

# BEHANDLUNG VON RESTSTOFFEN UND ABFÄLLEN IN DER EISEN- UND STAHLINDUSTRIE

Stefan GARA  
Sabine SCHRIMPF

MONOGRAPHIEN  
Band 92  
M-092

Wien, 1998

Bundesministerium für Umwelt, Jugend und Familie



**Projektleitung**

Ilse Schindler  
Joachim Kircher

**Autoren**

Stefan Gara  
Sabine Schrimpf

**Übersetzung**

Stefan Gara

**Lektorat**

Brigitte Winter

**Graphik- und Tabellennachbearbeitung**

Manuela Kaitna

**Satz/Layout**

Manuela Kaitna

**Titelphoto**

*Beschicken eines Sauerstoffkonverters mit Schrott.*

In: Technical Report N° 38, International Iron and Steel Institute (IISI) and United Nations Environment Programme (UNEP) – Industry and Environment, 1997.

**Impressum**

Medieninhaber und Herausgeber: Umweltbundesamt (Federal Environment Agency)  
Spittelauer Lände 5, A-1090 Wien (Vienna), Austria

Druck: Radinger, A-3270 Scheibbs

© Umweltbundesamt, Wien, 1998  
Alle Rechte vorbehalten (all rights reserved)  
ISBN 3-85457-394-4

## INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
<b>KURZFASSUNG/SUMMARY</b> .....	7/12
<b>1 EINLEITUNG</b> .....	17
<b>1.1 Aufgabenstellung</b> .....	17
<b>1.2 Eisen- und Stahlindustrie im Überblick</b> .....	17
1.2.1 Bedeutung von Eisen und Stahl.....	17
1.2.2 Weltweite Stahlproduktion .....	18
<b>2 HÜTTENWERKSPROZESSE UND ANFALLENDE RESTSTOFFE BZW. ABFÄLLE</b> .....	19
<b>2.1 Kokerei</b> .....	20
2.1.1 Verfahrensbeschreibung Kokerei .....	20
2.1.2 Anfallende Reststoffe und Abfälle .....	21
2.1.2.1 Kokereigas und Kuppelprodukte .....	21
<b>2.2 Sinterverfahren</b> .....	24
2.2.1 Verfahrensbeschreibung Sinteranlage .....	24
2.2.2 Abgasreinigung von Sinteranlagen .....	25
2.2.3 Anfallende Reststoffe .....	26
2.2.3.1 Stäube .....	27
2.2.4 Einsatz von Reststoffen und Abfällen .....	27
<b>2.3 Pelletieranlagen</b> .....	28
<b>2.4 Roheisenerzeugung</b> .....	28
<b>2.5 Hochofenprozeß</b> .....	29
2.5.1 Verfahrensbeschreibung Hochofen.....	29
2.5.2 Anfallende Reststoffe und Abfälle .....	30
2.5.2.1 Hochofenschlacke .....	31
2.5.2.2 Gichtgas, Gichtstaub, Gichtschlamm .....	32
2.5.2.3 Hüttenschutt .....	34
2.5.3 Roheisenvorbehandlung .....	34
<b>2.6 Der COREX®-Prozeß</b> .....	34
2.6.1 Verfahrensbeschreibung COREX® .....	34
2.6.2 Einsatz von Reststoffen und Abfällen .....	36
<b>2.7 Sauerstoffstahlerzeugung (BOF)</b> .....	37
2.7.1 Verfahrensbeschreibung Sauerstoffkonverter (BOF).....	38
2.7.1.1 Abgasreinigung und Konvertergasgewinnung.....	38
2.7.2 Anfallende Reststoffe und Abfälle .....	39
2.7.2.1 Stahlwerksschlacke .....	40
2.7.2.2 Konverterstäube und -schlämme .....	41
2.7.2.3 Feuerfestausbruch .....	42

<b>2.8</b>	<b>Elektrostahlwerk</b> .....	42
2.8.1	Verfahrensbeschreibung Elektrolichtbogenofen (EAF).....	42
2.8.2	Anfallende Reststoffe und Abfälle .....	44
2.8.2.1	EAF-Schlacke.....	45
2.8.2.2	Stäube .....	46
2.8.2.3	Feuerfestmaterial .....	46
<b>2.9</b>	<b>Sekundärmetallurgie</b> .....	47
<b>2.10</b>	<b>Stranggießanlage, Walzwerk und Oberflächenveredelung</b> .....	47
2.10.1	Verfahrensbeschreibung Stranggießanlage .....	48
2.10.2	Verfahrensbeschreibung Warmwalzwerk.....	49
2.10.3	Verfahrensbeschreibung Kaltwalzwerk.....	50
2.10.4	Oberflächenveredelung und -beschichtung .....	50
2.10.5	Anfallende Reststoffe und Abfälle der Umformtechnologien .....	50
2.10.5.1	Walzzunder, Walzzunderschlamm.....	51
2.10.5.2	Öle und Schmiermittel .....	52
2.10.5.3	Eigenschrott.....	53
2.10.5.4	Stäube, Eisenoxid, Eisensulfat .....	53
<b>3</b>	<b>RESTSTOFFMANAGEMENT</b> .....	54
<b>3.1</b>	<b>Einführung</b> .....	54
<b>3.2</b>	<b>Reststoff- und Abfallvermeidung</b> .....	56
<b>3.3</b>	<b>Recycling- und Behandlungsmöglichkeiten</b> .....	56
3.3.1	Schrottreycling .....	57
3.3.2	Grenzen der hütteninternen Verwertung und Behandlung durch Schwermetallverunreinigungen .....	58
3.3.3	Behandlung von ölhaltigen Eisenträgern.....	59
3.3.4	Klassifizierung der Abfälle und Reststoffe gemäß ÖNORM S2100.....	60
<b>4</b>	<b>RESTSTOFF- UND ABFALLMANAGEMENT – PROZESSBESCHREIBUNGEN DER WICHTIGSTEN TECHNOLOGIEN UND VERFAHREN</b> .....	63
<b>4.1</b>	<b>Prozessintegrierte Massnahmen zur Reststoff- und Abfallvermeidung</b> .....	63
4.1.1	Behandlung von Reststoffen und Abfällen über die Sinteranlage.....	63
4.1.2	Das Zweischichtsinter-Verfahren.....	64
4.1.3	Der AIRFINE®-Prozeß .....	65
4.1.4	EOS (emission optimized sintering) .....	67
4.1.5	Behandlung von Reststoffen und Abfällen über den Hochofen.....	67
4.1.6	Lurgi-Thyssen (LT)-Prozeß.....	68
4.1.7	Einblasen von Stahlwerkstäuben über den Konverterboden .....	69
<b>4.2</b>	<b>Verfahren zur hütteninternen Behandlung von Stäuben, Schlämmen und Walzzunder</b> .....	70
4.2.1	Heißbrikkettierung .....	71
4.2.2	Konverterschlammrückführung (OG-Prozess).....	72
4.2.3	Indirekt beheizter Drehrohrofen zur Entölung von Walzzunderschlamm.....	73

---

4.2.4	Hydrozyklon-Verfahren.....	73
4.2.5	Carbofer-Verfahren und Behandlung von Stäuben im EAF .....	75
4.2.6	Zirkulierende Wirbelschicht .....	75
<b>4.3</b>	<b>Verfahren zur hüttenexternen Aufbereitung von Stäuben, Schlämmen und Walzzunder .....</b>	<b>77</b>
4.3.1	Inmetco-Direktreduktionsverfahren .....	77
4.3.2	Wälzverfahren.....	78
4.3.3	Hydrometallurgische Verfahren .....	80
4.3.3.1	Cebedau-Laugung.....	80
<b>4.4</b>	<b>Verfahren zur Aufbereitung mineralischer Reststoffe (Schlacken) .....</b>	<b>81</b>
4.4.1	Allgemeines.....	81
4.4.1.1	Hochofenschlacke .....	82
4.4.1.2	Stahlwerksschlacken.....	82
4.4.1.3	Elektroofenschlacke .....	82
4.4.2	Hüttensand .....	83
4.4.3	Hüttenbims .....	84
4.4.4	Hüttenwolle.....	84
4.4.5	Hochofenschlackenpellets .....	84
4.4.6	Aufbereitung von Hochofenschlacke zu Düngemittel.....	84
4.4.7	Aufbereitung von Eisenhüttenschlacken mit Wärmerückgewinnung.....	84
4.4.8	Aufbereitung von Stahlwerksschlacke zu Straßenbaumaterial.....	85
4.4.9	Aufbereitung von Stahlwerksschlacke zu Düngemittel .....	85
<b>4.5</b>	<b>Zusammenfassung und Verfahrensübersicht.....</b>	<b>85</b>
<b>5</b>	<b>EISEN- UND STAHLPRODUKTION IN ÖSTERREICH .....</b>	<b>88</b>
<b>5.1</b>	<b>Allgemeines .....</b>	<b>88</b>
<b>5.2</b>	<b>Standorte, Reststoff- und Abfallaufkommen sowie deren Behandlung .....</b>	<b>88</b>
5.2.1	Gesamtreststoff-/abfallaufkommen und Behandlung.....	88
5.2.2	Standort der VOEST-ALPINE STAHL LINZ.....	89
5.2.2.1	Reststoffaufkommen und Behandlung.....	90
5.2.3	Standort VOEST-ALPINE STAHL DONAWITZ.....	95
5.2.3.1	Reststoff- und Abfallaufkommen und Behandlung.....	96
5.2.4	Marienhütte Graz.....	99
5.2.4.1	Reststoff- und Abfallaufkommen und Behandlung.....	100
5.2.5	Böhler Edelstahl GmbH in Kapfenberg.....	101
5.2.5.1	Reststoff- und Abfallaufkommen und Behandlung.....	102
5.2.6	Breitenfeld Edelstahl GmbH .....	104
<b>6</b>	<b>LITERATURVERZEICHNIS.....</b>	<b>107</b>
<b>7</b>	<b>ANHANG.....</b>	<b>111</b>
7.1	Begriffsdefinitionen laut AWG BGBl. in der gültigen Fassung .....	111
7.2	Begriffsdefinitionen laut EU Rahmenrichtlinie über Abfälle (91/156/EWG) .....	112
7.3	Abfallgruppen.....	112



## ZUSAMMENFASSUNG DES UMWELTBUNDESAMTES

Die vorliegende Studie betrachtet das Aufkommen, die Vermeidung und Behandlung von Abfällen und somit auch die Verwertung von Reststoffen in der Eisen- und Stahlindustrie unter der Berücksichtigung der österreichischen Situation. Die Erzeugung von Rohstahl über die Hochofenroute erfolgt in Österreich in integrierten Hüttenwerken. Diese Werke umfassen eine Kokerei, eine Sinteranlage, Hochofen und ein anschließendes Stahlwerk.

In einem integrierten Hüttenwerk bieten die einzelnen Primärprozesse viele Möglichkeiten für „integriertes Reststoff- und Abfallmanagement“ (d. h. Reststoffverwertung und Abfallbehandlung in metallurgischen Primärprozessen). Vor allem in einer Sinteranlage mit einer nachgeschalteten effizienten Rauchgasreinigungsanlage können innerbetriebliche Abfälle und Reststoffe behandelt werden, wodurch insbesondere die eisenhaltige Fraktionen der Abfälle und Reststoffe wiederverwertet werden können. Im kleineren Ausmaß können Abfälle und Reststoffe auch im Hochofen und im Sauerstoffkonverter behandelt werden (siehe Abb. II).

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

- *Schlacken* aus Hochofen, Sauerstoffkonverter (BOF), Elektroofen (EAF), Sekundärmetallurgie
- *Schlämme* aus Abwasserreinigungsanlagen, Naßwäschern, Walzwerken
- *Filterstäube* aus Abgasreinigungssystemen
- *Ölhaltiger Zunder* aus Walzwerken
- hütteninterner *Eigenschrott*.

An externen Reststoffen setzt die Eisen- und Stahlindustrie *Fremdschrott* ein.

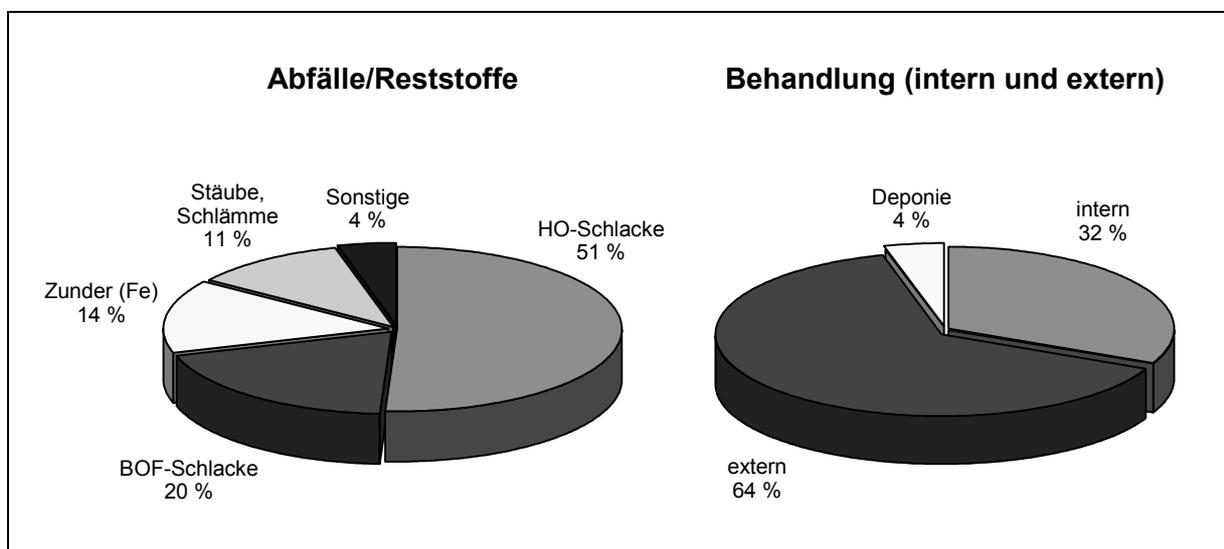


Abb. I: Charakteristischer Abfall- und Reststoffanfall eines modernen integrierten Hüttenwerkes mit Verwertungs- und Entsorgungswegen [VAI, 1995].

Pro Tonne Rohstahl fallen in integrierten Hüttenwerken etwa 450-500 kg an Reststoffen und Abfällen an. Davon entfallen ca. 375 kg/t auf Schlacken und ca. 60-65 kg/t auf Stäube, Schlämme und Zunder [LEHNER et al., 1995].

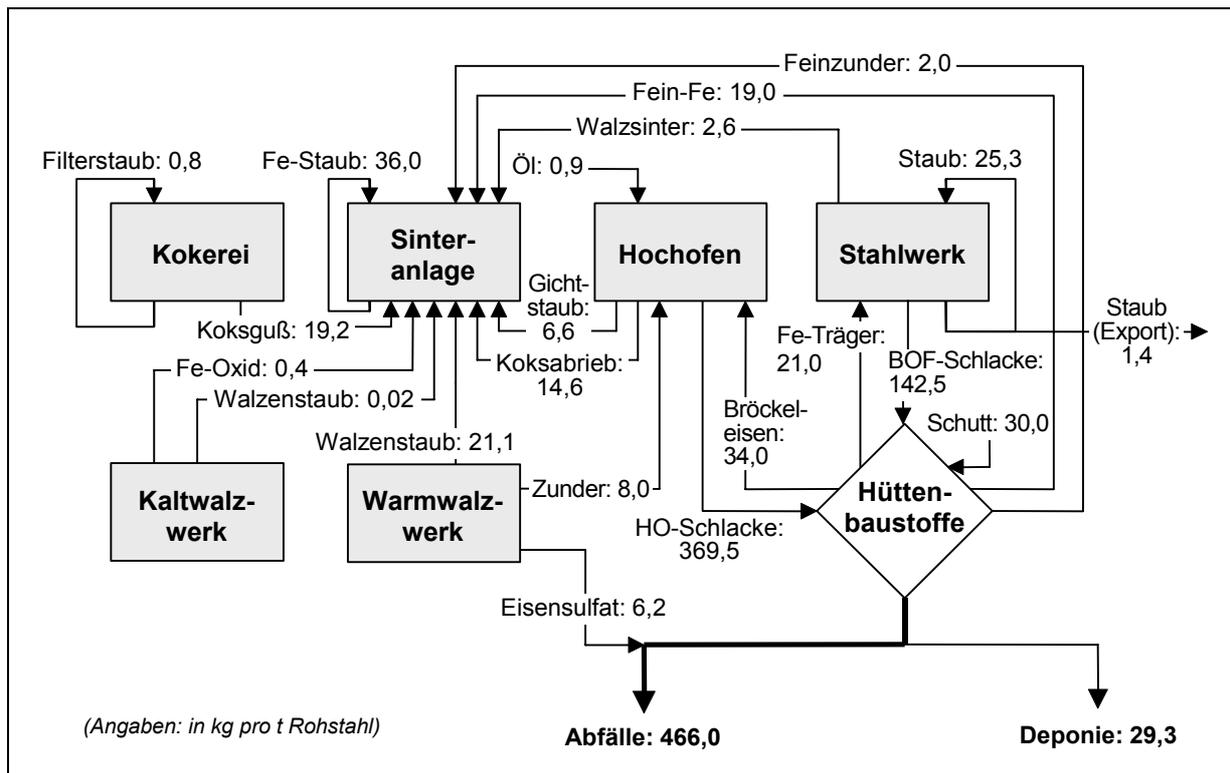


Abb. II: Charakteristische Reststoff- und Abfallbilanz eines integrierten Hüttenwerkes. Die anfallenden Mengen sind abhängig von den spezifischen Einsatzstoffen und Prozeßfahrweisen (Angaben in kg pro Tonne Rohstahl) [nach LEHNER et al., 1995].

In Österreich werden derzeit zwei integrierte Hüttenwerke und drei Elektrostahlwerke betrieben. Der jährliche Anfall an Hüttenwerksreststoffen und -abfällen beträgt rund 2,7 Millionen Tonnen (Tabelle I). Davon entfallen rund 96 % auf die beiden Standorte der VOEST Alpine Stahl AG in Linz und in Donawitz. Die größte Reststoff- bzw. Abfallfraktionen sind mit rund 76 % die Schlacken.

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

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

Gemittelt über die fünf größten Standorte in Österreich werden rund 86 % aller Abfälle hütten-intern (Stäube, Zunder, etc.) als auch hüttenextern (z. B. Schlacken in der Baustoffindustrie) behandelt bzw. verwertet. Der Rest der Abfälle wird auf Deponien entsorgt.

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

Bezeichnung	Intern	Extern
<b>Schlacken <sup>1)</sup></b>		
HO-Schlacke		Zementindustrie, Straßenbau
BOF-Schlacke		Straßenbau, Düngemittel
EAF-Schlacke		Straßen- und Wasserbau (abh. v. Inhaltsstoffen), Deponie (10 %)
<b>Stäube &amp; Schlämme <sup>2)</sup></b>		
Filterstaub/Sinteranlage	Rückführung Sinteranlage ( 97 %)	Entsorgung
Gichtstaub grob	Rückführung Sinteranlage	
Gichtstaub fein (Schlamm)		Deponie
HO-Sekundärstaub	Rückführung Sinteranlage	
Gießhallenstaub	Rückführung Sinteranlage	
Konverterstaub grob		
Konverterstaub fein	Rückführung Sauerstoffkonverter (95 %)	Deponie
Sekundärstaub Stahlwerk		
EAF-Staub	Rückführung Elektroofen (80 %)	Externe Verwertung
Walzenstaub	Rückführung Sinteranlage	
Sonstige Schlämme (Walzwerk)		Deponie
<b>Walzzunder <sup>3)</sup></b>		
Walzzunder < 0,1 % Öl	Rückführung Sinteranlage	
Walzzunder < 1-2 % Öl	Rückführung Hochofen	
Walzzunder 5-20 % Öl		Deponie
<b>Fe-haltige Reststoffe</b>		
Feineisen, Separationseisen	Rückführung Sinteranlage	
Bröckeleisen	Rückführung Hochofen	
Eisenoxid	Rückführung Sinteranlage	Leiterplattenhersteller (95 %)

<sup>1)</sup> bei geeigneter Prozeßführung

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

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

Da mit ca. 75 % der größte Anteil der Reststoffe und Abfälle auf die Schlacken entfällt, wird in einem modernen Hüttenwerk die Produktion nicht nur hinsichtlich der Produkte Eisen bzw. Stahl optimiert, sondern auch bezüglich der Schlackeeigenschaften. Ein Großteil der anfallenden Schlacken (Hochofen, BOF) wird zu Hüttenbaustoffen verarbeitet und findet im Straßenbau oder in der Zementindustrie Verwendung.

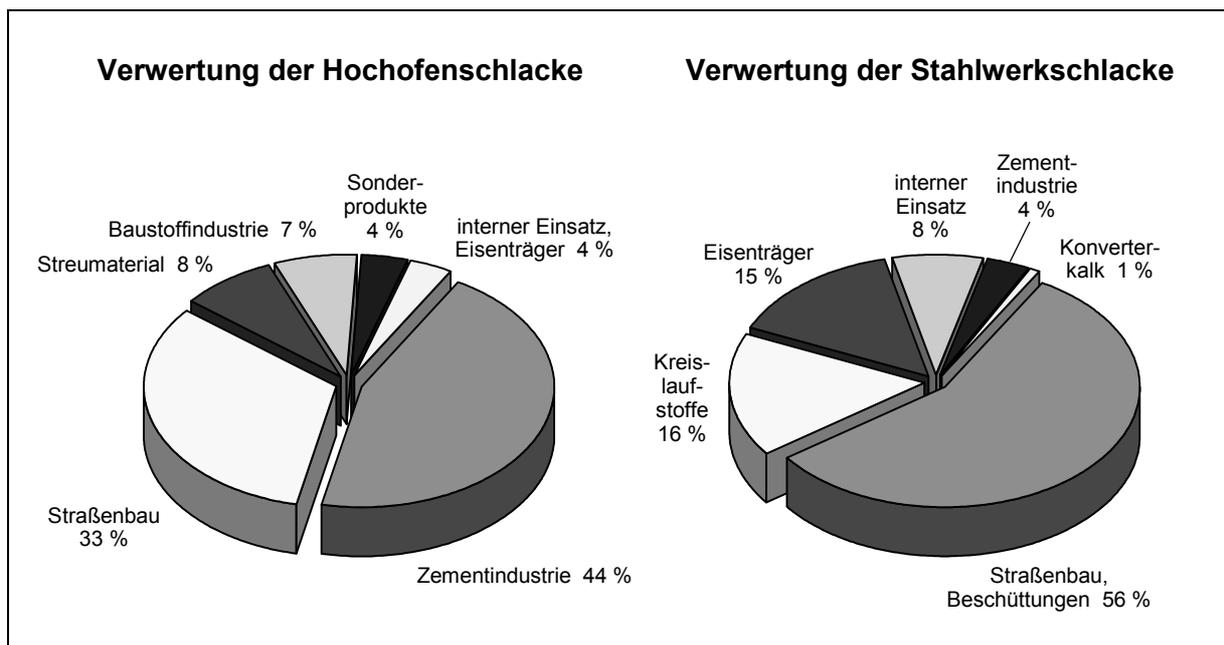


Abb. III: Verwertung von Hochofenschlacke und Stahlwerkschlacke (LD-Schlacke) bei der VOEST-ALPINE STAHL LINZ (Bezugsgrößen 1995) [VOEST-ALPINE STAHL LINZ, 1996].

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

Es wird erwartet, daß in den nächsten Jahren der Anteil des verzinkten Schrottes am gesamten Schrotteeinsatz weiter wachsen wird – von 12 % (1990) bis zu 35 % (2000). Daher ist mit einer weiteren Erhöhung der Zink- und Bleikonzentration im Stahlwerk und damit im gesamten Hüttenwerk zu rechnen.

Die hütteninterne Behandlung von Stäuben, Schlämmen und Zundern mit niedrigen Schwermetall- bzw. Ölgehalten (< 1-2 % Öl) ist Stand der Technik. Für Abfälle mit einem höheren Ölgehalt als 1-2 % gibt es derzeit ein Behandlungsverfahren im Einsatz, das zur Zeit in Österreich nicht angewendet wird (Drehrohrofen mit Nachbrennkammer). In Österreich werden Abfälle mit hohem Ölgehalt deponiert.

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

- die selektive Auftrennung von Stäuben und Schlämmen in eine Eisen- und eine Zn-/Pb-reiche Fraktion
- Entölung von Walzzunder mit einem Ölgehalt > 1-2 %

Die so behandelten Reststoffen und Abfällen können in bestehenden Primärprozessen der Eisen- und Stahlindustrie, z. B. Sinteranlage, Hochofen, BOF, EAF eingesetzt werden.

Zusammenfassend können für das Reststoff- und Abfallmanagement in der Eisen- und Stahlindustrie folgende Empfehlungen festgehalten werden:

- Abfallvermeidungsmaßnahmen durch weitere Optimierungen der Primärprozesse sind vorrangig zu betrachten (z. B. Strangguß).
- Hüttenintern anfallende Abfälle (v. a. Stäube, Schlämme, Zunder) sollten soweit möglich einer direkten Wiederverwertung in den bestehenden metallurgischen Prozessen (z. B. Sinteranlage, Hochofen, BOF, EAF) zugeführt werden, da dadurch insbesondere die eisenreiche Fraktion verwertet werden kann. Die Anlagen, in denen diese Abfälle behandelt werden, sollten jedenfalls mit effizienten Rauchgasreinigungsanlagen ausgerüstet werden und einen niedrigen spezifischen Energiebedarf aufweisen. Insbesondere sollte bei Sinteranlagen verstärkt technische Maßnahmen – entsprechend dem Stand der Technik – zur Verminderung der organischen Luftschadstoffe (wie z. B. Dioxine/Furane) und des Staubaustoßes sowie der Schwermetallemissionen eingesetzt werden.
- Ist ein direkter Wiedereinsatz nicht möglich, v. a. bei stark ölkontaminierten Eisenträgern (Walzzunder, Schrott), bzw. bei mit Zink und Blei angereicherten Stäuben und Schlämmen, sollte geprüft werden, ob Verfahren (Entzinken, Entbleien, Entölen) eingesetzt werden können, die eine Wiedergewinnung der Eisen- und Schwermetallfraktion ermöglichen. Derzeit sind einige Verfahren in Entwicklung.
- Eine hüttenexterne Nutzung von Reststoffen und Abfällen v. a. von Schlacke ist durch geeignete Prozeßführung zu forcieren, um eine Deponierung zu vermeiden (z. B. Einsatz von Schlacken in der Baustoffindustrie)
- Vor einer Deponierung sind verbleibende Abfälle soweit zu immobilisieren bzw. konditionieren, daß eine Auslaugung von Schwermetallen verhindert wird und den Anforderungen der Deponie VO entspricht.

Insgesamt ist bei geeigneter Verfahrensführung im integrierten Hüttenwerk ein hohes Maß an interner und externer Behandlung und Verwertung von Abfällen (z. B. 96 % [VAI, 1995], vergl. Abb. I) sowohl aus den Produktionsanlagen, als auch aus den „End of Pipe“-Anlagen (Filterstäube, Walzzunder) möglich.

## SUMMARY BY THE AUSTRIAN ENVIRONMENT AGENCY

### „Treatment of residues and wastes in the iron and steel industry“

The following study deals with the utilisation of residues from iron and steel production with special regard to the Austrian situation. In Austria, crude steel is produced on the blast furnace route in integrated iron & steel mills. Those mills include a coking plant, a sinter plant, blast furnaces followed by a steel plant.

In such a plant numerous primary processes allow for recycling of these by-products (in-house recycling). The sinter plant equipped with an effective flue gas scrubbing system plays a central role in internal recycling, as the ferrous fraction from a number of residues (i. e. mill scale, iron-bearing flue dust and sludges) is recovered as raw material. To a smaller degree wastes and residues can be treated in the blast furnaces and the converters.

Residues generated in iron and steel production can be divided into:

- *Slags* from the various process stages including blast furnace (BF), basic oxygen furnace (BOF), electric arc furnace (EAF) and secondary metallurgical processes
- *Sludges and slurries* from gas cleaning, waste water treatment
- *Dusts* from gas cleaning
- *Oily mill scale* from hot and cold rolling mills
- In-house scrap and external scrap.

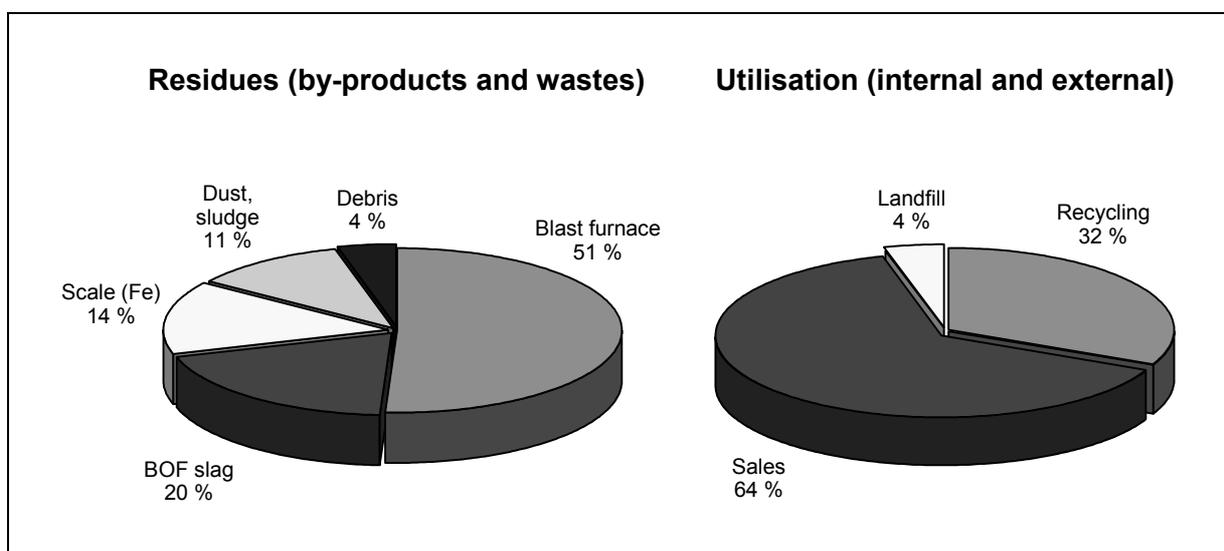


Figure 1: Typical residues arising in an integrated iron & steel works and by-product and waste management activities [VAI, 1995].

In integrated iron & steel works roughly 450-500kg of residues per ton of crude steel arise from production processes and ex-process cleaning systems. More than 375 kg/t are slags. Approximately 65 kg/t include dusts, sludges and scales. [LEHNER et al., 1995]

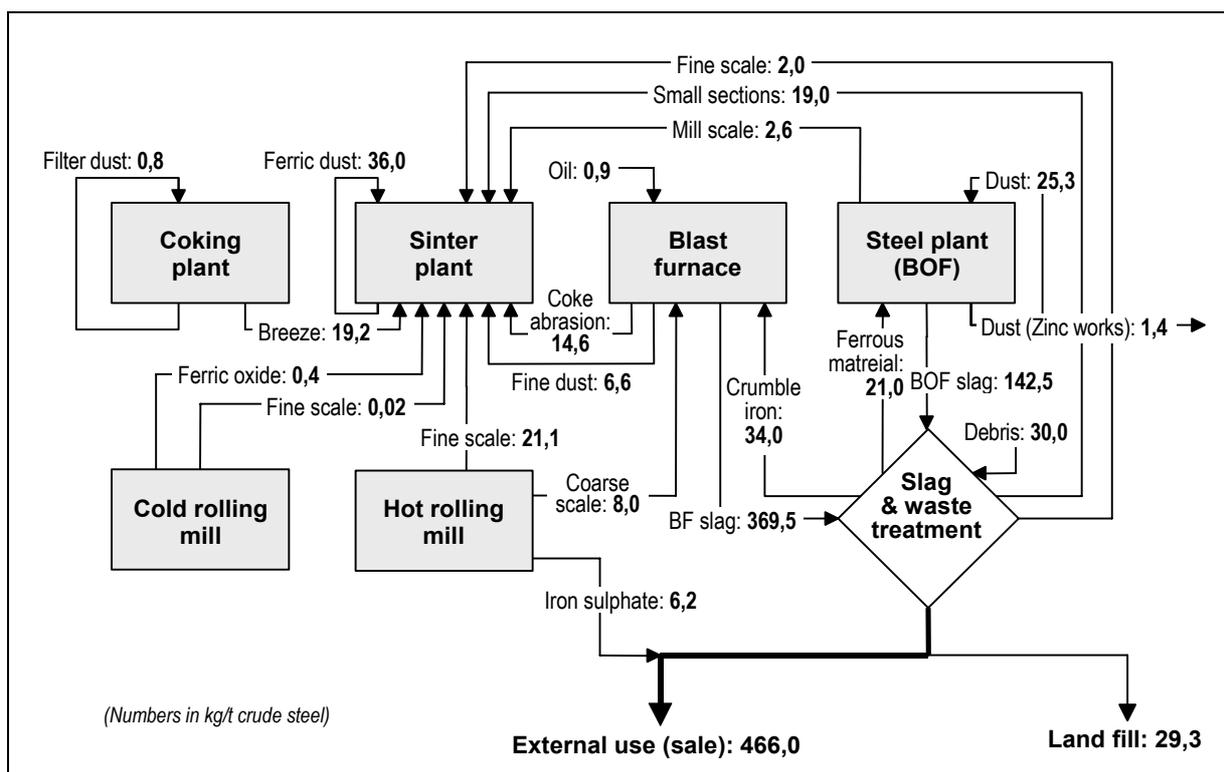


Figure II: By-product recycling in a typical iron & steel works. Residues also depend on raw materials used and specific process parameters (all numbers in kg/t crude steel [LEHNER et al., 1995]).

In the Austrian two integrated iron & steel mills and three electrical steel plants are in operation. Approximately 2,7 million tons of residues and wastes arise per year. The two largest sites Linz and Donawitz of VOEST Alpine Stahl AG share 96 % of the total residues. The largest fraction of residues and wastes are metallurgical slags with approx. 76 %.

Table I: Residues in the Austrian iron and steel industry (internal scrap which is recycled to 100 % is not included).

Residues	amount (t/a)	percentage
<b>Slags</b> – blast furnace, BOF, EAF	2.082.000	76,0 %
<b>Dusts, Sludges</b> – sinter plant, blast furnace, BOF, EAF	187.000	6,8 %
<b>Scale</b> – mill scale (coarse & fine), etc.	125.000	4,6 %
<b>Ferrous residues</b> – small sections, crumble iron, etc.	211.000	7,7 %
<b>Other</b> – coke abrasion, breeze, etc.	134.000	4,9 %
<b>Total</b>	<b>2.739.000</b>	<b>100 %</b>

Taking the average of the five largest sites in Austria approx. 86 % of all residues are recycled internally (i. e. dusts, scale, etc.) or utilised externally (i. e. slags). The remaining 14 % are land-filled.

Table II: Residues from iron & steel production and their utilisation according to state-of-the-art technology. Utilisation strongly depends on residue composition and concentration of impurities (heavy metals, alkalines, etc.).

residue	internal	external
<b>slags</b>		
blast furnace slag		cement production, road building material
BOFslag		road building material, fertilizer
EAF slag		road building material or landfill/dumping
<b>Dusts and slurries</b>		
sinter dust	recycling to sinter plant (97 %)	landfill/dumping
coarse flue dust	recycling to sinter plant	
fine flue dust (slurry)		landfill/dumping
casthouse dust	recycling to sinter plant	
coarse dust	internal recycling: hot briquetting plant and recycling to converter (95 %)	landfill/dumping
fine dust		
secondary steel making dust		
EAF dust	recycling into EAF (agglomeration or direct injection) (80 %)	landfill/dumping
rolling dust	recycling to sinter plant	
<b>mill scale</b>		
mill scale < 0,1 % oil	recycling to sinter plant	
mill scale 1-2 % oil	recycling to blast furnace	
mill scale 20-50 %		landfill/dumping
<b>ferrous residues</b>		
internal scrap (casting)	recycling to sinter plant	
internal scrap (rolling)	recycling to blast furnace	
dust (iron oxide)	recycling to sinter plant	printed circuit production (95 %)

Since slags have a share of 75 % in the total residue, a modern iron & steel works optimises the production processes not only in regard to the products, but also in regard to the slag. Today, the granulation of blast furnace slags (cement industry) as well as the utilisation of blast furnace slags and BOF slags in road construction, can be considered as state of the art.

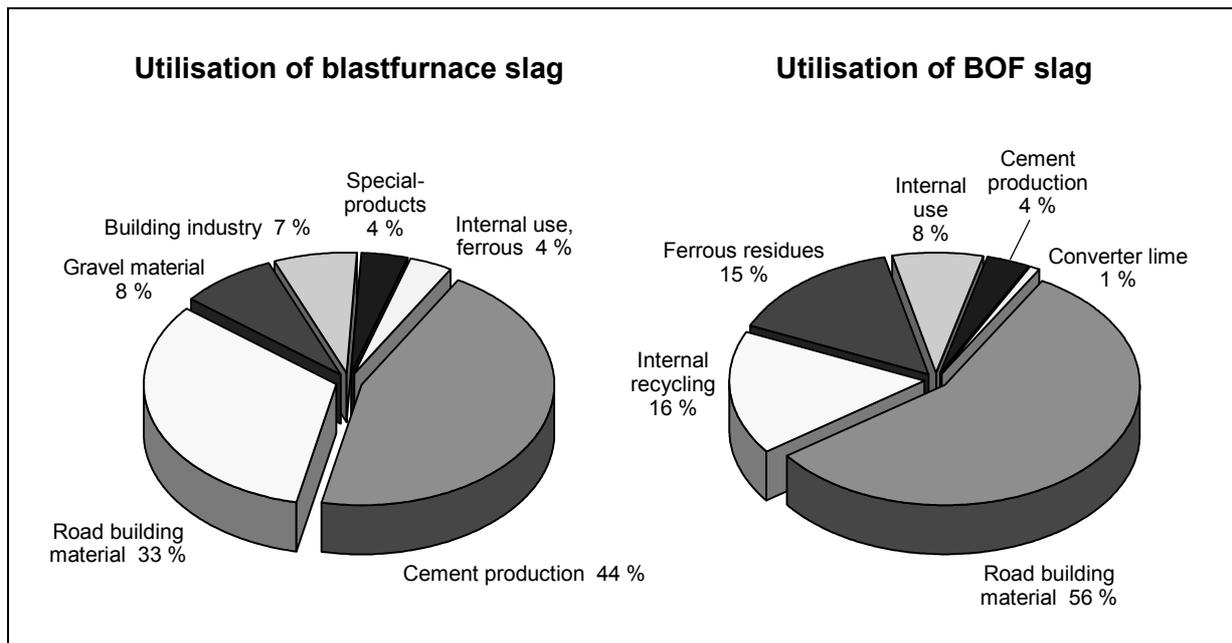


Figure II: Utilisation of blast furnace slags and BOF slags at VOEST-ALPINE STAHL LINZ (estimation 1995) [VOEST-ALPINE STAHL LINZ, 1996].

With increasing recycling rates the negative effects must also be considered. By-products are contaminated with non-ferrous metals, alkalis, oil, etc. Heavy metal impurities, mainly zinc and lead, limit higher recycling rates and process reintegration due to the accumulation of trace elements. Galvanized scrap recycled to the steelmaking process is the main source for zinc. The zinc input is approx. 0,4 kg/t per ton of crude steel. The zinc input leads to engineering problems as the quality of the products and the slags decreases and therefore the specific waste amount increases. To be able to recycle the dust containing the heavy metals they should be separated in a ferrous and a heavy metal enriched portion.

With greater usage of galvanised materials in coming years the fraction of galvanised scrap will steadily increase from 12 % (1990) up to 35 % (2000) leading to higher zinc and lead material flows in iron & steel works.

Today, internal recycling of dusts, sludges and scales with low heavy metal and oil contamination (< 1 % oil) is state-of-the art. For residues with a greater content of oil (1-2 %) there is one process (rotary kiln with after burning chamber) in operation, but not in Austria. In Austria residues with higher oil content are landfilled.

Specific areas of improvement activities can be summarised as follows:

- zinc and lead separation from metallurgical dusts, sludges and return scrap
- treatment and reutilization of oil-contaminated ferrous materials with an oil content >1-2 %.

The treated wastes can then be reused into existing primary processes, e.g. sinter plants, blast furnaces, BOF converters and electric arc furnaces.

Conclusions and recommendations for by-product and waste management in the iron and steel industry can be summarised as follows:

- Waste avoidance measures have the highest priority and should be achieved by further optimisation of primary process technologies.
- Further recycling of residues from iron & steel production into existing metallurgical processes (sinter plant, blast furnace, BOF, EAF) should be promoted. This allows for effective reclamation of ferrous materials and/or energy recovery from residues. The plants designed

to treat those wastes, should in every case be equipped with an effective flue gas cleaning system and have a low specific energy consumption. Especially sinter plants should be provided with state-of-the-art technologies to minimise VOC – emissions (e. g. dioxines/furans), dust and heavy metal emissions.

- If direct recycling is rendered impossible especially in case of high oil (oily mill scale, scrap) or heavy metal (dust, sludge) concentrations of ferrous residues, processes should be applied which allow for effective treatment in order to recycle the ferrous components and recover non-ferrous metals. Currently various processes are under development but yet have to be proven on a pilot or commercial scale.
- External utilisation of residues (i.e. slags for the building industry) should be enforced to avoid landfilling.
- Before final disposal (landfill) wastes must be immobilised to avoid leaching of heavy metals and to meet the regulation of the disposal site ordinance.

Generally speaking the iron & steel industry allows for impressive recycling rates (internal and external; approx. 96 %, VAI, 1995) of residues both from primary production processes and end-of-the pipe ex-process cleaning systems (scale, filter dust).

# 1 EINLEITUNG

## 1.1 Aufgabenstellung

Die vorliegende Studie betrachtet das Aufkommen, die Vermeidung, die Verwertung und Behandlung von Reststoffen und Abfällen in der Eisen- und Stahlindustrie.

Ziel der Studie ist eine Darstellung der wesentlichen Produktionsprozesse der Eisen- und Stahlindustrie, die Identifizierung aller relevanten Hüttenreststoffe und -abfälle und eine Abschätzung der Reststoff- und Abfallmassenströme für ausgewählte Standorte der Eisen- und Stahlindustrie in Österreich. Vor diesem Hintergrund sollen einerseits der Stand der Technik (siehe Anhang), die betriebliche Praxis, sowie technologische Entwicklungen zur Vermeidung, Behandlung und Verwertung von Hüttenreststoffen und Hüttenabfällen dargestellt und insbesondere die spezifische Situation in Österreich diskutiert werden.

## 1.2 Eisen- und Stahlindustrie im Überblick

### 1.2.1 Bedeutung von Eisen und Stahl

Eisen steht in der Häufigkeit der chemischen Elemente in der Erdkruste nach Sauerstoff, Silizium und Aluminium mit 5,6 % an vierter Stelle. Eisen ist damit nach Aluminium das zweithäufigste Metall. Der überwiegende Teil der Vorkommen liegt als Erz vor.

Von den 400 bekannten Eisenmineralien haben für die Eisengewinnung nur einige wenige Minerale, wie beispielsweise Hämatit  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , Magnetit  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ , Siderit  $\text{FeCO}_3$  oder Pyrit  $\text{FeS}_2$  wirtschaftliche Bedeutung. Diese Mineralien sind Bestandteile der verschiedenen Erze. Gefördert werden heute Erze mit einem Eisengehalt von 20-67 %, wobei sich der Abbau bei niederen Gehalten nur lohnt, wenn sich durch Aufbereitung eine Anreicherung auf 60 % oder darüber erzielen läßt. Weitere Qualitätskriterien sind geringe Schwefel-, Phosphor- und Alkaligehalte der Erze.

Die Gesamtvorräte an Eisenerzen werden auf 800 Milliarden Tonnen geschätzt, davon werden zur Zeit 85 Milliarden Tonnen als abbauwürdig eingestuft. Bei der Erzversorgung sind westliche Industrieländer (Europa, Nordamerika, Japan) auf große Importmengen angewiesen. Die größten Eisenerzvorkommen liegen in Rußland, der Ukraine, Kanada, Australien und Indien.

Die erforderlichen Rohstoffe für die Eisengewinnung sind Eisenerze und fossile Brennstoffe bzw. Reduktionsmittel, wie Kohle, Erdöl und Erdgas. Zu den benötigten Hilfsstoffen zählen unter anderem Kalk, Dolomit, Olivin, Flußspat und Quarzsand.

Der Grundvorgang der Eisengewinnung ist die Reduktion oxidischer Erze mit Kohlenstoff. Dabei entsteht sprödes Roheisen, das einen hohen C-Anteil aufweist. Die Gewinnung des flüssigen Roheisens erfolgt vorwiegend im Hochofen. Bei Direktreduktionsverfahren wird Eisenerz im festen Zustand durch gasförmige Reduktionsmittel zu Eisenschwamm reduziert. Etwa 80 % des Roheisens und fast 100 % des Eisenschwammes und Schrott werden anschließend zu Stahl raffiniert.

Bei Eisenschwamm und Schrott ist damit ein Schmelzvorgang verbunden. Im Schmelzprozeß werden störende Begleitelemente wie Phosphor, Schwefel, Sauerstoff und Wasserstoff aus der Schmelze bis auf definierte Restgehalte reduziert. Die Raffination dient außerdem der Entfernung des Kohlenstoffes, dessen Gehalt im Stahl meist unter 1 %, oft auch unter 0,1 % liegen muß. Weiters werden Legierungselemente beigemischt, um definierte Stahlqualitäten zu erzielen.

## 1.2.2 Weltweite Stahlproduktion

Die weltweite Stahlproduktion entwickelte sich von ca. 30 Mio. t/a (Jahr 1900) über ca. 200 Mio. t/a (Jahr 1950) auf ca. 750 Mio. t/a (Jahr 1995).

Zu Einbrüchen im Produktionswachstum kam es 1974/75 (Energiekrise) und 1981/82. Die Weltstahlproduktion konnte sich zwischen 1982 und 1989 nur mit einer geringen Wachstumsrate auf den Produktionshöchststand von ca. 790 Mio. t/a im Jahr 1989 entwickeln. Seit der Öffnung der osteuropäischen Länder im gleichen Jahr, die eine beträchtliche Reduktion der Nachfrage von Stahl im Bereich der Rüstungsindustrie zur Folge hatte, sanken die Produktionszahlen vor allem in Osteuropa und den Nachfolgestaaten der UdSSR.

Die jüngste Entwicklung des Weltstahlmarktes zeigt wieder steigende Tendenz bei der Produktion. Die Welt-Rohstahlerzeugung ist 1995 gegenüber dem Jahr 1994 um ca. 20 Mio. t gestiegen, hat aber das Niveau des Rekordjahres 1989 nicht erreicht. Die Situation auf dem Weltstahlmarkt war vor allem im letzten Quartal 1995 durch Rückgang der internationalen Nachfrage und damit durch sinkende Preise und Produktionsrücknahmen gekennzeichnet.

In Österreich hat die Eisen- und Stahlerzeugung lange Tradition. Sie ist hauptsächlich im Gebiet der ehemaligen Erz- und Kohlevorkommen der Steiermark und in Oberösterreich angesiedelt. Die Rohstahlproduktion betrug 1995 knapp 5 Millionen Tonnen.

Tab. 1.2-1: Entwicklung der Rohstahlproduktion in Mio. Tonnen [nach VA STAHL AG, 1995].

	1989	1994	1995
Welt	785,97	729,80	749,59
Westeuropa	166,54	166,01	170,79
Deutschland	41,07	40,84	42,05
Frankreich	19,34	18,03	18,10
Italien	25,21	26,15	27,77
<b>Österreich</b>	<b>4,72</b>	<b>4,40</b>	<b>4,99</b>
Osteuropa	59,22	32,39	34,15
Frühere UdSSR-Staaten	160,10	78,28	78,80
USA	88,85	91,24	93,57
Asien	228,40	271,87	279,19
Japan	107,91	98,30	101,65
VR China	61,59	92,61	92,97

## 2 HÜTTENWERKSPROZESSE UND ANFALLENDE RESTSTOFFE BZW. ABFÄLLE

Die Herstellung von Stahlprodukten erfolgt in mehreren Produktionsschritten. Der erste Schritt ist die Kohle- und Erzaufbereitung, gefolgt von der Roheisenerzeugung, dem Frischen von Stahl bis hin zur endgültigen Verarbeitung in die gewünschten Endprodukte (Abb. 2.1.2-1).

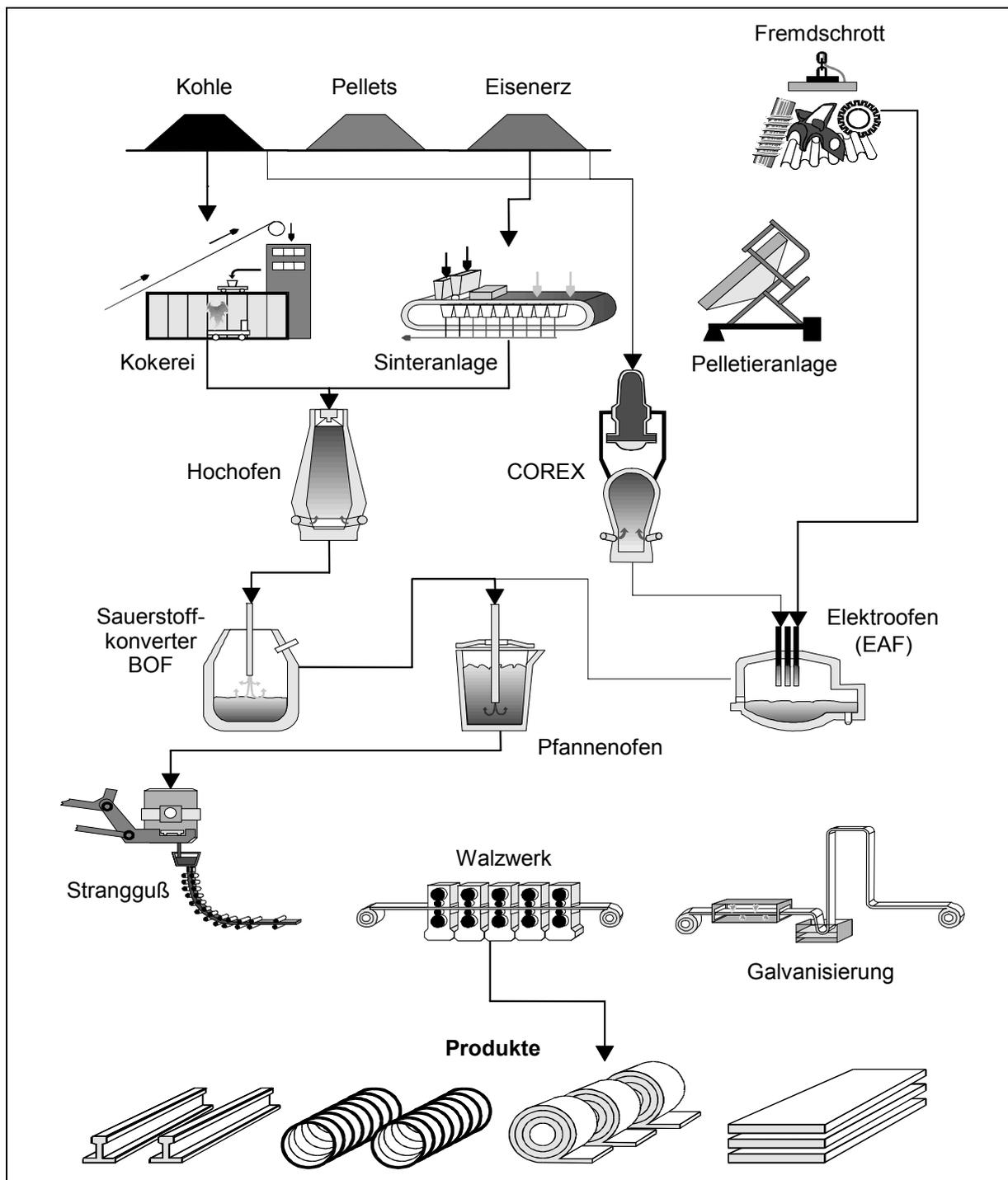


Abb. 2.1.2-1: Übersicht der wesentlichen Produktionsverfahren für die Eisen- und Stahlerzeugung [nach VAI, 1995].

Bei der Erzeugung von Rohstahl über die Hochofenroute spricht man auch von sogenannten *integrierten Hüttenwerken*. Im Gegensatz dazu kann Rohstahl auch direkt über das Elektrostaahlverfahren aus Schrott hergestellt werden (sogenannte Mini Mills). Eine Übersicht der verschiedenen Prozeßrouten, sowie der technologischen Verfahren ist in Abb. 2.1.2-1 dargestellt.

Im folgenden werden die wesentlichen Hüttenwerksprozesse und die dabei anfallenden Reststoffe und Abfälle diskutiert.

## 2.1 Kokerei

Koks bildet einen wesentlichen Rohstoff des Hochofenprozesses. Er liefert die erforderliche Energie, das Reduktionsgas CO und bildet ein Stützgerüst im Hochofen, das sowohl die Durchgasung der Schüttsäule mit CO, CO<sub>2</sub> und Luft gewährleistet als auch das Abtropfen von flüssigem Eisen und Schlacke ermöglicht. Um all diese Anforderungen erfüllen zu können, muß der verwendete Koks definierte Eigenschaften aufweisen. Dazu zählen eine hohe Festigkeit, geringe Konzentrationsschwankungen in bezug auf Aschegehalt, Feuchte und Schwefelgehalt, eine Stückgröße zwischen 40 und 100 mm und hohe Reaktionsträgheit zur optimalen Gasausnutzung im Hochofen aufweisen.

In Österreich werden nur bei der VOEST-Alpine Stahl AG in Linz Koks Batterien betrieben. (siehe Kapitel 5.2.2).

### 2.1.1 Verfahrensbeschreibung Kokerei

Die Erzeugung von Koks aus Steinkohle in Kokereien stellt das technisch und wirtschaftlich bedeutendste Verfahren der Kohleveredelung dar. Der Prozeß der Verkokung (auch Entgasung oder trockene Destillation genannt) dient zum Austreiben der flüchtigen Bestandteile der Kohle. Dabei wird Steinkohle unter Luftabschluß in einer Ofenkammer auf bis zu 1.300 °C erhitzt. Das entstehende Produkt enthält elementaren Kohlenstoff und jenen Ascheanteil des Ausgangsmaterials, der während des Prozesses nicht verflüchtigt bzw. zersetzt werden konnte. Üblicherweise werden mehrere Ofenkammern zu sogenannten Koks Batterien zusammengefaßt und mit Kohle beschickt.

Nach Beendigung der Verkokung wird der glühende Koks ausgestoßen und muß gelöscht werden, um sein Verbrennen zu verhindern. Traditionell erfolgt die Kühlung durch Berieselung mit Wasser. Dazu werden rund 600 Liter Wasser pro Tonne Koks benötigt. Große Mengen des Löschwassers (ca. 40-50 %) verdampfen bei diesem Vorgang sofort. Der entstehende Wasserdampf bindet große Mengen an Koksteilchen. Außerdem muß durch den entstehenden Wasserdampf ein Energieverlust in Kauf genommen werden. Während des Kokslöschens entstehen aus Wasser und Koksteilchen ca. 40 m<sup>3</sup> Wassergas (Hauptkomponenten: H<sub>2</sub> und CO) pro Tonne Kohle. [UN ECE, 1996]

Ein alternatives Verfahren dazu ist die Trockenkühlung. Dabei wird die Wärmeenergie des Koks von einem Kühlgas aufgenommen. Dessen Wärme kann anschließend auf verschiedene Arten genutzt werden (z. B.: zur Erzeugung von Dampf, Abgabe als Fernwärme, Vorwärmung der Kohle vor dem Verkokungsprozeß).

Eine weitere Alternative zum traditionellen Kokslöschen bietet das EBV-Verfahren (Eschweiler-Bergwerks-Verein). Zur Kokskühlung werden hier geschlossene Behälter eingesetzt, in denen der Koks über Düsen mit eingeleitetem Löschwasser berieselt wird. Der entstehende Wasserdampf wird in nachgeschalteten Zyklonen und Gewebefiltern entstaubt [LEHMANN, 1993].

## 2.1.2 Anfallende Reststoffe und Abfälle

Zu den wesentlichen Reststoffen und Abfällen einer Kokerei zählen

- Kokereigas
- Kuppelprodukte aus den Bestandteilen des Kokereigases
- Stäube.

In Tab. 2.1-1 sind die spezifischen Reststoff- und Abfallmengen in kg die pro t Koks anfallen, sowie die Behandlungsmöglichkeiten angegeben.

Tab. 2.1-1: Spezifischer Reststoff- und Abfallanfall einer Kokerei in kg/t Koks <sup>1)</sup>  
(vgl. auch Tab. 2.1-2).

Bezeichnung	Menge/t Koks	Anfallort	Behandlung (Stand d. Technik)
Kokereigas	350-480 m <sup>3</sup>		Energetische Nutzung im Hüttenwerk
Rohteer	46-50 kg		Verkauf an chemische Industrie, Teerdestillation, Herstellung von Produkten
Rohbenzol/ Aromat. Komponenten	12-14 kg		Verkauf an chemische Industrie
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	10 kg		Beize, hütteninterne Verwendung
Koksgrus	35-45 kg		Einsatz in der Sinteranlage
Brechkok	40-50 kg		externer Verkauf
Filterstaub	2-3 kg	Füllvorgang, Koksdrücken, Koksaufbereitung	Wiedereinsatz Kohlemischanlage

Quellen: Firmenangaben 1995, RENTZ et al., 1995; PHILIPP et al., 1992

Anmerkung:

<sup>1)</sup> Die angegebenen Anfallmengen sind Durchschnittswerte und hängen stark von der spez. Prozeßfahrweise ab.

### 2.1.2.1 Kokereigas und Kuppelprodukte

Die bei hohen Temperaturen ausgetriebenen flüchtigen Bestandteile der Kohle werden als Rohgas gesammelt und in einer mehrstufigen Gaswäsche aufgetrennt. Die Gaswäsche dient nicht nur der Gasreinigung, sondern es werden auch eine Reihe von Nebenprodukten wie Teer, Leichtöl, Naphthalin, Ammoniak und Schwefel gewonnen [Tab. 2.1-2].

Rund ein Viertel des Gewichtes der eingesetzten Kohle wird während der Verkokung verflüchtigt. Kohlenwertstoffe (Nebenprodukte) stellen dabei neben Staubemissionen und Abwasserinhalstoffen die größte Fraktion dar.

Der Grad der Verflüchtigung ist abhängig vom Wassergehalt und dem Anteil der flüchtigen Komponenten. Dementsprechend schwankt die Rohgasmenge von 332 m<sup>3</sup>/t bis zu 480 m<sup>3</sup>/t Kohle [UN-ECE, 1996]. Die flüchtigen Bestandteile im Kokereigas sind in Tabelle 2.1-2 dargestellt [WINNACKER-KÜCHLER, 1986].

Tab. 2.1-2: Typische Koksgaszusammensetzung und flüchtige Bestandteile  
[WINNACKER, KÜCHLER, 1986].

Inhaltsstoff/Komponente	Konzentration [Vol %]
H <sub>2</sub>	58-65
CH <sub>4</sub>	24-29
CO	4,6-6,8
C <sub>n</sub> H <sub>m</sub>	2-4
CO <sub>2</sub>	1,5-2,5

Flüchtige Bestandteile	[g/m <sup>3</sup> ] Gas	spez. Emission [kg/t]
Teer	65-125	24-48
Arom. Komponenten	28-53	10-18
Ammoniak	6-9	2-3
Schwefelkomponenten	6-12	2,1-4,2
HCN	0,5-1,5	0,2-0,6

Die Koksgasreinigung erfolgt über ein mehrstufiges Wäschersystem [Abb. 2.1-2]. Das Koksgas gelangt über ein Pipelinesystem (Sammelleitung) in die Gaswäsche. Im ersten Schritt wird das Kokereigas abgekühlt. Dabei fällt der im Kondensat gelöste Teer aus, wird abgetrennt und anschließend einer Teerdestillation zugeführt. Phenol kann durch Extraktion aus dem Kondensat abgeschieden werden. Bei der Teergewinnung kondensiert bereits ein Drittel des vorhandenen Ammoniaks aus.

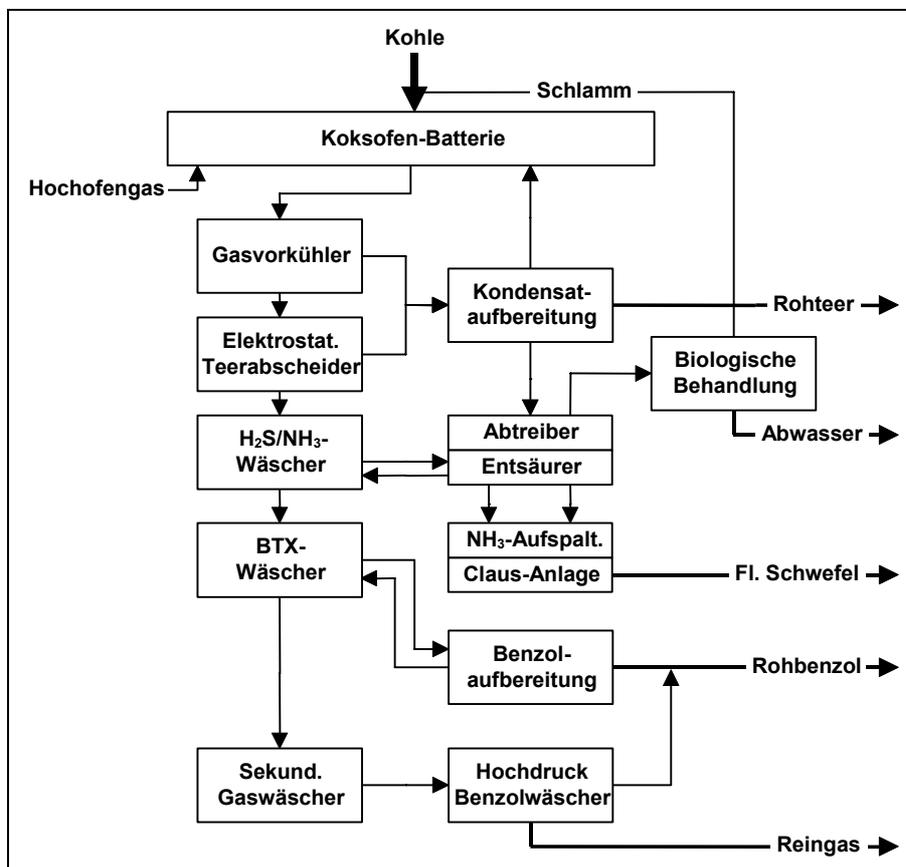


Abb. 2.1-2:  
Verfahrensschema der  
Kokereigaswäsche  
[nach RENTZ et al.,  
1995].

Im nächsten Schritt wird der im Kokereigas enthaltene Schwefelwasserstoff ausgewaschen. Nach der anschließenden Entsäuerung fällt als Reststoff, je nach ausgewähltem Verfahren, Schwefelsäure oder reiner Schwefel an (Claus-Prozeß: Im ersten Schritt wird ein Teil des Schwefelwasserstoffes mit Luft zu Schwefeldioxid verbrannt und anschließend weiteres H<sub>2</sub>S mit SO<sub>2</sub> in Gegenwart eines Katalysators zu Schwefel umgesetzt ). Die verbleibende Menge an Ammoniak wird nun durch eine Ammoniakwäsche entfernt. Es ist die Gewinnung von Ammoniumsulfat oder reinem Ammoniak möglich, oder es erfolgt eine Verbrennung des Ammoniaks. Anschließend erfolgt eine Benzolwäsche, wobei hier Rohbenzol gewonnen werden kann.

Für die einzelnen Reinigungsschritte existieren eine Reihe verschiedener Verfahrensvarianten. Schwefelwasserstoff und Ammoniak werden heute meist gemeinsam in einer kombinierten Kreislaufwäsche aus dem Kokereigas entfernt. Praktische Anwendung finden dabei häufig der AMASULF-Prozeß [KRUPP KOPPERS GMBH], das Desulf-Verfahren [WAGENER, 1982] und die AS-Wäsche, Prinzip Still [TIPPMER, 1985]. Die getrennte Ammoniakabscheidung ist heute nicht mehr wirtschaftlich, da Ammoniak günstiger großtechnisch aus Erdgas (Haber-Bosch-Verfahren) synthetisiert werden kann. Benzol wird mit Waschölen aus dem Kokereigas abgetrennt. Dieses Verfahren hat sich in den letzten Jahrzehnten seiner Anwendung bewährt und wurde daher nicht wesentlich verändert. Nähere Angaben zur Rohbenzolwäsche (BTX-Wäsche) finden sich bei [GROSSKINSKY, 1955 und 1958] und [TIPPMER, 1985].

In früheren Jahren konnten nahezu alle Bestandteile des Kokereigases als Kuppelprodukte an die chemische Industrie verkauft werden. Aufgrund der Konkurrenz zu Produkten aus der petrochemischen Industrie können heute einige der Kuppelprodukte nur mit negativen Deckungsbeiträgen abgegeben werden.

Rund 40 % des gereinigten Koksgases wird werksintern zur Beheizung des Koksofens wiederverwendet.

Tab. 2.1-3: Chemische Kuppelprodukte aus der Kokereigaskwäsche in kg/t Koks [FALBE, 1977].

Kohlenwertstoffe	[kg/t Koks]
Rohgasmenge	350-480 m <sup>3</sup> /t
Rohteermenge	46-50
Schwefelwasserstoff aus Rohgas und Kondensat	3,5-4
Ammoniak aus Rohgas und Kondensat	3,7-4,5
Phenol (ohne Derivate)	0,3-1,6
Rohbenzol im Rohgas	12-14
Benzol	8-10,4
Rohnaphthalin im Rohgas	0,1-0,3
Naphthalin aus Teer	3-5,4

Die Reststoffe der Kokerei können verwertet werden, da die Reststoffe als chemische Kuppelprodukte anfallen. Vermeidungspotentiale wären nur durch Wechsel auf höherwertige Kohlesorten möglich.

## 2.2 Sinterverfahren

Ziel der Erzaufbereitung ist es, die für die Verhüttung optimalen Eigenschaften des Erzes vorzubereiten. Angestrebt wird dabei ein geringer Gehalt an Begleitstoffen, möglichst gleiche Korngröße, gute Reduktionseigenschaften und günstiges Erweichungs- und Schmelzverhalten.

Stückerze mit hohem Eisengehalt erreichen die gestellten Anforderungen durch Brechen des Roherzes und anschließendem Sieben in Erzbrech- und Siebanlagen auf eine Korngröße von 8-30 mm. Der überwiegende Anteil der Eisenerze muß aber zur Anreicherung und Abtrennung unerwünschter Begleitstoffe zu Konzentrat oder Feinerz verarbeitet und durch Schwereretrennung, durch Starkfeld- oder Schwachfeld-Magnetabscheidung oder durch Flotation für den Reduktionsprozeß vorbereitet werden.

Der Sinterprozeß dient der Agglomeration von Feinerzen zu porösen, leichter reduzierbaren Erzen mit Korngrößen von 10 bis 20 mm. Großtechnisch wird das Sinterverfahren seit den fünfziger Jahren eingesetzt. Vor allem in Mitteleuropa ist das Sinterverfahren das wichtigste Agglomerationsverfahren für Eisenerze. Neben dem Sinterverfahren werden auch Pelletierverfahren eingesetzt.

### 2.2.1 Verfahrensbeschreibung Sinteranlage

Eine Sinteranlage besteht aus dem Sinterband (ein kontinuierlich umlaufender Rost), den Erz- und Zuschlagsbunkern, der Mischtrommel, den Primär- und Sekundärentstaubungsanlagen, verschiedenen Siebeinrichtungen und dem Sinterkühler. In Abb. 2.2-1 ist das Verfahrensschema einer Sinteranlage und das Temperaturprofil in der Brennzone der Sintermischung dargestellt.

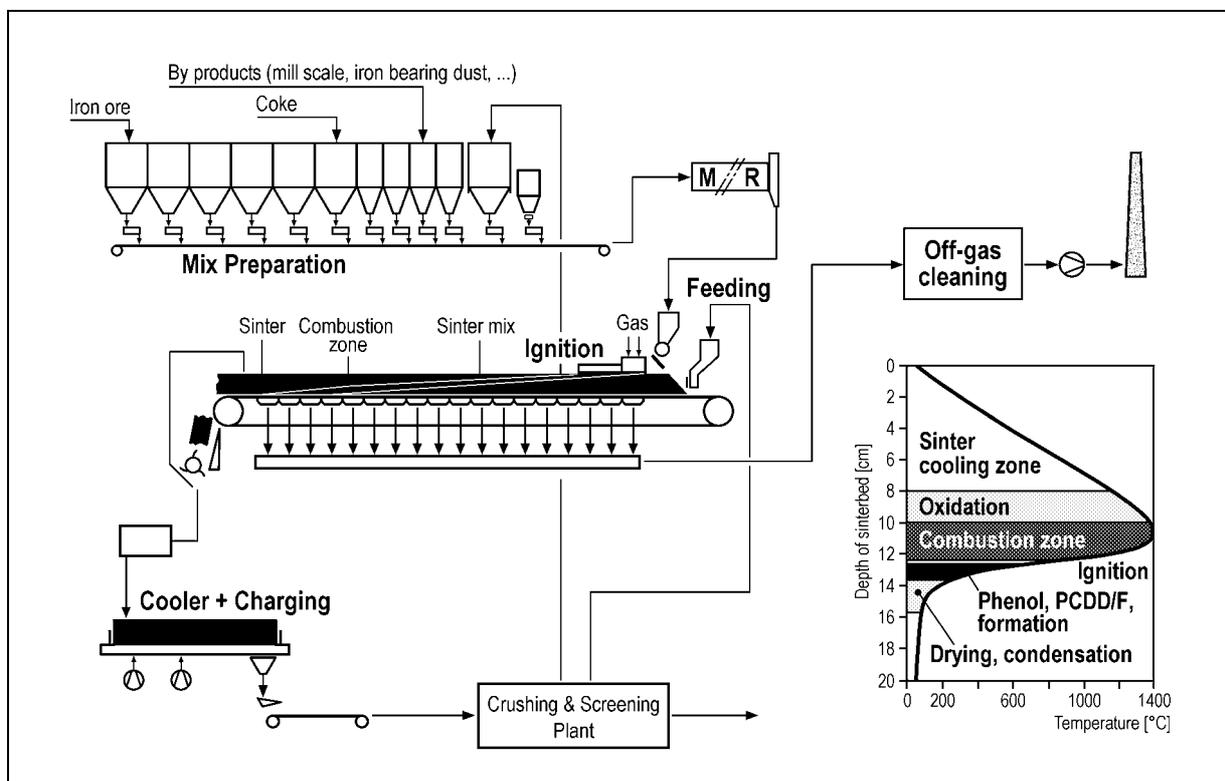


Abb. 2.2-1: Fließschema einer Sinteranlage und Temperaturverlauf in der Brennzone der Sintermischung [VAI, 1994].

Sinter wird fast ausschließlich in Hüttenwerken aus Gemischen mehrerer Erzsorten, Zuschlagstoffen, Reststoffen und Abfällen (eisenhaltige Stäube, Schlacken und Walzzunder) hergestellt. Angestrebt wird eine mittlere Korngröße von 20-30 mm. Die Einsatz- und Zuschlagstoffe (Kalk, Quarz, Dolomit) werden in Erzmischbetтанlagen homogenisiert und anschließend gemeinsam mit feingemahlenem Koksgrus und rückgeführtem Sintergut aus der Feinsinterabsiebung in der Mischtrommel vermengt. Die Zuschlagstoffe verbessern einerseits die Sinterqualität, andererseits dienen sie der im Hochofen erforderlichen Schlackenführung. Die Sintermischung wird schließlich angefeuchtet, in einer Rolliertrommel agglomeriert und über eine Aufgabewalze locker bei gleichmäßiger Schichtdicke auf das Sinterband aufgebracht. Die Sintermischung durchläuft einen Zündofen, der die Oberfläche der Mischung auf ca. 1300°C erhitzt (knapp unterhalb des Schmelzpunktes). Gleichzeitig wird von unten Luft mit Unterdruck (Saugkästen) durch die Sintermischung gesaugt. Dadurch wird der beigemengte Kohleanteil verbrannt. Die Brennzone durchwandert die Sintermischung mit fortlaufendem Sinterband von oben nach unten. Die Erzkörner werden durch Schmelzen und Erstarren, Rekristallisation und durch Bildung neuer Phasen miteinander verbunden. Anschließend wird der feste Filterkuchen zerbrochen, gekühlt, klassiert und der Feinanteil unter einer Größe von 5 mm Korndurchmesser rückgeführt (Rückgut).

### 2.2.2 Abgasreinigung von Sinteranlagen

Die Abgase von Sinteranlagen stellen höchste Anforderungen an die Abgasreinigung dar insbesondere zur Abscheidung von organischen Schadstoffen und Schwermetallen. Die Feinheit und die chemische Zusammensetzung der enthaltenen Staubpartikel spielen hier ebenso eine Rolle wie Schwermetalle, HCl, HF, SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>. Die Zusammensetzung und Konzentration der Schadstoffe hängt stark von den jeweiligen Einsatzstoffen ab.

Die Abgasentstaubung von Sinteranlagen wird, von wenigen Ausnahmen abgesehen, mit Trockenelektrofiltern durchgeführt. Der Einsatz von Elektrofiltern ermöglicht allerdings nur eine Reduktion der staubförmigen Abgaskomponenten. Das Abscheideverhalten bzw. die erzielbare Reingasstaubkonzentration ist wiederum stark von der Korngröße und der Zusammensetzung des Staubes abhängig. Der Wiedereinsatz von ölhaltigen Reststoffen und Abfällen (z. B. Walzzunder) in der Sinteranlage kann zur Emission von Kohlenwasserstoffen (VOC, PCDD/F) führen. Die Abtrennung des Feinstaubes und der Kohlenwasserstoffpartikel ist durch den Einsatz von Elektrofiltersystemen nicht zufriedenstellend und es besteht bei hohen Kohlenwasserstoffkonzentrationen (>6 % im Staub) Brandgefahr. Ähnliches gilt auch beim Einsatz von Tuch(Schlauch)filtern.

Die Voest-Alpine Stahl Linz GmbH wurde 1985 vom Amt für Umweltschutz der Stadt Linz aufgefordert, die Staubfraktion im Abgas der Sinteranlage auf < 50 mg/Nm<sup>3</sup> zu reduzieren.

Zum damaligen Zeitpunkt wurden für die Abgasentstaubung der Sinteranlage Trocken-Elektrofilter und Zykclone eingesetzt, die bei einem Rohgasstaubgehalt von 400-800 mg/Nm<sup>3</sup> einen Reingawert von 100-150 mg/Nm<sup>3</sup> erzielten.

Die Untersuchungen an der Sinteranlage der VASL zeigten im wesentlichen folgende Ergebnisse:

- Die chemische Zusammensetzung der Staubteilchen besteht zu 50-70 % aus Alkalichloriden (NaCl, KCl), die aus Verunreinigungen der Erze resultieren. (KCl und NaCl werden beim Erreichen der Schmelztemperatur verflüchtigt.) Alkalisalze haben sehr hohe spezifische elektrische Widerstandswerte (>10<sup>11</sup> Ω cm). Dies führt in Folge zu Belagsbildungen an den Niederschlagselektroden, wodurch die Funktion von Elektrofiltern stark beeinträchtigt wird (z. B. Rücksprüheffekte).
- Bedingt durch die Sublimation von Schwermetallen aus der Gasphase hat der anfallende Sinterstaub eine Kornfraktion mit sehr kleinen Korndurchmessern. Die Korngrößenverteilung des Staubes zeigt, daß die Hauptkornfraktion im Größenbereich von 0,125-0,25 µm

liegt ( $80\% < 1\mu\text{m}$ ). Dieser äußerst feinkörnige Staub (Aerosole) kann nicht mehr effizient über Trägheitsabscheider (z. B. Zyklone) bzw. Elektrofilter abgeschieden werden.

Diese Erkenntnisse bildeten die wesentlichsten Rahmenbedingungen für die Auswahl/Entwicklung eines geeigneten Abgasreinigungssystems. Die am Markt existierenden Abgasreinigungssysteme waren nicht geeignet, um den hohen Anforderungen an die Reinigung dieser Sinterabgase gerecht zu werden. Nach einigen Fehlversuchen entschlossen sich 1994 die VAI und die VOEST-ALPINE Stahl Linz zur Entwicklung eines neuen Abgasreinigungsverfahrens namens AIRFINE® (siehe Kapitel 4.1.3). Die Ausrüstung der Sinteranlage in Donawitz mit einer effizienten Rauchgasreinigung steht noch aus.

Ein weiteres Verfahren zur Emissionsreduktion stellt das sogenannte EOS-Verfahren (Emission optimized sintering) dar, daß von der Fa. LURGI in D entwickelt wurde. Beim EOS-Prozeß wird eine Verringerung der Emissionen durch eine Teilstromrückführung des Abgases (ca. 40-60 %) erreicht. Mit dem Abgas wird auch ein großer Teil des Kohlenmonoxids rückgeführt und damit energetisch genutzt. Dies führt wiederum zu einer Verringerung des Brennstoffbedarfs. Um eine Standardsinterqualität zu erzielen, muß dem rückgeführten Abgasstrom Frischluft zugeführt werden.

Durch die Verringerung des resultierenden Abgasvolumenstromes kann eine nachfolgende Abgasreinigung geringer dimensioniert und damit kostengünstiger realisiert werden.

Eine Kombination von AIRFINE® und EOS ist möglich und stellt derzeit die optimale Lösung zur Abgasproblematik von Sinteranlagen dar. Eine solche Kombination wird gegenwärtig bei Hoogovens, Ijmuiden in den Niederlanden realisiert. Die beiden Verfahren werden an anderer Stelle ausführlicher beschrieben (siehe Kapitel 4.1.3 ff)

### 2.2.3 Anfallende Reststoffe

Zu den wesentlichen Reststoffen und Abfällen einer Sinteranlage zählen

- *Stäube bzw. Schlämme* aus der Abgasreinigung (trocken/naß)
- *Rückgut* aus der Warm- bzw. Kaltabsiebung

In Tab. 2.2-1 sind die spezifischen Reststoff- und Abfallanfallmengen in kg/t Sinter, sowie die Behandlungsmöglichkeiten angegeben.

Tab. 2.2-1: Spezifischer Reststoff- und Abfallanfall einer Sinteranlage in kg/t Sinter <sup>1)</sup>.

Bezeichnung	Menge/ t Sinter	Anfallort	Behandlung (Stand d. Technik)
Filterstaub	15-25 kg	Elektrofilter/Wäscher	Wiedereinsatz Sinteranlage
Schlamm <sup>2)</sup>	0,5-1 kg	Naßreinigung (AIRFINE)	Deponie
Sinterrückgut	200-300 kg	Sinterband	Wiedereinsatz Sinteranlage
REA-Gips	k. A.	Rauchgasentschwefelung	k. A.

Quellen: Firmenangaben 1995, AUMONIER et al., 1996; RENTZ et al., 1995; PHILIPP et al., 1992

Anmerkungen:

<sup>1)</sup> Die angegebenen Anfallmengen sind Durchschnittswerte und hängen stark von der spez. Prozeßfahrweise, den Einsatzstoffen, etc. ab.

<sup>2)</sup> bei Einsatz eines Naßwäschers für die Abgasreinigung.

### 2.2.3.1 Stäube

Beim Sinterprozeß fallen Rückgut aus der Warm- und Kaltabsiebung, sowie Staub aus der Primär- und Sekundärentstaubung an. Der Staub stellt aufgrund seines hohen Eisengehaltes einen wertvollen Rohstoff dar (vgl. Tab. 2.2-2). Er kann in der Regel über die Sinteranlage wieder eingesetzt werden. Problematisch wird sein Wiedereinsatz, wenn es zu einer zu hohen Anreicherung von Schwermetallen (Blei, Zink) oder Alkalien kommt. Der Hochofen verträgt nur eine geringe Menge dieser Stoffe. (siehe Kap. Eisenerzeugung). Es muß daher verhindert werden, daß sie nach mehrmaliger Kreislaufführung über den Fertigsinter in den Hochofen gelangen.

Tab. 2.2-2: Zusammensetzung von Stäuben aus Sinteranlagen [UN ECE, 1990].

Inhaltsstoffe	Anteile in %
Fe <sub>gesamt</sub>	35-56
SiO <sub>2</sub>	0,6-8
CaO	1,2-14
MgO	0,1-11
S <sub>gesamt</sub>	0,2-4
Pb	0,04-10
Zn	0,05-0,4
<b>C<sub>gesamt</sub></b>	<b>1,5-10</b>

Bei Sinteranlagen die mit einer Rauchgasentschwefelung ausgestattet sind, fällt als zusätzlicher Abfall REA-Gips an. In Österreich verfügen die Sinteranlagen über keine Rauchgasreinigung. Schwefel wird hauptsächlich über den Koksgrus und schwefelreiche Eisenträger in die Sinteranlage eingebracht.

### 2.2.4 Einsatz von Reststoffen und Abfällen

In integrierten Hüttenwerken dient die Sinteranlage auch der Wiederverwendung von Hüttenwerkskreislaufstoffen. Die Reststoffe bzw. Abfälle stammen aus verschiedenen Hüttenwerksprozessen und sollen durch die Sinterung wieder nutzbar gemacht werden. Zu den wichtigsten Reststoffen und Abfällen eines Hüttenwerkes, die auf die Sinteranlage rückgeführt werden, zählen:

- LD-Schlamm
- feinkörniger Walzzunder
- öliger Walzzunder
- Walzschlämme
- Gichtstaub aus den Hochofenbetrieben
- Staub aus der Abgasreinigung
- eisenhaltige Stoffe aus der Reststoff- und Abfallbehandlung.

Gichtgasschlämme des Hochofens werden aufgrund hoher Zn-, Pb-, Alkaligehalten nicht mehr eingesetzt und müssen deponiert werden.

Der Wiedereinsatz von hüttenwerkseigenen Reststoffen und Abfällen gewinnt zunehmend an Bedeutung, da z. B. eisenhaltige Reststofffraktionen dem Prozeß wieder zugeführt werden können und nicht deponiert werden müssen. Voraussetzung für den Wiedereinsatz ist

die Nachschaltung von Rauchgasreinigungsanlagen nach dem Stand der Technik; der normale Produktionsablauf darf durch neue Maßnahmen nicht negativ beeinflusst werden (z. B. Sinterqualität).

Der Wiedereinsatz von groben Walzzunder mit Ölgehalten von 0,3-1 % scheint unproblematisch. Bei höheren Ölgehalten (> 2 %) kann ein direkter Wiedereinsatz ohne Vorbehandlung nicht erfolgen. Die Einsatzmöglichkeit und Verfahrensweisen von Sinteranlagen zur Behandlung von ölhaltigen Walzzundern wird an anderer Stelle (siehe Kapitel 2.2) ausführlicher behandelt.

### 2.3 Pelletieranlagen

Neben dem Sinterprozeß dienen Pelletieranlagen dem Stückigmachen von Feinerzen. Feinerze mit einer Korngröße von unter 0,1 mm (80 % sollten kleiner als 0,04 mm sein) werden entweder angefeuchtet und anschließend in rotierenden Trommeln gerollt, oder trocken in schrägstehende, rotierende Teller eingebracht und mit Wasser bedüst und gerollt. Die Erzteilchen werden durch diese Behandlung zu kompakten Kugeln geformt – den sogenannten Grünpellets. Ihre Größe ist abhängig von der Dauer des Rollvorgangs, der Art der Wasserbedüstung und den Eigenschaften des Erzes. Angestrebt werden Pelletdurchmesser von 8 bis 16 mm. Die Beigabe von Zuschlagstoffen wie Betonit, Kalkstein oder Dolomit verbessern die Pelleteigenschaften.

Die Grünpellets werden mit heißer Luft getrocknet und anschließend bei Temperaturen um 1100°C gebrannt. Dies geschieht heute vorwiegend im Wanderrostverfahren oder im Banddrehrohrverfahren. Durch die Wahl der Brenndauer und der Brenntemperatur erfolgt eine Anpassung der Pelleteigenschaften an die Anforderungen der nachfolgenden Reduktionsprozesse.

### 2.4 Roheisenerzeugung

Trotz zahlreicher Innovationen in der Roheisenerzeugung stellt der Hochofenprozeß zur Zeit das mit Abstand bedeutendste Verfahren zur Gewinnung von Roheisen (>90 % der Gesamtmenge an erzeugtem Roheisen) dar. Längerfristig ist allerdings zu erwarten, daß auch neue Verfahren vermehrt zum Einsatz kommen. Neue Verfahren lassen sich je nach der verwendeten Technik in drei Kategorien fassen:

- *Direktreduktion* auf Gasbasis zur Herstellung von Eisenschwamm,
- *Schmelzreduktion* mit direkter Herstellung von *flüssigem Roheisen* auf Kohlebasis,
- Herstellung von *Eisenkarbid* auf Gasbasis als Einsatzmaterial für den Elektrolichtbogenofen.

Es muß jedoch erwähnt werden, daß bisher nur wenige Alternativverfahren auch großtechnisch realisiert und eingesetzt werden konnten. Bei der Direktreduktion in der Gasphase stellt der MIDREX-Prozeß ein bereits bewährtes Verfahren dar. Die Schmelzreduktion hat vor allem durch den COREX<sup>®</sup>-Prozeß in den letzten Jahren stark an Bedeutung gewonnen und läßt in absehbarer Zukunft eine Konkurrenz zum Hochofenprozeß erwarten, insbesondere dann, wenn die Kapazitäten von Hochöfen erreicht werden.

Im folgenden beschränkt sich diese Studie auf Diskussion der beiden bedeutendsten Verfahren zur Roheisenerzeugung, den Hochofenprozeß und den COREX<sup>®</sup>-Prozeß.

## 2.5 Hochofenprozeß

Der Hochofen dient zum Erschmelzen von Roheisen aus Eisenerzen und stellt den zentralen Prozeß eines integrierten Hüttenwerkes dar.

### 2.5.1 Verfahrensbeschreibung Hochofen

Der Hochofen ist ein kontinuierlich arbeitender Gegenstromreaktor in Schachtofenbauweise, der bis zu seinem oberen Ende mit Möllerstoffen (Koks, Sinter, Pellets, Stückerz, Zuschläge) gefüllt ist (Abb. 2.5-1).

Der Koks dient als Brennstoff, Reduktions- und Aufkohlungsmittel und hat zusätzlich eine wesentliche Funktion als Stütz- und Durchgasungssystem. In den letzten Jahren wurde versucht, den Anteil von Koks beim Hochofenprozeß durch andere Stoffe zu substituieren. Während die Funktion des Brennstoffes durch andere Kohlenstoffträger wie Schweröl, Feinkohle oder auch werksinterne Reststoffe und Kunststoffabfälle teilweise ersetzt werden kann, ist ein vollständiger Ersatz von Koks aufgrund seiner Aufgabe als Stützsystem nicht möglich.

Die Beschickung des Hochofens erfolgt abwechselnd mit Schichten aus Koks und Erzmöllerstoffen von oben. Über Schrägaufzüge oder Bandtransport werden die Möllerstoffe zur Gicht befördert. Die Gicht ist ein Schleusensystem, das die Materialbeschickung ermöglicht, ohne daß Gase aus dem Hochofen entweichen.

Am unteren Ende des Schachtes wird der für den Prozeß notwendige Heißwind (Luft) mit einer Temperatur von 1.000 ° bis 1.300 °C durch Blasformen mit Überdruck eingeblasen. Gegebenenfalls wird dem Hochofenwind zur Leistungssteigerung Sauerstoff zugemischt.

Die unterste Koksschicht wird durch den sauerstoffreichen Wind entzündet und verbrennt unter Wärmeabgabe zu Kohlenmonoxid. Das heiße CO steigt in die darüberliegende Erzschiicht auf und reduziert Fe(III)Oxid, unter Bildung von Kohlendioxid, zum Metall. Die nächste Koksschicht setzt das CO<sub>2</sub> wieder zu Kohlenmonoxid um, das wiederum die nächste Eisenschicht reduziert. Das CO/CO<sub>2</sub> Gemisch steigt noch höher in den Schacht auf und wärmt die Beschickung vor. Für eine Reduktion ist das Gasgemisch in diesem Bereich bereits zu kalt.

Das in den höheren und kühleren Teil des Schachtes aufsteigende CO zerfällt teilweise in Kohlendioxid und Kohlenstoff. Dieser fein verteilte Kohlenstoff reduziert direkt das Eisenoxid, ein Teil löst sich im Eisen. Neben den Eisenträgern werden auch Gangartbestandteile wie Siliziumoxid, Manganoxid und Phosphoroxid reduziert. Die Zuschlagstoffe (insbes. Calciumoxid) haben die Aufgabe, die noch vorhandenen Gangarückstände und die Asche des Brennstoffes in eine niedrighschmelzende, leichtflüssige Schlacke überzuführen sowie unerwünschte Begleitelemente wie z. B. Schwefel (vornehmlich aus dem Brennstoff eingetragen) zu binden. Die Zusammensetzung der Hochofenschlacke muß einige Anforderungen erfüllen, die sich durch die beigefügten Zuschlagstoffe beeinflussen lassen. Die Zusammensetzung der Zuschlagstoffe richtet sich nach dem Charakter der Gangart. Saure Gangarten brauchen basische Zuschläge, basische Gangarten brauchen saure Zuschläge. Häufig werden die Zuschläge bereits mit den Feinerzen in der Sinteranlage beigefügt.

Das flüssige Eisen tropft durch die Koksschichten nach unten und sammelt sich im Gestell unter der leichteren Schlacke, die eine Schutzschicht für das gewonnenen Eisen gegen Oxidation darstellt.

Roheisen und Schlacke werden in regelmäßigen Intervallen (2-4 Stunden) durch ein Stichloch abgezogen („Abstich“). Durch eine Phasentrennung in der Gießrinne und durch einen Schlackenrückhaldedamm werden Roheisen und Schlacke getrennt. Das gesamte System der Gießrinnen ist in einer Gießhalle eingehaust. Das flüssige Roheisen wird über eine Roheisenrinne in Torpedopfannen gefüllt und über Schienenwege in das Stahlwerk befördert.

Durch die Reaktion des Roheisens mit dem Luftsauerstoff entsteht der „braune Rauch“, der bei modernen Hochöfenanlagen über die Gießhallenentstaubung abgesaugt wird (bis zu 1 Million  $\text{Nm}^3/\text{h}$ ). Die Gießhallenentstaubung umfaßt alle wesentlichen Staubanfallstellen wie Hauptgießrinne, Roheisen- und Schlackenrinne sowie Übergabestellen für Roheisen und Schlacke. Üblicherweise werden zur Gießhallenentstaubung Tuchfiltersysteme verwendet.

Es gibt auch Möglichkeiten zur Unterdrückung der Oxidation des Roheisens und der dadurch bedingten Staubbildung, z. B. durch Einblasen von Stickstoff in Hauben über den Gießrinnen.

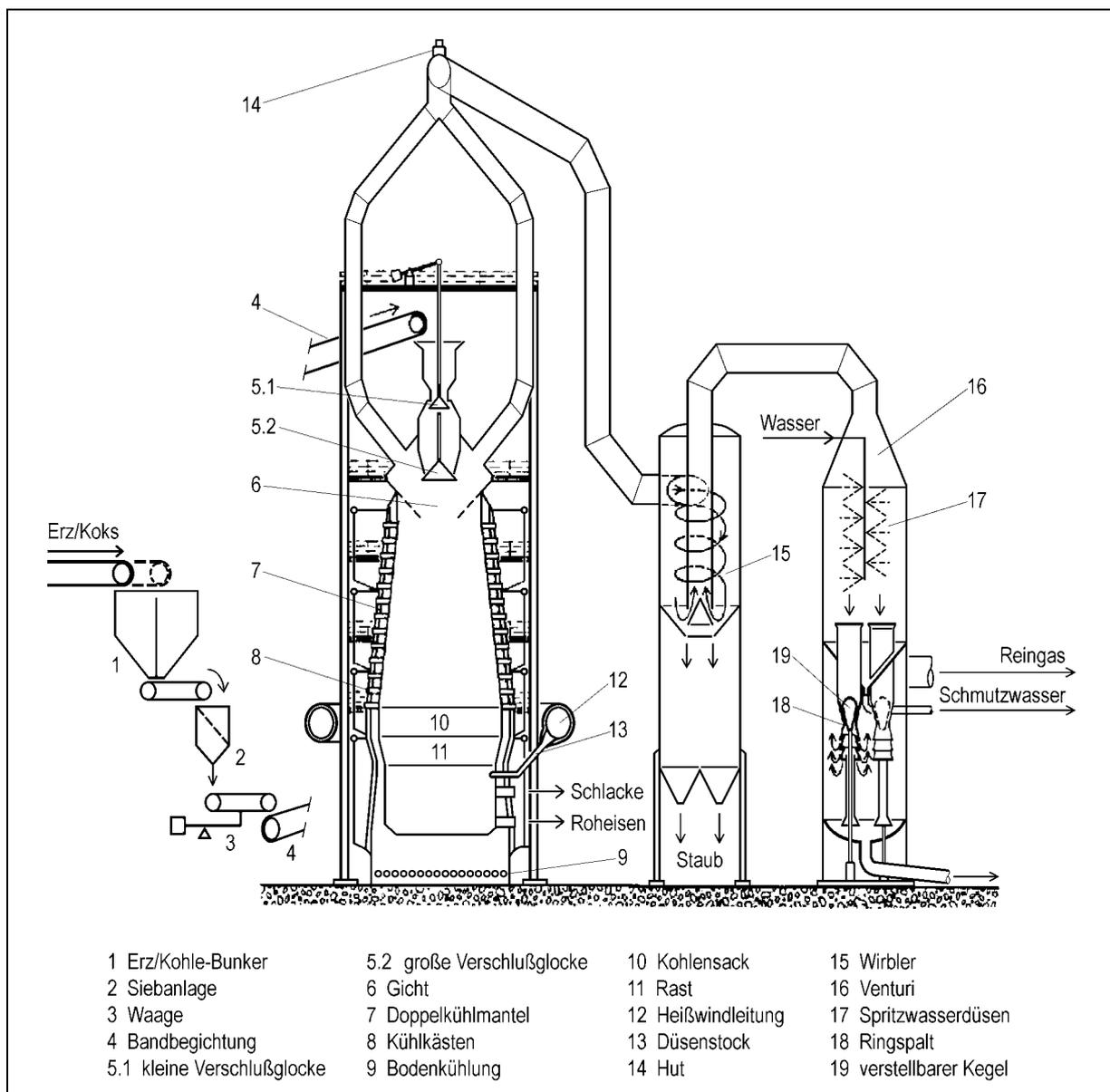


Abb. 2.5-1: Schema eines Hochofens [WINNACKER-KÜCHLER, 1986].

## 2.5.2 Anfallende Reststoffe und Abfälle

Zu den wesentlichen Reststoffen und Abfällen eines Hochofens zählen

- Schlacken, die zum Großteil als Nebenprodukte Verwendung finden,
- Gichtgas, das energetisch genutzt wird,

- *Stäube* aus der Gießhallenentstaubung und Gichtgasentstaubung, die in der Sinteranlage innerbetrieblich behandelt werden,
- *Gichtschlämme*, die deponiert werden müssen
- *Hüttenschutt* (Rinnenschutt, Feuerfestausbruch).

In Tab. 2.5-1 sind die spezifischen Reststoff- und Abfallanfallmengen in kg/t Roheisen (RE) sowie die Behandlungsmöglichkeiten angegeben.

Tab. 2.5-1: Spezifischer Reststoff- und Abfallanfall eines Hochofens kg/t Rohstahl (RSt) <sup>1)</sup>.

Bezeichnung	Menge/t RSt	Anfallort	Behandlung (Stand d. Technik)
Gichtgas	1.400-1.700 m <sup>3</sup>	HO	energetische Nutzung
Hochofenschlacke	220-300 kg	HO	Straßenbau, Zementherstellung, Düngemittel
Gichtgasstaub	10-30 kg	Zyklonabscheider	Sinteranlage
Gichtgasschlamm	3-10 kg	Venturi-Wäscher	Deponie
Filterstaub, Gießhallenstaub	0,5-1,5 kg	Gewebefilter, Sekundärentstaubung	Sinteranlage
Gießrinnenausbruch (-schutt)	5 kg	Gießrinne (gem. Sammlung mit Hüttenschutt)	Aufbereitung (Feuerfest-industrie) bzw. Deponie
Entschwefelungsschlacke	5-18 kg	Torpedopfanne	tlw. Sinteranlage

Quellen: Firmenangaben 1995, AUMONIER et al., 1996; RENTZ et al., 1995; PHILIPP et al., 1992

Anmerkung:

<sup>1)</sup> Die angegebenen Anfallmengen sind Durchschnittswerte und hängen stark von der spez. Prozeßfahrweise, den Einsatzstoffen etc. ab.

### 2.5.2.1 Hochofenschlacke

Das mengenmäßig bedeutsamste Nebenprodukt, das beim Hochofenprozeß anfällt, ist die Hochofenschlacke. Pro Tonne Roheisen fallen heute etwa 220 bis 300 kg Hochofenschlacke an. In den 50er Jahren betrug der Schlackenfall pro Tonne Roheisen noch 700 kg [PHILIPP et al., 1993]. Eine weitere Reduktion des Schlackenfalls ist aus verfahrens- und produktionstechnischen Gründen praktisch kaum mehr möglich.

Je nach Abkühlbedingungen erstarrt die Hochofenschlacke zu kristalliner *Hochofenstückschlacke*, zu poriger *Hochofenschlamm* (Hüttenbims) oder zu feinkörnigem *Hütten-sand*. Die verschiedenen Verarbeitungsprozesse von Hochofenschlacke werden in einem späteren Kapitel (siehe Kapitel 4.4) diskutiert.

Die chemische Zusammensetzung (Tab. 2.5-1) ist abhängig von der Gangart und dem hergestellten Roheisen. Neben der chemischen Zusammensetzung ist auch die Auslaugbarkeit (Eluation) von umweltgefährdenden Inhaltsstoffen (insbesondere Schwermetalle) von Bedeutung. Hochofenschlacke in Form von Stückschlacke und Hütten-sand ist bezüglich ihrer Eluatwerte als unbedenklich zu bezeichnen.

Hochofenschlacke gilt heute als Nebenprodukt (neben dem primären Produkt Roheisen), das für die Weiterverarbeitung auch bestimmten Qualitätsanforderungen genügen muß (siehe auch Kapitel 4). Entsprechend wird bei modernen Hochöfen die Fahrweise so eingestellt, daß sowohl die Qualität des Roheisens als auch der Schlacke optimiert wird [THYSSEN, 1995].

Zur Rückgewinnung von Eisenanteilen wird die Hochofenschlacke einem Aufbereitungsschritt zugeführt. Dabei wird der Eisenanteil als Bröckeleisen abgetrennt und kann wieder im Hochofen eingesetzt werden.

Die Restschlacke wird in Beete gegossen, wo sie zu kristalliner HO-Stückschlacke erstarrt. Dieses Produkt kann im Straßenbau als Trag- oder Frostschutzschicht eingesetzt werden [THYSSEN, 1995]. Aus HO-Stückschlacke können auch andere Produkte wie z. B. Düngemittel für die Land- und Forstwirtschaft hergestellt werden.

Wird HO-Schlacke mit Wasser abgeschreckt, entsteht ein feinkörniges, glasartiges Produkt, der sogenannte Hüttensand. Hüttensand wird aufgrund seiner guten hydraulischen Eigenschaften vor allem bei der Zementherstellung eingesetzt. Der Einsatz von Hüttensand bei der Zementherstellung führt zu Energieeinsparungen, da Hüttensand nur gemahlen und nicht gebrannt werden muß [LÜNGEN et al., 1991].

Tab. 2.5-2: Chemische Zusammensetzung von Hochofenschlacke (HO-Schl.) in M % [JUCKES, 1995].

Inhaltsstoffe	HO-Schl. in M %
SiO <sub>2</sub>	33-40
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	8-14
CaO	31-42
MgO	7-15
Fe <sub>gesamt</sub>	0,2-0,7
Mn <sub>gesamt</sub>	0,2-0,8
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	<0,05
Na <sub>2</sub> O	0,3-1,2
K <sub>2</sub> O	0,6-1,2
S <sub>gesamt</sub>	0,7-1,6
TiO <sub>2</sub>	0,1-2,7
CaO/SiO <sub>2</sub>	0,8-1,2
(CaO+MgO)/SiO <sub>2</sub>	1,0-1,3

### 2.5.2.2 Gichtgas, Gichtstaub, Gichtschlamm

Das beim Hochofenprozeß entstehende Prozeßgas (*Gichtgas*), verläßt den Hochofen am oberen Ende durch zwei Abzugsrohre. Pro Tonne Roheisen entstehen ca. 2.000 Nm<sup>3</sup> Gichtgas. Gichtgas besteht neben seinen Hauptkomponenten CO und CO<sub>2</sub> vor allem aus H<sub>2</sub> und ist mit Staubpartikel beladen. Gichtgas ist einer der Hauptenergielieferanten eines Hüttenwerkes. Das gereinigte Gichtgas wird zur Erwärmung des Windes in den Winderhitzern (cowper), für den Zündofen der Sinteranlage, für Heizzwecke in der Stahlwerksanlage oder zur Stromerzeugung wiederverwendet. Vor der energetischen Verwertung muß das Gichtgas allerdings gereinigt werden.

Die Gichtgasreinigung erfolgt in zwei Schritten, einer trockenen Grobstaubabscheidung (üblicherweise Zyklonabscheider) für die grobe Staubfraktion (>0,1 mm) und einer anschließenden nassen Feinstaubabscheidung (üblicherweise Venturi-Ringspalt-Wäscher).

Der *Gichtgasstaub* enthält vor allem hohe Konzentrationen an C (30-40 %) und Fe ( 25-40 %) (vgl. Zusammensetzung in Tab. 2.5-3) und kann damit auf das Sinterband zurückgeführt werden.

Der bei der nassen Feinstaubabscheidung entstehende *Gichtgasschlamm* enthält vor allem den feinkörnigen Anteil des Staubes (<0,2 µm) und ist dadurch mit Schwermetallen (Zn, Pb, Cd) angereichert. Im Gegensatz zum Gichtstaub ist dieser Schlamm aufgrund der hohen Zn/Pb-Fraktion nicht zu einer Wiederverwendung am Sinterband geeignet, sondern muß deponiert werden.

Tab. 2.5-3: Chemische Zusammensetzung von HO-Gichtgasstaub und -schlamm [IISI, 1987; MERTINS et al., 1986].

Inhaltsstoffe	Gichtstaub [m %]	Gichtschlamm [M %]
Fe <sub>gesamt</sub>	20-30	25-35
C	30-50	25-40
SiO <sub>2</sub>	4-12	5-8
CaO	4-8	4-6
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1-3	2-4
Zn	0,1-0,5	1-8
Pb	0,05-0,2	0,5-3

Die Kreislaufführung von Reststoffen und Abfällen (Stäube, Schlämme) mit hohen Zn/Pb-Gehalten führt bei den meisten Produktionsprozessen (insbesondere beim Hochofen) zu verfahrenstechnischen Schwierigkeiten. Die Problematik des Eintrages von Zink und Blei in den Hochofenprozeß wird im folgenden kurz diskutiert.

**Der Zink/Blei Kreislauf im Hochofen und dessen Reaktionsverhalten:**

Zink wird wie Natrium und Kalium vor allem als Oxid oder Silikat in den Hochofen eingebracht und bei den dort herrschenden Bedingungen im Temperaturbereich zwischen 900-1.100 °C reduziert. Bei diesen drei Elementen liegt jeweils die Reduktionstemperatur über der Verdampfungstemperatur, daher ist die Reduktionsreaktion mit dem Verdampfen der Elemente gekoppelt. Die gebildeten Metaldämpfe steigen mit dem Gasstrom des Hochofens auf und kondensieren in kälteren Bereichen (vor allem an der Ofenwand und in den oberen Zonen der Möllersäule). Aufgrund der dort herrschenden geringeren Temperaturen liegt in diesen Bereichen ein geringeres CO/CO<sub>2</sub> Verhältnis vor. Dies führt zur Reoxidation der kondensierten Metalltröpfchen zu den Metalloxiden, die mit der Abwärtsbewegung des Möllers wieder in heiße Temperaturbereiche gelangen, wo sie wieder reduziert und damit verdampft werden und der Kreislauf von neuem beginnt. (*Innerer Zink- oder Alkalikreislauf*)

Das ebenfalls oxidisch eingebrachte Blei wird bei Temperaturen zwischen 300-1500°C reduziert und geschmolzen (Schmelzpunkt 327 °C), wegen seiner hohen Verdampfungstemperatur (1.740 °C, Partialdruck = 1 bar) aber nicht sofort verdampft.

Prozeßtechnische Schwierigkeiten ergeben sich, da die kondensierten Elemente (Zink, Kalium, Natrium) dazu neigen, an der Hochofenausmauerung eine hochviskose Schlackenschicht zu bilden. Diese Schicht fängt die Feinanteile der Gasphase auf und beginnt anzuwachsen, wodurch einerseits das Nachrutschen der Möllersäule erschwert wird und andererseits eine Erhöhung der Gasgeschwindigkeit verursacht wird (*Ansatzbildung*).

Daraus resultieren verfahrenstechnische Nachteile, z. B. unetiger Ofengang, schlechte Ausnutzung des Reduktionsgases, ständige Zunahme des Winddrucks, Erhöhung der Gichttemperatur und Erhöhung des Gichtstaubanfalles.

Weiters führt ein erhöhter Zink- und Bleieintrag auch zu einem verstärkten Angriff – und damit rascheren Verschleiß – der feuerfesten Ofenausmauerung, wobei das Mauerwerk des Ofens durch das (bei den herrschenden Bedingungen) sehr dünnflüssige Blei infiltriert wird.

Ökonomisch betrachtet macht sich ein höherer Zink- und Bleieintrag in den Hochofen durch eine Steigerung des Koksverbrauches, der vor allem durch die Ausbildung und Aufrechterhaltung der inneren Stoffkreisläufe verursacht wird, bemerkbar. Größenordnungsmäßig liegt der Koksverbrauch (für 100 g Zink und Blei, das über dem Möller eingebracht wird) bei 1 kg/t Rohstahl.

### 2.5.2.3 Hüttenschutt

Unter dem Hüttenschutt werden in einem integrierten Hüttenwerk der *Rinnenschutt* (von den Gießhallen), *Feuerfestausbruch* und der *Stahlwerkschutt* zusammengefaßt. Der Hüttenschutt kann bis zu 6 % Anteil an der Gesamtmenge der Hüttenwerksreststoffe ausmachen. Aufgrund der ähnlichen Zusammensetzung (hauptsächlich  $\text{SiO}_2$  und  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) wird Hüttenschutt zentral gesammelt und einer gemeinsamen Behandlung zugeführt. Magnetische Bestandteile werden abgetrennt und dem Stoffkreislauf zugeführt. Die nicht magnetischen Bestandteile werden teilweise von der Feuerfestindustrie abgenommen und zu Recyclingsteinen verarbeitet bzw. deponiert. Recyclingsteine können vor allem in Zustellgefäßen für Roheisen- und Stahltransporte und in wenig beanspruchten Zonen von Konvertern bzw. Elektrolichtbogenöfen verwendet werden.

### 2.5.3 Roheisenvorbehandlung

Vor dem Frischevorgang im Sauerstoffkonverter wird das Roheisen (RE) von unerwünschten Begleitelementen wie Schwefel, Silizium und Phosphor befreit. Häufigstes Verfahren ist die Roheisenentschwefelung mit Calciumcarbid als Entschwefelungsmittel. Durch geeignete Schlackenbildner werden die Begleitelemente in der Entschwefelungsschlacke gebunden. Dieser Vorbehandlungsschritt erfolgt direkt im Transportbehälter oder in der Chargierpfanne des Stahlwerkes. Im allgemeinen fallen ca. 5-18 kg/t RE an Entschwefelungsschlacke an, die tlw. über die Sinteranlage rückgeführt werden kann.

## 2.6 Der COREX®-Prozeß

Der COREX®-Prozeß wurde von der VOEST-Alpine Industrieanlagenbau (VAI) entwickelt. Die erste COREX®-Anlage ist Ende 1989 bei ISCOR in Südafrika großtechnisch realisiert worden (Kapazität ca. 300.000 t/a). Mittlerweile wurde eine zweite COREX®-Anlage bei POSCO in Korea mit 600.000 t/a erfolgreich in Betrieb genommen. Weitere Anlagen sind in Planung bzw. in Bau.

### 2.6.1 Verfahrensbeschreibung COREX®

Der COREX®-Prozeß ist ein zweistufiges Schmelzreduktionsverfahren („smelting-reduction“), in dem Roheisen auf Basis nicht verkokter Kohle und Eisenerzen hergestellt werden kann. Ziel des Schmelzreduktionsverfahren ist es, durch die Kombination von Schmelzprozeß, Kohlevergasung und Direktreduktion flüssiges Eisen zu erzeugen, dessen Qualität dem Hochofenroheisen entspricht. Die Schmelzreduktion kombiniert den Prozeß der Direktreduktion (Vorreduktion von Eisen zu Eisenschwamm) mit einem Schmelzprozeß (Hauptreduktion). Der Prozeß läuft also zweistufig in getrennten Aggregaten ab. Zuerst werden die Erze zu Eisenschwamm reduziert, im zweiten Schritt erfolgt die Endreduktion und das Aufschmelzen zu Roheisen. Die für den Schmelzvorgang nötige Energie liefert die Verbrennung von Kohle (nicht verkockt). Dabei entstehen große Mengen Kohlenmonoxid als Abgas, das als Reduktionsgas genutzt wird.

In Abb. 2.6-1 ist das Grundprinzip des COREX®-Verfahrens dargestellt. Stückerze, Sinter, Pellets oder deren Mischungen werden in einem Reduktionsschacht im Gegenstrom mit dem prozeßeigenen Reduktionsgas auf ca. 90 % metallisiert und über Austragsschnecken in den darunter angeordneten Einschmelzvergaser gefördert. In diesem laufen neben der Restreduktion und dem Einschmelzen des Eisenschwammes die notwendigen metallurgischen Metall- und Schlackenreaktionen ab.



Zu den wesentlichen Vorteilen des COREX-Prozesses zählen:

- Einsatz von **nicht** verkokter Kohle und damit Substitution der Kokerei als einer der wesentlichen Emissionsquellen eines Hüttenwerkes
- bei den hohen Entgasungstemperaturen ( $>1.000\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) von Kohle im Einschmelzreaktor werden organische Verbindungen vollständig in ihre Grundkomponenten ( $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2$ ) zerlegt, sowie organische Schwefelverbindungen in anorganische umgewandelt ( $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{COS}$ ). Diese gasförmigen Schwefelverbindungen werden nahezu quantitativ im Eisenschwamm und den Zuschlagstoffen gebunden und im folgenden Einschmelzvergaser in die Schlacke eingebunden und somit inertisiert.
- energetische Verwertung des Exportgases und höhere Gutschrift im Vergleich zum Gichtgas des Hochofens
- höhere Flexibilität hinsichtlich des Einsatzes von Eisenträgern
- Anlagenflexibilität hinsichtlich der Fahrweise (problemloses Absenken der Kapazität, Ab- und Anfahren der Anlage).

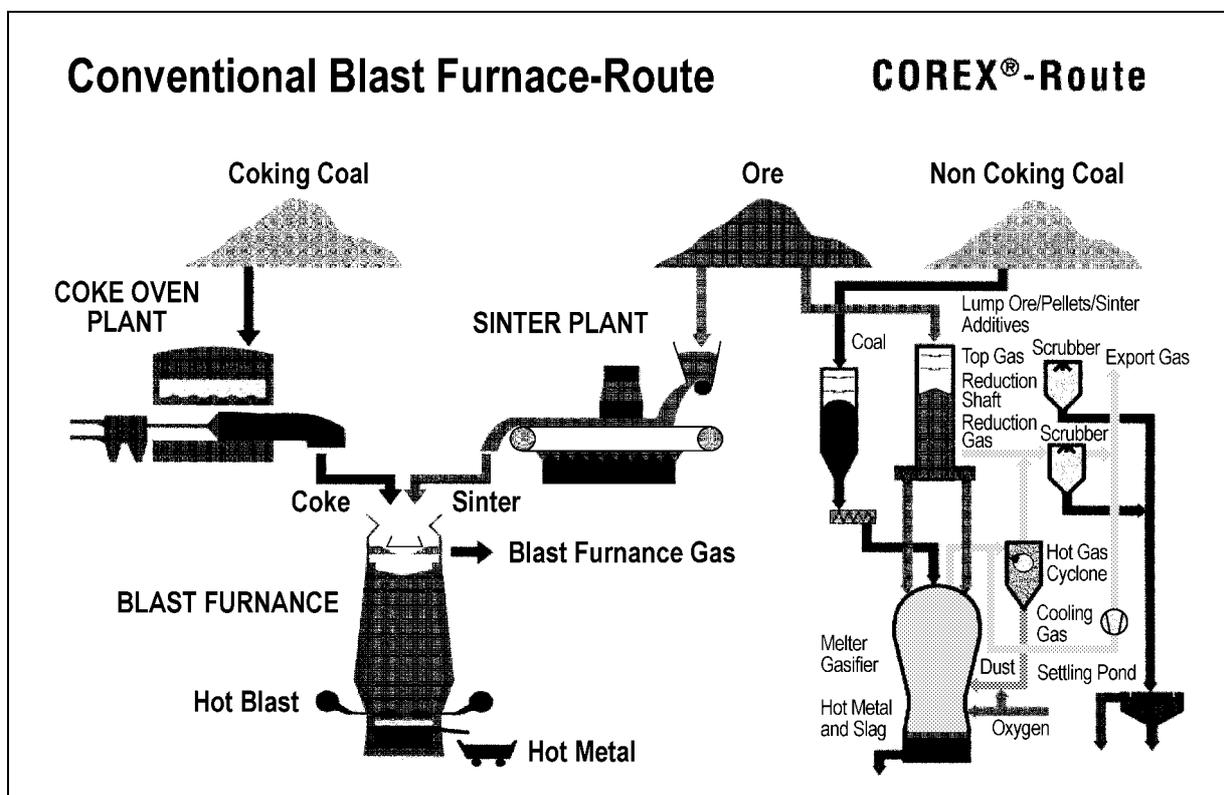


Abb. 2.6-2: Vergleich konventionelle Hochofenroute (Kokerei-Sinteranlage-Hochofen) mit der COREX®-Route [VAI, 1994].

## 2.6.2 Einsatz von Reststoffen und Abfällen

Untersuchungen zeigen, daß auch metallurgische Reststoffe und Abfälle aus Hüttenwerken im COREX®-Prozeß eingesetzt werden können. Dazu zählen oxidische, metallische und auch kohlenstoffhaltige Materialien. Beispielsweise werden Feinstäube und Walzzunder mit Bindematerialien kaltbrikkettiert und anschließend dem Reduktionsschacht zugeführt. Schlämme aus der Abgasreinigung (z. B. Gichtgasschlämme) werden pelletiert und zusammen mit Koh-



### 2.7.1 Verfahrensbeschreibung Sauerstoffkonverter (BOF)

Kernstück des Stahlwerkes ist als eigentliches Reaktionsgefäß der Konverter (Fassungsvermögen 100 bis zu 400 t), welcher mit Roheisen, Schrott und Stückkalk chargiert und anschließend mit Sauerstoff gefrischt wird. Die Verfahren der sogenannten Sauerstoffblasmetallurgie werden nach der Art der Sauerstoffeinbringung unterschieden in Sauerstoffaufblasverfahren (LD-Verfahren, LD/AC-Verfahren), Sauerstoffbodenblasverfahren (OBM-Verfahren) und kombinierte Blasverfahren (TBM-Verfahren).

Die meisten Stahlwerke verwenden zur Stahlerzeugung das LD-Verfahren (Linz-Donawitz-Verfahren), das in den 50er Jahren in Österreich entwickelt wurde, oder einen diesem Verfahren verwandten Prozeß, wie beispielsweise das LD/AC-Verfahren (Linz-Donawitz/Arbed-CRM). Während mit dem LD-Verfahren phosphorarmes Roheisen gefrischt wird, dient das LD/AC-Verfahren zum Frischen von phosphorreicherem Roheisen. Für die spezifischen Verfahrensunterschiede der einzelnen Sauerstoffblasverfahren wird auf weiterführende Literatur verwiesen [WINNACKER-KÜCHLER].

Beim LD-Verfahren wird während der Blasphase reiner Sauerstoff durch eine wassergekühlte Lanze auf die Schmelze geblasen. Dabei werde der im Roheisen gelöste Kohlenstoff und die Begleitstoffe (S, P, N, Zn, Pb) aus der Schmelze „gefrischt“. Zusatzstoffe, wie z. B. Kalk können ebenfalls über die Sauerstofflanze in den Konverter eingebracht werden. Wesentlich für die Prozeßeffizienz und eine gute Reaktionskinetik ist die Baddurchmischung, die durch zusätzliches Einblasen inerter Gase erzielt werden kann.

Während der Blasphase wird der Kohlenstoffgehalt von ca. 4 % auf Werte  $< 0,5$  % reduziert. Dabei reagiert der gelöste Kohlenstoff mit Sauerstoff und entweicht als CO-hältiges Prozeßabgas (Konvertergas), das bis zu 90 % CO/10 % CO<sub>2</sub> enthält. Die mit dem Kalk reagierenden Eisenbegleiter bilden eine Schlackenphase. Die Begleitelemente werden zum einen Teil in der Schlacke gebunden (Mn, S, Si, P) bzw. oxidiert und verlassen als Staubpartikel (Zn, Pb, Cd, Fe-Oxid) den Konverter mit dem Abgas.

Die Temperatur des Bades steigt während des Frischens von 1.350 °C auf ca. 1.650 °C. Zur Temperaturkontrolle wird dem Konverter Schrott zugeführt (bis zu 30 % des Gesamteinsatzgewichtes). Zum Abstich des Rohstahls wird der Konvertertiegel geneigt und der flüssige Rohstahl abgegossen. Die Schlacke wird durch Kippen des Converters auf die gegenüberliegende Seite abgegossen.

#### 2.7.1.1 Abgasreinigung und Konvertergasgewinnung

In früheren Zeiten blieb das CO-reiche Konvertergas energetisch ungenutzt und wurde verbrannt. Bei modernen Blasstahlwerken wird durch eine veränderte Prozeßführung versucht, die CO-Nachverbrennung durch „Falschlufztutritt“ fast vollständig zu unterdrücken (unterdrückte Verbrennung). Dabei wird zur Ableitung des Konvertergases in den nachfolgenden Kühlkamin über dem Konverter eine Abzugshaube mit Stellring installiert. Durch exakte Druckkontrollen in der Abzugshaube kann der Verbrennungsgrad während des Frischevorganges so optimiert werden, daß das Konvertergas mit möglichst hohem CO Anteil gewonnen werden kann. Pro Tonne Rohstahl können ca. 80-100 Nm<sup>3</sup> mit einem Energieinhalt von ca. 9.000 kJ/Nm<sup>3</sup> gewonnen werden (900 MJ/t Rohstahl). Bei einem 250 Tonnen Konverter entspricht das über einen Zeitraum von 24 Stunden einer rückgewonnenen Wärmemenge von ca. 170.000 Litern Heizöl.

Das Konvertergas kann nach einer Entstaubung als hochwertiges Prozeßgas im Hüttenwerk genutzt werden (Dampf- und Stromerzeugung). Die Abgasentstaubung und -reinigung erfolgt in einem zweistufigen Prozeß mit Grob- und Feinentstaubung. Die Grobentstaubung wird üblicherweise als Verdampfungskühler ausgelegt. Für die Feinentstaubung werden sowohl Naßentstaubungssysteme (Venturi-Wäscher) als auch Trockenentstaubungssysteme auf Basis von Elektrofiltern eingesetzt.

Weltweit sind ca. 90 % aller Konverter mit Naßentstaubungssystemen ausgerüstet. Venturi-Wäschersysteme zeichnen sich im Vergleich zu Trockenverfahren vor allem durch niedrigere Investitionskosten aus. Als Nachteil sind der hohe Druckverlust, der Anfall von Konverterschlamm, sowie die Limitierung der Staubkonzentration im Reingas auf maximal ca. 50 mg/Nm<sup>3</sup> anzuführen. Bis heute gibt es noch keine zufriedenstellende Lösung zur Wiederverwertung des anfallenden Schlammes.

Die weltweit fortschrittlichste integrierte Lösung zur Konvertergasreinigung ist das sogenannte LT-Verfahren (Lurgi/Thyssen Verfahren zur Konvertergasgewinnung) auf Basis von Trockenelektrofiltern. Das LT-Verfahren kommt auch bei der VA Stahl in Linz zur Abgasreinigung der drei Konverter zum Einsatz. Das LT-Verfahren wird in einem späteren Kapitel detaillierter beschrieben.

## 2.7.2 Anfallende Reststoffe und Abfälle

Zu den wesentlichen Reststoffen und Abfällen eines Sauerstoffstahlwerkes zählen

- Stahlwerksschlacke
- Konverterstäube und -schlämme; Sekundärstäube
- Feuerfestausbruch
- Konvertergas und Dampf aus der Abgaskühlung.

In Tab. 2.7-1 sind die spezifischen Reststoff- und Abfallanfallmengen in kg/t Rohstahl (RSt), sowie die Behandlungsmöglichkeiten angegeben.

Tab. 2.7-1: Spezifischer Reststoff- und Abfallanfall eines Sauerstoffstahlwerkes kg/t Rohstahl (RSt) <sup>1)</sup>.

Bezeichnung	Menge/t RSt	Anfallort	Behandlung (Stand d. Technik)
Konvertergas	70-90 Nm <sup>3</sup>	Konverter	energetische Nutzung
Dampf	70-80 kg	Verdampfungskühler	energetische Nutzung
Stahlwerksschlacke	120-150 kg		Baustoff (Straßen-, Gleisbau); Dünger
Konverterstaub grob <sup>2)</sup>	5-8 kg	Verdampfungskühler/ Quench	Heißbrikettierung (Drehrohr-ofen) und Rückführung in den Konverter (Staubbriketts ca. 15-20 kg/t)
Konverterstaub fein <sup>2)</sup>	9-12 kg	Elektrofilter	
Sekundärstaub <sup>2)</sup>	0,5-1 kg	Gewebefilter	
Konverterschlamm <sup>3)</sup> (Grob- und Feinschlamm)	20-35 kg (feucht) 15-20 kg (trocken)	Naßreinigung	Deponie; alternativ in Erprobung Trocknung und Rückführung in den Konverter
Konverterausbruch, Stahlwerkschutt	10-22 kg	Konverter (gem. Sammlung mit Hüttenschutt)	Aufbereitung (Feuerfestindustrie) bzw. Deponie

Quellen: Firmenangaben, AUMONIER et al., 1996; RENTZ et al., 1995; PHILIPP et al., 1992

Anmerkungen:

<sup>1)</sup> Die angegebenen Anfallmengen sind Durchschnittswerte und hängen stark von der spez. Prozeßfahrweise, den Einsatzstoffen, etc. ab.

<sup>2)</sup> Bei der Heißbrikettierung werden alle Stäube zu Briketts

<sup>3)</sup> alternativ zur Trockenentstaubung mit Elektrofilter

### 2.7.2.1 Stahlwerksschlacke

Pro Tonne Rohstahl fallen etwa 120-150 kg an Stahlwerksschlacke an. Die chemische Zusammensetzung der Schlacke (Tabelle 2.7-2) ist stark vom jeweiligen Stahlerzeugungsverfahren, den Zuschlagstoffen, etc. abhängig. Im wesentlichen unterscheidet sie sich im Kalk-, Phosphat-, Silikat- und Eisenanteil.

Für die Verwertbarkeit der Schlacken ist die Auslaugbarkeit von umweltgefährdenden Inhaltsstoffen das Einteilungskriterium für die Behandlung (Zuordnung von Abfällen zu Deponietypen). Bei Stahlwerksschlacken gilt ebenso wie für Hochofen- und Elektroofenschlacken, daß die Eluatwerte deutlich unter den vorgeschriebenen Grenzwerten für die Deponierung liegen.

Tab. 2.7-2: Chemische Zusammensetzung von BOF-Schlacken in M % für LD- und LD/AC-Verfahren [JUCKES, 1995; KÜHN, 1992 und GEISELER, 1991].

Inhaltstoffe	Ld [M %]	LD/AC [M %]
CaO	36-50	50
SiO <sub>2</sub>	10-15	9
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,0-3,5	< 2
MgO	4-8	< 3
Fe <sub>gesamt</sub>	18-24	12
Fe <sub>metallisch</sub>	< 1	< 1
MnO	5	< 4
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,7-2,0	15
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	< 1	< 1
CaO <sub>frei</sub>	< 10	< 7
S <sub>gesamt</sub>	0,1-0,2	k. A.
CaO/SiO <sub>2</sub>	2,9-4,3	4

LD-Schlacken erstarren zu einem harten, grauen, steinähnlichen Material, das von der Struktur weniger porös ist als HO-Schlacke. Durch Brechen, Mahlen und magnetische Abtrennung werden Eisenanteile zurückgewonnen. Die Eisenfraktion (Feineisen) wird wieder im Stahlwerk eingesetzt, der Nichteisenanteil einer Aufarbeitung zu Baumaterial (z. B. Additiv für Beton) oder Dünger zugeführt. Auch Schlacken aus dem LD-AC und OBM-Prozeß sind für die Düngemittelerzeugung geeignet.

Der Großteil der kristallin erstarrten LD-Schlacken werden im Bauwesen eingesetzt. Vor allem im Straßenbau zeichnet sich LD-Schlacke wegen der hohen Abriebfestigkeit als Baumaterial für den Fahrbahndeckenbau aus. Die direkte Verwendung von Stahlwerksschlacken als Baumaterial ist allerdings nur eingeschränkt möglich, da sie wegen des vorhandenen freien CaO- und MgO-Anteils nicht volumenstabil sind (Hydratation zu Ca(OH)<sub>2</sub>). Deshalb müssen LD-Schlacken in der Regel einem künstlichen Alterungsprozeß ausgesetzt werden. Vor dem Einsatz als Baustoffe müssen LD-Schlacken genau klassifiziert werden. Falls der Gehalt an freiem Kalk größer als 7 % ist, scheiden LD-Schlacken als Baumaterial aus.

Auf die verschiedenen Aufbereitungsverfahren von Stahlwerksschlacke wird in einem späteren Abschnitt (siehe Kapitel 4.4) detaillierter eingegangen.

### 2.7.2.2 Konverterstäube und -schlämme

Je nach Abgasreinigungsverfahren (trocken oder naß) fällt grober und feiner Konverterstaub (Konverterschlamm) als Reststoff bzw. Abfall an. Die Reststoffe bzw. Abfälle weisen einen hohen Eisengehalt (50-70 % Fe-Komponenten) auf und sind mit Zink und Blei angereichert (Tab. 2.7-3). Zink- und Bleikomponenten sind Begleitelemente des im BOF eingesetzten Fremdschrottes (im Gegensatz zum hütteninternen Eigenschrott, ausgen. Galvanikschrott). Das Zink stammt vorwiegend aus dem Automobilschrott, wo verzinktes Material zur Verlängerung der Lebensdauer der Karosserien eingesetzt wird. Verfahrensbedingt findet sich das mit dem Schrott eingebrachte Zink und Blei im LD-Staub wieder (dampft als ZnO aus der Schmelze ab). Ein direkter Wiedereinsatz etwa in der Sinteranlage ist nicht möglich, da es in Konsequenz zu Zn/Pb-Anreicherungen im Hochofen führen würde (vgl. Zink/Blei Kreislauf im Hochofen).

Während Konverterschlämme in den meisten Fällen deponiert werden müssen, eignen sich die in fester und trockener Form anfallenden Konverterstäube nach entsprechender Vorbehandlung zum Wiedereinsatz im Konverter (tlw. als Ersatz für Schrott und Kühlerz). Für die Staubrückführung gibt es mehrere Möglichkeiten. Großtechnisch erprobt und Stand der Technik ist die Staubbrikettierung und Rückführung der Staubbriketts in den Konverter. Darüber hinaus gibt es auch Verfahrensvarianten zur direkten Einblasung von Staub in den Konverter.

Bei der Staubbrikettierung wird der Staub in einem Drehrohrofen unter inerter Atmosphäre (bei 800 °C), einer sogenannten Heißbrikettierungsanlage, zu Staubbriketts verarbeitet. Durch eine wiederholte Rückführung der Briketts in den Konverter steigt der Zink- und auch der Bleigehalt im Staub kontinuierlich an. Es findet eine Aufkonzentration von Zn im Staub bis zu 17-35 % statt (Tab. 2.7-3). Um den Zn-Gehalt konstant zu halten (ca. 18-20 %), muß eine kleine Menge (ca. 6 % der Gesamtmenge) der Zn-reichen Staubfrachten regelmäßig ausgeschleust werden. Dieser mit Zn angereicherte Staub (>20 %) kann als Wertstoff außerhalb der Hütte für die Zinkgewinnung weiterverarbeitet werden. Durch diese Verfahrensvariante kann es gelingen, den Staubkreislauf zu schließen und eine Deponierung zu vermeiden.

Der Zn-Gehalt im Abgas und somit im abgeschiedenen Staub ist während des Konverterbetriebes starken Schwankungen unterworfen (abhängig von der Sauerstoffblasephase, Zusatz von verzinktem/unverzinktem Schrott, Staubbriketts mit hohem/niedrigem Zn-Gehalt). Diesen Umstand versucht man gegenwärtig zu nutzen, um selektiv jene Staubfrachten mit hohen bzw. niedrigen Zn-Gehalten (<0,5 %) auszuschleusen und einer weiteren Behandlung zuzuführen.

Falls der Konverterstaub nur geringfügig mit Zink, Blei oder Alkalien belastet ist, kann auch eine Rückführung über die Sinteranlage erfolgen.

Tab. 2.7-3: Chemische Zusammensetzung von Konverterstäuben und Staubbriketts nach der Heißbrikettierung [FIRMENANGABEN; IISI, 1987; MERTINS et al., 1986].

Inhaltsstoffe	Grobstaub [M %]	Feinstaub [M %]	Staubbriketts [M %]
Fe <sub>gesamt</sub>	50-70	50-65	30-50
Fe <sub>metallisch</sub>	50-70	15-20	5-15
FeO	k. A.	k. A.	20-30
CaO	8-20	8-10	12-17
SiO <sub>2</sub>	k. A.	k. A.	1-2
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	k. A.	k. A.	0,1-0,3
MgO	k. A.	k. A.	0,5-1,5
Zn	0,1-0,9	1,5-3,0	17-35
Pb	0,05-0,2	0,2-1,0	2-5
Na <sub>2</sub> O	k. A.	k. A.	0,5-0,7
K <sub>2</sub> O	k. A.	k. A.	0,8-2,5
Cl	k. A.	k. A.	0,5-2,0

### 2.7.2.3 Feuerfestausbruch

Die Konverterwand ist mit Feuerfestmaterial ausgekleidet, die bei den regelmäßig stattfindenden Wartungsarbeiten erneuert werden muß. Pro Jahr fallen rund 1000 t Konverterausbruch an. Der Gesamtanfall an Stahlwerkschutt (inkl. Konverterausbruch etc.) beträgt etwa 10-22 kg/t RSt.

## 2.8 Elektrostahlwerk

Neben der Hochofen-Konverterroute („Integrierte Hüttenwerke“) wird Rohstahl in Elektrolichtbogenöfen (EAF) auf Basis von Schrott hergestellt („Mini mills“ auch „Ministahlwerke“) und dann im Stranggießverfahren weiterverarbeitet. Als Rohstoff gewinnt Schrott zunehmend an Bedeutung, da deutlich weniger Energie über die gesamte Prozeßkette aufgewendet werden muß als für die Herstellung von Rohstahl aus Erzen.

In Österreich werden in der Marienhütte in Graz, in Breitenfeld und bei Böhler in Kapfenberg Elektroöfen als primäres Schmelzaggregat eingesetzt.

Weltweit gesehen gewinnen die Elektrostahlverfahren aufgrund ihrer flexiblen Fertigung, des geringeren Investitionsaufwandes (ca. ein Viertel eines integrierten Hüttenwerkes) und der schlanken Produktion (nur Schrott als primärer Grundstoff) zunehmend an Bedeutung und konnten ihren Anteil an der Gesamtstahlerzeugung kontinuierlich ausbauen [SZEKELY et al., 1994]. 1970 wurden weltweit ca. 40 % des Rohstahls im Konverter, ca. 15 % im EAF und 45 % mit anderen Verfahren hergestellt. Bis 1992 stieg die Erzeugung im Konverter auf 60 % und der Anteil des in Elektrolichtbogenöfen erzeugten Rohstahls betrug im selben Jahr bereits 30 %.

Neben den Elektrolichtbogenöfen werden auch Plasma- und Induktionsöfen verwendet. Der Elektrolichtbogenofen wird sowohl auf Gleichstrom- als auch Wechselstrombasis betrieben. Moderne Elektroöfen fassen bis zu 300 Tonnen Stahl (Standardöfen haben durchschnittliche Abstichgewichte von 25-190 t pro Charge) und benötigen für eine Schmelze etwa 75 Minuten (Hochleistungsöfen < 60 min). Für besonders hohe Qualitätsanforderungen und Spezialstähle gibt es eine Reihe von elektrischen Umschmelzverfahren, wie den Vakuumlichtbogenofen oder das Elektroschlackenumschmelzen.

### 2.8.1 Verfahrensbeschreibung Elektrolichtbogenofen (EAF)

Hauptaggregat eines Elektrolichtbogenofens ist das Ofengefäß (Herd), das mit Feuerfestmaterial ausgekleidet und mit wassergekühlten Wandelementen umgeben ist. Ein ebenfalls wassergekühlter Ofendeckel verschließt das Ofengefäß während der Betriebsphase (Einschmelzen, Frischen). Über dem Ofendeckel werden die an Tragearmen befestigten Graphitelektroden durch Deckellocher in den Herd abgesenkt und gezündet. Beim Wechselstromlichtbogenofen (AC) wird der elektrische Strom über drei Graphitelektroden, beim Gleichstromofen (DC) über eine Schmelz- und eine Bodenelektrode zugeführt. Gleichstrom-Lichtbogenöfen gewinnen zunehmend an Bedeutung aufgrund des stabileren Betriebsverhaltens und dem reduzierten Verbrauch an Feuerfestmaterial und Elektroden.

Über das sogenannte vierte Deckelloch mit anschließenden wassergekühlten Rohrkrümmer und wassergekühlter Heißgasleitung wird das Abgas abgesaugt, gekühlt und durch eine nachgeschaltete Abgasreinigungsanlage (Gewebefilter) entstaubt. In vielen Fällen erfolgt vor der Abgasreinigung eine thermische Nachverbrennung von CO und organischen Komponenten im EAF-Abgas in einer Nachbrennkammer.

Die spezifischen Varianten und Prozeßführungen von Elektrolichtbogenöfen werden im Rahmen dieser Studie nicht behandelt. Im wesentlichen läuft die Prozeßführung wie folgt ab.

*Chargiert* wird der Elektroofen vorwiegend mit Schrott (auch Roheisen bis zu 25 % und Eisenschwamm können eingesetzt werden), Zuschlagstoffen (Kalk, Flußspat), Reduktionsmitteln und Legierungselementen (Abb. 2.8-1). Die Energiezufuhr erfolgt über Graphit-elektroden, die über Transformatoren gespeist werden. Der Energieverbrauch moderner Öfen liegt bei etwa 350 kWh/t RSt. Der Lichtbogen brennt zwischen den Elektroden und dem Schrotthaufen bzw. der Schmelze. Es entstehen Temperaturen bis zu 3500°C, bei denen auch die Auflösung schwer schmelzender Legierungszusätze möglich ist. Durch zusätzliches Einblasen von Sauerstoff kann die *Einschmelzphase* beschleunigt werden. Das *Frischen* (Reduzierung des Kohlenstoffgehaltes) erfolgt nach der Einschmelzphase. Dazu wird Sauerstoff in das Bad geblasen, der sich zum Teil im Bad löst und zu Metalloxiden (z. B. FeO) reagiert, die von der Schlacke aufgenommen werden. Am Ende der Einschmelzperiode erzeugt man durch Einblasen von Schäumkohle in die Schmelze die sogenannte Schaum Schlacke. Dies bewirkt eine heftige Kochreaktion und die Rückreaktion des gebildeten FeO. Die Badbewegung verbessert die Reaktion zwischen Schmelze und Schlacke. Zudem umhüllt die Schaum Schlacke den Lichtbogen, erhöht den Wirkungsgrad des Energieeinsatzes, schützt die feuerfeste Ofenausmauerung und reduziert die Lärm- und Staubemissionen. In der *Abstichphase* wird durch Kippen des Ofengefäßes auf der einen Seite Schlacke und auf der anderen Seite der flüssige Stahl abgegossen. Die metallurgische Feinarbeit erfolgt zumeist in Pfannenöfen (siehe Sekundärmetallurgie).

Während der Chargierphase (Setzen der Schrottkörbe) entweichen bei geöffnetem Ofengefäß staubhaltige Abgase, die üblicherweise durch eine über dem EAF installierte Absaughaube (canopy hood) abgesaugt werden (Sekundäremissionen). Komplette Hallenabsaugungen werden bei Neuanlagen nur mehr selten eingesetzt, da der Aufwand (Kosten, Energie, Filterfläche) für die zu reinigenden Abgasmengen (bis zu einigen Millionen Nm<sup>3</sup>/h) unwirtschaftlich ist. Auch eine komplette Ummantelung des Elektroofens (doghouse) ist möglich, erschwert allerdings die Prozeßführung und führt zu erheblich höheren Investitionen.

Die Sekundäremissionen werden mit den primären Emissionen aus dem vierten Deckelloch in einer Mischkammer gemischt und über ein gemeinsames Gewebefilter entstaubt. Der sekundäre Abgasstrom dient dabei auch zur Kühlung der heißen primären Abgase (ca. 1.000 °C). Das Abgas darf vor Eintritt in den Gewebefilter eine Temperatur von ca. 120-140 °C nicht überschreiten, um das Filtermaterial nicht zu zerstören. Mit den Gewebefiltern kann der Staubgehalt im Reingas auf < 10mg/Nm<sup>3</sup> reduziert werden.

Wie bereits erwähnt enthält der Abgasstrom eines Elektrolichtbogenofens neben Staubpartikeln vor allem CO, NO<sub>x</sub> und auch organische Komponenten (z. B. VOC's). Die organischen Komponenten sind auf den nichtmetallischen Anteil im eingesetzten Schrott (Kunststoffe, Lösungsmittel, Schmiermittel) zurückzuführen. Die NO<sub>x</sub> Emissionen entstehen prozeßbedingt durch den Lichtbogen aus dem Luftstickstoff. Durch prozeßtechnische Veränderungen, z. B. durch Einsatz von Low-NO<sub>x</sub>-Brennern oder die Schaum Schlackenführung können die NO<sub>x</sub>-Emissionen reduziert werden. Sowohl CO als auch organische Emissionen werden üblicherweise thermisch nachverbrannt.

Es besteht auch die Möglichkeit, die Abwärme der heißen Abgase für die Schrottvorwärmung energetisch zu nutzen. Damit können bis zu 30 kWh/t RSt an Energie eingespart werden. Bei der Schrottvorwärmung wird der kalte Schrott auf ca. 400-600 °C erwärmt. In diesem Temperaturbereich entstehen organischen Emissionen (KW). Bis heute konnte dieses Emissionsproblem für externe Schrottvorwärmanlagen noch nicht zufriedenstellend gelöst werden. Daher wird die Schrottvorwärmung außerhalb des Elektroofens in der Praxis kaum eingesetzt. In jüngster Zeit gibt es verfahrenstechnische Alternativen durch sogenannte Schachtöfen. Über dem Elektroofen ist ein senkrechter Schacht angeordnet, durch den die Schrottzufuhr erfolgt. Die heißen Abgase aus dem Herdgefäß steigen auf und wärmen den Schrott

vor dem Einschmelzen vor (bis zu 1.000 °C). Durch Zusatzbrenner im Schacht werden CO und organische Emissionen verbrannt und die latente Wärme für die Vorwärmung direkt genutzt. Die Abgase werden wie beim konventionellen EAF über eine wassergekühlte Heißgasleitung abgesaugt. In einer Nachbrennkammer werden CO und organischen Emissionen verbrannt.

Dieser Weg scheint vielversprechend, da das Ofengefäß während der Schrottvorwärmung geschlossen bleibt und die Abgase effizient abgesaugt und gereinigt werden können. Diese Technologie der integrierten Schrottvorwärmung kann Energieeinsparungen bis zu 20 % bringen. Ein weiterer Vorteil ist die Reduktion der entstehenden Staubemissionen um bis zu 50 % (Filtereffekt der Schrottsäule). Schachttöfensysteme werden beispielsweise von der FUCHS Systemtechnik GmbH (D) seit Anfang der 90er Jahre entwickelt und mittlerweile in einigen Stahlwerken (u. a. Co-Steel Sheerness, U.K.) erfolgreich eingesetzt [STEEL TIMES, 1993].

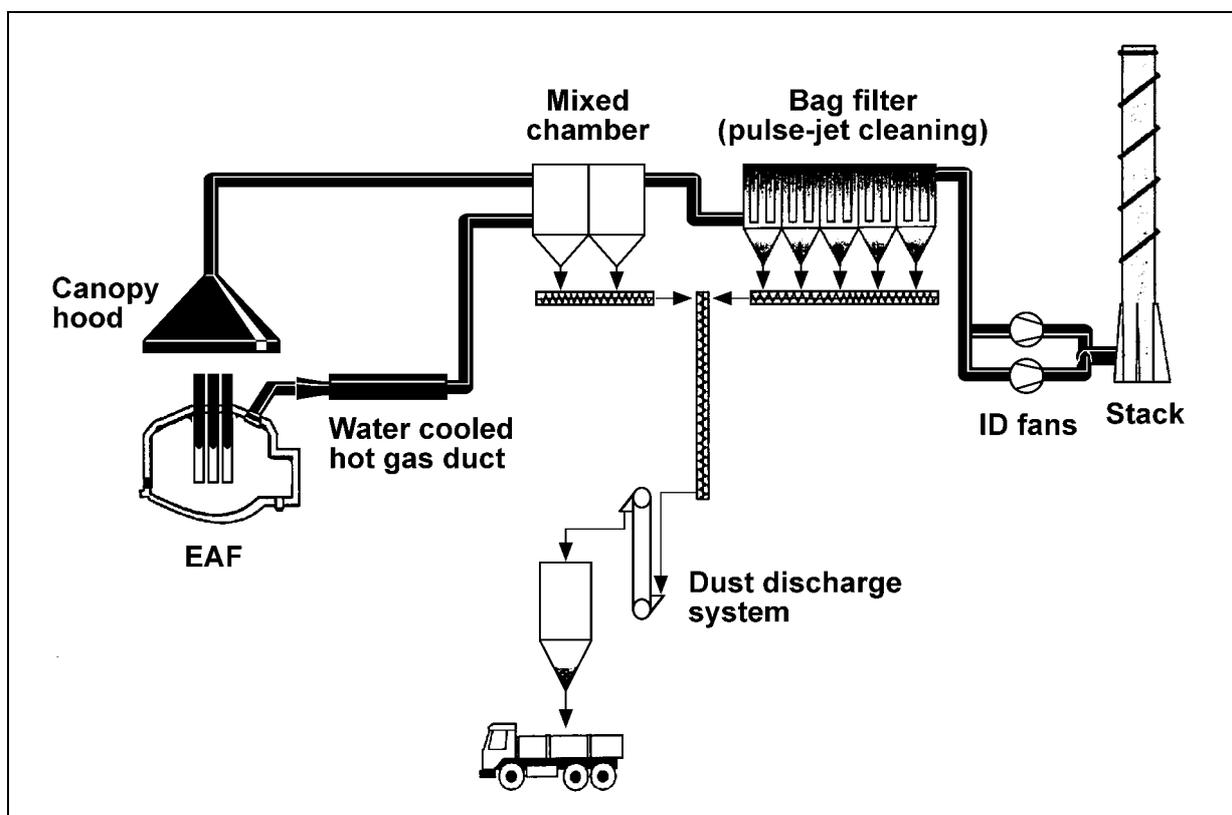


Abb. 2.8-1: Schema eines Elektrolichtbogenofens (EAF) mit Heißgasleitung (water cooled hot gas duct) und nachgeschalteter Abgasreinigung (bag filter) [VAI, 1994].

## 2.8.2 Anfallende Reststoffe und Abfälle

Zu den wesentlichen Reststoffen und Abfällen eines Elektrostahlwerkes zählen

- EAF-Schlacke
- Stäube
- Feuerfestausbruch
- Eigenschrott.

In Tab. 2.8-1 sind die spezifischen Reststoff- und Abfallanfallmengen in kg/t Rohstahl (RSt), sowie die Behandlungsmöglichkeiten angegeben.

Tab. 2.8-1: Spezifischer Reststoff- und Abfallanfall eines Elektroofens kg/t Rohstahl (RSt) <sup>1)</sup>.

Bezeichnung	Menge/t RSt	Anfallort	Behandlung (Stand d. Technik)
Elektroofenschlacke	80-150 kg	Ofengefäß	Baustoff (Straßen-, Gleisbau)
EAF-Staub (C-Stahl)	12-15 kg	Gewebefilter (Primär- und Sekundärentstaubung)	Staubpelletierung, Verkauf an NE-Metallindustrie, Aufbereitung Wälzverfahren
EAF-Staub (Cr/Ni-Stahl)	12-15 kg	Gewebefilter (Primär- und Sekundärentstaubung)	Staubpelletierung, Verkauf an NE-Metallindustrie, Aufbereitung (Inmetco-Verfahren)
Feuerfestmaterial	8-20 kg	abh. von der prod. Stahlqualität (gem. Sammlung mit Hüttenschutt)	Aufbereitung (Feuerfestindustrie) bzw. Deponie
Eigenschrott	2-4 kg		Rückführung in den Elektroofen

Quellen: Firmenangaben, AUMONIER et al., 1996; RENTZ et al., 1995; PHILIPP et al., 1992

Anmerkungen:

<sup>1)</sup> Die angegebenen Anfallmengen sind Durchschnittswerte und hängen stark von der spez. Prozeßfahrweise, den Einsatzstoffen etc. ab.

### 2.8.2.1 EAF-Schlacke

Pro Tonne Rohstahl fallen etwa 80-150 kg an EAF-Schlacke je nach eingesetztem Produktionsverfahren an. Beispielsweise ist der Schlackenfall bei der Produktion von Edelstählen höher (ca. 170 kg/t) als bei der Grund- und Qualitätsstahlerzeugung (ca. 130 kg/t). Weiters bestimmen die spezifischen Einsatzstoffe wie Schrott, Zuschläge und Legierungselemente die chemische Zusammensetzung der Schlacken. Elektroofenschlacken bestehen vor allem aus Verbindungen der Elemente Ca, Fe, Mg, Si, Mn und Al (Tab. 2.8-2)

Tab. 2.8-2: Chemische Zusammensetzung von EAF-Schlacken in M % für die Grund-, Qualitäts- und Edelstahlproduktion [GEISELER, 1991; KÜHN, 1992; FIRMENANGABEN, 1994].

Inhaltstoffe	EAF (Grund- und Qualitätsstahl)	AOD <sup>1)</sup> (Edelstahl)	Entschwefelung
CaO	35-45	35-50	50-60
SiO <sub>2</sub>	10-18	25-35	15-25
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3-8	1-10	< 4
MgO	7-15	4-7	1-5
Fe <sub>gesamt</sub>	10-30	< 2	< 1
Fe <sub>metallisch</sub>	< 1	< 1	< 1
MnO	< 1	k. A.	< 1
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	< 1	< 0,4	< 1
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	< 2	1-5	< 1
CaO <sub>frei</sub>	< 5	< 5	< 10
S <sub>gesamt</sub>	0,2-1	< 0,4	1

<sup>1)</sup> AOD: Argon-Oxygen-Decarburization (Edelstahlproduktion)

### 2.8.2.2 Stäube

Der spezifische Staubanfall beträgt etwa 12-15 kg Staub/t RSt. Die Zusammensetzung des anfallenden Staubes hängt je nach Produktion einer bestimmten Stahlsorte von den dafür benötigten Einsatzstoffen ab. Wesentliche Staubkomponenten sind  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$  und  $\text{MgO}$ , metallisches bzw. nichtmetallisches Eisen und NE-Metallverbindungen. Je nach Stahlsorte sind auch die entsprechenden Legierungselemente (Chrom, Nickel, usw.) im Staub zu finden.

Charakteristisch für die Stäube der Massenstahlproduktion (Grundstahl-/Qualitätstahlerzeugung) sind die hohen Anteile an Zink- und Bleiverbindungen (Oxide), bedingt durch den Einsatz von verzinktem Schrott. Bleihaltige Buntpigmente und Rostschutzanstriche (Bleimennige) kommen ebenfalls über den Schrott in den Prozeß und sind für die erhöhten Bleiwerte verantwortlich.

Bei der Edeltahlerzeugung ist die Qualität des eingesetzten Schrotts von großer Bedeutung. Durch den Einsatz von hochwertigem Schrott bzw. von Eisenschwamm kann der Zink- bzw. Bleigehalt niedriger gehalten werden. Filterstäube aus der Produktion von hochlegierten Stählen enthalten erhöhte Werte für Nickel, Chrom und Molybdän (als Oxide).

Tab. 2.8-3 zeigt die chemische Zusammensetzung von Stäuben aus der Massenstahl- und Edeltahlerzeugung.

Tab. 2.8-3: Chemische Zusammensetzung von Stäuben aus der Massenstahl- und Edeltahlerzeugung in M % [FIRMENANGABEN, 1995; IIS, I 1987; NOMURA, 1994].

Inhaltsstoffe	Massenstahl [M %]	Edelstahl [M %]
Fe <sub>gesamt</sub>	20-40	25-35
CaO	4-10	5-15
Zn	15-40	0,5-1,5
Pb	0,5-5	0,3-1
Cr <sub>gesamt</sub>	0,1-0,4	10-15
Ni	0,05-0,2	3-7
Mo	< 0,1	1-2
Cd	0,02-0,2	k. A.

Ein Großteil des anfallenden Staubes, vor allem aus der Massenstahlerzeugung wird an die NE-Metallindustrie (z. B. Zinkhütten) verkauft und dort verwertet. Falls EAF-Staub deponiert wird, muß dieser vor der Deponierung einer chemischen Behandlung unterzogen werden, um eine Auslaugung der Schwermetalle zu unterbinden.

### 2.8.2.3 Feuerfestmaterial

Der spezifische Verbrauch an Feuerfestmaterial ist abhängig von den Ofenaggregaten (Lichtbogenofen, AOD, Pfannenofen) und den produzierten Stahlqualitäten. Während bei Lichtbogenöfen ca. 8 kg/t RSt anfallen, werden bei Edeltählen bis zu 30 kg/t RSt an Feuerfestmaterial verbraucht. Ausgebrochene Feuerfestmaterialien sind meistens mit Schlacken und Stahl verunreinigt.

## 2.9 Sekundärmetallurgie

Nach der oxidativen Behandlung im Konverter (BOF) oder im Elektrolichtbogenofen (EAF), bei dem die Elemente C, Mn, Si und P weitgehend entfernt werden, wird der gewonnene Stahl den Prozessen der Sekundärmetallurgie (Pfannenmetallurgie) zugeführt, die dem Stahlwerk zugerechnet werden. Hier wird die endgültige chemische Zusammensetzung, die Gießtemperatur und der Reinheitsgrad eingestellt. Daran schließen die Prozesse des Gießens und der Formgebung an. Pfannenöfen dienen auch als Puffergefäß zwischen den primären Schmelzaggagaten EAF/BOF und der nachfolgenden Stranggußanlage.

Unter den angewendeten sekundärmetallurgischen Verfahren ist wegen ihrer Vielseitigkeit die Vakuumbehandlung hervorzuheben. Unter stark verminderten Druck wird der Stahl weitestgehend entgast. Zusätzlich können in diesem Verfahrensschritt metallurgische Reaktionen (Legieren, Erhöhung des Reinheitsgrades, usw.) erfolgen.

Hauptprodukt der Sekundärmetallurgie ist der gießfertige, legierte Stahl. Die anfallende Schlacke (ca. 8 kg/t) und der Ausbruch werden meist nicht extra erfaßt sondern mit den Reststoffen und Abfällen des Stahlwerks behandelt. Die entstehenden Abgase werden über ein gemeinsames Abgasreinigungssystem gereingt.

## 2.10 Stranggießanlage, Walzwerk und Oberflächenveredelung

Flüssiger Stahl wurde früher im allgemeinen als Block in Kokillen gegossen und anschließend auf die geforderten Endabmessungen verformt. Hierzu waren häufig mehrere Zwischenvorwärmungen notwendig und jeder Verformungsschritt war mit Ausbringverlusten verbunden.

Heute sind kontinuierliche Stranggießverfahren (Continuous Casting) Stand der Technik. Durch endabmessungsnahes Gießen – direkte Herstellung dünner Brammen aus dem Rohstahl bzw. direktes Gießen von Blech und Band – lassen sich

- erhebliche Energieeinsparungen realisieren (bis zu 250 kWh/t Endprodukt),
- der Verschnitt und damit der Eigenschrottanfall (bis zu 98 % Produktausbeute) verringern,
- die Produktdurchlaufzeiten um 80 bis 90 % durch Verringerung der Verarbeitungsstufen (vom Schrott einschmelzen bis zum fertigen Profil) verkürzen und damit der Stahldurchsatz erhöhen und
- verbesserte Stahlqualitäten erzielen (Abb. 2.10-1).

Durch das *endabmessungsnahes Gießen* werden die beiden Betriebsbereiche Stranggießanlage und Warmwalzwerk direkt miteinander gekoppelt. Das *endabmessungsnahes Gießen* läßt sich grob in das *Dünnbrammengießen* und das *direkte Bandgießen* unterteilen. *Dünnbrammengießen* ist heute bereits Stand der Technik, wobei sich folgende Varianten unterscheiden lassen.

- Gießen dünner Brammen (bis zu 50 mm) ohne „soft reduction“, die Dünnbramme wird anschließend bis zur Warmband-Enddicke gewalzt (Compact Strip Production (CSP) -Verfahren);
- Gießdicke zwischen 50 und 90 mm, „soft reduction“ der Bramme mit flüssigem Kern bis zu einer Zwischengröße und anschließendes Walzen bis zur Enddicke;
- Gießdicke zwischen 70 und 150 mm, keine „soft reduction“, anschließendes Walzen bis zur Enddicke (CONROLL-Verfahren)
- direktes Gießen von Doppel-T-Trägern (Compact Beam Produktion)
- Gießen von Schienen (Compact Rail Production).

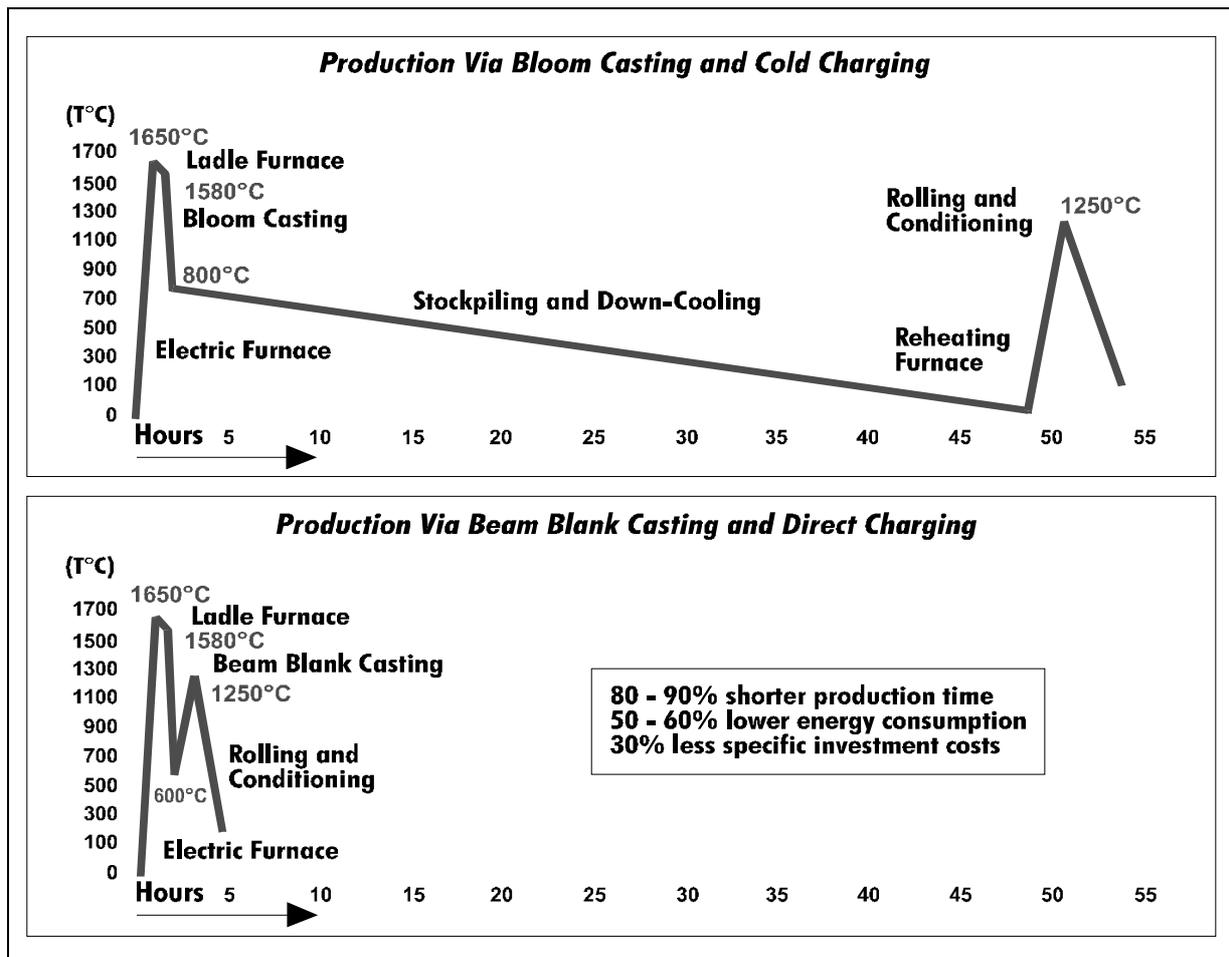


Abb. 2.10-1: Vergleich der konventionellen Produktion von Stahlprofilen mit dem endabmessungsnahen Gießen (Temperaturprofil in Abhängigkeit von der Durchlaufzeit) [VAI, 1994].  
Beim endabmessungsnahen Gießen ist der Energiebedarf um bis zu 50-60 % geringer

Beim direkten Bandgießen kann man sowohl mit einer einzigen Rolle als auch mit Systemen die aus zwei Rollen bestehen, dünne Bänder, die zu 0,3-5 mm dicken Blechen erstarren, verwenden. Auf die spezifischen technologischen Varianten der unterschiedlichen Gießverfahren wird im Rahmen dieser Studie nicht näher eingegangen.

### 2.10.1 Verfahrensbeschreibung Stranggießanlage

Der flüssige Stahl wird aus der Stahlpfanne in Kokillen gegossen, die aus wassergekühlten Kupferplatten bestehen und zum gewünschten Querschnitt zusammengestellt werden (Abb. 2.10-2). Dort erstarrt er oberflächlich und wird als Strang gleichmäßig nach unten abgezogen. Die Kokille beschreibt eine oszillierende vertikale Bewegung, die auf die eingesetzte Stahlsorte abgestimmt wird. Durch die Kokillenbewegung wird ein Kleben der neu gebildeten Strangschale an der Kokillenwand und damit entstehende hohe Zugspannen, die bis zum Abreißen des Stranges führen können, verhindert. Der nur oberflächlich erstarrte Rohstrang wird weiter abgekühlt und nach vollständiger Erstarrung durch Trenneinrichtungen auf die gewünschte Länge unterteilt. Man erhält als Produkt Stahlbrammen für Flach-, Stab- oder Profilstahl. Abhängig von den abgegossenen Formaten unterscheidet man Knüppel-, Vorblock- und Brammenanlagen.

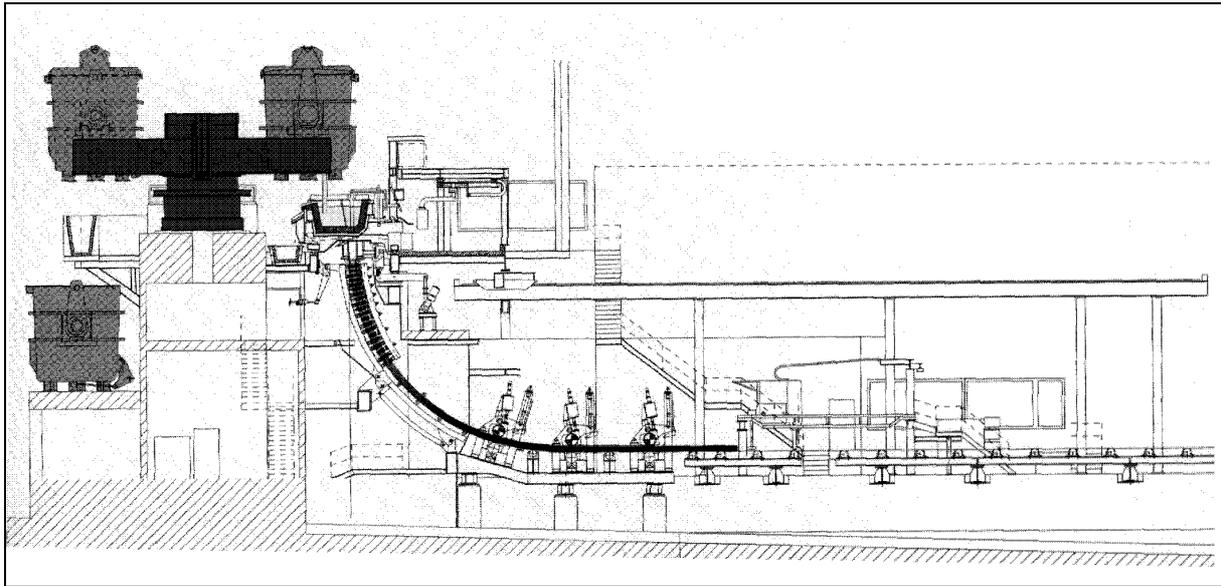


Abb. 2.10-2: Schematische Darstellung einer Stranggießanlage [VAI, 1994].

Der aus den Kokillen austretende glühende Stahlstrang oxidiert beim Kontakt mit der Luft an seiner Oberfläche. Es entsteht eine Zunderschicht. Da die Zunderschicht beim nachfolgenden Walzprozeß schädigend wirken kann, muß diese mittels Hochdruck-Wasserstrahlung entfernt werden. Im Bereich der Stranggießanlage fallen ca. 1 kg/t RSt an Zunder an.

Die beim Stranggießen als Hilfsmittel eingesetzten Gießpulver und Schmieröle können Emissionen verursachen, die sich aus verdampften Ölkondensat- oder Gießpulververbrennungsprodukten zusammensetzen.

### 2.10.2 Verfahrensbeschreibung Warmwalzwerk

Der größte Teil des Stahls wird einer Warmformgebung unterworfen. Sie erfolgt nach dem Gießen und Erstarren und wird in einer oder mehreren Stufen vorgenommen. Die gebräuchlichsten Verfahren sind Walzen, Freiformschmieden und Pressen. Zum Wiedererwärmen der Rohblöcke (Brammen) werden entweder Kammeröfen oder Öfen mit Durchlauf des Wärme-gutes verwendet. Vor dem Einsatz in den Wärmeöfen ist meistens eine Reinigung der Brammen durch sogenanntes Flämmen notwendig. Dabei werden mit Hilfe von Brenngas-Sauerstoffflammen unter hohem Druck Oberflächenverunreinigungen verbrannt.

Im Warmwalzwerk können die auf ca. 1.250°C erhitzten Stranggußbrammen entweder zu Warmbreitbändern oder zu Grobblechen gewalzt werden, entsprechend der Form des Walzspaltes. In den Walzablauf integriert sind Hilfs- und Nebenbetriebe (z. B. Schneideeinrichtungen, Richtmaschinen, Wärmebehandlungsanlagen).

Während der Wärmebehandlung und dem Walzvorgang entsteht durch Oxidation der Metalloberfläche eine sehr harte Oxidschicht, der sogenannte Walzzunder. Diese Oxidschicht würde die Oberfläche des Bandes und der Walzen beschädigen. Deshalb ist es notwendig die Zunderschicht vor und während des Walzprozesses zu entfernen. Zum Entzundern wird vorwiegend die Druckwasserentzunderung eingesetzt. Wasser wird dabei aus Düsen mit hohem Druck (250-280 bar) auf die Stahloberfläche gespritzt und dadurch der Zunder abgesprengt.

Als Reststoffe und Abfälle fallen beim Walzprozeß vor allem Eigenschrott, Walzzunder, Walzunderschlamm, sowie Öle und Fette an.

Durch Verdampfen von Schmiermitteln und Hydraulikölen auf der heißen Stahloberfläche während des Walzvorganges entstehen Kohlenwasserstoffe, die in die Umgebungsluft entweichen.

Luftgängige Emissionen entstehen auch aus den Verbrennungsprozessen in den Wärmeöfen. Sie sind abhängig vom verwendeten Brennstoff (Erdgas, Koksofengas, Öl) und bestehen aus den Komponenten SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>, CO und CO<sub>2</sub>. Wenn Öl als Brennstoff verwendet wird, entsteht außerdem Ruß.

### 2.10.3 Verfahrensbeschreibung Kaltwalzwerk

Beim Kaltwalzen erfolgt die Umformung unmittelbar mit mechanischer Kraftwirkung des Werkzeuges auf das Werkstück. Es sind daher gegenüber dem Warmwalzen entsprechend höhere Kräfte erforderlich. Zusammengefaßt werden unter dem Kaltwalzen die *Oberflächenreinigungsanlagen* und die *Kaltwalzstraße*. Unterschiede zum Warmwalzen ergeben sich durch die niedrigere Umformtemperatur und den Einsatz von mechanischen und chemischen Verfahren zur Entzunderung. Vor dem Walzprozeß erfolgt eine *mechanische Entzunderung*. Verschiedenste Verfahren (Tiefbiegeeinrichtungen, Schubwalzgerüste, usw.) werden eingesetzt mit dem Ziel, die Zunderschicht aufzubrechen und teilweise zu entfernen, damit die nachfolgende Beize genügend Angriffsfläche erhält. Die *chemische Entzunderung* oder *Beizen* mit Säure (z. B. Salz-, Schwefelsäure) schafft eine saubere Stahloberfläche. Dabei wird mit dem Zunder auch die oberste Stahlschicht entfernt. Der Verbrauch an Beize kann mit ca. 4,5 kg Schwefelsäure pro Tonne Beizgut abgeschätzt werden [PHILIPP, 1994].

Bei Einsatz von Salzsäure entstehen mit der abzulösenden Zunderschicht saure Metallchloridlösungen, bei Schwefelsäure saure Metallsulfatlösungen. Neben Eisen gelangen auch Schwermetalle und auf der Stahloberfläche befindliche Ölreste in die Beize.

### 2.10.4 Oberflächenveredelung und -beschichtung

Die meisten gewalzten Fertigerzeugnisse sind ohne zusätzlichen Schutz nur sehr eingeschränkt witterungs- und korrosionsbeständig. Die Nachfrage einiger Industriezweige (Automobil- und Baustoffindustrie) nach beschichteten und korrosionsfesten Stählen steigt ständig. Die Walzprodukte werden daher einer Oberflächenbeschichtung unterzogen. Damit wird das Produkt auch den optischen und funktionellen Anforderungen angepaßt.

Unterschieden werden Beschichtungen für den Rostschutz und metallische- und nicht metallische Überzüge. Beim Aufbringen von metallischen Überzügen kommen verschiedene Verfahren zum Einsatz: Schmelztauchen (z. B. Verzinken, Verzinnen, Aluminieren), Diffusion, Plattierung und Elektrolytische Beschichtung.

Die wichtigste Oberflächenveredelung stellt die Beschichtung von Stahlblechen mit Kunststoffen und die Galvanisierung (Verzinkung, Aluminierung) dar.

### 2.10.5 Anfallende Reststoffe und Abfälle der Umformtechnologien

Zu den wesentlichen Reststoffen und Abfällen der Umformtechnologien (Strangguß und Walzwerk) zählen

- Walzzunder
- Walzzunderschlamm
- Stäube als Eisenoxid
- Eisensulfat
- Eigenschrott
- Öle und Schmiermittel.

In Tab. 2.10-1 sind die spezifischen Reststoff- und Abfallanfallmengen in kg/t Stahlprodukt, sowie die Behandlungsmöglichkeiten angegeben.

Tab. 2.10-1: Spezifischer Reststoff- und Abfallanfall von Strangguß und Walzwerk in kg/t Stahlprodukt <sup>1)</sup>.

Bezeichnung	Menge/ t Produkt	Anfallort	Behandlung (Stand d. Technik)
Gießereizunder	1-10 kg	Stranggießanlage	Rückführung Sinteranlage; Reduktion im Hochofen
Walzzunder grob	20-30 kg	Warmwalzwerk (Flachprodukte)	Rückführung Sinteranlage; Reduktion im Hochofen
	5-10 kg	Warmwalzwerk (Langprodukte)	
Walzzunderschlamm (Feinzunder)	3-15 kg	Fertigstaffel	Rückführung Sinteranlage (sofern Ölgehalt niedrig); Reduktion im Hochofen; externe Behandlung (z. B. Inmetco-Verfahren, ...)
Stäube (Eisenoxid)	2-4 kg	Kaltwalzwerk	externer Verkauf
Eisensulfat	12-16 kg	Kaltwalzwerk	externer Verkauf
Eigenschrott	5-30 kg	Stranggießanlage	Rückführung BOF/EAF
	70-150 kg	Walzwerke (WWW+KWW)	
Öle und Fette	0,1-0,3 kg		Hochofen

Quellen: Firmenangaben, AUMONIER et al., 1996; RENTZ et al., 1995; PHILIPP et al., 1992

Anmerkungen:

<sup>1)</sup> Die angegebenen Anfallmengen sind Durchschnittswerte und hängen stark von der spez. Prozeßfahrweise, den Einsatzstoffen etc. ab.

<sup>2)</sup> WWW ... Warmwalzwerke; KWW ... Kaltwalzwerke

### 2.10.5.1 Walzzunder, Walzzunderschlamm

Walzzunder besitzt einen hohen Eisengehalt (ca. 70 %), im wesentlichen eine Mischung der Eisenoxide FeO, und Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>, geringe Spuren von NE-Metallen und Alkalien (Tab. 2.10-2). Je nach Partikelgröße und Anfallort ist Walzzunder mit Öl kontaminiert, das von den verwendeten Schmiermitteln und Hydraulikölen der Walzen herrührt.

Die Zunderbildung ist von der Temperatur, der Zusammensetzung des Stahls und der Zeitdauer, der das Walzgut oxidierenden Bedingungen ausgesetzt ist, abhängig. Beim Walzen von Blechen entstehen etwa 20-30 kg an Walzzunder pro Tonne warmgewalztem Stahl. Bei der Herstellung von Langprodukten (z. B. Schienen) fallen etwa 10 kg/t an Walzzunder an.

Walzzunder wird während des Walzprozesses gemeinsam mit den verwendeten Schmiermitteln und Hydraulikölen vom Walzprodukt abgetrennt und je nach Partikelgröße und Ölgehalt weiterbehandelt.

*Grober Walzzunder* mit einer Korngröße von 0,5-5mm und einem Ölgehalt < 1 % kann ohne Vorbehandlung in die Sinteranlage zurückgeführt werden.

*Walzzunderschlamm* besteht aus feinsten Zunderpartikeln (<100 µm). Da die feinen Partikeln dazu tendieren Öl zu adsorbieren, ist der Ölgehalt allerdings sehr hoch (5-20 %). Dadurch ist ein direkter Einsatz ohne Vorbehandlung am Sinterband nicht möglich. Die hohen Ölgehalte führen bei unvollständiger Verbrennung zu Öldämpfen, die zu Bränden in nachgeschalteten Abgasreinigungssystemen führen können. Vor dem Wiedereinsatz auf der Sinteranlage muß der Walzzunderschlamm daher vorbehandelt werden. Dies kann thermisch oder durch Waschverfahren erfolgen. Die entsprechenden Verfahren werden in Kapitel (Kapitel 3.3.3) diskutiert.

Tab. 2.10-2: Chemische Zusammensetzung von Walzzunder und Walzzunderschlamm in M %.

Inhaltsstoffe	Walzzunder	Walzzunder-Schlamm
Fe <sub>gesamt</sub>	65-70	
FeO	40-70	
Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	20-30	
Öl	0,1-1	5-25
Feuchte	2-10	40-60

### 2.10.5.2 Öle und Schmiermittel

Öle und Schmiermittel sind Hilfsstoffe die im Walzwerk als Hydraulik- und Prozeßöle, Lager-schmiermittel und Schmiermittel für die Walzenschmierung und -kühlung Verwendung finden. Derzeit fallen ca. 0,1-0,3 kg/t Stahl als Reststoff an. Neue Walzöle auf Basis von Polymeren und laufende Verbesserungen bei den Walzwerktechnologien haben in den letzten Jahren zu einer Reduzierung des Schmierstoffbedarfes, zu verbesserten Oberflächenqualitäten der gewalzten Produkte, sowie zu höheren Standzeiten der Walzen geführt [TURNER et al., 1994]. Abb. 2.10-3 veranschaulicht den Stoffstrom von Ölen und Schmiermitteln in einem Walzwerk [nach IISI, 1987; RENTZ, 1995].

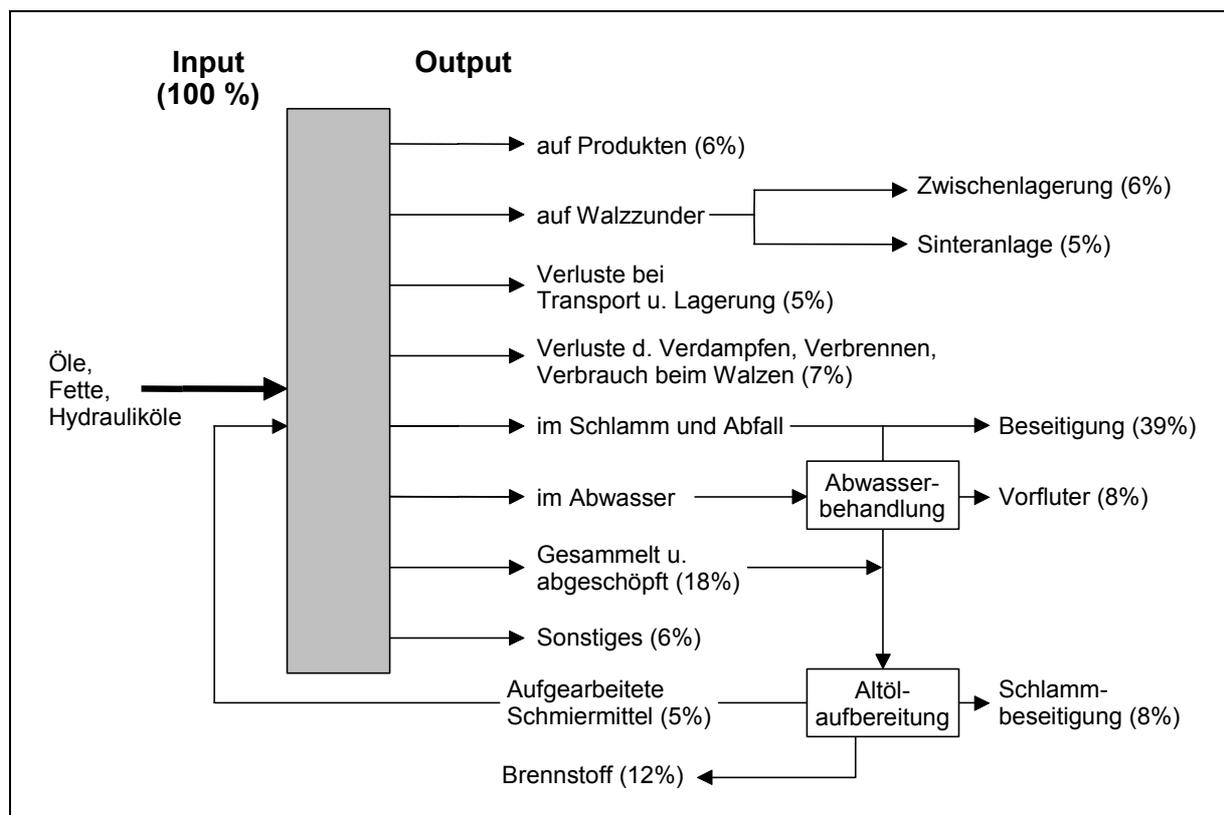


Abb. 2.10-3: Input/Outputbilanz von Ölen und Schmiermitteln im Walzwerk [nach IISI, 1987; RENTZ, 1995].

### **2.10.5.3 Eigenschrott**

Unter dem Überbegriff Eigenschrott fällt jeglicher Ausschuß an Walzgut (etwa nicht-qualitätskonforme Bänder, etc.), Reststücke (z. B. Bandanfang- und Endstücke), Proben, etc. In der Summe liegt der Eigenschrottanteil in der Größenordnung von ca. 70-150 kg/t Walzprodukt. Dieser Eigenschrott wird in der Regel als Kühlschrott im Konverter eingesetzt. Wie bereits erwähnt können neue Walztechnologien auch hier eine deutliche Reduktion des Eigenschrottanteils mit sich bringen.

### **2.10.5.4 Stäube, Eisenoxid, Eisensulfat**

Eisenhaltige Stäube bestehen aus feinst zerkleinertem Eisen und Eisenoxiden, die durch Abrieb von der Stahloberfläche entstehen und vom Sprühnebel der Druckwasserentzunderung mitgerissen werden.

### 3 RESTSTOFFMANAGEMENT

#### 3.1 Einführung

In den folgenden Kapiteln werden die wichtigsten Technologien und Verfahren für Recycling, Aufbereitung und Behandlung von Hüttenwerksreststoffen und -abfällen beschrieben.

Wesentlich für die Bewertung der optimalen (ökologisch und ökonomisch) Verfahrensvariante sind die Art und Zusammensetzung der Abfälle bzw. Reststoffe, sowie die beim Einsatz resultierenden Emissionen. Grundsätzlich ist man bestrebt, bestehende metallurgische Prozesse für die Reststoff- und Abfallbehandlung zu nutzen (integriertes Reststoff- u. Abfallmanagement).

Zu den wesentlichen *Zielen und Entwicklungen integrierter Reststoff- und Abfallmanagement-konzepte* zählen:

- Verfahrensänderungen, die das Recycling anfallender Abfälle und Reststoffe in bestehenden Anlagen/Primärprozesse der Eisen- und Stahlindustrie (z. B. Sinteranlage, Hochofen, BOF, EAF) ermöglichen (Maßnahmen zur Abfallvermeidung),
- Verringerung der zu deponierenden Abfälle durch Wertstoffrückgewinnung z. B. Entzinken und Entbleien von Hüttenwerksreststoffen (vor allem metallurgischen Stäuben, Schlämmen und externem Schrott) und Wiedergewinnung der Eisen- und Schwermetallfraktion,
- Behandlung ölkontaminierter Eisenträger (Walzzunder, Schrott), um diese wieder als Einsatzstoffe in die metallurgische Produktion rückführen zu können,
- hüttenexterne Weiterverwendung von Reststoffen bzw. Abfällen z. B. als Baustoffe,
- umweltverträgliche Deponierung der verbleibenden Abfälle durch Immobilisierung/Konditionierung.

Wie im vorigen Kapitel dargestellt, führt sowohl die Erzeugung von Roheisen und Rohstahl als auch die Weiterverarbeitung neben den gewünschten Produkten zum Anfall prozeßbedingter Abfälle und Nebenprodukte.

Zu den wesentlichen *Abfällen und Nebenprodukten* in der Eisen- und Stahlindustrie zählen:

- *Schlacken* aus Hochofen, BOF, EAF, Sekundärmetallurgie
- *Schlämme* aus Abwasserreinigungsanlagen, Naßwäschern
- *Filterstäube* aus Abgasreinigungssystemen
- *Ölhaltiger Zunder* aus Walzwerken
- hütteninterner *Eigenschrott* und externer *Fremdschrott*.

In Abb. 3.1-1 ist die Bilanz der wesentlichen Abfälle und Reststoffe eines integrierten Hüttenwerkes (siehe dazu auch Tabellen des Kapitels 2) und mögliche Recyclingpfade dargestellt. Pro Tonne Rohstahl fallen etwa 450-500 kg an Reststoffen und Abfällen an. Davon entfallen ca. 375 kg/t auf Schlacken und ca. 60-65 kg/t auf Stäube, Schlämme und Zunder.

Den massenmäßig größten Anteil machen dabei die Hochofen- und Stahlwerksschlacken (siehe Abb. 3.3-1), sowie der Eigenschrott aus. In den folgenden Kapiteln werden Verfahren und Maßnahmen zur Abfall- und Reststoffvermeidung, sowie Verfahren zur Abfall-/Reststoffaufbereitung, -behandlung und -verwertung diskutiert.

Im Bereich des prozeßtechnischen und -integrierten Umweltschutzes konnten in den letzten Jahrzehnten vor allem bei der

- Verringerung der spezifischen Abgasmengen und Verminderung von Emissionen,
- Verfahrensoptimierung zur Minimierung des Reststoffanfalls,
- Verringerung des Energieverbrauches,
- sowie durch Einführung geschlossener Wasserkreisläufe Fortschritte gemacht werden.

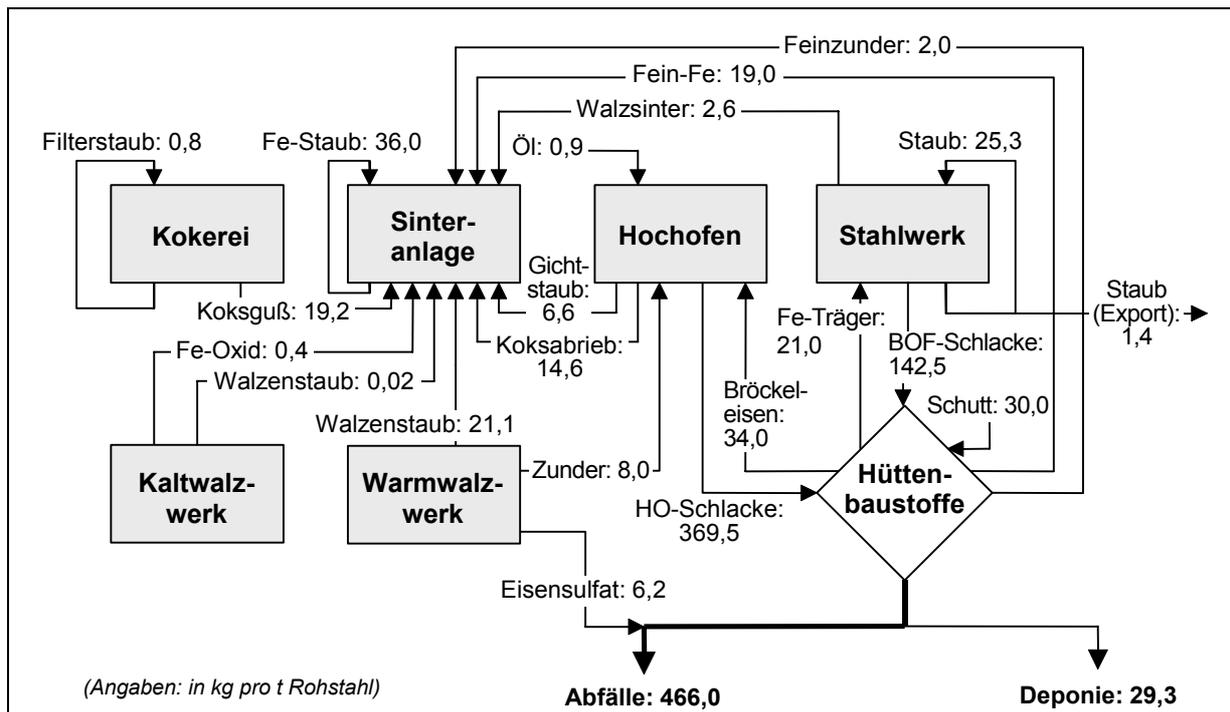


Abb. 3.1-1: Charakteristische Reststoff- und Abfallbilanz eines integrierten Hüttenwerkes. Die anfallenden Reststoff- und Abfallmengen sind abhängig von den spezifischen Einsatzstoffen und Prozeßfahrweisen. (Die angegebenen Zahlenwerte beziehen sich jeweils auf den spezifischen Reststoff- bzw. Abfallanfall in kg pro Tonne Rohstahl) [nach LEHNER et al., 1995].

Diese Maßnahmen haben, bei gleichzeitiger Steigerung der Produktivität und der Qualität der Erzeugnisse, zu einer Reduktion der Emissionsfrachten geführt.

In Abb. 3.1-2 ist das Grundschemata für ein integriertes Recycling- und Behandlungskonzept für ein Hüttenwerk dargestellt (siehe dazu auch Abb. 6.1-1).

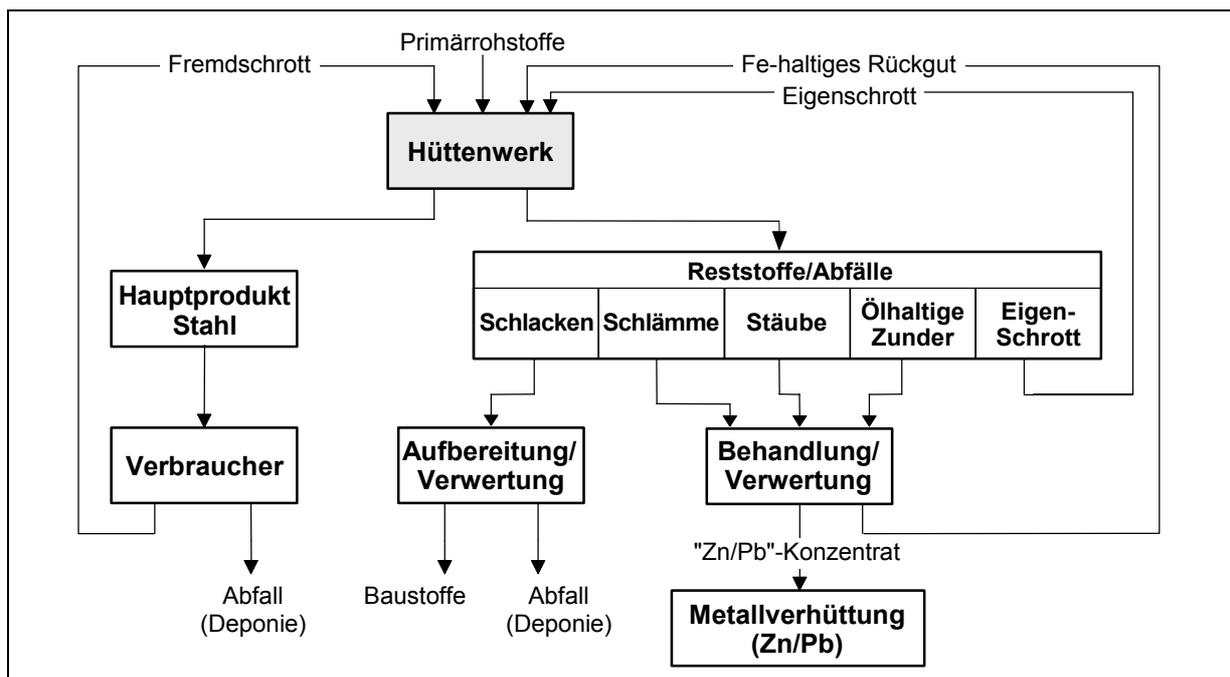


Abb. 3.1-2: Grundprinzip des integrierten Recycling- und Behandlungskonzeptes eines Hüttenwerkes.

### 3.2 Reststoff- und Abfallvermeidung

In der Eisen- und Stahlindustrie spielen heute nachgeschaltete Reinigungsverfahren (sogenannte End-of-the-pipe-Techniken) nach wie vor die dominierende Rolle. Es gibt nur wenige großtechnisch erprobte, prozeßintegrierte und damit primär emissionsmindernde Verfahren (z. B. der COREX<sup>®</sup>-Prozeß vgl. Kapitel 2.6), die zu einer tatsächlichen Substitution bestehender Primärprozesse geeignet wären.

Trotzdem haben die Entwicklung der eingesetzten Rohstoffe, verfahrenstechnische Fortschritte, Prozeßoptimierungen sowie anlageninterne Kreislaufführung von Reststoffen und Abfällen in den letzten Jahrzehnten zu einer deutlichen Verminderung der spezifischen Mengen an Reststoffen und Abfällen geführt. Dies gilt gleichermaßen für die Roheisen- bzw. Rohstahlerzeugung als auch im Bereich der Umformtechnologien.

Beispielsweise konnte bei Hochofenschlacken der spezifische Reststoffanfall von 700 kg/t Rohstahl in den fünfziger Jahren auf derzeit rund 260 kg/t Rohstahl reduziert werden. Entsprechende Reduktionen sind auch bei anderen Reststoffen und Abfällen wie Stäuben, Schlämmen, etc. zu verzeichnen.

Auch alle Maßnahmen zur Energieeinsparung, die in den letzten Jahren forciert wurden, führen in Konsequenz zu einer Vermeidung von Emissionen. Beispielgebend ist die Einführung des Stranggießens, die neben erheblichen Energieeinsparungen (0,5 bis 0,8 GJ/t Rohstahl) zu einer weitgehenden Vermeidung von Emissionen und Reststoffen und Abfällen geführt hat (Abb. 2.10-1). Auch der Eigenschrottanteil konnte von 250 kg/t Rohstahl auf 105 kg/t Rohstahl gesenkt werden.

### 3.3 Recycling- und Behandlungsmöglichkeiten

Noch vor 10 bis 15 Jahren wurden viele Reststoffe bzw. Abfälle entsorgt (im wesentlichen durch Deponierung). Diese Art der Abfallentsorgung ist jedoch heute aufgrund gesetzlicher Umweltschutzaufgaben und begrenzter Entsorgungskapazitäten stark eingeschränkt und mit hohen Entsorgungskosten verbunden. Daher ist die Stahlindustrie dazu übergegangen, Reststoffe und Abfälle soweit wie möglich in hütteninternen Prozessen, wie z. B. Sinterband, Hochofen oder Stahlwerk, zu behandeln.

Bereits heute werden in der Eisen- und Stahlindustrie hohe Recycling- und Behandlungsquoten (70-90 %) sowohl interner als auch externer Reststoffe und Abfälle (z. B. Schrott) erzielt. Beispielsweise werden derzeit bis zu 90 % des Werkstoffes Stahl wieder in den Produktionsprozeß zurückgeführt [PHILIPP, 1993]. Abb. 3.3-1 zeigt den Anfall der spezifischen Reststoffe bzw. Abfälle und deren Behandlungsmöglichkeiten.

In der Eisen- und Stahlindustrie versteht man unter Recycling

- den produktionsbezogenen Einsatz von Abfällen bzw. Reststoffen aus der Erzeugung und die stoffliche Verwertung in der gleichen oder einer anderen Produktionsstufe,
- die anderweitige stoffliche und/oder energetische Verwertung von Abfällen bzw. Reststoffen der Eisen- und Stahlerzeugung in den Hüttenwerken, sowie
- den Einsatz gebrauchter Produkte aus dem Werkstoff Stahl.

Ziel des Recycling ist somit vor allem die Rückführung von Schrott und Reststoffen bzw. Abfällen in die metallurgischen Prozesse, so daß nur noch verminderte Abfallmengen zu deponieren sind und damit vermieden werden. Hohe interne Recyclingquoten von Reststoffen und Abfällen sind prinzipiell anzustreben. Es zeigen sich aber vermehrt die Nachteile einer eindimensionalen Recyclingwirtschaft, insbesondere in der Anreicherung von unerwünschten Begleitelementen (z. B. Schwermetalle).

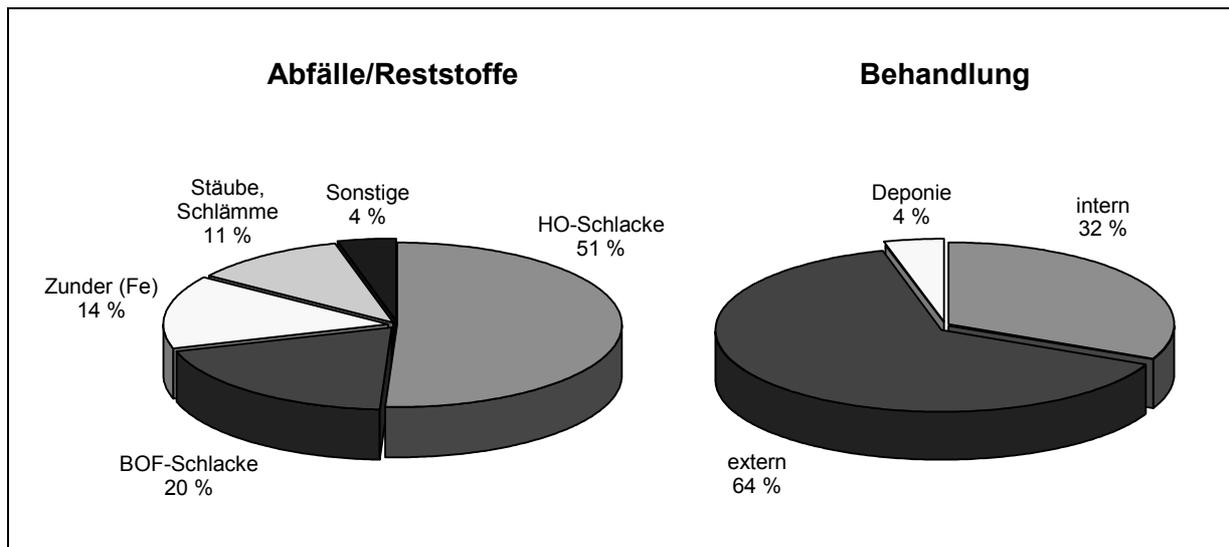


Abb. 3.3-1: Charakteristischer Abfall- und Reststoffanfall eines modernen integrierten Hüttenwerkes und Behandlungsmöglichkeiten [VAI, 1995].

Die Behandlungsmöglichkeiten von hütteninternen Reststoffen und Abfällen (Filterstäube und -schlämme, Walzzunder, Feineisen, etc.) steht bereits seit mehreren Jahren im Mittelpunkt intensiver Forschungsaktivitäten. Diese Bemühungen resultieren weltweit in der Entwicklung zahlreicher Verfahrensvorschläge für Behandlung und Verwertung von Reststoffen und Abfällen, viele davon im Versuchsstadium. Eine umfassende Lösung wurde bislang noch nicht gefunden.

Die Schlackenverwertung hat bereits lange Tradition. Hochofenschlacke findet in der Baustoffindustrie nahezu vollständige Verwendung. Stahlwerkschlacke (LD-Schlacke) wird ebenfalls in der Bauindustrie, sowie in der Düngemittelindustrie verwendet. Die Verwertungsrate beträgt bis zu 90 %. Derzeit wird versucht, neue Einsatzgebiete für LD-Schlacken zu erschließen, um zukünftig deren Deponierung fast vollständig zu reduzieren. Die spezifischen Verfahren zur Schlackenaufbereitung werden in Kapitel 4.4 beschrieben.

### 3.3.1 Schrottreycling

Die Einteilung der Stahlschrottsorten erfolgt grob in hütteninternen *Eigenschrott*, der bei der Erzeugung von Stahl anfällt, *Stahl-Neuschrott*, der bei der industriellen Fertigung zurückbleibt und *Stahl-Altschrott*, der von nicht mehr verwertbaren Stahlerzeugnissen stammt. Klassifiziert wird der Stahlschrott in sogenannten Schrottsortenlisten, die Auskunft über Qualität und Zusammensetzung geben.

Der hütteninterne Eigenschrott ist sauber und auch in seiner Zusammensetzung bekannt und kann direkt recycelt werden. Stahl-Neuschrott aus der industriellen Fertigung kann nach Sortierung und Paketierung wieder eingesetzt werden. Stahl-Altschrott besteht aus ausgedienten Verbrauchs- und Industriegütern, die teilweise verunreinigt oder mit anderen Werkstoffen (Kupfer, Kunststoffe, Glas, Holz) verbunden sind. Vor dem Einsatz von Stahl-Altschrott muß dieser entsprechend aufbereitet werden. Wie erwähnt ist Schrott die Haupteintragsquelle von Zink im Hüttenwerk. Am bedeutendsten für die Schrottaufbereitung sind Müll- und Shredderschrott, da sie einen hohen Fremd- und Schadstoffanteil aufweisen. Bei den physikalischen Aufbereitungsverfahren wird der Schrott zerkleinert und die Nichteisenanteile abgetrennt. Die eisenhaltige Fraktion wird zu Paketen verdichtet. Chemische Verfahren, wie die Entzinkung oder Entzinnung werden in Österreich großtechnisch nicht angewandt. Für höherwertige Stahlprodukte (z. B. Feinbleche) ist es notwendig, möglichst sortenreines, metallisches Eisen in den Schmelzaggregaten einzusetzen.

### 3.3.2 Grenzen der hütteninternen Verwertung und Behandlung durch Schwermetallverunreinigungen

Das Recycling von Schrott ist in technischer Hinsicht durch dessen Einsatz als Rohstoff in Elektroöfen bzw. Sauerstoffkonvertern gelöst. Die Begleitfrachten vor allem von Fremdschrott, wie z. B. Kunststoffe oder Verzinkungen, stellen jedoch erhöhte Anforderungen beim Wiedereinsatz in den metallurgischen Prozeß.

Die hohen Recyclingquoten sowohl hütteninterner Reststoffe wie Stäube und Schlämme als auch externer Reststoffe wie Schrott führen zu unerwünschten Anreicherungen von Begleitelementen z. B. Schwermetallen in den anfallenden Reststoffen und Abfällen (Filterstäuben und -schlämme) und somit zur Anhebung des Zink- und Bleipegels im gesamten Hüttenwerk. Abb. 3.3-2 zeigt die charakteristische Zink-Bilanz eines integrierten Hüttenwerkes. Der Zn-Input beträgt ca. 0,4 kg/t Rohstahl. Haupteintragsquelle ist der verzinkte Schrott. Die Verhältnisse hängen natürlich stark von den eingesetzten Rohstoffen ab. Auf der Outputseite enthält der Konverterstaub (BOF) die höchste Zn-Fraktion.

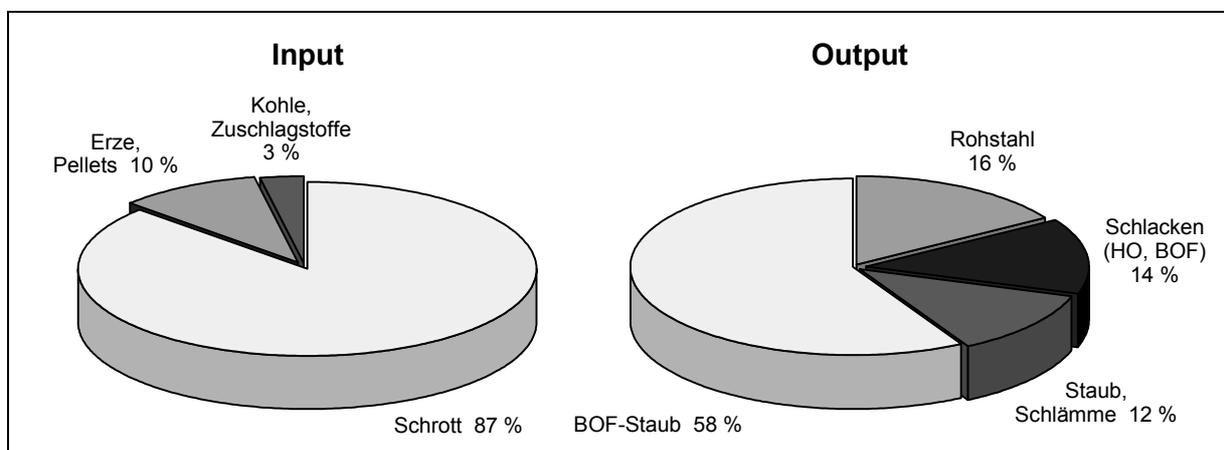


Abb. 3.3-2: Charakteristische Zink-Bilanz eines integrierten Hüttenwerkes [VAI, 1995].

Diese „Verschleppung“ von Zn in die metallurgischen Prozesse führt vermehrt zu verfahrenstechnischen Problemen, wodurch die Qualität der Produkte und Nebenprodukte (Schlacken) sinkt, der Ausschuß steigt und letztendlich der spezifische Abfallanfall erhöht wird. Folgende Probleme sind zu beobachten:

- Erhöhter Zink- und Bleigehalte in den Hochofen- und Stahlwerksschlacken beeinträchtigen eine sinnvolle Verwertung bzw. Behandlung in der Baustoffindustrie und erhöhen den Anteil der zu deponierenden Mengen (Verschlechterung der Produktqualität von Nebenprodukten).
- Das Problem des „Zink/Blei Kreislaufes“ im Hochofen (wie in Kapitel 2.5 beschrieben) wird verstärkt, falls der Zn/Pb-Gehalt des Sinters durch die Staubrückführung erhöht wird.
- Erhöhter Energieverbrauch, durch Verdampfen der „leicht flüchtigen“ Elementen (Zn, Pb, Alkalien) bei der Staubrückführung in den Konverter.
- Durch die Steigerung der Zink- und Bleikonzentrationen in den Abgasen der einzelnen Prozesse steigen auch deren Frachten in den Reststaubemissionen.

Da in den nächsten Jahren der Anteil des verzinkten Schrottes am gesamten Schrotteinsatz weiter wachsen wird (1990: 12 %, 1995: 20 %, 2000: 35 %), ist mit einer weiteren Erhöhung des Zink- und Bleipegels im Stahlwerk und damit im gesamten Hüttenwerk zu rechnen.

Derzeitige Entwicklungen gehen dahin, die einzelnen Reststoff- und Abfallkreisläufe durch einen Kreislauf zu ersetzen, dessen Herz ein geeignetes Reststoff- und Abfallbehandlungs-/verwertungsverfahren ist (siehe Abbildung 6.1-1). Die Aufgabe dieses Verfahrens ist eine mög-

lichst vollständige *Entzinkung* und *Entbleiung* der eingesetzten Reststoff- und Abfallmischungen, um einen problemlosen Wiedereinsatz der eisenreichen Reststoff- und Abfallfracht zu ermöglichen. Ein pyrometallurgisches Verfahren sollte so konzipiert sein, daß der Zink- und Bleigehalt des aus dem Abgasstrom abgeschiedenen Filterstaubes ausreichend hoch ist (Zinkgehalt > 50 %), um direkt in einer Metallhütte als Rohstoff zur Gewinnung der entsprechenden Metalle eingesetzt werden zu können. Entsprechende Verfahren werden in Kapitel 4 beschrieben.

### 3.3.3 Behandlung von ölhaltigen Eisenträgern

Mineralölprodukte werden in der stahlerzeugenden und -verarbeitenden Industrie als Schmier- und Gleitmittel, Kühlmittel und als Korrosionsschutz eingesetzt. In einzelnen Produktionsschritten (Gießprozeß, Walzen, Umformen, Härten, Vergüten) fallen daher Produktionsabfälle an, die mit Öl kontaminiert sind. Ziel ist es, diese Reststoffe und Abfälle (Zunder, Späne, Schlämme) so aufzubereiten und zu verwerten, daß die eisenhaltige Fraktion für die metallurgischen Prozesse zurückgewonnen und die Ölfraktion energetisch genutzt werden kann.

Die zu behandelnden Rückstände bestehen meist aus einer Feststoffphase (Metalle, Metalloxide, ...), einer Ölphase (emulgiert, dispergiert, angelagert) und der Zwischenraumflüssigkeit (Wasser, Emulsion, Lösungsmittel). Dieser Aufbau der ölhaltigen Reststoffe und Abfälle muß für die Auswahl des Verfahrens zur Entölung bekannt sein. Er bestimmt vor allem welcher Entölungsgrad mit vernünftigem Aufwand zu erzielen ist.

Die direkte Verwertung von *ölhaltigen Walzzundern* oder anderen ölverunreinigten Eisenträgern in metallurgischen Prozessen ist abhängig vom Ölgehalt nur beschränkt möglich. Bei hohen Ölkonzentrationen (>3 %) führt die verstärkte Emission von Kohlenwasserstoffen (VOC, PCDD/F) zu erheblichen Problemen bei der Abgasreinigung (Feuer bei Elektrofiltern, Verstopfung von Filterflächen). Daher sollten diese Reststoffe und Abfälle vor dem Wiedereinsatz vorbehandelt werden (Tab. 3.3-1). Grundsätzlich kann man die Behandlungsverfahren in zwei Gruppen trennen:

- *mechanische* und *naßchemische Trenn- und Waschverfahren* (z. B. Preussag Waschverfahren, Hochdruck-Strahlrohr, naßchemische Schlammentölung und Ölaufbereitungsverfahren, etc.) und
- *thermische Pyrolyse- und Vergasungsverfahren* (Thermische Behandlung im Drehrohr, Zweisechicht-Sinterverfahren, etc.).

In Kapitel 4.2 werden einige dieser Verfahren im Detail beschrieben. Es ist aber anzumerken, daß bisher nur wenige Verfahren großtechnisch realisiert wurden.

Die abgetrennte Feststoffphase kann auf zwei Wegen in den Stoffkreislauf eines Hüttenwerkes integriert werden. Oxidische Eisenträger werden meist über die Sinter-Hochofenroute zurückgeführt, metallische Fe-Träger können über den Schrottweg (z. B. E-Ofen, LD-Tiegel,..) eingeschleust werden. Dabei sind neben dem Restölgehalt der gereinigten Eisenphasen vor allem die Begleitelemente wie Legierungselemente, Alkalien, S, P, usw. von Bedeutung. Die in die metallurgischen Prozesse eingeschleppten Begleitelemente können negative Auswirkungen auf die Produktqualität haben (der Begleitelementgehalt im Stahl, erhöhte Eluatwerte der Schlacke bzw. Inhomogenitäten, Belastung der Filterstäube durch organische Verbindungen, erhöhte Abgaswerte).

Bei der abgetrennten Ölphase kann es sich um eine Vielzahl unterschiedlicher Ölsorten und -qualitäten handeln. Altöle werden meistens im Hochofen verbrannt. Technische Öle mit hohen Halogengehalten müssen entsorgt werden.

Wasser als Zwischenraumflüssigkeit führt bei den Waschverfahren zu vermehrten Abwasserfrachten. Es kommt in der Zwischenraumflüssigkeit zu einer Feinkornabscheidung, die mit einer geeigneten Entwässerungstechnik abgetrennt werden muß. Anschließend muß die Zwischenraumflüssigkeit biologischen, chemischen und physikalischen Reinigungsstufen zugeführt werden.

Tab. 3.3-1: Überblick der wichtigsten Behandlungs- und Aufbereitungsverfahren für ölhaltige Reststoffe [LEHNER, 1993].

Verfahren	Prinzip	Einsatzstoffe	Entwicklungsstand
Preussag Waschverfahren	naßchemisches Waschverfahren	Dickschlamm	Pilotanlage
Hochdruck-Strahlrohr	mechanisches Bodenwaschen	ölkontaminierte Böden	Pilotanlage
Dekonterra Verfahren (LURGI)	mechanisches Bodenwaschen	ölkontaminierte Böden	1. Großanlage (Hamburg)
Schlamm-Entölung (CORSI/CSM)	Solvent Extraktion	Ölsuspension, öhlhaltige Schlämme	Pilotanlage
Thermische Behandlung	Drehrohr	öhlhaltiger Eisenschrott	Pilotanlage
Zweischicht- Sinterverfahren	Sintern	Sintermischung mit öhlhaltigen Eisenträgern	In großtechnischer Realisierung
Vergasungs- einschmelzreaktor COREX	Vergasung	Kohle, DRI	Großanlage; Behandlung von öhlhaltigen Reststoffen und Abfällen im Pilotstadium

### 3.3.4 Klassifizierung der Abfälle und Reststoffe gemäß ÖNORM S2100

Mit dem Abfallkatalog (ÖNORM S2100 vom 1. September 1997) liegt ein Gesamtwerk für die Zuordnung von Abfällen vor. Welche der im Katalog aufgeführten Abfälle als gefährliche Abfälle gelten, ist in der Festsetzungsverordnung 1997 (BGBl. Nr. 227/1997) über die Festsetzung gefährlicher Abfälle festgelegt. In der Festsetzungsverordnung sind auch die Kriterien und Vorgangsweisen für die Ausstufung von Abfällen festgesetzt. Die Ausstufung ist das Verfahren zum Nachweis, daß ein bestimmter Abfall, der gemäß §3 AWG als gefährlich gilt, im Einzelfall nicht gefährlich ist.

In Tab. 3.3-2 sind gemäß ÖNORM S2100 die wesentlichen Abfälle der eisen- und stahlerzeugenden Industrie aufgelistet. Es wird unterschieden zwischen prozeßbedingten Abfällen bzw. Reststoffen und solchen, die im wesentlichen durch den Einsatz von Betriebsstoffen anfallen:

Tab. 3.3-2: Zuordnung der wesentlichen Abfälle und Reststoffe aus der eisen- und stahlerzeugenden Industrie gemäß ÖNORM S2100 (Stand: 1. September 1997).

PRIMÄR PROZESSBEDINGTE ABFÄLLE						
Abfall- schlüssel	Bezeichnung	C/P	BB	TB	D	Hin- weise
<b>311</b>	<b>Ofenausbrüche, Hütten- und Gießereischutt</b>					
31103	Ofenausbruch aus metallurgischen Prozessen	-	-	-	K	
31108	Ofenausbruch aus metallurgischen Prozessen mit produktionsspezifischen Beimengungen	-	-	-	K	g
31111	Hütten- und Gießereischutt	-	-	-	K	
<b>312</b>	<b>Metallurgische Schlacken, Krätzen und Stäube</b>					
31208	Eisenoxid, gesintert	-	-	-	K	
31215	Gichtgasstäube	-	-	-	K	g
31217	Filterstäube, NE-Metallhaltig	+	-	-	K	g
31218	Elektroofenschlacke	-	-	-	K	

PRIMÄR PROZESSBEDINGTE ABFÄLLE						
Abfall-schlüssel	Bezeichnung	C/P	BB	TB	D	Hin-weise
31219	Hochfenschlacke	-	-	-	+	
31220	Konverterschlacke	-	-	-	+	
31221	Sonstige Schlacke aus der Stahlerzeugung (z. B. Sekundärmetallurgie)	-	-	-	K	g
31222	Krätzen aus der Eisen- und Stahlerzeugung	-	-	-	+	
31223	Stäube, Aschen und Krätzen aus sonstigen Schmelzprozessen	+	-	-	K	g
<b>314</b>	<b>Sonstige feste mineralische Abfälle</b>					
31417	Aktivkohle	-	-	+	K	
31419	Feinstaub aus der Schlackenaufbereitung	-	-	-	K	
31421	Kohlenstaub	-	-	+	K	
31423	ölverunreinigte Böden	+	K	+	K	g
31424	Sonstige verunreinigte Böden	+	-	+	K	g
31426	Kernsande	+	-	+	K	g
31434	verbrauchte Filter- und Aufsaugmassen mit nichtschädlichen Beimengungen (z. B. Aktivkohle)	+	+	+	K	
31435	verbrauchte Filter- und Aufsaugmassen mit schädlichen Beimengungen (z. B. Aktivkohle)	+	-	+	K	
31439	Mineralische Rückstände aus der Gasreinigung	+	-	+	K	
<b>316</b>	<b>Mineralische Schlämme</b>					
31614	Schlamm aus Eisenhütten	-	-	-	K	
31615	Schlamm aus Stahlwalzwerken	-	-	-	K	
31616	Schlamm aus Gießereien	-	-	-	K	
31619	Gichtgasschlamm	+	-	-	K	
31620	Gipsschlamm mit produktionsspezifischen schädlichen Beimengungen	+	-	-	K	g
31621	Kalkschlamm mit produktionsspezifischen schädlichen Beimengungen	+	-	-	K	g
31624	Eisenoxidschlamm aus Reduktionsprozessen	+	-	-	K	
31660	Schlamm aus der Gas- und Abgasreinigung	+	-	+	K	g
<b>351</b>	<b>Eisen- und Stahlabfälle</b>					
35101	Fe-hältiger Staub ohne schädliche Beimengungen	+	-	-	K	
35102	Zunder und Hammerschlag	+	-	K	K	
35103	Eisen- und Stahlabfälle, verunreinigt	+	-	+	K	
<b>355</b>	<b>Metallschlämme</b>					
35506	Sonstige Metallschlämme	+	-	-	K	
<b>513</b>	<b>Sonstige Oxide und Hydroxide</b>					
51309	Eisenhydroxid	+	-	-	K	
<b>521</b>	<b>Säuren, anorganisch</b>					
52103	Säuren, Säuregemische mit anwendungsspezifischen Beimengungen (z. B. Beizen, Ionenaustauschereluate)	+	-	-	-	g
<b>549</b>	<b>Sonstige Abfälle von Mineralölprodukten und aus der Kohleveredelung</b>					
54913	Teerrückstände	-	-	K	K	
54924	Sonstige Schlämme aus Kokereien	-	-	K	K	

PRIMÄR BETRIEBSSTOFFBEDINGTE ABFÄLLE						
Abfall-schlüssel	Bezeichnung	C/P	BB	TB	D	Hin-weise
<b>541</b>	<b>Abfälle von Mineralölen und synthetischen Ölen</b>					
54102	Altöle	-	-	+	-	g
54109	Bohr-Schleif- und Schneidöle	+	-	K	-	g
54116	Maschinenöle	-	-	+	-	
54118	Hydrauliköle, halogenfrei	-	-	K	-	g
54119	Hydrauliköle, halogenhaltig	-	-	K	-	g
54121	Spezial- Industriegetriebeöle	-	-	K	-	
<b>544</b>	<b>Abfälle von Emulsionen und Gemischen von Mineralölprodukten</b>					
54401	Synthetische Kühl- und Schmiermittel	+	-	K	-	g
54402	Bohr- und Schleifölemulsionen und Emulsionsgemische	+	-	K	-	g
54408	Sonstige Öl-Wassergemische	+	-	K	-	g
<b>547</b>	<b>Mineralölschlämme</b>					
54702	Ölabscheiderinhalte (Benzinabscheiderinhalte)	+	-	K	-	g
54710	Schleifschlamm, ölhaltig	-	-	K	-	g
<b>549</b>	<b>Sonstige Abfälle von Mineralölprodukten und aus der Kohleveredelung</b>					
54926	Gebrauchte Ölbindematerialien	-	-	K	-	
<b>582</b>	<b>Textilien verunreinigt</b>					
58201	Filtertücher, Filtersäcke mit anwendungsspezifischen schädlichen Beimengungen vorwiegend (organisch)	-	-	K	-	g
58202	Filtertücher, Filtersäcke mit anwendungsspezifischen schädlichen Beimengungen vorwiegend (anorganisch)	-	-	K	K	g
58208	Filtertücher, Filtersäcke mit anwendungsspezifisch nicht schädlichen Beimengungen	-	-	K	K	g
<b>593</b>	<b>Laborabfälle und Chemikalienreste</b>					
59305	Laborabfälle und Chemikalienreste	-	-	K	-	g
<b>941</b>	<b>Schlämme aus der Wasseraufbereitung</b>					
94101	Sedimentationsschlamm	-	-	-	K	
94103	Schlamm aus der Eisenfällung	-	-	-	K	

+: für das Behandlungsverfahren geeignet, Konditionierungserfordernis nicht ausgeschlossen

-: für das Behandlungsverfahren nicht geeignet

K: Konditionierung erforderlich.

#### Begriffsbestimmungen lt. ÖNORM S 2100

(K): Konditionierung

(C/P): **chemisch/physikalische Behandlung:** Behandlung des Abfalls mit chemisch-physikalischen Methoden mit dem Ziel, seine chemischen, physikalischen bzw. biologischen Eigenschaften zu verändern.  
Beispiele dafür sind: neutralisieren, fällen, extrahieren, reduzieren, oxidieren, desinfizieren.

(BB): **biologische Behandlung:** Behandlung des Abfalls mit biologischen Methoden mit dem Ziel, seine chemischen, physikalischen bzw. biologischen Eigenschaften zu verändern.  
Beispiele dafür sind: aerobe Behandlung (kompostieren, verrotten), anaerobe Behandlung (ausfaulen)

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

(D): **Deponierung:** (im Sinne der Deponieverordnung) langfristige, obertägige Ablagerung von Abfall.

## **4 RESTSTOFF- UND ABFALLMANAGEMENT – PROZESSBESCHREIBUNGEN DER WICHTIGSTEN TECHNOLOGIEN UND VERFAHREN**

Im folgenden Kapitel werden die wichtigsten Technologien und Maßnahmen für Recycling, Aufbereitung, Behandlung und Verwertung von Hüttenreststoffen und Hüttenabfällen beschrieben. Einige der beschriebenen Verfahren dienen einerseits der Abgasreinigung, und ermöglichen andererseits in Kombination mit Zusatzaggregaten ein Recycling von Reststoffen und Abfällen. Grundsätzlich ist man bestrebt, soweit möglich bestehende metallurgische Prozesse für die Reststoffverwertung zu nutzen.

### **4.1 Prozessintegrierte Massnahmen zur Reststoff- und Abfallvermeidung**

Im folgenden Kapitel werden prozeßintegrierte Verfahren und Maßnahmen zur Reststoff- und Abfallvermeidung beschrieben. Prozeßintegriert in diesem Zusammenhang heißt, daß die anfallenden Reststoffe und Abfälle wieder in Primärprozesse der Eisen- und Stahlindustrie (z. B. Sinteranlage, Hochofen, etc.) rückgeführt werden können. Reststoff- und Abfallvermeidung in diesem Zusammenhang bezieht sich primär auf die Verringerung des resultierenden Abfall- und Reststoffanfalls durch den Wiedereinsatz. Einige der Verfahren fungieren auch als integrierte Senke für Begleitelemente (z. B. Schwermetalle), die regelmäßig aus dem Gesamtprozeß ausgeschleust werden. Durch Reduktion der Begleitelemente kann die Bildung von Emissionen reduziert bzw. vermieden werden (PCDD/F Vermeidung durch Abtrennung katalytisch wirkender Schwermetallkomponenten).

#### **4.1.1 Behandlung von Reststoffen und Abfällen über die Sinteranlage**

In einem integrierten Hüttenwerk spielt die Sinteranlage eine zentrale Rolle für das effiziente Reststoff- und Abfallmanagement (vgl. Abbildung 3.1-1). Durch die Rückführung von hütteninternen Reststoffe auf die Sinteranlage, können die in ihnen enthaltenen Wertstoffe (z. B. ihr Fe-Anteil) stofflich wiederverwendet und damit die Deponierung von Abfällen vermieden werden. Die Sinteranlage eignet sich für das Recycling einer Vielzahl an hütteninternen Reststoffen und Abfällen:

- Rückgut der Kokerei (Koksgrus)
- Rückgut aus dem Sinterprozeß
- Stäube aus der Abgasreinigung (Staub aus Sinterabgasentstaubung, Gichtgasentstaubung, Hallenentstaubung, Grobstäube der Primär- und Sekundärentstaubung des Stahlwerkes mit geringen Zn- und Pb-Gehalten)
- Rückgut des Hochofens (Koksabrieb, Rinneneisen)
- ölfreie Zunder (aus Strangguß, Kalt-, Warmwalzwerk)
- Walzzunderschlämme (bei geringem Ölgehalt)
- Rückgewonnene Wertstoffe aus der Schlackenaufbereitung (Feineisen).

Aus der Sicht des Umweltschutzes ist eine effiziente Rauchgasreinigung der Sinteranlage zur Verminderung der Emissionen an z. B. Dioxinen und Schwermetallen unbedingt erforderlich.

Grober Walzzunder mit einem Ölgehalt unter 1 % kann ohne Behandlungsschritt auf die Sinteranlage rückgeführt werden. Ölhaltiger feiner Walzzunder besteht aus einer Mischung aus Eisenoxiden, Wasser und Öl. Der Ölgehalt liegt zwischen 5-25 %. Ein Wiedereinsatz auf dem

Sinterband scheidet daher wegen der Gefahr von Bränden in den Filtern der Abgasreinigung und aufgrund möglicher Dioxinbildung aus. Walzunderschlamm muß daher vor seinem Wiedereinsatz in der Sinteranlage entölt werden [KLOSE et al., 1994].

#### 4.1.2 Das Zweischichtsinter-Verfahren

Wie bereits erwähnt bietet die Sinteranlage die beste Möglichkeit, die verschiedenen im integrierten Hüttenwerk anfallenden Reststoffe zu recyclieren. Problematisch wird allerdings die Rückführung von Abfällen mit hohen Ölgehalten (5-25 %) wie etwa jener Walzzunder, der bei der Erzeugung von Langprodukten anfällt. Hohe Ölgehalte in den Abfällen führen zu verstärkten organischen Emissionen (VOCs, PCDD/F) und stellen für einen Sinteranlagenbetreiber Probleme in bezug auf Elektrofilterbrand, Dioxinmissionen und sichtbare Abgasfahnen infolge von Kohlenwasserstoffaerosolen dar. Als wesentlicher Faktor für die Dioxinmissionen am Sinterband ist der Anteil an flüchtigen Kohlenwasserstoffen im Mischgut zu sehen.

Um die Rückführung und Behandlung von Abfällen mit hohen Ölgehalten zu ermöglichen und organische Emissionen zu vermindern, wurde eine spezielle Sinterprozeßführung, das sogenannte Zweischichtsinter-Verfahren entwickelt und großtechnisch realisiert (Abb. 4.1-1).

Beim Zweischichtsinter-Prozeß wird zunächst eine übliche Sintermischung auf den Rostbelag aufgegeben und gezündet. Eine zweite definierte Mischungsschicht aus ölhaltigen Walzzunder, Separationseisen (Feineisen) und Koksstäuben wird auf die erste Sinterschicht aufgegeben und zu einem späteren Zeitpunkt gezündet. Wesentlich dabei ist der Zeitpunkt zur Zündung der zweiten Mischungsschicht, um eine vollständige Entölung und maximale Umsetzung organischer Gaskomponenten (Cracken) in  $H_2O$  und  $CO_2$  zu gewährleisten.

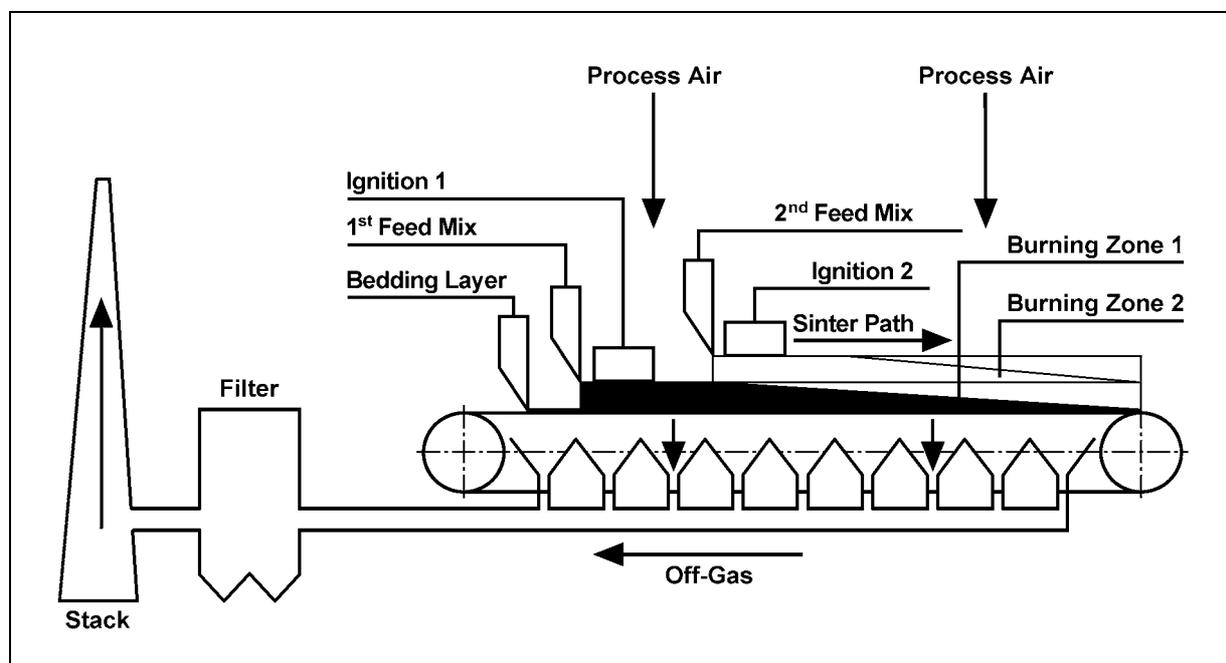


Abb. 4.1-1: Schematische Darstellung des Zweischicht-Sinterprozesses [VAI, 1994].

Der Zeitpunkt muß so gewählt werden, daß die Zündung der zweiten Sintermischung knapp vor dem thermischen Durchbrennpunkt der ersten Sinterschicht stattfindet. Beide Schichten glühen mit ihren Brennzonen von oben nach unten durch, wobei das Zunderöl der oberen Schicht verdampft und in der Brennzona der unteren nur schwach ölhaltigen Schicht vollständig verbrennt.

Durch diese Sinterprozeßführung gelingt es die organischen Emissionen zu vermindern, die in einem definierten Toleranzbereich praktisch unabhängig von der eingebrachten Menge an Zunderöl sind. Versuche bei der Thyssen Stahl haben gezeigt, daß der Wirkungsgrad der Ölverbrennung bei ca. 95 % liegt und damit wesentlich höher ist als bei der konventionellen Verfahrensführung. Aus Sicht des UBA ist die alleinige Ausrüstung einer Sinteranlage mit dem Zweischicht-Sinterverfahren zur Vermeidung von Dioxin- und Schwermetallemissionen nach dem Stand der Technik nicht ausreichend.

#### 4.1.3 Der AIRFINE®-Prozeß

Die Abgascharakteristik von Sinteranlagen ist abhängig von den spezifischen Einsatzstoffen und der Fahrweise. Die daraus resultierende Abgaszusammensetzung, Staubbeschaffenheit, Staubkonzentration und andere Abgasparameter können stark variieren. Dies stellt höchste Anforderungen an die Abgasreinigung von Sinteranlagen. Beispielsweise zeigten Untersuchungen bei der Sinteranlage der VA Stahl Linz (VASL) im wesentlichen folgende Ergebnisse:

- Die chemische Zusammensetzung der Staubteilchen besteht zu 50-70 % aus Alkalichloriden (NaCl, KCl), die aus Verunreinigungen der Erze resultieren.
- Die Korngrößenverteilung des Staubes zeigt, daß die Hauptkornfraktion im Größenbereich von 0,125-0,25 µm liegt (80 % < 1 µm). Dieser äußerst feinkörnige Staub bzw. die Aerosole lassen sich mit konventionellen Abgasreinigungsverfahren (z. B. Elektrofilter) nur schwer abscheiden.

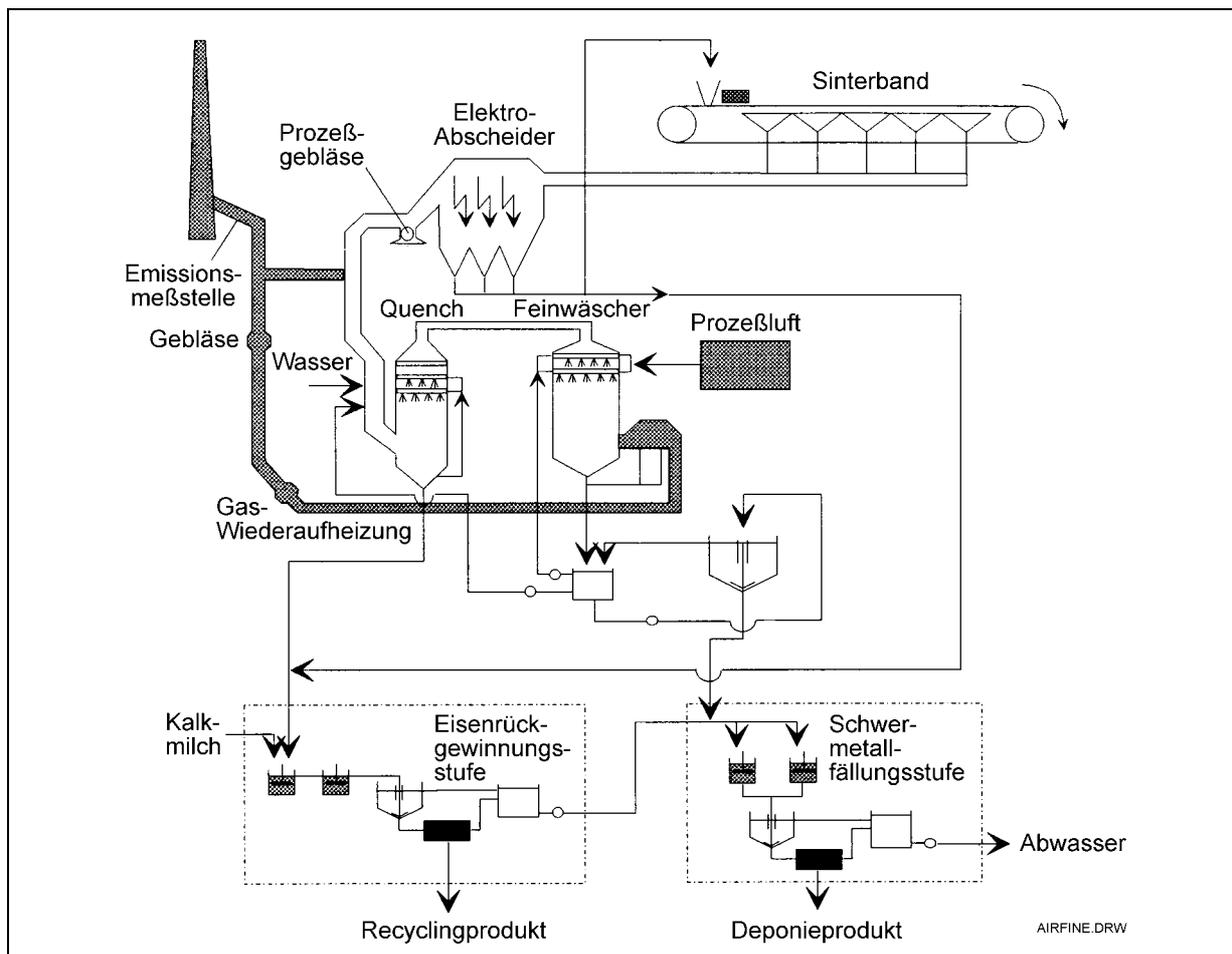


Abb. 4.1-2: AIRFINE – Verfahrensschema [GARA, 1994].

Beim *AIRFINE*<sup>®</sup>-Prozeß wird das Abgas zuerst in einem Quench durch Verdüsen von Nutzwasser bis zur Wasserdampfsättigung abgekühlt. Gleichzeitig erfolgt die Absorption saurer Gaskomponenten wie HCl und HF im Waschwasser und die Abtrennung der groben Staubpartikel (> 10 µm). Die Kernkomponente der Anlage bildet ein nachfolgender Feinwäscher, ausgestattet mit speziellen Zweistoffdüsen – für Druckluft und Wasser –, die für die effiziente Abscheidung von Partikeln im submikronen Bereich optimiert wurden. Das rezirkulierte Waschwasser reichert sich als Sole mit den abgeschiedenen Abgaskomponenten an. Die Sole enthält recycelbare Wertstoffe wie Eisenoxide, Kohlenstoff und Siliziumverbindungen, aber auch Schwermetalle und Salze. Ein Teilstrom wird regelmäßig ausgeschleust und in einer Abwasserreinigungsanlage (ARA) gereinigt.

Die zweistufige ARA besteht aus einer Eisenrückgewinnungs- und Schwermetallfällungsstufe. In der Eisenrückgewinnungsstufe werden eisenhaltige Verbindungen durch Zugabe von Kalkmilch ausgefällt. Der abgepresste Filterkuchen wird auf das Sinterband zurückgeführt. In einer zweiten Stufe wird Sulfat als Gips ausgefällt, der die abgetrennten Schwermetalle in Form von Hydroxiden und Sulfiden enthält. In dieser Form sind Schwermetalle in Wasser schwerlöslich. Eine zusätzliche Immobilisierung mit hüttenwerkseigenen LD-Schlacken erlaubt eine Oberflächendeponierung der Abfälle unter Einhaltung entsprechender Eluatklassen. Um die resultierenden Abwassermengen zu reduzieren besteht auch die Möglichkeit, das gereinigte Abwasser unter Abwärmenutzung zu verdampfen.

*AIRFINE*<sup>®</sup> ist eine effiziente Feinentstaubung (feinste Partikel und Aerosole im Korngrößenbereich deutlich unter 1 µm) bei simultaner Reinigung anderer gasförmiger Verunreinigungen gewährleistet. Zu den wesentlichen Eigenschaften des Verfahrens zählen:

- Reduktion von Schadstoffemissionen bereits an der Quelle (z. B. PCDD/F Vermeidung durch Ausschleusen katalytisch wirkender Schwermetallkomponenten)
- Hoher Entstaubungsgrad feinsten Partikel im submikron Bereich (Staub < 30 mg/Nm<sup>3</sup>)
- Simultane Abgasreinigung, insbesondere HCl, HF, Schwermetalle. Bis zu 90 % Reduktion organischer Emissionen.
- Integriertes Reststoffverwertungs- und Abfallentsorgungskonzept mit bis zu 90 % Recyclingrate des Fe-hältigen Staubanteiles im Sinterprozeß und sicherer Immobilisierung nicht verwertbarer Abfälle.
- Erhöhung der Flexibilität in der Betriebsweise und Verfügbarkeit für Sinteranlagen. Die Anwendung des *AIRFINE*<sup>®</sup>-Verfahrens zur Abgasreinigung erlaubt auch den Einsatz von minderwertigen Rohstoffen sowie Hüttenwerksreststoffen und -abfällen auf dem Sinterband bei äußerst niedrigen Emissionswerten.

Die Flexibilität des Abgasreinigungssystems erlaubt eine gute Anpassung an veränderte Abgascharakteristika, wodurch eine Adaptierung auf andere Sinteranlagen gewährleistet scheint. Ein zukunftsweisendes Abgasreinigungs- und Reststoffverwertungskonzept wie dies durch *AIRFINE*<sup>®</sup> großtechnisch realisiert und erprobt ist, steht damit auch im Einklang mit der zunehmenden Bedeutung von Sinteranlagen als Behandlungsanlage von hütteninternen Reststoffen und Abfällen.

Die erste großtechnisch realisierte *AIRFINE*<sup>®</sup>Anlage wurde im August 1993 bei der VA Stahl Linz in Betrieb genommen. Mittlerweile werden weitere Sinteranlagen (u. a. Hoogovens in den Niederlanden) mit dem *AIRFINE*<sup>®</sup>-Verfahren nachgerüstet.

Eine Nachrüstung der VOEST in Donawitz ist aus der Sicht des Umweltbundesamtes ebenfalls erforderlich und zu forcieren.

#### 4.1.4 EOS (emission optimized sintering)

Wie der AIRFINE® Prozeß dient auch der EOS-Prozeß (emission optimized sintering), einem von der Firma LURGI in Deutschland entwickelten Verfahren, dem Zweck, die Emissionen des Sinterprozesses zu vermindern. In Abb. 4.1-3 ist das Grundprinzip dargestellt. Durch teilweise Rückführung des Abgases in die Sinteranlage wird das bei der Sinterung entstehende Abgasvolumen deutlich reduziert (40-60 %).

Durch die Verringerung der resultierenden Abgasmenge reduziert sich auch der Aufwand für eine nachgeschaltete Abgasreinigung. Der für die Sinterung benötigte Sauerstoff wird entweder aus der Luft, direkt als Sauerstoff oder aus einem Luft-Sauerstoffgemisch gewonnen. Durch Beimischung von reinem Sauerstoff zum rückgeführten Gasstrom ist die Volumenreduktion des Abgases mit bis zu 40-60 % am größten. Das Kohlenmonoxid wird zum größten Teil zusammen mit dem rückgeführten Gas in die Sinteranlage zurückgeleitet und verwertet. Dies führt zu einer Verminderung des Kohleeinsatzes. Das EOS-Verfahren wurde bereits großtechnisch bei Hoogovens in den Niederlanden realisiert. Eine Kombination aus dem EOS und dem AIRFINE® Prozeß erlaubt eine verbesserte Abgasreinigung und Reststoff- und Abfallbehandlung für Sinteranlagen.

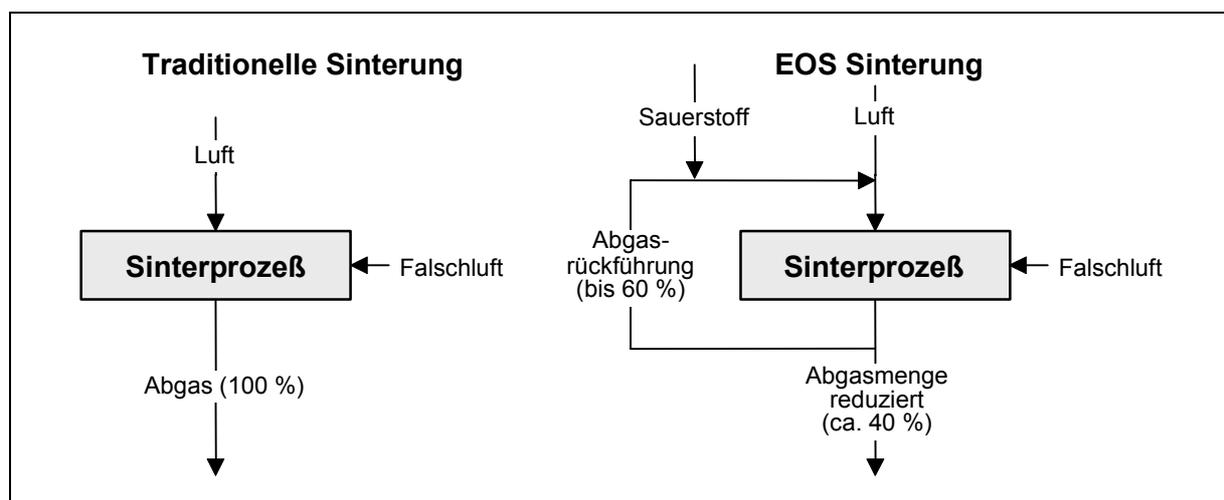


Abb. 4.1-3: EOS-Verfahrensschema [STROHMEIER, 1993].

#### 4.1.5 Behandlung von Reststoffen und Abfällen über den Hochofen

Als Reststoffe und Abfälle, die über den Hochofen rückgeführt bzw. verwertet werden können, eignen sich Kohlenstaub, Schweröl und Kunststoffe. Auch ölhaltige Schlämme mit hohem Eisenanteil werden auf deren Eignung als möglicher Einsatzstoff hin untersucht.

Das Einblasen von Kohlenstaub (ca. 50-70 kg/t Roheisen) und Schweröl (ca. 30 kg/t Roheisen) in den Hochofen ist Stand der Technik und ersetzt Koks als Brennstoff. Die Verringerung des Koksbedarfs führt in Konsequenz auch zu einer Reduktion der anteiligen Emissionen bei der Kokserzeugung, die im Sinne einer Gesamtbetrachtung zu einer Umweltentlastung führen.

Im Zuge der Behandlungsproblematik von Kunststoffabfällen werden bei einigen Stahlwerksbetreibern in Deutschland nun Versuche durchgeführt, Kohlenstoffträger durch Kunststoffabfälle zu ersetzen [WIRSING, 1996].

Die Stahlwerke Bremen GmbH haben ein Verfahren entwickelt, bei dem Kunststoffteilchen (Größe von 1-10 mm) in den Windstrom des Hochofens eingeblasen werden. Die Versuche

haben gezeigt, daß sich Kunststoffabfälle als Ersatz für andere Kohlenstoffträger eignen. Messungen im Versuchsbetrieb der Stahlwerke Bremen haben weiters ergeben, daß sich durch den Kunststoffeinsatz keine Verschlechterung der Emissionswerte im Gichtgas des Hochofens ergeben [LINDENBERG et al.]. Sowohl mit als auch ohne Kunststoffeinsatz lagen die Emissionswerte unter den entsprechenden Grenzwerten der TA-Luft. Die Stahlwerke Bremen errichten derzeit eine großtechnische Anlage für die Kunststoff-Einblasung mit einer Kapazität von ca. 70.000-80.000 t/a.

Gemischte Kunststoffabfälle haben allerdings den Nachteil, daß sie bedingt durch den PVC-Anteil einen hohen Chlorgehalt aufweisen und prinzipiell die Gefahr der PCDD/F Bildung bestehen könnte. Untersuchungen haben jedoch gezeigt, daß aufgrund der stark reduzierenden Atmosphäre im Hochofen eine Dioxinbildung weitgehend auszuschließen ist [LINDENBERG et al.].

Der Chlorgehalt der Kunststoffe führt zu Chloremissionen, die in der Abgasreinigung Salzsäure bilden können. HCl liegt im Waschwasser der nassen Gichtgasreinigung gelöst vor. Die korrosive Wirkung der Säure wirkt auch auf das Abgasreinigungssystem. Als Gegenmaßnahmen kann der Zusatz von Natronlauge zum Waschwasser und die Beschichtung der Innenwände des Abgasreinigungssystems vorgenommen werden.

Der Einsatz von Kunststoffabfällen als Substitut für andere Kohlenstoffträger ist soweit bekannt in naher Zukunft nicht geplant.

#### 4.1.6 Lurgi-Thyssen (LT)-Prozeß

Der Sauerstoffkonverter (siehe Kapitel 2.7) stellt eine wichtige Senke für Schwermetallverunreinigungen dar, die vorwiegend als Begleitelemente des eingesetzten Schrott eingebracht werden. Deshalb wird eine effiziente Abgasreinigung mit Staubrückführung angestrebt, um eine Deponierung der Zn-reichen Stäube zu vermeiden.

Wie in Kapitel 2.7 beschrieben stellt der LT-Prozeß ein modernes, integriertes Lösungskonzept für die Abgaskühlung, -reinigung und Konvertergasgewinnung von Blasstahlwerken dar. Grundprinzip des Prozesses ist die Abscheidung der Staubpartikel in einem Elektrofilter und die Rückgewinnung des CO-haltigen Konvertergases, welches als hochwertiger Energieträger in der Hütte genutzt werden kann. Abb. 4.1-4 zeigt ein Verfahrensschema des LT-Prozesses. Die Abgasreinigung erfolgt in einem zweistufigen Prozeß mit Grob- und Feinentstaubung. Die Grobentstaubung wird üblicherweise als Verdampfungskühler ausgelegt, der als Schwerkraftabscheider für die grobe Staubfraktion dient. Die Feinentstaubung erfolgt in zylindrisch ausgeführten Elektrofiltern. Durch diese beiden Verfahrensstufen wird ein Entstaubungsgrad des Konvertergases von über 99 % erreicht.

Der abgeschiedene Staub (ca. 15 bis 20 kg/Tonne Rohstahl) besteht vor allem aus Fe und ist mit Zn und Pb angereichert. Aufgrund des hohen metallischen Eisengehaltes eignet sich der Staub zum Wiedereinsatz im Konverter als Ersatz für Schrott und Kühlerz. Um einen direkten Einsatz im Konverter zu ermöglichen, muß der Filterstaub agglomeriert werden.

Dazu wird der Staub in einem Drehrohrofen unter inerte Atmosphäre, einer sogenannten *Heißbrikettierungsanlage* (siehe Kapitel 4.2.1), zu Staubbriketts verarbeitet. Durch eine wiederholte Rückführung der Briketts in den Konverter steigen der Zinkgehalt und der Bleigehalt im Staub. Bei der VA Stahl Linz konnte dieses Verfahren optimiert werden, um eine optimale Rückführung des Staubbriketts, der Aufkonzentration von Zn im Staub bis zu 20 % Zn-Gehalt und der regelmäßigen Ausschleusung der Zn-reichen Staubfrachten zu gewährleisten. Damit ist es gelungen den Staubkreislauf praktisch komplett zu schließen und eine Deponierung zu vermeiden, da der mit Zn angereicherte Staub (>20 %) als Wertstoff außerhalb der Hütte für die Zinkgewinnung weiterverarbeitet werden kann.

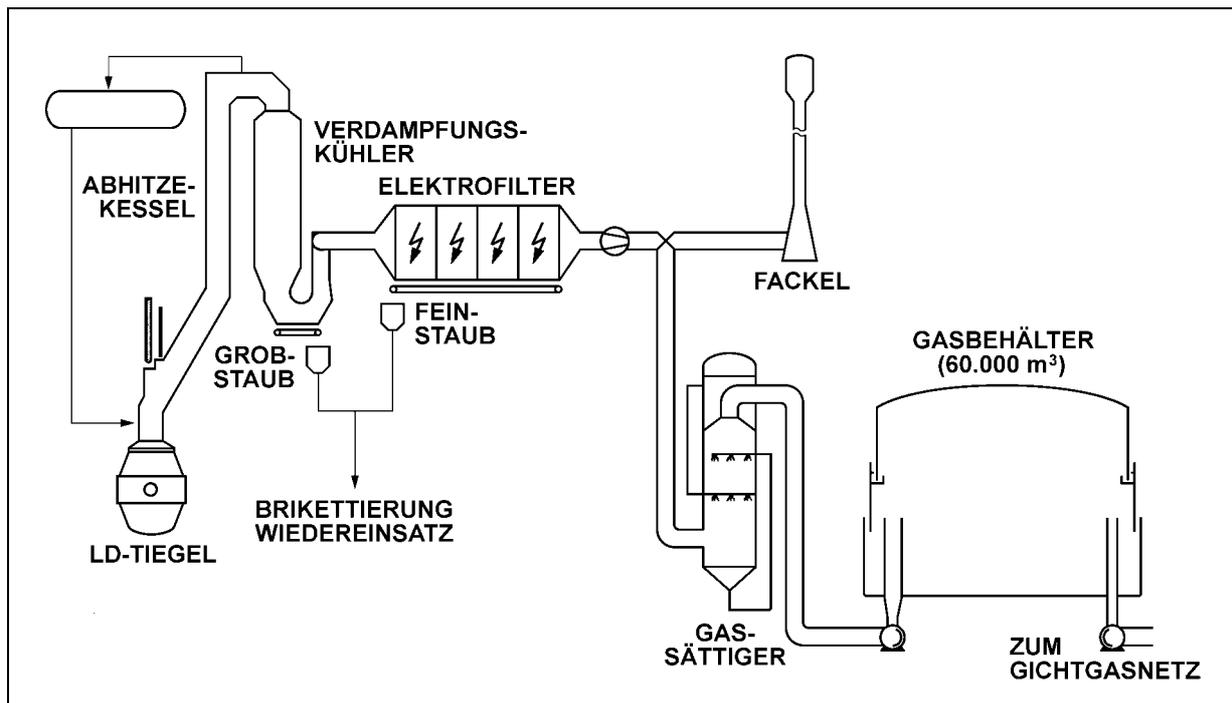


Abb. 4.1-4: Verfahrensschema des Lurgi-Thyssen (LT)-Prozesses [VA STAHL, 1993].

#### 4.1.7 Einblasen von Stahlwerkstäuben über den Konverterboden

Dieses Verfahren erlaubt die Rückführung von Filterstäuben aus der Konverterabgasreinigung ohne zwischengeschalteten Aufbereitungsschritt (Brikettierung). Da das direkte Staubeinblasen in den Konverter nicht möglich ist, erfolgt die Einbringung gemeinsam mit den Zuschlagsstoffen über den Konverterboden direkt in die Schmelze. Sowohl der Konvertergrob- als auch -feinstaub werden mit Hilfe einer Fördereinrichtung dem Spülgas für die Bodendüse ( $N_2$ , Ar) beigemischt. Auch bei diesem Verfahren kommt es zu einer Zink-Anreicherung in der Schmelze.

Bei der Georgsmarienhütte in Deutschland wurde der Einfluß der Staubeinblasung auf die Konverterschmelze im Detail untersucht [GECK, 1989]. Ermittelt wurden charakteristische Kennwerte der Stahlerzeugung im KMS-Konverter (kombiniertes Sauerstoffblasverfahren) mit und ohne Einblasung von Konverterstäuben, bezogen auf eine Tonne Rohstahl (Tab. 4.1-1).

Der Zn-Gehalt der eingeblasenen Stäube lag bei ca. 2 %. Verfahrenstechnisch ergaben sich keine Probleme.

Die Untersuchungen haben gezeigt, daß beim Einblasen von Konverterstaub ein höherer Wärmebedarf notwendig ist (bedingt durch die Verdampfung von Zn), der durch eine größere Einsatzmenge von Koks gedeckt werden muß. Entsprechend muß auch eine höhere Sauerstoffmenge eingeblasen werden.

Tab. 4.1-1: Spezifische Kennziffern der Stahlerzeugung mit und ohne Einblasen von Konverterstäuben [GECK et al., 1989].

	ohne Einblasen	mit Einblasen
Eingeblasene Staubmenge	–	30,7 kg
Flüssiges Roheisen	634 kg	622 kg
Braunkohlenkoks	77,3 kg	93,3 kg
Sauerstoff	121,3 m <sup>3</sup>	133,1 m <sup>3</sup>
Stickstoff	26 m <sup>3</sup>	27,3 m <sup>3</sup>
Ausbringung flüssiger Rohstahl <sup>1)</sup>	87,90 %	89,90 %
gewonnenes Konvertergas	1,29 GJ	1,44 GJ

<sup>1)</sup> Unter Ausbringung ist das Verhältnis der ausgebrachten Menge an Rohstahl zum entsprechenden Schrott- und Roheiseneinsatz zu verstehen (ohne Berücksichtigung des Staubeinsatzes).

#### 4.2 Verfahren zur hütteninternen Behandlung von Stäuben, Schlämmen und Walzzunder

Eisenhaltige Hüttenreststoffe und -abfälle, die aufgrund ihrer physikalischen bzw. chemischen Beschaffenheit nicht direkt in die metallurgischen Primärprozesse rückgeführt werden können, müssen vor dem Wiedereinsatz einer Behandlung bzw. Aufbereitung unterzogen werden.

Zu diesen Reststoffen und Abfällen zählen insbesondere

- Filterstäube mit hohen Zn-Konzentrationen
- Schlämme (Gichtgasschlamm, Konverterschlamm)
- ölhaltiger Walzzunder (>1-2 % Ölanteil).

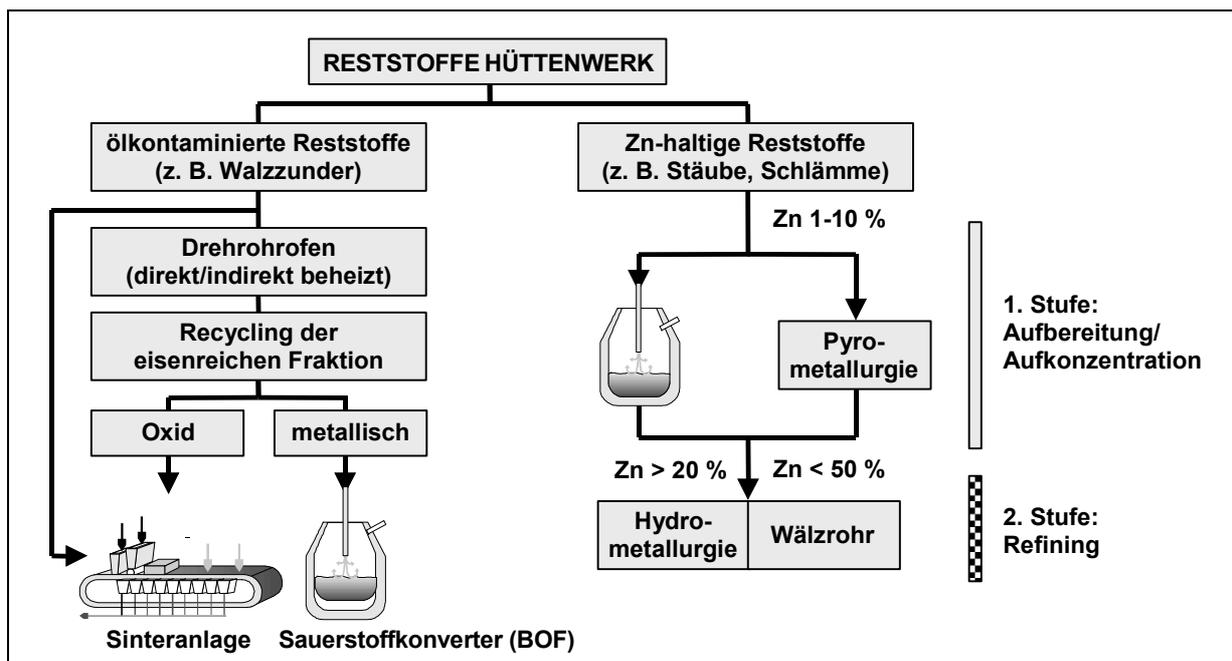


Abb. 4.2-1: Verfahrensrouten für die integrierte Reststoff- und Abfallbehandlung im Überblick: Aufbereitung und Behandlung von Stäuben, Schlämmen und Walzzunder [GEBERT, GARA et al., 1994].

#### 4.2.1 Heißbrikettierung

Um einen Wiedereinsatz des im LT-Prozeß anfallenden Grob- und Feinstaubes, als Ersatz für Schrott und Kühlerz, im Konverter zu ermöglichen, müssen diese zu Briketts agglomeriert werden. Grob- und Feinstaub unterscheiden sich im wesentlichen durch den Metallisierungsgrad (vgl. Tab. 2.7-3). Grobstaub ist zu etwa 70 % metallisiert und besteht aus kugelig, massiven Partikeln, während Feinstaub zu etwa 20 % metallisiert, eher porös ist und höhere Zn-Konzentrationen (1,5-3 %) enthält.

Für die Brikettierung gibt es zwei Verfahrensvarianten: die gleichzeitige Beschickung von Grob- und Feinstaub (Lurgi-Variante) bzw. die getrennte Beschickung (Thyssen-Variante).

Bei der Lurgi-Variante werden der Grob- und Feinstaub auf einem Transportband gemischt, in einem indirekt beheizten Drehrohrofen auf ca. 700°C erhitzt und anschließend in einer Brikettierpresse zu Briketts verpreßt (Abb. 4.2-2). In dieser Form können sie im Konverter wieder eingesetzt werden. Um eine Reoxidation des metallischen Eisenanteiles beim Aufheizen zu verhindern, muß die Heißbrikettierung unter inerter Atmosphäre erfolgen. Ein hoher Metallisierungsgrad reduziert den Energieaufwand für die Eisenoxidreduktion im Konverter.

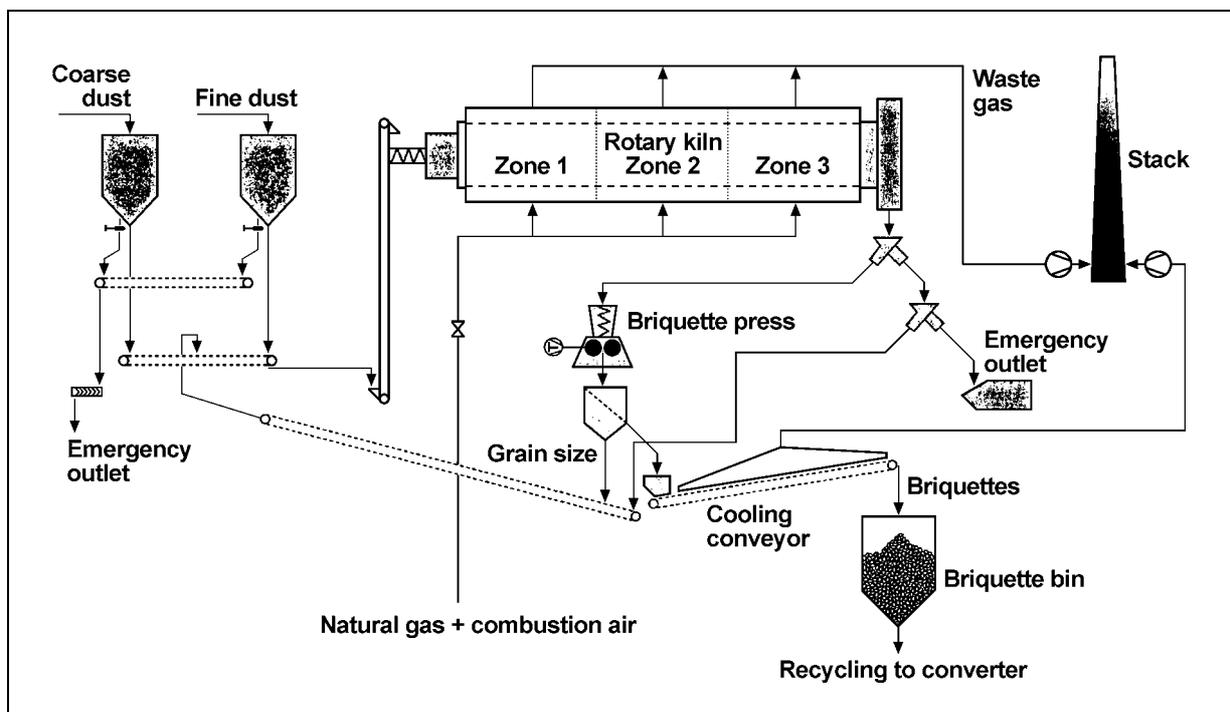


Abb. 4.2-2: Schematische Darstellung der Heißbrikettierung [VAI, 1994].

Durch die wiederholte Rückführung der Briketts in den Konverter steigen der Zink- und der Bleigehalt im Staub kontinuierlich an. Es findet eine Aufkonzentration von Zn im Staub bis zu 17-35 % statt (Tab. 4.2-1). Um den Zn-Gehalt konstant zu halten (ca. 18-20 %), muß ca. 6 % der Gesamtmenge der Zn-reichen Staubfrachten regelmäßig ausgeschleust werden. Dieser mit Zn angereicherte Staub (>20 %) kann als Sekundärrohstoff außerhalb des Hüttenwerkes in einer NE-Metallhütte für die Zinkgewinnung weiterverarbeitet werden. Die Rückführung der Briketts ist allerdings mit erhöhtem Energieverbrauch im Schmelzaggregat verbunden (Reduktion und Verdampfung von Zink und Blei).

Die Kombination aus dem LT-Prozeß mit einer Heißbrikettierung zur Staubrückführung ermöglicht eine vollständige Verwertung der anfallenden Filterstäube als Sekundärrohstoff.

Tab. 4.2-1: Chemische Zusammensetzung von Staubbriketts [VA STAHL LINZ GMBH].

Inhaltsstoffe	in M %
Fe <sub>gesamt</sub>	30,0-50 %
FeO	20,0-30 %
Fe <sub>metallisch</sub>	5,0-15 %
SiO <sub>2</sub>	1,0-2 %
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,1-0,3 %
CaO	12-17 %
MgO	0,5-1,5 %
MnO	1,0-2 %
Pb	2-5 %
Zn	17-35 %
Na <sub>2</sub> O	0,5-0,7 %
K <sub>2</sub> O	0,8-2,5 %
Cl	0,5-2 %

#### 4.2.2 Konverterschlammrückführung (OG-Prozess)

Mehr als 90 % aller Konverter weltweit werden naß auf Basis von Venturi-Wäschern entstaubt. Damit verbunden ist der Anfall von großen Mengen an Konverterschlämmen, die bisher nicht behandelt wurden und daher deponiert werden mußten – einer der wesentlichen Nachteile aller Naßwäschersysteme. Seit Anfang der 90er Jahre wurden erste Versuche zur Behandlung dieser Abfälle durchgeführt. Ergebnis ist ein neuer Prozeß zur effektiven Rückführung von Konverterschlämmen in den BOF. Das Grundprinzip ist in Abb. 4.2-3 dargestellt. Der Konverterschlamm wird aus dem Sedimentationsbecken zuerst in einer Filterpresse entwässert und unter Beigabe von gebranntem Kalk und anderen Zuschlagstoffen als Bindemittel agglomeriert (ca. 25 % freier Wassergehalt). Eine weitere Trocknung und Abtrennung von nichteisenhaltigen Komponenten (Zn, Pb, Alkalien) erfolgt in einem Drehrohrföfen. Der granuliert eisenreiche Reststoff kann danach wieder in den BOF rückgeführt und eine Deponierung vermieden werden. Großtechnische Betriebserfahrungen liegen noch nicht vor.

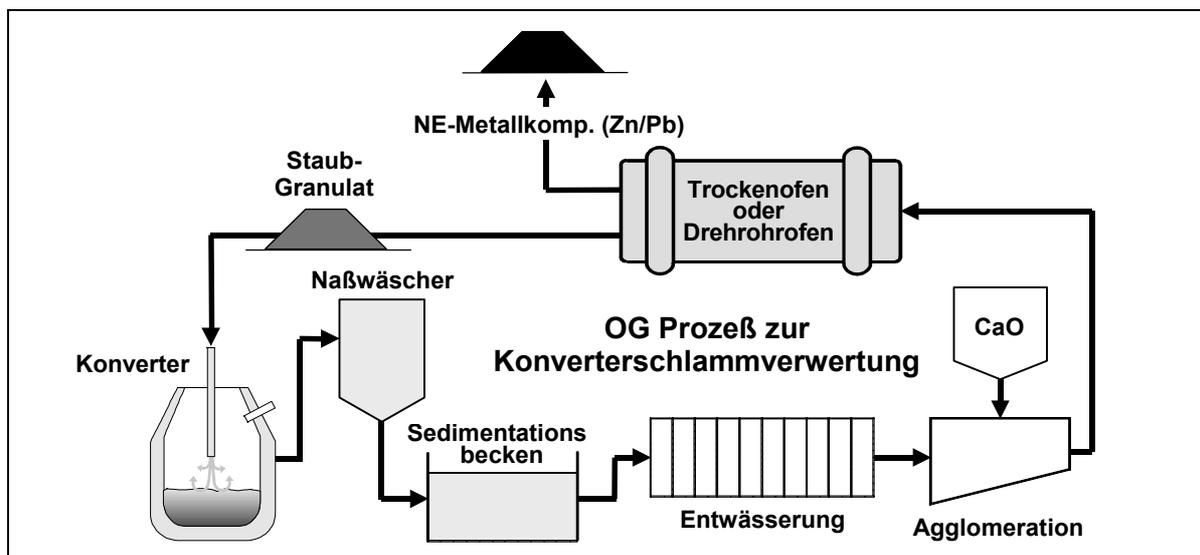


Abb. 4.2-3: Verfahrensschema des OG-Prozesses zur Konverterschlammrückführung [LEHNER et al., 1996].

### 4.2.3 Indirekt beheizter Drehrohrofen zur Entölung von Walzzunderschlamm

Ziel des Verfahrens ist die Trocknung und Entölung von Walzzunder(schlamm), um die Wiederverwendung der eisenhaltigen Abfälle in metallurgische Prozesse (Sinteranlage, BOF, EAF) zu ermöglichen.

Der Walzzunderschlamm wird in einen Drehrohrofen chargiert. Beim Transfer durch den Ofen wird der Schlamm bei ca. 450-550 °C getrocknet, wobei das Öl verdampft. Der Drehrohrofen wird mit Inertgas gespült um eine Kondensation der organischen Abgaskomponenten zu vermeiden. Die organischen Abgaskomponenten werden in einer Nachbrennkammer bei ca. 1.200 °C und Verweilzeiten von mehreren Sekunden vollständig verbrannt. Das entstehende heiße Abgas wird für die indirekte Beheizung des Drehrohrofens genutzt. Falls der Wärmeinhalt der Abgase für die Entölungsenthalpie nicht ausreicht, kann zusätzlicher Brennstoff in der Nachbrennkammer eingesetzt werden. Durch die indirekte Beheizung des Drehrohrofens wird eine oxidierende Atmosphäre im Drehrohr unterdrückt und damit die Oxidation der metallischen Reststoff- bzw. Abfallkomponenten vermieden. Daher können die entölten Reststoffe und Abfälle direkt behandelt werden (z. B. Sinteranlage). Da im indirekt beheizten Drehrohr keine Verbrennung stattfindet (sondern Verdampfen und Cracken) kommt es zu keinen lokalen Sinterungen und damit Verklumpungen von Reststoffen und Abfällen. Weitere Vorteile sind vergleichsweise geringere Abgasmengen und geringere Partikelbeladung des Abgasstromes [LEHNER, 1995]. Abb. 4.1-4 zeigt das Verfahrensschema eines direkt beheizten Drehrohrofens integriert in ein Anlagenkonzept mit einer Sinteranlage und AIRFINE® zur Abgasreinigung.

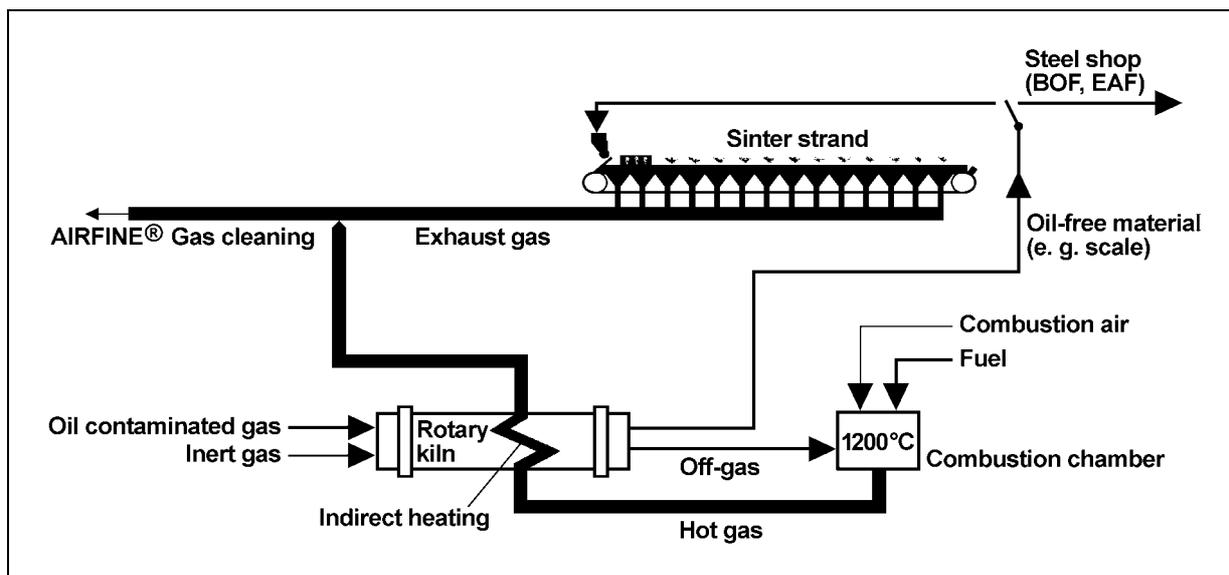


Abb. 4.2-4: Verfahrensschema des indirekt beheizten Drehrohrofens [LEHNER, 1995].

Großtechnische Betriebserfahrungen liegen für den indirekt beheizten Drehrohrofen noch keine vor. Ein mit Brenner *direkt beheizter Drehrohrofen* zur Behandlung von Walzzunderschlamm wird bei den Mannesmann Röhrenwerken in Mühlheim (D) eingesetzt. Die Jahreskapazität beträgt ca. 12.000 Tonnen.

### 4.2.4 Hydrozyklon-Verfahren

Wie erwähnt lassen sich Gichtgasschlämme aus der Hochofenreinigung aufgrund des hohen Nichteisenanteils (Zn, Pb, Alkalien) nicht direkt über die Sinteranlage wiederverwenden. Daher müssen Gichtgasschlämme bis heute größtenteils deponiert werden.

Die Zn/Pb-Konzentration hängt stark von der Korngröße des Gichtgasschlammes ab. Bei den kleinsten Partikel ( $< 5 \mu\text{m}$ ) ist die Zn-Konzentration deutlich höher als bei den groben Kornfraktionen. Aufbauend auf dieser Erkenntnis wurde ein hydromechanisches Verfahren entwickelt, das eine gezielte Korngrößenfraktionierung ermöglicht. Das sogenannte Hydrozyklon-Verfahren (Abb. 4.2-5) funktioniert nach dem Prinzip eines Luft-Zyklones, wobei Wasser als tragendes Medium eingesetzt wird.

Der Gichtgasschlamm wird unter Druck in die erste Hydrozyklonstufe gepumpt. Bedingt durch die turbulente Strömung und die herrschenden Zentrifugalkräfte werden die großen, schwereren Partikel an den Rand des Zyklones gepreßt, während die feinen leichten Partikel gegen die Achsenmitte strömen. Die konzentrierte Grobkornfraktion (mit geringem Zn-Gehalt  $< 0,4 \%$ ) strömt in den Unterlauf des Zyklons. Die Feinkornfraktion reichert sich im Überlauf an, wird abgeschieden, entwässert und deponiert (Zn-Gehalt ca. 3-10 %) (Tab. 4.2-2).

Tab. 4.2-2: Spezifische Einsatz- und Ausbringungsmengen eines einstufigen Hydrozyklon-Verfahrens [nach AUMONIER et al., 1995].

Input	Zusammensetzung Gichtgasschlamm	Output	Zusammensetzung	
			Grobfraktion	Feinfraktion
Fe	25-40 %	Fe	28-46 %	18-30 %
<b>ZnO</b>	<b>1,4-3,0 %</b>	<b>ZnO</b>	<b>0,2-0,5 %</b>	<b>3,0-10 %</b>
PbO	0,5-3,0 %	PbO	0,02-0,15 %	0,5-3,0 %
C	25-40 %	C	28-46 %	18-30 %

Durch Hintereinanderschalten mehrerer Zyklone (bis zu drei) kann die Separationsleistung weiter verbessert werden. Dabei wird die abgeschiedene Grobkornfraktion der ersten Stufe in den Hydrozyklon der zweiten Stufe gepumpt usw. Am Ende der letzten Stufe wird die resultierende Grobkornfraktion abgeschieden, entwässert und kann als Sekundärrohstoff über die Sinteranlage recycelt werden. Der rückgeführte Anteil beträgt damit ca. 75 % der Gesamtmenge an Gichtgasschlamm. Das Hydrozyklon-Verfahren wird bereits bei mehreren Stahlwerken (z. B. British Steel, Hoogovens/NL) erfolgreich großtechnisch eingesetzt [AUMONIER et al., 1996].

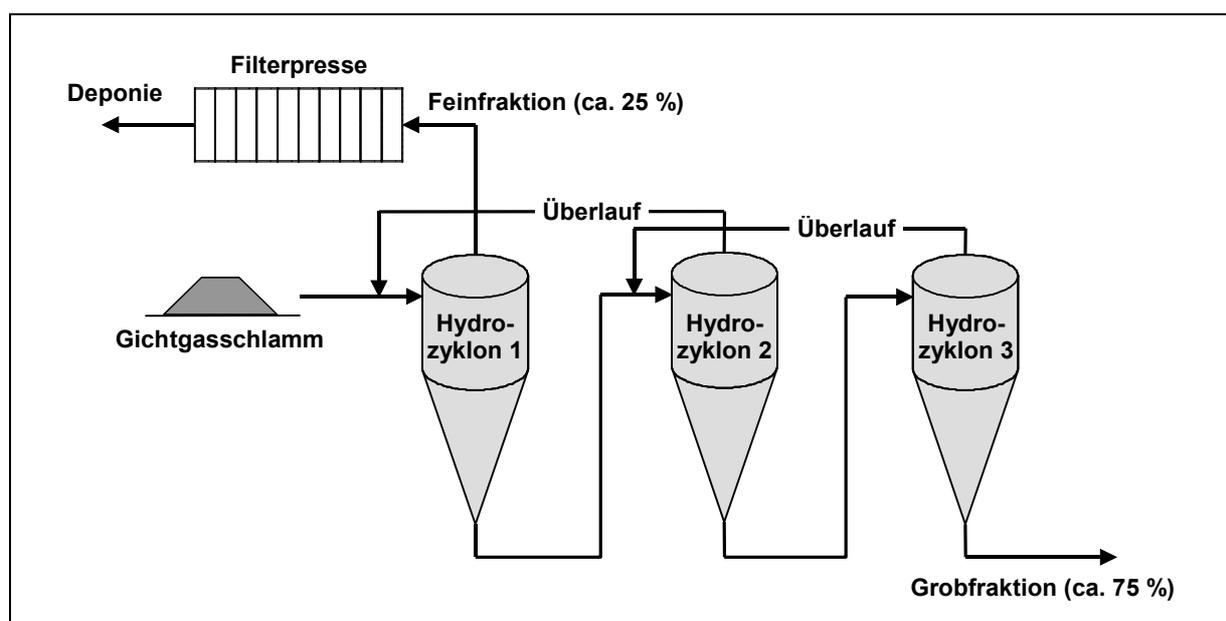


Abb. 4.2-5: Verfahrensschema des Hydrozyklon-Verfahrens [AUMONIER et al., 1996; PHILIPP, 1995].

#### 4.2.5 Carbofer-Verfahren und Behandlung von Stäuben im EAF

Der Carbofer<sup>®</sup>-Prozeß („Carbon“ und „Ferrite“) ist ein Verfahrenskonzept bei dem eine Mischung aus ölhaltigem Walzzunder, EAF-Staub, Kohlenstaub und Kalk über eine Einblasevorrichtung in ein EAF Schmelzaggregat eingeblasen und verwertet werden kann.

Eine typische Reststoffmischung besteht aus 30-75 % Walzzunder, 10-50 % Staub, 10-30 % Kohlenstaub und 3-5 % Kalk [SHAW, 1996]. Die Carbofer-Mischung kann auch in den Hochofen eingeblasen werden (ca. 50-100 kg Carbofer-Mischung pro Tonne Roheisen).

Bei Co-Steel Sheerness in England wurden bereits erfolgreiche Versuche in einem 100t EAF durchgeführt (6 Tonnen Carbofer-Mischung pro 100 Tonnen Charge). Durch die Injektion der Reststoffmischung über Blaselanzen in das ca. 1.400 °C heiße Stahlbad kommt es zu einer vollständigen Verbrennung der organischen Komponenten, ca. 70 % der Eisenfraktion kann wiederverwertet werden. Nachteilig wirken sich eine erhöhte Staub- und Schlackenbildung aus. Bei den Versuchen zeigten sich keine Qualitätseinbußen beim produzierten Stahl.

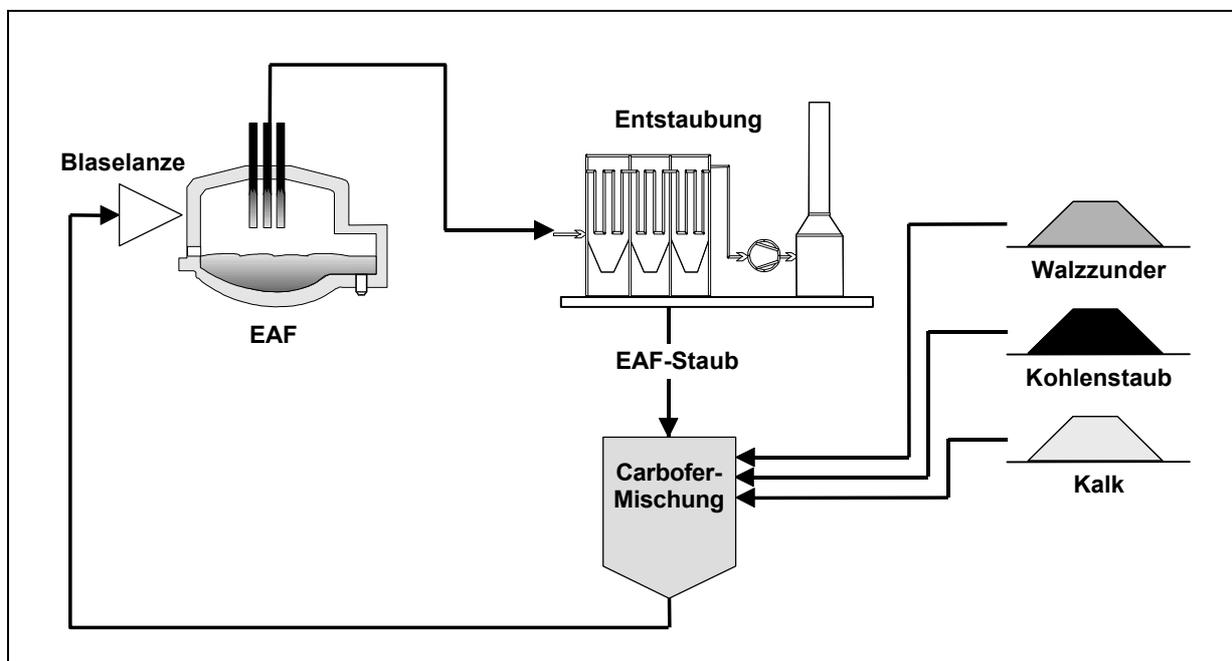


Abb. 4.2-6: Verfahrensschema des Carbofer-Verfahrenskonzeptes [nach SHAW, 1996].

Neben der speziellen Carbofer-Mischung gibt es eine Vielzahl von Pilotversuchen EAF-Staub direkt in das EAF-Schmelzaggregat einzublasen und damit den Zn-Gehalt > 30 % im Staub anzureichern und für die externe Behandlung in NE-Metallhütten aufzubereiten. Weiters gibt es Versuche, Mischungen aus Walzzunder und Öl in den Hochofen einzublasen [AUMONIER et al., 1996].

#### 4.2.6 Zirkulierende Wirbelschicht

Mit dem Verfahren der zirkulierenden Wirbelschicht sollen vor allem feinkörnige Reststoffe (Stäube, Schlämme) mit mittleren Zinkgehalten (1-10 %) so aufbereitet werden, daß die zinkreiche Fraktion (> 25 %) in einem nachfolgenden Wälzrohr weiter angereichert und den entsprechenden Verwertungswegen zugeführt werden kann. Die verbleibende eisenreiche Fraktion kann über die Sinteranlage rezirkuliert werden.

Grundprinzip des Verfahrens ist die selektive Reduktion der Nichteisenmetalloxide in einem zirkulierenden Wirbelbett bei hohen Temperaturen. Hauptaggregate sind der Wirbelschichtreaktor mit den Recycling-Zyklonen und der zur Gasreinigung eingesetzte Sprühturm.

Die fein vermahlene Einsatzstoffe werden seitlich im unteren Teil eines Wirbelschichtreaktors eingebracht, wobei gleichzeitig durch den Boden Luft eingeblasen wird. Die Feinheit der Teilchen garantiert eine sehr gleichmäßige Feststoffverteilung im Reaktor und bedingt einen beträchtlichen Feststoffaustrag mit dem Abgasstrom. Dieser Staub wird in den nachgeschalteten Heißzyklonen abgeschieden und dem Reaktor wieder zugeführt.

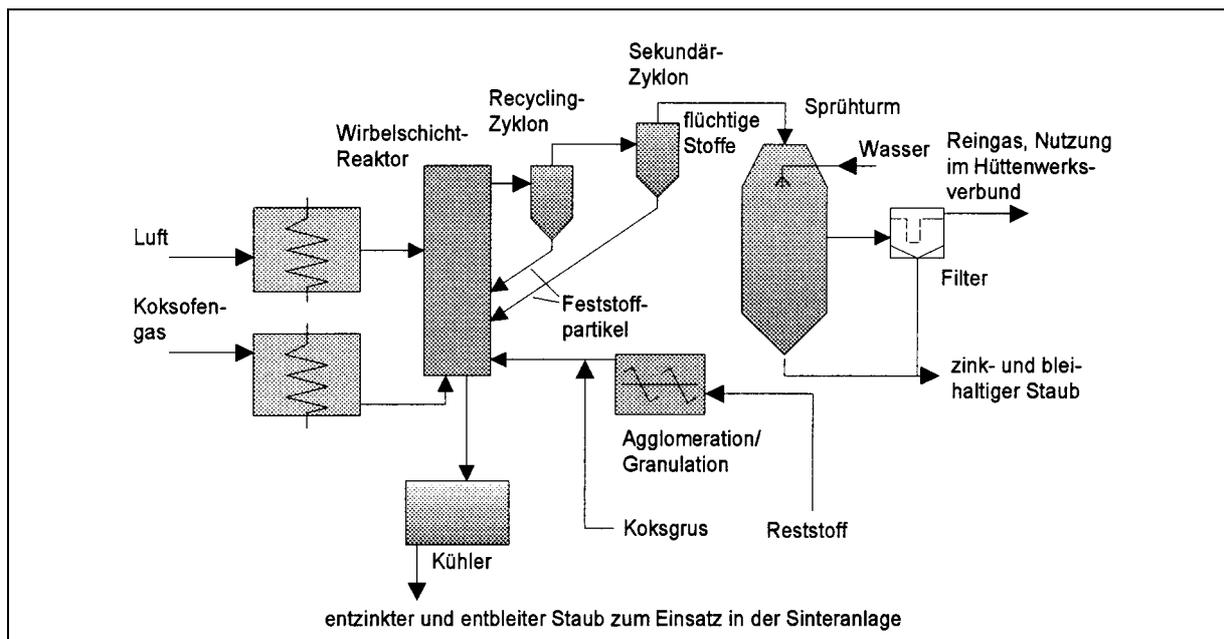


Abb. 4.2-7: Verfahrensschema der Zirkulierenden Wirbelschicht [nach RENTZ, 1995].

Als Reduktionsmittel dient Kohlenstaub, der entweder gemeinsam mit den Reststoffen und Abfällen oder über einen separaten Aufgabestutzen in den Wirbelschichtreaktor eingebracht wird. Das daraus entstehende Kohlenmonoxid dient der gewünschten Reduktion, wobei Zink, Blei, Kalium und Natrium verflüchtigt werden.

Die Temperatur im Reaktor darf 1000°C nicht überschreiten, da es sonst zum Verkleben teilreduzierter Partikel kommt, die nicht in der Wirbelschicht verbleiben können und ein Zuwachsen der Bodendüsen verursachen. Durch Zusatz von geringen Mengen Kalk als Trennmittel kann dieser Effekt reduziert werden.

Im Vergleich zu anderen Entzinkungsverfahren hat der Prozeß der zirkulierenden Wirbelschicht den Vorteil, daß er eine selektive Reduktion der leichtflüchtigen Elemente ohne vorherige Reduktion des im Reststoff beinhalteten Eisenoxides ermöglicht. Die selektive Reduktion der leicht flüchtigen Elemente wird ermöglicht durch die vorherrschende Ofenatmosphäre: CO/CO<sub>2</sub> Verhältnis von 1,0-1,5. Diese bewirkt einen wesentlich niederen Zink-, Blei-, Kalium- und Natriumpartialdruck, als dieser bei anderen Verfahrensvorschlägen liegt.

Als Produkte werden Eisenoxid und an Zink angereicherter Staub (ca. 25-35 % Zink-Gehalt) gewonnen. Ein großer Nachteil des Verfahrens (beim heutigen Entwicklungsstand) liegt darin, daß der Restzinkgehalt des Eisenoxids mit 0,3 % für eine Rückführung der eisenreichen Fraktion in den Hochofen zu hoch ist.

Da die Prozeßtemperatur auf 1.000 °C begrenzt ist besteht außerdem die Gefahr, daß in einer großtechnischen Anlage keine zufriedenstellenden Verflüchtigungsgrade erzielt werden können. Großtechnisch wurde das Verfahren der zirkulierenden Wirbelschicht noch nicht realisiert.

### 4.3 Verfahren zur hüttenexternen Aufbereitung von Stäuben, Schlämmen und Walzzunder

Neben den Prozessen und Maßnahmen, die eine Aufbereitung und den direkten Wiedereinsatz von eisenhaltigen Hüttenreststoffen und -abfällen in die metallurgischen Primärprozesse ermöglichen, gibt es Verfahren, die hüttenextern zur Behandlung von Hüttenreststoffen und -abfällen verwendet werden.

#### 4.3.1 Inmetco-Direktreduktionsverfahren

Der wichtigste Prozeß zur Behandlung eisenreicher Hüttenreststoffe und Hüttenabfällen ist der sogenannte Inmetco-Prozeß.

Seit Mitte der 70er Jahre betreibt die International Metals Reclamation Company (Inmetco) in Ellwood City (USA) eine Anlage zur Aufbereitung von Stäuben und anderen Reststoffen und Abfällen aus der Edelstahlindustrie der USA und Kanada. In dieser Anlage werden neben den Reststoffen und Abfällen aus der Rostfrei-Stahlerzeugung auch andere Reststoffe, wie chromhaltige Abwässer, Nickel-Cadmiumbatterien, Pfannenausbruch aus Stahlwerken oder Filterstäube aus Elektrostahlwerken unter Rückgewinnung der Wertstoffe verarbeitet.

Zu jenen Reststoffen und Abfällen eines integrierten Hüttenwerkes, die durch das Inmetco-Verfahren aufgearbeitet werden können, zählen:

- Gichtgasstäube (Feinstäube),
- Gichtgasschlämme aus der Naßreinigung,
- Stahlwerksstäube aus der Konverterabgasreinigung,
- Stahlwerksschlämme aus der Konverterabgasreinigung,
- Filterstäube aus der Abgasreinigung der Sinteranlage,
- Filterstäube aus Hallen- und Bunkerentstaubungen
- und ölhaltiger Walzzunder.

Der Prozeß besteht aus drei Verfahrensstufen, der Grünpelletherstellung, der Direktreduktion und der Weiterverarbeitung des Eisenschwammes (Abb. 4.3-1). Bei der Grünpelletherstellung wird eine Mischung der pelletierfähigen, feinkörnigen (oder feingemahlten) Reststoffe bzw. Abfällen unter Zusatz von Reduktions- und Bindemitteln auf einem Pelletierteller zu Grünpellets verarbeitet. Filterstäube können ohne Vorbehandlung eingesetzt werden, Filterschlämme müssen vorher getrocknet werden, grober (ölfreier) Walzzunder oder Feineisen werden vor dem Prozeß vermahlen. Als Reduktionsmittel kommen neben Kohle und Koks auch andere kohlenstoffhaltige Reststoffe und Abfälle zum Einsatz.

An die Grünpelletherstellung schließt die Reduktionsstufe an. Dazu werden die Grünpellets in dünner Schicht auf einem Drehherd chargiert und als ruhendes Bett durch die verschiedenen Temperaturbereiche transportiert. In der Aufheizzone werden die Grünpellets auf die Reduktionstemperatur von ca. 1.100 °-1.350 °C gebracht. In der Reduktionszone werden die Metalloxide durch den eingelagerten Kohlenstoff reduziert (bis zu 92 % Metallisierung).

Die Hochtemperaturreduktion des Eisenoxids bewirkt auch eine Reduktion der Reststoffkomponenten Zink, Blei und Cadmium sowie eine teilweise Verflüchtigung der Alkalien, Chloride und Fluoride. Die reduzierten Schwermetalle verdampfen in den Abgasstrom und werden dort wieder reoxidiert. Man erhält durch diese selektive Austreibung einen an Schwermetallen hoch angereicherten Sekundärstaub im Abgas, welcher als Konzentrat im Filter abgeschieden wird (Ausbringungsmenge für Zn ist ca. 99 %) und als Rohstoff für die Wiedergewinnung der Metalle in Metallhütten verwendet werden kann [BAUER et al., 1990].

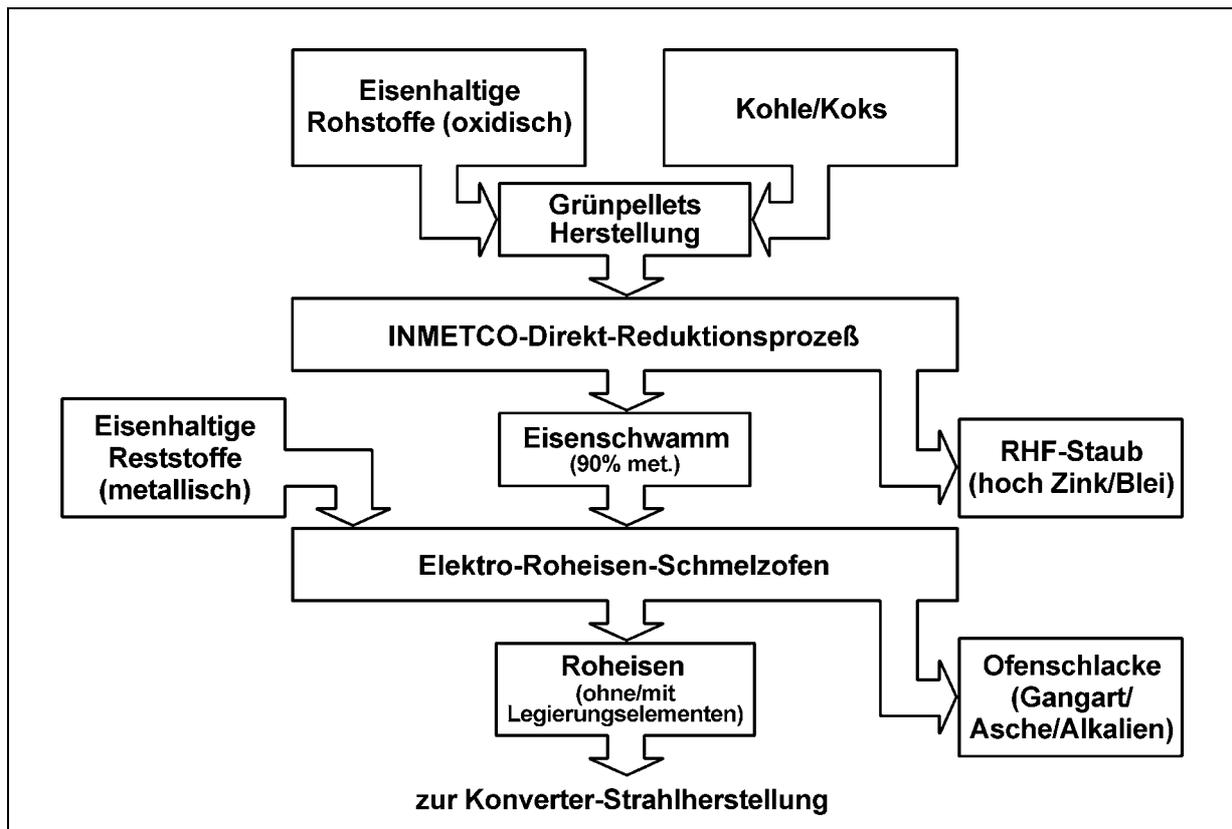


Abb. 4.3-1: Verfahrensschema des INMETCO-Direktreduktionsverfahrens [BAUER et al., 1990].

Es werden somit zwei Produkte erzeugt. Einerseits Eisenschwamm, der zu einem hohen Prozentsatz von Schwermetallen und weitgehend von Alkalien befreit ist und andererseits Sekundärstaub, dessen Schwermetallkonzentration (Zn/Pb) so hoch ist, daß er für die Weiterverarbeitung und Wiedergewinnung geeignet ist. Daneben fallen keine weiteren Nebenprodukte oder Reststoffe an, die entsorgt oder deponiert werden müßten. Die Beheizung des Drehherdes erfolgt mit radial angeordneten Gasbrennern. Die heißen Prozeßabgase werden zur Vorwärmung der Verbrennungsluft rückgeführt bzw. zur Dampferzeugung oder Vortrocknung der Reststoffe genutzt.

Die produzierten Eisenschwammpellets können verschieden weiterverarbeitet werden:

- Direkteinsatz im Elektro-Roheisenschmelzofen vor Ort (integrierte Roheisenschmelzung)
- Heißbrikettierung des Eisenschwamms und dezentrale Behandlung im LD-Konverter, EAF oder auch Hochofen (separate Roheisenschmelzung).

In einer INMETCO-Anlage mit Roheisenschmelzofen können bis zu 300.000 t/a Hüttenreststoffe zu 175.000 t/a Roheisen verarbeitet werden.

#### 4.3.2 Wälzverfahren

Der Wälzprozeß ist das am weitesten verbreitete Direktreduktionsverfahren. Es ist ein bereits seit Jahrzehnten bewährtes Verfahren der Nichteisenmetallproduktion (Aufbereitung von Zink- und Bleirückständen). Haupteinsatzgebiet in der Hüttenindustrie ist die Aufbereitung von Stäuben aus der Stahlerzeugung (BOF, EAF), die bereits einen hohen Zinkgehalt (über 20 %) aufweisen. Mit dem Wälzprozeß können allerdings nur Zn und Pb zurückgewonnen werden. Der Eisenanteil bleibt in der Schlacke gebunden und kann nicht weiterverwertet werden. In Abb. 4.3-2 ist das Verfahrensschema des Wälzprozesses dargestellt.

Die Reststoffe bzw. Abfälle (Stäube aus der Stahlerzeugung) werden ohne Vorbehandlung (oder als Pellets) gemeinsam mit Kohlenstaub oder Koksabrieb über ein Einlaufrohr in den Drehrohrofen eingebracht und durch Gas- oder Ölbrenner (Gegenstromprinzip) auf Temperaturen von 1.100 bis 1.250°C erhitzt. Die Drehbewegung des Ofenrohres bewirkt eine Durchmischung der Beschickung. Seine Neigung ermöglicht den selbständigen Transport.

In der Schüttgutmischung herrscht aufgrund der zugemischten Kohlenstoffträger und der relativ hohen Temperaturen eine reduzierende Atmosphäre vor. Zink und Blei verdampfen aus dem Schüttgut, reoxidieren im freien Gasraum und verlassen als feiner Flugstaub mit dem Abgasstrom den Drehrohrofen. Der Energiebedarf des Prozesses wird fast vollständig aus der Verbrennung des Kohlenmonoxids und der Metalldämpfe gedeckt. Das Abgas wird in einem Verdampfungskühler abgekühlt und in einem Elektrofilter gereinigt.

Der abgeschiedene Filterstaub, das sogenannte Wälzoxid, besteht vorwiegend aus hoch angereicherten Zink- (ca. 55 %) und Bleioxiden (ca. 11 %). Weiters fällt inerte Wälzschlacke an, die als Baustoff weitere Verwendung findet.

Der Nachteil dieses Verfahrens besteht vor allem darin, daß der Eisengehalt in der Wälzschlacke gebunden wird und damit nicht rückgewonnen werden kann.

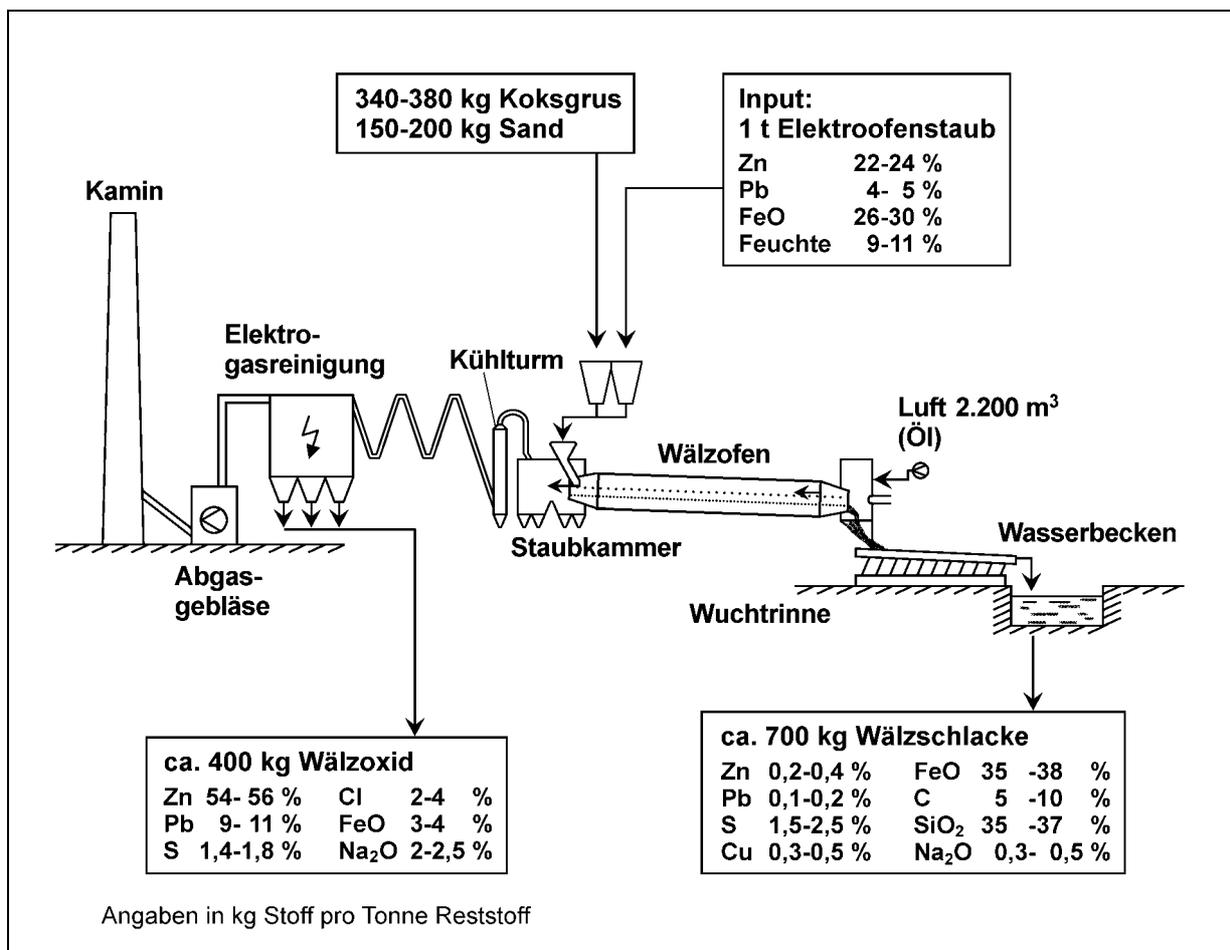


Abb. 4.3-2: Verfahrensschema des Wälzprozesses (Angaben in kg Stoff pro Tonne Reststoff) [PÜCHERT, 1995; HARP et al., 1990; STOHMEYER, 1993].

### 4.3.3 Hydrometallurgische Verfahren

In Tab. 4.3-1 sind die wichtigsten hydrometallurgischen Verfahren zur Aufbereitung von Stäuben (BOF, EAF) aufgelistet. Hydrometallurgischen Verfahren spielen in der Praxis allerdings eine untergeordnete Rolle, da die anfallenden Abfälle (eisenhaltige Rückstände) nach wie vor deponiert werden müssen. Die einzige großtechnisch realisierte Anlage, auf Basis der Cebedeau-Laugung steht in Frankreich (Kapazität: ca. 12.000 t/a).

Tab. 4.3-1: Überblick der wichtigsten Hydrometallurgischen Verfahren.

Verfahren	Prinzip	Produkt	Entwicklungsstand
Irsid-Laugung	Laugung mit $H_2SO_4$	Zinksulfatlösung und eisenhaltiger Rückstand	Laborstadium, Frankreich
Amax-Laugung	Zweistufige Laugung mit $H_2SO_4$ , zweite Stufe bei $250^\circ C$ unter Druck	Ähnlich Irsid-Laugung	Laborstudium, USA, Stand 1988
Hoesch-Laugung	Laugung mit verdünnter NaOH zur Abtrennung von S und Cl	weitgehend S- und Cl-freier hoch zink- und bleihaltiger Schlamm für Weiterverarbeitung in NE-Metallhütte	aufgegeben, Bundesrepublik Deutschland, Stand 1981
Cebedeau-Laugung	Laugung mit NaOH, Pb-Zementation mit Zn-Staub, alkalische Zn-Elektrolyse	Elektrolytzink, zinkhaltiger Bleischlamm	Großtechnisch 12.000 t/a, Frankreich, Stand 1986
Questor-Laugung	Ähnlich Cebedeau-Laugung	Elektrolytzink, zinkhaltiger Bleischlamm	Verfahrensvorschlag Kanada, Stand 1984
Sonstige		Zn- und Pb-Salzlösungen, Zink- und bleiarmer Rückstand	Laborstudium, Stand 1986

#### 4.3.3.1 Cebedau-Laugung

Hierbei erfolgt die Separation der Nichteisenmetalle aus dem Elektroofenstaub mit Hilfe von Natronlauge. Das Verfahren beruht auf einer selektiven Lösung und anschließenden Ausfällung der gewünschten Stoffe. [HARP, 1990]. Nach Zugabe von Natronlauge erfolgt im Schwachfeldmagnetabscheider eine Trennung in zwei Fraktionen (magnetische- und nicht magnetische Fraktion), die jeweils wieder einer Laugung unterzogen werden. Dabei wird das vorhandene Zink und Blei gelöst und kann so von den eisenhaltigen Laugungsrückständen getrennt werden. Anschließend erfolgt die Fällung von Blei als Bleischlamm mittels Zugabe von Zinkstaub durch Zementation (Fällung eines Metalles durch ein anderes Metall). Der Bleischlamm kann in NE-Metallhütten weiterverarbeitet werden. Danach wird mittels Elektrolyse das noch in der Lauge gelöste Zink als Staub abgeschieden und zur Herstellung von Zinkstaubfarben eingesetzt.

Das Verfahren ist prinzipiell technisch möglich. Nachteilig sind aber hohen Investitionskosten. Der anfallenden eisenhaltige Rückstand von 780 kg/t EAF-Ofenstaub wird bisher nur deponiert.

Tab. 4.3-2: Spezifische Einsatz- und Ausbringungsmengen der Cebedau-Laugung [RENTZ et al., 1995].

Input	Menge trocken pro t Reststoff	Output	Menge trocken pro t Reststoff
EAF-Staub	1 t	Zinkstaub	180 kg
→ Zn-Gehalt	21 %	Bleischlamm	36 kg
→ Pb-Gehalt	0,36 %	Rückstand	ca. 780 kg
Prozeßwasser	3,6 m <sup>3</sup>		
Löschkalk	k. A.		

## 4.4 Verfahren zur Aufbereitung mineralischer Reststoffe (Schlacken)

### 4.4.1 Allgemeines

Bei der Gewinnung von Roheisen und Rohstahl entstehen neben den gewünschten Produkten prozeßbedingt mineralische Reststoffe (Schlacken), die die nichtmetallischen Anteile der Einsatzstoffe enthalten. In den letzten Jahren konnte der Schlackenanteil durch verfahrenstechnische Verbesserungen deutlich reduziert werden (z. B. Reduktion des Anfalls an Hochofenschlacke von 700 kg/t RE auf 220-300 kg/t RE). Eine weitere Reduktion des Schlackenanteils ist aus verfahrens- und produktionstechnischen Gründen praktisch kaum mehr möglich. Die Hochofen- und Stahlwerksschlacken machen ca. 90 % des Gesamtanteils an Schlacke pro Jahr aus. In integrierten Hüttenwerken fallen etwa 375 kg Schlacken pro Tonne Rohstahl an.

Die Schlackenverwertung hat bereits lange Tradition. Schlacken aus dem Thomas-Prozeß wurden als Düngemittel verwendet, Hochofenschlacken im Straßenbau und in der Zementherstellung. Heute liegt die Verwertungsquote bereits bei 90 % Produkte aus Schlacken unterliegen einer regelmäßigen Gütekontrolle. Entsprechend wird bei modernen Hochöfen die Fahrweise so eingestellt, daß sowohl die Qualität des Roheisens als auch der Schlacke optimiert wird [THYSSEN, 1995]. In Abb. 4.4-1 sind die Verwertungsmöglichkeiten von Hochofen- und Stahlwerksschlacken dargestellt.

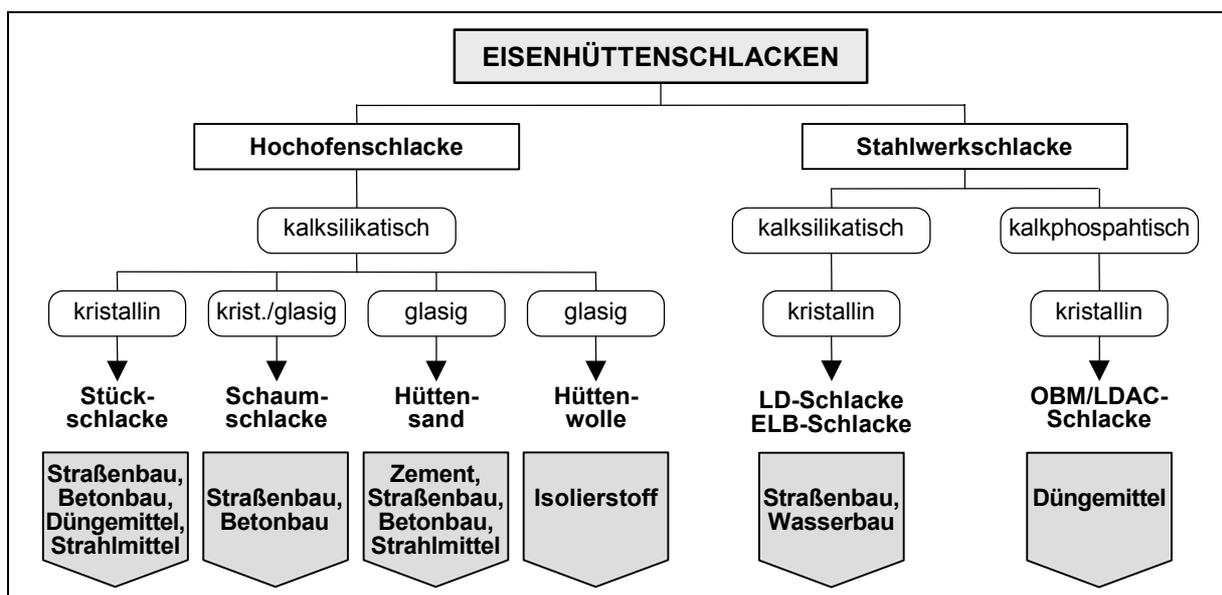


Abb. 4.4-1: Übersicht der Behandlungsmöglichkeiten von Hochofen- und Stahlwerksschlacken [FEHS, 1992].

#### 4.4.1.1 Hochofenschlacke

Je nach Abkühlbedingungen erstarrt die Hochofenschlacke zu kristalliner *Hochofenstückschlacke*, zu poriger *Hochofenschlackschlacke* (Hüttenbims) oder zu feinkörnigem *Hütten-sand*. Die verschiedenen Verarbeitungsprozesse von Hochofenschlacke werden in späteren Kapitel (Kap. 4.4.2-9) beschrieben.

Die chemische Zusammensetzung (Tab. 2.5-2) ist abhängig von der Gangart und dem hergestellten Roheisen. Neben der chemischen Zusammensetzung ist auch die Auslaugbarkeit (Eluation) von umweltgefährdenden Inhaltsstoffen (insbesondere Schwermetalle) von Bedeutung. Hochofenschlacke in Form von Stückschlacke und Hütten-sand ist bezüglich ihrer Eluatwerte als unbedenklich zu bezeichnen.

Tab. 4.4-1 faßt die Aufbereitungsmöglichkeiten von Hochofenschlacke zusammen. Die Produkte Hüttenwolle und Hochofenpellets werden in Österreich nicht erzeugt, die Herstellung von Hüttenbims wurde eingestellt.

Tab. 4.4-1: Aufbereitungsmöglichkeiten von Hochofenschlacke.

Aufbereitung	Struktur	Produkt
Langsame Abkühlung an der Luft	Kristallines Gefüge	Hochofenstückschlacke
sehr schnelle Abkühlung mit Wasser in Granulationsanlagen	Glasig, amorph	Hütten-sand
mittlere Abkühlung in Verbindung mit gezieltem Einleiten von Gasen oder durch freigesetzte Gase bei der Erstarrung	Hochporös teils glasig/teils kristallin erstarrt	Hüttenbims
Verdüsen mit Luft oder Wasserdampf	Feinfaserig, glasig erstarrt	Hüttenwolle
flüssige Schlacke fließt auf rotierende, wassergekühlte Walze und wird dabei abgerissen	Feine Fraktion: fast völlig glasig grobe Fraktion: teils glasig/teils kristallin	Hochofenschlackenpellets

#### 4.4.1.2 Stahlwerksschlacken

Stahlwerksschlacken (LD-Schlacken) unterscheiden sich in ihrer stofflichen Zusammensetzung (siehe Tab. 2.7-3) erheblich von der Hochofenschlacke. Stahlwerksschlacken werden meist an der Luft abgekühlt und erstarren daher meist kristallin. LD-Schlacken werden im Bauwesen eingesetzt, vor allem im Straßenbau zeichnet sich LD-Schlacke wegen der hohen Abriebfestigkeit als Baumaterial für den Fahrbahndeckenbau aus. Die direkte Verwendung von Stahlwerksschlacken als Baumaterial ist allerdings nur eingeschränkt möglich, da sie wegen des vorhandenen freien CaO- und MgO-Anteils nicht volumenstabil sind (Hydratation zu  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ). Deshalb müssen LD-Schlacken in der Regel einem künstlichen Alterungsprozeß ausgesetzt werden. Vor dem Einsatz als Baustoffe müssen LD-Schlacken genau klassifiziert werden. Falls der Gehalt an freiem Kalk größer als 7 % ist, scheiden LD-Schlacken als Baumaterial aus.

#### 4.4.1.3 Elektrofenschlacke

Elektrofenschlacke (siehe Tab. 2.8-2) unterscheidet sich von LD-Schlacken im wesentlichen durch einen geringeren Gehalt an freiem, chemisch ungebundenen Kalk. Aufgrund der hohen Festigkeit und Unempfindlichkeit gegen Schwankungen des Wassergehaltes eignet sie sich daher gut für den Einsatz im Straßen- und Wasserbau.

Die vielfältigen Möglichkeiten zur Aufarbeitung von Schlacken sind in den folgenden Kapiteln zusammengefaßt (nur wenige Verfahren davon sind tatsächlich im großtechnischen Maßstab in Verwendung). Bei Hochofenschlacke gewinnt die Aufbereitung zu Hüttensand zunehmend an Bedeutung.

#### 4.4.2 Hüttensand

Hochofenschlacke, die vor allem aus Kalk, Kieselsäure, Aluminium- und Magnesiumoxid besteht, wird heute meist in Granulationsanlagen aufgearbeitet. Durch das Abschrecken der flüssigen Schlacke entsteht ein glasig erstarrter, feinkörniger Hüttensand. Dieser eignet sich besonders als Rohstoff für die Herstellung von hochwertigen Zementen.

Granulationsanlagen bestehen aus einem Granulier- und einem Entwässerungssystem. Das Granuliersystem bestimmt die Qualität des herzustellenden Produktes (Körnung, etc.). Die Trennung des Wasser-Sandgemisches, die verbleibende Restfeuchte des Hüttensandes und die Reinheit des Abwassers sind vom Entwässerungssystem abhängig. Der Unterschied der eingesetzten Verfahren zur Hüttensandherstellung besteht in der Art der Entwässerung.

Tab. 4.4-2: Verfahrensübersicht zur Hüttensandherstellung.

Verfahren	Prinzip	Trennung des Hüttensand-Wassergemisches	anfallende Reststoffe, Emissionen
Granulation mit OCP Entwässerung (Filterbett)	Granulation erfolgt in einer Rinne mit Wasser, das mit hohem Druck aus Spritzköpfen auf die flüssige Schlacke trifft	im Filterbett aus Kies bzw. OCP-Filterbecken: Wasser sickert durch Kiesschicht nach unten durch, entwässerter Hüttensand bleibt zurück.	Abwasser: geschlossener Wasserkreislauf Schwefelwasserstoff und Schwefeldioxid Wasserdampf
Granulation mit Filterbunker	Wasser-Sandgemisch wird mittels Pumpen in Filterbunker gepumpt	Filterbunker dienen als Entwässerungssilos: Sand setzt sich nach unten ab, Wasser läuft oben über Filter ab.	Abwasser: wird im Kreislauf geführt.
Granulation mit drehendem Schöpfrad	heiße, flüssige Schlacke gelangt im freien Fall in den aus Spritzdüsen austretenden Wasserstrahl	Schöpfrad dreht sich in Wanne. Während der Rotation des Schöpfrades (Entwässerungsrotor) entsteht in seinen Kammern Unterdruck. Dadurch trennt sich das Wasser vom Granulat und fließt durch Öffnung im Siebboden ab.	Abwasser im Kreislauf; über Kühlturm H <sub>2</sub> S oder SO <sub>2</sub> ; 60 % der Emissionen werden am im Granulationswasser enthaltenen Kalk gebunden und neutralisiert.
a) Granuliersystem ohne Kühlsystem <i>ohne Emissionsschutz</i>	a) einfache Handhabung, geringer Wartungsaufwand, aber geringerer Glasgehalt des Hüttensandes		Entweichender H <sub>2</sub> O- Dampf; bei b): wird im oberen Teil des Granulierungsturms mit Wasser bedüst. Der Dampf kondensiert und die restlichen Schadstoffe werden durch Kalk, der dem Sprühwasser zugesetzt ist, gebunden.
b) Granuliersystem mit Kühlsystem und Emissionsschutz	b) 3 % höherer Glasgehalt des Hüttensandes als bei a)		
Granulation mit Trommelentwässerung (INBA) Warm- und Kaltwasservariante möglich	Granulation erfolgt in der Kaltrinne, Sand-Wassergemisch fällt in Auffangbehälter, der die Drehtrommel speist.	Trennung erfolgt in drehender Filtertrommel aus feinem Maschengeflecht. Wasser läuft in Wassertank, eine Schaufelvorrichtung nimmt kontinuierlich Sand auf, nach halber Trommelumdrehung fällt entwässerter Sand auf ein Förderband	Abwasser im Kreislauf: Vorteil: keine zusätzliche Klärvorrichtung notwendig, da der Feinpartikelanteil sehr gering ist. Grund: Sandschicht am Boden der Trommel wirkt als natürlicher Filter und hält auch kleinste Sandteilchen zurück. evtl.: H <sub>2</sub> S-Emissionen (Geruchsbelästigung)

#### **4.4.3    Hüttenbims**

Hüttenbims wird in Schäumenanlagen durch rasche Abkühlung der Hochofenschlacke erzeugt. Dabei wird die flüssige Schlacke in eine Wanne gekippt, in die seitlich und von unten Wasser eingedüst wird. Dadurch wird ein Aufschäumen verursacht und die Schlacke erstarrt teils kristallin, teils glasig. Hüttenbims wird im Straßenbau und als Zuschlag für Leichtbeton eingesetzt.

Das Herstellungsverfahren ist aufwendig und es entstehen dabei große Mengen an SO<sub>2</sub>-Emissionen. Aus diesen Gründen stellen immer mehr Hüttenwerke die Produktion von Hüttenbims ein. In Österreich wird kein Hüttenbims mehr erzeugt.

#### **4.4.4    Hüttenwolle**

Bei diesem Verfahren wird flüssige Hochofenschlacke mit Preßluft verblasen. Obwohl Hüttenwolle gut für die Wärme-, Kälte- und Schallisolierung geeignet ist, wird sie immer seltener hergestellt. In Österreich wird Hüttenwolle nicht erzeugt.

#### **4.4.5    Hochofenschlackenpellets**

Die flüssige Schlacke trifft nach ihrem Austritt auf eine Kohlenstoffplatte, wird dadurch zu einer breiten Schicht verteilt und anschließend mittels Wasserstrahlen zerschnitten. Diese Schmelzschicht fällt anschließend auf eine wassergekühlte rotierende Trommel, wo sie zerrissen wird. Die weggeschleuderten Schlackepartikel werden abgerundet und dehnen sich aufgrund der eingeschlossenen Gase aus. Je nach Größe der Partikel entsteht fast glasartiges Granulat, teils kristalline, teils glasige Pellets, die durch ihre verschiedenen Flugbahnen getrennt anfallen.

Die Pelletierung erfolgt trocken, damit wird die Abwasserproblematik durch dieses Verfahren vermindert. Die entstehenden Produkte sind im Bauwesen und in der Zementindustrie einsetzbar. In Österreich werden keine Hochofenschlackepellets hergestellt.

#### **4.4.6    Aufbereitung von Hochofenschlacke zu Düngemittel**

Aus Hochofenschlacke können durch langsames Erstarren und anschließender Aufbereitung (z. B. Vermahlen, Granulation von vermahlener Hochofenschlacke, Absieben, Anreicherung mit Rohphosphat) hochwertige Produkte (Hüttenkalke) hergestellt werden. In den Boden eingebrachte Hüttenkalke setzen ihren Kalkanteil nach den Bedürfnissen der Pflanzen frei.

#### **4.4.7    Aufbereitung von Eisenhüttenschlacken mit Wärmerückgewinnung**

Bei der Aufarbeitung von 1.450 °-1.650 °C heißer, flüssiger Hochofen- und Stahlwerksschlacken werden große Wärmemengen frei. Um diese ungenutzte Abwärme rückgewinnen zu können, wurden Anlagen entwickelt, die sowohl verkaufsfähiges Schlackeprodukt herstellen als auch die Abwärme nutzbar machen.

Die heiße Schlacke muß für eine effektive Wärmerückgewinnung in kleine Partikel zerteilt werden. Damit erreicht man eine möglichst große Oberfläche und damit hohe Wärmeübertragung. [BISIO, 1992]. Die Energierückgewinnung kann durch Dampf und/oder heiße Luft erfolgen.

#### 4.4.8 Aufbereitung von Stahlwerksschlacke zu Straßenbaumaterial

Dazu werden flüssige Stahlwerksschlacken in Beete gegossen und erstarren unter Ausbildung einer kristallinen Struktur. Die Eisenpartikel können durch magnetische Sedimentation abgetrennt werden und finden als Eisenträger wieder ihren Einsatz im Hüttenwerk. Der verbleibende Schlackenanteil wird in Brech- und Siebanlagen zu Produkten stückiger oder körniger Struktur aufgearbeitet. Die Eisenrückgewinnung kann wiederholt werden. Vor dem Einsatz im Straßenbau oder im Wasserbau müssen die Schlackenprodukte auf ihren Anteil an freiem Kalk untersucht werden, da nur raumbeständige Materialien dafür eingesetzt werden können.

#### 4.4.9 Aufbereitung von Stahlwerksschlacke zu Düngemittel

Bei der Stahlerzeugung fallen kalksilikatische Konverterschlacken mit geringen Gehalt an Phosphor an. Diese werden vermahlen und anschließend durch Aufbereitungsschritte zu verschiedenen Düngemitteln verarbeitet.

Tab. 4.4-3: Aufbereitung von Stahlwerksschlacke zu Düngemitteln [HAMMER et al. 1992].

Düngemittel	Aufbereitungsschritt
Thomasphosphat	Vermahlen phosphathaltiger Schlacke aus dem LDAC-Verfahren
Konverterkalk, fein	Vermahlen von Konverterschlacke, Absieben zerfallender Schlacke aus der Sekundärmetallurgie (Silikatgehalt mindestens 20 %)
Konverterkalk, körnig	Absieben zerfallener Konverterschlacke
Konverterkalk mit Phosphat, fein	Vermahlen von phosphathaltiger Konverterschlacke oder Anreicherung phosphatarmer Konverterschlacken mit Phosphaten
Konverterkalk mit Phosphat, körnig	Granulation von vermahlener, phosphathaltiger oder mit Phosphat angereicherter Konverterschlacke

### 4.5 Zusammenfassung und Verfahrensübersicht

In Tab. 4.5-1 sind die wichtigsten prozeßintegrierten Maßnahmen und Verfahren zur Vermeidung, Aufbereitung und Behandlung von Hüttenwerksreststoffen und -abfällen zusammengefaßt und der jeweilige technische Entwicklungsstand dargestellt. Darüberhinaus gibt es natürlich zahlreiche weitere Verfahrensvorschläge, die sich aber größtenteils im Versuchsstadium befinden und für die praktische Einsetzbarkeit nicht geeignet scheinen.

Tab. 4.5-1: Zusammenfassende Darstellung der wichtigsten Verfahren für Recycling, Aufbereitung, Behandlung und Verwertung von Hüttenwerksreststoffen und -abfällen [LEHNER et al., 1995; RENTZ et al., 1995; Firmenangaben].

Verfahren/ Technologie	Einsetzbare Reststoffe/Abfälle	Umweltrelevanz/ Erzeugte Nebenprodukte	Technische Realisierbarkeit bzw. Stand der Technik	in Ö
<b>PROZESSINTEGRIERTE MASSNAHMEN DURCH NEUE TECHNOLOGIEN</b>				
COREX®	Einsatzmöglichkeiten in Erprobung	Vermeidung von Kokerei- und Sinterbandemissionen	ja, mehrere Großanlagen	
AIRFINE®	Erhöht die Einsatzmöglichkeit der Sinteranlage für die Behandlung von Reststoffen und Abfällen	Behandlung eisenreicher Fraktion über die Sinteranlage, Emissionsreduktion, Verminderung von PCDD/F-Emissionen	ja, Großanlage VA Stahl Linz, weitere im Ausland in Planung	✓
EOS®	Nicht relevant (keine Reststoffe einsetzbar, erhöht Flexibilität der Sinteranlage)	Reduktion der Abgasmenge von Sinteranlagen	Großanlage in Bau (in Kombination mit AIRFINE)	
Lurgi-Thyssen (LT)-Prozeß (inkl. Heißbrikkettierung)	Konverterstaub	Stoffliche Recycling von Konverterstäuben → Reststoffvermeidung, Energieeinsparung → energetische Nutzung von CO	ja, mehrere Großanlagen	✓
Endabmessungsnahes Gießverfahren	Nicht relevant	Energieeinsparung, Reduktion des Eigenschrottanteils (→ Reststoffvermeidung)	ja	✓
<b>PROZESSINTEGRIERTE MASSNAHMEN DURCH OPTIMIERUNG BESTEHENDER PROZESSE</b>				
Behandlung von Reststoffen und Abfällen über die Sinteranlage	Koksgrus, Stäube (Sinter, HO, BOF, sekundär) Konverterschlämme Rinneneisen, Feineisen Walzzunder	Behandlung der eisenreichen Fraktion (→ Reststoffvermeidung/-reduktion)	ja, gängige Praxis (erhöhte Anforderungen an die Abgasreinigung zur Verminderung von Dioxin- und Schwermetallemissionen erforderlich)	✓
Zweischichtsisinter-Verfahren	ölhaltiger Walzzunder	stoffliche Recycling von Walzzunder → Reststoffvermeidung und Emissionsreduktion (Verminderung organischer Emissionen)	Pilotanlage, Großanlage in Planung, zusätzliche Rauchgasreinigung erforderlich	✓
Einblasen von Kohlenstaub und Öl in den Hochofen	Kohlenstaub Schweröl	Verringerung des Koksbedarfes und der anteiligen Emissionen der Kokerei	ja, gängige Praxis	✓
Direktes Einblasen von Stahlwerkstäuben über den Konverterboden	Konverterstaub	stoffliches Recycling von Konverterstäuben → Reststoffvermeidung	größentechnisch in Realisierung	
Selektives Ausschleusen von Konverterfeinstäuben mit hohem Zn-Gehalten	Konverterstaub	Reduktion des Zn-Gehaltes und verbesserte Prozeßführung beim Staub-Recycling	Pilotversuche	✓
Selektives Ausschleusen v. Konverterschlämme	Konverterschlämme	ermöglicht Recycling von Teilströmen mit zinkarmer Fraktion	Pilotanlage	
Maßnahmen im Walzwerk	Nicht relevant	Energieeinsparung, Verminderung des Eigenschrott- und Ölanfalls	ja, gängige Praxis	✓

Verfahren/ Technologie	Einsetzbare Reststoffe/Abfälle	Umweltrelevanz/ Erzeugte Produkte	Technische Realisierbarkeit bzw. Stand der Technik	in Ö
<b>VERFAHREN ZUR AUFBEREITUNG VON STÄUBEN, SCHLÄMMEN, WALZZUNDER</b>				
Heißbrikettierung	Konverterstaub	Grob- und Feinstaub- brikettierung ermöglicht Recycling im Konverter	ja, mehrere Großanlagen in Kombination mit LT-Prozeß	✓
OG-Prozeß (Konverterschlam- rückführung)	Konverterschlam	Konverterschlam- aufbereitung ermöglicht Abtrennung der NE-Fraktion und Rückführung der eisenreichen Fraktion	Pilotversuche	
Indirekt beheizter Drehrohfen	Ölhaltiger Walzzunderschlamm	Entölung von Walzzunder- schlamm; Rückführung der eisenreichen Fraktion, energetische Verwertung des Restöls	Pilotversuche Großanlage mit direkt beheiztem Drehrohr (12.000 t/a)	
Hydrozyklon- Verfahren	Gichtgasschlamm	Auftrennung in zinkreiche und zinkarme Fraktion; Rückführung und stoffliche Verwertung der eisenrei- chen, zinkarmen Fraktion über die Sinteranlage	ja, mehrere Großanlagen	
Carbofer-Verfahren	Ölhaltiger Walzzunder, EAF-Staub	Behandlung der „Carbofer- Mischung“ durch Einblasen in den EAF; stoffliche Verwertung der eisenreichen Fraktion	Pilotanlage	
Zirkulierende Wirbelschicht	Stäube (Zn 1-10 %), Schlämme (Zn 1-10 %)	Auftrennung in eisenreiche und zinkreiche Fraktion durch selektive Reduktion	Pilotanlage	
Wälzverfahren	Stäube (Zn > 25 %)	Rückgewinnung von Zn, Pb aus Stäuben (Wälzoxid)	ja, mehrere Großanlagen in NE-Hütten	
INMETCO	Gichtgasstaub fein, Gichtgasschlämme, Konverterstäube, Konverterschlämme, Sekundärstäube, ölhaltiger Walzzunder	Direktreduktion und Rückgewinnung von NE-Metalloxiden; Erzeugung von Eisen- schwamm → Einsatz in EAF, Konverter, Hochofen	ja, mehrere Großanlagen (Kapazität: 300.000 t/a)	
Plasmadust- Verfahren	EAF-Staub	Reduktion zu Hüttenzink, legiertem und unlegiertem Roheisen, Schlacke		
Hydrometallurgische Verfahren: Cebedau Laugung	EAF-Staub	Abtrennung von Zinkstaub und Bleischwamm, eisenhaltiger Laugungs- rückstand muß deponiert werden	eine Großanlage (12.000t/a)	

Erklärungen zu den Spalten:

Umweltrelevanz: *Umweltrelevante Verbesserungen, die durch den Einsatz der Technologie/Verfahren erzielt werden können, bzw. Produkte die aus den Reststoffen und Abfällen erzeugt werden können.*

Technische Realisierbarkeit: *Die Antwort „ja“ bedeutet, daß die angegebenen Verfahren/Technologien dem Stand der Technik entsprechen. Die spezifische Einsatzmöglichkeiten sind im Einzelfall zu prüfen.*

In Ö: „✓“ bedeutet, das Verfahren/Technologie wird in Österreich eingesetzt.

## 5 EISEN- UND STAHLPRODUKTION IN ÖSTERREICH

Bei den in diesem Kapitel dargestellten Zahlen und Fakten handelt es sich durchwegs um Angaben der Betreiber der verschiedenen Standorte.

### 5.1 Allgemeines

Die Eisen- und Stahlerzeugung hat in Österreich lange Tradition. Sie ist hauptsächlich im Gebiet der ehemaligen Erz- und Kohlevorkommen der Steiermark und in Oberösterreich angesiedelt.

Der Produktionswert lag 1995 bei öS 32.612 Mio. Dies bedeutet eine Steigerung um +22,1 % zum Jahr 1994. Die Rohstahlproduktion (Qualitäts- und Edelstahl) entwickelte sich in diesem Zeitraum von 4.399.000 t (1994) auf 4.990.000 t (1995). Dies entspricht einer Steigerung um +13,4 %. Die Fertigstahlproduktion betrug 1995 3.968.000 t (Steigerung um 3,9 % zum Jahr 1994). Die Zahl der Beschäftigten fiel von 15.400 Mitarbeitern (1994) auf 14.900 (1995). Dies entspricht -3,3 %. [FV EISEN- UND STAHLERZEUGENDE INDUSTRIE, 1996]

Die österreichische Eisen- und Stahlindustrie zählt zu den führenden Stahlindustrien in Europa hinsichtlich Technologien, Produktivität und Umweltschutz. Im Rahmen dieser Studie wurden die Standorte der VOEST-Alpine Stahl Linz (VASL), VOEST-Alpine Stahl Donawitz (VASD), Böhler Edelstahl GmbH in Kapfenberg, Marienhütte in Graz, sowie Breitenfeld GmbH betrachtet.

### 5.2 Standorte, Reststoff- und Abfallaufkommen sowie deren Behandlung

#### 5.2.1 Gesamtreststoff-/abfallaufkommen und Behandlung

In Tab. 5.2-3 sind die Gesamtreststoff- und -abfallmengen der betrachteten Standorte (siehe Abb. 5.2-2) dargestellt. Von den rund 2,7 Millionen Tonnen Reststoffen und Abfällen pro Jahr sind ca. 75 % Schlacken (primär Hochofen und BOF) (siehe Abb. 5.2-1). Gemittelt über alle betrachteten Standorte werden 86 % der Reststoffe und Abfälle wiederverwertet (hüttenintern und extern), der Rest wird deponiert.

Tab. 5.2-1: Gesamtreststoff- und -abfallaufkommen der österreichischen Eisen- und Stahlindustrie (nicht berücksichtigt sind der Eigenschrottanfall und das Sinterrückgut, die zu 100 % rückgeführt werden) (Bezugsjahr 1995).

Bezeichnung	Anfallmenge (t/a)
<b>Schlacken</b> – Hochofen, BOF, EAF	2.082.151
<b>Stäube, Schlämme</b> – Sinteranlage, Hochofen, Konverter, EAF	186.992
<b>Zunder</b> – Walzzunder grob & fein, etc.	125.368
<b>Fe-haltige Reststoffe</b> – Feineisen, Separationseisen, Bröckeleisen	210.787
<b>Sonstige</b> – Koksabrieb, Koksgrus, etc.	134.404
<b>Gesamtmenge</b>	<b>2.739.702</b>

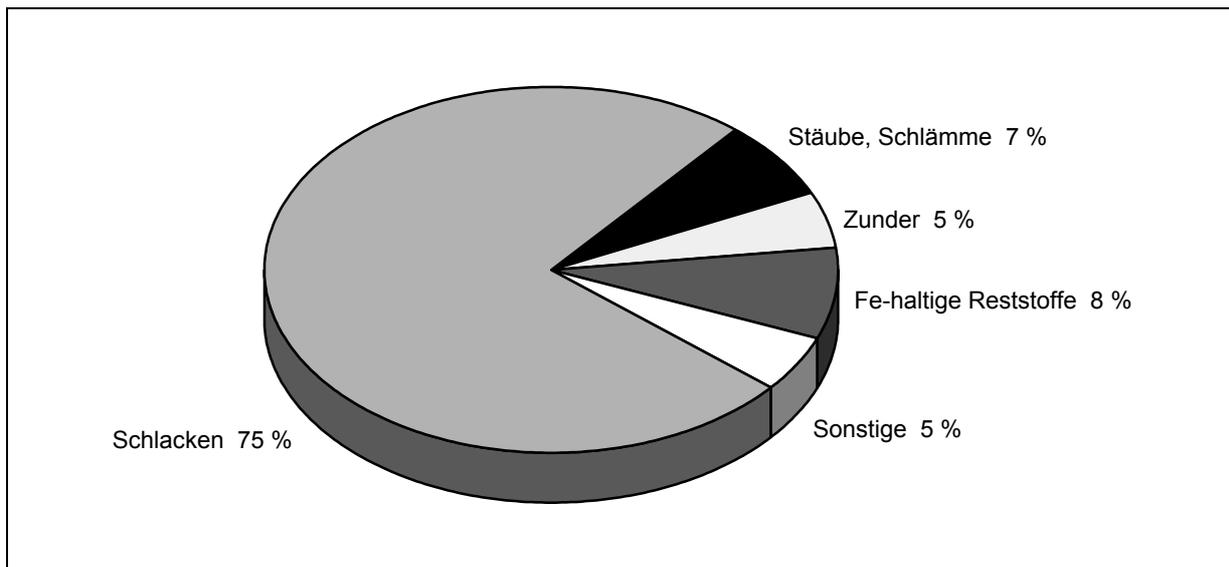


Abb. 5.2-1: Gesamtestoff- und -abfallaufkommen der österreichischen Eisen- und Stahlindustrie (Bezugsjahr 1995) (100 % = 2.739.702 Tonnen/Jahr).

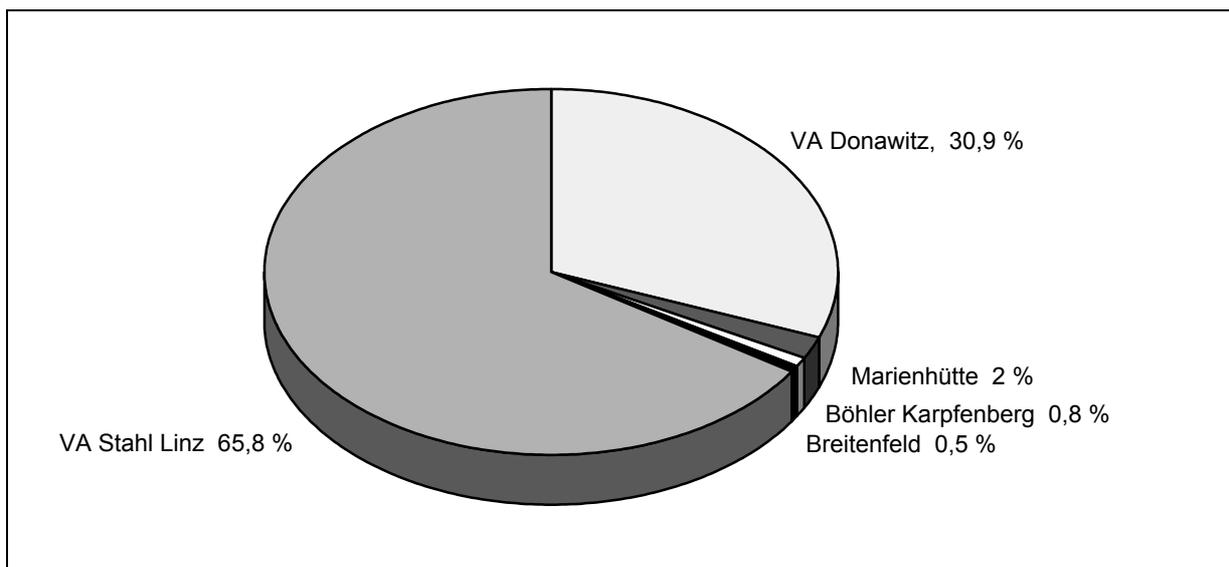


Abb. 5.2-2: Gesamtestoff- und -abfallaufkommen nach Standorten (Bezugsjahr 1995) (100 % = 2.739.702 Tonnen/Jahr).

### 5.2.2 Standort der VOEST-ALPINE STAHL LINZ

Die VOEST-ALPINE STAHL LINZ GmbH (VASL) ist ein integriertes Hüttenwerk mit einer jährlichen Rohstahlkapazität von ca. 3,4 Millionen Tonnen und zählt damit zu den 50 größten Stahlproduzenten der Welt. Produziert werden ausschließlich Flachprodukte. Die VASL hat 1995 rd. 2,9 Mio. Tonnen warm- und kaltgewalzte Flachwalzwaren erzeugt. Es werden schmelztauchveredelte-, elektrolytisch veredelte- und organisch beschichtete Bleche und Bänder, sowie Schmiede- und Stahlgußprodukte in großen Stückgewichten hergestellt. Neben den Primärprodukten fallen pro Jahr ca. 1,8 Millionen Tonnen an Reststoffen und Abfällen (primär Schla-

cken) an, von denen 1,3 Millionen Tonnen als Schlackenprodukte extern Verwendung finden.

Zu den wesentlichen Produktionsprozessen und den jeweiligen Umwelttechnologien zählen:

- **Kokerei** (bestehend aus der Ofengruppe I mit 2 Batterien und der Ofengruppe II mit 4 Batterien in Betrieb) mit nasser Kokskühlung; Kokereigasentschwefelung und Gewinnung von Kokereinebenprodukten und Teerdestillation. Die komplette Erneuerung und damit verbundene Sanierung wurde im September 1996 abgeschlossen;
- **Sinteranlage** zur Erzaufbereitung mit Elektrofilter zur Grobstaubabscheidung und AIRFINE®-System zur Feinstaubabscheidung;
- **Hochofenanlage** (1 kleiner Hochofen und Hochofen A in Betrieb) zur Roheisenerzeugung mit Gichtgasreinigung (Grobstaubabscheidung trocken, Feinentstaubung naß) und einer Gießhallenentstaubung;
- **LD-Stahlwerk III** (3 Tiegel mit jeweils 140 t pro Charge) mit 2 Stranggießanlagen. Tiegelgasgewinnung (LT-Prozeß) mit je einem Elektrofilter je Tiegel, Erfassung der Sekundärstaubemissionen und Gewebefilter, Staubsammelsystem und Heißbrikettierung zur Behandlung des LD-Staubes, Pfannenmetallurgie
- **Warmwalz**
- **Kaltwalzwerk 1 und 2**
- **Bandveredelung** bestehend aus zwei Feuerverzinkungsanlagen, einer elektrolytischen Bandverzinkung, einer organischen Bandbeschichtungsanlage
- **Kraftwerk** zur Strom- und Dampferzeugung aus den Kuppelenergien (Kokereigas, Gichtgas, Tiegelgas) und Erdgas
- **3 Geschäftsfelder: Hüttenbaustoffe** zur Schlackenaufbereitung und Gewinnung von Wertstoffen (z. B. Feineisen, Bröckeleisen), **Gießerei** für Stahl- und Nichteisenmetallguß, **Schmiede** bestehend aus Gesenkschmiedezentrum, Blechpreßwerk und Wärmebehandlung.

### 5.2.2.1 Reststoffaufkommen und Behandlung

Die in Abb. 5.2-3 angeführte Deponiemenge von 76.600 t/a setzt sich zusammen aus dem o. a. Schlamm aus dem Kaltwalzwerk (KWW), Warmwalzwerk (WWW), sowie Hüttenschutt.

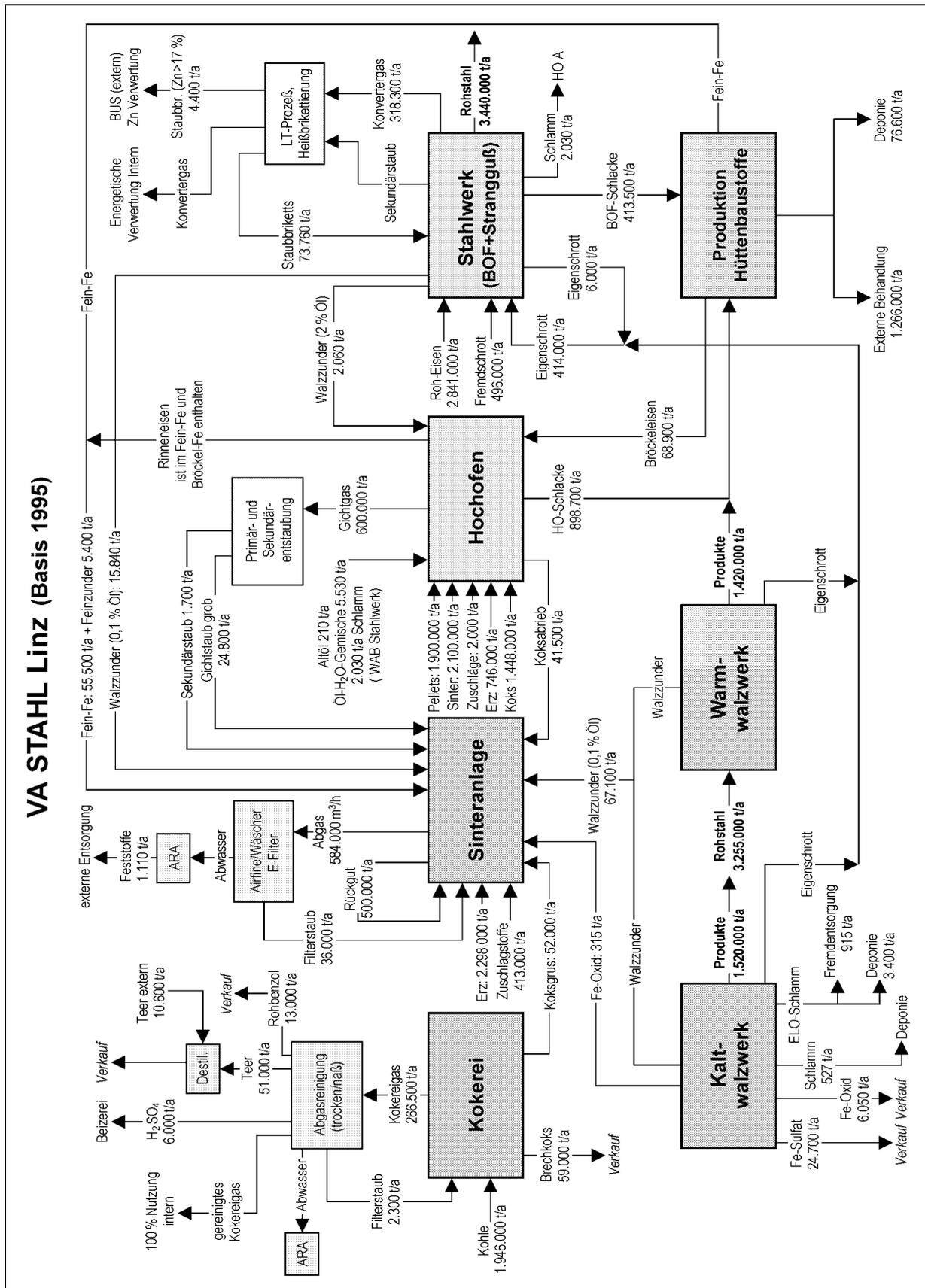


Abb. 5.2-3: Wesentliche Produktionsprozesse mit Darstellung der Reststoffe und Abfälle am Standort der VOEST-ALPINE STAHL LINZ GmbH (Bezugsjahr 1995).

Tab. 5.2-2: Abfälle und Reststoffe mit Behandlungs- bzw. Entsorgungswegen am Standort der VOEST-ALPINE STAHL LINZ GmbH (Bezugsjahr 1995).

Prozeß/ Anfallsort	Bezeichnung	Behandlung	
		intern	extern
<b>Kokerei</b>	Kokereigas	Verbrennung/ energetische Nutzung	
	Teer	Teerdestillation, Herstellung von Produkten	Verkauf
	Rohbenzol/Aromat. Komponenten		Verkauf
	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Beize (100 %)	
	Koksgrus	Einsatz Sinteranlage	
	Brechkok		Verkauf
	Filterstaub	Wiedereinsatz: Beimischung zur Kohle	
<b>Sinteranlage</b>	Filterstaub Fe-hältig	Wiedereinsatz in Sinteranlage	
	Rückgut	Rückführung auf Sinterband	
	Schlamm aus AIRFINE-Wäschern		Fremdentsorgung
<b>Hochofen</b>	HO-Schlacke	Produktion von Hüttenbaustoffen	Verkauf
	Gichtstaub grob	Behandlung auf Sinterband	
	Gichtstaub fein (Schlamm)	Deponierung	
	Sekundärstaub	Behandlung auf Sinterband (seit 1995)	
	Hallenstaub (Gießhalle HO A)	Rückführung Hochofen (seit 1995)	
	Koksabrieb	Behandlung auf Sinterband, ab 1996 Einsatz im Hochofen	
<b>Stahlwerk</b>	BOF-Schlacke	Produktion von Hüttenbaustoffen	Verkauf
<b>(Sauerstoff- konverter)</b>	Konverterstaub grob, Konverterstaub fein, Sekundärstaub	94,4 % Wiedereinsatz als Staubbriketts im Sauerstoffkonverter	5,6 % Zinkverwertung
<b>Strangguß</b>	Zunder (≤0,1 % Öl)	Einsatz Sinteranlage	
	Walzzunder (>0,1 % Öl)	Einsatz Hochofen	
	Eigenschrott	Wiedereinsatz im LD-Tiegel	
	Schlamm aus der Abwasseraufbereitung	Einsatz im Hochofen, (Eindüsung mit Altöl)	

Prozeß/ Anfallsort	Bezeichnung	Behandlung	
		intern	extern
<b>Walzwerk</b>	Walzzunder grob, Walzzunder fein ( $\leq 0,1$ % Öl) Schlamm Kaltwalzwerk (KWW)	Behandlung auf Sinterband  Deponierung	
	Schlamm Eloverzinkung bei Zn/Ni Kampagne (WWW) Fil- terschlamm der Bandbeschichtung	80 % Deponierung	20 % Fremd- entsorgung
	Eigenschrott (KWW +WWW)	Wiederverwertung im LD-Tiegel	
	Eisensulfat (aus Beizerei KWW)		Verkauf an Kläranlagenbetreiber
	Eisenoxid (aus Beizerei KWW)	5 % Behandlung auf Sinterband	95 % Verkauf an Leiterplattenhersteller
<b>Schlacken- aufbereitung (Hütten- baustoffe)</b>	HO-Schlackeprodukte, LD-Schlackeprodukte		1.266.000 t/a Verkauf
	Feineisen	Wiedereinsatz auf Sinterband	
	Feinzunder	Rückführung auf Sinterband	
	Bröckeleisen	Wiedereinsatz im Hochofen	
<b>div. Prozesse (z. B. Walzwerk)</b>	Altöl	Einsatz im Hochofen (Eindüsung)	
	Öl-Wassergemische	Einsatz im Hochofen (Eindüsung)	
	Altbeizen (HCl, H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> )		Entsorgung über Hersteller

## Ergänzende Anmerkungen

zur spezifischen Situation der VOEST-ALPINE STAHL LINZ GmbH:

**Verkaufsfähige Nebenprodukte:** Neben Koks werden in der Kokerei/Teerdestillation zahlreiche chemische Grundprodukte gewonnen, die an die chemische Industrie verkauft werden. Auch aus den Schlacken werden verkaufsfähige Produkte hergestellt. Die Gewinnung der Schlackenprodukte erfolgt bei der Hochofenschlacke durch Granulation mit Wasser sowie durch Vergießen in Becken und langsamen Erstarren an der Luft mit nachgeschalteten Aufbereitungsschritten. Auch die LD-Schlacke wird in Becken vergossen und in nachgeschalteten Aufbereitungsschritten weiterverarbeitet. Es werden sowohl Produkte aus Hochofenschlacke (z. B. Strahlgranulat, diverse Sande, Tragschichtgemisch, Streusplitt, Hüttenlechtsplitt), als auch aus LD-Schlacke (z. B. Konverterkalk, Brechkorn, LD-Schlacke für Zementindustrie) erzeugt. Die Behandlungsmöglichkeiten sind in Abbildung 5.2-4 dargestellt.

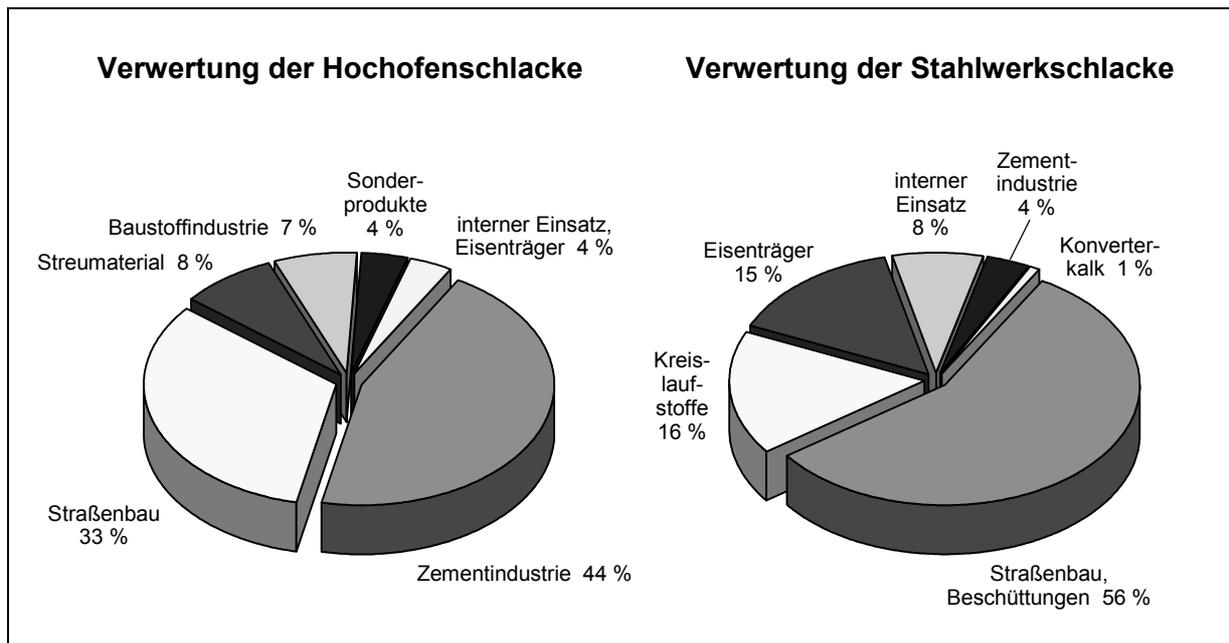


Abb. 5.2-4: Behandlung von Hochofenschlacke und Stahlwerkschlacke (LD-Schlacke) bei der VOEST-ALPINE STAHL LINZ (Bezugsgrößen 1995) [VOEST-ALPINE STAHL, 1996].

- **Kuppelenergien:** Die hüttenintern bei der Verkokung, Roheisen- und Rohstahlerzeugung anfallenden Kuppelenergien (Kokereigas, Gichtgas, Tiegelgas) werden gereinigt und zu einem hohen Anteil im werkseigenen Kraftwerk energetisch verwertet (Energiegewinnung: Strom, Wärme). Damit können etwa 80 % des eigenen Strom- und Wärmebedarfes gedeckt werden. Der Rest des Energiebedarfes wird durch Erdgas gedeckt. Die ausgekoppelte Wärme wird zum Teil in das Linzer Fernwärmenetz eingespeist. Die Restmengen an Kokerei- und Gichtgas werden in den eigenen Industrieöfen, vorwiegend zur Unterfeuerung der Kokereibatterien, eingesetzt.
- Die **Abgasreinigung der Sinteranlage** erfolgt in zwei Schritten. In einem Elektrofilter wird zuerst der Grobstaub und mit dem anschließenden AIRFINE®-System der Feinstaub (ca. 600.000 Nm<sup>3</sup>/h) abgeschieden. Mit diesem Verfahren kann ein Staubgehalt im Reingas von < 50 mg Staub/Nm<sup>3</sup> eingehalten werden. Das Waschwasser wird im Kreislauf gefahren. Der aus der Schwermetallfällung kommende Schlamm (ca. 350 t/a) wird mit der Schlacke im Verhältnis 1:2 vermischt und aufbereitet, sodaß die Schadstoffe immobilisiert werden. Dieses Gemisch wird in Form von Pellets extern deponiert.
- **Konverterstaub/Tiegelgasgewinnung:** Das Stahlwerk verfügt über ein Abgasreinigungssystem auf Basis des LT-Verfahrens mit einer Tiegelgasrückgewinnung und einer Heißbrikettierung zur Wiederverwertung des Konverterstaubes (bis zu einem Zn-Gehalt im Staub < 17 %) im Sauerstoffkonverter. Staubbriketts mit einem Zinkgehalt über 17 % werden aus dem Kreislauf ausgeschleust und an einen externen Zinkverwerter abgegeben. Das gewonnene Konvertergas wird im hütteninternen Kraftwerk energetisch verwertet.
- **Altöle und Öl-Wasser-Gemische:** Die im Werk anfallenden Altöle und Öl-Wasser-Gemische werden in den Hochofen eingeblasen und verbrannt.
- **Verringerung der luftgängigen Emissionen beim Strangguß:** Zur Verminderung von schädlichen Emissionen, die bei einem Einsatz von Ölen entstehen, wurden diese durch Gießpulver substituiert.
- Die VOEST-ALPINE STAHL LINZ GmbH hat ein umfangreiches Maßnahmenprogramm in den letzten Jahrzehnte durchgeführt und beispielsweise bei den Luftemissionen eine drastische Reduktion der Staubemissionen erreicht (Abb. 5.2-5).

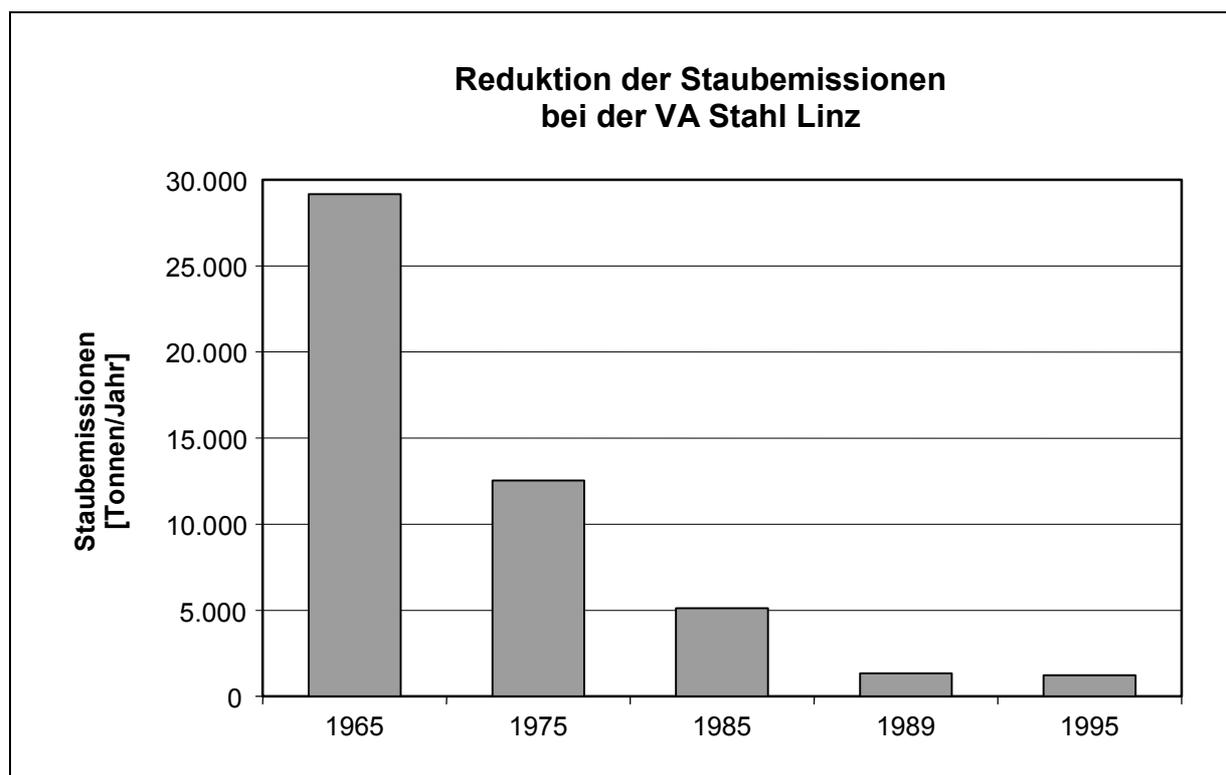


Abb. 5.2-5: Entwicklung der Staubemissionen bei der VOEST-ALPINE STAHL LINZ im Zeitraum 1965 bis 1995 [VOEST-ALPINE STAHL LINZ, 1995].

### 5.2.3 Standort VOEST-ALPINE STAHL DONAWITZ

Die VOEST-ALPINE STAHL DONAWITZ GmbH erzeugt jährlich ca. 1,1 Millionen Tonnen Rohstahl. Dabei fallen etwa 800.000 Tonnen an Reststoffen und Abfällen (hauptsächlich Schlacken) an. Erzeugt werden am Standort Donawitz vorwiegend Langprodukte, die Ausgangsprodukte für Schienen, Draht und Rohre sind.

Zu den wesentlichen Produktionsprozessen und den jeweiligen Umwelttechnologien zählen:

- **Sinteranlage** mit Elektrofiltern zur primären Prozeßgasreinigung und sekundären Hallenentstaubung
- **Hochöfen** zur Roheisenerzeugung mit trockener und nasser Gichtgasentstaubung
- **Sauerstoffkonverter** zur Rohstahlerzeugung mit Elektrofilter zur Abgasentstaubung; Pfannenmetallurgie
- **Stanggußanlagen** mit verschiedenen Dimensionen zur Erzeugung von Drahtvormaterial und Rohrvorprodukten.
- **Warmwalzwerke.**

## 5.2.3.1 Reststoff- und Abfallaufkommen und Behandlung

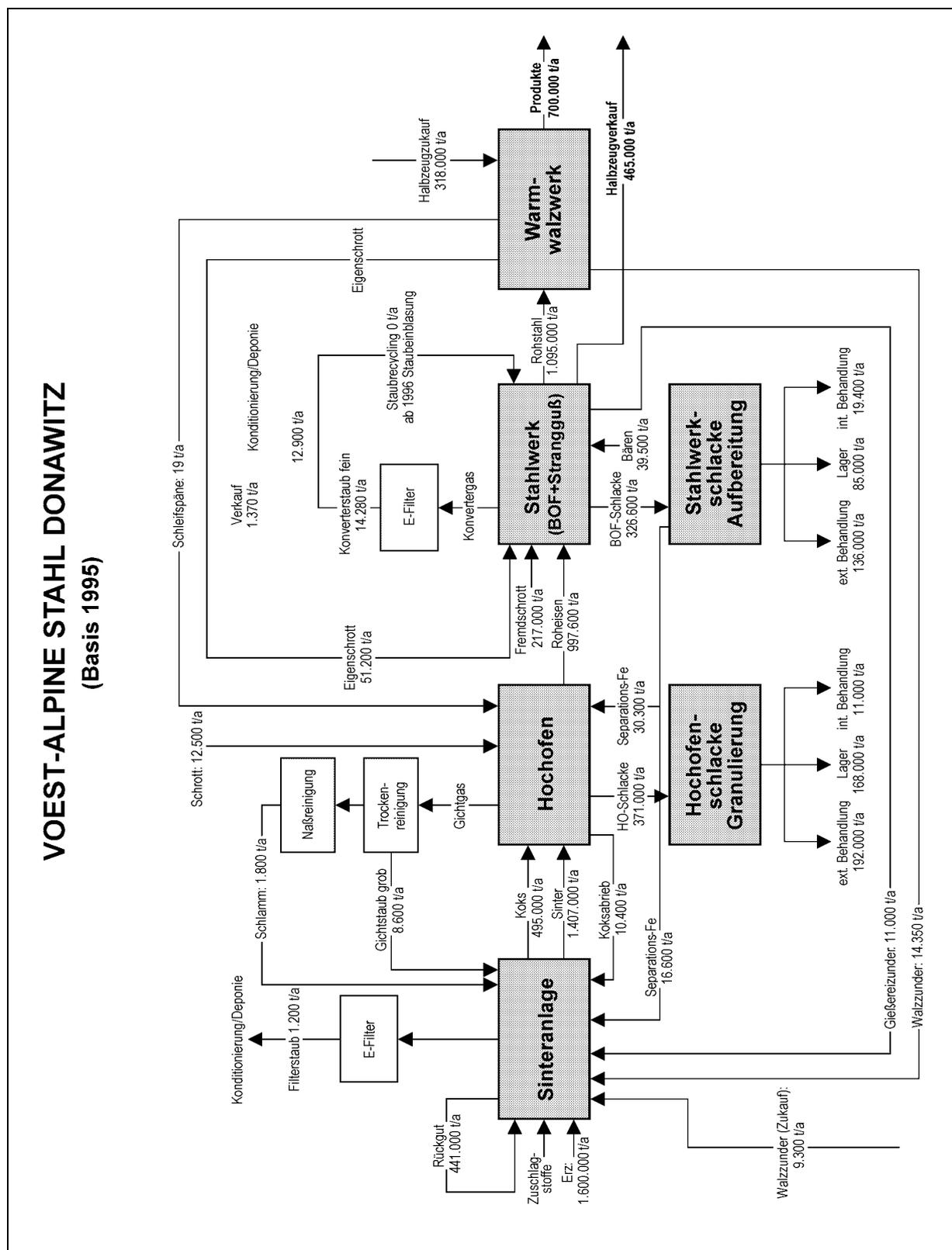


Abb. 5.2-6: Wesentliche Produktionsprozesse und Reststoff- und Abfallströme am Standort der VOEST-ALPINE STAHL DONAWITZ GmbH (Bezugsjahr 1995).

Tab. 5.2-3: Reststoff- und abfallanfall und Behandlungsmöglichkeiten (intern und extern) am Standort der VOEST-ALPINE STAHL DONAWITZ GmbH (Bezugsjahr 1995).

Prozeß/ Anfallsort	Bezeichnung	Behandlung	
		intern	Extern
<b>Sinteranlage</b>	Filterstaub	zum Teil Rückführung auf Sinterband, zum Teil Konditionierung	
	Rückgut	Rückführung auf Sinterband	
<b>Hochofen</b>	Gichtstaub grob	Rückführung auf Sinterband	
	Gichtstaub fein (Schlamm)	Rückführung auf Sinterband	
	Rückgut (Rinneneisen)	Wiedereinsatz im Hochofen	
	Koksabrieb	Behandlung auf Sinterband	
<b>Schlacken- aufbereitung</b>	HO-Schlacke, Granulation erfolgt direkt am Hochofen zu HO-Sand	interne Verwendung 3 % und Zwischenlager 45,2 % intern; Produktion Hochofensand, der intern (Ersatz von Streusplitt, Verwendung in Rekultivierungsmasse) weiterverwendet wird	51,8 % Verkauf der Schlackenprodukte (v. a. an Zementindustrie)
<b>Stahlwerk</b>	Konverterstaub fein	90,4 % Konditionierung und Deponierung; ab 1996: Wiedereinsatz im BOF (Einblasen in BOF – Pilotversuch)	9,6 % (bestimmte Fraktionen) Verkauf an chem. Industrie
	Aufbereitete Stahlwerksschlacke	interne Verwendung: Grobfraction: Deponierung, Feinfraction: Konditionierung,	Verkauf
<b>Schlacken- aufbereitung</b>	Bären	Rückführung in BOF	
	Separationseisen	Einsatz am Sinterband und im Hochofen	
<b>Strangguß</b>	Gießzunder	Grobzunder (nicht ölhaltig); Behandlung am Sinterband	
	Schlamm aus der Abwasseraufbereitung	k. A.	k. A.
<b>Walzwerk</b>	Eigenschrott	Wiederverwertung im LD-Tiegel	
	Walzzunder grob + Mittelzunderfraktion	Rückführung auf Sinterband	

Prozeß/ Anfallsort	Bezeichnung	Behandlung	
		intern	Extern
	Walzenstaub (+ Walzzunder Feinfraktion) – ölhältig		Verkauf an Zementindustrie
	Schleifspäne	Wiedereinsatz im Hochofen	
	Schlamm aus Abwasserreinigung	k. A.	k. A.
<b>diverse Prozesse</b>	Altöl		Entsorgung
<b>(z. B. Walzwerk)</b>	Öl-Wassergemische	Einsatz im HO als Reduktionsmittel: Pilotversuche: Zumischen zu Schweröl	
	HCl-Altbeize, Beizereischlamm		100 % Rücknahme (Regeneration der Beize)

Ergänzende Anmerkungen zur spezifischen Situation der VOEST-ALPINE STAHL DONA-WITZ GmbH:

- **Hochofenschlacke:** Die Granulierung mit Wasser erfolgt direkt am Hochofen beim Abstich. Die Schlackenaufbereitung ist in das HO-System integriert und es entsteht neben Roheisen Hochofensand. Dieser ist ein marktfähiges Erzeugnis und wird zum überwiegenden Teil an die Zementindustrie verkauft. Es wird zur Zeit auch nach anderen Produkten gesucht, die aus der HO-Schlacke hergestellt werden können. Eine Alternative wäre der Umstieg auf die Aufarbeitung zu Stückschlacke (Einsatzmöglichkeiten im Gleisbau werden untersucht). Werksintern findet Hochofensand Anwendung als Ersatz für Streusplitt, Herstellung von Rekultivierungsmasse (zur Begrünung der werksinternen Halden).
- **Stahlwerksschlacke:** Aus der Stahlwerksschlacke wird der Eisenanteil in der Rückgewinnungsanlage von der Restschlacke getrennt und kann in den Hochofen rückgeführt werden. Die Restschlacke wird nach Größe selektiert. Die Grobfraktion wird auf der werksinternen Deponie abgelagert, die Feinfraktion muß vor der Ablagerung konditioniert werden.
- **Abgasreinigung Sinteranlage:** Bei der Sinteranlage werden zur Zeit verschiedene Maßnahmen zur Minimierung des Staubes und Reduktion anderer Emissionen getestet. Das derzeitige Abgasreinigungssystem besteht aus einem Elektrofilter. Verminderungen der Emissionen werden einerseits über die Optimierung der Einsatz- und der Brennstoffe und andererseits durch Maßnahmen direkt am Sinterband (z. B. Pilotversuch mit Zweischichtintern) erprobt. Ab 1998 ist der Einsatz des Zweischichtinterns großtechnisch geplant. Damit ist, laut Aussage der VOEST, auch der Einsatz von anderen Reststoffen und Abfällen wie beispielsweise ölhältigem Zunder, möglich. Geplant ist außerdem ein neues Abluftreinigungssystem. Hierbei wartet man die Erprobung verschiedener Systeme in Deutschland ab.
- **Abgasreinigung Hochofen und Stahlwerk:** Die entstaubten, gereinigten Prozeßabgase werden intern zur Energiegewinnung (Wärme-, Stromgewinnung) verwendet. Daraus können 50 % des benötigten Stroms erzeugt und für das Werk bereitgestellt werden. Die Verminderung von Staubemissionen ist auch beim Hochofen und im Stahlwerk durch den Bau von Sekundärentstaubungsanlagen geplant.
- **Konverterstaub:** Der überwiegende Teil des anfallenden Konverterstaubes wird im Moment konditioniert und deponiert. Seit einiger Zeit werden Untersuchungen durchgeführt, den Konverterstaub wieder im Konverter einzusetzen. So wurden 1995 Versuche mit Staubbriketts gestartet. Bei einem der Tiegel werden im Moment Versuche zur Einblasung des eisenoxid-

hältigen Konverterstaubes durchgeführt. Weiters werden Fraktionen bestimmter Korngröße und Qualität getrennt erfaßt und an externe Abnehmer verkauft. Abnehmer dafür ist vor allem die chemische Industrie, die das Material zur Herstellung von Farbstoffen und Schleifmitteln benötigt. 10 % des anfallenden Konverterstaubes können auf diese Weise Verwendungszwecken in anderen Industriezweigen zugeführt werden.

- **Altöle und Öl-Wassergemische:** Einerseits werden mineralische- durch pflanzliche Öle ersetzt. Eine Eindüsung der Altöle in den Hochofen ist nicht möglich, da keine Eindüsevorrichtung vorhanden ist und deren Errichtung im Vergleich zum Nutzen zu teuer wäre. Noch für das laufende Jahr sind Versuche geplant, Altöle als Reduktionsmittel einzusetzen und zu diesem Zweck dem Schweröl in den Tanks bei zu mischen.
- **Wasserwirtschaft:** Wasser ist im Werk Donawitz knapp, da die einzige Wasserquelle ein kleiner Bach ist. Daher wird das notwendige Wasser für verschiedene Verwendungszwecke ca. dreimal im Kreislauf geführt, bevor es das Werk verläßt. Benötigt werden 164 m<sup>3</sup> Wasser/t Rohstahl. 26 m<sup>3</sup> Abwasser/t Rohstahl werden abgelassen und durch 31 m<sup>3</sup> Wasser/t Rohstahl ersetzt (Differenz sind Verluste wie Verdampfung und Austrag als Schlammfeuchte).

#### 5.2.4 Marienhütte Graz

Das Stahl- und Walzwerk Marienhütte Ges.m.b.H. besteht seit 1960. Aus angekauftem Schrott und dem bei der Produktion anfallenden Eigenschrott werden pro Jahr ca. 250.000 t Stahlknüppel und 140.000 t Betonstahl erzeugt. Die Differenzmenge an Knüppeln wird an VA-Draht verkauft. Das Elektrostahlwerk besteht aus einem 35t Elektrolichtbogenofen und einem Pfannenofen, einer Stranggußanlage (Stahlknüppelherstellung) und dem Warmwalzwerk (Stabstahlproduktion).

Ergänzende Anmerkungen zur spezifischen Situation der Marienhütte Graz:

- **EAF-Schlacke:** Bei den anfallenden Schlacken handelt es sich, laut Firmenangabe, um ein inertes Material, es ist daher keine Aufarbeitung vor ihrer Verwendung bzw. Deponierung notwendig. Ein Teil der Schlacke wird als Straßenbefestigungsmaterial verwendet. Bisher erfüllte die Marienhütte die Wiederauffüllverpflichtung einer Schottergrube.
- Die beim EAF, beim Pfannenofen sowie beim Strangguß resultierenden **Abgase** werden über eine Primärabgasleitung bzw. eine Dachhaubenabsaugleitung einem mit Gewebefiltern bestückten Filterhaus zur Reinigung zugeführt.
- **Zunderanfall:** Zunder fällt beim Strangguß und im Warmwalzwerk an. Er wird mit dem Kühlwasser in ein Absetzbecken transportiert. Das Abwasser wird gereinigt, gekühlt und den Anlagen als Kühlwasser wieder zugeführt. Der resultierende Zunder ist ölfrei und wird extern verwertet (Sinterband bzw. Hochofen).
- Eine Reihe von **Energiesparmaßnahmen** konnten durch **Prozeßoptimierungen** realisiert werden:
  - CO-Nachverbrennung bei EAF (Einsparung von ca. 15 kWh/t)
  - Schaumige Schlackenführung verbessert den Wärmeübergang im EAF
  - Einbau eines Wärmetauschers im Rauchfang des Stoßofens (Einspeisung von ca. 9 GWh/a in das Fernwärmenetz der Grazer Stadtwerke).

5.2.4.1 Reststoff- und Abfallaufkommen und Behandlung

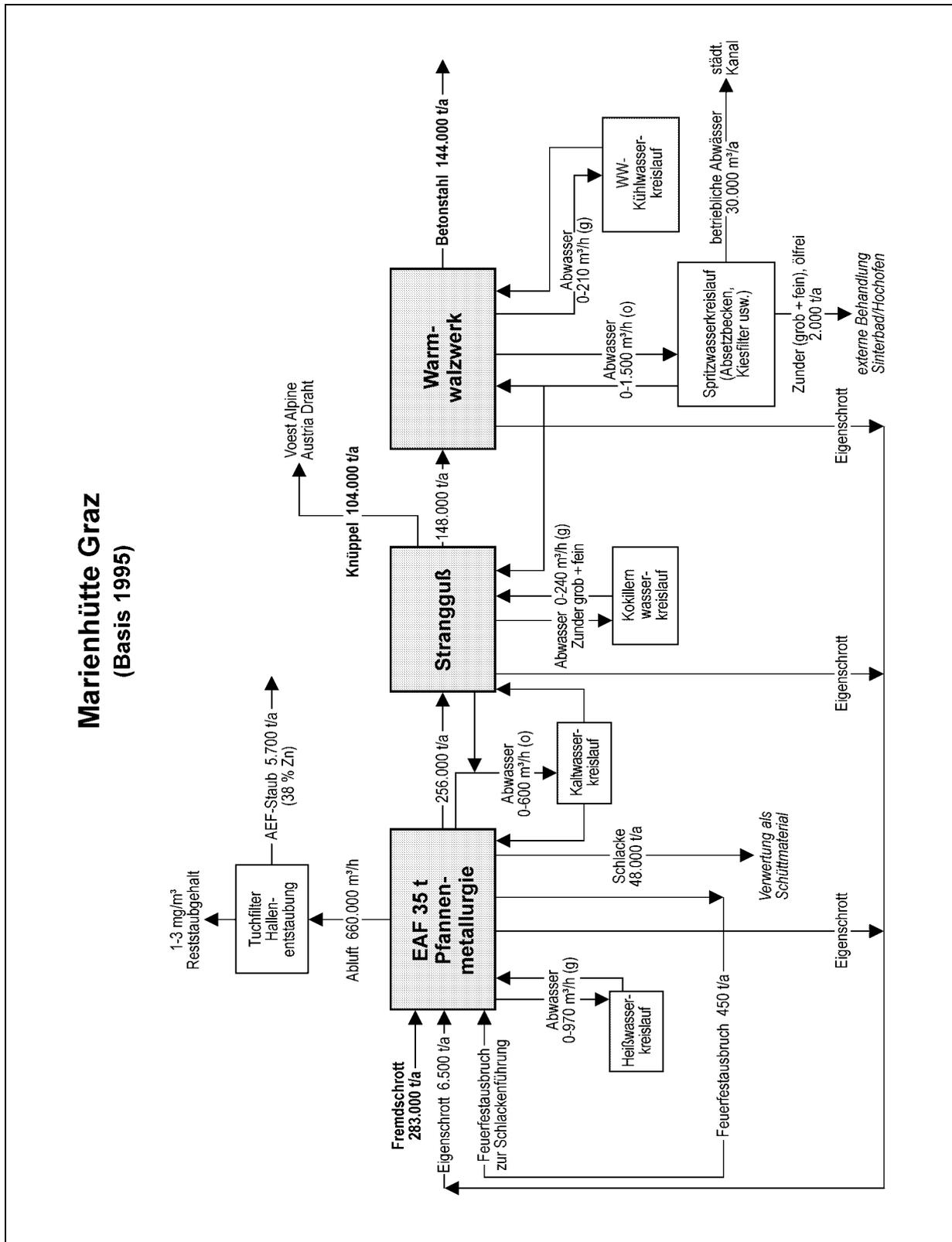


Abb. 5.2-7: Wesentliche Produktionsprozesse und Reststoff- und Abfallströme am Standort der Marienhütte in Graz (Bezugsjahr 1995).

Tab. 5.2-4: Reststoff- und Abfallanfall und Behandlungsmöglichkeiten (intern und extern) am Standort der Marienhütte Graz (Bezugsjahr 1995).

Prozeß/ Anfallsort	Bezeichnung	Behandlung	
		intern	Extern
<b>EAF-Stahlwerk</b>	EAF-Schlacke		Straßenbefestigungs- material; diverse Behandlungen
	EAF-Staub		Behandlung, Staub (Zn-Gehalt: 38 %)
	Feuerfestausbruch	Wiedereinsatz im EAF zur Schlackenführung (deckt MgO-Gehalt der Schlacke)	
	Eigenschrott	Wiedereinsatz im EAF	
<b>Pfannen- metallurgie</b>	Schlacke		wird EAF-Schlacke zugemischt und mit dieser verwertet
	Staub (gemeinsam mit EAF)		wie EAF-Staub
<b>Strangguß</b>	ölfreier Zunder (grob & fein)		Behandlung Sinterband/Hochofen
	Eigenschrott	Wiedereinsatz im EAF	
<b>Walzwerk</b>	ölfreier Walzzunder (grob & fein)		Behandlung Sinterband/Hochofen
	Eigenschrott	Wiedereinsatz im EAF	
<b>Diverse Prozesse</b>	Altöl	k. A.	k. A.

### 5.2.5 Böhler Edelstahl GmbH in Kapfenberg

Die Böhler Edelstahl GmbH ist der bedeutendste österreichische Hersteller von Edelstahl und zählt bei den Werkstoffgruppen Schnellarbeitsstahl und Werkzeugstahl weltweit zu den Marktführern.

Das Böhler Edelstahlwerk in Kapfenberg erzeugt Werkzeug-, Schnellarbeitsstahl und Sonderstähle vom Rohblock über gewalztes, geschmiedetes oder stranggegossenes Halbzeug bis zu kundengerecht bearbeitetem Stabstahl, Schmiedestücken sowie Walzdraht. Pro Jahr werden rund 80.000 t Walzprodukte und 25.000 t Schmiedeprodukte erzeugt.

Die wesentlichen Produktionsanlagen umfassen einen 50 t Lichtbogenofen, Pfannenmetallurgie und Sonderstahlwerk, eine speziell für Edelstahl selbstentwickelte Horizontalstranggießanlage, zwei Warmwalzwerke (Block-/Grobwalzwerk und Mehrlinienwalzwerk) und eine Schmiede.

5.2.5.1 Reststoff- und Abfallaufkommen und Behandlung

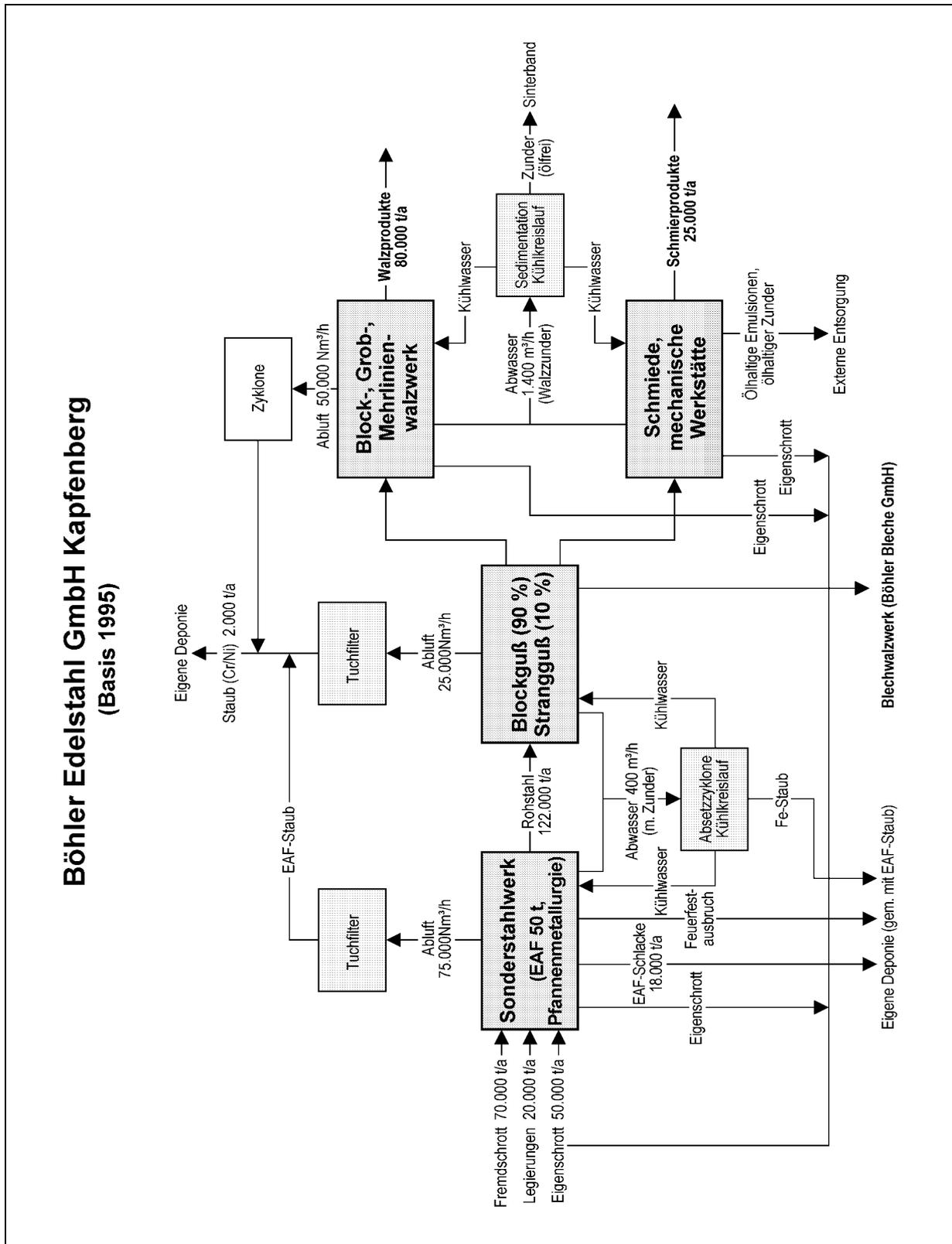


Abb. 5.2-8: Wesentliche Produktionsprozesse und Reststoffströme am Standort der Böhler Edelstahl (Bezugsjahr 1995).

Tab. 5.2-5: Reststoff- und Abfallanfall und Behandlungsmöglichkeiten (intern und extern) am Standort der Böhler Edelstahl GmbH (Bezugsjahr 1995).

Prozeß/ Anfallsort	Bezeichnung	Behandlung	
		intern	Extern
Stahlwerk	EAF-Schlacke	eigene Deponie (keine Behandlung möglich, da sich Schlacke zersetzt)	
(EAF, Pfannen- metallurgie)	EAF-Staub (Cr/Ni-Stahl); Staub aus Pfannenmetallurgie	eigene Deponie (nach Befeuchtung)	
	Feuerfestausbruch	eigene Deponie	
	Eigenschrott	100 % Wiedereinsatz im EAF	
Blockguß und Strangguß	Schrott sortenrein	Wiedereinsatz im EAF	
Schmiede	ölfreier Zunder (grob & fein)		Sinterband/ Hochofen
	Eigenschrott	Wiedereinsatz im EAF	
Walzwerk	Zunder ölhaltig		Abfallentsorger
	Eigenschrott	Wiedereinsatz im EAF	
div. Prozesse (z. B. Walzwerk, Schmiede, Bei- zerei, Zieherei)	Altöl, Öl-Wassergemische		Abfallentsorger
	Emulsionen ölhältig		Abfallentsorger
	Altbeizen (H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , HCl, HNO <sub>3</sub> , Flußsäure)	Behandlung in der betriebs- eigenen Neutralisationsanlage	
	Neutralisationsschlamm	eigene Deponie	
	Abfälle aus der Abwasser- reinigung (gesamtes Werk)	Deponie	

Ergänzende Anmerkungen zur spezifischen Situation der Böhler Edelstahl GmbH:

- **Behandlungsmöglichkeiten von EAF-Staub:** Der anfallende EAF-Staub beinhaltet einen typischen Fe-Gehalt von 40 Gew%, einen Ni-Gehalt von 0,8 Gew% und einen Cr-Gehalt von 8 %. Versuche, den anfallenden EAF-Staub wieder in den Lichtbogenofen rückzuführen scheiterten an den hohen Kosten des Verfahrens (reduzierendes Schmelzen, danach Einsatz im Lichtbogenofen). Außerdem ergibt sich mit der Wiederverwertung des EAF-Staubes der große Nachteil einer Phosphoranreicherung im gesamten Stahlwerk. Für EAF-Staub konnten auch keine externen Abnehmer gefunden werden. Daher wird er gemeinsam mit EAF-Schlacke und dem Neutralisationsschlamm der Beizerei auf der betriebsinternen Deponie gelagert.
- **EAF-Schlacke:** Bei der anfallenden Schlacke handelt es sich um eine Zerfallsschlacke. Sie ist daher für eine Aufarbeitung zu Hüttenbaustoffen nicht geeignet.
- **Walzzunder:** Der hohe Ölgehalt des Walzzunders von 10 % wird durch die Ölhärtebecken der Wärmebehandlung verursacht. Der Walzzunder wird extern entsorgt.
- **Energieeinsparungen** konnten durch zahlreiche **Prozeßoptimierungen** realisiert werden:
  - Ausstattung der Öfen in der Wärmebehandlung und der Blocköfen mit wärmeisolierenden Fasermatten (Einsparung bis zu 1,7 Mio m<sup>3</sup> Erdgas/a)
  - Abwärmenutzung (Wärmetauscher) der Blocköfen der Schmiede (Einsparung von 0,6 MW/h und werksinterne Nutzung)
  - Optimierung der Regelung der Stoß- und Tieföfen (Einsparpotential von 0,9 Mio m<sup>3</sup> Erdgas/a).

### 5.2.6 Breitenfeld Edelstahl GmbH

In Breitenfeld werden Rohstahlblöcke und Stranggußknüppel erzeugt, die zum Teil als Vormaterial für die Verarbeitung zu Halbzeug (Stabstahl, Ringe, Scheiben) verwendet werden. Es werden pro Jahr zwischen 60.000-90.000 t Rohstahl produziert.

Die wesentlichen Produktionsanlagen umfassen eine Pelletieranlage, einen 30t Elektroofen mit Pfannenofenanlage, VD-Anlage zur Feinbehandlung und Strangguß, ein Walzwerk, Schmiede, sowie Entstaubungsanlagen für EAF, Hallenentstaubung und Pfannenofenentstaubung.

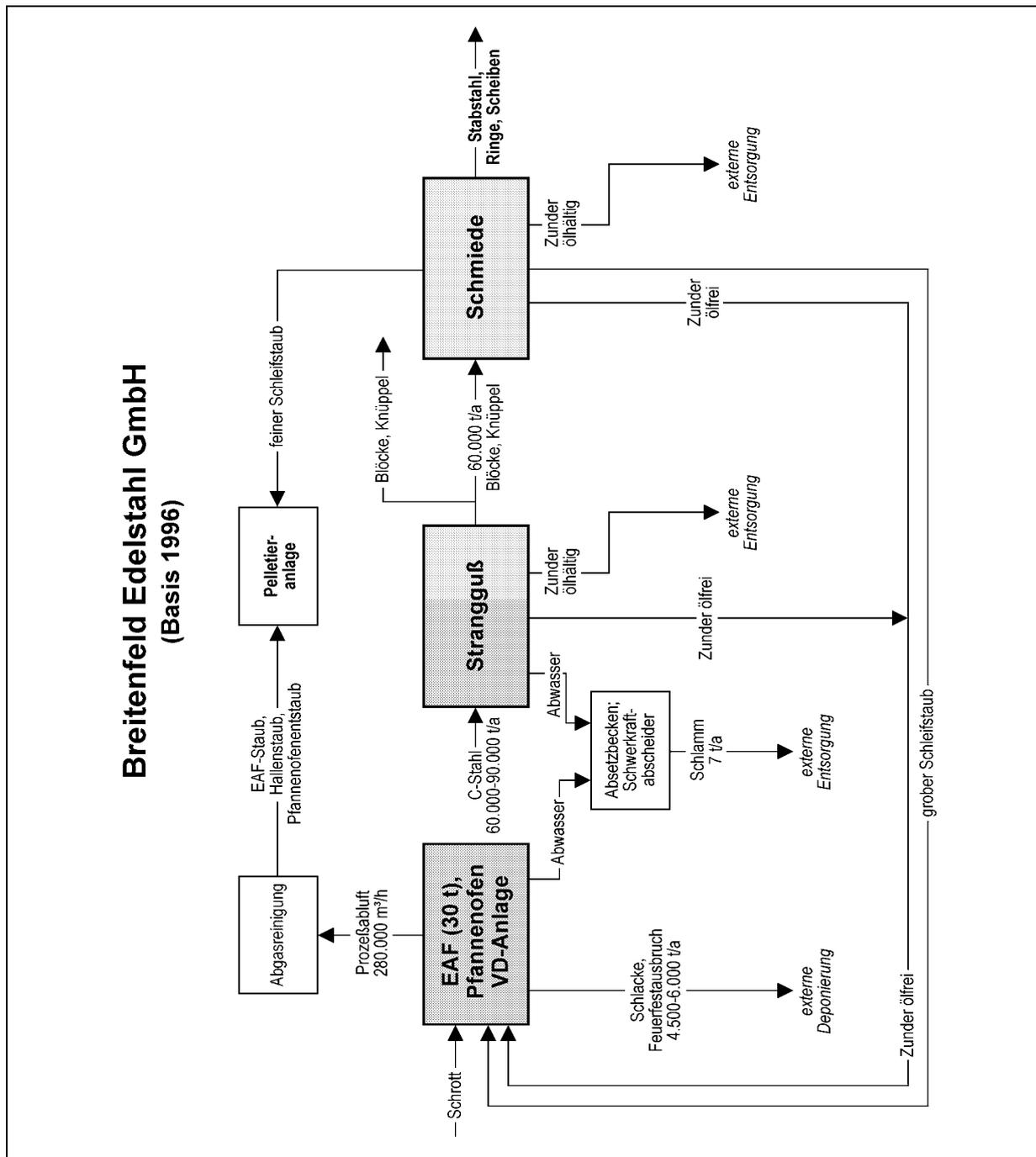


Abb. 5.2-9: Wesentliche Produktionsprozesse und Reststoff- und Abfallströme am Standort der Breitenfeld Edelstahl GmbH (Bezugsjahr 1995).

Tab. 5.2-6: Reststoff- und Abfallanfall und Behandlungsmöglichkeiten (intern und extern) am Standort der Breitenfeld Edelstahl GmbH (Bezugsjahr 1995).

Prozeß/ Anfallsort	Bezeichnung	Behandlung	
		intern	Extern
<b>EAF-Stahlwerk Pfannen- metallurgie</b>	EAF-Schlacke		100 % extern
	EAF-Staub (C-Stahl) Filterstaub aus Hallentstaubung Filterstaub aus Pfannentstaubung	k. A. (Pelletieranlage)	
	Schlacke Pfannenofen	k. A.	k. A.
	Feuerfestausbruch		100 % extern
	Staub aus Pfannen- metallurgie (Schlamm)	k. A.	k. A.
	Eigenschrott	Wiedereinsatz im EAF	
<b>Strangguß</b>	Eigenschrott	Wiedereinsatz im EAF	
	Schlamm aus der Abwasserreinigung	k. A.	k. A.
	Zunder grob, ölfrei	Wiedereinsatz im EAF	
	Zunder fein, ölhaltig		100 % Entsorger
<b>Walzwerk</b>	Zunder (grob & fein) ölhaltig		100 % Entsorger
	Eigenschrott		
<b>Schmiede</b>	Zunder grob, ölfrei	Wiedereinsatz im EAF	
	Schleifstaub grob	Wiedereinsatz im EAF	
	Schleifstaub fein	k. A. (Pelletieranlage gemeinsam mit EAF-Staub)	
	Zunder ölhaltig		100 % Entsorger
<b>Diverse Prozesse (z. B. Schmiede, Beizerei, Absetzbecken)</b>	Hydrauliköle	22 % Ölreinigungs- anlage	78 % Abfallentsorger
	Öl-Wasseremulsion	k. A.	Entsorger
	Ölabscheiderinhalte		Entsorger
	Emulsionen ölhaltig		Entsorger
	Altbeizen (H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , HCl, HNO <sub>3</sub> , Flußsäure)	k. A.	k. A.
	Neutralisationsschlamm	k. A.	k. A.
	Abfälle aus der Abwasser- reinigung (gesamtes Werk)	k. A.	k. A.

Ergänzende Anmerkungen zur spezifischen Situation der Breitenfeld Edelstahl GmbH:

- **Filterstäube** aus der EAF- und Hallenentstaubung werden in die Pelletieranlage rückgeführt und können danach wieder im EAF eingesetzt werden. Der in der Schmiede anfallende feine Schleifstaub wird dem Filterstaub beigemischt und mitpelletiert.
- **Grobschleifstaub** kann direkt in den E-Ofen eingebracht werden. Ebenso werden ölfreie Zunder aus dem Stahlwerk und der Schmiede in den Ofen chargiert.
- In der **Ölreinigungsanlage** werden gebrauchte Hydrauliköle, sofern sie nicht „gealtert“ sind, aufbereitet und wieder verwendet.

## 6 LITERATURVERZEICHNIS

- AUMONIER, J.; JUCKES, L. M. & TRAICE, F. B. (1996): Towards Zero Landfill. In Working Party on Steel. In: Seminar on the Processing, Utilization and Disposal of Waste in the Steel Industry, Ungarn.
- AUMONIER, J. & LINSLEY, K. (1995): Low Cost Recovery of Iron and Carbon from Blast Furnace Slurry. In: Proceedings zum UN ECE Seminar on Metallurgy and Ecology, 24./25. April 95, Düsseldorf.
- BAN, B. C. & LIM, B. M. (1994): EAF-Dust Treatment by DC-Arc Furnace with Hollow Electrode and New Concept of Dust Recycling. SEAI Quarterly, January 94.
- BISIO, G. (1992): Thermal Energy Recovery from Furnace Molten Slag associated with Reducing Environmental Pollution. In: Energy, Environmental and Technological Innovation, Volume 2, Università di Roma „La Sapienza“. Rom.
- COMMITTEE ON ENVIRONMENTAL AFFAIRS (1987): The Management of Steel Industry By-Products and Waste. International Iron and Steel Institute, Brüssel.
- CORSINI, T. (1994): Treatment of EAF dust by a leachant process. Steel Times, October 94.
- FALBE, J. (1977): Chemierohstoffe aus Kohle. Georg Thieme Verlag, Stuttgart.
- FEhS (Hrsg.) (1992): Eisenhüttenschlacken – Eigenschaften und Verwertung, Schriftenreihe der Forschungsgemeinschaft Eisenhüttenschlacken, Heft 1, Duisburg.
- FRITZ, B.; LEHNER, J.; ANTLINGER, K. & AUER, W. (1993): Comparison of Pyrometallurgical Processes for the Treatment of Steel Mill Residues. In: Contribution to Steelmaking Congress, Lipezk, October 11.-15.93.
- GARA, S. (1994): Schadstoffe aus der Hütte werden reduziert: Neues Verfahren mindert Staub- und Dioxin-Emissionen von Sinteranlagen. VDI Nachrichten, Nr. 32, p. 16, 12. August 94.
- GARA, S. & GEBERT, W. (1994): AIRFINE<sup>®</sup> – Gas Cleaning Technology for Iron Ore Sinter Plants. In: 9. Aachener Stahlkolloquium 1994, Metallurgie von Eisen und Stahl, Aachen, Deutschland, 13.-14. Oktober 94.
- GARA, S. & GEBERT, W. (1994): AIRFINE<sup>®</sup> – Integrated Waste Gas Cleaning System for Iron Ore Sinter Plants. UNIDO – International Meeting on Environmental Management in Metallurgical Processes, Prague, Czech Republic, 15.-22. June 94.
- GEBERT, W.; GARA, S. & PARZERMAIER, F. (1995): PCDD/F Emission Reduction for Iron Ore Sinter Plants. Steel Times, p.220, June 95.
- GEBERT, W.; GARA, S. & PARZERMAIER, F. (1994): PCDD/F Emission Reduction for Iron Ore Sinter Plants. In: Proceedings DIOXIN '94, Kyoto, Japan.
- GEBERT, W. & NAGL, W. (1995): Ecological Measures for BOF Steelmaking. In: European Symposium on Environmental Control in the Steel Industry, Prag.
- GECK, H. G.; PRETZER G.; SCHÄFER, K. & SELENZ, H. J. (1989): Einblasen von Filterstäuben in Konverter mit Bodendüsen am Beispiel Georgsmarienhütte. Stahl und Eisen 109, Nr. 7.
- GEISELER, J. (1991): Verwertung der Stahlwerksschlacken. Stahl und Eisen 111, Nr. 1.
- GROSSKINSKY, O. (1955 und 1958): Handbuch des Kokereiwesens. Band I und II, Dipl.-Ing. K. Knapp Verlag, Düsseldorf.
- HAMMER, S. & KÜHN, M. (1992): Düngemittel aus Eisenhüttenschlacken. In: Eisenhüttenschlacken – Eigenschaften und Verwertung, Schriftenreihe der Forschungsgemeinschaft Eisenhüttenschlacken, Heft 1, Duisburg.
- HAMMERSCHMIDT, P.; HILBRANS, H. et al. (1987): Entzinken und Entbleien von Hüttenwerksstäuben und -schlämmen auf dem Sinterband. Stahl und Eisen 107, Nr. 1.
- HARP, G. et al. (1990): Untersuchung und Bewertung der Einsatzmöglichkeiten verschiedener Verfahren zur Aufbereitung von Hüttenwerksrest- und -abfallstoffen. Betriebsforschungsinstitut des Vereins Deutscher Eisenhüttenleute, Düsseldorf.

- HEISS, J.; FRITZ, B. & SAIKO, T. (1996): The Industrial Use of an On-Line Zinc Determination System. In: Working Party on Steel, Seminar on the Processing, Utilization and Disposal of Waste in the Steel Industry, Ungarn.
- HIGTON, B. (1993): Controlling the shaft furnace EAF at CO-Steel Sheerness. Steel Times.
- HOEFFER, E. (1994): The ups and downs of recycling coated steel scrap. New Steel, September.
- HÖFFKEN, E. et al. (1988): Die Entwicklung des Thyssen-Heißbrikettierverfahrens und seine betriebliche Anwendung. Stahl und Eisen 108, Nr.14, Düsseldorf.
- IISI (International Iron and Steel Institute, Hrsg.) (1987): The Management of Steel Industry By-Products. Committee on Environmental Affairs, Brussels.
- IISI (International Iron and Steel Institute, Hrsg.) (1993): The Management of Steel Plant Ferruginous By-Products. Committee on Environmental Affairs, Brussels.
- JUCKES, L. M. (1995): Utilisation of Steel Industry Slags. In: European Symposium on Environmental Control in the Steel Industry, Prag.
- KEPPLINGER, W. L. (1995): The Influence on the Environment of Modern Iron Producing Processes. In: European Symposium on Environmental Control in the Steel Industry, Prag.
- KEPPLINGER, W. L. (1994): The COREX-Process An Approach Towards Cleaner Production. Leoben.
- KLOSE, R. et al. (1994): Entölung von ölhaltigem Walzzunder mit einem naßmechanischen Waschverfahren. Stahl und Eisen 114, Nr. 1; Salzgitter.
- KLOSE, R.; UPHOFF, R. & KUCERA, J. (1994): Entölung von ölhaltigem Walzzunder mit einem naß-chemischen Verfahren. Stahl und Eisen 114, Nr. 1.
- KOHL, J. (1992): Aufarbeitung von Reststoffen aus der Stahlindustrie. Stahl und Eisen 112, Nr. 8.
- KOHL, J. (1992): Recycling of steel mill waste. Metallurgical Plant and Technology International, Nr. 6.
- KÖLLER, O. (1995): Environmental Protection – A Challenge to Management in the Austrian Steel Industry. In: European Symposium on Environmental Control in the Steel Industry, Prag.
- KREULITSCH, H. & SCHRÖER, W. (1991): Ein ökologisches Konzept wird verwirklicht. In: BHM, 136. Jg., Heft 9.
- KRUPP KOPPERS GmbH: Informationsschrift Desulphurization of Coke Oven Gas, Production of Sulphur or Sulphuric Acid. Essen.
- KÜHN, M.; GEISELER, J.; DRISSEN, P. & GRADE, K. (1992): Verwertung von Stäuben und Schlämmen der Stahlindustrie. In: Eisenhüttenschlacken – Eigenschaften und Verwertung, Schriftenreihe der Forschungsgemeinschaft Eisenhüttenschlacken, Heft 1, Duisburg.
- LEHMANN, H. et al. (1993): Reststoffströme in der Metallindustrie – Technologien und Kennziffern. Institut für Wassergüte und Umwelttechnik, Hannover.
- LEHMANN, H. & LICHTHE, M. (1994): Reststoffanfall und -vermeidung bei genehmigungsbedürftigen Anlagen der Metallindustrie. In: Abfallwirtschaft, EP, Nr. 10.
- LEHNER, J. (1993): Beispiele zum Stand der Technik zur Behandlung und Verwertung von ölhaltigen Eisenträgern, Vortrag Leoben.
- LEHNER, J. & GOULD, L. (1995): Treatment and Recycling of Oil-Containing Ferrous Materials in Integrated Iron & Steel Works. VAI.
- LEHNER, J.; NAGL, W. & GOULD, L. (1996): Processes for the Treatment of Steel Works Dusts for Recovery of Metallic Components. VAI.
- LINDBLAD, B. (1993): Studies on Emissions from Electric Arc Furnaces. In: Proceedings zum UN ECE-Seminar on Metallurgy and Ecology, Working Party on steel, Sem. 19, Nancy.
- LINDENBERG, H. U.; Lanz, J. & Weis, W.: Einsatz von Altkunststoffen als Reduktionsmittel im Hochofenprozeß. Hrsg.: Stahlwerke Bremen.
- LÜNGEN, H. B. & THEOBALD, W. (1991): Umweltschutz an europäischen Sinteranlagen. Stahl und Eisen 111, Nr. 12.

- LURGI (1982): Dust Collection in Steel Works – LT-Steel Gas Process. Lurgi Express Information.
- LURGI (1993): The LURGI EOS Process – Emission Optimized Sintering. Informationsblatt.
- NOMURA, Y. (1994): EAF Dust Treatment in Japan. SEAIQ Quarterly, April 94.
- PHILIPP, J. A. (1995): Recycling of Dusts and Sludges in the Iron and Steel Industry. In: Proceedings zum UN ECE Seminar on Metallurgy and Ecology, 24./27. April 1995, Düsseldorf.
- PHILIPP, J. A. et al. (1993): Recycling in the steel industry. In: Proceedings zum UN ECE -Seminar on Metallurgy and Ecology, Working Party on steel, Sem. 19, Nancy.
- PHILIPP, J. A. et al. (1994): Ökobilanzen für Stahlprodukte – Sachstand und Perspektiven. Stahl und Eisen 114, Nr. 11.
- PHILIPP, J. A. et al. (1992): Recycling in der Stahlindustrie. Stahl und Eisen 112, Nr. 12, Düsseldorf.
- PÜHRINGER, O.; WIESINGER, H. et al. (1991): Betriebserfahrungen mit dem COREX-Verfahren und dessen Entwicklungspotential. Stahl und Eisen 111, Nr. 9.
- RENTZ, O. (1995): Integrierter Umweltschutz. In Handbuch zur Umweltökonomie, Analytika, Berlin.
- RENTZ, O.; PÜCHERT, H.; PENKUHN, T. & SPENGLER, T. (1995): Stoffstrommanagement in der Eisen- und Stahlindustrie. Forschungsbericht BMU.
- SCHMIDT, G. & SCHRÖER, U. (1991): Standortbestimmung der österreichischen Stahlindustrie und Zukunftsausblick. In: BHM, 136. Jg., Heft 9.
- SCHREY, G. & REUFER, F. (1995): The COREX-Process – New Ways for the Utilization of Metallurgical By-Products as Secondary Raw Materials from the Iron and Steel Making Industry. In: Proceedings zum UN ECE Seminar on Metallurgy and Ecology, 24./25. April 1995, Düsseldorf.
- SHAW, D. (1996): Recycling of Oily Millscale and EAF-Baghouse Dust by Re-Injection into an EAF Using the Carbofer Process. In: in Working Party on Steel, Seminar on the Processing, Utilization and Disposal of Waste in the Steel Industry, Ungarn.
- STROHMEIER, G. (1993): Several Processes to improve Environmental Protection In Iron and Steel Making. Lurgi AG (Hrsg.). In: Proceedings zum UN ECE Seminar on Metallurgy and Ecology, 10.-14. Mai, Nancy.
- SUURLAND, J. A. (1995): Agreements with Industry – The Dutch Covenants. In: First Global Consultation on Environmental Management/Cleaner Technologies in the Metallurgical Industry, UNIDO, Vienna 16-18 October 95.
- SZEKELY, J. & Trapaga, G. (1994): Zukunftsperspektiven für neue Technologien in der Stahlindustrie. Stahl und Eisen 114, Nr.9.
- TIPPMER, K. (1985): Kokereigasreinigung und Nebenproduktgewinnung. Teil I, in Bergbau 8/85, Teil II in Bergbau 11/85.
- UN-ECE Task Force (1996): By-Product Utilization from Stationary Installations. Status Report, Conference Papers, Vol.18, Wien.
- VA Stahl GmbH (1995): Geschäftsbericht.
- VA Stahl (1996): Informationen.
- VA Stahl (1992): Umweltbericht.
- VAI Environmental Technology (1996): AIRFINE World's Lowest Emissions for Agglomeration Plants. Firmenprospekt.
- VAI Environmental Technology (1996): Integrated Solutions for Converter Off-Gas Systems. Firmenprospekt.
- VAI Metallurgical Plant Integration (1994): Perfect Integration of Steelmaking Technologies. Firmenprospekt.
- VAI (1994 und 1995): The World of VAI-Technology. Firmenprospekt.
- VOS, D. (1995): Environmental Control at Hoogovens Ijmuiden Coke Oven Plants. In: European Symposium on Environmental Control in the Steel Industry, Prag.

- WAGENER, D. et al. (1982): Beiträge zur kokereitechnischen Entwicklung. In: Technische Mitteilungen, 75. Jahrgang, Heft 9, September 82.
- WELVAADT, R. (1995): Self-Regulatory Environmental Measures in the Metallurgical Industry. In: First Global Consultation on Environmental Management/Cleaner Technologies in the Metallurgical Industry, UNIDO, Vienna 16-18 October 95.
- WIESINGER, H.; PATUZZI, A. & GARA, S. (1994): Ecological Measures for Converter Steelmaking Emphasizing Process Integration. In: 1994 Annual Convention of the Association of Iron and Steel Engineers, September 19-21, Cleveland, Ohio, U.S.A., Iron and Steel Engineer, Conventional Issue, p.CI-60, September 94.
- WILLEKE, R.; EWERS, R. & KREUTZER, H. W. (1994): Stahlschrott als Rohstoff für die Stahlerzeugung. Stahl und Eisen 114, Nr. 4.
- WINNACKER, K. & KÜCHLER, L. (1986): Chemische Technologie. München.
- WIRSING, G. (1996): Ist der Hochofen ein Problemlöser. Umweltschutz (2/96).
- YAMAMURA, M. et al. (1993): Environmental Management at NKK Keihin Works. In: Proceedings zum UN ECE -Seminar on Metallurgy and Ecology, Working Party on steel, Sem. 19, Nancy.
- COLBORN, T.; Vom SAAL, F. S. & SOTO, A. M. (1993): Formatvorlage für "**Literatur**"-Liste. Environmental Health Perspectives, 101, 1.378-1.384.

## 7 ANHANG

### 7.1 Begriffsdefinitionen laut AWG BGBl. in der gültigen Fassung

Die in dieser Studien verwendeten Begriffe weichen in einigen Fällen von denen des österreichischen AWG ab. Um einen Vergleich zu erleichtern sind hier einige, diese Studie betreffende, Definitionen des AWG aufgeführt. Die Begriffe der thermischen und stofflichen Abfallverwertung sind hier an die Verpackungsverordnung BGBl 1996/648 angelehnt.

**Abfälle:** „sind bewegliche Sachen, deren sich der Eigentümer entledigen will oder entledigt hat oder deren Erfassung und Behandlung als Abfall im öffentlichen Interesse geboten ist.“ „Ist eine Sache Abfall und wird sie einer Verwertung (Altstoff) durchgeführt, gilt sie so lange als Abfall, bis sie oder die aus ihr gewonnenen Stoffe einer zulässigen Verwendung oder Verwertung zugeführt wird.“  
Einen Begriff Reststoff ist im AWG nicht definiert.

**Abfallverwertung:** „Abfälle sind **stofflich und oder thermisch zu verwerten**, soweit dies ökologisch vorteilhaft und technisch möglich ist, die dabei entstehenden Mehrkosten im Vergleich zu anderen Verfahren der Abfallbehandlung nicht unverhältnismäßig sind und ein Markt für die gewonnenen Stoffe oder die gewonnene Energie vorhanden ist oder geschaffen werden kann.“

Eine stoffliche oder thermische Verwertung kennt das AWG nicht. Einen Anhaltspunkt liefert hier die Verpackungsverordnung. Dort ist definiert: „**Stoffliche Verwertung** besteht in der Nutzung der stofflichen Eigenschaften für den ursprünglichen Zweck oder für andere Zwecke mit Ausnahme der Energiegewinnung.“ Die „**Thermische Verwertung** ist die Verwendung von brennbarem Verpackungsabfall zur Energieerzeugung durch direkte Verbrennung ... , jedenfalls mit Rückgewinnung der Wärme.“

**Abfallvermeidung:** „Die Abfallmengen und deren Schadstoffinhalt sind so gering wie möglich zu halten.“

**Abfallentsorgung:** „Abfälle, die nicht verwertbar sind, sind je nach ihrer Beschaffenheit durch biologische, thermische oder chemisch-physikalische Verfahren sonst zu behandeln. Feste Rückstände möglichst reaktionsarm und konditioniert geordnet abzulagern.“

In Abb. 7.1-1 ist der Zusammenhang der Begriffe in der Eisen- und Stahlindustrie dargestellt.

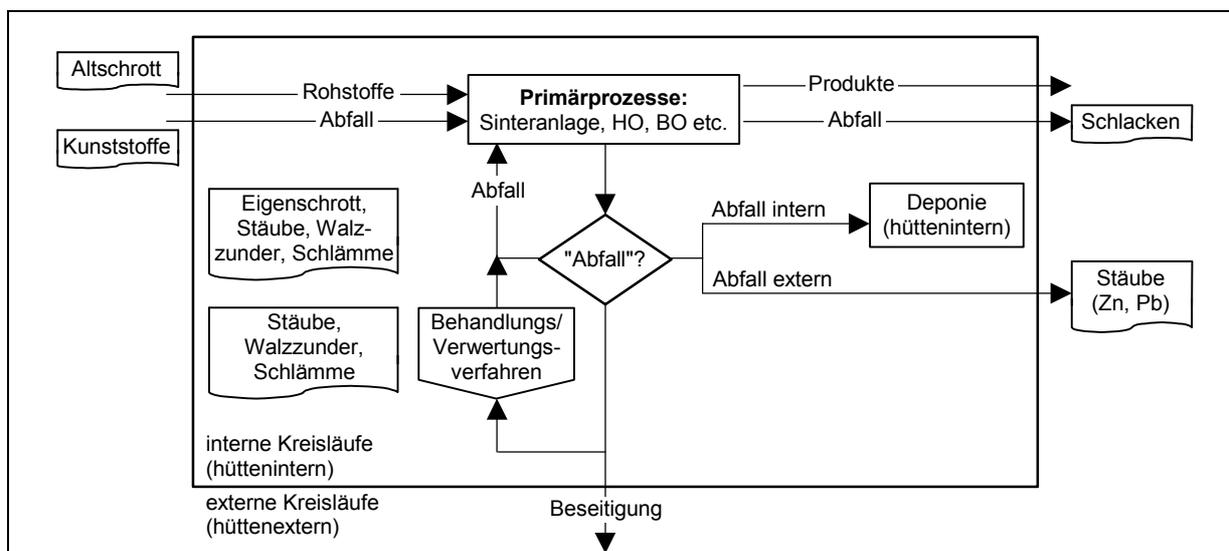


Abb. 7.1-1: Systematik der Begriffsdefinitionen für die Eisen- und Stahlindustrie.

## 7.2 Begriffsdefinitionen laut EU Rahmenrichtlinie über Abfälle (91/156/EWG)

Um die Begriffsdefinitionen zu vervollständigen, seien weiters die relevanten Begriffe aus der Richtlinie des Rates 91/156/EWG über Abfälle zusammengefaßt.

**Abfälle:** sind alle Stoffe oder Gegenstände, die unter die in Anhang I (Tabelle 7.3-1) aufgeführten Gruppen fallen und deren sich ihr Besitzer entledigt, entledigen will oder entledigen muß.

**Beseitigung:** alle in Anhang II A (Tabelle 7.3-2) aufgeführten Verfahren.

**Verwertung:** alle in Anhang II B (Tabelle 7.3-3) aufgeführten Verfahren.

## 7.3 Abfallgruppen

Tab. 7.3-1: Abfallgruppen gemäß Anhang I des deutschen Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz (KrW-/ABFG) und der Richtlinie 91/156/EWG.

Abfallgruppen	
Q1	Nachstehend nicht näher beschriebene Produktions- und Verbrauchsrückstände
Q2	Nicht den Normen entsprechende Produkte
Q3	Produkte, bei denen das Verfalldatum überschritten ist
Q4	Unabsichtlich ausgebrachte oder verlorene oder von einem sonstigen Zwischenfall betroffene Produkte einschließlich sämtlicher Stoffe, Anlageteile usw., die bei einem solchen Zwischenfall kontaminiert worden sind
Q5	Infolge absichtlicher Tätigkeiten kontaminierte oder verschmutzte Stoffe (z. B. Reinigungsrückstände, Verpackungsmaterial, Behälter usw.)
Q6	Nichtverwendbare Elemente (z. B. verbrauchte Batterien, Katalysatoren usw.)
Q7	Unverwendbar gewordene Stoffe (z. B. kontaminierte Säuren, Lösungsmittel, Härtesalze usw.)
Q8	Rückstände aus industriellen Verfahren (z. B. Schlacken, Destillationsrückstände usw.)
Q9	Rückstände von Verfahren zur Bekämpfung der Verunreinigung (z. B. Gaswaschschlamm, Luftfilterrückstand, verbrauchte Filter usw.)
Q10	Bei maschineller und spanender Formgebung anfallende Rückstände (z. B. Dreh- und Fräsespäne usw.)
Q11	Bei der Förderung und der Aufbereitung von Rohstoffen anfallende Rückstände (z. B. im Bergbau, bei der Erdölförderung usw.)
Q12	Kontaminierte Stoffe (z. B. mit PCB verschmutztes Öl usw.)
Q13	Stoffe oder Produkte aller Art, deren Verwendung gesetzlich verboten ist
Q14	Produkte, die vom Besitzer nicht oder nicht mehr verwendet werden (z. B. in der Landwirtschaft, den Haushaltungen, Büros, Verkaufsstellen, Werkstätten usw.)
Q15	Kontaminierte Stoffe oder Produkte, die bei der Sanierung von Böden anfallen
Q16	Stoffe oder Produkte aller Art, die nicht einer der oben erwähnten Gruppen angehören

Tab. 7.3-2: Beseitigungsverfahren gemäß Anhang II A des deutschen Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz (KrW-/ABFG) und der Richtlinie 91/156/EWG.

<b>Beseitigungsverfahren</b>	
D1	Ablagerungen in oder auf dem Boden (d. h. Deponien usw.)
D2	Behandlung im Boden (z. B. biologischer Abbau von flüssigen oder schlammigen Abfällen im Erdreich usw.)
D3	Verpressung (z. B. Verpressung pumpfähiger Abfälle in Bohrlöcher, Salzdome oder natürlicher Hohlräume usw.)
D4	Oberflächenaufbringung (z. B. Ableitung flüssiger oder schlammiger Abfälle in Gruben, Teichen oder Lagunen usw.)
D5	Speziell angelegte Deponien (z. B. Ablagerung in abgedichteten, getrennten Räumen, die verschlossen und gegeneinander und gegen die Umwelt isoliert werden usw.)
D6	Einleitung in ein Gewässer mit Ausnahme von Meeren/Ozeanen
D7	Einleitung in Meere/Ozeane einschließlich Einbringung in den Meeresboden
D8	Biologische Behandlung, die nicht an anderer Stelle in diesem Anhang beschrieben ist und durch die Endverbindungen oder Gemische entstehen, die mit einem der in D1 bis D12 aufgeführten Verfahren entsorgt werden.
D9	Chemisch/physikalische Behandlung, die nicht an anderer Stelle in diesem Anhang beschrieben ist und durch die Endverbindungen oder Gemische entstehen, die mit einem der in D1 bis D12 aufgeführten Verfahren entsorgt werden (z. B. Verdampfen, Trocknen, Kalzinieren, usw.)
D10	Verbrennung an Land
D11	Verbrennung auf See
D12	Dauerlagerung (z. B. Lagerung von Behältern in einem Bergwerk usw.)
D13	Vermengung oder Vermischung vor Anwendung eines der in D1 bis D12 aufgeführten Verfahren
D14	Rekonditionierung vor Anwendung eines der in D1 bis D13 aufgeführten Verfahren
D15	Lagerung bis zur Anwendung eines der D1 bis D14 aufgeführten Verfahren (ausgenommen zeitweilige Lagerung – bis zum Einsammeln – auf dem Gelände der Entstehung der Abfälle)

Tab. 7.3-3: Verwertungsverfahren gemäß Anhang II B des deutschen Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz (KrW-/ABFG) und der Richtlinie 91/156/EWG.

Verwertungsverfahren	
R1	Hauptverwendung als Brennstoff oder andere Mittel der Energieerzeugung
R2	Rückgewinnung/Regenerierung von Lösemitteln
R3	Verwertung/Rückgewinnung organischer Stoffe, die nicht als Lösemittel verwendet werden (einschließlich der Kompostierung und sonstiger biologischen Umwandlungsverfahren)
R4	Verwertung/Rückgewinnung von Metallen und Metallverbindungen
R5	Verwertung/Rückgewinnung anderer anorganischer Stoffe
R6	Regenerierung von Säuren oder Basen
R7	Wiedergewinnung von Bestandteilen, die der Bekämpfung der Verunreinigung dienen
R8	Wiedergewinnung von Katalysatorenbestandteilen
R9	Ölraffination oder andere Wiederverwendungsmöglichkeiten von Öl
R10	Aufbringen auf den Boden zum Nutzen der Landwirtschaft oder der Ökologie
R11	Verwendung von Abfällen, die bei einem der unter R1 bis R10 aufgeführten Verfahren gewonnen werden
R12	Austausch von Abfällen, um sie einem der unter R1 bis R11 aufgeführten Verfahren zu unterziehen
R13	Ansammlung von Abfällen, um sie einem der unter R1 bis R12 aufgeführten Verfahren zu unterziehen (ausgenommen zeitweilige Lagerung – bis zum Einsammeln – auf dem Gelände der Entstehung der Abfälle).