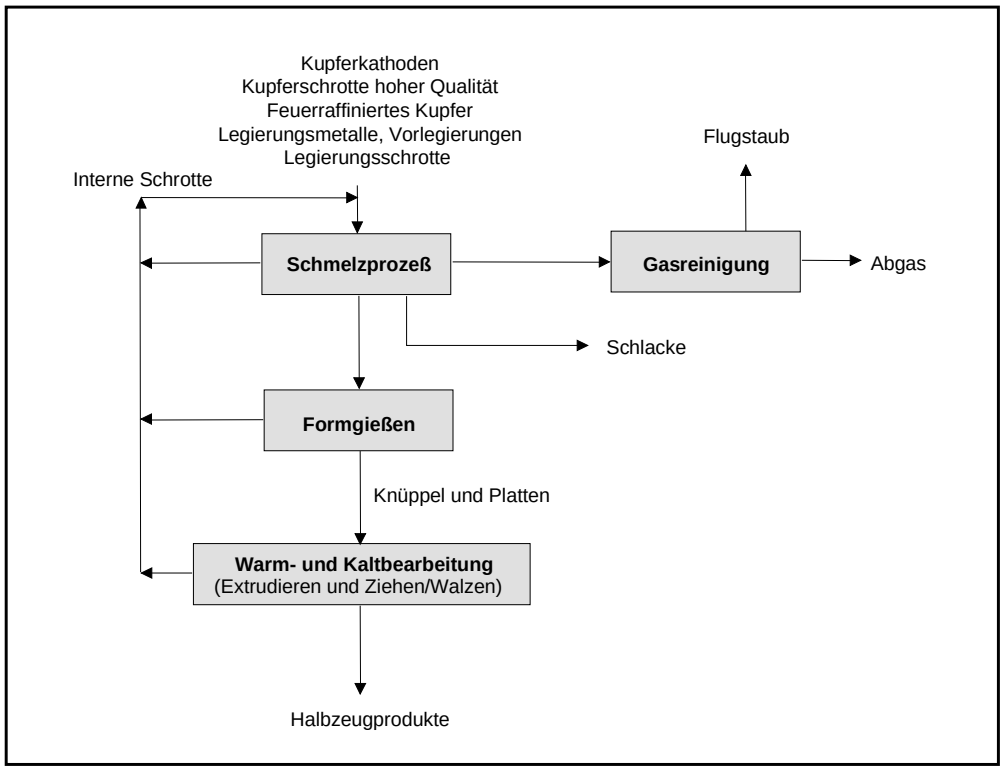

Abbildung 4.7-4: Schematische Darstellung der Erzeugung von Halbzeugprodukten

Wie beim Prozeß der pyrometallurgischen Raffination wird beim *Schmelzprozeß* der Gehalt an Begleitelementen sowie der Gehalt an Sauerstoff reduziert. Das schmelzflüssige Kupfer wird entweder direkt zu einer Gießeinheit geleitet oder wird einem Warmhalteofen zugeführt. In diesem erfolgt die Feineinstellung der Zusammensetzung durch Zugabe von Legierungselementen, bevor das Material in kontinuierlichen oder diskontinuierlichen Gießmaschinen zu Knüppeln oder Platten vergossen wird. Gegossene Platten werden zum Walzen von Blechen und Bändern, Knüppel zur Herstellung von Kupfer- und Kupferlegierungsrohren, Vordraht und Profilen durch Strangpressen oder Walzen eingesetzt.

4.7.3 Verbrauchs- und Emissionswerte angewandter Techniken

In diesem Abschnitt werden in Deutschland betriebene Anlagen vorgestellt und hinsichtlich Verbrauchs- und Emissionswerten charakterisiert.

4.7.3.1 Einsatzstoffe und Emissionen der Kupfererzeugung bei der NA

Die Norddeutsche Affinerie Aktiengesellschaft (NA) ist mit einer jährlichen Produktion von 405.000 Tonnen Kupfer das größte Unternehmen der Kupfererzeugung in Westeuropa und verarbeitet in Deutschland als einziges Unternehmen sowohl Primär- als auch Sekundärmaterialien. Diese werden neben Kathodenkupfer zu einer Vielzahl weiterer Produkte wie Blei, Zinkoxid, Nickelsulfat und einigen Edelmetallen verarbeitet. In Abbildung 4.7-5 ist eine schematische Ansicht der Produktionsanlagen der NA dargestellt, in Tabelle 4.7-4 sind die wichtigsten Verbrauchs- und Produktionszahlen aufgeführt.

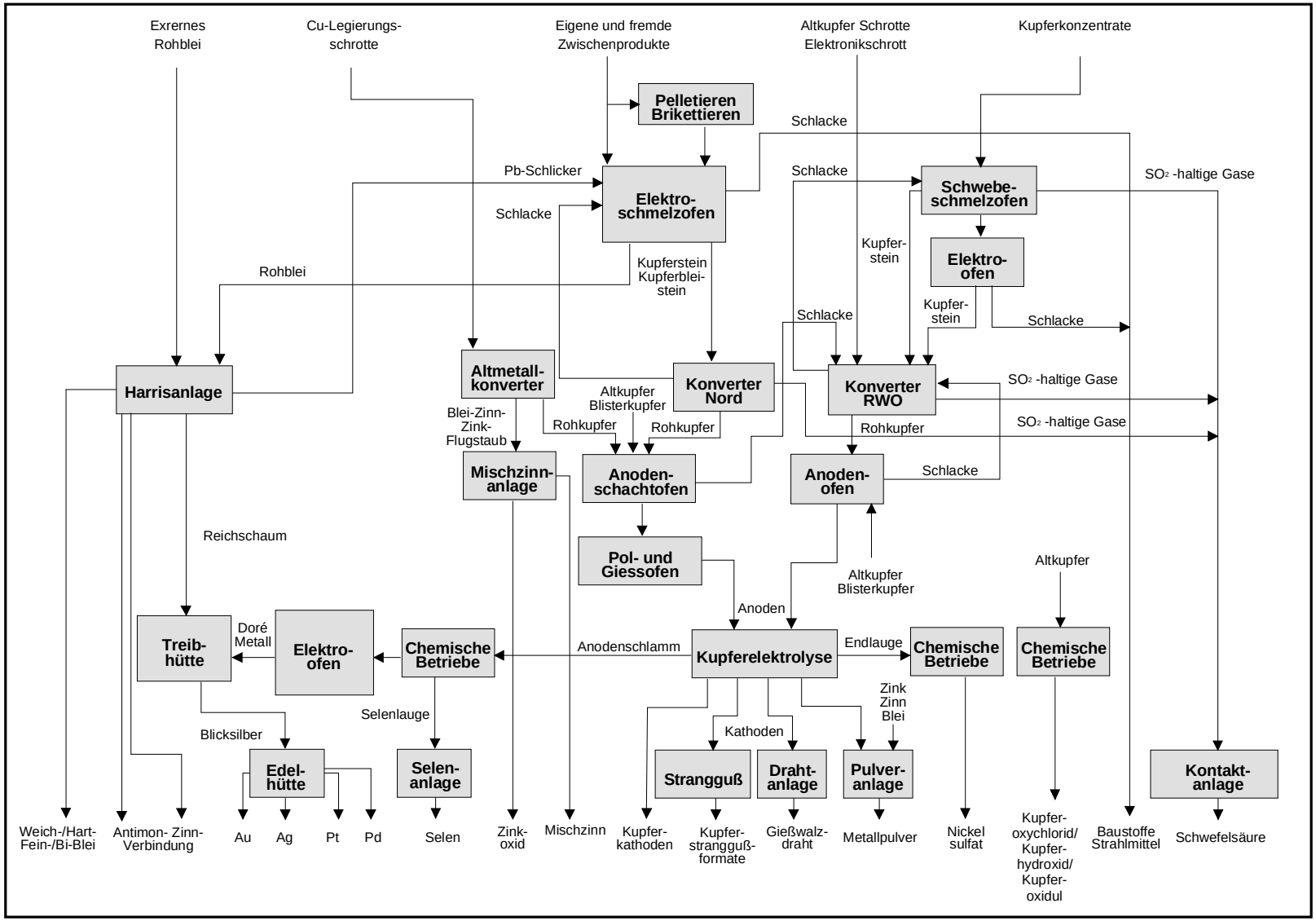

Abbildung 4.7-5: Schematische Darstellung der Produktionsanlagen der NA

Quelle: Unternehmensinformationen NA

Tabelle 4.7-4: Verbrauchs- und Produktionsdaten der NA (1996)

Einsatzmaterialien	**Menge** [t/a]	**Produkte**	**Menge** [t/a]
Kupferkonzentrate	690.000	Elektrolysekupfer	370.000
Kupferschrott	95.000	Kupfersalze	6.500
Shreddermaterial aus Elektronikschrott	1.200	Nickelsulfat	1.800
Externe Zwischen-produkte	86.000	Edelmetalle	150
		Raffiniertes Blei	9.000
		Schwefelsäure	660.000
		Schlacken	400.000

Quelle: Unternehmensinformationen NA, 1998

In Tabelle 4.7-5 sind die Emissionen nach Abgas-/Abluftreinigung der NA zusammengestellt. Die angegebenen Emissionen schließen sowohl gerichtete Emissionen als auch diffuse Emissionen von Dachreitern und Lagerplätzen mit ein.

Tabelle 4.7-5: Emissionen der Kupfererzeugung bei der NA

Hauptbestandteile	**Staub**	**SO_2**	**Cu**	**Pb**	**As**
Beladung [g/t]	168	$5{,}55 \cdot 10^3$	29	7	2,5
Konzentration [mg/Nm^3]	2-10	0-1250	0,01-5 *)	0,01-5*)	0,01-1 **)

Daten beziehen sich auf die Primär- und Sekundärerzeugung, Stand der Daten: 1996

*) Zusammen mit einigen Substanzen derselben Klasse TA Luft (Sb, Pb, Cr, Cn, F, Cu, Mn, Pt, Pd, Rh, V, Sn)

**) Zusammen mit einigen Substanzen derselben Klasse TA Luft (As, Co, Ni, Se, Te)

Quelle: Genehmigungsbehörde

Die in der Tabelle angegebenen gemessenen Werte repräsentieren den typischen Bereich der Meßergebnisse. Die Ergebnisse der Einzelmessungen können diese Bereiche überschreiten. Ursache hierfür sind unterschiedliche Betriebszustände (Chargieren, Oxidieren, Gießen, Polen u.a.), Schwankungen in den Einsatzmaterialien, Änderungen der Betriebsweise usw.

In Tabelle 4.7-6 sind die gemessenen Gesamtemissionen aller abgeleiteten Abwasserströme der NA zusammengestellt.

Tabelle 4.7-6: Schadstoffbeladung der Abwässer der NA

Hauptbestandteile	**Cu**	**Pb**	**As**	**Ni**	**Cd**	**Zn**
Beladung [g/t]	2,3	0,3	0,23	0,1	0,05	0,8

Die Daten basieren auf Meßwerten von 1996

Quelle: Genehmigungsbehörden

Tabelle 4.7-7 gibt einen Überblick über Zwischenprodukte, Nebenprodukte und Reststoffe, die bei der NA anfallen.

Tabelle 4.7-7: Zwischenprodukte, Nebenprodukte und Reststoffe der Kupfererzeugung bei der NA

Anlage	Nebenprodukte/ Reststoffe	Menge [t/a]	Verwendung/Behandlung
Primärerzeugung:			
Schwebeschmelzofen	Staub	100.000	Interne Verwendung im Schwebeschmelzofen
	Schlacke	400.000	Weiterverarbeitung im Elektroofen
Elektroofen	Staub	400	Externe Verwendung zur Zn/Pb-Erzeugung
	Schlacke	400.000	Externe Verwendung als Baustoff
Konverter RWO	Staub	4.000	Interne Verwendung im Schwebeschmelzofen oder Elektroofen (Sekundärerzeugung)
	Schlacke	150.000	Interne Verwendung im Schwebeschmelzofen
Anodenofen	Staub	200	Interne Verwendung im Schwebeschmelzofen
	Schlacke	20.000	Interne Verwendung im Kupferkonverter
Schwefelsäureanlage	Schwefelsäure	656.000	Nebenprodukt zum Verkauf
Sekundärerzeugung:			
Elektroschmelzofen	Staub	10.000	Nebenprodukt zum Verkauf
	Schlacke	40.000	Externe Verwendung als Baustoff oder Strahlmittel
Konverter Nord	Staub	400	Interne Verwendung im Elektroofen
	Schlacke	10.000	Interne Verwendung im Elektroofen
Contimelt-Anlage (Anodenschachtofen, Pol- und Gießofen)	Staub	1.000	Interne Verwendung im Schwebeschmelzofen oder Elektroofen
	Schlacke	2.000	Interne Verwendung im Kupferkonverter
Schrottkonverter/ Mischzinnanlage	Staub	1.000	Weiterverarbeitung in der Mischzinnanlage
	Schlacke	2.000	Interne Verwendung im Elektroofen
Andere:			
Kupferelektrolyse	Anodenschlamm	3.000	Weiterverarbeitung in chemischer Anlage zur Gewinnung von Edelmetallen und Se, Te, Pb
	Restlösung	35.000 m^3	Weiterverarbeitung in chemischer Anlage zur Erzeugung von Nickelsulfat und As_2O_3
Kläranlage für Prozeßwasser	Schlamm	1.500	Entsorgung als gefährlicher Abfall
Allgemein	Hausmüll	400	Entsorgung

Quelle: Unternehmensinformationen NA, 1998

4.7.3.2 Einsatzstoffe und Emissionen der Sekundärkupfererzeugung bei der HK

Hüttenwerke Kayser AG (HK) in Lünen ist mit einem Anteil von 8 % an der weltweiten Kupferproduktion aus Sekundärmaterialien der weltweit größte Sekundärkupfererzeuger. 1997 wurden 250.000 Tonnen Sekundärmaterialien wie Kupferschrotte, Reststoffe und Schlacken zu 176.000 Tonnen Kathodenkupfer verarbeitet. In Abbildung 4.7-6 sind die Produktionsanlagen der HK schematisch dargestellt, Verbrauchs- und Produktionsdaten sind in Tabelle 4.7-8 aufgeführt.

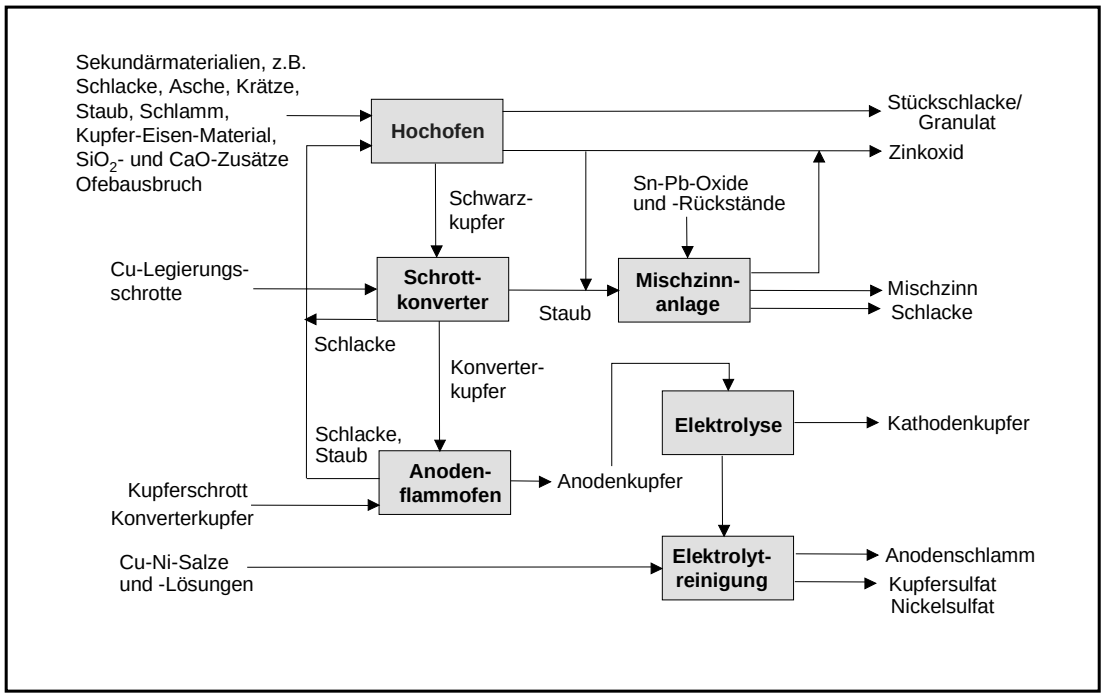

Abbildung 4.7-6: Schematische Darstellung der Produktionsanlagen der HK

Quelle: Meyer-Wulf/Nolte [73]

Tabelle 4.7-8: Verbrauchs- und Produktionsdaten der HK

Einsatzmaterialien	**Menge** [t/a]	**Produkte**	**Menge** [t/a]
Kupferschrotte*)	130.000	Kupferkathoden	176.000
Blisterkupfer	20.000	Kupfersulfat	2.200
Kupferlegierungsschrotte*)	35.000	Nickelsulfat	2.400
Externe Zwischenprodukte (z.B. Schlacken, Aschen, Schlämme, Krätzen)	40.000	Zinkoxid	9.000
Kupfer-Eisen-Materialien	25.000	Mischzinn	3.700
Kalk	13.000	Anodenschlamm	1.000
Silika	11.000	Schlacke	80.000
Koks	25.000	*) inklusive Elektronikschrott	
Kohle	15.000	Stand der Daten: 1996	
Brennstoff (Öl)	11.000		

Quelle: Unternehmensinformationen HK,1998

In Tabelle 4.7-9 sind die Emissionen (sowohl gerichtete als auch diffuse Emissionen) zusammengestellt. Die gegebenen Werte sind jeweils Mittelwerte einer Charge.

Tabelle 4.7-9: Gesamtemissionen der Kupfererzeugung bei HK

Hauptbestandteile	**Staub** [kg/t]	**SO_2** [kg/t]	**NO_x** [kg/t]	**CO** [kg/t]	**Pb** [g/t]	**As** [g/t]	**Cu** [g/t]	**Zn** [g/t]
Spezifische Emissionen	0,47	3	1	2	50	1	50	100

Quelle: Genehmigungsbehörden

Die in der Tabelle angegebenen Werte repräsentieren den typischen Bereich der Meßergebnisse. Die Ergebnisse der Einzelmessungen können diese Bereiche überschreiten. Ursache hierfür sind unterschiedliche Betriebszustände (Chargieren, Oxidieren, Gießen, Polen u.a.), Schwankungen in den Einsatzmaterialien, Änderungen der Betriebsweise usw.

Zur Behandlung der Abwässer werden bei HK Prozeß-, Niederschlags- und Kühlwasser in einer Mischwasserkanalisation gesammelt und einer kommunalen Kläranlage zugeführt; einige Teilströme werden bereits bei HK vorgereinigt. In Tabelle 4.7-10 sind die spezifischen Schadstoffmengen zusammengestellt, die über das in der kommunalen Kläranlage gereinigte Abwasser abgegeben werden.

Tabelle 4.7-10: Schadstoffbeladung des Abwassers der HK

Hauptbestandteile	Cu	Pb	As	Ni	Cd	Zn
spezifische Emissionen [g/t]	1,0	0,5	0,1	0,3	< 0,01	0,2

Quelle: Genehmigungsbehörden

Ein Überblick über anfallende Zwischenprodukte, Nebenprodukte und Reststoffe wird in Tabelle 4.7-11 gegeben.

Tabelle 4.7-11: Zwischenprodukte, Nebenprodukte und Reststoffe der Kupfererzeugung bei HK

Anlage	Nebenprodukte/Reststoffe	Menge [t/a]	Verwendung/Behandlung
Hochofen	Zinkoxid	7.500	Teilweise interne Verwendung in der Mischzinnanlage, teilweise externe Verarbeitung zur Gewinnung von metallischem Zink und Chemikalien
	Schlacke	80.000	Externe Verwendung als Baustoff oder Strahlmittel
Schrottkonverter	Zinkoxid	8.500	Interne Verwendung in der Mischzinnanlage
	Schlacke	20.000	Interne Verwendung im Hochofen
Anodenflammofen	Staub	1.000	Interne Verwendung im Hochofen
	Schlacke	20.000	Interne Verwendung im Hochofen
Elektrolyse	Anodenschlamm	1.000	Externe Gewinnung von Edelmetallen und Se, Te, Pb
	Nickelsulfat	2.400	Nebenprodukt zum Verkauf
	Kupfersulfat	2.200	Nebenprodukt zum Verkauf
Mischzinnanlage	Mischzinn	3.700	Nebenprodukt zum Verkauf
	Zinkoxid	5.000	Externe Verarbeitung zur Gewinnung von metallischem Zink und Chemikalien
	Schlacke	3.000	Entsorgung
Allgemein	Hausmüll	200	-

Quelle: Unternehmensinformationen HK, 1998

4.7.3.3 Einsatzstoffe und Emissionen der Kupfererzeugung bei der MKM

Die Mansfelder Kupfer und Messing GmbH (MKM), ein Sekundärkupfererzeuger, verarbeitete 1996 105.000 Tonnen Rohmaterialien zu 60.000 Tonnen Kathodenkupfer. In Abbildung 4.7-7 ist eine schematische Ansicht der Produktionsanlage der MKM dargestellt. Tabelle 4.7-12 spezifiziert Verbrauchs- und Produktionszahlen.

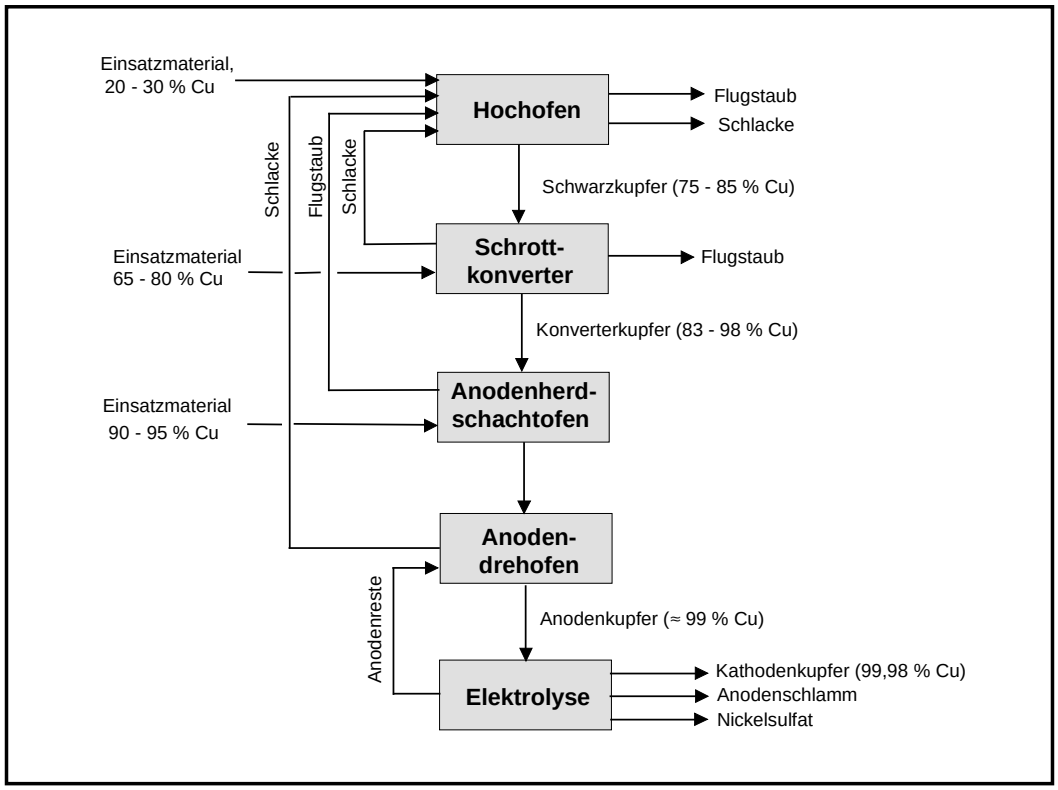

Abbildung 4.7-7: Schematische Darstellung der Kupfererzeugung der MKM

Tabelle 4.7-12: Verbrauchs- und Produktionszahlen der MKM GmbH

Einsatzmaterialien	**Menge** [t/a]	**Produkte**	**Menge** [t/a]
Krätzen/Schlacken	40.000	Kupferkathoden	60.000
Kupfer-Eisen-Schrott	7.000	Nickelsulfat	800
Messingschrott	20.000	Schlacken	35.000
Raffinierter Schrott	40.000	Flugstaub	5.000
Granuliertes Kupfer	1.000		
Koks	10.000		
Kalk	4.500		
Erdgas	k.A.		
Silika	2.000		
Holz	900		

Quelle: Unternehmensinformationen MKM, 1996

Tabelle 4.7-13 zeigt spezifische gerichtete Emissionen aller relevanter Anlagen bei MKM. Dabei wird die jährliche Emissionsfracht und die produzierte Kupfermenge der einzelnen Prozesse zugrunde gelegt.

Tabelle 4.7-13: Spezifische gerichtete Emissionen der verschiedenen Anlagen bei MKM

Bestandteil	Staub [kg/t]	SO_2 [kg/t]	NO_x [kg/t]	CO [kg/t]	Pb [g/t]	As [g/t]	Zn [g/t]	Cu [g/t]	Cd [g/t]	Ni [g/t]	Sn [g/t]
Hochofen	0,15	0,08	0,7	0,3	18	0,1	5	25	0,2	3	6
Konverter	0,26	11,8	1,0	6,8	31	0,1	13	17	1	1	15
Anodenofen*)	0,08	0,26	0,8	0,2	14	2	4	26	0,3	2	4

*) Für die Anodenöfen wird der alte Betriebszustand der Anlage mit drei Herdflammöfen ausgewiesen.

Quelle: Genehmigungsbehörden

Aus den Kühlkreisläufen des Hochofens und des Konverters wird jährlich eine Abwassermenge von 615 m^3 in einen Vorfluter eingeleitet. Die Kühlwassermengen für den Anodenschachtofen, Raffinierofen und die Gießanlage werden im Kreislauf gefahren und teilweise in einer Quenche zum Kühlen der Rauchgase eingesetzt. Weitere Daten über das Abwasser der MKM liegen nicht vor. Tabelle 4.7-14 gibt einen Überblick über Zwischenprodukte, Nebenprodukte und Reststoffe, die bei MKM anfallen.

Tabelle 4.7-14: Wichtige Zwischenprodukte, Nebenprodukte und Reststoffe der Kupfererzeugung bei MKM

Anlage	Nebenprodukte/ Reststoffe	Menge [t/a]	Verwendung/Behandlung
Hochofen	Schlacke	30.000-35.000	Externe Verwendung als Strahlmittel
	Oxid aus Nachbrennkammer, Abhitzekessel, Kühler	700-800	Interne Verwendung im Hochofen
	Filteroxid	1.000-1.300	Externe Verwendung
Konverter	Schlacke	17.000-19.000	Interne Verwendung im Hochofen
	Oxid aus Nachbrennkammer	250-300	Interne Verwendung im Hochofen
	Oxid aus Kühler	100	Interne Verwendung im Hochofen
	Reststoffe	300	Interne Verwendung im Hochofen
	Filteroxid	3.500-3.700	Externe Verwendung
Anodenofen*)	Anodenkupferreste	7.000-8.000	Interne Verwendung im Hochofen
	Filteroxid	150	Interne Verwendung im Hochofen
	Reststoffe aus dem Ofen	200	Interne Verwendung im Hochofen
Elektrolyse	Anodenschlamm	360	Externe Verwendung
	Nickelsulfat	700	Externe Verwendung
Allgemein	Hausmüll	k.A.	Entsorgung

*) Nebenprodukte und Reststoffe sind für den alten Betriebszustand der Anlage mit drei Herdflammöfen ausgewiesen.

Quelle: Unternehmensinformationen MKM, 1998

4.7.3.4 Einsatzstoffe und Emissionen der Erzeugung von Halbzeugprodukten aus Kupfer und Kupferlegierungen

Es gibt zahlreiche deutsche Hersteller von Halbzeugprodukten aus Kupfer und Kupferlegierungen, die sich sowohl in der Kapazität der Produktionsanlagen als auch der Produktpalette signifikant unterscheiden. Die folgende Darstellung beschränkt sich auf die Beschreibung von Anlagen, die über Vorrichtungen zum Schmelzen und Gießen mit angeschlossener Strangpreß- und/oder Walzanlage verfügen. Damit wird ein Großteil der deutschen Anlagen zur Halbzeugherstellung erfaßt, zu denen insbesondere die Anlagen mit großen Produktionskapazitäten zählen, die im Anhang IV, IVU-RL, erfaßt sind. Das allgemeine Konzept der Halbzeugfabrikation ist weiter oben in Abbildung 4.7-4 dargestellt.

In Tabelle 4.7-15 sind die spezifischen Emissionen zusammengestellt, die bei der Halbzeugproduktion auftreten. Diese umfassen sowohl die Emissionen durch alle gefaßten, gereinigten Abgase als auch durch gereinigte Ventilationsgase (Hallenabluft). Sonstige diffuse Emissionen sind nicht erfaßt.

Tabelle 4.7-15: Spezifische Emissionen der Halbzeugproduktion

Hauptbestandteile		**Staub** [g/t]	**CO** [g/t]	**TOC**[****)] [g/t]	**Ölnebel** [g/t]	**PCDD/PCDF** [µg/t TE][***)]
Gießanlage:	Elektroofen	< 70	-	< 80	-	< 5
	Drehofen	< 50	-	< 11	-	< 10
	Schachtofen (Typ ASARCO) ohne Nachbrenner[*)] mit Nachbrenner[*)]	< 12	 < 10.000 < 45	-	-	< 10
Walzwerk		-		< 100	< 30[**)]	
Walzen		< 20				

Die Angaben beruhen auf Jahresmittelwerten

*) Nachbrenner vom Typ der Einsatzstoffe abhängig (Gehalt an Öl/organischen Komponenten)

**) Normalerweise im Wert für TOC erfaßt

***) Werte nach Krüger [64]

****) TOC: Summe organischer Komponenten

In Tabelle 4.7-16 sind die pro Jahr mit dem Abwasser einer Halbzeugproduktionsanlage abgegebenen Schadstoffmengen zusammengestellt. Die Angaben basieren auf Meßwerten einer exemplarisch ausgewählten Anlage, die pro Jahr 35.000 m^3 Prozeßwasser einleitet.

Tabelle 4.7-16: Schadstoffbeladung des Abwassers einer Halbzeugproduktionsanlage

Substanz	Einheit	Wert
Cu	[kg/a]	11
Ni	[kg/a]	3
Zn	[kg/a]	25
Pb	[kg/a]	1
Cr	[kg/a]	1
As	[kg/a]	0,01
Cd	[kg/a]	0,01
Hg	[kg/a]	0,01
Sn	[kg/a]	1

Das Oberflächenwasser befestigter Lagerplätze wird im allgemeinen gefaßt und abgeleitet. Bei dem oben gewählten Anlagenbeispiel ergibt sich hier eine Abwassermenge von 60,000 m^3. Mit diesem Abwasser werden pro Jahr weniger als 6 kg an Kupfer (als Feststoff) und weniger als 10 kg an Hydrogenkarbonaten abgegeben.

4.7.4 Kandidaten für BVT zur Kupfererzeugung

In diesem Abschnitt werden Kandidaten für BVT beschrieben. Erreichbare Emissionswerte zu den Kandidaten für BVT werden im „*Report on BAT in German Copper Production*“ genannt (vgl. Ergänzungsband 2). Dieser Bericht wurde in die europäischen Arbeiten eingebracht und ist Bestandteil des vom EIPPCB im Juli 1999 vorgelegten Entwurfs eines BREF für die TWG Non-ferrous Metals Processes.

4.7.4.1 Übersicht über BVT zur Primärkupfererzeugung

In Abbildung 4.7-8 sind die wesentlichen Prozesse einer Anlage zur Erzeugung von Primärkupfer dargestellt. Die unterbrochene Linie symbolisiert die Werkstore: Stoffströme, die innerhalb der Linie enden, werden intern weiterverarbeitet, Ströme, die außerhalb enden, werden als Produkt oder zur externen Weiterverarbeitung verkauft. In Tabelle 4.7-17 sind deutsche BVT zur Emissionsminderung und zur Minimierung des Energieverbrauchs bzw. zur Abwärmenutzung zusammengestellt.

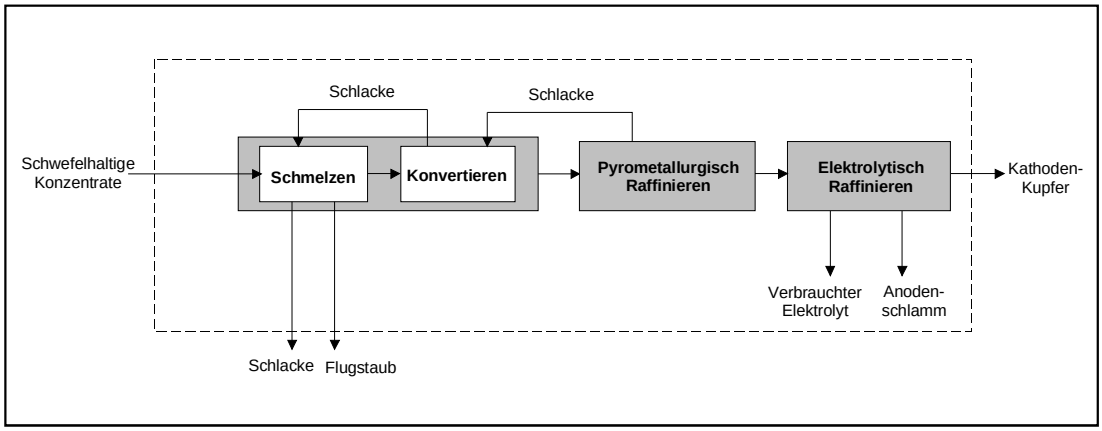

Abbildung 4.7-8: Schematische Darstellung einer Anlage zur Primärkupfererzeugung

Tabelle 4.7-17: Kandidaten für BVT zur primären Kupfererzeugung

Produktionsschritt	Prozeßtechnik	Angewandte Emissionsminderungsmaßnahmen	Angewandte Techniken zur Energieverbrauchsminderung und Abwärmenutzung
Schmelzen und Konvertieren	Outokumpu Schwebeschmelzofen	Sekundärhaubensystem, Heißgas-EGR, Schwefelsäureanlage	Abhitzekessel, Nutzung der Abgase zur Prozeßluftvorwärmung
	Pierce-Smith Konverter	Sekundärhaubensystem, EGR, Schwefelsäureanlage	Einschmelzen von internen Rückläufen und Kupferschrotten, Wärmetauscher zur Vorwärmung von Kesselspeisewasser durch das Abgas
Pyrometallurgisches Raffinieren (einschließlich Anodengießen)	Anodenofen (Typ Drehofen) einschließlich Gießrad	Nachbrennkammer (während des Polens), Gewebefilter	-
Elektrolytisches Raffinieren	Elektrolyse	Tröpfchenabscheider für die Abluft der Regulierungstanks	-

4.7.4.2 Übersicht über BVT zur Sekundärkupfererzeugung

Abbildung 4.7-9 stellt die prinzipiellen Prozesse einer Anlage zur Erzeugung von Sekundärkupfer dar. Die unterbrochene Linie symbolisiert die Werkstore: Stoffströme, die innerhalb der Linie enden, werden intern weiterverarbeitet, Ströme, die außerhalb enden, werden als Produkt oder zur externen Weiterverarbeitung verkauft. In Tabelle 4.7-18 sind deutsche BVT zur Emissionsminderung und zur Minimierung des Energieverbrauchs bzw. der Abwärmenutzung zusammengestellt.

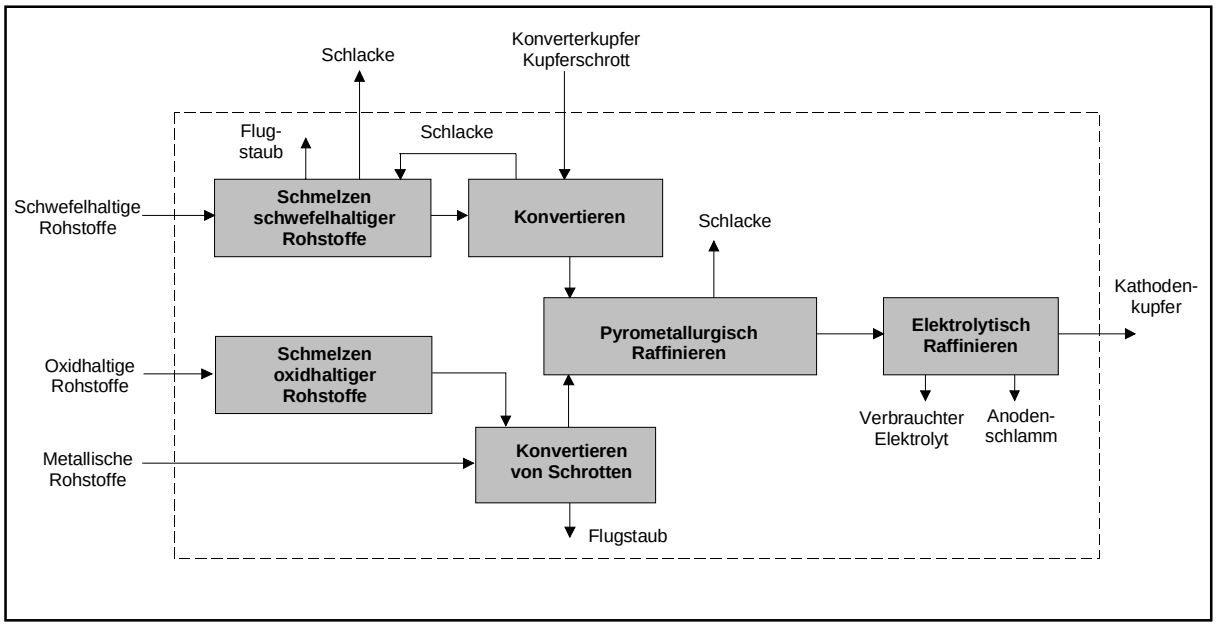

Abbildung 4.7-9: Schematische Darstellung einer Anlage zur Sekundärkupfererzeugung

Tabelle 4.7-18: Kandidaten für BVT zur sekundären Kupfererzeugung

Produktions-schritt	Prozeßtechnik	Angewandte Emissions-minderungs-maßnahmen	Angewandte Techniken zur Energieverbrauchsminderung und Abwärmenutzung
Schmelzen	Hochofen	Sekundärhaubensystem, Absetzkammer (dient auch als Nachbrennkammer), Gewebefilter	Abhitzekessel, Röhrenkühler
	Elektroofen	Sekundärhaubensystem, Schwefelsäureanlage	-
Konvertieren	Pierce-Smith Konverter	Sekundärhaubensystem, EGR, Schwefelsäureanlage	Abhitzekessel (sofern es die Temperaturbedingungen erlauben)
	Schrottkonverter vom Typ Pierce-Smith	Sekundärhaubensystem	Abhitzekessel (sofern es die Temperaturbedingungen erlauben), Röhrenkühler
Pyrometallurgisches Raffinieren (einschließlich Anodengießen)	Contimeltanlage	Sekundärhaubensystem, Nachbrennkammer, Adsorbtionsfilter, Gewebefilter	Vorwärmung der Einsatzstoffe, Vorwärmung der Prozeßluft
	Anodenflammofen (Typ Herdofen)	Sekundärhaubensystem, Gewebefilter	Abhitzekessel
	Kombination eines Anodenschachtofens und eines Trommelofens	Sekundärhaubensystem, Nachbrennkammer, Adsorbtionsfilter, Gewebefilter	Vorwärmung der Prozeßluft
Elektrolytisches Raffinieren	Elektrolyse	Tröpfchenabscheider für die Abluft der Regulierungstanks	-

Herstellung von Halbzeugprodukten aus Kupfer und Kupferlegierungen

In Tabelle 4.7-19 sind die deutschen BVT für das Schmelzen und Gießen zur Herstellung von Halbzeug aus Kupfer und Kupferlegierungen aufgeführt.

Tabelle 4.7-19: Kandidaten für BVT zur Herstellung von Halbzeugprodukten

Anlage	Angewandte Emissionsminderungsmaßnahmen
Schachtofen (Typ ASARCO)	Bei Einsatz reiner Kupferkathoden: Gewebefilter Bei zusätzlichem Einsatz von Schrotten: Nachbrennkammer, Gewebefilter
	Gewebefilter
Elektroofen	Gewebefilter
	Zyklone (funkensicher), Gewebefilter
Drehofen	Gewebefilter

5 Entwicklung von generellen Anforderungen und exemplarische Anwendung einer medienübergreifenden Bewertungsmethode

Die Entwicklung von generellen Anforderungen und exemplarische Anwendung einer medienübergreifenden Bewertungsmethode zur Identifikation von BVT wurde parallel zur Erarbeitung der BVT-Positionspapiere durchgeführt. Wesentlicher Bestandteil war die Begleitung eines Arbeitskreises des Umweltbundesamtes (vgl. Unterkapitel 5.1). Entsprechend den Fortschritten der Methodenentwicklung und der jeweiligen Diskussionsergebnisse wurden konkrete Fallbeispiele aus der Metallindustrie bearbeitet, um einen praktikablen Vorschlag einer medienübergreifenden Bewertungsmethode zu erarbeiten und daraus Handlungsempfehlungen für das weitere Vorgehen zur Identifikation der BVT im Rahmen der Arbeiten der Europäischen Gemeinschaft abzuleiten (vgl. Unterkapitel 5.2).[36]

5.1 Begleitung der Arbeitsgruppe des Umweltbundesamtes zur Entwicklung einer medienübergreifenden Bewertungsmethode

Besonderes Anliegen bei der Erarbeitung einer Bewertungsmethode zur Berücksichtigung von medienübergreifenden Aspekten bei der Identifikation von BVT im Sinne der IVU-Richtlinie war die Abstimmung mit Bewertungsansätzen, die in den verschiedenen Fachgebieten des Umweltbundesamtes bislang konzipiert und praktiziert wurden. Dazu begleitete das DFIU im Zeitraum November 1996 bis Dezember 1997 zehn Treffen der UBA-Arbeitsgruppe „*Methode zur Identifikation von BVT unter Berücksichtigung medienübergreifender Aspekte*“, indem zu folgenden Schwerpunktthemen jeweils Diskussionspapiere vorbereitet und vorgestellt wurden:

- Analyse der Vorgaben durch die IVU-Richtlinie[37] und Ableiten von Anforderungen für die Bestimmung von BVT
- Untersuchung bestehender Methoden auf ihre Eignung zur Identifikation von BVT
  - Methode von Byrne Ó Cléirigh Ltd. (nach dem Final Report “Integrated Environmental Protection Based on BAT-The Practical Implications of Assessing and Choosing Best Available Techniques in the Context of an Integrated Approach to Environmental Protection”, European Commission DG XI, April 1997),
  - Ökobilanz nach der Methode der Wirkungskategorien (entsprechend UBA-Texte 23/95 und 52/95 sowie ISO 14040),
  - Bewertungsansatz, der im niederländischen Positionspapier zur Primärstahlerzeugung beschrieben wird [68]

---

[36] Dieses Unterkapitel ist eine Zusammenfassung des Berichts „*Vorschlag für eine medienübergreifende Bewertungsmethode zur Identifikation der "Besten Verfügbaren Techniken" BVT im Rahmen der Arbeiten der Europäischen Kommission*“, der vollständig im Ergänzungsband 3 (deutsches Original) bzw. im Ergänzungsband 4 (englische Übersetzung) zu diesem Abschlußbericht enthalten ist.

[37] Vgl. Kapitel 2 des Berichts *Vorschlag für eine medienübergreifende Bewertungsmethode zur Identifikation der “Besten Verfügbaren Techniken” BVT im Rahmen der Arbeiten der Europäischen Kommission* im Ergänzungsband 3 zu diesem Bericht.

- Vorbereitung der Stellungnahme des Umweltbundesamtes zur Methode von Byrne Ó Cléirigh Ltd. für das Information Exchange Forum (IEF) der Europäischen Kommission. Dazu wurden die Projektberichte von Byrne Ó Cléirigh Ltd. zusammengefaßt und übersetzt. Darüber hinaus wurden Kommentare, erarbeitete Kritik und Vorschläge der UBA-Arbeitsgruppe an Byrne Ó Cléirigh Ltd. weitergeleitet und diskutiert
- Entwicklung einer medienübergreifenden Bewertungsmethode zur Identifikation von BVT (vgl. Unterkapitel 5.2 in diesem Bericht)
- Fallbeispiele aus der Metallindustrie zur Konkretisierung der Bewertungsmethoden (vgl. Unterkapitel 5.3 in diesem Bericht)
  - Sinterherstellung mit Staubabscheidung (vgl. Abschnitt 5.3.1 in diesem Bericht)
  - Elektrostahlherstellung (vgl. Abschnitt 5.3.2 in diesem Bericht)
  - Aluminiumherstellung (vgl. Abschnitt 5.3.3 in diesem Bericht)

5.2 Vorschlag einer medienübergreifenden Bewertungsmethode zur Identifikation der BVT im Rahmen der Arbeiten der Europäischen Gemeinschaft

Die IVU-RL verpflichtet die Mitgliedstaaten bei der Zulassung und dem Betrieb bestimmter umweltrelevanter Anlagen zur integrierten Betrachtung der Auswirkungen auf die Umwelt (insbesondere hinsichtlich der Umweltmedien Luft, Wasser und Boden sowie der Effizienz des Energieeinsatzes) und schreibt die Festsetzung eines Verfahrens zur Anlagengenehmigung vor. Eine wesentliche Rolle bei der materiellen Umsetzung des geforderten medienübergreifenden Umweltschutzes spielen die BVT, die als Grundlage für die Festlegung von Emissionsgrenzwerten sowie für die Anlagenzulassung dienen sollen. Dabei sind Cross-Media-Effekte besonders zu beachten. Die IVU-RL stellt zwar zum Teil sehr konkrete Anforderungen an die Bestimmung der BVT (u.a. im Anhang IV der IVU-RL), ohne daß jedoch eine spezielle Methode vorgeschlagen wird, nach der die BVT zu identifizieren sind.

Die Bestimmung von BVT auf internationaler Ebene ist ein wesentlicher Schritt zur Harmonisierung der Anforderungen an industrielle Anlagen. Dazu werden von der EU “Technical Working Groups” (TWG) eingesetzt, die anhand nationaler BVT-Positionspapiere die BVT für die jeweiligen Sektoren bestimmen. Für diesen Zweck wird ein einheitliches Bewertungsverfahren zur standortunabhängigen, sektoriellen BVT-Bestimmung auf EU-Ebene entwickelt und vorgestellt.

Eine entsprechende medienübergreifende Bewertungsmethode sollte daher eine standortunabhängige, sektorielle BVT-Bestimmung auf EU-Ebene ermöglichen. Die Evaluierung sollte u.a. die international relevanten Umweltqualitätsnormen beachten, zum anderen aber um lokal besonders relevante Parameter für bestimmte Anlagen fallspezifisch ergänzt werden können, ohne das Prinzip der standortunabhängigen Bewertung aufzugeben. Sie sollte in einem zweiten Schritt, ggf. modular, durch geeignete Vorgaben ergänzt werden, um eine sinnvolle lokale Anwendung von BVT zu ermöglichen. Weder die standortunabhängige noch die lokale Methode dürfen jedoch dazu führen, daß eine bestimmte Technik vorgeschrieben wird. Da die Methode nur auf bereits großtechnisch erprobte Techniken angewendet wird, die Gegenstand

der nationalen BVT-Positionspapiere sind, wird die wirtschaftliche Vertretbarkeit als gegeben angenommen und bei der Bewertung nicht durch zusätzliche Parameter berücksichtigt.

Im Hinblick auf diese Anforderungen werden zwei existierende Ansätze zur ökologischen Bewertung untersucht:

- Methode von Byrne Ó Cléirigh Ltd. (nach dem Final Report "Integrated Environmental Protection Based on BAT-The Practical Implications of Assessing and Choosing Best Available Techniques in the Context of an Integrated Approach to Environmental Protection", European Commission DG XI, April 1997), die in einer Studie im Auftrag der EU zur Umsetzung des in der IVU-RL geforderten Informationsaustausches entwickelt wurde. Dabei handelt es sich um eine praktikable Vorgehensweise, die jedoch erhebliche Mängel bei der Bewertung der Wirkungspotentiale der Emissionen auf die Schutzgüter aufweist.
- Ökobilanz nach der Methode der Wirkungskategorien (entsprechend UBA-Texte 23/95 und 52/95 sowie ISO 14040), die vom UBA für die ökologische Bewertung von Getränkeverpackungen veröffentlicht wurde und die zur ökologischen Bewertung derzeit am weitesten entwickelt und anerkannt ist. Allerdings ist die "Ökobilanz gemäß UBA" für die Bestimmung von BVT nicht unmittelbar anwendbar, da sie zunächst für die umfassende Bewertung des gesamten Lebensweges von Produkten entwickelt wurde und derzeit auf die Bewertung von Prozessen zugeschnitten wird. Trotz der noch unvollständigen Wirkungskategorien zur Modellierung von potentiellen Umweltauswirkungen von Stoff- und Energieströmen stellt dieses Konzept dennoch den am besten erforschten naturwissenschaftlichen Bezug zwischen den Emissionen und deren ökologischen Wirkungspotentialen dar.

Tabelle 5.2-1 und Tabelle 5.2-2 geben den Vergleich der in den Anhängen der IVU-Richtlinie aufgeführten Umweltaspekte und Schadstoffe mit deren Berücksichtigung in der Methode von Ó Cléirigh und in der Ökobilanz gemäß UBA wieder. Dabei wird deutlich, daß weder die Methode von Ó Cléirigh noch die Ökobilanz gemäß UBA unmittelbar den Anforderungen der IVU-RL genügen. Daher ist eine geeignete medienübergreifende Bewertungsmethode zur Bestimmung von BVT zu entwickeln.

Tabelle 5.2-1: Begriffsbestimmung des Artikel 2(2) IVU-RL: "Umweltverschmutzung" und deren Berücksichtigung in der Methode von Ó Cléirigh und in der Ökobilanz gemäß UBA

Begriffe nach Artikel 2(2) IVU-RL	Bezug		Berücksichtigung in	
	sektoriell	lokal	Methode von Ó Cléirigh	Ökobilanz gemäß UBA
Umweltverschmutzung durch:				
Freisetzung von Stoffen in die Luft	x	x	x	x
- " - in das Wasser	x	x	x	x
- " - in den Boden	x	x	x	x
Erschütterung	-	x	-	-
Wärmeabgabe in die Luft	-	x	-	-
- " - in das Wasser	-	x	-	-
Lärm	-	x	-	x
Schutzziele:				
menschliche Gesundheit	x	x	x	x
Umwelt	x internationale Qualitätswerte	x lokale/nationale Qualitätswerte	x	x
Sachwerte	x	x	(x)	-

Legende: x = zutreffend; - = nicht zutreffend; (x) = bedingt umgesetzt

Um die Anforderungen der IVU-RL zu erfüllen, wird eine medienübergreifende Bewertungsmethode in enger Anlehnung an die existierenden Vorarbeiten konzipiert. Dieser hier vorgestellte Vorschlag ist einerseits durch stark strukturierte Abläufe gekennzeichnet, andererseits wird der Expertendiskussion genug Raum und Kompetenz gelassen. Dadurch wird ein nachvollziehbares und zugleich pragmatisches Vorgehen gewährleistet, ohne die Konsistenz der Bewertung zu verletzen.

Tabelle 5.2-2: Schadstoffe nach Anhang III IVU-RL und deren Berücksichtigung in der Methode von Ó Cléirigh und in der Ökobilanz gemäß UBA

Schadstoffe nach Anhang III	Berücksichtigung in	
	Methode Ó Cléirigh	Ökobilanz UBA
LUFT		
Schwefeloxide und sonstige Schwefelverbindungen	high quantity emissions[1)]	Versauerung
Stickoxide und sonstige Stickstoffverbindungen	high quantity emissions	Treibhauseffekt, Versauerung, Eutrophierung
Kohlenmonoxid	high quantity emissions	Humantoxizität
Flüchtige organische Verbindungen	high quantity emissions	Photooxidantienbildung, Treibhauseffekt
Metalle und Metallverbindungen	low quantity emissions	Humantoxizität, Ökotoxizität
Staub	-	keine Erfassung von Feststoffen[2)3)]
Asbest (Schwebeteilchen und Fasern)	-	keine Erfassung von Feststoffen[2)3)]
Chlor und Chlorverbindungen	-	Versauerung
Fluor und Fluorverbindungen	-	Versauerung, Humantoxizität
Arsen und Arsenverbindungen	-	Humantoxizität, Ökotoxizität
Zyanide	-	Humantoxizität
Stoffe und Zubereitungen mit nachgewiesenermaßen über die Luft übertragbaren karzinogenen, mutagenen oder sich möglicherweise auf die Fortpflanzung auswirkenden Eigenschaften	-	Humantoxizität
Polychlordibenzodioxine und Polychlordibenzofurane	very low quantity emissions	Humantoxizität
WASSER		
Halogenorganische Verbindungen und Stoffe, die im wäßrigen Milieu halogenorganische Verbindungen bilden	-	Ökotoxizität[3)]
Phosphororganische Verbindungen	high quantity emissions	Humantoxizität
Zinnorganische Verbindungen	-	Ökotoxizität
Stoffe und Zubereitungen mit nachgewiesenermaßen in wäßrigem Milieu oder über wäßriges Milieu übertragbaren karzinogenen, mutagenen oder sich möglicherweise auf die Fortpflanzung auswirkenden Eigenschaften	-	Humantoxizität
Persistente Kohlenwasserstoffe sowie beständige und bioakkumulierbare organische Giftstoffe	high quantity emissions	Ökotoxizität
Zyanide	-	Ökotoxizität
Metalle und Metallverbindungen	low quantity emissions	Ökotoxizität
Arsen und Arsenverbindungen	-	Ökotoxizität
Biozide und Pflanzenschutzmittel	-	Ökotoxizität
Schwebestoffe	-	keine Erfassung von Feststoffen[2)]
Stoffe, die zur Eutrophierung beitragen (insbesondere Nitrate und Phosphate)	high quantity emissions	Eutrophierung
Stoffe, die sich ungünstig auf den Sauerstoffgehalt auswirken (und sich mittels Parametern wie BSB und CSB messen lassen)	high quantity emissions	keine Erfassung von Summenparametern[2)]

1) Vgl. Glossar zu “Scaling Factors”

2) In den vorliegenden Studien wurden diese Stoffe nicht berücksichtigt. Da die Ökobilanzen an den aktuellen Fall angepaßt werden, ist eine Ergänzung der Wirkungskategorien möglich.

3) Diese Stoffe wirken zwar humantoxisch, sind jedoch weder in der Ökobilanz für Getränkeverpackungen [95] noch der CML-Liste [47] erfaßt.

Abbildung 5.2-1 zeigt die schematische Grundstruktur der integrierten Bewertungsmethode für die standortunabhängige, sektorielle BVT-Bestimmung.

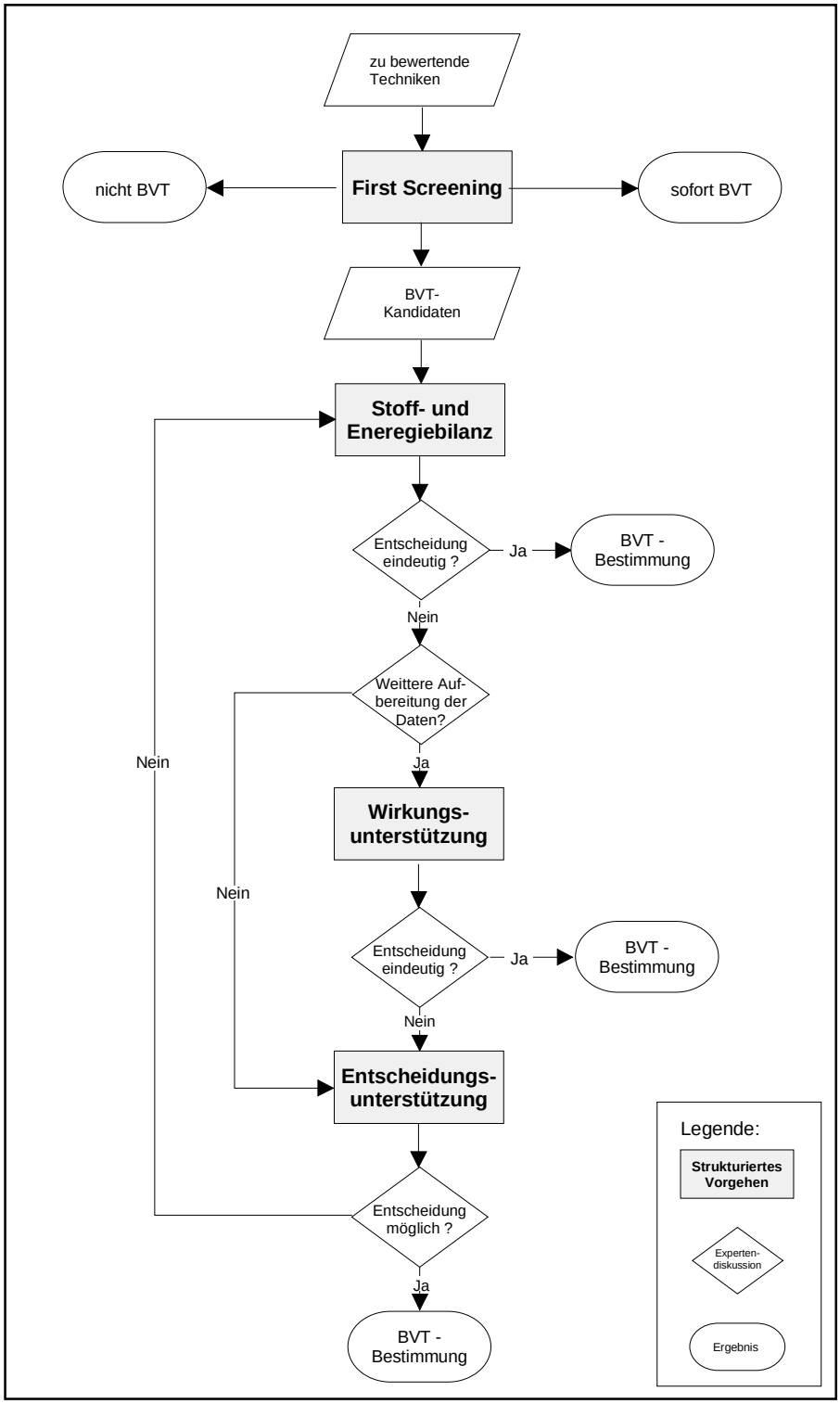

Abbildung 5.2-1: Ablaufschema der medienübergreifenden Bewertungsmethode

Das hier gewählte grundsätzliche Vorgehen der integrierten Bewertungsmethode zur Identifikation der BVT auf EU-Ebene entspricht der Ökobilanz aufgrund der Gliederung in First Screening, Stoff- und Energiebilanz, Wirkungsabschätzung und Entscheidungsunterstützung. Die Expertendiskussion, die auf EU-Ebene z.B. im Rahmen der Arbeiten der einzelnen “Technical Working Groups” erfolgen kann, ist ein fester Bestandteil der Methode mit dem

Ziel, die Diskussion auf die zentralen Fragen der Technikauswahl zu lenken. Sobald die BVT-Bestimmung offensichtlich ist, kann das Verfahren vorzeitig im Einvernehmen der Experten beendet werden. Im folgenden werden die vier Module der vorgeschlagenen medienübergreifenden Bewertungsmethode beschrieben. Für die praktische Anwendung der Methode sei auf die Fallbeispiele in den Unterkapiteln 5.3 bis 5.5 verwiesen.

5.2.1 First Screening

Das First Screening umfaßt die Auswahl der zu untersuchenden Techniken aus den verfügbaren Techniken, die etwa in den nationalen BVT-Positionspapieren beschrieben sind. Die Nichteinhaltung EG-weit geltender Emissionsgrenzwerte gilt als Ausschlußkriterium für eine untersuchte Technik und führt, falls keine Nachbesserung der Technik möglich ist, zu einer Einstufung als “Nicht-BVT”. Falls keine EG-weit geltenden Emissionsgrenzwerte vorliegen, könnten sich die TWGs auch auf die Anwendung anderer internationaler und nationaler Emissionsgrenzwerte einigen. Gleichzeitig bedürfen Techniken ohne relevante Umweltauswirkungen keiner weiteren detaillierten Untersuchung, wenn sie als "Sofort-BVT" identifiziert werden. Die übrigen Techniken, die sogenannten “BVT-Kandidaten”, werden dem nächsten Bewertungsschritt zugeführt.

5.2.2 Stoff- und Energiebilanz

In der Stoff- und Energiebilanz erfolgt für die BVT-Kandidaten die Ermittlung und Sammlung aller relevanten Einsatzmengen, Emissions- und Energiedaten. Die Expertenrunde entscheidet über die Erweiterung des zu untersuchenden Systems um Vorstufen oder nachgeschaltete Prozesse sowie über die Einschränkung auf die relevanten Emissionen und Einsatzmengen. Sowohl im First Screening als auch bei der Erstellung der Stoff- und Energiebilanz erfolgt somit in der Expertenrunde eine Eingrenzung und Reduzierung des Untersuchungsaufwandes. Wenn schon anhand der (ggf. graphisch aufbereiteten) Informationen aus diesen beiden Schritten die BVT-Bestimmung im Expertenkreis möglich ist, kann das Verfahren beendet werden.

5.2.3 Wirkungsabschätzung

Anderenfalls werden in der Wirkungsabschätzung die einzelnen Stoffe hinsichtlich ihrer potentiellen Umweltwirkungen klassifiziert und - soweit möglich - in Wirkungskategorien zusammengefaßt. Dieser Schritt erfolgt in starker Anlehnung an die Ökobilanz, wie sie vom UBA für die ökologische Bewertung von Getränkeverpackungen entwickelt und angewendet wurde (vgl. Tabelle 5.2-3). Für die standortunabhängige sektorielle BVT-Bestimmung sind prinzipiell die Wirkungskategorien unmittelbar geeignet, die überwiegend regional und überregional relevante Umweltauswirkungen quantifizieren und wissenschaftlich ausreichend abgesichert sind.

Während die ökobilanziellen Wirkungskategorien Ressourceninanspruchnahme, Treibhauseffekt, Ozonabbau, Versauerung, Eutrophierung und Photooxidantienbildung[38] in ihrer grundsätzlichen Bedeutung und Berechnung weitestgehend abgestimmt sind, herrscht bei Human- und Ökotoxizität noch keine Einigung über die Berechnung, so daß diese Wirkungskategorien für die BVT-Bestimmung bislang nur bedingt geeignet sind. Ebenso wird die Berücksichtigung einer Wirkungskategorie Abfall kontrovers diskutiert, da das Wirkpotential des Abfalls einerseits durch seine gefährlichen Bestandteile, andererseits durch den beanspruchten Deponieraum bzw. die Möglichkeiten der Verwertung und Aufbereitung bestimmt wird. Die übrigen Wirkungskategorien (Flächenbedarf, Belästigungen, Arbeitsschutz, Abwärme und Strahlung, Naturschutz und Biodiversität) sind aufgrund ihrer vorrangig lokalen Wirkung grundsätzlich nicht für die standortunabhängige BVT-Bestimmung geeignet.

Um die Bewertung von Techniken pragmatisch zu unterstützen, werden daher die Wirkungskategorien Ressourcenverknappung, Humantoxizität, Ökotoxizität und Abfall modifiziert zur Diskussion gestellt. So ist die Inanspruchnahme von Ressourcen differenziert nach fossilen Energieträgern, mineralischen Rohstoffen und sich erneuernden Rohstoffen (z.B. Holz und Wasser) zu betrachten. Zur Beurteilung der Human- und Ökotoxizität werden human- und ökotoxische Stoffe mit Hilfe der Umweltsqualitätsnormen aus den gültigen EG-Richtlinien und WHO Air Quality Guidelines pragmatisch berücksichtigt, da aufgrund der komplexen Zusammenhänge noch keine konsensfähigen Aggregationsmethoden vorliegen. Für die Bewertung des Abfallaufkommens und der Energieerzeugung erfolgt zunächst eine einfache Klassierung, und nur bei signifikanten Unterschieden wird eine umfassende Bewertung vorgenommen. Die umfassendere Bewertung des Wirkpotentials der wassergängigen Emissionen erfolgt neben der Erfassung in der Kategorie Ökotoxizität zusätzlich in der neu eingeführten Wirkungskategorie “Meeresschutz”.[39]

Diese Verdichtung der in der Sachbilanz enthaltenen Informationen in Wirkungskategorien erleichtert die abschließende Entscheidung. Aufgrund der noch nicht ausreichend erforschten Cross-Media Effekte gibt es allerdings derzeit keine wissenschaftliche Grundlage, die Wirkungskategorien weiter zu aggregieren. Daher ist es nicht möglich, eine eindeutige Rangfolge der untersuchten Techniken abzuleiten. Falls die Experten anhand der Wirkungsabschätzung und ergänzend anhand der Stoff- und Energiebilanz die BVT-Bestimmung vornehmen können, endet die Methode.

---

[38] Die bislang verwendete Berechnung der photochemischen Oxidantienbildung berücksichtigt jedoch den Beitrag der Stickoxide zur Oxidantienbildung nicht. Daher wird in einer neuen, noch unveröffentlichten UBA-Studie die Methode anhand einer Ökobilanz für Papier verbessert.

[39] Für ausführliche Erläuterungen sämtlicher zur Diskussion gestellter Wirkungskategorien und Wirkungsabschätzungsfaktoren sowie Hinweise zu den Grenzen dieser Modellierung der potentiellen Umweltauswirkungen (vgl. Anhänge A1 - A10 des Projektberichts B5, Unterkapitel 7.1, S. 221)

Tabelle 5.2-3: Wirkungskategorien für die BVT-Bestimmung nach dem integrierten Ansatz

Bezeichnung	Berechnung des Wirkungspotentials	Einheit des Wirkungspotentials
Ressourcenverknappung a) fossile Energien b) mineralische Rohstoffe	$R_E = \sum_s \left(m_s \cdot R_{Äqu,s}\right)$ $R_M = \sum_s \left(m_s \cdot \frac{1}{R_{stat,s}}\right)$	kg $kg \cdot a^{-1}$
Treibhauseffekt	$GWP = \sum_s \left(m_{s,air} \cdot GWP_s\right)$	kg CO_2-Äquivalent
Ozonabbau	$ODP = \sum_s \left(m_{s,air} \cdot ODP_s\right)$	kg FCKW 11-Äquivalent
Bildung von Photooxidantien	$POCP = \sum_s \left(m_{s,air} \cdot POCP_s\right)$	kg Ethylen-Äquivalent
Eutrophierung (Eintrag von Nährstoffen in Böden und Gewässer)	$NP = \sum_s \left(m_s \cdot NP_s\right)$	kg PO_4^{3-} -Ionen-Äquivalent
Versauerung von Böden und Gewässern	$AP = \sum_s \left(m_{s,air} \cdot AP_s\right)$	kg SO_2-Äquivalent
Beeinträchtigung der Gesundheit des Menschen (Humantoxizität)	$HT = \sum_s \left(m_{s,air} \cdot \frac{1}{UQN_s}\right)$	m³ Luft
Direkte Schädigung von Organismen und Ökosystemen (Ökotoxizität) a) bedingt durch atmosphärische Emissionen b) bedingt durch wasserseitige Emissionen	$ET_{air} = \sum_s \left(m_{s,air} \cdot \frac{1}{UQN_{s,air}}\right)$ $ET_{water} = \sum_s \left(m_{s,water} \cdot \frac{1}{UQN_{s,water}}\right)$	m³ Luft Liter Wasser
Gefährlicher Abfall	$A = \sum m_s$	kg gefährlicher Abfall
Beeinträchtigung des maritimen Umfelds (Meeresschutz)	$ME = \sum_s \left(m_s \cdot \frac{RZ_s}{100}\right)$	kg

Legende:

m_s: Mengenstrom des Stoffes s

R: Ressourcenverknappung

$R_{äqu}$: Rohöl-Ressourcen-Äquivalenzfaktor

R_{stat}: statische Reichweite

GWP: Treibhauspotential (Global Warming Potent.)

ODP: Ozonzerstörungspotential (Ozone Depletion Potential)

POCP: Photooxidantienbildungspotential

NP: Eutrophierungspotential (Nutrification Potent.)

AP: Versauerungspotential (Acidification Potential)

HT: Humantoxisches Potential (Human Toxicity)

ET: Ökotoxisches Potential (Ecotoxicity)

UQN: Umweltqualitätsnorm

A: Anfall an gefährlichem Abfall

ME: Potent. zur Beeinträcht. D. maritimen Umfeld

RZ: Reduktionsziel

5.2.4 Entscheidungsunterstützung

Ist im Anschluß an die Stoff- und Energiebilanz oder die Wirkungsabschätzung keine Entscheidung über die Gruppe der BVT möglich, wird als Entscheidungsunterstützung eine aussagekräftige Datenaufbereitung und ein strukturiertes Vorgehen vorgeschlagen, um eine zielgerichtete Expertendiskussion und Entscheidungsfindung zu ermöglichen (vgl. Abbildung 5.2-2). Die Datenaufbereitung erfolgt in der Normierung durch den Vergleich der Techniken mit deren Mittelwerten bezüglich der Bewertungskategorien (Wirkungspotentiale und entscheidungsrelevante Stoff- und Energieströme, die nicht in Wirkungspotentiale umgerechnet werden können). Die Gewichtung der Bewertungskategorien erfolgt im Expertenkreis, um die Bedeutung der entscheidungsrelevanten Aspekte zu differenzieren. Als Orientierung für die Gewichtung wird dazu die mengenmäßige Relevanz durch den Vergleich mit europäischen Emissionsdaten abgeschätzt.[40] Die formale Methode der paarweisen Vergleiche bietet dann die Möglichkeit einer multikriteriellen Auswertung der bisherigen Ergebnisse und damit eine geeignete Grundlage für die abschließende BVT-Bestimmung in der Expertendiskussion.

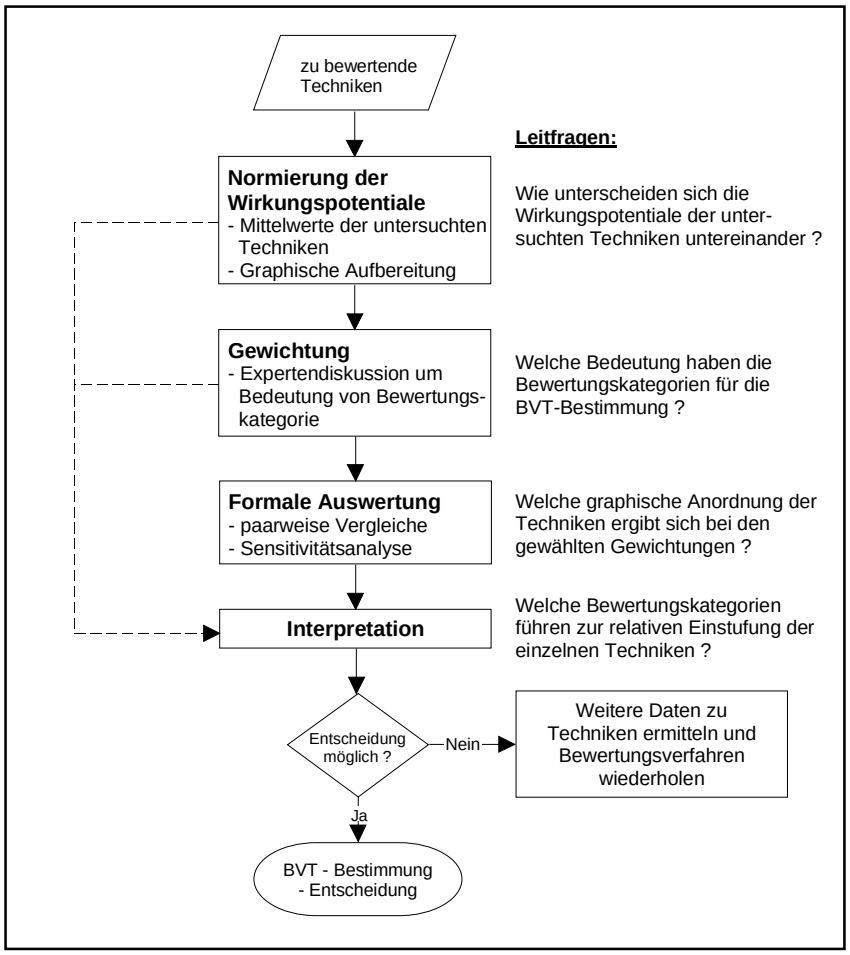

Abbildung 5.2-2: Ablaufschema der Entscheidungsunterstützung

[40] In der Ökobilanz wird dieser Schritt als Normalisierung bezeichnet.

5.3 Fallbeispiele zur Konkretisierung der Bewertungsmethoden

Für die Anwendung der medienübergreifenden Bewertungsmethode werden drei Fallbeispiele aus dem Bereich der Metallerzeugung ausgewählt.[41] Während anhand des Fallbeispiels Sinterherstellung mit Staubabscheidung vor allem die Anwendbarkeit der Bewertungsmethode unter Berücksichtigung der in der Realität verfügbaren Datensituation überprüft wird, dienen die Fallbeispiele Elektrostahlherstellung und Aluminiumherstellung ausschließlich der Demonstration des Ablaufs der modularen Bewertungsmethode anhand ausgewählter Teilschritte.

5.3.1 Fallbeispiel Sinterherstellung mit Staubabscheidung

Da Sinteranlagen im Anhang I der IVU-RL als umweltrelevante Tätigkeiten der Eisen- und Stahlindustrie genannt sind, unterliegen sie zukünftig einer integrierten Anlagenzulassung. Daher ist eine Bewertung der Sintertechniken von behördlicher Seite sowohl bei der EU-weiten BVT-Bestimmung als auch bei der konkreten Anlagengenehmigung vorzunehmen. Daher werden in diesem Fallbeispiel Techniken zur Sinterherstellung, die sich im wesentlichen in ihrer Staubabscheidetechnik unterscheiden, mit der medienübergreifenden Bewertungsmethode bewertet. Ziel der Fallstudie ist zum einen die Demonstration des Ablaufs der vorgeschlagenen medienübergreifenden Bewertungsmethode. Zum anderen ist die Eignung der Ökobilanz für die integrierte Technikbewertung und die BVT-Bestimmung im Hinblick auf medienübergreifende Umweltauswirkungen zu prüfen. Die sich daraus ergebenden Konsequenzen für die Anwendung und Weiterentwicklung der vorgeschlagenen medienübergreifenden Bewertungsmethode werden anhand dieses Fallbeispiels herausgearbeitet (für die zusammenfassende Darstellung der Schlußfolgerungen vgl. Unterkapitel 5.4).

First Screening

Das First Screening umfaßt die Auswahl der zu untersuchenden Techniken, die für die BVT-Bestimmung etwa in den nationalen BVT-Positionspapieren beschrieben sind. Die Nichteinhaltung bestimmter „Ausschlußkriterien“, z.B. geltender Emissionsgrenzwerte, führt zum Ausschluß einer Technik von der weiteren Untersuchung, falls keine Nachbesserung der Technik möglich ist. Techniken ohne relevante Umweltauswirkungen bedürfen hingegen keiner detaillierten Untersuchung und können deshalb unmittelbar in die Gruppe der besseren Techniken aufgenommen werden. Nur die Techniken, die nicht unmittelbar bevorzugt oder abgelehnt werden, werden in der integrierten Technikbewertung weiter untersucht. Dazu sind die zu untersuchenden Techniken zunächst zu charakterisieren. Die in diesem Fallbeispiel zu untersuchenden Sintertechniken unterscheiden sich im wesentlichen durch die eingesetzte Staubabscheidung, da die Sinteranlagen als vergleichbar angenommen werden:

- **Elektroabscheider** (als Technik A bezeichnet): Bei der Anwendung von Elektroabscheidern wird die elektrische Kraft auf geladene Partikel für die Abtrennung von Stäuben aus dem Abgas genutzt. Die Partikel werden

[41] Umfassende Beschreibungen der Fallbeispiele und der durchgeführten Berechnungen finden sich in Kapitel 5 und den Anhängen des Projektberichts B5 (vgl. Unterkapitel 7.1, S. 221).

elektrisch aufgeladen und durch ein elektrisches Feld zu einer Niederschlagselektrode transportiert, an der sie durch Haftkräfte festgehalten werden. Der sich an den Elektroden niedergeschlagene Staub wird entweder mechanisch durch periodische Erschütterung der Niederschlagselektrode (trocken) oder durch einen Rieselfilm (naß) entfernt. Für die enthaltenen Grobstäube kann im Elektroabscheider ein Abscheidegrad von 95-99,99 % erreicht werden, während der Gesamtabscheidegrad aufgrund des schlechteren Abscheidegrads für Feinstäube geringer sein kann.

- **Elektroabscheider und Gewebefilter in Reihenschaltung** (Technik B): Die Nachschaltung eines Gewebefilters führt zu deutlich besseren Abscheidegraden für Feinstäube als bei der alleinigen Verwendung eines Elektroabscheiders. Gewebefilter (filternde Abscheider) gehören zu den wirkungsvollsten Entstaubungstechniken und eignen sich besonders gut für die Abscheidung von Feinstäuben. Die Staubabscheidewirkung wird durch die Strömung des partikelbeladenen Gases durch ein poröses Filtermedium erreicht. Da die anwachsende Staubschicht zu einem Anstieg des Druckverlustes führt, wird der Filter regelmäßig durch Spülen mit Gas oder durch Rütteln gereinigt. Nachteilig sind der erhöhte Druckverlust sowie Wartungs- und Materialkosten durch den Wechsel der Filtermedien. Zur Reduzierung von PCDD/PCDF-Emissionen ist die zusätzliche Einblasung von Additiven (z.B. Kalkhydrat, Aktivkohle) vorgesehen.
- **Zyklon** (Technik C): Die Staubabscheidewirkung wird bei einem Zyklon (Massenkraftabscheider) durch Zentrifugalkräfte erreicht. Zyklone erreichen nur einen mäßigen Abscheidegrad von 85-98 % und eignen sich daher in vielen Anwendungen hauptsächlich als Vorabscheider für nachfolgende Reinigungsstufen. Ein Vorteil des Zyklons liegt in seinem einfachen Aufbau.
- **AIRFINE®** (Technik D): Die AIRFINE®-Technik ist eine Naßabscheidetechnik, die speziell für die Abscheidung von Stäuben mit hohen Feinstaubanteilen aus Agglomerationsanlagen (Sinter- und Pelletieranlagen) entwickelt wurde. Dabei werden durch einen über spezielle Zweistoffdüsen mittels Druckluft erzeugten Wassernebel sowohl Staub als auch gasförmige Schadstoffe entfernt. Über 90 % des Staubgehalts (Grob- und Feinstäube) und zusätzlich 98 % der organischen Bestandteile werden aus dem Gasstrom entfernt. Der Energieverbrauch ist jedoch erhöht, und außerdem fällt Abwasser an.

Die Systemgrenzen umfassen somit die Sinteranlage einschließlich der Entstaubungseinrichtungen. Erweiterungen bzw. Einschränkungen der Systemgrenzen sind nicht notwendig, da die Anlagen ähnlich aufgebaut sind und im wesentlichen gleiche Vor- und Nachstufen aufgrund ähnlichen Rohstoff- und Energieeinsatzes sowie Abfallaufkommens haben. Entsprechend sind die relevanten Stoff- und Energieströme zu ermitteln. Dabei lassen sich drei umweltrelevante Gruppen von Emissionen identifizieren [11]:

- partikelförmige Emissionen im Sinteranlagenabgas: Grobstäube (Partikel-∅ ca. 100 µm) entstehen als mechanischer Austrag durch Mitreißen von Partikeln der Sintermischung vom Sinterbett, während Feinstäube (Partikel-∅ ca. 1 µm) durch physikalisch-chemische Verdampfungs- und Kondensationsvorgänge entstehen
- gasförmige Emissionen, insbesondere Schwefeldioxid[42], Stickoxide, HCl, HF sowie CO.
- Emissionen von PCDD/PCDF in Abhängigkeit der Zusammensetzung der verwendeten Einsatzmaterialien (u.a. Gehalt an organischen Verbindungen wie Öle, Fette) und der jeweiligen Technik zur Abgasreinigung.

Als Bewertungsgrundlage dienen Einzeldaten aus Meßprogrammen sowie Unternehmensinformationen zu konkreten Anlagen, in denen die jeweiligen Techniken (Sinteranlage mit Entstaubungseinrichtung) realisiert sind bzw. waren. Keine der vier Techniken soll von der weite-

[42] Schwefel wird sowohl durch Brennstoff (Koksgrus) als auch durch Eisenerz in den Sinterprozeß eingetragen.

ren Untersuchung ausgeschlossen werden, da nicht von einer Verletzung bestimmter Ausschlußkriterien ausgegangen wird. Stoff- und Energieströme von mengenmäßig oder ökologisch geringer Relevanz, die für eine Entscheidung nicht ausschlaggebend sein werden, werden von der weiteren Untersuchung ausgenommen.

Stoff- und Energiebilanz

In der Stoff- und Energiebilanz (Tabelle 5.3-1) werden die relevanten Stoff- und Energieströme der untersuchten Techniken unterteilt nach Input und Output aufgeführt und auf die Bezugsgröße 1 t Sinter (bzw. auf 1000 Nm³ Abgas bei der Entstaubung) normiert. Dabei ist zu beachten, daß die Emissionen in starkem Maße sowohl von technikunabhängigen Einflüssen sowie der Betriebsweise abhängen können[43], so daß bereits an dieser Stelle vor einer ungeprüften Verallgemeinerung der Ergebnisse zu warnen ist.

Zu den wichtigsten aufgeführten luftseitigen Emissionen gehören Staub, SO_2, CO sowie in geringerem Umfang NO_x. Weiterhin werden in kleineren Mengen HCl, HF, Schwermetalle und PCDD/PCDF emittiert. Bei den wassergängigen Emissionen handelt es sich vor allem um Schwermetalle. Zusätzlich sind die gängigen Summenparameter für die Wasserqualität wie Stickstoffgehalt, Gehalt an organischen Kohlenwasserstoffen (TOC) und der chemische Sauerstoffbedarf (CSB) aufgeführt. Nur die Naßabscheidung bei Technik D verursacht bei der Reinigung des Abwassers feste Abfälle in Form von Filterkuchen. Die Einsatzstoffe (Eisenerz und Zuschläge) werden in dieser Fallstudie nicht in die Stoff- und Energiebilanz aufgenommen, da sie nicht als knappes Umweltgut gelten. Fossile Brennstoffe und Stromverbräuche werden zu Vergleichszwecken auf ihren Primärenergiegehalt umgerechnet.[44]

---

[43] Beispielsweise können unterschiedliche SO_2-Emission sowohl durch die Leistungsfähigkeit der eingesetzten Technik zur Schwefeldioxidminderung oder aber durch den Einsatz schwefelärmerer Roh- oder Brennstoffe hervorgerufen werden.

[44] Im ausführlichen Projektbericht wird neben der Berücksichtigung des Stromverbrauches über den Primärenergiegehalt in der Stoff- und Energiebilanz außerdem die Auflösung der Stromerzeugung in die hierfür benötigten Rohstoffe und die dabei entstehenden Emissionen untersucht. Dabei werden die bisher als Einzelposition behandelten Energiearten in Wirkungspotentiale umgerechnet. Dazu werden die für die Posi-tionen Stromverbrauch für Sinteranlagen und Stromverbrauch für die Entstaubung bei der Energieerzeugung eingesetzten Rohstoffe und entstehenden Emissionen ermittelt. Entsprechend der vom UBA vorgeschlagene Vorgehensweise werden dann die Verbräuche und Emissionen der Stromerzeugung unter Zugrundelegung des Energiemix für die EU für die Erzeugung von einer Kilowattstunde Strom umgerechnet [94]. Dabei zeigt sich, daß das durch die Stromerzeugung verursachte Potential außer für die neu hinzugenommenen Wirkungskategorien *Ressourcenverknappung* und *Treibhauseffekt* nur noch für die *Eutrophierung* mit einem Anteil von 10 % relevant ist. In den Wirkungskategorien *Ökotoxizität*$_{Wasser}$, *gefährliche Abfälle* und *Meeresschutz* wird durch die Auflösung der Stromerzeugung kein zusätzliches Wirkungspotential verursacht; die sich in den übrigen Wirkungskategorien ergebenden Veränderungen sind vernachlässigbar.

Tabelle 5.3-1: Stoff- und Energiebilanz für vier Techniken zur Sinterherstellung

Input und Output	Stoff/Energie	Technik A	Technik B	Technik C	Technik D	Einheit
Energie:	fossile Brennstoffe	1700	1560	1650	1600	MJ PE[1)]
	Strom	395	425	345	410	MJ PE[1)]
Stoffe im Abgas:	Staub	$7{,}65 \cdot 10^{-2}$	$9{,}21 \cdot 10^{-3}$	$6{,}48 \cdot 10^{-1}$	$1{,}10 \cdot 10^{-1}$	kg
	CO	17,25	31,30	23,76	39,60	kg
	SO_2	$8{,}32 \cdot 10^{-1}$	1,311	1,350	$8{,}20 \cdot 10^{-1}$	kg
	NO_x	$4{,}10 \cdot 10^{-1}$	$5{,}27 \cdot 10^{-1}$	$4{,}86 \cdot 10^{-1}$	$4{,}00 \cdot 10^{-1}$	kg
	NMVOC	$8{,}61 \cdot 10^{-2}$	$4{,}60 \cdot 10^{-2}$	$3{,}05 \cdot 10^{-1}$	$2{,}50 \cdot 10^{-2}$	kg
	Chloridionen als HCl	$3{,}62 \cdot 10^{-2}$	$2{,}86 \cdot 10^{-2}$	$4{,}54 \cdot 10^{-2}$	$5{,}90 \cdot 10^{-2}$	kg
	Fluoridionen als HF	$3{,}52 \cdot 10^{-3}$	$4{,}60 \cdot 10^{-4}$	$1{,}14 \cdot 10^{-2}$	$1{,}29 \cdot 10^{-3}$	kg
	PCDD/PCDF	$3{,}45 \cdot 10^{-9}$	$1{,}84 \cdot 10^{-9}$	$6{,}48 \cdot 10^{-9}$	$4{,}46 \cdot 10^{-10}$	kg
	As	$1{,}00 \cdot 10^{-5}$	$3{,}68 \cdot 10^{-7}$	$4{,}32 \cdot 10^{-5}$	$1{,}10 \cdot 10^{-6}$	kg
	Cd	$1{,}40 \cdot 10^{-4}$	$5{,}71 \cdot 10^{-7}$	$1{,}30 \cdot 10^{-4}$	$6{,}69 \cdot 10^{-6}$	kg
	Cr	$1{,}21 \cdot 10^{-4}$	$4{,}42 \cdot 10^{-6}$	$4{,}32 \cdot 10^{-5}$	$4{,}46 \cdot 10^{-6}$	kg
	Cu	$3{,}54 \cdot 10^{-4}$	$1{,}84 \cdot 10^{-6}$	$1{,}30 \cdot 10^{-4}$	$3{,}79 \cdot 10^{-5}$	kg
	Hg	$4{,}51 \cdot 10^{-5}$	$1{,}49 \cdot 10^{-5}$	$4{,}32 \cdot 10^{-5}$	$2{,}23 \cdot 10^{-5}$	kg
	Mn	$7{,}18 \cdot 10^{-4}$	$2{,}03 \cdot 10^{-6}$	$5{,}44 \cdot 10^{-4}$	$2{,}01 \cdot 10^{-5}$	kg
	Ni	$9{,}76 \cdot 10^{-5}$	$4{,}60 \cdot 10^{-6}$	$7{,}46 \cdot 10^{-5}$	$1{,}10 \cdot 10^{-6}$	kg
	Pb	$8{,}75 \cdot 10^{-4}$	$8{,}47 \cdot 10^{-6}$	$9{,}91 \cdot 10^{-3}$	$9{,}58 \cdot 10^{-5}$	kg
	Sn	$9{,}18 \cdot 10^{-5}$	$7{,}00 \cdot 10^{-7}$	$9{,}44 \cdot 10^{-5}$	$1{,}30 \cdot 10^{-4}$	kg
	Tl	$1{,}95 \cdot 10^{-5}$	$2{,}21 \cdot 10^{-7}$	$1{,}56 \cdot 10^{-5}$	$4{,}46 \cdot 10^{-6}$	kg
	Zn	$2{,}40 \cdot 10^{-3}$	$4{,}60 \cdot 10^{-5}$	$3{,}67 \cdot 10^{-4}$	$2{,}23 \cdot 10^{-6}$	kg
Stoffe im Abwasser:	Chlorid	0	0	0	$3{,}06 \cdot 10^{-4}$	kg
	SO_4	0	0	0	$1{,}55 \cdot 10^{-4}$	kg
	feste Schwebstoffe	0	0	0	$5{,}11 \cdot 10^{-7}$	kg
	Fe	0	0	0	$1{,}45 \cdot 10^{-8}$	kg
	Cr	0	0	0	$5{,}69 \cdot 10^{-10}$	kg
	Cu	0	0	0	$3{,}97 \cdot 10^{-9}$	kg
	Zn	0	0	0	$1{,}64 \cdot 10^{-9}$	kg
	Ni	0	0	0	$3{,}08 \cdot 10^{-9}$	kg
	Cd	0	0	0	$1{,}28 \cdot 10^{-10}$	kg
	Al	0	0	0	$1{,}80 \cdot 10^{-8}$	kg
	As	0	0	0	$5{,}61 \cdot 10^{-11}$	kg
	Pb	0	0	0	$4{,}00 \cdot 10^{-10}$	kg
	Hg	0	0	0	$8{,}81 \cdot 10^{-11}$	kg
	CN-volatile	0	0	0	$1{,}28 \cdot 10^{-9}$	kg
	Fluorid (F)	0	0	0	$4{,}26 \cdot 10^{-7}$	kg
	Sulfid (S)	0	0	0	$3{,}84 \cdot 10^{-9}$	kg
	NH_4-N	0	0	0	$7{,}13 \cdot 10^{-6}$	kg
	NO_3-N	0	0	0	$1{,}10 \cdot 10^{-6}$	kg
	NO_2-N	0	0	0	$4{,}12 \cdot 10^{-8}$	kg
	TOC	0	0	0	$1{,}07 \cdot 10^{-6}$	kg
	CSB	0	0	0	$8{,}12 \cdot 10^{-6}$	kg
Abfälle:	Filterkuchen, trocken	0	0	0	0,15	kg

Alle Werte sind auf 1 t Sinter bezogen. ([1)] MJ = Megajoule Primärenergie)

Kennzahlenbildung durch ökobilanzielle Wirkungsabschätzung

In der Wirkungsabschätzung nach der Methode der Wirkungskategorien werden die Daten aus der Stoff- und Energiebilanz entsprechend ihren potentiellen Umweltwirkungen bewertet,

indem sie den jeweiligen Wirkungskategorien zugeordnet werden. Ihr jeweiliger Beitrag zu einer Wirkungskategorie wird durch Multiplikation mit dem entsprechenden Wirkungsabschätzungsfaktor berechnet. Tabelle 5.3-2 zeigt die Wirkungsabschätzung beispielhaft für Technik D.

Anhand der Stickoxide wird die Berechnung der Wirkungspotentiale erläutert. Die potentiellen Umweltwirkungen von Stickoxiden werden den vier Wirkungskategorien *Versauerung, Eutrophierung, Humantoxizität und Ökotoxizität* zugeordnet. Der von der untersuchten Anlage emittierte NO_x-Massenstrom wird mit dem für den jeweiligen Schadstoff und die entsprechende Wirkungskategorie charakteristischen Wirkungsabschätzungsfaktor multipliziert und ergibt das Wirkungspotential des emittierten NO_x in der betreffenden Wirkungskategorie. Die Ergebnisse der Wirkungsabschätzung werden zu Gesamtwirkungspotentialen zusammengefaßt, indem in jeder Wirkungskategorie die Einzelpotentiale addiert werden.

Bei der Betrachtung der Ergebnisse der Wirkungsabschätzung für die vier Techniken zur Sinterherstellung (vgl. Abbildung 5.3-1) wird deutlich, daß die luftseitigen Emissionen durch die Berechnung der Gesamtwirkungspotentiale größtenteils aggregiert werden können. Kritisch ist jedoch anzumerken, daß die Wirkungsabschätzung andere Emissionen als prioritär ausweist als die im First Screening herausgestellten umweltrelevanten Emissionen der Sinterherstellung:

- Die NO_x-Emissionen liefern einen weitaus größeren Beitrag zu den Wirkungspotentialen als die partikelförmigen und SO_x-Emissionen.
- Die als besonders umweltrelevant geltenden Chlorid (HCl)- und Fluorid (HF)- Emissionen tragen nur etwa zu 5 % zum Wirkungspotential Versauerung bei, das im wesentlichen durch die NO_x- und SO_x-Emissionen bestimmt wird. Damit erscheinen HCl und HF unterrepräsentiert, während die Umweltauswirkungen der NO_x-Emissionen im Vergleich zur Einstufung im First Screening zu stark herausgestellt werden.
- Auch die Modellierung der CO-Emissionen in Wirkungspotentialen ist zu hinterfragen, da Sinteranlagen auch insbesondere wegen ihrer CO-Emissionen als umweltrelevant eingestuft werden [68].

Damit stellt sich die Frage, ob durch die Wirkungsabschätzung Hinweise für die Korrektur der im First Screening vorgenommenen Einschätzung der Umweltrelevanz dieser Stoffe gegeben werden, oder aber ob die Wirkungsabschätzung mit den derzeit verwendeten Wirkungsabschätzungsfaktoren eine verzerrte Abbildung der realen Wirkungszusammenhänge liefert.

Größere Einschränkungen sind allerdings bei der Abbildung wasserseitigen Emissionen mit Hilfe der bislang diskutierten Wirkungsabschätzungsfaktoren zu bemerken:

- Die Wirkungsabschätzung für die Kriterien *Human*- und *Ökotoxizität*, *Meeresschutz* und *gefährlicher Abfall* basiert auf pragmatisch formulierten Wirkungsabschätzungsfaktoren in Anlehnung an das Konzept der kritischen Volumina und bedarf einer weiteren naturwissenschaftlich fundierten Untersuchung [40].

- Speziell der niedrige Wert in der Wirkungskategorie *Meeresschutz* für Technik D, die als einzige der untersuchten Techniken Stoffe in das Medium Wasser emittiert, ist auffällig: Da die ebenfalls in der Wirkungskategorie *Meeresschutz* berücksichtigten luftgängigen Emissionen in um den Faktor 10^5 größeren Mengen anfallen, treten die wassergängigen Emissionen der Technik D weniger hervor.
- Ferner erscheint der hohe Beitrag der Bleiemissionen zu dieser Wirkungskategorie als wenig realistisch.
- Weiterhin werden die kanzerogenen PCDD/PCDF, die bei der Sinterherstellung als problematisch gelten, nur in der Wirkungskategorie *Meeresschutz* berücksichtigt, doch ihr humantoxisches Wirkungspotential wird nicht abgebildet.

Insgesamt läßt sich jedoch feststellen, daß grundsätzlich die umfangreichen Daten der Stoff- und Energiebilanz in der Wirkungsabschätzung im Hinblick auf die Entscheidungsfindung aggregiert werden können. Auch eine weitestmögliche Berücksichtigung von medienübergreifenden Umweltaspekten wird erreicht, deren genaue Erforschung jedoch noch längst nicht abgeschlossen und deswegen kritisch zu hinterfragen ist.

Aufgrund der Komplexität der Bewertung ökologischer Umweltauswirkungen wird derzeit jedoch jede Bewertungsmethode nur eine vereinfachte Darstellung der realen Zusammenhänge ermöglichen, doch zumindest ist auf prioritäre Probleme hinzuweisen. Für eine weitere Aggregation der Wirkungspotentiale gibt es jedoch keine wissenschaftliche Grundlage.

Trotz der angeführten Kritik an der Wirkungsabschätzung werden die errechneten Wirkungspotentiale als Grundlage für die multikriterielle Entscheidungsunterstützung herangezogen, um den Ablauf der vorgeschlagenen integrierten Technikbewertung zu erläutern. Eine Fortentwicklung insbesondere der Wirkungsabschätzung ist jedoch zu erwarten, da der Einsatz der Ökobilanz in der Umweltpolitik zumindest z.T. gewünscht ist [71]. Bei der derzeitigen Bestimmung von BVT ist jedoch zunächst zu prüfen, ob nicht andere Kennzahlen die potentiellen Umweltauswirkungen der untersuchten Techniken realitätsnäher abbilden.

Tabelle 5.3-2: Wirkungsabschätzung für Technik D zur Sinterherstellung

	Stoff/Energie	Emissionsmenge		Wirkungs-kategorie	Wirkungsabschätzungs-faktor		Wirkungspotential	
Luft	Staub	$1{,}10 \cdot 10^{-1}$	kg	HT	$2{,}50 \cdot 10^{7}$	m³ Luft/kg	$2{,}75 \cdot 10^{6}$	m³ Luft
				ETA	$2{,}50 \cdot 10^{7}$	m³ Luft/kg	$2{,}75 \cdot 10^{6}$	m³ Luft
	CO	39,6	kg	HT	$1{,}00 \cdot 10^{5}$	m³ Luft/kg	$3{,}96 \cdot 10^{6}$	m³ Luft
	SO_2	$8{,}20 \cdot 10^{-1}$	kg	AP	1	kg SO_2-Äqu.	$8{,}20 \cdot 10^{-1}$	kg SO_2-Äqu.
				HT	$2{,}50 \cdot 10^{7}$	m³ Luft/kg	$2{,}05 \cdot 10^{7}$	m³ Luft
				ETA	$2{,}50 \cdot 10^{7}$	m³ Luft/kg	$2{,}05 \cdot 10^{7}$	m³ Luft
	NO_x	$4{,}00 \cdot 10^{-1}$	kg	AP	0,7	kg SO_2-Äqu.	$2{,}80 \cdot 10^{-1}$	kg SO_2-Äqu.
				NP	0,13	kg PO_4^{3-}Äqu./kg	$5{,}20 \cdot 10^{-2}$	kg PO_4^{3-}-Äqu.
				HT	$2{,}00 \cdot 10^{7}$	m³ Luft/kg	$8{,}00 \cdot 10^{6}$	m³ Luft
				ETA	$2{,}00 \cdot 10^{7}$	m³ Luft/kg	$8{,}00 \cdot 10^{6}$	m³ Luft
	NMVOC	$2{,}50 \cdot 10^{-2}$	kg	POCP	0,416	kg Ethen-Äqu./kg	$1{,}04 \cdot 10^{-2}$	kg Ethen-Äqu.
	Chloride als HCl	$5{,}90 \cdot 10^{-2}$	kg	AP	0,88	kg SO_2-Äqu.	$5{,}19 \cdot 10^{-2}$	kg SO_2-Äqu.
	Fluoride als HF	$1{,}29 \cdot 10^{-3}$	kg	AP	1,6	kg SO_2-Äqu.	$2{,}06 \cdot 10^{-3}$	kg SO_2-Äqu.
	PCDD/PCDF	$4{,}46 \cdot 10^{-10}$	kg	ME	0,7		$3{,}12 \cdot 10^{-10}$	kg
	As	$1{,}10 \cdot 10^{-6}$	kg	ME	0,5		$5{,}50 \cdot 10^{-7}$	kg
	Cd	$6{,}69 \cdot 10^{-6}$	kg	HT	$1{,}00 \cdot 10^{12}$	m³ Luft/kg	$6{,}69 \cdot 10^{6}$	m³ Luft
				ME	0,7		$4{,}68 \cdot 10^{-6}$	kg
	Cr	$4{,}46 \cdot 10^{-6}$	kg	ME	0,5		$2{,}23 \cdot 10^{-6}$	kg
	Cu	$3{,}79 \cdot 10^{-5}$	kg	ME	0,5		$1{,}90 \cdot 10^{-5}$	kg
	Hg	$2{,}23 \cdot 10^{-5}$	kg	HT	$1{,}00 \cdot 10^{9}$	m³ Luft/kg	$2{,}23 \cdot 10^{-4}$	m³ Luft
				ME	0,7		$1{,}56 \cdot 10^{-5}$	kg
	Mn	$2{,}01 \cdot 10^{-5}$	kg	HT	$1{,}00 \cdot 10^{9}$	m³ Luft/kg	$2{,}01 \cdot 10^{4}$	m³ Luft
	Ni	$1{,}10 \cdot 10^{-6}$	kg	ME	0,5		$5{,}50 \cdot 10^{-7}$	kg
	Pb	$9{,}58 \cdot 10^{-5}$	kg	HT	$5{,}00 \cdot 10^{8}$	m³ Luft/kg	$4{,}79 \cdot 10^{4}$	m³ Luft
				ME	0,7		$6{,}71 \cdot 10^{-5}$	kg
	Zn	$2{,}23 \cdot 10^{-6}$	kg	ME	0,5		$1{,}12 \cdot 10^{-6}$	kg
Wasser	Cr_{water}	$5{,}69 \cdot 10^{-10}$	kg	ME	0,5		$2{,}85 \cdot 10^{-10}$	kg
	Cu_{water}	$3{,}97 \cdot 10^{-9}$	kg	ME	0,5		$1{,}99 \cdot 10^{-9}$	kg
	Zn_{water}	$1{,}64 \cdot 10^{-9}$	kg	ME	0,5		$8{,}20 \cdot 10^{-10}$	kg
	Ni_{water}	$3{,}08 \cdot 10^{-9}$	kg	ME	0,5		$1{,}54 \cdot 10^{-9}$	kg
	Cd_{water}	$1{,}28 \cdot 10^{-10}$	kg	ETW	$1{,}00 \cdot 10^{9}$	m³ Wasser/kg	$1{,}28 \cdot 10^{-1}$	l Wasser
				ME	0,7		$8{,}96 \cdot 10^{-11}$	kg
	As_{water}	$5{,}61 \cdot 10^{-11}$	kg	ME	0,5		$2{,}81 \cdot 10^{-11}$	kg
	Pb_{water}	$4{,}00 \cdot 10^{-10}$	kg	ME	0,7		$2{,}80 \cdot 10^{-10}$	kg
	Hg_{water}	$8{,}81 \cdot 10^{-11}$	kg	ETW	$1{,}00 \cdot 10^{9}$	m³ Wasser/kg	$8{,}81 \cdot 10^{-2}$	l Wasser
				ME	0,7		$6{,}17 \cdot 10^{-11}$	kg
	CSB_{water}	$8{,}12 \cdot 10^{-6}$	kg	NP	0,022	kg PO_4^{3-}Äqu./kg	$8{,}12 \cdot 10^{-6}$	kgPO_4^{3-}-Äqu./kg
Abfall	Filterkuchen	$1{,}50 \cdot 10^{-1}$	kg	A	1	kg	$1{,}50 \cdot 10^{-1}$	kg

Legende: Die wasserseitigen Stoffe wurden mit dem Index "water" versehen.

HT: Humantoxizität [40]

ETA: Ökotoxizität$_{Luft}$ [40]

AP: Versauerung [47]

NP: Eutrophierung [47]

POCP: Photooxidantienbildung [47]

ME: Meeresschutz [40]

ETW: Ökotoxizität$_{Wasser}$ [40]

A: gefährlicher Abfall [40]

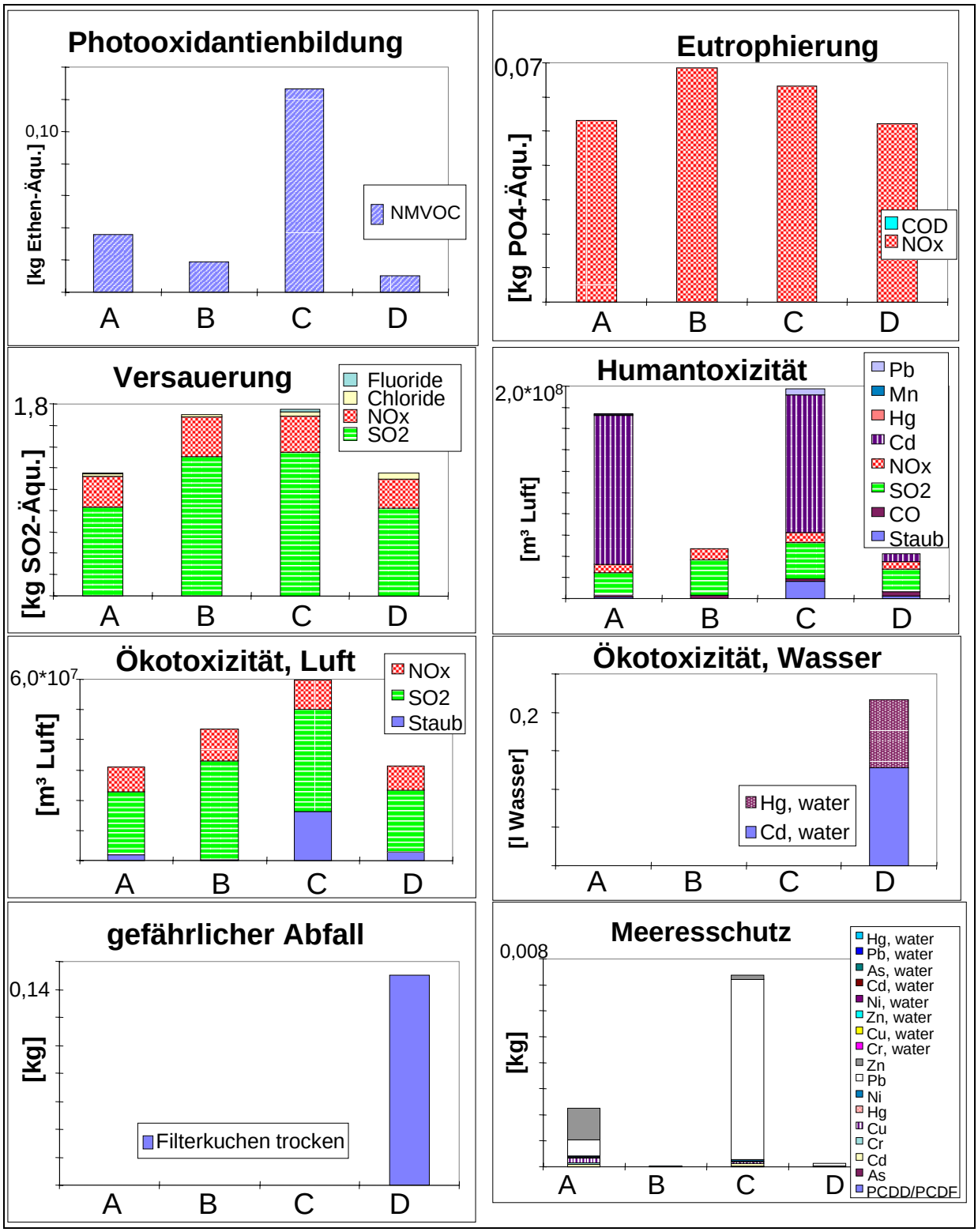

Abbildung 5.3-1: Graphische Darstellung der Ergebnisse der Wirkungsabschätzung für vier Techniken zur Sinterherstellung

Entscheidungsunterstützung

Ziel der Entscheidungsunterstützung ist eine aussagekräftige Aufbereitung der vorhandenen Informationen. Als Ausgangspunkt dient dabei die Entscheidungstabelle (Tabelle 5.3-3), die in diesem Fallbeispiel als Kriterien die in der ökobilanziellen Wirkungsabschätzung berechne-

ten Gesamtwirkungspotentiale umfaßt sowie diejenigen relevanten Stoff- und Energieströme, die nicht in Wirkungskategorien überführt werden (fossile Energie, Strom, PCDD/PCDF). Da nur Technik D Stoffe in das Medium Wasser emittiert, werden in der Entscheidungstabelle Chloride, SO_4, feste Schwebstoffe, Fe, Al, CN-volatile, Fluorid, Sulfid, NH_4-N, NO_3-N, NO_2-N und TOC zum Kriterium "wassergängige Emissionen" zusammengefaßt.

Tabelle 5.3-3: Entscheidungstabelle für vier Techniken zur Sinterherstellung

Kriterien		Technik A	Technik B	Technik C	Technik D	Einheit
Wirkungskategorie		Gesamtwirkungspotential				
Photooxidantienbildung		35,8	19,1	127	10,4	10^{-3} kg Ethen-Äqu.
Eutrophierung		53,2	68,4	63,2	52,0	10^{-3} kg PO_4^{3-}-Äqu.
Versauerung		1,16	1,71	1,75	1,15	kg SO_2-Äqu.
Humantoxizität		174	47,3	197	42,0	10^6 m³ Luft
$Ökotoxizität_{Luft}$		30,9	43,5	59,7	31,3	10^6 m³ Luft
$Ökotoxizität_{Wasser}$		0	0	0	0,216	l Wasser
Gefährliche Abfälle		0	0	0	0,15	kg
Meeresschutz		2,24	0,0454	7,39	0,111	10^{-3} kg
Daten aus Stoff- und Energiebilanz		Emissions- bzw. Verbrauchsmenge				
Energieverbrauch	fossile Energien	1.700	1.560	1.650	1.600	MJ
	Strom	395	425	345	410	MJ
PCDD/PCDF		3,45	1,84	6,48	0,446	10^{-9} kg
Wassergängige Emissionen		nein	nein	nein	ja	

Alle Werte sind auf 1 t Sinter bezogen.

Abbildung 5.3-2 zeigt die Rangfolgen der untersuchten Techniken im Hinblick auf die berücksichtigten Kriterien und verdeutlicht somit die Zielkonflikte bereits im Vorfeld einer multikriteriellen Auswertung: Technik D erreicht zwar fünfmal den besten Rangplatz, aber zugleich auch dreimal den schlechtesten. Damit dominiert keine der untersuchten Techniken in sämtlichen Kriterien die übrigen Techniken bzw. wird von ihnen dominiert. Daher ist eine Untersuchung der Bedeutsamkeit der einzelnen Wirkungskategorien im Rahmen einer Gewichtung notwendig, um ein nachvollziehbares Gesamturteil abzuleiten.

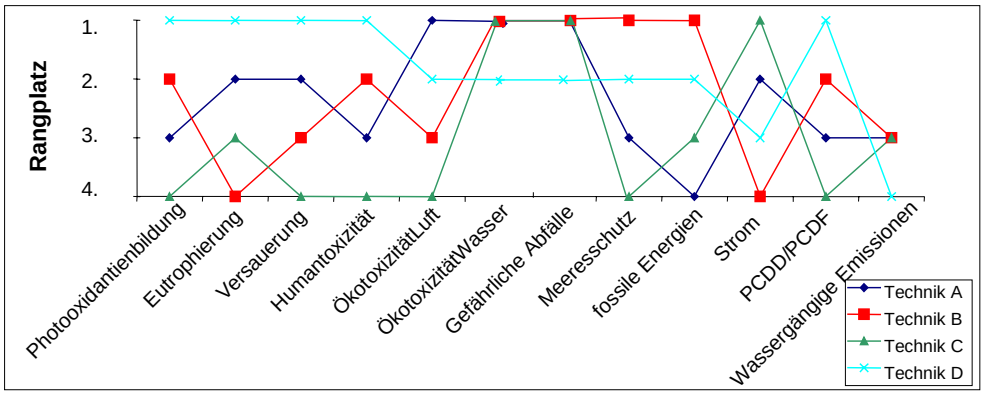

Abbildung 5.3-2: Rangfolgenbildung für die vier untersuchten Techniken zur Sinterherstellung

Gewichtung

Tabelle 5.3-4 zeigt exemplarisch für die vier untersuchten Techniken zur Sinterherstellung die Ableitung von Gewichtungsfaktoren unter Verwendung der Gewichtungsansätze der Ökobilanz nach der Methode der Wirkungskategorien. Dort wird eine vergleichende und nachvollziehbare Prioritätensetzung für die Beurteilung der Wirkungspotentiale durch die Betrachtung der Mengenrelevanz der für die untersuchten Techniken berechneten Wirkungspotentiale und die ökologische Bedeutung der Wirkungskategorien angestrebt (vgl. [95; 40]).

Zur Abschätzung der *Mengenrelevanz* der berechneten Wirkungspotentiale wird zunächst der sogenannte ‚spezifische Beitrag' berechnet als Quotient des Mittelwerts der Wirkungspotentiale der untersuchten Techniken und des EU-weiten Wirkungspotentials.[45] Liegen keine geeigneten Vergleichswerte vor, so wird die Mengenrelevanz abgeschätzt. Die *ökologische Bedeutung* wird dann für die Wirkungskategorien unabhängig von der durchzuführenden ökologischen Bewertung diskutiert. Mengenrelevanz und ökologische Relevanz werden dann zur verbalen Gesamtbedeutung zusammengefaßt [95]. In Tabelle 5.3-4 sind die für die Fallstudie getroffenen Annahmen durch kursive Schrift gekennzeichnet.

Für die praktische Durchführung der Vergabe von Gewichtungsfaktoren für die Wirkungskategorien und die entscheidungsrelevanten Stoff- und Energieströme wird zunächst eine Befragung der Experten vorgeschlagen. Dabei dienen die Informationen zur ökologischen Bedeutung und zur Mengenrelevanz der Bewertungskategorien, die gemeinsam die Gesamtbedeutung charakterisieren, als Orientierung. Eine Möglichkeit zur pragmatischen Ableitung von Gewichtungsfaktoren besteht in der Zuordnung der verbalen Einstufungen der Gesamtbedeutung zu Punktwerten (z.B. gering = 1; mäßig = 2; mittel = 3; groß = 4; sehr groß = 5), die wiederum als Grundlage für die Berechnung prozentualer Gewichtungsfaktoren für die anschließende formale Auswertung dienen. Weil deren Herleitung aufgrund der Vielzahl zu treffender Annahmen bzw. des Fehlens wissenschaftlich erwiesener Zusammenhänge nicht objektiv begründbar ist, können die Gewichtungsfaktoren lediglich Hinweise auf die Bedeutung der einzelnen Bewertungskategorien für die untersuchten Techniken geben. Da aber jede Wahl von Gewichtungsfaktoren zwangsläufig subjektiv geprägt ist, kann die Entscheidungsunterstützung nur dem Aufzeigen der Zusammenhänge zwischen getroffenen Annahmen und dem Resultat der Auswertung dienen und eine Struktur für die Expertendiskussion bieten. Daher

[45] Für die weitere Auswertung wird der spezifische Beitrag des Wirkungspotentials mit der größten Mengenrelevanz (hier: Humantoxizität) gleich 100 % gesetzt und die übrigen spezifischen Beiträge darauf bezogen. So entspricht die relative Mengenrelevanz der Photooxidantienbildung für die in der Fallstudie untersuchten Techniken dem Wert $\frac{7{,}89 \cdot 10^{-12}}{1{,}43 \cdot 10^{-10}}$ = 5,5 %, der als Grundlage für eine verbale Einstufung der Mengenrelevanz der Wirkungspotentiale dient.

ist ein kritisches Hinterfragen der ermittelten Resultate und insbesondere der gewählten Gewichtungsfaktoren im Anschluß an die Auswertung unabkömmlich.

Tabelle 5.3-4: Ableitung der Gewichtungsfaktoren aus Mengenrelevanz und ökologischer Bedeutung

	Ermittlung der Mengenrelevanz					*Ökologische*	*Gesamt-*	*Punkt-*	*Gewichtungs-*
Kriterien	*mittleres Wirkungspotential der untersuchten Techniken*	*EU-weites Gesamtpotential*	*spezifischer Beitrag*	*relative Größe*	*Mengen-relevanz*	*Bedeutung*	*bedeutung*	*wert*	*faktoren*
Photooxidantien-bildung	0,0480 kg Ethen-Äqu./t Sinter	$6{,}086 \cdot 10^{9}$ kg Ethen-Äqu./a	$7{,}89 \cdot 10^{-12}$ a/t Sinter	5,5%	gering	groß	**mittel**	3	8,1% $= 3 \cdot \frac{100\%}{37}$
Eutrophierung	0,0592 kg PO_4^{3-}-Äqu. /t Sinter	$1{,}631 \cdot 10^{9}$ kg PO_4^{3-}-Äqu./a	$3{,}63 \cdot 10^{-11}$ a/t Sinter	25,4%	mäßig	mittel	**mittel**	3	8,1%
Versauerung	1,40 kg SO_2-Äqu. /t Sinter	$20{,}828 \cdot 10^{9}$ kg SO_2-Äqu./a	$6{,}72 \cdot 10^{-11}$ a/t Sinter	47,0%	mittel	mittel	**mittel**	3	8,1%
Humantoxizität	$110 \cdot 10^{6}$ m³ Luft/t Sinter	$769{,}6 \cdot 10^{12}$ m³ Luft/a	$1{,}43 \cdot 10^{-10}$ a/t Sinter	100,0%	sehr groß	*groß*	**sehr groß**	5	13,5%
$Ökotoxizität_{Luft}$	$36{,}1 \cdot 10^{6}$ m³ Luft/t Sinter	$552{,}1 \cdot 10^{12}$ m³ Luft/a	$6{,}54 \cdot 10^{-11}$ a/t Sinter	45,7%	mittel	*mittel*	**mittel**	3	8,1%
$Ökotoxizität_{Wasser}$				---	*gering*	*mittel*	**mäßig**	2	5,4%
Abfälle				---	*gering*	mäßig	**mäßig**	2	5,4%
Meeresschutz				---	*gering*	*sehr groß*	**mittel**	3	8,1%
Fossile Energien				---	*gering*	groß	**mittel**	3	8,1%
Strom				---	*gering*	*groß*	**mittel**	3	8,1%
PCDD/PCDF				---	*groß*	*groß*	**groß**	4	10,8%
wasserg. Emissionen				---	*mittel*	*mittel*	**mittel**	3	8,1%

Formale Auswertung mittels paarweiser Vergleiche

Zur Unterstützung der Auswertung einer Vielzahl von Bewertungskategorien und der Gewichtungen der verschiedenen Umwelteinwirkungen wird eine formale Methode zur Entscheidungsunterstützung herangezogen.[46]

Bei der Methode der paarweisen Vergleiche erfolgt die Aufbereitung der Daten aus der Entscheidungstabelle (Tabelle 5.3-3) über die dimensionslose Vergleichsgröße “Präferenz”. Das Verfahren basiert auf paarweisen Vergleichen von Techniken hinsichtlich betrachteter Bewertungskategorien. Durch einen Algorithmus werden computergestützt sogenannte “Maße für die relative Stärke” Φ^{+} (wenn die Technik A hinsichtlich der betrachteten Bewertungskategorie besser beurteilt wird als die Technik B) als auch “Maße für die relative Schwäche” Φ^{-}

[46] Die formale Auswertung mittels paarweiser Vergleiche ist Anhang F des Projektberichts 7 (vgl. Unterkapitel 7.1, S. 221) ausführlich für dieses Fallbeispiel beschrieben. Die Bewertung stützt sich auf sogenannte multikriterielle Entscheidungsmodelle, die zur Strukturierung von Entscheidungssituation mit mehreren Zielgrößen, die nicht auf einen gemeinsamen Nenner gebracht werden können, dienen. Hier wird die Verwendung des sogenannten Outranking-Verfahrens PROMETHEE vorgeschlagen [3, 13, 116]. Zur praktischen Durchführung der formalen Bewertung stehen spezifische Computerprogramme zur Verfügung. Auf die Belange der Technikbewertung in der Eisen- und Stahlindustrie wird insbesondere von Geldermann [39] eingegangen.

(wenn die Technik A hinsichtlich der betrachteten Bewertungskategorie schlechter beurteilt wird als die Technik B) für jede untersuchte Technik ermittelt.

Tabelle 5.3-5 zeigt das Ergebnis der weiteren Auswertung der relativen Stärkemaße Φ^+ als auch aus der relativen Schwächemaße Φ^- jeder einzelnen Technik. Dazu werden die untersuchten Techniken sowohl nach ihren Stärke- als auch nach ihren Schwächemaßen jeweils in eine Rangfolge gebracht. Diese beiden Rangfolgen werden anschließend zu einer graphischen Ergebnisdarstellung zusammengefaßt. Da sich in dieser Auswertung die Rangfolgen für Φ^+ und Φ^- unterscheiden, indem Technik B und D den Rangplatz tauschen, wird in der resultierenden Rangfolge eine Unvergleichbarkeit der beiden Techniken ausgewiesen, das heißt, daß keine der beiden Techniken klar vorzuziehen ist.

Tabelle 5.3-5: Maße für die relative Stärke und Schwäche der untersuchten Techniken zur Sinterherstellung

		Technik A	Technik B	Technik C	Technik D	Rangfolge
Maß für relative Stärke:	Φ^+	0,341	0,467	0,188	0,513	D→B →A →C
Maß für relative Schwäche:	Φ^-	0,373	0,253	0,626	0,257	B→D →A →C
resultierende Rangfolge:						B →A →C D ↗

Abbildung 5.3-3 zeigt eine graphische Darstellung der relativen Stärke und Schwäche der untersuchten Techniken. Die graphische Ergebnisdarstellung im unteren Teil von Abbildung 5.3-3 spiegelt näherungsweise die Unterschiede der untersuchten Techniken wider, indem die Pfeillänge die Differenz der Φ^{netto}-Werte (also der Differenz aus dem jeweiligen Stärkemaß und dem Schwächemaß) andeutet. Diese Ergebnisdarstellung der paarweisen Vergleiche als graphische Anordnung der untersuchten Techniken bietet eine geeignete Diskussionsgrundlage, zumal Widersprüchlichkeiten und Unvergleichbarkeiten aufgezeigt werden können. Die berechneten Zahlenwerte Φ^+, Φ^- und Φ^{netto} stellen dabei lediglich eine dimensionslose Vergleichsgröße dar und dürfen keinesfalls als “Umweltbelastungspunkte” gedeutet werden.

Anhand von Abbildung 5.3-3 ist zu erkennen, daß bei Technik B und D die relative Stärke jeweils die relative Schwäche überwiegt, so daß beide Techniken bei der gewählten Gewichtung überwiegend positiv beurteilt werden. Da sich jedoch die relative Stärke der Techniken B und D nur geringfügig unterscheiden, sind beide als etwa gleichwertig anzusehen. Dieses Resultat erscheint bei nochmaliger Betrachtung der Wirkungspotentiale und der daraus resultierenden Einzelrangfolgen (vgl. Tabelle 5.3-3) plausibel, da Technik B und Technik D in jeweils verschiedenen Wirkungskategorien die besten Werte aufweisen. Bei der Auswertung der Technik A gleichen sich relative Stärke und Schwäche aus. Technik A hat zwar auch erste Rangplätze inne und schneidet in keiner Wirkungskategorie als schlechteste Technik ab (vgl. Tabelle 5.3-3), doch durch die höhere Gewichtung der Humantoxizität bleibt Technik A in

den paarweisen Vergleichen hinter den Techniken B und D zurück. Technik C, die in sechs Wirkungskategorien am schlechtesten abschneidet, weist schließlich auch in den paarweisen Vergleichen die größte relative Schwäche auf.

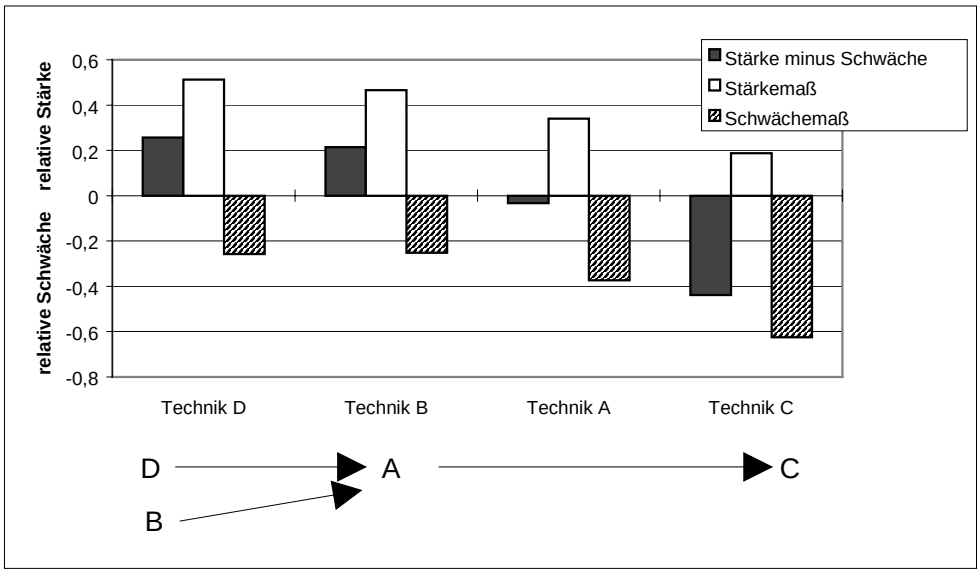

Abbildung 5.3-3: Graphische Darstellung der relativen Stärke und Schwäche der untersuchten Techniken zur Sinterherstellung

Mittels einer Sensitivitätsanalyse (Tabelle 5.3-6) wird überprüft, bei welcher Veränderung der Gewichtung sich eine Änderung der relativen Maße für die Stärke und Schwäche ergibt, so daß eine Änderung der graphischen Auswertung der untersuchten Techniken resultiert. Dabei stellen die Sensitivitätsintervalle den Bereich dar, in dem die Gewichtung der Bewertungskategorien ceteris paribus (unter ansonsten unveränderten Bedingungen) variiert werden kann, ohne daß sich die Rangfolge der untersuchten Techniken ändert. Je enger also die Intervallgrenzen sind, desto sensitiver ist die Gewichtung der entsprechenden Bewertungskategorie. Umfaßt das Sensitivitätsintervall einer Bewertungskategorie [0,100 %], dann hängt die Rangfolgenbildung bei den gewählten Gewichtungsfaktoren nicht von der Gewichtung dieser Kategorie ab: Diese Bewertungskategorie ist also bei der gewählten Konstellation nicht entscheidungsrelevant.

In Spalte 3 der Tabelle 5.3-6 ist folglich die Sensitivität der Bewertungskategorien grob klassifiziert, so daß die Expertendiskussion auf die Bewertungskategorien mit hoher Sensitivität konzentriert werden kann. Die beiden letzten Spalten der Tabelle 5.3-6 zeigen dann die Rangfolgen, die aus einer Änderung der jeweiligen Gewichtung unter bzw. über die Intervallgrenzen resultieren.

Tabelle 5.3-6: Sensitivitätsanalyse für die Gewichtung der vier untersuchten Techniken zur Sinterherstellung

	Gewichtung	Sensitivitäts	Sensitivität	Änderungen	
Wirkungskategorie		intervall		untere Intervall-grenze	obere Intervall-grenze
Photooxidantienbildung	7,3 %	[0%; 12,1%]	mittel		D→B →A→C
Eutrophierung	7,3 %	[0 %; 10,2 %]	mittel	B→D →A→C	B→D →A→C
Versauerung	7,3 %	[0 %; 10,6 %]	mittel	B→D →A→C	D→B →A→C
Humantoxizität	12,2 %	[1,2 %; 43,3 %]	niedrig		D→B →A→C
Ökotoxizität$_{Luft}$	7,3 %	[0 %; 11,1 %]	mittel		D→B →A→C
Ökotoxizität$_{Wasser}$	4,9 %	[4,1 %; 16,4 %]	hoch	D→B →A→C	D→B →A→C
Gefährliche Abfälle	4,9 %	[4,1 %; 16,4 %]	hoch	D→B →A→C	B→A →C B→D→C
Meeresschutz	7,3 %	[0 %; 100 %]	keine		
Fossile Energie	7,3 %	[4,2 %; 38,2 %]	mittel	D→B →A→C	B→D →A→C
Strom	7,3 %	[0 %; 13,2 %]	mittel		D→B →A→C
Sn	4,9 %	[4,5 %; 22,3 %]	hoch	D→B →A→C	B→D →A→C
Tl	7,3 %	[1,9 %; 53,0 %]	niedrig	D→B →A→C	B→D →A→C
PCDD/PCDF	9,8 %	[0 %; 100 %]	keine		
wassergängige Emissionen	4,9 %	[4,7 %; 16,4 %]	sehr hoch	D→B →A→C	B→A →C D→C

Anhand der graphischen Auswertung lassen sich Gruppen ablesen: Je nach Gewichtung der wassergängigen Emissionen und den damit verbundenen Wirkungskategorien dominieren sich Technik B und D wechselseitig, so daß beide Techniken im Rahmen der Untersuchung als gleichwertig und im Vergleich zu den übrigen Techniken als dominierend anzusehen sind. Technik A ist aufgrund der ausgewogenen relativen Stärken und Schwächen eher zu der Gruppe der besseren Techniken zu zählen, während Technik C stets als schlechteste der untersuchten Techniken abschneidet.

Bereits an Abbildung 5.3-3 ist zu erkennen gewesen, daß Technik C sich stark von den übrigen Alternativen unterscheidet und bezüglich der meisten Kriterien deutlich als schlechteste Alternative abschneidet. Die für die Fallstudie berücksichtigte Anlage (Technik C) wurde inzwischen mit einem modifizierten Elektroabscheider nachgerüstet. Ferner wird offenkundig, daß Technik D bei einer leicht erhöhten Gewichtung der Kriterien Ökotoxizität$_{Wasser}$, gefährliche Abfälle oder wassergängige Emissionen von den Techniken A und B dominiert wird, so daß bei der Interpretation der Ergebnisse ein besonderes Augenmerk auf diese Kriterien zu legen ist.

Die Auswertung der entscheidungsrelevanten Daten durch die formale Methode liefert somit weitere Anhaltspunkte für die BVT-Bestimmung, die in der Expertendiskussion zur Verfügung stehen. Es ist zu betonen, daß die endgültige Entscheidung über die Gruppe der BVT in der Expertendiskussion zu treffen ist und wohl niemals von einer Methode oder einem Computer alleine sinnvoll gefällt werden kann. Dazu sind die Entscheidungstabelle, die Wirkungsabschätzungstabelle und die Stoff- und Energiebilanz heranzuziehen und die Datenqualität, die berechneten Wirkungspotentiale sowie die gewählten Gewichtungsfaktoren kritisch zu hinterfragen.

5.3.2 Fallbeispiel Elektrostahlherstellung

Im Fallbeispiel Elektrostahlherstellung wird die vorgeschlagene medienübergreifende Bewertungsmethode auf zwei fiktive Techniken zur Elektrostahlerzeugung angewendet. Die Techniken werden dabei durch Datensätze beschrieben, die aus einem Meßprogramm für Dioxine und Schwermetalle stammen, die sowohl das für die Elektrostahlerzeugung charakteristische Stoffspektrum als auch die Emissionswerte in einer realen Größenordnung widerspiegeln. Anhand dieses zweiten Fallbeispiels wird der Ablauf der vorgeschlagenen Bewertungsmethode sowie das vorzeitige Beenden der konsistenten Bewertungsprozedur verdeutlicht, indem gezeigt wird, daß bei ausreichend detaillierter Datenlage auf die Erstellung eines Mengengerüstes verzichtet und direkt die Stoff- und Energiebilanz erstellt werden kann.

5.3.3 Fallbeispiel Aluminiumherstellung

In diesem Fallbeispiel wird die medienübergreifende Bewertungsmethode auf Techniken zur Aluminiumherstellung angewendet. Hierfür stehen Datensätze zum charakteristischen Stoffspektrum der Aluminiumerzeugung für drei fiktive Techniken zur Verfügung, die auf verschiedenen Literaturdaten aufbauen. Es wird gezeigt, daß bei ausreichender Informationslage der modulare Aufbau der vorgeschlagenen medienübergreifenden Bewertungsmethode eine frühzeitige Beendigung der Bewertung gestattet, falls in der Expertendiskussion eine konsensfähige BVT-Bestimmung frühzeitig erreicht wird.

5.4 Schlußfolgerungen aus Anwendung der Methode

Anhand der gewählten praktischen Beispiele aus der Metallindustrie (Sinterherstellung, Elektrostahlerzeugung und Aluminiumproduktion) werden folgende Schlußfolgerungen deutlich:

1. Beim praktischen Einsatz der integrierten Bewertungsmethode strukturieren Ablaufdiagramme die Expertendiskussion. Sobald im Expertenkreis die BVT-Bestimmung als eindeutig angesehen wird, wird die Entscheidung getroffen und damit die Methode beendet. Ferner wird der Bewertungsaufwand reduziert, indem durch die frühzeitige Begrenzung des Untersuchungsraums nur die notwendigen Daten erhoben werden. Insbesondere bei der erstmaligen BVT-Bestimmung erscheint daher ein iteratives Vorgehen notwendig. Zunächst könnte die Methode in einer Testphase parallel zum derzeit praktizierten Vorgehen

eingesetzt werden, um sukzessive die für eine Bewertung notwendigen Daten zu erheben und schließlich die Datenbasis nach und nach zu ergänzen und konkretisieren.

2. Ein wichtiger Aspekt des vorgeschlagenen Ablaufschemas ist in seiner Flexibilität zu sehen. Durch die Möglichkeit des stufenweisen Einsatzes der Methode und des vorzeitigen Beendens der kompletten Bewertungsprozedur wird dennoch ein einheitliches, koordiniertes Vorgehen der Expertenrunde gewährleistet mit dem Ergebnis einer transparenten, dokumentierten BVT-Bestimmung in den einzelnen Sektoren.

3. Aufgrund stark variierender Einsatzmengen und unterschiedlicher Meßprogramme sind die vorhandenen Daten nicht unmittelbar miteinander vergleichbar. Daher müssen derzeit die verfügbaren Technikbeschreibungen durch realitätsnahe Annahmen bzw. detailliertere Literaturrecherchen sowie Unternehmensbefragungen ergänzt werden. Grundsätzlich ist die Vorbereitung der BVT-Bestimmung mit der konzipierten Methode auch bei unvollständigen Ausgangsdaten auf der Grundlage der vorhandenen Daten möglich, solange die Auswirkungen der nicht erfaßten Stoff- und Energieströme möglichst realitätsnah abgeschätzt und in der Gesamtbewertung berücksichtigt werden können.

4. Die Bewertung der Techniken ist an Wirkungspotentialen ausgerichtet, die sich durch die Emissionen und Verbräuche bei der Anwendung dieser Techniken ergeben. Da die Methode dem Ansatz der Ökobilanz für Produkte gemäß UBA weitestgehend folgt, kann auf existierende Vorarbeiten aufgebaut werden. Im Hinblick auf sonstige Aktivitäten der europäischen Umweltpolitik können ggf. Synergien genutzt werden, indem etwa einheitliche Schadstoffregister (z.B. das auf der Basis des Art. 15 Abs. 3 der IVU-RL zu entwickelnde PER Polluting Emissions Register) gemeinschaftlich genutzt werden.

5. Aufgrund des modularen Aufbaus kann die medienübergreifende Bewertungsmethode an die Anforderungen der verschiedenen Industriesektoren angepaßt werden. Gerade die Wirkungsabschätzung erlaubt derzeit nur eine vorläufige Modellierung der potentiellen Umweltauswirkungen, da die naturwissenschaftlichen Grundlagen bislang nicht weiter entwickelt sind.

6. Insbesondere die Berechnung der *Human*- und *Ökotoxizität* sowie der Wirkungskategorie "*Meeresschutz*" stellt derzeit eine erste Näherung der potentiellen Umweltwirkungen dar, die näher zu erforschen sind. Zur Berücksichtigung von sektorspezifischen Umweltwirkungen ist die Definition von weiteren Wirkungskategorien denkbar. Eine Ergänzung der integrierten Bewertungsmethode durch geeignete Vorgaben ist für die lokale Anwendung möglich, indem zusätzlich Wirkungskategorien zur Beschreibung überwiegend lokaler Umweltauswirkungen in die Methode integriert werden. Durch den modularen Aufbau des Ablaufschemas und eine geeignete Computerunterstützung wird die dynamische Fortschreibung der Methode erleichtert, indem zunächst pragmatisch formulierte Wirkungskategorien sukzessive gemäß dem Stand der Wissenschaft aktualisiert werden.

7. Die Gewichtung der Wirkungskategorien und entscheidungsrelevanten Stoff- und Energieströme legt die subjektiven Einschätzungen der Experten offen. Durch einen strukturierten Ablauf und festgelegte Regeln wird die Diskussion zielgerichtet auf die entscheidungsrelevanten Aspekte gelenkt.

8. Die Auswertung der erhobenen Daten durch die formale Methode der paarweisen Vergleiche erlaubt auch die Berücksichtigung von technischen und ökonomischen Kennzahlen (z.B. charakteristische Wirkungsgrade).

9. Die Datenformate sind so konzipiert, daß der Bewertungsprozeß durch Computer-Unterstützung rationell durchgeführt werden kann. Dadurch ergeben sich weitere Vorteile:
   - Zugang der gesamten TWG zu verfügbaren Informationen
   - einfache Integration von neuen Informationen zu den Techniken
   - einfache Aktualisierung und Modifizierung der Wirkungskategorien
   - Zugriff interessierter Kreise auf bestimmte Daten

5.5 Aufwandsabschätzung für den Einsatz der Methode

Der zeitliche Aufwand für den Einsatz der Methode richtet sich nach der Anzahl der zu untersuchenden Techniken und der Verschiedenartigkeit der eingesetzten Technologien und Einsatzstoffe (vgl. Tabelle 5.5-1). Den größten Aufwand beim praktischen Einsatz der Methode verursachen die Datenerhebung und die Erstellung der detaillierten Technikbeschreibungen. Liegen alle entscheidungsrelevanten Stoff- und Energieströme vor, so kann die BVT-Bestimmung an einem Tag durchgeführt werden, und sobald im Expertenkreis die BVT-Bestimmung als offensichtlich angesehen wird, kann die Methode beendet werden.

Tabelle 5.5-1: Bestandteile der medienübergreifenden Bewertungsmethode zur Umsetzung der IVU-RL und Abschätzung des zeitlichen Aufwands

Schritt der Methode	Ziel des Schrittes	Art der Tätigkeit	Zuständigkeit	geschätzter zeitlicher Aufwand	Bedingung
Beschreibung der verfügbaren Techniken	Technikbeschreibungen	Sammeln von Technikdaten und schreiben der nationalen BVT-Positionspapiere	nationale Experten	3 - 6 Monate	abhängig von Sektor, Anlagenart, Komplexität der Technik und Datenverfügbarkeit
First Screening	Auswahl der detailliert zu untersuchenden Verfahren	Grenzwerte überprüfen (Ja/Nein-Entscheidung)	nationale Experten, EIPPC-Bureau	5 Minuten	Vorliegen von Listen mit gültigen Emissionsgrenzwerten
		Mengengerüst erstellen	EIPPC-Bureau, nationale Experten	1 Stunde	Vorliegen von charakteristischen Technikbeschreibungen
		Bestimmen der „Sofort-BVT“ in der Expertendiskussion anhand des Mengengerüst und ggf. sektorspezifischer Checklisten	EIPPC-Bureau	1 Stunde	
Stoff- und Energiebilanz	Festlegen der Bilanzierungsvoraussetzungen	Bestimmung des Zentralmoduls in der Expertendiskussion	EIPPCB	30 Minuten	
	Ermitteln der Stoff- und Energiedaten	Sammeln der Daten, et. zusätzliche Messungen veranlassen	Nationale Experten, evt. Industrievertreter	4 Wochen	Umsetzung von einheitlichen Meßprogrammen
Wirkungsabschätzung	Beurteilung der untersuchten Verfahren anhand der durch die einzelnen Stoffflüsse verursachten Umweltwirkungen	Berechnen der Wirkungspotentiale	Support Team des EIPPCB	15 Minuten	PC-Programm zur Berechnung mit aktualisierten Wirkungsabschätzungsfaktoren
Entscheidungsunterstützung	Transparenz und Nachvollziehbarkeit der BVT-Bestimmung	Normierung durch Berechnung der Mittelwerte der Techniken und graphische Auswertung	Support Team des EIPPCB	5 Minuten	PC-Programm zur Berechnung der Mittelwerte
		Normalisierung durch Vergleich der Emissionen im Sektor mit europäischen Vergleichswerten	Support Team des EIPPCB	5 Minuten	PC-Programm zur Berechnung der spezifischen Beiträge anhand der aktualisierten europäischen Vergleichswerte
		Gewichtungen vergeben zur Differenzierung der Bedeutung der einzelnen Bewertungskategorien	EIPPCB	1 Stunde	
		Formale Auswertung	Support Team des EIPPCB	10 Minuten	PC-Programm zur formalen Auswertung mittels paarweiser Vergleiche
		Interpretation der Ergebnisse anhand Sachbilanz, Wirkungsbilanz, Normierung, Normalisierung, Gewichtung und formaler Auswertung (soweit vorliegend)	EIPPCB	2 Stunden	

Legende: Die Aufgaben der Expertendiskussion des EIPPC sind grau hinterlegt.

5.6 Handlungsempfehlungen

Entsprechend den aufgeführten Schlußfolgerungen lassen sich folgende Handlungsempfehlungen formulieren:

- Zunächst sollte die medienübergreifende Methode in einer Testphase parallel zu den derzeit eingesetzten Entscheidungsmechanismen angewendet werden. Dadurch können sektorspezifische Besonderheiten, Anforderungen an die Datenmenge und -qualität und Abstimmungsaufwand bestimmt und problemadäquate Meßvorschriften formuliert werden. Eine Berücksichtigung im “BREF on Monitoring” (BVT-Referenzmaterial zu Meßprogrammen) ist ggf. zu prüfen.
- Die Entscheidung über relevante und nicht-relevante Stoff- und Energieströme sollte auf der Grundlage umfassender ökologischer Bewertungen von ausgewählten Techniken in den einzelnen Industriesektoren getroffen werden.
- Die Wirkungskategorien sind kontinuierlich an den Stand der Wissenschaft anzupassen. Dabei ist vor allem die Diskussion um die Ökobilanzen kritisch zu verfolgen. Darüber hinaus sind für bestimmte Industriesektoren eventuell spezielle Wirkungskategorien im Expertenkreis zu formulieren, um die ökologischen Besonderheiten angemessen zu berücksichtigen.

Abschließend bleibt festzuhalten, daß aufgrund der Komplexität der Umsetzung der IVU-RL jede Bewertungsmethode nur eine vereinfachte Darstellung der realen Zusammenhänge ermöglicht, indem einzelne Probleme herausgestellt werden. Eine vollständige Verknüpfung dieser Einzelprobleme wird jedoch auch in Zukunft schwerlich erreichbar sein. Ein strukturiertes Vorgehen nach konsistenten Regeln wird daher bereits den Entscheidungsprozeß er-

heblich transparenter und effizienter gestalten und damit zur Harmonisierung der Anforderungen an industrielle Anlagen in der EG erheblich beitragen.

5.7 Organisation eines Europäischen Workshops zur Abstimmung der bislang praktizierten Bewertungsansätze

Zur Diskussion dieser Schlußfolgerungen und Handlungsempfehlungen wurde auf Initiative des UBA und des EIPPCB (European IPPC Bureau Sevilla) der Europäische *Workshop on the assessment of cross media aspects relevant for the determination of "Best Available Techniques" in the frame of the implementation of Article 16(2) of the IPPC Directive* im Februar 1998 in Berlin vom DFIU mit finanzieller Unterstützung der Europäischen Kommission organisiert[47]. Ziel des Workshops war die Präsentation des Standes der Wissenschaft *(state of the art)* und eine erste Verständigung über Bewertungsmethoden, die bei der BVT-Bestimmung die Arbeiten der Europäischen Kommission unterstützen sollen, sowie der Entwurf international abgestimmter Handlungsempfehlungen für die EU.

Teilnehmer des Workshops waren ca. 120 Experten aus zahlreichen nationalen Umweltbehörden der EU-Mitgliedstaaten sowie zahlreiche Industrievertreter, u.a. der NE-Metall-, Eisen- und Stahl-, Glas-, Chemie- und Papierindustrie, und Teilnehmern aus einzelnen TWGs. Im Rahmen dieses Workshops wurden in dreizehn Vorträgen lokale sowie sektorweit konzipierte Bewertungsansätze vorgestellt und diskutiert. Dabei wurde der Beitrag des DFIU, der aus den laufenden Projektarbeiten und den Zuarbeiten zur UBA-Arbeitsgruppe (vgl. Unterkapitel 5.1) resultiert, als Präsentation (vgl. Veröffentlichung im Rahmen des Projekts V1, Unterkapitel 7.1, S. 221) und als ausführlicher Projektbericht (in englischer Sprache; Projektbericht B6, vgl. Unterkapitel 7.1, S. 221) den Teilnehmern zur Verfügung gestellt und bildete eine geeignete Diskussionsgrundlage.

In der abschließenden Diskussion wurde die Notwendigkeit eines gemeinsamen methodischen Ansatzes zur BVT-Bestimmung und systematischen medienübergreifenden Bewertung deutlich. In Zukunft sollte daher die Europäische Kommission die Entwicklung und Diskussion geeigneter Bewertungsmethoden, seien es qualitative, semi-quantitative oder rein quantitative Ansätze, im Rahmen verschiedener umfassender Praxisbeispiele fördern. Dabei sind insbesondere Untersuchungen auf der sektoriellen Ebene anzustellen, während die Erarbeitung von Methoden zur lokalen Technikbewertung derzeit eine geringere Priorität hat. Dabei können die Ergebnisse des DFIU unmittelbar genutzt werden, da die vorgeschlagene medienübergreifende Bewertungsmethode sowohl für die sektorielle als auch für die lokale Technikbewertung einen konsistenten Rahmen für eine rein qualitative Vorgehensweise ebenso bietet wie

[47] Vgl. Declaration ref. 97/840/3040/DEB/E1 concerning the project titled: "Organisation of a workshop in Berlin mid-February 1998 on BAT cross media aspects in the frame of the implementation of the Council Directive 96/61/EC".

für einen rein quantitativen Bewertungsalgorithmus, sofern geeignete Kennzahlen durchgängig gebildet werden können.

6 Literaturverzeichnis

6.1 Übersicht über die im Rahmen des Projektes erstellten Berichte und Veröffentlichungen

Folgende Berichte (B) und Veröffentlichungen (V) wurden im Rahmen des Projektes erstellt:

Nr.	Autoren und Titel	Enthalten in
B 1	Rentz, O.; Hähre, S.; Jochum, R.; Spengler, T.: *Report on Best Available Techniques in the Electric Steelmaking Industry*, Karlsruhe, 1997 (93 S.)	Ergänzungsband 1
B 2	Rentz, O.; Jochum, R.; Schultmann, F.: *Report on Best Available Techniques in the German Ferrous Metals Processing Industry*, Karlsruhe, 1999 (139 S.)	Ergänzungsband 1
B 3	Rentz, O.; Hähre, S.; Schultmann, F.: *Report on Best Available Techniques in German Zinc and Lead Production*, Karlsruhe, 1999 (205 S.)	Ergänzungsband 2
B 4	Rentz, O.; Krippner, M.; Hähre, S.; Schultmann, F.: *Report on Best Available Techniques in German Copper Production*, Karlsruhe, 1999 (150 S.)	Ergänzungsband 2
B 5	Rentz, O.; Geldermann, J.; Jahn, Ch; Spengler, T.: *Vorschlag für eine medienübergreifende Bewertungsmethode zur Identifikation der "Besten Verfügbaren Techniken" BVT im Rahmen der Arbeiten der Europäischen Kommission*, Karlsruhe, 1998 (248 S.)	Ergänzungsband 3
B 6	Rentz, O.; Geldermann, J.; Jahn, Ch; Spengler, T.: *Proposal for an integrated approach for the assessment of cross-media aspects relevant for the determination of 'Best Available Techniques' BAT in the European Union*, Karlsruhe, 1998 (240 S.)	Ergänzungsband 4
B 7	Rentz, O.; Hähre, S.; Jochum, R.; Spengler T.: *Informationssammlung zum Stand der Primärstahlerzeugung in Deutschland*, Karlsruhe, 1999 (30 S.)	Abschlußbericht
V 1	Geldermann, J.; Jahn, Ch; Spengler, T.; Rentz, O.: *Proposal for an integrated approach for the assessment of cross-media aspects relevant for the determination of 'Best Available Techniques' BAT in the European Union*. Contribution to the Workshop on the assessment of cross media aspects relevant for the determination of Best Available Techniques in the frame of the implementation of Article 16(2) of the IPPC Directive, Berlin, 1998 (16 Seiten)	Tagungsband
V 2	Spengler, T.; Hähre, S.; Jochum, R.; Rentz, O.: *Anforderungen der IVU-Richtlinie an den Betrieb industrieller Produktionsanlagen*, in: Entsorgungspraxis, 4/1998, Bertelsmann Fachzeitschriften Verlag, Gütersloh, S. 56- 60, 1998 (5 Seiten)	Entsorgungspraxis 4/98

6.2 Weitere Literatur

[1] *1. Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundesimmissionsschutzgesetz (Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft – TA Luft) vom 27. Februar 1986*, in: GMBl, S. 95, 202 (1986)

[2] "Berzelius" Metall GmbH (Hrsg.): *"Berzelius" Metall GmbH*, Firmeninformation, Braubach

[3] Bamberg, G.; Coenenberg, A.G.: *Betriebswirtschaftliche Entscheidungslehre*. 8. Auflage, Verlag Vahlen, München (1994)

[4] Becker, B.: *Einführung in Inhalt, Bedeutung und Probleme der Umsetzung der Richtlinie 96/61/EG des Rates der Europäischen Union vom 24. September 1996 über die integrierte Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung*, Deutsches Verwaltungs Blatt, S. 588-595 (1997)

[5] Becker, B.: *Integrierte Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung (IVU/IPPC) Kommentar*, Verlag R. S. Schulz, Starnberg (1997)

[6] Beer, H.: *Mischvorbereitung und Prozeßführung bei der Eisenerzsinterung*, in: Fachausschuß für Metallurgische Aus- und Weiterbildung der GDMB: Vorbereitung von Einsatzstoffen zur Optimierung metallurgischer Prozesse, Schriftenreihe des GDMB, Clausthal-Zellerfeld (1989)

[7] Behrendt, H.P.; Steil, H.-U.: *Modernisierung der Sekundärbleihütte und der Verbrennungsanlage der Muldenhütten Recycling und Umwelttechnik GmbH, Freiberg*, Erzmetall 50, Nr.6, Clausthal-Zellerfeld (1997)

[8] Benz, K.-W.; et al.: *Umweltschutzanforderungen in der Metallindustrie*, 3. Auflage, Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau e.V., Frankfurt/M. (1995)

[9] Bergmann, B.; Bannenberg, N.: *Schlackenführung und Schlackenoptimierung in der Sekundärmetallurgie*, in: Stahl und Eisen 111, Nr.1, S. 125-131, Düsseldorf (1991)

[10] Bleck, W.; Dahl, W.; Hamacher, P.: *Energieeinsparung durch endabmessungsnahe Herstellung von Stahlblechen*, in: Fleischer, G: Produktionsintegrierter Umweltschutz, EF-Verlag, Berlin (1994)

[11] Bothe, R.: *Umweltproblematik bei der Eisenerzsinterung*, Dissertation, Aachen (1993)

[12] Bournis, N.; Hendriks, C.; Papameletiou, D.: *BAT Reference Document on Ammonia Production*, European Commission, Joint Research Centre, IPTS, Sevilla (1996)

[13] Brans, J.P.; Vincke, Ph.; Mareschal, B.: *How to select and how to rank projects: The PROMETHEE method.* European Journal of Operational Research 24 S. 228-238 (1986)

[14] Buckel, M.; Kersting, K.; Kister, H.; Lüngen H.-B.: *Neue Entwicklungen bei der Sinterherstellung*, in: Stahl und Eisen 110, Nr. 2, S. 43-51, Düsseldorf (1990)

[15] Bundesamt für Wirtschaft: *Erhebungsergebnisse der NE-Metallfachstatistik*, Berichtsjahr 1996, Teil I, Eschborn (1996)

[16] Bundesamt für Wirtschaft: *Erhebungsergebnisse der NE-Metallfachstatistik*, Berichtsjahr 1995, Teil II, Eschborn (1995)

[17] Bundesverband Deutscher Stahlhandel (Hrsg.): *Stahl-Lexikon*, Düsseldorf, (1991)

[18] Cleary, T.V.; O'Brien, A.; O Cleirigh, L.: *Integrated Environmental Protection based on BAT*, Final report, Byrne O Cleirigh Ltd (1997)

[19] Commission of the European Communities (Hrsg.): *General Task Description for TWGs*, Stand Januar 1997, Brüssel (1997)

[20] Commission of the European Communities (Hrsg.): *Overall Organisation and Working Procedures of the Information Exchange on Best Available Techniques (BAT) under Directive 96/61/EC on EIPPCB*, Stand Januar 1997, Brüssel (1994)

[21] Commission of the European Communities (Hrsg.): *Technical Note on the Best Available Technologies to reduce emissions of pollutants into the air from hot and cold rolling mills*, Final Report, August, Brüssel (1994)

[22] Dammann, E.: *Anlagen nach dem Stand der Technik für die Prozeßwasserbehandlung in Warmwalzwerken und Stranggießanlagen*, in: Proceedings des Colloquiums Produktionsintegrierter Umweltschutz, 1./2.9.1996, Bremen (1996)

[23] Discher, H.-P.: *-Aufbereitung und Verarbeitung von Elektroschlacken zum Baustoff für den Verkehrsbau-*, Vortrag im Rahmen der Veranstaltung: Technische Exkursion „Stoffstrommanagement beim Schrottrecycling“, Badische Stahlwerke (BSW), Deutsch-Französisches Institut für Umweltforschung (DFIU), Kehl (1996)

[24] Discher, H.-P.; Weiss, D.: - *Aufbereitung und Verarbeitung von Elektroofenstaub nach dem BSW-Verfahren* -, Vortrag im Rahmen der Veranstaltung: Technische Exkursion „Stoffstrommanagement beim Schrottrecycling“, Badische Stahlwerke (BSW), Deutsch-Französisches Institut für Umweltforschung (DFIU), Kehl (1996)

[25] Dürkop, J.; Kracht, H.; Wasieliwski, A.: *Die künftige EG-Richtlinie über die integrierte Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung (IVU-Richtlinie)*, in: Umwelt- und Planungsrecht, 1995/11-12, S.425-434 (1995)

[26] Eckstein, H.-J.: *Technologie der Wärmebehandlung von Stahl*, 2. Auflage, Leipzig, (1987)

[27] Elvers, B.; Hawkins, S.; Russey, W. (Hrsg.)*: Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry*, 5. Auflage, Weinheim (1994)

[28] EPRI Center for Materials Production (Hrsg.): *Electric Arc Furnace Dust - 1993 Overview*, CMP Report No. 93-1, (1993)

[29] EPRI Center for Materials Production (Hrsg.): *Proceedings of the 1992 CMP Electric Arc Furnace Dust Treatment Symposium*, CMP Report No. 92-4, (1992)

[30] Etienne, M.: *New Treatment-Process from Stainless-Steel Production and Processing by Recycling the High-Grade Ferro Alloys*, in: Proceedings des R´97 International Congress Recovery, Genf (1997)

[31] European Commission, DG XI (Hrsg.): *Study on technical and economic aspects of measures to reduce (on the basis of BAT) the pollution of water and other environmental areas from the non-ferrous metal industry*, Bericht Nr. CO 3400/1, Brüssel (1993)

[32] European Commission: *Coordinated Study 'steel-environment'*, Brüssel (1996)

[33] Finke, H.; et al.: *International experience with low NOx burners*, in: Iron and Steel Engineer, March 1995, Pittsburgh, S. 23-28 (1995)

[34] Frada, J.-M.: *New Treatment Process for Dust from Electrical Steelmaking Plants*, United Nations, Working Party on Steel, Seminar on the Processing, Utilization and Disposal of Waste in the Steel Industry, 3.-6. Juni, Balatonszéplak (Ungarn) (1996)

[35] Gallas, A.: *Umsetzung der IVU- und der UVP-Änderungsrichtlinie in Deutschland*, Vortrag im Rahmen des Ersten Europäischen Kongresses IAI ’98 zum Thema „Nachhaltige Entwicklung in der Industrie“ , Straßburg (1998)

[36] Gebert, W.: *Abgasreinigungssysteme für Sinteranlagen*, Dissertation, Kaiserslautern (1996)

[37] Geiseler, J.: *Stahlwerksschlacken und ihre Wirkung auf Feuerfestzustellungen*, in: Stahl und Eisen Special, Oktober 1996, Zustelltechnik, Schlackenführung und Feuerfest-Verschleiß bei der Stahlherstellung, S. 16-21, Düsseldorf (1996)

[38] Geiseler, J.: *Verwertung der Stahlwerksschlacken*, in: Stahl und Eisen 111, Nr. 1, S. 133-138, Düsseldorf (1991)

[39] Geldermann, J.: “*Entwicklung eines multikriteriellen Entscheidungsunterstützungssystems zur integrierten Technikbewertung*”, VDI-Fortschrittsberichte, Reihe 16: Technik und Wirtschaft, Düsseldorf (1999)

[40] Geldermann, J.; Jahn, C.; Spengler, T.; Rentz, O.: *Proposal for an integrated approach for the assessment of cross-media aspects relevant for the determination of BAT in the European Union.* Workshop on the assessment of cross media aspects relevant for the determination of „BAT“ in the frame of the implementation of Article 16(2) of the IPPC Directive, Berlin (1998)

[41] Graf, G.G.: *Zinc* in Ullmann´s Encyclopedia of Industrial Chemistry, Vol. A 28, VCH Verlagsgesellschaft, Weinheim, S. 509-543 (1996)

[42] Greis, P.: *Stahlindustrie im Umbruch – Einige technische Trends der Metec´94*, in: Stahl und Eisen 114, Nr. 8, S. 47-57, Düsseldorf (1994)

[43] Grootaarts, M.; Glod, L.; Kadow, J.; Meijer, K.; Neuhaus, K.: *Umbaumaßnahmen an fünf europäischen Drahtstraßen*, in: Stahl und Eisen 114, Düsseldorf, 1994, Nr. 10, S. 83-92 (1994)

[44] Haas, H. de; Grützmacher, K.: *Vermeidung der Staubbildung in Hochofengießhallen*, Abschlußbericht des gleichnamigen Forschungsprojektes, gefördert durch das Bundesministerium für Umwelt und Reaktorsicherheit (1997)

[45] Harp, G.; Klima, R.; Steffen, R.: *Untersuchung und Bewertung der Einsatzmöglichkeiten verschiedener Verfahren zur Aufbereitung von Hüttenwerksrest- und -abfallstoffen*, Betriebsforschungsinstitut (BFI) des Vereins Deutscher Eisenhüttenleute, Düsseldorf (1990)

[46] Hartwell, A.: *Properties and Processing of Particulate By-Products from the Iron and Steel Industry*, United Nations, Working Party on Steel, Seminar on the Steel Industry and Recycling, 24.-27. April 1995, Düsseldorf (1995)

[47] Heijungs, R.; Guinée, J.B.; Udo de Haes, H.A.; Wegener Sleeswijk, A,; Ansems, A.M.M.; Eggels, P.G.; Van Duin, R.; De Doede, H.P.: *Environmental Life Cycle Assessment of Products, Guide & Backgrounds*, Centre of Environmental Science, Leiden (1992)

[48] Heinen, K.-H. (Hrsg.): *Elektrostahl-Erzeugung*, 4. Auflage, Verlag Stahleisen mbH, Düsseldorf (1997)

[49] Hensel, A.; Poluchin P.; Poluchin, W.*: Technologie der Metallformung*, Freiberg (1990)

[50] Hirsch, M.; Bresser, W.; Schlebusch, D.: *Circofer - a concept of CFB reduction of fine ores with coal*, in: Metallurgical Plant and Technology International, Mai 1993, S. 42-47 (1993)

[51] Höffken, E.; Pflipsen, H.-D.; Seidelmann, L.; Auth, R.: *Die Entwicklung des Thyssen-Heißbrikettierverfahrens und seine betriebliche Anwendung*, in: Stahl und Eisen 108, Nr. 14, S. 705 ff., Düsseldorf (1988)

[52] Hoffmann, M.: *Die Rückgewinnung von Zink und Blei aus Stäuben der Elektrostahlerzeugung*, in: VDI-Seminar Verwertung durch Einschmelzen, Sekundärmetallgewinnung und Energienutzung bei der thermischen Behandlung von Abfällen, 22./23.9.1997, Düsseldorf (1997)

[53] International Iron and Steel Institute (Hrsg.): *The Electric Arc Furnace - 1990*, Brüssel (1990)

[54] International Iron and Steel Institute (Hrsg.): *The Management of Steel Industry By-products and Waste*, IISI, Committee On Environmental Affairs, Brüssel (1987)

[55] International Iron and Steel Institute: *Recycling and Disposal of Spent Materials from Acid Pickling and Coating Lines*, Brüssel, Oktober (1987)

[56] International Iron and Steel Institute: *The Management of Steel Plant Ferruginous By-Products*, Brüssel (1994)

[57] International Iron and Steel Institute: *Towards a better Steelworks' Yield*, Brüssel (1992)

[58] International Lead and Zinc Study Group (Hrsg.): *Lead and Zinc Statistics*, Brüssel (1998)

[59] International Zinc Association (Hrsg.): *Pocket Guide to World Zinc*, Brüssel (1996)

[60] Jehlinghaus, M.: *Stahlerzeugung im Lichtbogenofen*, Verlag Stahleisen mbH, Düsseldorf (1994)

[61] Jeschar, R.; Dombrowski, G.; Hoffmann, G.: *Produktionsintegrierter Umweltschutz bei Industrieofenprozessen unter besonderer Berücksichtigung der Stahlindustrie*, in: Brauer, H. (Hrsg.): Produktions- und Produktintegrierter Umweltschutz, Berlin (1996)

[62] Joksch, M.: *Development of Energy Conservation Technology at Thyssen Stahl AG in Germany*, in: Proceedings of European Symposium on Environmental Control in Steel Industry, 11.-14.6.1995, Prag (1995)

[63] Kola, R.: *Steel Industry Dust: Solving a Problem by Recycling*, Broschüre der B.U.S. AG, Frankfurt (1993)

[64] Krüger, J.: *Sachbilanz einer Ökobilanz der Kupfererzeugung und -verarbeitung* in: Metall, Band 4/5/6, Heidelberg (1995)

[65] Krüger, K.; Timm, K.: *Energieverbrauch und Produktivität von Lichtbogenöfen*, in: Elektrowärme international, Band 54, Dezember 1996, S. 177-184, Essen (1996)

[66] Kuhner, D.; Ploner, P.P.; Bleimann, K.R.: *Noise Abatement for Electric Arc Furnaces*, in: Iron and Steel Engineer, Band 73, Heft 4, S. 83-86, Pittsburgh (1996)

[67] Lange, M.: *Europäische Anforderungen zum integrierten Umweltschutz*, VDI-Berichte Nr. 1241, 1996, S. 245-265, Düsseldorf (1996)

[68] Leendertse, A.: *Dutch Notes on BAT for the Production of Primary Iron and Steel*, Ministry of Housing, Spatial Planning and the Environment (Hrsg.), Den Haag, Niederlande, Final Report (1997)

[69] Lennings, F.: *Technisch-wirtschaftliche Möglichkeiten der Herstellung von Warmbreitband aus Stahl durch Stranggießen und Walzen*, Aachen (1994)

[70] Meichsner, W.: *Entwicklungen in der Eisen- und Stahlindustrie - Teil III*, in: Neue Hütte, 37. Jahrgang, Nr. 5, p.165-173, Leipzig (1992)

[71] Merkel, A.: *Foreword: ISO 14040.* International Journal of LCA, 2, S. 121 (1996)

[72] Mertins, E.: *Die Aufbereitung von Hochofengichtgasschlämmen - ein Beitrag zur Entsorgung eines Abfallstoffes*, in: VCH, Verlag Erzmetall 39, Nr.7/8, S. 399-404, Clausthal-Zellerfeld (1986):

[73] Meyer-Wulf, C.: *Verminderung der Emissionen traditioneller Kupfer-Schachtöfen durch Sauerstoffeindüsung und anderer Maßnahmen im Bereich der Gicht*, Erzmetall 47, Nr. 11, S. 658-664, Clausthal-Zellerfeld (1994)

[74] Müller, G.: *Stahlschrott aus der Sicht der Stahlindustrie*, in: Stahl und Eisen 113, Nr. 12, S. 127-129, Düsseldorf (1993)

[75] Philipp, J. A.; Theobald, W.: *Recycling in the Steel Industry*, in: Proceedings zum UNECE Seminar on Metallurgy and Ecology, Working Party on Steel, Sem. 19, R. 38, 10.-14. Mai, Nancy (1993)

[76] Plöckinger, E.; Etterich, O. (Hrsg.): *Elektrostahl-Erzeugung*, 3. Auflage, Verlag Stahleisen mbH, Düsseldorf (1979)

[77] Rat der Europäischen Gemeinschaft: *Richtlinie 96/61/EG des Rates vom 24.9.1996 über die integrierte Vermeidung und Verminderung der Umweltverschnutzung*, Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaft, 1996, Nr. L 257/26, Brüssel (1996)

[78] Rat der Europäischen Gemeinschaft: *Richtlinie des Rates 76/464/EWG vom 4.5.1976 betreffend die Verschmutzung infolge der Ableitung bestimmter gefährlicher Stoffe in die Gewässer der Gemeinschaft*, Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaft, 1976, Nr. L 129/23, Brüssel (1976)

[79] Rat der Europäischen Gemeinschaft: *Richtlinie des Rates 84/360/EWG vom 28.6.1984 zur Bekämpfung der Luftverunreinigung durch Industrieanlagen, Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaft*, 1984, Nr. L 188/20, Brüssel (1984)

[80] Rengeling, H.-W. (Hrsg.): *Auf dem Weg zum Umweltgesetzbuch I - Zur Umsetzung der IVU- und der UVP-Änderungsrichtlinie*, Carl Heymanns Verlag KG, Köln (1999)

[81] Rentz, O.; et al.: *Emission Control at Stationary Sources in the Federal Republic of Germany Volume II: Heavy Metal Emission Control*, DFIU, Karlsruhe (1996)

[82] Rentz, O.; et al.: *Prozeßintegrierte Umweltschutzmaßnahmen in der Eisen- und Stahlindustrie*, Endbericht des gleichnamigen Forschungsprojektes im Auftrag des BMBF, Karlsruhe (1997)

[83] Rentz, O.; et al.: *Stoffstrommanagement in der Eisen- und Stahlindustrie: Konkretisierung des Paragraphen 5 Abs.1 Nr.3 BImSchG*, Erich-Schmidt Verlag, Berlin (1996)

[84] Rituper, R.: *Beizen von Metallen*, Leuze Verlag, Saulgau (1993)

[85] Schmitz, R.: *Handbuch der Europäischen Eisen- und Stahlwerke - Handbook of the European Iron and Steel Works*, Montan- und Wirtschaftsverlag, Düsseldorf (1997)

[86] Stahl-Informations-Zentrum: *Schaubild - Vom Erz zum Stahl*, Düsseldorf (1989)

[87] Statistisches Bundesamt: *Produzierendes Gewerbe - Fachserie 4, Reihe 8.1*, 2. Vierteljahr 1996, Düsseldorf (1996)

[88] Steil, H.-U.: *Andere Schwermetalle (Kapitel 6.3.1)*, in Nickel, W. (Hrsg.): Recycling-Handbuch, Strategien, Technologien, Produkte, VDI-Verlag, Düsseldorf (1996)

[89] Szekely, J.; Trapaga, G.: *Zukunftsperspektiven für neue Technologien in der Stahlindustrie*, in: Stahl und Eisen 114, Nr. 9, S. 43-55, Düsseldorf (1994)

[90] Theobald, W.: *Ermittlung und Verminderung der Emissionen von halogenierten Dioxinen und Furanen aus thermischen Prozessen: Untersuchung der Emissionen polychlorierter Dibenzodioxine und –furane und von Schwermetallen aus Anlagen der Stahlerzeugung*, Abschlußbericht 104 03 365/01 im Auftrag des Umweltbundesamtes, November (1995)

[91] Theobald, W.; et al.: *Entwurf eines Hintergrundpapiers zum Anhang 24 Teil A zur allgemeinen Rahmen-Verwaltungsvorschrift über Mindestanforderungen an das Einleiten von Abwasser in Gewässer*, Stand Juli 1997...

[92] Theobald, W.; Maas, H.: *Rückstände der Eisen- und Stahlindustrie*, in Hösel (Hrsg.): Müllhandbuch, Erich Schmidt Verlag, Berlin (fortlaufend)

[93] Thyssen Stahl AG: *Kaltgewalztes Feinblech -Firmeninformation*, Duisburg (1995)

[94] UBA-Texte 38/92: *Ökobilanzen für Produkte, Bedeutung - Sachstand - Perspektiven*, Arbeitsgruppe Ökobilanzen, Berlin (1992)

[95] UBA-Texte 52/95 (Schmitz, S.; Oels, H.-J.; Tiedemann, A.): *Ökobilanz für Getränkeverpackungen*, Berlin (1995)

[96] Umweltbundesamt: *Interne Mitteilung*, Berlin (1997/98)

[97] Umweltbundesamt: *Workshop on the assessment of cross media aspects relevant for the determination of „Best Avialable Techniques“ in the frame of the implementation of Article 16(2) of the IPPC directive*, Berlin (1998)

[98] UNEP/IISI: *Steel Industry and the Environment*, Technical Report N°38, Brüssel/Paris (1997)

[99] United Nations Economic Chamber of Europe/Umweltbundesamt Wien (Hrsg.): *Status Report: Task Force „By-Product Utilization from Stationary Installations“*, Wien (1996)

[100] United Nations Economic Commission for Europe (Hrsg.): *The Recuperation and Economic Utilization of By-products of the Iron and Steel Industry*, UN ECE, Steel Series, New York (1990)

[101] VARTA AG: *Bleirecycling ist immer noch lohnenswert*, Recycling Magazin, 53. Jg., Nr.4, S.23, Reed Elsevier Verlag Deutschland GmbH, Gräfelfing (1998)

[102] Verein Deutscher Eisenhüttenleute (Hrsg.): *Informationen aus der Datenbank Plant Facts*, Februar, Februar/August 1997, Duisburg (1997)

[103] Verein Deutscher Eisenhüttenleute (Hrsg.): *Jahrbuch Stahl 1994*, Verlag Stahleisen mbH, Düsseldorf (1994)

[104] Verein Deutscher Eisenhüttenleute (Hrsg.): *Jahrbuch Stahl 1996*, Verlag Stahleisen mbH, Düsseldorf (1996)

[105] Verein Deutscher Eisenhüttenleute (Hrsg.): *Jahrbuch Stahl 1997*, Verlag Stahleisen mbH, Düsseldorf (1997)

[106] Verein Deutscher Eisenhüttenleute (Hrsg.): *Stahlfibel*, Verlag Stahleisen mbH, Düsseldorf (1989)

[107] Verein Deutscher Ingenieure (ed.): *Emissionsminderung Sekundärkupferhütten*, VDI-Richtlinie 2102 (8. Vorentwurf), Januar 1998, Beuth-Verlag GmbH, Berlin, (1998)

[108] Weiss, D.; Karcher, A.: *Ergebnisse der Untersuchungen zur Minderung der Emissionen von Dioxinen und Furanen bei einer Elektrolichtbogenofen-Anlage*, in: Integrierter Umweltschutz in der metallerzeugenden Industrie, Seminar bei der UTECH Berlin´96 am 28.2.1996, Berlin (1996)

[109] Weiss, D.; Karcher, A.: *Ermittlung und Verminderung der Emissionen von Dioxinen und Furanen aus thermischen Prozessen: Untersuchung der Zusammenhänge der Dioxin-/Furanemissionen in Abhängigkeit von Einsatzstoffen und Minderungstechniken bei Elektrolichtbogenöfen*, Februar 1996, Forschungsbericht 104 03 365/17 im Auftrag des Uumweltbundesamts, Kehl (1996)

[110] Weiss, W.: *Maßnahmen zur Dioxin-Abscheidung an einer Eisenerzsinteranlage*, in: Integrierter Umweltschutz in der metallerzeugenden Industrie, Seminar im Rahmen der UTECH Berlin´96 am 28.2.1996, Berlin (1996)

[111] Werner, C.: *Environmental aspects of EAF steelmaking*, in: Proceedings of the European Symposium on Environmental Control in the Steel Industry, Prag (1995)

[112] Winnacker, K; Küchler, L.: *Chemische Technologie, Band 4, Metalle,* Carl Hanser Verlag, München (1986)

[113] Wirtschaftsvereinigung Stahl (Ed.): *Statistisches Jahrbuch der Stahlindustrie 1996*, Verlag Stahleisen mbH, Düsseldorf (1996)

[114] Zierock, K.-H.: *Die Europäische IVU-Richtlinie und ihre Konsequenzen für die metallerzeugende Industrie*, in: Integrierter Umweltschutz in der metallerzeugenden Industrie, Seminar im Rahmen der UTECH Berlin´96 am 28.2.1996, Berlin (1996)

[115] Zierock, K.-H.: *Erstellung von Merkblättern zu Besten Verfügbaren Techniken (BVT-Merkblätter) nach Art. 16 Abs. 2 der EG-IVU-Richtlinie*, Vortragsmanuskript, Berlin (1998)

[116] Zimmermann, H.J.; Gutsche, L.: *Multi-Criteria Analyse*, Springer, Heidelberg (1991)

[117] Zörcher, H.: *Elektrostahlerzeugung in Deutschland*, in: Stahl und Eisen 113, Nr. 11, S. I 12, Düsseldorf (1993)

[118] Zöttl, J.: *Die EG-Richtlinie über die integrierte Vermeidung unf Verminderung der Umweltverschmutzung*, in: Natur und Recht, Blackwell Wissenschafts-Verlag, 1997, S. 157-166, Berlin (1997)