Untersuchung zum Thema:

Vermeidung von Abfällen durch abfallarme Produktionsverfahren

Reststoffe aus Schmelzanlagen für Nichteisenmetalle (NE-Schwermetallguß)

im Auftrag des
Umweltministeriums
Baden-Württemberg

Wolfgang Binninger

FICHTNER GmbH & Co. KG
Sarweystraße 3
70191 Stuttgart
Telefon 07 11 / 89 95-0

Stuttgart, August 1994

Herausgeber:
ABAG-Abfallberatungsagentur
Geschäftsbereich der
SBW-Sonderabfallentsorgung Baden-Württemberg GmbH
Stauferstraße 15
70736 Fellbach
Telefon 07 11 / 95 19 11-0
Telefax 07 11 / 95 19 11-20

August 1994

Gedruckt auf: weiß Recycling (Inhalt)
weiß mattgestrichen Offset chlorfrei gebleicht (Umschlag)

Gesamtherstellung: Oertel · Spörer, Reutlingen

Alle Rechte der Verbreitung, auch durch Film, Funk und Fernsehen, fotomechanische Wiedergabe, Tonträger jeder Art, auszugsweisen Nachdruck oder Einspeicherung und Rückgewinnung in Datenverarbeitungsanlagen aller Art, sind vorbehalten.

Vorwort

In Baden-Württemberg sind 1992 440 000 Tonnen klassische Sonderabfälle angefallen. Mit dieser Menge könnte man einen Güterzug beladen, der von Freiburg bis Frankfurt reichen würde. Diese Sonderabfälle sind Rückstände unserer Wohlstandsgesellschaft. Wir alle erzeugen durch unser Konsumverhalten und unsere Wirtschaftsweise täglich Sonderabfälle.

Unser vorrangiges Ziel ist es, diese Menge von Sonderabfällen deutlich zu reduzieren. Die Vermeidung von Abfällen und Sonderabfällen hat absolute Priorität. Um dies zu erreichen, ist ein Umdenken in den Betrieben und in der Gesellschaft erforderlich.

Zu einer ökologischen Neuorientierung von Wirtschaft und Gesellschaft gehört unabdingbar der Einstieg in die Kreislaufwirtschaft. Der Hauptansatz hierfür muß das Produkt sein; wir müssen die Verantwortung des Herstellers für sein Produkt einfordern, und zwar von der Wiege bis zur Bahre, von der Rohstoffauswahl bis hin zur Entsorgung. Dieser produktorientierte Ansatz muß das bisher oft vorherrschende „End-of-the-pipe"-Denken ersetzen. Bereits im Vorfeld der Abfallentstehung müssen bei der Produktentwicklung und -konstruktion Rohstoffschonung und Abfallvermeidung entscheidende Aspekte sein. Ein Optimum – kein Maximum – von Gütern und Dienstleistungen muß mit einem Minimum an Energie- und Rohstoffverbrauch und Umweltbelastung erbracht werden. Umweltschutz muß im Kopf des Ingenieurs anfangen. Die seit langem geplanten Rücknahmeverordnungen des Bundes für Autos, Elektro- und Elektronikgeräte, Batterien, Druckerzeugnisse usw. sind meines Erachtens ein wichtiger Schritt auf dem Weg in die Kreislaufwirtschaft.

Mit der 1991 eingerichteten Abfallberatungsagentur (ABAG) stellt das Land den Betrieben ein Beratungsinstrument zur Seite. Die Abfallberatungsagentur soll zunächst abfallarme Produktionsverfahren erkunden und deren Weiterentwicklung in Form von Forschungs- und Entwicklungsvorhaben initiieren. Die gewonnenen Erkenntnisse sollen auf dem Wege der individuellen Beratung und der allgemeinen Information sowohl an die gewerbliche Wirtschaft als auch an die technischen Fachbehörden weitergegeben werden.

Ein wesentlicher Eckpfeiler der gegenwärtigen Arbeit der Abfallberatungsagentur ist es, die im Auftrag des Umweltministeriums durchgeführten Untersuchungen zum Thema „Vermeidung von Abfällen durch abfallarme Produktionsverfahren" zu betreuen und fortzuführen.

Im Rahmen der vorliegenden Broschüre werden zunächst die prinzipiellen Möglichkeiten zur Vermeidung, Verminderung und Verwertung von Reststoffen aus Schmelzanlagen für Nichteisenmetalle im Schwermetallguß aufgezeigt. Aufbauend auf diesen allgemeinen Grundlagen, werden anschließend für einen untersuchten Betrieb konkrete Vorschläge zur betriebsinternen Vermeidung und externen Verwertung von Reststoffen erarbeitet und deren Wirtschaftlichkeit betrachtet. Die vorliegenden Ergebnisse zeigen, daß die dargestellten Maßnahmen nicht nur ökologisch, sondern in der Regel auch ökonomisch sinnvoll sind.

Ich hoffe und wünsche, daß die von der Abfallberatungsagentur vorgelegte Broschüre viele betroffene Betriebe dazu ermuntert, die darin enthaltenen Vorschläge in die Tat umzusetzen.

Harald B. Schäfer
Umweltminister
Baden-Württemberg

Inhaltsverzeichnis

0	**Kurzfassung**	6
1	**Einführung**	10

Teil A – Stand der Technik des Schmelzens von NE-Metallen

2	**Grundlagen der Schmelztechnik im Nichteisenmetallbetrieb**	12
2.1	Übersicht zur Nichteisenmetallerzeugung	12
2.1.1	Einteilung der Metalle in Gießereibetrieben	12
2.1.2	Nichteisenmetalle	14
2.1.2.1	Blei- und Bleilegierungen	14
2.1.2.2	Kupfer- und Kupferlegierungen	14
2.1.2.3	Mangan und Manganlegierungen	14
2.1.2.4	Nickel und Nickellegierungen	14
2.1.2.5	Zink und Zinklegierungen	15
2.1.2.6	Zinn und Zinnlegierungen	15
2.2	Schmelzaggregate und ihre Einsatzmöglichkeiten im Nichteisenmetallschmelzbetrieb	15
2.2.1	Schmelzprinzipien	15
2.2.2	Einsetzbare Ofenarten in NE-Schmelzbetrieben	16
2.2.2.1	Schmelzöfen, betrieben mit Primärenergie	16
2.2.2.2	Schmelzöfen, betrieben mit Sekundärenergie	18
2.2.2.3	Warmhalte- und Vergießöfen	22
2.2.2.4	Trocken- und Vorwärmöfen	22
2.3	Metallurgie, Schmelzebehandlung und Schmelzverluste	22
2.3.1	Metallurgie	22
2.3.2	Schmelzebehandlung	22
2.3.3	Schmelzverluste	24
2.4	Schmelzanlagenkomponenten und Betriebsweise	25
2.5	Ofenzustellungen, Ofenausmauerungen und Tiegel	29
3	**Abfallarten – Entstehung, Aufkommen und Entsorgungsweg**	31
3.1	Krätzen	31
3.2	Stäube	31
3.3	Tiegel- und Vergießofenausbrüche	32
4	**Vermeidung und Verwertung von Abfällen aus Schmelzanlagen für Nichteisenmetalle**	33
4.1	Vermeidung von Krätzen, Stäuben und Ofenausbrüchen aus NE-Schmelzanlagen	34
4.1.1	Einsatz von sauberen Einsatzstoffen	34
4.1.2	Optimierte Fahrweise	34
4.1.3	Einsatz geeigneter Schmelzaggregate	35
4.1.4	Geschlossene Ofenfahrweise	35
4.1.5	Herstellung von reduzierender Atmosphäre	35
4.1.6	Abdecken der Schmelze	36

4.1.7 Wahl der geeigneten widerstandsfähigen Ausmauerungen und Tiegel . 36
4.1.8 Reststoffe beim Warmhalten 36
4.2 Aufbereitung und Verwertung der Reststoffe 37
4.2.1 Aufbereitung und Verwertung von Krätzen (extern) 37
4.2.1.1 Verwertung in Sekundärhütten 37
4.2.1.2 Heiß- und Kaltaufbereitung für Krätzen 37
4.2.1.3 Mahlen und Trennen 39
4.2.1.4 Verwertung von Sn/Pb/Zn-haltigen Krätzen im Drehrohr- und Kurztrommelofen 39
4.2.2 Aufbereitung von Stäuben 41
4.2.2.1 Getrennte Erfassung von Stäuben 41
4.2.2.2 Wiedereinschmelzen von metallhaltigen Stäuben in Hüttenwerken . . 41
4.2.2.3 Verarbeitung zinkhaltiger Stäube nach dem Wälzverfahren 42
4.2.3 Aufbereitung und Verwertung von Ofen- und Tiegelausbrüchen . . . 42

Teil B – IST-Analyse des untersuchten Betriebes

5 Beschreibung des untersuchten Betriebes 43
5.1 Leistungsangebot 43
5.2 Mitarbeiter 43
5.3 Gebäude und Anlagenaufteilung 43
5.4 Maschinelle und apparative Ausstattung 45
5.5 Ablauf der Arbeiten 47

6 Bilanzierung der Stoffströme 55

Teil C – Betriebsbezogene Konzepte zur Vermeidung und Verwertung von Abfällen/Reststoffen

7 Bereits durchgeführte Maßnahmen zur Vermeidung und Verwertung von Abfällen/Reststoffen 64
7.1 Zusammenfassung der bereits erfolgten Maßnahmen 64
7.2 Wiederverwertung extern 64

8 Konzepte zur Vermeidung und Verwertung weiterer Abfälle/Reststoffe 65

9 Entscheidungskriterien zur Durchführung von Maßnahmen zur Vermeidung und Verwertung von Abfällen 66
9.1 Vermeidungs- und Verwertungspotentiale 66
9.2 Technische Realisierbarkeit und Zumutbarkeit 66
9.3 Organisatorische Integration und Akzeptanz 66
9.4 Bewertung der Wirtschaftlichkeit 67
9.5 Entsorgungskosten 67
9.6 Kosten- und Leistungsvergleich zwischen Öl- und Hubtiegelofen . . . 68
9.7 Aufbereitungs- und Entsorgungskosten der untersuchten Anlage . . . 69

Literaturverzeichnis 70

Abbildungsverzeichnis 74

Tabellenverzeichnis 75

0 Kurzfassung

In den Schmelzanlagen der NE-Metallgießereien in Baden-Württemberg wurden 1990 170 380 t Nichteisenmetalle erschmolzen, wovon 24 021 t Schwer- und 146 359 t Leichtmetalle waren. Der Anteil der NE-Metallproduktion an der gesamten Metallproduktion in der Bundesrepublik betrug ca. 25 %.

Der Bericht beschreibt den Stand der Technik zur Vermeidung und Verwertung von Krätzen sowie der sonstigen wesentlichen Abfälle/Reststoffe (Teil A) und einen untersuchten Schmelzbetrieb für NE-Metalle (Teil B und C), wobei der Schwerpunkt bei den Basislegierungen der Schwermetalle Zn, Sn, Pb, Cu, Ni liegt.

In einer **Schmelzanlage für Nichteisenmetalle** werden die Legierungen aus metallischen Einsatzstoffen, Legierungszuschlägen und Schmelzbehandlungsmitteln, unter Verwendung von elektrischer Energie (Sekundärenergie), aber auch mit Öl und Gas (Primärenergie) als Brennstoff erschmolzen und in den Formanlagen der Gießereien zu Gußprodukten vergossen.

Als **Einsatzstoffe** werden von Gießereien technisch reine Metalle, Vorlegierungen, Blockmaterial, sortierte Metallschrotte, Kreislaufmaterial, Spänebriketts und Legierungszuschläge sowie Energien/Hilfsstoffe wie Strom, Gas, Heizöl, Kühlwasser, Stampfmassen und Tiegel verwendet.

Der **Arbeitsablauf** „Chargieren" einer Schmelzanlage beginnt mit der Gattierung. Für die vielfältigen Gußwerkstoffe werden spezielle Rezepturen fachkundig aus den Einsatzstoffen zusammengestellt und als Charge in den Öfen eingesetzt. Nach Erreichen der Gießtemperatur wird das Flüssigmetall von der Krätze getrennt und gelangt entweder in einen nachgeschalteten Warmhalteofen oder in einen Ofen zur Nachbehandlung. Die staubhaltige Abluft aus den Schmelzöfen und den Gattierungsstellen wird abgesaugt und in Filteranlagen gereinigt.

Die wichtigsten **Schmelzöfen** sind die Tiegelöfen, die elektrisch oder mit Brennstoffen (Gas, Heizöl) betrieben werden. Bei den elektrischen Aggregaten kommen vorwiegend induktiv beheizte Tiegel- und Rinnenöfen zur Anwendung. Von kleineren Gießereien werden auch widerstandsbeheizte Schmelz- und Warmhalteöfen eingesetzt.

	Schmelzöfen		Warmhalteofen
Parameter	**Brennstoff-betriebener Tiegelofen**	**Mittelfrequenzofen Netzfrequenzofen Widerstandsofen**	**Rinnenofen** (Netzfrequenzbetrieb)
Frequenzen Hz	–	250–4 000	50–50
Fassungs-vermögen t	1–100	0,5–10	1–120
Leistungsdichte	mittel	hoch (ca. 600 kW/t)	niedrig (ca. 100 kW/t)
Badbewegung	nein	ja	nein
Sumpffahrweise	nein	nein	ja
Anfahr-/ Schmelzzeiten	langsam	schnell	langsam
Flexibilität	mittel	hoch	sehr niedrig
Anwendungs-gebiete	siehe Mittelfrequen-zen	• 1-/2-Schicht-Betrieb • kleine Gußmengen • flexibler Einsatz	• Warmhalten • Speichern • Puffer
Reststoffe	Mittlere bis geringe Mengen, weil: – längere Ein-schmelzzeiten – geringe Überhit-zungstemperatur – stärkere Oxida-tionsneigung	Geringe Mengen, weil: – kurze Anfahrzeit – kurze Schmelzzeit	Sehr geringe Mengen: – geschlossene Öfen – neutrale Ofen-atmosphäre

Tab. 0-1: Charakteristische Parameter der in NE-Schmelzanlagen bevorzugt eingesetzten Ofenbauarten

Die wichtigsten Reststoffe aus NE-Schmelzanlagen sind die **Krätzen, Stäube** aus der Abluft sowie **Ofenausbrüche** aus Tiegel- und Ölöfen.

Die **Vermeidung** von Reststoffen ist durch Umstellung von alten, unwirtschaftlich mit Brennstoff betriebenen Schmelzöfen auf moderne elektrisch oder brennstoffbetriebene Aggregate mit Rekuperatoren, Metall- und Verbrennungsluftvorwärmung und Optimierung der Schmelzprozesse zu erreichen. Außerdem können durch den Einsatz sauberer Einsatzstoffe, Verringerung der Überhitzungszyklen, Verringerung der oxidierenden Ofenatmosphäre und Wahl von beständigen Ofenausmauerungsmaterialien Reststoffe vermieden werden. Ein allgemein gültiges Vermeidungspotential ist nicht leicht quantifizierbar, weil die wechselseitigen Auswirkungen der verschiedenen Verfahrensmodifikationen, die Fahrweise, die zu erschmelzende Gußart sowie die Qualifikation des Betriebspersonals berücksichtigt werden müssen. Das Vermeidungspotential kann bis zu 40 Prozent betragen.

Voraussetzung zur Verwertung ist die Kenntnis der Zusammensetzung sowie der technologischen Eigenschaften der Reststoffe. Deshalb sind von allen Reststoffen chemische Vollanalysen und technologische Gutachten zu erstellen. Diese stoffspezifischen Daten werden in einem **Stoffsteckbrief** zusammengefaßt, der den Abnehmern und Vermittlern von Reststoffen als Entscheidungshilfe hinsichtlich eines Verwendungsgebietes dienen kann.

Keiner der Reststoffe kann in der Form, wie er in den Schmelzanlagen anfällt, direkt einer Verwertung zugeführt werden. Die geeignete **Aufbereitung** aller Reststoffe ist

Voraussetzung zur Verwertung. Zur Aufbereitung gehört bereits das getrennte Sammeln der verschiedenen Reststoffe in den Schmelzbetrieben.

Oberstes Ziel der **Verwertung** von Reststoffen ist der Wiedereinsatz der gewonnenen technisch reinen Metalle in der industriellen Produktion. Dies geschieht vorwiegend durch Wiedereinschmelzen der Krätzen in Sekundärhütten zu Blockmaterialien, die u. a. in den Gießereibetrieben, aber auch in anderen industriellen Bereichen Wiederverwendung finden.

Der **untersuchte Betrieb** stellt im wesentlichen hochwertige NE-Gußprodukte in kleinen Stückzahlen her. In der Anlage wurden im Untersuchungszeitraum etwa 4 500 t guter NE-Guß erzeugt. In dem gesamten Schmelzbetrieb sind 90 Mitarbeiter im 3-Schicht-Betrieb beschäftigt.

Im untersuchten Betrieb werden bereits **folgende Maßnahmen zur Vermeidung und Verwertung durchgeführt:**

- Vermeidung durch
  - Einsatz von sauberen Einsatzstoffen
  - optimierte Fahrweise
  - geschlossene Ofenfahrweise
  - Abdecken oxidierender Einsatzstoffe
  - Schrott- und Späneaufbereitung
  - Wahl der geeigneten widerstandsfähigen Ausmauerungen und Tiegel
- Verwertung der hochkupferhaltigen Schlacken/Krätzen und Stäube in Sekundärhütten

Tab. 0-2: Bereits durchgeführte Vermeidungs- und Verwertungsmaßnahmen in der untersuchten Schmelzanlage

Die **Kosten** zur Deponierung betrugen für den untersuchten Betrieb im Untersuchungszeitraum 50 bis 100 DM/t. Alle Abfälle konnten auf der Hausmülldeponie entsorgt werden. In nächster Zukunft ist zu erwarten, daß einige der Abfälle, vor allem die Stäube und Ofenausbrüche, auf Sonderabfalldeponien zu entsorgen sind, wodurch sich die Entsorgungskosten auf 300 bis 1 000 DM/t erhöhen werden. Aber auch die Kosten zur Ablagerung der Krätzen auf Hausmülldeponien werden mittelfristig auf etwa 200 bis 300 DM/t ansteigen. Aus diesen Gründen wird die Vermeidung, Aufbereitung und Verwertung aller Reststoffe zunehmend auch in wirtschaftlicher Hinsicht zwingend erforderlich.

Weitere zu untersuchende Maßnahmen zur Vermeidung und Verwertung von Abfällen/Reststoffen im untersuchten Betrieb:

- Vermeidung durch Umstellung auf optimierte Schmelzöfen
- Aufbereitung durch Getrennthaltung der Krätzen
- Wiedereinschmelzen der Stäube in Hüttenwerken
- Verarbeitung zinkhaltiger Stäube nach dem Wälzverfahren

Tab. 0-3: Weitere zu untersuchende Vermeidungs- und Verwertungsmaßnahmen für die untersuchte Schmelzanlage

Die folgende Tabelle gibt eine Übersicht zu den Verwertungspotentialen der Reststoffe, deren Vermeidung, Aufbereitung und Hinweise zur Verwertung.

Abfall-/Reststoffart und Verwertungspotential in Prozent	Vermeidung (für alle Abfälle/ Reststoffe)	Aufbereitungs- und Verwertungstechnologien	Stoffliche Verwertung/ Einsatzgebiete
Krätzen (60–90)	Vermeidungsmaßnahmen sind in den Tabellen 4-2 und 0-2 aufgeführt Vermeidungsquoten sind nur schwer abschätzbar. Die Vermeidungshöhe hängt ab von der/den – Produktpalette, – erforderlichen Technologie bzw. Produktionsverfahren, – Personalqualifikation, – Betriebsweise. Die Vermeidung von Reststoffen ist möglich in dem Bereich von 5 bis 40 %.	– Sekundärhütten – Heiß-/Kaltverfahren – Mahlen + Trennen – Drehrohr + Kurz-Trommelofen*	Metallische Anteile: – Wiedereinsatz der technisch reinen Metalle in der industriellen Produktion sowie in den Schmelzbetrieben
Ofen- und Tiegel-Ausbrüche (0–50)			– Bisher keine Verwertung
Filterstäube (10–50)		– Getrennthaltung – Wälzverfahren*	– Verwertung der metallischen Anteile in Hüttenwerken*

* Untersuchungsbedarf

Tab. 0-4: Übersicht zu Vermeidung, Aufbereitungsmaßnahmen und Verwertungsmöglichkeiten für Abfälle/Reststoffe aus NE-Schmelzbetrieben

1 Einführung

Das Gießen von Nichteisenmetallen ist ein vielseitiges Fertigungsverfahren, mit dem endmaßnahe oder endformfertige Bauteile für den Maschinenbau, die Automobilindustrie oder den Apparatebau hergestellt werden. Die verschiedenen Gußlegierungen werden in Schmelzöfen der Gießereibetriebe geschmolzen und in Formen vergossen.

In diesem Bericht werden Schmelzbetriebe für Nichteisenmetalle betrachtet, in denen die verschiedenen Legierungen auf der Basis von Kupfer, Blei, Zink, Zinn, Messing und Nickel geschmolzen werden.

In der alten Bundesrepublik produzierten 1989 knapp 420 Betriebe etwa 3,5 Mio. Tonnen Eisenmetalle, und ca. 500 Betriebe erzeugten ungefähr 0,6 Mio. Tonnen Nichteisenmetalle. Im Leichtmetallbereich (Al und Mg) werden pro Jahr rund 450 000 t (75 %) und im Schwermetallbereich rund 150 000 t (25 %) erzeugt.

Nichteisenmetalle	Produktionsmengen Bundesrepublik Deutschland (1990)		Davon Anteile in Baden-Württemberg	
	t	%	t	%
Leichtmetalle	483 769	100,0	146 359	30,3
davon:				
– Aluminium	476 740	98,6	142 803	29,9
– Magnesium	7 029	1,4	3 556	50,6
Schwer-/Buntmetalle	175 845	100,0	24 021	11,3
davon:				
– Kupfer	90 823	51,6	9 733	10,7
– Blei	9 066	5,1	7	0,1
– Zink	75 014	42,7	14 291	13,4
– Zinn	771	0,5	n. n.	n. n.
– Nickel	147	0,1	n. n.	n. n.
Gesamtmengen	ca. 659 614	100	170 380	25,2

Tab. 1-1: Jährliche Erzeugung von Nichteisenmetallguß 1990 in der Bundesrepublik Deutschland (alte Länder) und Baden-Württemberg (Quelle: GDM-Geschäftsbericht)

Der Schwermetallanteil betrug 1990 für Baden-Württemberg nur etwa 11,3 % an der Erzeugung in den alten Ländern.

Hauptabnehmer im Schwermetallbereich – vorwiegend Kupfer-Basis-Legierungen – sind der Maschinenbau (40 %), die Bauindustrie (15 %) und andere Industriezweige (35 %). Gußstücke aus Feinzinklegierungen werden vorwiegend für die Automobil- und Elektroindustrie im Druckgießverfahren hergestellt.

Die wichtigsten Abfall-/Reststoffarten aus den NE-Schmelzbetrieben (außer Reststoffe/Abfälle aus der Leichtmetallproduktion) sind gemäß Abfall- und Reststoffbestimmungsverordnung:

Abfall-/Reststoffarten aus Nichteisenmetallschmelzanlagen	
31103	Ofenausbruch aus metallurgischen Prozessen
31108 *	Ofenausbruch aus metallurgischen Prozessen mit schädlichen Verunreinigungen
31203 *	Schlacken aus NE-Metallschmelzanlagen (Krätzen)
31204 *	Bleikrätze
31206 *	Leichtmetallkrätzen, magnesiumhaltig
31212 *	Salzschlacken, magnesiumhaltig
31213 *	Zinnaschen
31214 *	Bleiaschen
31217 *	Filterstäube, NE-metallhaltig

* besonders überwachungsbedürftige Abfälle

Tab. 1-2: Abfallarten aus NE-Schmelzanlagen nach AbfBestV und RestBestV

Die Schmelzanlagen sind mit Ausnahmen (siehe 4. BImSchV 3.4/3.8) nach dem Bundesimmissionsschutzgesetz (BImSchG) genehmigungsbedürftig.

Im Bereich der Reststoffe aus Nichteisenmetallschmelzanlagen gibt es nur wenig Vermeidungsmöglichkeiten. Die Verwertung ist für einige Reststoffarten bereits auf einem hohen Niveau.

Das Ziel dieser Untersuchung ist es, ausgehend vom Stand der Technik, Maßnahmen aufzuzeigen, die zu abfallarmen Produktionsverfahren in Schmelzbetrieben führen.

Teil A – Stand der Technik des Schmelzens von NE-Metallen

2 Grundlagen der Schmelztechnik im Nichteisenmetallbetrieb

2.1 Übersicht zur Nichteisenmetallerzeugung

Zum Verständnis der Vermeidungs- und Verwertungsmöglichkeiten von Reststoffen in den Schmelzanlagen sind Kenntnisse über

- die wichtigsten Nichteisenmetalle und deren Legierungen,
- die zum Einsatz kommenden Schmelzaggregate,
- die Verfahrensprinzipien und Grundgesetze,
- die Metallurgie und Schmelzbehandlung
- den Nichteisenmetallschmelzbetrieb mit seinen Anlagenkomponenten

erforderlich.

2.1.1 Einteilung der Metalle in Gießereibetrieben

Die Metalle werden im allgemeinen nach ihrer Dichte klassifiziert und gegebenenfalls noch nach ihrem Schmelzpunkt eingeordnet. Dann wird die folgende Klassifizierung verwendet:

1. Leichtmetalle (z. B. Aluminium, Magnesium, Titan)
2. Niedrigschmelzende Schwermetalle (z. B. Blei, Cadmium, Zink, Zinn)
3. Hochschmelzende Schwermetalle (z. B. Eisen, Kupfer, Chrom)
4. Sehr hoch schmelzende Schwermetalle (z. B. Molybdän, Tantal, Wolfram)

In der Praxis erfolgt die grobe Einteilung der Metalle in die Eisenmetalle und die Nichteisenmetalle (siehe Abschnitt 2.1.3). Die folgende Darstellung zeigt eine Übersicht aller Metalle in Gießereibetrieben mit Zuordnung der wichtigsten Schmelzaggregate für Nichteisenschmelzanlagen.

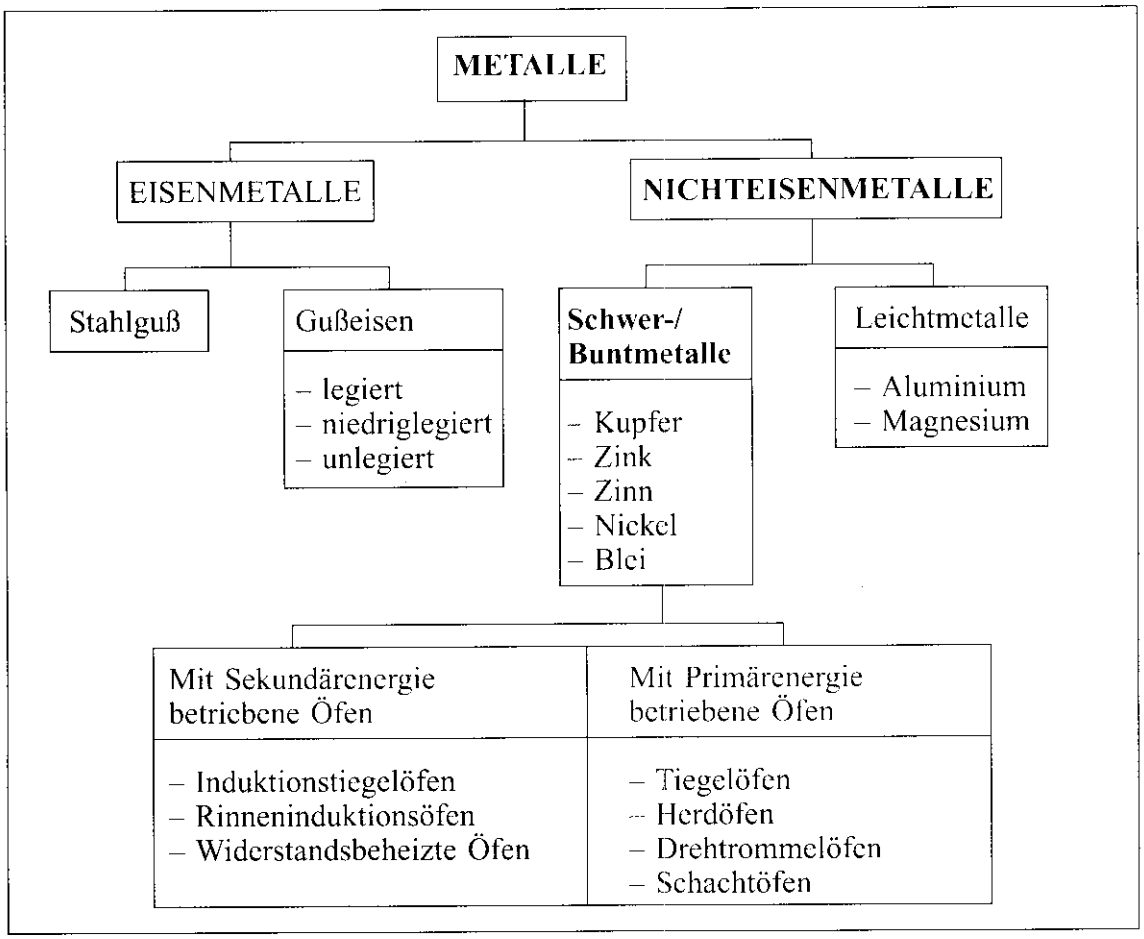


Abbildung 2-1: Einteilung und Übersicht der wichtigsten Metallgruppen sowie der wesentlichen Schmelzöfen in Nichteisenmetallschmelzbetrieben

Gießereibetriebe

Die Gießereien werden unterschieden nach der Art der eingesetzten Gießverfahren:

- Sandgießerei
- Maskengießerei
- Kokillengießerei
- Stranggießerei
- Druckgießerei
- Feingießerei
- Präzisionsgießerei
- Kunstgießerei

oder nach der zu vergießenden Gußart in

- Eisen-, Stahl- und Tempergießerei
- NE-Metallgießerei

2.1.2 Nichteisenmetalle

Nach DIN 17600 sowie ISO 6372 werden die Nichteisenmetalle unterteilt in:

- unlegierte Metalle mit Ausnahme des Eisens;
- Legierungen, in denen ein beliebiges Metall – ausgenommen Eisen – den größten Einzelgehalt darstellt.

Je nach Dichte der NE-Metalle unterscheidet man Leichtmetallguß (< 5 g/cm^3) und Schwermetallguß (> 5 g/cm^3). In diesem Bericht werden die Reststoffe aus Schwermetallschmelzanlagen behandelt. Unter Schwermetallguß versteht man nur NE-Metallguß, vorwiegend aus Kupfer-, Zinn-, Zink-, Blei-, Mangan- und Nickelwerkstoffen.

2.1.2.1 Blei- und Bleilegierungen

Blei ist ein niedrigschmelzendes (Schmelzpunkt 327 °C) Schwermetall. Der wichtigste Rohstoff zur Bleierzeugung ist Bleiglanz, ein sulfidisches Bleierz (P 65). Blei ist relativ weich. Blei ist korrosionsbeständig und hat gute selbstschmierende Eigenschaften. Es wird zur Herstellung von Akkumulationsplatten, als Lagerwerkstoff, für Schriftmetalle und Kabelmäntel verwendet und dient als Legierungsbestandteil in Lagerbronzen sowie Automatenwerkstoffen. Die Bleiqualitäten (Reinheiten) sind nach DIN 1719 genormt.

2.1.2.2 Kupfer- und Kupferlegierungen

Gußerzeugnisse aus Kupfer werden nach DIN 17655 in 4 Sorten unterschieden in eine Normalsorte G-Cu und drei Leitkupfersorten G-Cu L35, G-Cu L45, und G-Cu L50.

Die Normalsorte wird hauptsächlich für Kühlkästen, Blasformen, Dichtungsringe, Armaturen u. ä. verwendet. Bei den Leitkupfersorten ist die Erzielung hoher elektrischer Leitfähigkeit wichtig.

Kupfer wird mit fast allen Metallen legiert wie Aluminium, Beryllium, Blei, Zinn, Chrom, Nickel und Zink. Innerhalb einzelner Legierungskonstellationen, wie z. B. mit Zinn als Hauptlegierungselement in Kombination mit anderen Legierungselementen, wird noch einmal in Untergruppen unterteilt.

2.1.2.3 Mangan und Manganlegierungen

Mangan ist ein hochschmelzendes (Schmelzpunkt 1 247 °C) Schwermetall, wird aluminothermisch aus Braunstein (MnO_2) gewonnen und gereinigt. Es ist stahlgrau, sehr hart und spröde und wird als Legierungselement bei vielen Werkstoffen mitverwendet. Mangan besitzt relativ hohe Sauerstoff- und Schwefelaffinität und dient in diesem Zusammenhang auch zur Desoxidation und Entschwefelung von Schmelzen. Wichtigste Anwendung bietet Mangan für Kupfer-Mangan-Legierungen, zur Erzeugung von verschleißfestem Manganhartstahl oder als Mangankupfer.

2.1.2.4 Nickel und Nickellegierungen

Nickel ist ein hochschmelzendes Schwermetall mit einem Schmelzpunkt von 1 455 °C. Die Verhüttung erfolgt in den Schritten: Rösten der sulfidischen Erze, Erzschmelzen von Kupfer-Nickel-Feinstein im Konverter, Gewinnung von Hüttennickel nach verschiedenen Verfahren.

Nickel ist silberweiß, polierfähig, ferromagnetisch, korrosionsbeständig. Es wird als Legierungsbestandteil in Gußeisen, Stahl, Kupfer- und Leichtmetallegierungen eingesetzt. Die wichtigsten Legierungsgruppen sind Nickel-Kupfer (z. B. Konstantan), Nikkel-Eisen (Knetlegierungen nach DIN 17745), Nickel-Chrom (z. B. Nimonic), Nickel-Mangan (Knetlegierungen nach DIN 17741), Nickel-Kohlenstoff (Gußlegierungen nach DIN 17730) sowie Nickel-Silizium (Gußlegierungen nach DIN 17730).

2.1.2.5 Zink und Zinklegierungen

Zink ist ein niedrigschmelzendes (Schmelzpunkt 419,5 °C) Schwermetall. Es wird aus Zinkblende bzw. Zinksulfid durch Rösten an der Luft zu Zinkoxid umgewandelt und mittels Tonmassen reduziert. Durch Destillation wird das flüssige Zink gereinigt.

Reines Feinzink dient als Ausgangsmaterial zur Erzeugung von Feinzink-Gußlegierungen, Herstellung von Anoden, Ätzplatten, Tiefziehmessing oder zur Drahtverzinkung.

Feinzink-Gußlegierungen werden vorwiegend mit Aluminium legiert. Aber auch Nickel und Magnesium kommen für bestimmte Sonderlegierungen für Druckguß zur Anwendung.

2.1.2.6 Zinn und Zinnlegierungen

Zinn ist ein sehr niedrigschmelzendes (Schmelzpunkt 231,9 °C) Schwermetall. Es wird durch Reduktion oxidischer Zinnerze (Zinnstein) mit Kohle gewonnen. Zinn verdampft in flüssigem Stahl und Gußeisen praktisch nicht. Zinn ist auch ein wichtiger Legierungsbestandteil von Bronzen und Rotguß.

2.2 Schmelzaggregate und ihre Einsatzmöglichkeiten im Nichteisenmetallschmelzbetrieb

Abhängig von der Betriebsweise des Schmelzbetriebes ist der Einsatz sowohl von primär als auch sekundär betriebenen Schmelzöfen möglich. Die brennstoffbeheizten Öfen sind vorwiegend zum Schmelzen und die elektrisch betriebenen zum Warmhalten geeignet.

2.2.1 Schmelzprinzipien

Das Schmelzen von Metallen erfordert neben den Einsatzmaterialien vor allem beträchtliche Mengen an elektrischer Energie oder an Brennstoffen wie Erdgas oder Heizöl. Die zum Schmelzen benötigte Wärmemenge kann über verschiedene Verfahrenswege dem zu schmelzenden Gut zugeführt werden. Im folgenden sind die technischen Erwärmungsmöglichkeiten nach physikalischen Gesichtspunkten in drei Gruppen unterteilt:

A. Induktive Erwärmung

Dieses Prinzip findet beim induktiven Schmelzen mit dem Stromfluß durch das metallische Material (Sekundärseite) technische Anwendung. Die Spule (Primärseite), ein von Kühlwasser durchflossenes Kupferrohr, erzeugt ein elektromagnetisches Feld, das die elektrische Energie auf den metallischen Tiegelinhalt überträgt.

B. Konvektive Erwärmung

Das vorerhitzte Wärmeübertragungsmedium (z. B. erhitzte Luft) erwärmt mittelbar das eingesetzte Material durch Konvektion auf Temperaturen um 900 °C. Beispiel dafür ist der dem Brenner gegenüberliegende Bereich des Drehrohrofens, in dem überwiegend konvektive Wärmeübertragung wirksam ist.

C. Strahlungserwärmung

Die Energiequelle erwärmt das Trägermedium, das seine Wärme wiederum durch Strahlung an das eingesetzte oder zu schmelzende Material abgibt. Die Wärmeübertragung durch Strahlung wird erst voll wirksam bei Temperaturen über 750 °C. Als technische Anwendungsbeispiele seien der Herdflammenofen sowie der Drehtrommelofen angeführt.

2.2.2 Einsetzbare Ofenarten in NE-Schmelzbetrieben

Folgende Ofenarten finden in den Schmelzbetrieben von Gießereien Anwendung:

- Schmelzöfen betrieben mit Primärenergie
  - Tiegelofen mit fest eingebautem Tiegel oder mit Tiegel zum Ziehen
  - Tiegelkippofen
  - Herdofen/Wannenofen/Schachtofen

- Schmelzöfen betrieben mit Sekundärenergie (Prinzipien)
  - induktiv beheizt
    - Netzfrequenz
    - Mittelfrequenz
  - widerstandsbeheizt
    - Draht
    - SiC-Stäbe

- Warmhalte- und Gießöfen

- Trocken- und Vorwärmöfen

2.2.2.1 Schmelzöfen, betrieben mit Primärenergie

Tiegelofen mit festeingebautem Tiegel oder mit Tiegel zum Ziehen

Dieser nicht kippbare Ofen hat eine feuerfeste Auskleidung mit einer feuerfesten Bodenausmauerung, auf die ein Tiegeluntersatz gestellt wird. Nach außen ist der Ofen wärmedämmend isoliert und von einem Stahlblechmantel umgeben. Der Schmelztiegel steht in der Ofenmitte auf dem Tiegeluntersatz. Den oberen Ofenabschluß bilden eine feste Deckplatte und ein abnehmbarer Deckel. Der Brenner ist seitlich angeflanscht und an ein Gebläse angeschlossen, das meist schon Bestandteil des Brenners ist. Die automatische Brennerregelung sorgt für die richtige Dosierung von Druck und Volumen der Verbrennungsluft sowie des flüssigen oder gasförmigen Brennstoffes. **Abbildung 2-2** zeigt eine schematische Darstellung eines feststehenden Tiegelofens.

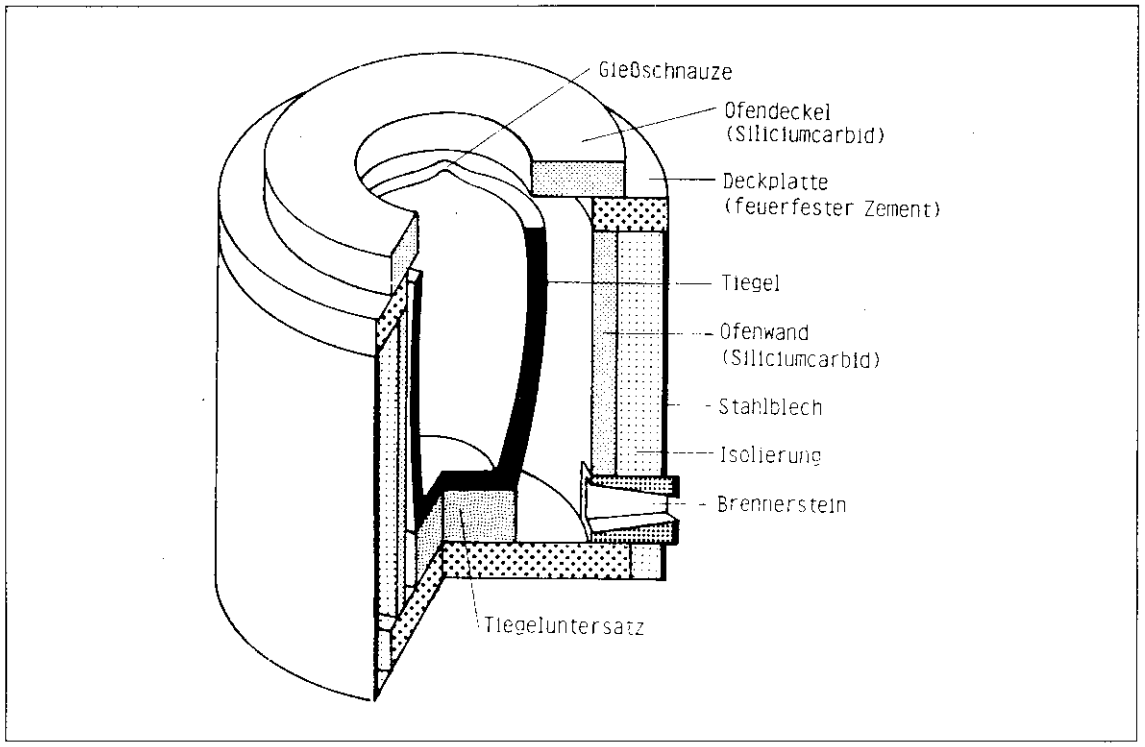


Abb. 2-2: Schematische Darstellung eines feststehenden Schmelzofens mit Tiegel zum Ziehen. Er wird auf oder unter Flur aufgestellt und kann mit Gas- oder Ölbrenner betrieben werden.

Wenn das Metall vollständig geschmolzen und ausreichend überhitzt ist, wird der Tiegel gezogen, das Schmelzbad abgeschlackt und, falls erforderlich, desoxidiert; danach wird die Temperatur gemessen. Wenn diese der gewünschten Gießtemperatur entspricht, wird das Metall vergossen.

Die meisten Gießereien, die mit mehreren Legierungen arbeiten, verwenden separate Tiegel für jede Legierungsgruppe. Wenn die Tiegel beim Vorwärmen, Chargieren, Schmelzen, Ziehen, Transportieren und Gießen schonend behandelt werden, erreichen sie eine Standzeit von 100 oder mehr Schmelzen.

Tiegelkippofen

Wenn größere Mengen Flüssigmetall für das Gießen gebraucht werden, verwendet man in der Regel Tiegelkippöfen. Diese Ofenbauart ist in Konstruktion und Betrieb ähnlich dem Ofen mit ziehbarem Tiegel, aber sie hat meist mehr Fassungsvermögen und ist mit einem Kippmechanismus ausgestattet. Solche Kippöfen haben einen Ton-Graphit- oder Siliciumcarbidtiegel, der im Ofen befestigt ist **(Bild 2-3),** oder sie haben eine tiegelförmige feste Ausmauerung.

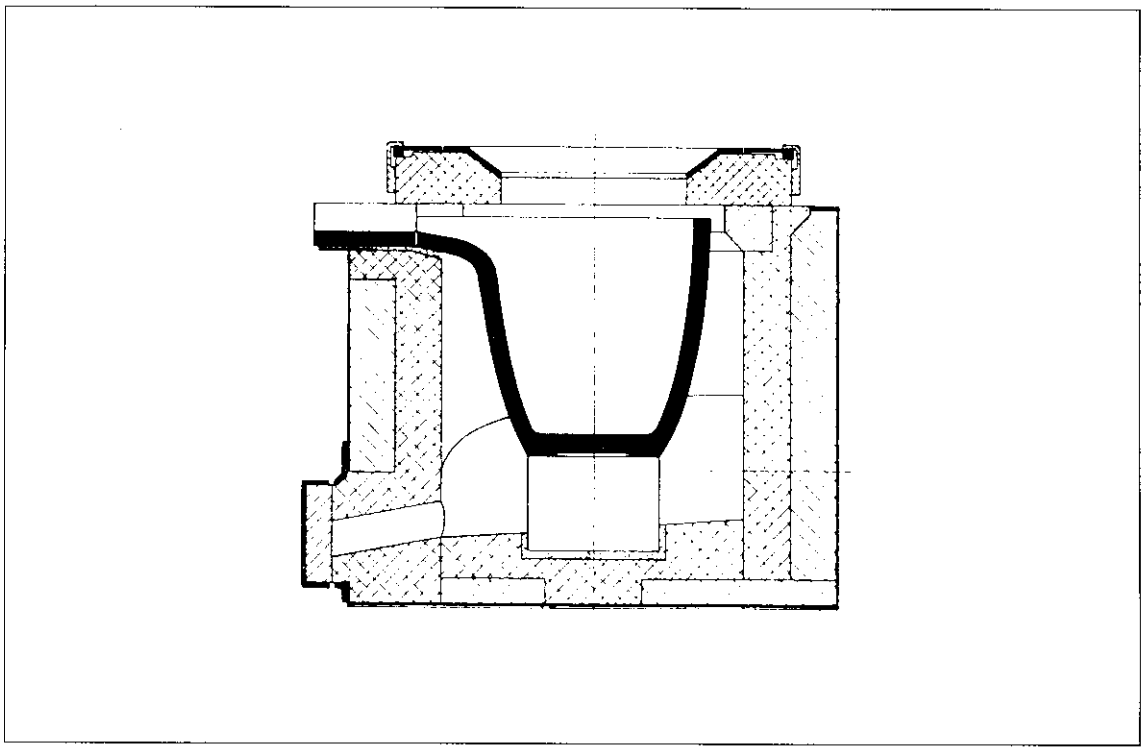


Abb. 2-3: Schnitt durch einen Tiegelkippofen (dargestellt in der Position während des Schmelzens)

Da ein Legierungswechsel eine sorgfältige Ofen- bzw. Tiegelreinigung erfordert, ist der Einsatz von Tiegelkippöfen besonders dann zweckmäßig, wenn nur eine einzige Legierung erschmolzen wird. Tiegelkippöfen können relativ groß sein und werden mit einem Fassungsvermögen bis etwa 1 000 kg gebaut.

Zu den neueren Entwicklungen bei gas- oder ölbeheizten Tiegelkippöfen zählen die verbesserte Verbrennungsregelung, Wärmeisolierung und Geräuschdämpfung sowie das leichtere Chargieren und Gießen.

Herd-/Wannen-/Schachtofen

Der Raum für das Schmelzbad ist bei diesen Ofentypen wannenförmig, waagerecht und wird fest oder auch kippbar ausgeführt. Die Beheizung kann von oben oder unten erfolgen. Das Beheizen erfolgt mit fossilen Brennstoffen oder elektrischer Energie. Herd- und Wannenofen sind geeignet, ölverunreinigte Metalle aufzuschmelzen. In den Ofenraum kann gezielt sauerstoffangereicherte Sekundärluft zugeführt werden, um z. B. Kohlenwasserstoffschweldämpfe zum Teil im Ofenraum nachzuverbrennen. Öfen dieser geschlossenen Bauart kommen für Nichteisenmetalle zum Einsatz. In Schachtöfen wird die Abwärme zur Metallvorwärmung genutzt. Mit diesen Öfen wird daher ein günstiger wärmetechnischer Wirkungsgrad erreicht.

2.2.2.2 Schmelzöfen, betrieben mit Sekundärenergie

Induktionstiegelofen

Induktionstiegelöfen sind elektrisch betriebene Ofenarten mit tiegelförmigem Schmelzgefäß. Sie werden zum Erschmelzen oder Warmhalten eingesetzt. Sie bestehen im wesentlichen aus einem feuerfesten Tiegel, der ihn umgebenden Induktionsspule und ei-

nem tragenden Stahlgerüst. Es kommen kippbare und nicht kippbare Varianten zum Einsatz. Varianten des Induktionstiegelofens sind Standardtiegelofen, Hauben- und Hubtiegelofen sowie Vakuumtiegelofen.

Die Energiezufuhr kann sowohl über Netzfrequenz als auch über Mittelfrequenz erfolgen.

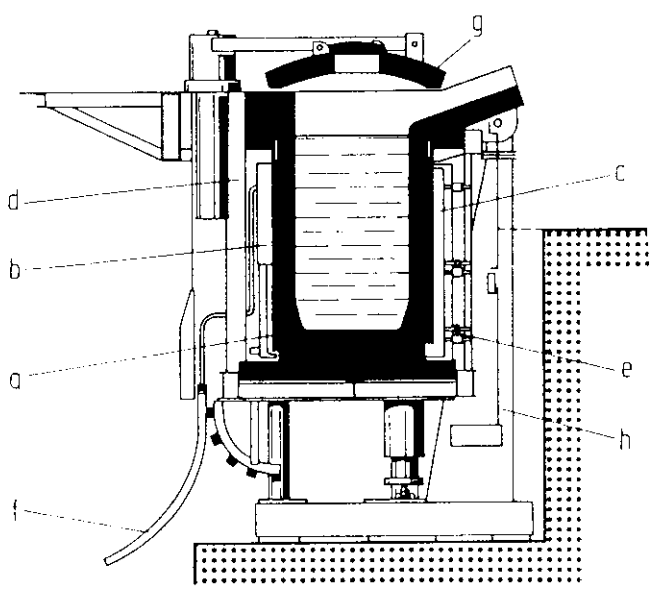
Ein Kühlwassersystem dient zur Kühlung jener Bauteile, die sich stark erwärmen (wie Ofenspule und Anschlußleitungen). Das umlaufende Wasser wird rückgekühlt und die dabei abgeführte Wärme kann für die Raumheizung oder andere Zwecke genutzt werden; Wärmetauscher können allerdings recht aufwendig sein.

Mit einer richtig bemessenen Schmelzeinrichtung ist es möglich, das Metall im Induktionsofen bis doppelt so schnell als in brennstoffbeheizten Öfen zu schmelzen. Der Abbrand mancher Legierungen mag dabei geringer sein als in gas- oder ölbeheizten Öfen, doch hängt der tatsächliche Oxidationsverlust von der Art der jeweiligen Legierung, der Schmelzweise und der Beschaffenheit des Einsatzmetalls ab. Bei richtiger Ofen- und Schmelzführung können auch Späne aus Kupferlegierungen geschmolzen werden.

Netzfrequenz-Induktionstiegelofen

Der mit Netzfrequenz betriebene Induktionstiegelofen **(Abbildung 2-4)** ist anlagentechnisch weniger aufwendig als der Mittelfrequenzbetrieb, weil keine Umrichter oder Frequenzumwandler benötigt werden. NF-Öfen lassen sich erst ab 500–1 000 kg wirtschaftlich betreiben, weil die Eindringtiefe größer ist als bei Mittelfrequenzöfen. Die Badbewegung ist frequenz- und leistungsabhängig.

Die Netzfrequenz-Induktionstiegelöfen werden im Normalfall mit einem „Sumpf" (Restmenge) von flüssigem Metall – etwa einem Viertel des Tiegelinhalts – betrieben. Zum „Anfahren" ohne Sumpf werden metallische Einsatzstücke von einer der Tiegelform angepaßten Mindestgröße vorher in den Tiegel eingesetzt. Dieser relativ wenig flexible Ofentyp eignet sich besonders für große Mengen des gleichen Schmelzgutes im 2- bis 3-Schicht-Betrieb als Schmelz-Warmhalte- und Vergießofen, desgleichen zum



a Keramischer Tiegel
b Kupferspule
c Blechpakete (Joch)
d Gestell (Profilstahl)
e Spannvorrichtung
f wassergekühlte Kabel
g Deckel
h Schutzverkleidung
(Quelle: Brokmeier)

Abb. 2-4: Aufbau eines Netzfrequenz-Induktionstiegelofens

Duplizieren und Speichern. Eine neuere Entwicklung ist der NF-Tiegelofen mit Kurzspule, der als Sammler und Warmhalteofen eingesetzt wird.

Mittelfrequenz-Induktionstiegelofen

Charakteristisch für Induktionsöfen ist die elektromagnetische Bewegung des Schmelzbades, das einer ständigen Umwälzung unterliegt. Da die Stärke der Badbewegung von der Leistungsaufnahme und der Betriebsfrequenz abhängt, müssen Leistungsgröße und Frequenz auf die Ofengröße abgestimmt sein, um optimale Schmelzbedingungen für den Bedarf der betreffenden Gießerei zu erzielen. MF-Öfen arbeiten mit Frequenzen zwischen 300 und 2 000 Hz. Zum Schmelzen von Kupfergußwerkstoffen hat sich eine Frequenz bis 1 000 Hz bewährt.

MF-Öfen haben eine hohe spezifische Schmelz- und Überhitzungsleistung und können ohne „Sumpf" angefahren werden. Dieser Ofentyp eignet sich vor allem für das Schmelzen auch von kleinen Mengen desselben Schmelzgutes und bei häufigen Stillstandzeiten. Bei nur zeitweiligem, z. B. einschichtigem Schmelzbetrieb stellt der Mittelfrequenzofen gegenüber dem Niederfrequenzofen die flexiblere Lösung dar.

Induktionshaubenofen

Eine Bauart ist der **einfache Haubenofen**. Hier wird das den Tiegel umgebende Spulengehäuse durch ein Hebezeug hochgefahren, so daß der Tiegel, der auf einem kleinen Wagen steht, seitlich aus dem Ofenbereich gezogen und zum Gießen aufgenommen werden kann. Bei diesem Verfahren können zwei Tiegel wechselseitig verwendet werden.

Bei dem **Hubtiegelofen** sind Spule und Spulengehäuse ortsfest und meist unter Flur angeordnet. Bei diesem Ofentyp steht der Tiegel auf einem feuerfesten Sockel, der von einem Hydraulikzylinder zur Entnahme hochgefahren und zum Schmelzen in den Spulenbereich abgesenkt wird **(Abbildung 2-5)**.

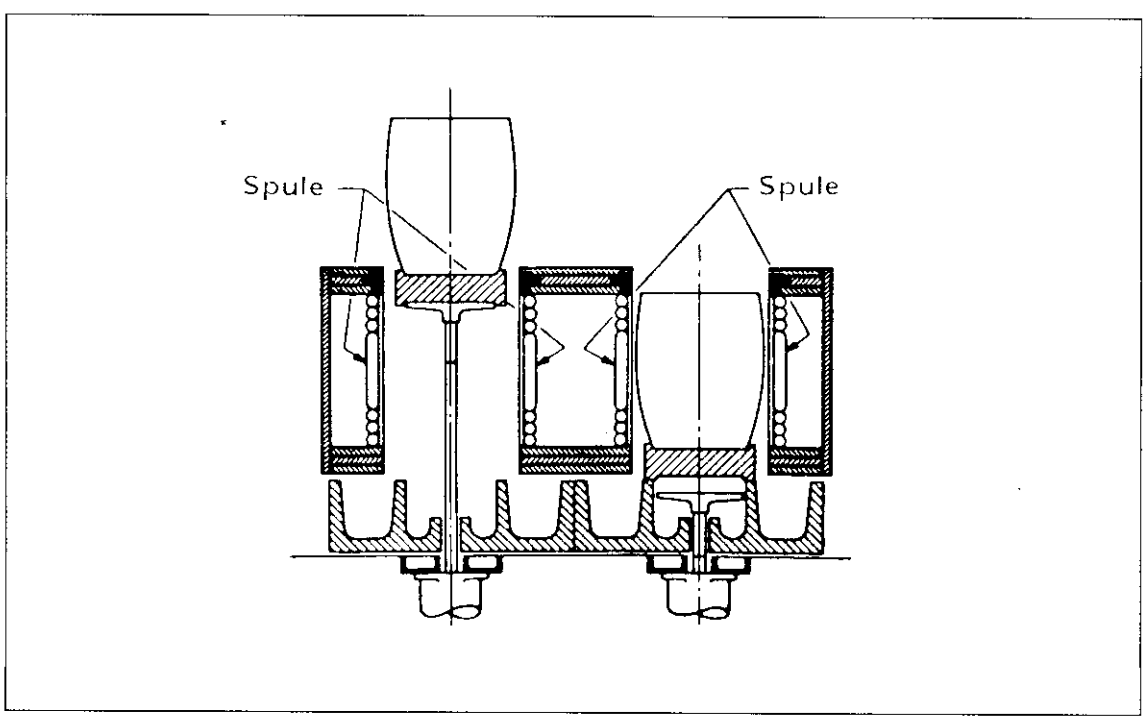
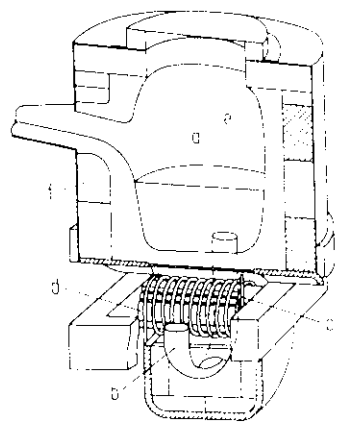


Abb. 2-5: Schematische Darstellung eines Induktions-Hubtiegelofens

Induktionsrinnenofen

Beim Rinnenofen ist, wie in **Abbildung 2-6** dargestellt, der Primärkreis keine Ofenspule, sondern eine Spulenwicklung um einen Trafokern, der von einem als Rinne bezeichneten Kanal umgeben ist. Dieser Kanal bildet den Sekundärkreis, in dem die induktive Wärmeerzeugung erfolgt. Die Rinne ist U- oder V-förmig in eine feuerfeste Auskleidung eingebettet, die sich unter dem Boden des zylindrisch gestalteten Ofenherdes befindet. Bei diesem Ofen zirkuliert das flüssige Metall ständig durch die Schmelzrinne. Daher muß diese Rinne immer mit flüssigem Metall gefüllt sein, es sei denn, der Ofen wird vollständig entleert und außer Betrieb genommen. Das Schmelzen ist also nur mit Schmelzsumpf möglich und ein Kaltaufschmelzen (ohne Sumpf) kann nicht durchgeführt werden. Das in den Sumpf zugesetzte Einsatzmetall schmilzt rasch auf, da die Schmelzrinne eine ausgezeichnete Wärmeübertragung gewährleistet. Induktionsrinnenöfen werden überwiegend als Warmhalteaggregat und als Dosierofen eingesetzt.



a Sammelgefäß b Schmelzrinne c Primärspule d Trafokern e Stampfmasse f Isolierung

Abb. 2-6: Netzfrequenz-Induktionsrinnenofen mit geschlossener Rinnenführung

Widerstandsbeheizte Öfen

Widerstandsbeheizte Öfen sind im Aufbau brennstoffbeheizten Öfen ähnlich. Das Einsatzmetall wird in Siliciumcarbidtiegel chargiert und durch die Wirkung von Wärmestrahlung und Wärmeleitung aufgeheizt. Die Heizelemente erreichen eine Temperatur von ungefähr 1 450 °C. Die Öfen sind gut wärmeisoliert, so daß man brauchbare Schmelzleistungen erreicht. Es sind spezifische Wärmeleistungen von 50 kW/m^2 bis 150 kW/m^2 und ein wärmetechnischer Wirkungsgrad bis zu 65 % erreichbar. Hierbei sind die Verluste, die bei der Umwandlung von Primär- in Sekundärenergie auftreten, nicht berücksichtigt.

Die Futterstandzeit ist ausgezeichnet. Dieser Ofentyp eignet sich zum Warmhalten und wird z. B. in Kokillen-, und Druckgießereien in den Fällen eingesetzt, in denen Metall längere Zeit auf konstanter Temperatur gehalten werden muß.

2.2.2.3 Warmhalte- und Vergießöfen

Alle oben aufgeführten Öfen können auch zum Warmhalten und Speichern von flüssigem Metall eingesetzt werden. Warmhalteöfen dienen als Puffer zwischen Schmelzbetrieb und Gußteilfertigung.

2.2.2.4 Trocken- und Vorwärmöfen

Als Trocken- und Vorwärmöfen werden vor allem Kammer- und Durchlauföfen in NE-Schmelzbetrieben vor dem Chargieren eingesetzt. Feuchte Einsatzmaterialien werden getrocknet, vorgewärmt und in Schüttelrosten von anhaftenden Verunreinigungen befreit. Durch eine Metallvorwärmung erhöht sich die Schmelzleistung des Schmelzofens. Im allgemeinen wird so Energierückgewinnung durch Abwärmenutzung praktiziert.

2.3 Metallurgie, Schmelzebehandlung und Schmelzverluste

2.3.1 Metallurgie

Der Begriff Metallurgie beschreibt die Lehre von den Eigenschafen der Metalle, ihrer Gewinnung und Verarbeitung und gliedert sich in die Bereiche Metallkunde und Hüttenkunde. Durch die metallurgischen Maßnahmen werden die Umwandlungen bzw. Schmelzführung der Metalle beeinflußt. Ziel der metallurgischen Schmelzführung ist die wirtschaftliche Erzeugung der gewünschten Gußeigenschaften.

Die metallurgischen Maßnahmen zur Steuerung der spezifischen Metallgußqualitäten konzentrieren sich auf:

- Wahl der geeigneten Einsatzstoffe
- Legierung
- Aufkohlung
- Homogenisierung
- Oxidationsbeeinflussung
- Keimbildungsgeschlecht
- Impfbehandlung
- Entfernung von störenden Begleitstoffen wie Schwefel, Mangan, Silizium und Phosphor

2.3.2 Schmelzebehandlung

Unter dem Begriff **Schmelzebehandlung** versteht man die Behandlung und Beeinflussung des flüssigen Metalls in den Schmelzöfen, den Warmhalteöfen und in den Gießpfannen mit dem Ziel, eine gießfertige Schmelze bereitzustellen.

Der Schmelze müssen verschiedene Stoffe zugegeben werden, um Verunreinigungen zu entfernen oder deren Entstehung zu verhindern. Durch die Schmelzebehandlung kann die chemische Zusammensetzung beeinflußt werden.

Die folgende Abbildung zeigt eine Übersicht der Schmelzebehandlungsmittel.

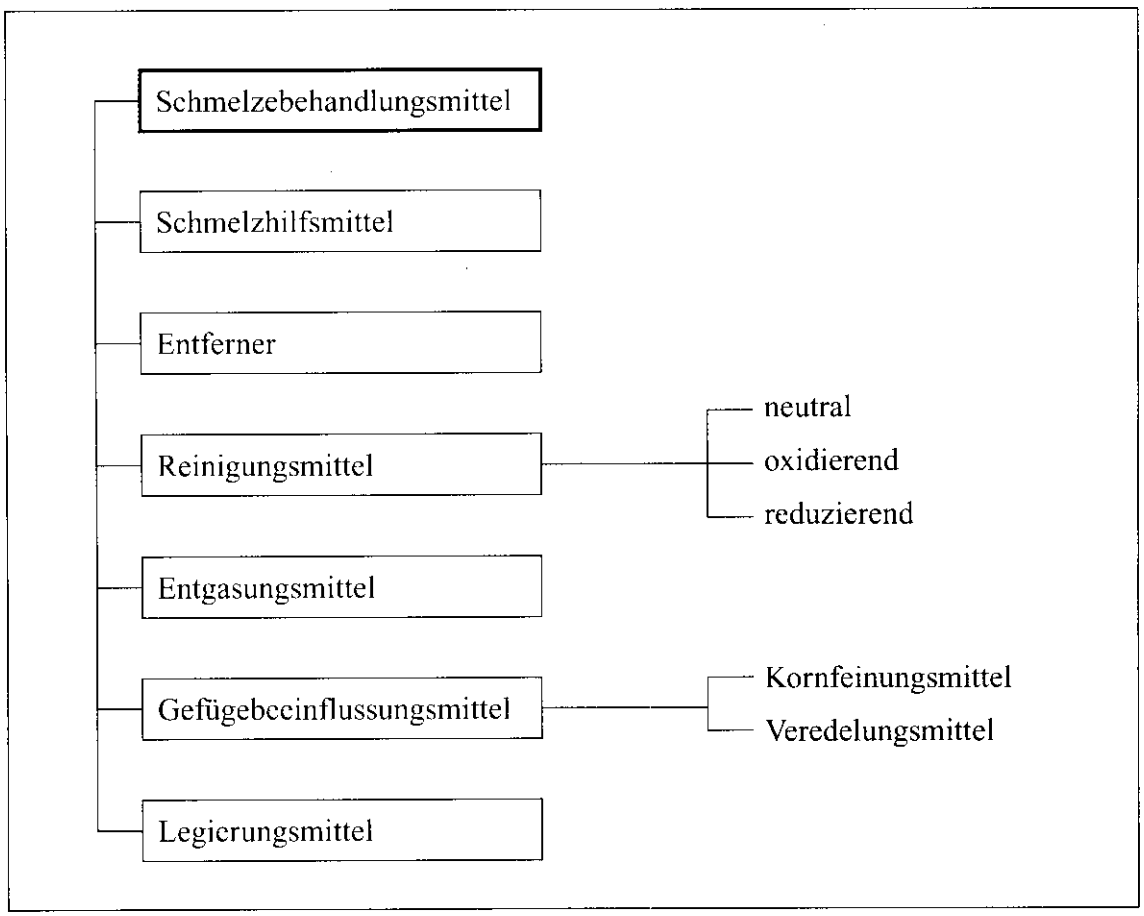


Abb. 2-7: Einteilung der Schmelzebehandlungsmittel (Q: nach Riedelbauch)

Schmelzhilfsmittel

Schmelzhilfsmittel bestehen vorwiegend aus anorganischen Stoffen wie Alkali- und Erdalkalichloriden, -fluoriden, -silikaten-, -sulfaten, -carbonaten. Sie haben die folgenden Aufgaben:

- Flußbildung, um die Ausbeute aus einem Einsatzgut bestimmter Beschaffenheit zu erhöhen (Flußmittel),
- Verringerung des Ab- und Zubrandes, d. h. vor allem Verminderung unerwünschter Oxidation (Abdeckmittel),
- Bildung metallarmer, leicht abnehmbarer Schlacken bzw. Krätzen (Abkrätzmittel).

Entferner

Entferner dienen dazu, unerwünschte Legierungsbestandteile zu entfernen oder zu reduzieren. Entferner sind meist oxidierender Art. So wird z. B. Aluminium aus Kupferlegierungen oder Natrium aus Aluminium-Magnesium-Legierungen entfernt. Als Oxidationsmittel werden oft auch Chlor sowie Chlorverbindungen eingesetzt.

Reinigungsmittel

Reinigungsmittel haben die Aufgabe, nichtmetallische Verunreinigungen zu binden oder zu verschlacken, z. B. Wasserstoffentfernung durch oxidierende Reinigung und Sauerstoffentfernung durch Desoxidationsmittel.

Schmelzen, die leicht oxidieren und nicht mehr desoxidiert werden können (z. B. Kupfer-Aluminium-Legierungen), sollten mit einem inerten Gas gespült werden, um gelösten Wasserstoff zu entfernen. Alle anderen Schmelzen, die desoxidiert werden können (Kupfer, Kupfer-Zinn-Zink-Legierungen, Kupfer-Nickel-Legierungen), können zur Senkung des Wasserstoffgehaltes oxidierend geschmolzen und kurz vor dem Gießen desoxidiert werden.

Hierzu dienen oxidierende Abdeckungen (Kupferoxid, Silicat-Borat-Mischungen), die zum Entfernen von Wasserstoff sowie zum Niedrighalten der Gaskonzentration und zum Verschlacken der Krätze und Oxide im Handel erhältlich sind. Neutrale Abdekkungen bilden eine mechanische Sperre zwischen Schmelze und Ofenatmosphäre, schützen vor Gasaufnahme und verhindern die Oxidation.

Gefügebeeinflussungsmittel

Zu den Gefügebeeinflussungsmitteln zählen solche Mittel, die das Gefüge, insbesondere das Erstarrungsverhalten und damit die Art der Kristallisation, und die Korngröße beeinflussen. Sie lassen sich in die Untergruppen Kornfeinungsmittel und Veredelungsmittel unterteilen.

Legierungsmittel

Die Legierungsmittel sind den Schmelzbehandlungsstoffen zuzurechnen. Durch die Zugabe von Legierungsmitteln werden die physikalischen und chemischen Eigenschaften des Grundmetalls verändert. Zu den Legierungsmitteln gehören beispielsweise Si, Mn, Ni, Cu, Fe, Be u. a.

2.3.3 Schmelzverluste

Hauptursache der Schmelzverluste (Abbrand) sind Krätzebildung infolge Reaktion mit der Luftatmosphäre oder den Feuerfeststoffen im Ofen und in der Pfanne sowie Verdampfungsverluste von Legierungselementen mit hohem Dampfdruck.

Krätzebildung in Kupferlegierungen entsteht durch Reaktion der Schmelze mit der Atmosphäre und den Schmelzebehandlungsmitteln. So enthalten z. B. die Verbrennungsprodukte eines gasbeheizten Ofens eine große Menge Wasserdampf, der bei schlechter Flammführung mit der Schmelze unter Bildung von Oxiden und Krätze reagieren kann.

Maßnahmen zur Verringerung der Schmelzverluste

Es gibt verschiedene Möglichkeiten, das Ausmaß der Oxid- und Krätzebildung niedrig zu halten. Durch Einhaltung niedriger Temperaturen werden die chemischen Reaktionen mit der Schmelze verlangsamt, so daß im allgemeinen weniger Krätze, Oxide oder Schaum entstehen. In gleicher Weise sind kurze Haltezeiten auf der Abgießtemperatur geeignet, den Krätzeanfall zu verringern.

Feuerfeststoffe für Ofenauskleidungen und Tiegel müssen den eingesetzten Legierungen angepaßt werden, so daß weniger Krätze erzeugt wird. Gleiches gilt für den Einsatz von Ton-Graphit- und Siliciumcarbid-Tiegeln.

Die Krätzebildung kann u. U. durch die Verwendung von Abdeckmitteln gemindert werden. Mit Schmelzbadabdeckungen versucht man, die Atmosphäre vom flüssigen

Metall fernzuhalten und auf diese Weise die Krätzebildung zu reduzieren. Glühende Holzkohle kann ein Beispiel für eine Schmelzbadabdeckung sein, doch Abdeck- und Schmelzmittel müssen sorgfältig gehandhabt werden. Einige verringern nicht nur die Krätzebildung, sondern greifen auch den Tiegel, das Ofenfutter und die Formstoffe an.

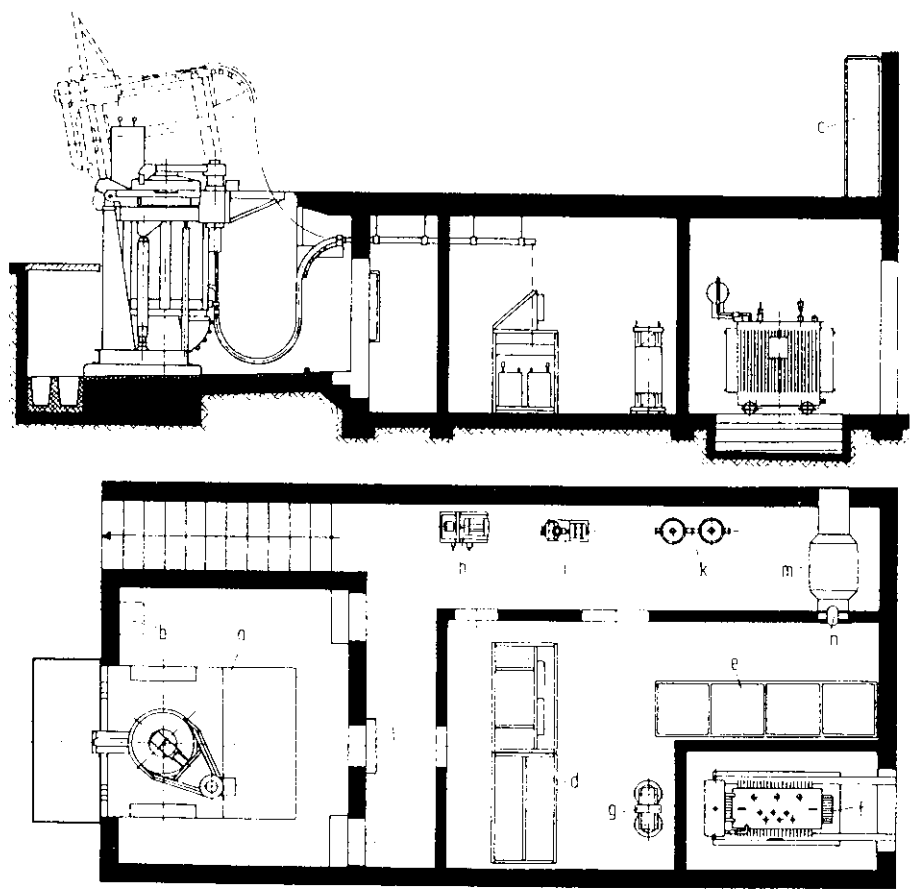
2.4 Schmelzanlagenkomponenten und Betriebsweise

Die folgende Tabelle zeigt die wesentlichen Komponenten eines Schmelzbetriebes.

Gruppen	Anlagen/Komponenten	Anmerkungen/Hinweise
Schmelzbetrieb	Rohstofflager	Boxen, Bunker, Silos, Säcke, Paletten
	Gattierung	EDV, Waageeinrichtung, Gebindebereitstellung
	Zwischenlager	Bereitstellung der Gebinde in Beschickungskübeln nahe des Schmelzofens
	Trocknungsanlage	Bei Bedarf für feuchtes Einsatzmaterial kurz vor dem Schmelzen
	Schmelzöfen – elektrisch betrieben – brennstoff-betrieben	siehe Kapitel 2.2
	Entschlackungswerkzeuge und Schlackekübel	Schaufeln, Abzieher, Abstreifer
	Schmelztiegel	Übergabe der Schmelze an Vergießstelle oder Warmhalte-ofen
	Ofenabsaugungen	Hauben-, Randabsaugungen
	Entstaubungsanlagen	Zyklone zur Grobabscheidung Gewebefilter zur Feinabscheidung
	Warmhalte- und Speicherofen	vorwiegend Rinnenöfen
Versorgung	Steuerungsstand (Warte) Schalträume Kühlwasserkreisläufe Tiegel- oder Ofenausmauerungen	siehe Kapitel 2–4
Reststoffe/ Abfälle	Reststoff-Container Reststoff-Boxen Säcke (big bags)	siehe Kapitel 3

Tab. 2-1: Funktionale Einteilung und wesentliche Komponenten/Bereiche einer NE-Schmelzanlage

Die nachfolgende **Abbildung 2-8** gibt einen Überblick der wesentlichen Komponenten einer Mittelfrequenz-Schmelzanlage.



a	MF-Tiegelofen	f	Transformator	l	Kühlwasserüberwachung
b	Steuerpult	g	Drossel	m	Luftfilter
c	Schaltschrank	h	Hydraulikaggregat	n	Ventilator
d	Kondensatorgerüst	i	Wasserpumpe		
e	Thyristorumrichter	k	Wasserrückkühler		(Quelle: Brokmeier)

Abb. 2-8: Aufbau einer Gesamtanlage bzw. Aufstellungsplan für Mittelfrequenz-Tiegelöfen

Gattierung

Das Gattieren bezeichnet das Zusammenstellen der zu schmelzenden Chargen einschließlich der erforderlichen Zuschläge für die Ofenbeschickung. Die Gattierungsanlage umfaßt den Gattierplatz, das Vorratslager sowie Förder- und Verwiegeeinrichtungen. Über Gattierungsberechnungen werden, ausgehend von den Anteilen der zu erschmelzenden Gußart, die Einsatzstoffmengen ermittelt, wenn keine fertigen Legierungen eingesetzt werden.

Einsatzstoffe

Das zu schmelzende Einsatzmetall kann aus technisch reinen Metallen, Blockmaterial, Vorlegierungen, Schrott, Kreislaufmetallen und Schmelzebehandlungsmitteln bestehen.

a) Technisch reine Metalle

Die Verwendung technisch reiner Metalle ist wirtschaftlich selten gerechtfertigt, ausgenommen bei der Entwicklung neuer Legierungen. Hinzu kommt, daß sich einige Elemente wie Silicium in Cu-Si-Legierungen und Eisen in Cu-Al-Legierungen schlecht lösen. Aus diesem Grund stellen die meisten Gießereien ihre Legierungen nicht aus eigenen Aufbauchargen her, es sei denn, daß hochwertige Legierungen gebraucht werden oder bestimmte Legierungen im Handel nicht erhältlich sind.

b) Schrott

Größere Gießereien schätzen und nutzen die wirtschaftlichen Vorteile des Einsatzes von Schrotten. Eine entsprechende Analyseneinrichtung hat dann verfügbar zu sein, damit die Zusammensetzung der Schmelzen aufgrund der Analysenergebnisse rechtzeitig korrigiert werden kann.

c) Blockmaterial

Umschmelzwerke liefern ihr Blockmetall nach Analyse und in Übereinstimmung mit der vorgeschriebenen Zusammensetzung. Das Umschmelzmetall wird als fertige Legierung verflüssigt bzw. erwärmt oder zu unterschiedlich hohen Anteilen den Chargen zugegeben.

d) Kreislauf

In jeder Gießerei fällt verfahrensbedingt Kreislauf aus Eingüssen, Gießläufen, Anschnitten, Speisern und gelegentlich anfallenden Ausschußstücken an. Im allgemeinen ist es üblich, diese Abfälle dem Schmelzbetrieb zuzuführen. Anschnitte und Speiser aus der Sandgußfertigung sind häufig nicht vollständig frei von Sandresten und Spänen und können Bohrölrückstände aufweisen, außerdem ist es möglich, daß sich Restgehalte von Desoxidationsmitteln oder Beimengungen im Kreislauf anreichern. Dies alles kann zu Gußfehlern beitragen.

e) Vorlegierungen

Vorlegierungen mit den erwünschten Legierungsanteilen finden zur Einstellung der chemischen Zusammensetzung Verwendung. Diese werden von den Umschmelzwerken, Hüttenwerken oder von speziellen Herstellern bezogen.

f) Schmelzebehandlungsmittel

Hierzu gehören z. B. Desoxidations-, Entgasungs-, Kornfeinungs- und abbrandverhütende Mittel.

Trocknungsanlage

Bei allen Einsatzstoffen im Schmelzofen ist darauf zu achten, daß kein feuchtes Material in das flüssige Bad eingetaucht wird, denn hierbei kann es zu explosionsartigem Auswurf kommen. In kritischen Fällen muß aufgrund der Betriebssicherheit eine Trocknung des Einsatzmaterials vorgeschaltet werden. Das Aufheizen hierfür erfolgt im allgemeinen mit Öl, Erdgas oder auch mit elektrischer Energie.

Für die Vorwärmung bzw. Trocknung unterscheidet man die stationären Verfahren von den Durchlauf- bzw. Durchstoßanlagen, die entweder für Kübel- oder Bandtransport vorgesehen sind.

Schmelzöfen

Zum Einsatz kommen brennstoff- bzw. mit Primärenergie oder elektrisch bzw. mit Sekundärenergie betriebene Schmelzöfen.

Abkrätzen und Abgießpfannen

Vor dem Abgießen der Metalle werden die Krätzen von der Schmelze getrennt bzw. abgekrammt. Das Abkrätzen erfolgt mit Schöpflöffeln, Abstreifern, Schaufeln, aber auch durch Kippen der Öfen. Die Krätzen werden in Container oder Behälter vor dem Ofen eingeworfen, in denen sie erstarren. Beim manuellen Abkrätzen werden im allgemeinen relativ große Mengen Schmelzgut mitausgetragen. Die Schmelze gelangt in Übergabe- oder Siphonpfannen, in denen noch einmal abgekrätzt werden kann. Die **Abbildung 2-9** zeigt eine Übergabepfanne.

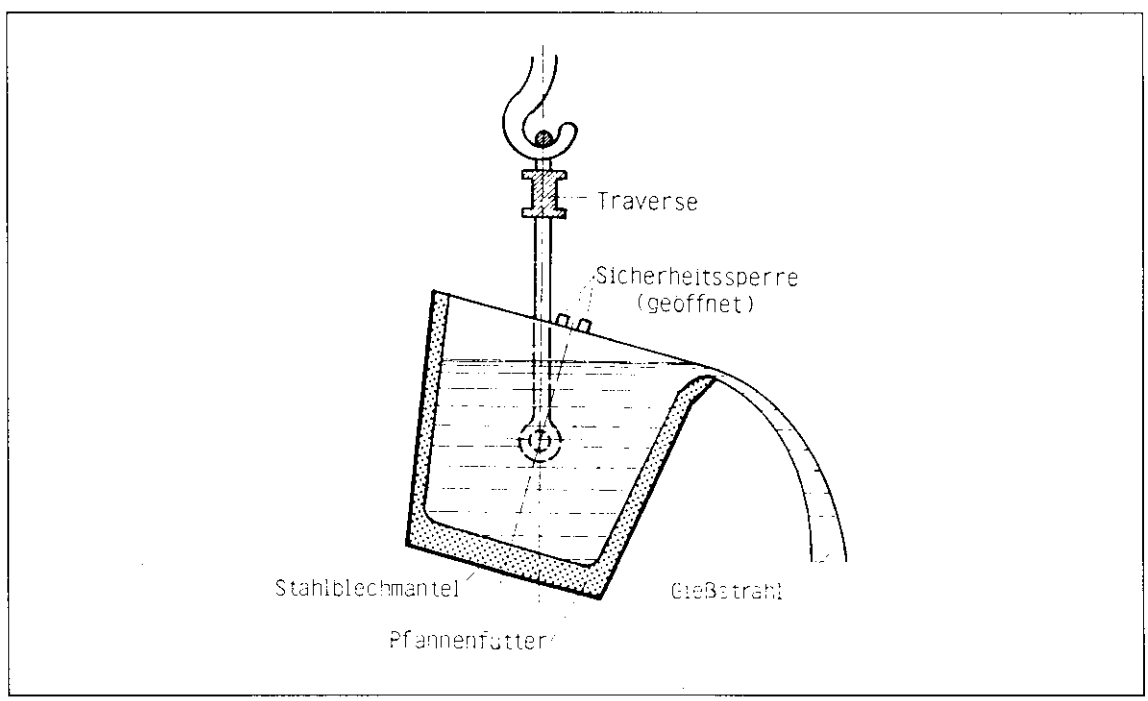


Abb. 2-9: Schnitt durch eine Übergabepfanne

Entstaubungsanlage

Emissionen aus Schmelzanlagen können eine Beeinträchtigung für die Umwelt darstellen. Deshalb ist darauf zu achten, daß die zulässigen Grenzen der Luftverunreinigung nicht überschritten werden. So enthalten z. B. einige Kupferlegierungen auch Blei, das verdampfen kann, so daß Konzentrationen in der Luft oder der Massenstrom durchaus die zulässige Toleranzgrenze überschreiten können. Auch bei Kupfer-Beryllium-Legierungen kann die Verdampfung von Beryllium die Gesundheit gefährden.

Schwermetalle wie z. B. Blei, Zinn, Zink können durch ihre zum Teil niedrigen Schmelzpunkte sowie den niedrigen Dampfdruck der einzelnen Legierungsbestandteile erhebliche Emissionen erzeugen.

Die staubbeladene Abluft wird von den Absaugstellen in die Filteranlagen geleitet. Die wesentlichen Entstaubungssysteme sind:

- Grobabscheider (z. B. Zyklone)
- filternde Abscheider (z. B. Gewebefilter)
- elektrische Abscheider (z. B. Elektrofilter)
- Naßabscheider (z. B. Wäscher)

Für die Abscheidung von Grobstäuben und als Schutz vor Funken setzt man Zyklone und für die nachfolgende Feinabscheidung in der Regel Gewebefilter ein. Letztere sind weniger aufwendig als eine Naßentstaubung. Eine Naßentstaubung ist nur dann empfehlenswert, wenn bestimmte gasförmige Schadstoffe, z. B. Chlor, in relevanter Menge im Abgas enthalten sind. Die eingebaute Temperaturüberwachung kann gegen unerwartet auftretende Überhitzungen durch automatisch beigemischte Frischluft schützen. Zur Absaugung werden Deckelringabsaugungen eingesetzt, die nur bei geschlossenem Ofen wirksam sind, während die Tiegelrandabsaugung eine weitergehende Erfassung erlaubt. Der Abbrand kann aber bei Tiegelrandabsaugung erhöht sein. Der Staubauswurf bei geöffnetem Ofen läßt sich am besten durch eine schwenkbar angebrachte Haube erfassen.

2.5 Ofenzustellungen, Ofenausmauerungen und Tiegel

Zustellungen

Als Zustellung wird in der Gießerei die feuerfeste Auskleidung von Schmelz- und Gießeinrichtungen bezeichnet. Tiegel sind entweder bewegliche oder fest eingeformte Schmelzgefäße. Bewegliche Tiegel sind vorgeformte und aus isostatisch gepreßtem Graphit oder SiC gebrannte Behälter, die in den Ofenraum eingesetzt und schnell gewechselt werden können. Ofenausmauerungen sind Auskleidungen von Öfen oder Pfannen mit festen Steinen. Von besonderer Bedeutung für die Standzeit der Ofenfutter und somit der Ausbruchmengen ist die spezielle Eignung der Zustellung für den jeweiligen Anwendungsfall.

Die Zustellungen werden entweder basisch, sauer oder neutral ausgeführt. Basische Zustellungen sind Stampfmassen, Stein oder Schlacken, die aus vorwiegend basischen Metalloxiden wie Magnesit, Chrommagnesit, Chromit, Dolomit oder Kalkstein (in Schlacken) bestehen. Die saure Zustellung besteht vorwiegend aus sauren Oxiden wie Quarzit (SiO_2) bzw. Quarzsand. Die Qualitätspalette der sauren Zustellmassen reicht vom Klebsand bis zum hochwertigen Quarzit. Außer den basischen und sauren Stoffen unterscheidet man noch eine dritte Gruppe, bei der Tonerde Al_2O_3 der Hauptbestandteil ist und die als neutral bezeichnet wird. Al_2O_3 reagiert sowohl basisch als auch sauer. Doch wird sie besser als Gruppe der tonerdehaltigen Stoffe geführt.

Gruppe	Wesentliche Stoffarten	Chemische Kurzbezeichnungen
Basisch	Magnesiumoxid	MgO
	Calciumoxid	CaO
	Chromoxid	CrO_2
	Dolomit	$CaMg(CO_3)_2$
	Kalkstein	$CaCo_3$
Sauer	Siliziumoxid	SiO_2
	Zirkoniumoxid	ZrO_2
	Titanoxid	TiO_2
Neutral (tonerdig)	Aluminiumoxid	Al_2O_3
	Siliziumoxid	SiO_2

Tab. 2-2: Einteilung der feuerfesten Baustoffe (Zustellungen)

Durch sorgfältiges Stampfen und Rütteln entsteht eine dichte Zustellung (Ofenfutter) ohne Lockerstellen oder Hohlräume. Folgende Zustellstoffe kommen zum Einsatz:

Feuerfeste Stoffe (Feuerfeststoffe) sind bei hohen Temperaturen beständige mineralische bzw. keramische Stoffe. Außerdem werden Kohle, Graphit und Siliziumcarbid als Bestandteile von feuerfesten Erzeugnissen und Ofenauskleidungen verwendet; in Sonderfällen werden zusätzlich andere Carbide sowie bestimmte Nitride, Boride und Silicide eingesetzt. Diese Stoffe dienen zur Herstellung von Steinen, Massen und Beton.

Feuerfeste Steine sind aus feuerfesten Stoffen in Einheitsgrößen geformte und gebrannte Steine.

Feuerfeste Massen bestehen aus feuerfesten Stoffen, die erst bei ihrer Verwendung, z. B. Auskleidung eines Ofens, eingeformt und beim Aufheizen dieses Ofens gebrannt werden.

Feuerfester Beton (Feuerbeton) ist eine feuerfeste Gieß-, Stampf- oder Spritzmasse, bestehend aus körnigen Feuerfeststoffen und Zement.

Tiegel

Ein Schmelzgefäß wird ganz allgemein als Tiegel bezeichnet. Man unterscheidet bewegliche und fest eingeformte Tiegel. Bewegliche Schmelztiegel sind beispielsweise Graphittiegel oder Siliziumcarbidtiegel. Ihre Auswahl erfolgt je nach zu schmelzendem Gußwerkstoff. Sie werden in Tiegelschmelzöfen oder Tiegelwarmhalteöfen eingesetzt und können bedarfsweise ausgewechselt werden.

Die folgende Abbildung zeigt einen Vergießtiegel.

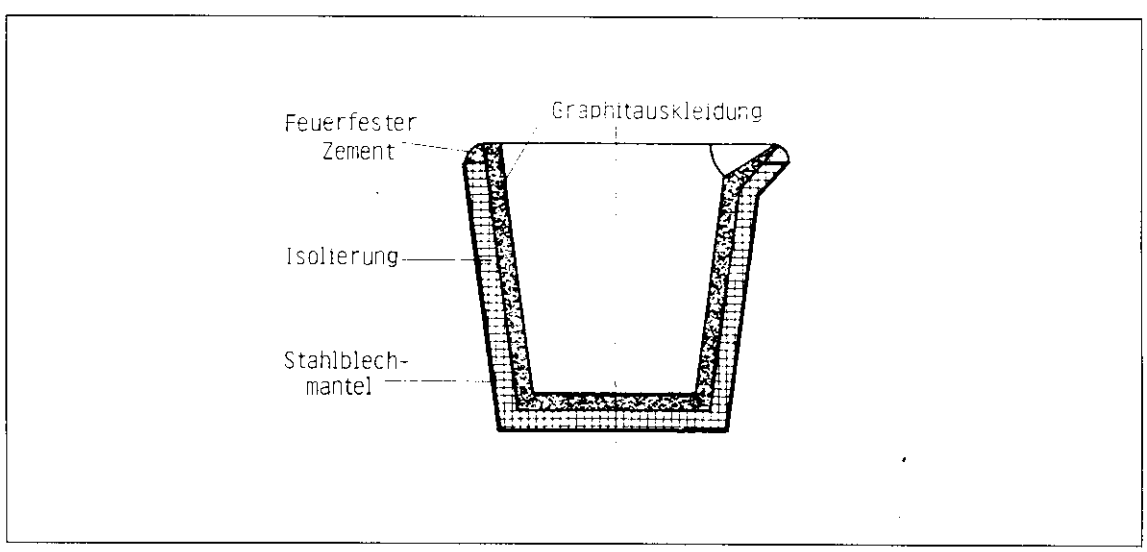


Abb. 2-10: Gießpfanne/Vergießtiegel mit Isolierschicht und Graphitauskleidung

3 Abfallarten – Entstehung, Aufkommen und Entsorgungsweg

In den folgenden Abschnitten werden die wichtigsten Abfallarten, die beim Betrieb von Schmelzanlagen für NE-Metalle anfallen, nach Entstehung, Inhaltsstoffen und Entsorgung charakterisiert.

3.1 Krätzen

Schlacken, metallische Oxide und andere Bestandteile, die beim Betrieb von NE-Schmelzanlagen neben dem metallischen Produkt in den Schmelz- und Warmhalteöfen anfallen, werden als Krätzen bezeichnet. Die wesentlichen Krätzereststoffe sind lt. Abfallartenkatalog Schlacken aus NE-Metallschmelzanlagen (Abfallschlüssel 31203), Bleikrätzen (Abfallschlüssel 31204), Zinnaschen (Abfallschlüssel 31213) und Bleiaschen (Abfallschlüssel 31214).

Krätzen entstehen durch Oxidation des Schmelzgutes mit der Luft- oder Ofenatmosphäre und den Feuerfeststoffen. In Krätzen eingebunden oder vermischt sind auch Schlacken. Schlacken sind homogene glasartige Reste aus dem NE-Schmelzprozeß. Ebenso befinden sich in den Krätzen Salzschlacken, wenn Schmelzsalze zur Anwendung kommen.

Krätzen sind demnach heterogen und in der anfallenden Zusammensetzung im allgemeinen nicht direkt verwertbar.

Durch Schmelzebehandlungsmittel kann auf die Zusammensetzung und die Eigenschaften der Krätzen Einfluß genommen werden. Je nach Schmelzprozeß, Metall- und Legierungsmitteleinsatz, Schmelzbehandlung und Abkrätztechnik entstehen bis zu 60 kg Krätzen/t Metallprodukt. Der Metallrestgehalt liegt im allgemeinen über 10 %. Bei Blei kann der Metallgehalt noch höher liegen. Die hochmetallhaltigen Krätzen aus Formgießereien werden in den meisten Fällen wirtschaftlich in Sekundärhütten wiederverwertet. Die metallarmen Krätzen aus Gießereien und vor allem der Sekundärhütten sollten gemäß Entsorgungshinweis der TA Abfall auf Sonderabfalldeponien oder Monobereichen von Hausmülldeponien abgelagert werden.

3.2 Stäube

Über Schmelzöfen wird bei der Trocknung sowie bei der Gattierung, falls notwendig, die staubhaltige Abluft abgesaugt und den Filteranlagen zugeführt und gereinigt. Die hierbei anfallenden NE-metallhaltigen Filterstaubgemische (Filterstäube, NE-metallhaltig, Abfallschlüssel 31217) bestehen im wesentlichen aus Metalloxiden mit Verunreinigungen. Die spezifischen Mengen können nur grob abgeschätzt werden und liegen zwischen 0,5 und 5 kg/t Schmelzgut.

Je nach Metallgehalt werden diese Stäube der Verwertung zugeführt. Alle nicht verwerteten Stäube sollten gemäß Entsorgungshinweis der TA Abfall als besonders überwachungsbedürftige Abfälle auf Sonderabfalldeponien oder Monobereichen der Hausmülldeponien abgelagert werden.

3.3 Tiegel- und Vergießofenausbrüche

Der Begriff Ofenausbruch ist nicht eindeutig belegt, da darunter einerseits Reststoffe verstanden werden, die beim Ausbrechen von Ofen- und Tiegelanbackungen anfallen, andererseits aber auch Reststoffe, die durch Ofen- und Tiegelverschleiß entstehen wie Schamotte, defekte Tiegel und herausgebrochene Ofen- und Tiegelanbackungen. Häufig wird in der Praxis der Begriff Feuerfestverbrauch benutzt.

In regelmäßigen Zeitabständen müssen die Tiegel ausgewechselt oder Ausmauerungen der Schmelzöfen ausgebrochen und neu ausgemauert werden. Sie sind abgenutzt und ausgebrannt (Gefahr des Ofendurchbruches). Die Ofenausbrüche fallen in unregelmäßig großen Bruchstücken bis zur Staubgröße an.

Je nach Schmelzgut und Ofenfahrweise reicht die Standzeit im allgemeinen von einigen Wochen bis zu mehreren Monaten. Die Rinnenofenausmauerungen haben Standzeiten von 3 Monaten bis zu 3 Jahren.

Der Feuerfestverbrauch hängt von der Betriebsweise und der Ofenart ab. Beim Schmelzen von NE-Metallen beträgt er je nach Ofengröße und Betriebsweise bis 5 kg/t NE-Metalle.

Nach der Abfallbestimmungsverordnung (AbfBestV) sind Ofenausbrüche aus metallurgischen Prozessen mit schädlichen Verunreinigungen (Abfallschlüssel 31108) besonders überwachungsbedürftige Abfälle und sollten nach dem Hinweis TA Abfall auf Sonderabfalldeponien entsorgt werden, sofern sie nicht stofflich verwertet werden können. Die Entsorgungskosten liegen derzeit zwischen 400 und 500 DM/t. Hinzu kommt die Abfallabgabe nach dem Landesabfallabgabengesetz (LAbfAbG). Im Anhang des Gesetzes werden Ofenausbrüche der Kategorie 2 zugeordnet, wodurch die Abgabe seit 1. 1. 1993 200 DM/t beträgt.

Ofenausbrüche aus metallurgischen Prozessen ohne schädliche Verunreinigungen (Abfallschlüssel 31103) sind keine besonders überwachungsbedürftigen Abfälle. Diese werden im allgemeinen auf Hausmülldeponien entsorgt.

Über Versuche zur Aufbereitung und Verwertung von Ofenausbrüchen aus NE-Betrieben ist nichts bekannt. Bedenken hinsichtlich der Wiederverwertung bestehen insbesondere wegen möglicher Schwermetallgehalte.

4 Vermeidung und Verwertung von Abfällen aus Schmelzanlagen für Nichteisenmetalle

Nachfolgend wird in einer Übersicht für alle wesentlichen Reststoffe aus NE-Schmelzanlagen der Stand der Technik bei Vermeidung, Vorbehandlung und Verwertung dargestellt.

In Abschnitt 4.1 werden zuerst die **Vermeidungsmaßnahmen** für die Krätzen, Stäube und Ofenausbrüche gemeinsam dargestellt, weil prinzipiell alle Reststoffe durch die erläuterten Maßnahmen gleichzeitig, aber in unterschiedlichem Umfang vermieden werden.

In Abschnitt 4.2 werden spezielle **Aufbereitungs- und Verwertungstechnologien** beschrieben, durch die eine Verwertung der Reststoffe erst möglich ist. Die Aufbereitung dient auch der umweltverträglichen Entsorgung der nicht vermeidbaren und nicht verwertbaren Stäube oder Ofenausbrüche.

Die folgende Tabelle gibt eine Übersicht zu den Verwertungspotentialen der Reststoffe, deren Vermeidung, Aufbereitung und Hinweise zur Verwertung.

Abfall-/Reststoffart und Verwertungspotential in Prozent	**Vermeidung (für alle Abfälle/ Reststoffe)**	**Aufbereitungs- und Verwertungstechnologien**	**Stoffliche Verwertung/ Einsatzgebiete**
Krätzen (60–90)	Vermeidungsmaßnahmen sind in den Tabellen 4-2 und 0-2 aufgeführt Vermeidungsquoten sind nur schwer abschätzbar. Die Vermeidungshöhe hängt ab von der/den – Produktpalette, – erforderlichen Technologie bzw. Produktionsverfahren, – Personalqualifikation, – Betriebsweise. Die Vermeidung von Reststoffen ist möglich in dem Bereich von 5 bis 40 %.	– Sekundärhütten – Heiß-/Kaltverfahren – Mahlen + Trennen – Drehrohr + Kurz-Trommelofen*	Metallische Anteile: – Wiedereinsatz der technisch reinen Metalle in der industriellen Produktion sowie in den Schmelzbetrieben
Ofen- und Tiegel-Ausbrüche (0–50)			– Bisher keine Verwertung
Filterstäube (10–50)		– Getrennthaltung – Wälzverfahren*	– Verwertung der metallischen Anteile in Hüttenwerken*

* Untersuchungsbedarf

Tab. 4-1: Übersicht zu Vermeidungs-, Aufbereitungs- und Verwertungsmöglichkeiten für Abfälle/Reststoffe aus NE-Schmelzbetrieben

4.1 Vermeidung von Krätzen, Stäuben und Ofenausbrüchen aus NE-Schmelzanlagen

Bisher war die Senkung des Energieverbrauchs, die verbesserte Nutzung der Einsatz- und Hilfsstoffe sowie die Verringerung der Emissionen das vorrangige Ziel, wodurch sich ebenso Reststoffe vermeiden lassen. Eine Maßnahme zur Vermeidung wirkt sich oft auf sämtliche Reststoffe aus. Deshalb erfolgt die Beschreibung der Vermeidungsmaßnahmen gemeinsam für alle Reststoffe.

Vermeidungsquoten in NE-Schmelzanlagen sind nur sehr schwer abschätzbar und hängen vom technischen Stand der Anlage sowie den Produktionsbedingungen ab. Das Vermeidungspotential für Reststoffe wird auf 5 bis 40 % geschätzt.

Tabelle 4-2 enthält eine Auflistung der in den nachfolgenden Abschnitten näher beschriebenen Vermeidungsmaßnahmen.

Vermeidungsmaßnahmen in NE-Schmelzanlagen
– Einsatz von sauberen Einsatzstoffen – Optimierte Fahrweise – Einsatz geeigneter Schmelzaggregate – Geschlossene Ofenfahrweise – Herstellung von reduzierender Atmosphäre – Abdecken der Schmelze – Wahl der geeigneten widerstandsfähigen Ausmauerungen und Tiegel – Reststoffe beim Warmhalten

Tab. 4-2: Reststoffvermeidungsmaßnahmen in NE-Schmelzanlagen

4.1.1 Einsatz von sauberen Einsatzstoffen

Alle Stoffe, die nicht zum Schmelzprodukt beitragen, sind Reststoffe. Verunreinigungen und andere Fremd- oder Störstoffe werden als Reststoffe in die Schlacke eingebunden oder sie verlassen die Anlage als Stäube. Zum Erreichen der geforderten Schmelzqualität ist das Einsetzen von sauberem Material in jedem Fall von Vorteil.

Durch unsachgemäßen Transport oder falsche Lagerung der Einsatzstoffe, z. B. ungeschützt gegen Nässe oder Feuchtigkeit, können diese oxidieren und dabei Wasser aufnehmen. Dies hat zur Folge, daß Feuchtigkeit mit den Ausgangsstoffen in die Schmelze eingetragen wird. Die Feuchtigkeit wird in Wasserstoff und Sauerstoff zerlegt, der Sauerstoff reagiert mit dem flüssigen Metall zu Metalloxiden. Der Wasserstoff muß durch Einsatz von zusätzlichen Entgasungsmitteln, das gebildete Metalloxid durch Einsatz von mehr Schmelzzusätzen aus der Schmelze entfernt und in der Schlacke oder Krätze gebunden werden.

Die Verringerung der Reststoffe kann erfolgen durch trockenen Transport, Lagerung in trockenen Räumen, Trocknung der Einsatzstoffe und Vorwärmung.

4.1.2 Optimierte Fahrweise

Jede Überhitzung der Schmelze über die erforderliche Gießtemperatur und zu lange Bereitstellung durch Warmhalten des Flüssigmetalls bedingen einen stärkeren Abbrand

der eingesetzten Materialien, der Ofenausmauerungen und der Tiegel sowie zunehmende Oxidation der Schmelze und folglich einen höheren Reststoffanfall.

4.1.3 Einsatz geeigneter Schmelzaggregate

Brennstoffbetriebene Schmelzaggregate haben verfahrensbedingt längere Anfahr- und Schmelzzeiten als induktiv betriebene. Der Abbrand kann geringfügig höher sein. Dies gilt vor allem für alte und unwirtschaftlich brennstoffbetriebene Öfen. Moderne brennstoffbetriebene Aggregate können jedoch einen besseren thermischen Gesamtwirkungsgrad erreichen, wodurch der Reststoffanfall insgesamt durchaus günstiger sein kann als mit induktiv betriebenen Öfen.

Deshalb ist je nach erforderlicher Betriebsweise in jedem einzelnen Fall zu prüfen, wie sich ein Optimum aus Gesamtwirkungsgrad, erforderlicher Technologie, Betriebsweise und Reststoffmengen erreichen läßt.

Brennstoffbetriebene und Mittelfrequenzöfen können beispielsweise ohne Anfahrblökke, wie dies beim NF-Aggregat erforderlich ist, angefahren werden. Dadurch ist insgesamt ein flexiblerer Betrieb möglich.

Maßnahmen zur Optimierung von brennstoffbetriebenen Schmelzaggregaten sind

1) Einsatz geeigneter Brennersysteme wie Hoch- oder Mittelgeschwindigkeitsbrenner sowie Rekuperatorbrenner

2) Erhöhung der Sauerstoffanteile in der Verbrennungsluft, wodurch der Anteil des zu erwärmenden Stickstoffes verringert und somit Brennstoff eingespart werden kann

3) Verbrennungsluftvorwärmung bei brennstoffbeheizten Schmelzanlagen mittels Rekuperatoren oder Rekuperatorbrennern. Durch Ausnutzen der Abgaswärme sind Energieeinsparungen bis 15 % möglich, die Abgasmenge wird reduziert und somit Umweltschutzkosten gesenkt.

4) Metallvorwärmung integriert in Schacht- bzw. Herdöfen, wobei die Abgaswärme zum Vorwärmen des metallischen Einsatzes genutzt wird. Hier sind Energieeinsparungen bis zu 20 % möglich.

4.1.4 Geschlossene Ofenfahrweise

Durch übermäßigen Lufteintrag wird die oxidierende Ofenatmosphäre begünstigt. Deshalb dürfen die Ofendeckel nur beim Befüllen geöffnet sein. Undichte Stellen und Lecks an den Ofendeckeln müssen abgedichtet werden. Dadurch lassen sich weitere Reststoffmengen verringern. Allein die Verbesserung des wärmetechnischen Wirkungsgrades macht diese Betriebsweise empfehlenswert.

4.1.5 Herstellung von reduzierender Atmosphäre

Auch diese Maßnahme dient dem Ziel, eine Oxidation durch die Ofenatmosphäre zu vermeiden.

Dies erfolgt bei geschlossen betreibbaren **Vergießöfen** (Rinnenöfen) mit inerten Gasen (z. B. Stickstoff). Hier wird das Metall mit einem Druckpolster beaufschlagt und ohne Öffnen des Ofens an die Vergießstelle übergeben. Das Flüssigmetall steht unter einer

inerten Ofenatmosphäre, wodurch die Oxidation vermindert wird. Es entstehen deshalb nur sehr geringe Mengen an Krätzen und Stäuben.

Bei **Schmelzöfen** muß im allgemeinen sowohl bei der Beschickung der Einsatzstoffe als auch bei der Entnahme des Metalls der Ofendeckel geöffnet werden, wodurch die Schmelze mit dem in der Luft vorhandenen Sauerstoff in Berührung kommt. Zur Verringerung der Oxidationsvorgänge und zur schnellen Erzeugung von inerter Atmosphäre nach jedem Beladungs- oder Entladevorgang wird der Ofen mit inertem Gas gespült.

4.1.6 Abdecken der Schmelze

Leicht oxidierbare Einsatzstoffe werden beim Schmelzen vor zu starker Oxidation geschützt, indem zuerst die leicht oxidierbaren Stoffe eingesetzt und die weniger stark oxidierbaren Stoffe darüber geschichtet werden. Außerdem sind desoxidierend wirkende Abdeckmittel im Handel, mit deren Einsatz metallische Oxide reduziert werden können. Die Abdeckmittel gehen in den Reststoff ein. Die bessere Schmelzequalität rechtfertigt in den meisten Fällen den Einsatz von Abdeckmitteln. Hierdurch wird der Reststoffanfall insgesamt reduziert.

4.1.7 Wahl der geeigneten widerstandsfähigen Ausmauerungen und Tiegel

Durch den Einsatz geeigneter Zustellungen bzw. Ofenausmauerungen wie Tiegel, Stampfmassen oder Steine (vgl. Kap. 2.5) lassen sich Abbrandverluste verringern und die Standzeiten erhöhen.

Zur Verringerung der Ofenausbrüche sollte anstelle der Erneuerung oder Neuzustellung der Ofenausmauerung die abgenutzte oder beschädigte Ofenwand falls möglich nur abgeschält werden. Auch ausgewaschene Löcher in der Ofenwand sind im Ofen mit geeigneten Materialien zu reparieren. Insgesamt lassen sich die Ausbruchmengen durch die Wahl des richtigen Ofenmaterials und durch Reparaturen der Ofenwände verringern.

Schmelztiegel unterliegen einem erheblichen Verschleiß durch thermische, mechanische und chemische Beanspruchung. Der Tiegelabbrand oder -abrieb findet sich in der Krätze/Schlacke wieder. Für die richtige Behandlung von Schmelztiegeln gelten folgende Richtlinien:

- Absolut trockene Lagerung
- Neu eingesetzte Tiegel sehr langsam vorwärmen
- Das Beschicken darf immer nur dann erfolgen, wenn der Tiegel auf Betriebstemperatur aufgeheizt ist
- Nach dem Beschicken mit dem kalten Einsatz ist sofort kräftig aufzuheizen, der Einsatz zu erschmelzen und auf Bereitstellungstemperatur zu bringen
- Schmelzmittelzusätze dürfen nur dann zusammen mit dem kalten Einsatz in den Tiegel gegeben werden, wenn sie den Tiegelwerkstoff nicht chemisch angreifen
- Die Einwirkung der Schmelzmittel auf das Schmelzbad soll so kurz wie möglich bemessen werden; aggressive Schmelzmittel sind zu vermeiden
- Nach jedem Schmelzen ist der Tiegel vollständig zu entleeren und zu reinigen

4.1.8 Reststoffe beim Warmhalten

Sind Warmhalteöfen im Einsatz, bei denen der größte Teil der Badoberfläche abgedeckt ist, so kann der Krätzeanfall reduziert werden. Ein Nebeneffekt ist der geringere Wärmeverlust von geschlossenen, abgedeckten Warmhalteöfen.

4.2 Aufbereitung und Verwertung der Reststoffe

Die Reststoffe aus den Schmelzanlagen sind im allgemeinen nur verwertbar, wenn sie aufbereitet werden. Unter Aufbereitung ist das Überführen des Reststoffes in eine technologisch verwertbare Form zu verstehen. Dies erfolgt durch z. B. Verfestigung, Zerkleinerung, Granulierung, Homogenisierung oder Trennung.

Vor der Aufbereitung müssen die stofflichen Eigenschaften aller Reststoffe einer Schmelzanlage durch Analysen/Gutachten/Stoffsteckbriefe ermittelt werden.

In den Schmelzbetrieben selbst ist im allgemeinen eine Verwertung der Reststoffe nicht möglich, da die Reststoffmengen zu gering sind. Deshalb kommen Verfahren zur Aufbereitung und Verwertung in speziellen Anlagen externer Verwerterbetriebe zur Anwendung.

4.2.1 Aufbereitung und Verwertung von Krätzen (extern)

Grundsätzlich sind die Krätzen aus Schmelzöfen zum großen Teil wiederverwertbar. Sie haben aber nach dem Abkrätzen meistens nicht die zur direkten Verwertung geeigneten technologischen Eigenschaften. Voraussetzung für externe Verwertungen sind die folgenden vorbereitenden Maßnahmen im Schmelzbetrieb:

- Sorgfältiges Abkrätzen
- Getrennthaltung von Krätzen, Stäuben und Ofenausbrüchen
- Getrennthaltung von Krätzen aus unterschiedlichen Basislegierungen wie
- Trockenes Aufbewahren bis zum Abtransport

4.2.1.1 Verwertung in Sekundärhütten

In Sekundärhütten werden Krätzen, Späne und sonstige metallhaltige Reststoffe aus den Schmelzbetrieben aufbereitet, aufgeschmolzen und in Blockmaterialien der geforderten Metall-Basislegierungen vergossen. Die Blöcke gehen zum Teil in die Schmelzbetriebe selbst zurück oder sie werden auf dem Markt angeboten und wiedereingesetzt. Die metallarmen Krätzen werden im allgemeinen deponiert. Dieser Weg der Aufbereitung und Verwertung von Krätzen ist Stand der Technik und findet bisher überwiegend Anwendung bei der Verwertung von Krätzen.

4.2.1.2 Heiß- und Kaltaufbereitung für Krätzen

Die Aufarbeitung von Krätzen erfolgt bei diesem Verfahren in 2 Schritten, der Heiß- und der Kalt-Aufbereitung. Der Wirkungsgrad bzw. die Metallanreicherung im Produkt beträgt 80–85 %. Dabei erhält man metallreiche Fraktionen, die eingeschmolzen oder in der Hüttenindustrie verwertet werden können.

Bei der **Heiß-Aufbereitung** wird die Krätze gesammelt und zu einer Ausrühreinheit mit integrierter Kühlanlage transportiert. Durch Rühren können bis zu 20 % der Krätzemenge als flüssiges Metall in einer Auffangwanne zurückgewonnen werden. Um den metallischen Abbrand und die entweichenden Gase in Grenzen zu halten, werden die Krätzereste mittels Wasserbebrausung schnell auf Temperaturen unter 100 °C gekühlt. Die Kühl- und Ausrühreinrichtungen werden abgesaugt und das Abgas behandelt. Der Einsatz in Schmelzbetrieben ist zu untersuchen.

Bei der **Kalt-Aufbereitung** wird die abgekühlte Krätze in mehrere Fraktionen, z. B. ≤ 2 mm, ≥ 2 mm und ≤ 100 mm sowie ≥ 100 mm aufgetrennt. Die Fraktion über

100 mm besteht hauptsächlich aus reinem Metall und kann direkt eingeschmolzen werden. In der 2. Siebstufe fällt als Unterkorn eine feine Fraktion an, die überwiegend aus oxidischen Bestandteilen besteht und zur Metallgewinnung an Hüttenwerke abgegeben werden kann. Die Fraktion von 2 bis 100 mm gelangt über Schwingroste in die Kugelmühle, wo die oxidischen Anteile leicht gemahlen und in einer 3. Siebstufe als Unterkorn abgetrennt werden können. Die metallischen Granalien (Metalle) fallen als Überlauf an und können im Herd-/Wannenofen ohne Zugabe von Salzen oder im Drehtrommelofen unter einer Salzdecke eingeschmolzen werden. Diese Verfahren zur externen Aufbereitung sollten hinsichtlich der Verwertung von Metallkrätzen untersucht werden. Die nachfolgende **Abbildung 4-1** zeigt die Heiß- und Kaltaufbereitung (Verfahren nach Jöst) als Fließbild.

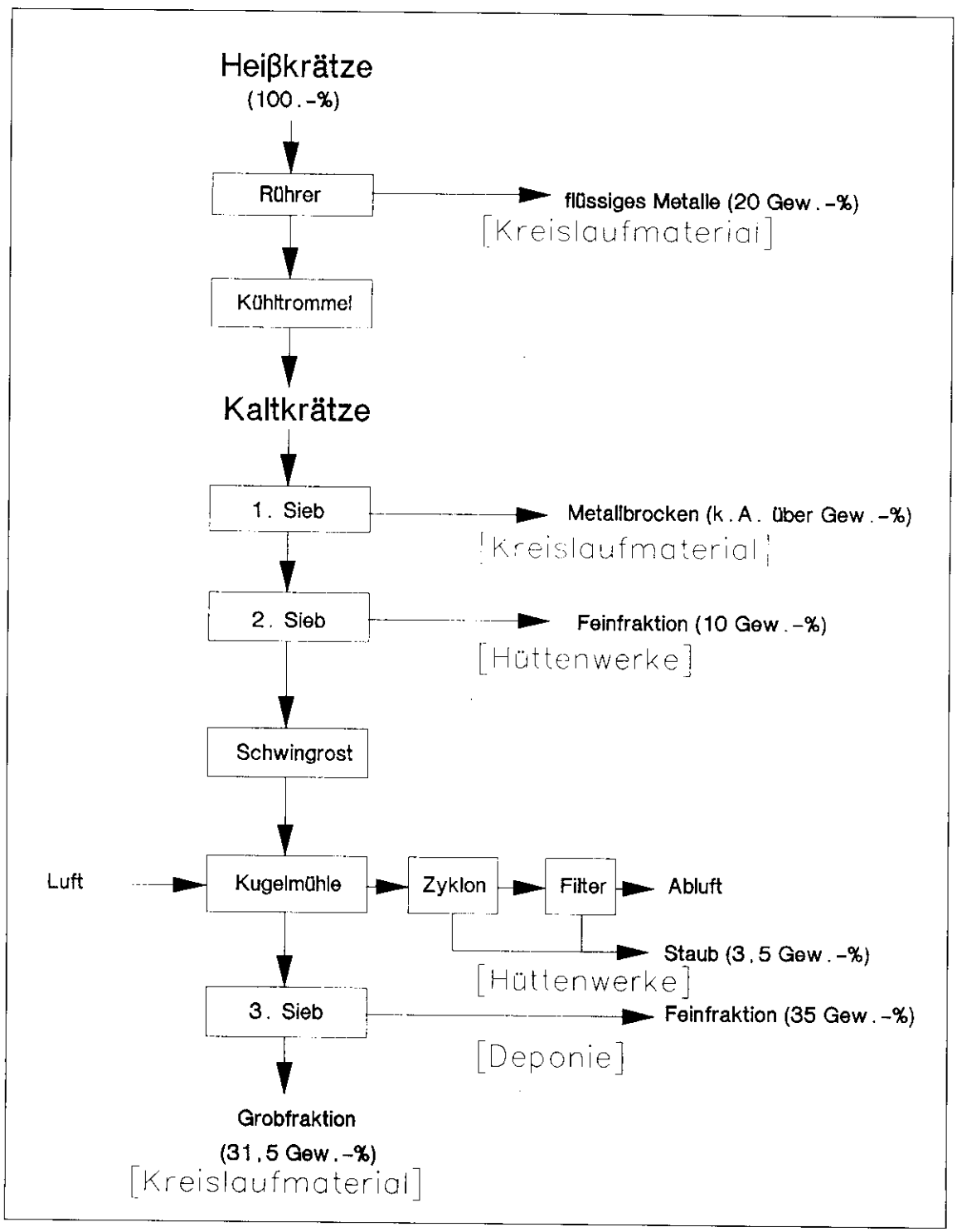


Abb. 4-1: Fließbild einer Krätzeaufbereitungsanlage (Verfahren nach Jöst)

4.2.1.3 Mahlen und Trennen

Nachfolgend wird ein einfaches mehrstufiges Verfahren vorgestellt, das sich zur Aufarbeitung von kleineren Krätzemengen anbietet. Ein Fließbild des sog. Steinlein-Separators kann **Abbildung 4-2** entnommen werden (Verfahren Steinlein + Kunze).

Die Krätze wird einer Kugelmühle zugeführt und so lange gemahlen, bis nur noch Metallgranalien in der Trommel verbleiben. Anschließend wird abgesiebt und der Überlauf durch Umkehrung der Drehrichtung als Produkt ausgetragen. Je nach Krätzequalität und Lagerbedingungen können zwischen 30 und 60 % der Metalle in der metallreichen Fraktion konzentriert werden. Die metallärmere Fraktion wird einer weiteren Behandlung zugeführt und verwertet oder ordnungsgemäß entsorgt.

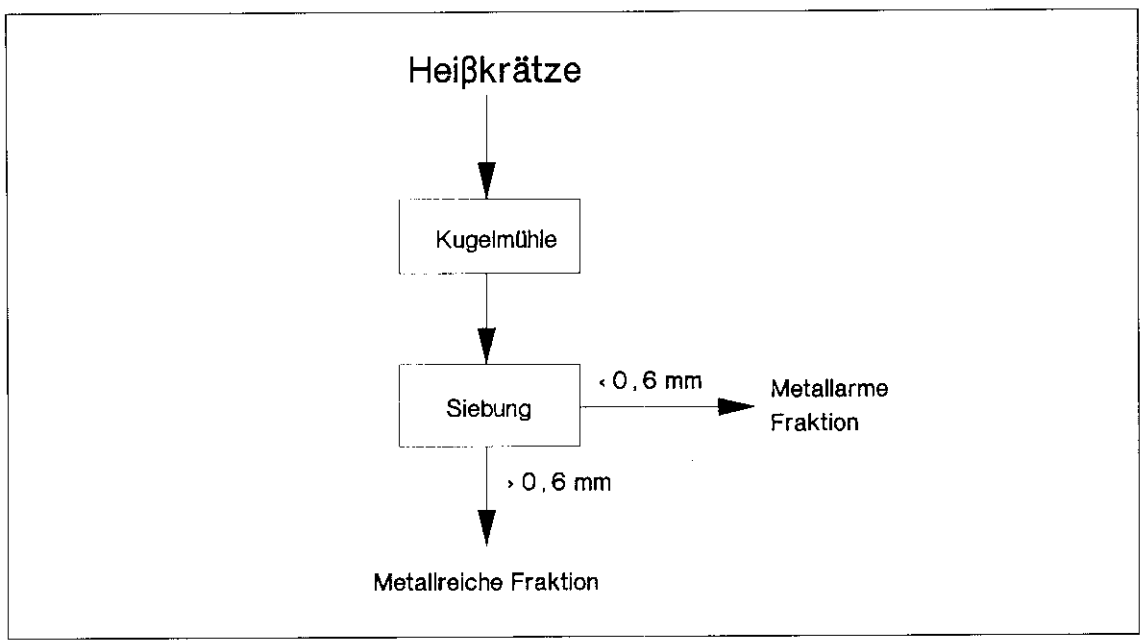


Abb. 4-2: Fließbild einer Krätzeaufbereitungsanlage (Verfahren Steinlein + Kunze)

4.2.1.4 Verwertung von Sn/Pb/Zn-haltigen Krätzen im Drehrohr- und Kurztrommelofen

Sn/Pb/Zn-haltige Mischoxide werden mit Magerfeinkohle und Soda angemischt und pelletiert und im Drehrohr nach dem „Berzelius"-Verfahren verarbeitet. Als Produkt wird Weichlot gewonnen. Weichlot ist eine Legierung von Zinn und Blei und wird bei Berzelius aus Zinnrückständen, Mischoxiden (Sn + Pb + Zn), Aschen, Krätzen, Schlakken und anderem Verhüttungsmaterial gewonnen. Hauptabnehmer sind die Verpakkungs- und Elektro-/Elekronik-Industrie sowie zahlreiche Kleinverbraucher. Die Lieferung der Sekundärprodukte erfolgt hauptsächlich in Form von Blöcken, Stangen und Draht. Dieses Verfahren sollte hinsichtlich des Einsatzes zur Verwertung von Metallkrätzen untersucht werden (Verfahren Berzelius).

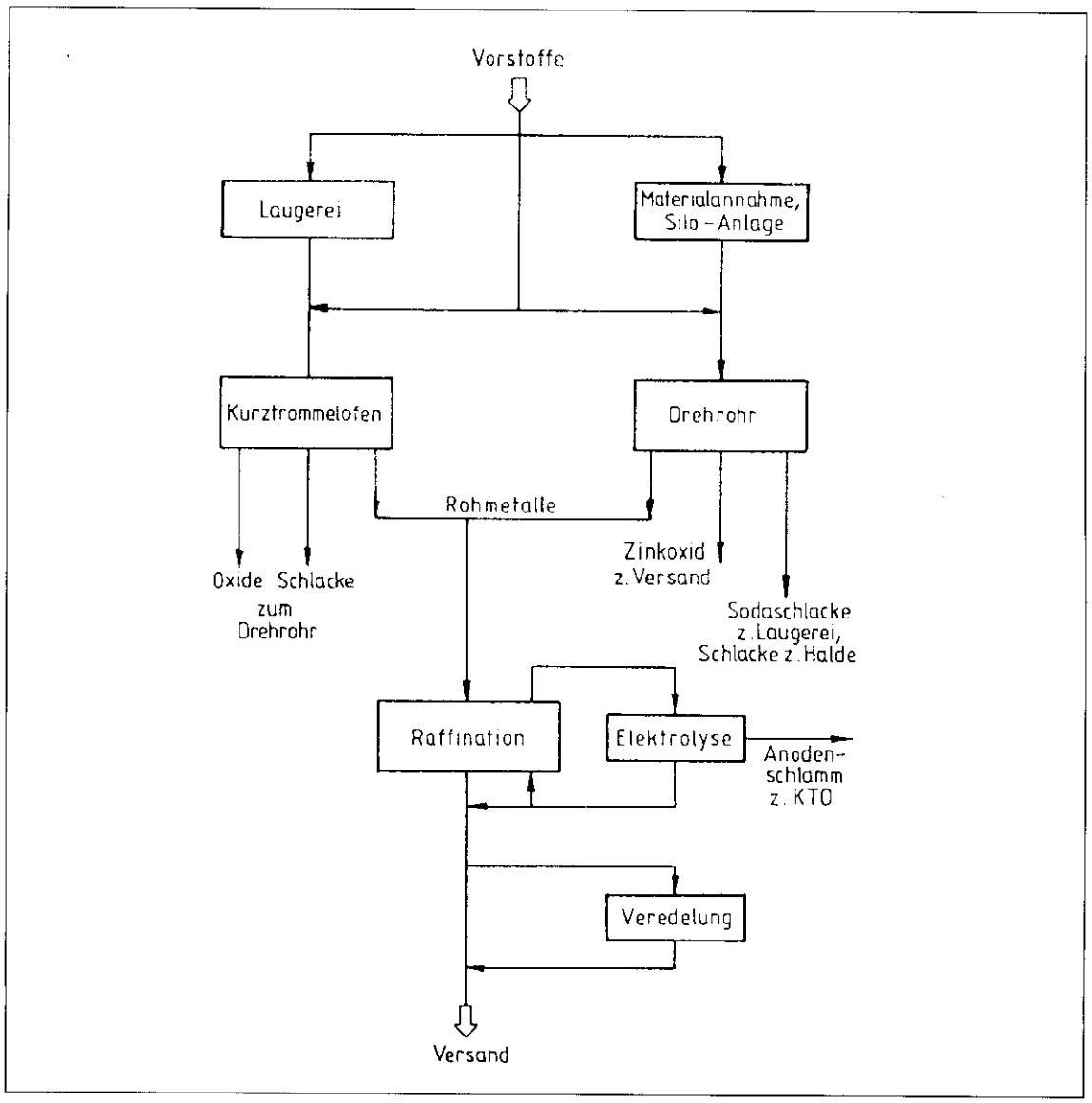


Abb. 4-3: Fließbild des „Berzelius-Verfahrens"

Zur **Vorbehandlung** gelangen die Oxide nach Sorten getrennt in die Siloanlage. Sie werden nach vorgegebener Chargenzusammensetzung gemischt und pelletiert und direkt in das Aufgabesilo oberhalb des Drehrohrofens oder auf Lager gefahren.

Der Durchsatz der **Drehrohrofen-Anlage** beträgt etwa 2–2,5 t/h. In der Reaktionszone werden nun die in den Oxiden enthaltenen Metalle reduziert. Die Reduktionstemperatur in dieser Zone beträgt 1 250–1 350 °C und ist damit ausreichend, um das sich bildende Zn zu verdampfen. Die reduzierten Schwermetalle, in unserem Falle also Sn und Pb, verdampfen im angegebenen Temperaturbereich nicht oder nur in sehr geringem Maße und werden durch das sehr dünnflüssige Soda vor einer Reoxidation geschützt. In der Garzone trennen sich nun Metall und Schlacke wegen ihres Dichtunterschiedes voneinander. Etwa alle 2 h wird das Metall abgestochen. Das sog. Lötrohmetall (Produkt) wird in Blockformate abgegossen. Die Schlacke wird trocken granuliert.

Der **Kurztrommelofen** ist ein dem Drehtrommelofen ähnliches Schmelzaggregat und wird im allgemeinen dem Drehrohrofen nach Berzelius vorgeschaltet. Im Kurztrommelofen werden Schlacken aus der Verarbeitung von Sn/Pb-haltigen Sekundärmaterialien (Aschen, Krätzen, Schlämme) erschmolzen.

Die Kurztrommelofen-Schlacken werden trocken in Schlackenkübel abgestochen und müssen daher für den Einsatz im Drehrohrofen vorbereitet werden. Zu diesem Zweck werden sie mit einem hydraulischen Hammer vorzerkleinert und anschließend in einem Backenbrecher auf < 35 mm gebrochen.

Mit Pb-Aschen und Reduktionskohle werden die gebrochenen Schlacken zu Losgrößen von ca. 140 t zusammengefahren. Der Anteil an Pb-Aschen beträgt etwa 20–30 %, der an Magerfeinkohle ca. 8–10 %, jeweils bezogen auf Kurztrommelofen-Schlacke. Danach erfolgt das Metallarmschmelzen im Drehrohrofen. Das sich im Ofen sammelnde Lötrohmetall wird diskontinuierlich etwa alle 3 h abgestochen, während die Schlacke kontinuierlich überläuft und trocken granuliert wird. Das Abgas wird nach Durchströmen von Abscheidekammer und Kühlturm, in der sich anschließenden Elektrofilter gereinigt.

4.2.2 Aufbereitung von Stäuben

Die Staubbildung ist eine unvermeidbare Nebenerscheinung jedes Verbrennungsprozesses. Die verbrannten Oxide der eingesetzten Stoffe werden mit der heißen Abluft aus den Aggregaten ausgetragen. Aufgrund der gesetzlichen Auflagen muß diese Abluft in vielen Fällen gefaßt und gefiltert werden. In den Filteranlagen wird der größte Teil der Stäube zurückgehalten.

Die Stauberfassung erfolgt je nach den anlagenspezifischen Verhältnissen durch:

- **Totaleinhausung** des Ofens mit Öffnungen zum Ausgießen und mit Sichtöffnungen für das Bedienungspersonal
- **Schwenkhauben,** auf der Ofenplattform befestigt, mit hydraulischem Antrieb zum horizontalen Schwenken
- Höhenverstellbare Absaughauben mit Schwenkeinrichtungen, wobei noch Erfassungsprobleme während des Ofendeckelschwenkens auftreten
- **Ringabsaugung** zur Erfassung der Rauchgase am Ofenrand

Finden sich für die erfaßten Stäube keine Verwertungsmöglichkeiten, dann müssen sie umweltverträglich entsorgt werden. Durch die zu erwartenden drastischen Kostensteigerungen zur Ablagerung der Stäube sind langfristig wirtschaftliche Vorteile bei der Verwertung der Stäube für die Unternehmen zu erwarten. Je nach Zusammensetzung der Stäube sind die folgenden Aufbereitungsmaßnahmen möglich:

4.2.2.1 Getrennte Erfassung von Stäuben

Voraussetzung zur Aufbereitung und Verwertung der Stäube ist die gezielte Getrennthaltung der Stäube verschiedener stofflicher Zusammensetzung in den Schmelzbetrieben.

Die Stäube sind bei getrennter Erfassung besser verwertbar. Durch die angewandten zentralen Entstaubungsverfahren werden die Stäube der verschiedenen Anfallstellen vermischt. Durch getrennte Abfluftführung (Absaugung, Entstaubung) können getrennt erfaßte, homogener zusammengesetzte Stäube einer Verwertung zugeführt werden. Die nicht verwertbare Reststoffmenge wird dadurch verringert. Durch Sichtung bzw. klassierende Abscheidung läßt sich die nicht verwertbare Menge zusätzlich verringern.

4.2.2.2 Wiedereinschmelzen von metallhaltigen Stäuben in Hüttenwerken

Je nach Metallgehalt bietet sich das Wiedereinschmelzen der Stäube in Hüttenwerken an. Dazu müssen die Stäube üblicherweise pelletiert werden, damit sie in die Schmelze

eintauchen können. Die Metalle gehen in die Hüttenwerkprodukte ein, die verbleibenden mineralischen Bestandteile gehen in die Schlacken über. Das Pelletieren und Wiedereinschmelzen von Hüttenwerkstäuben ist bereits Stand der Technik.

4.2.2.3 Verarbeitung zinkhaltiger Stäube nach dem Wälzverfahren

Die Wälzanlage wird betrieben, um aus niedrig metallhaltigen Reststoffen Oxide mit hohen Metallkonzentrationen zu gewinnen, welche dann in einer nachgeschalteten Brikettieranlage in eine stückige Form gebracht und im Imperial-Smelting-Schachtofen weiter verarbeitet werden (Verfahren nach Berzelius).

4.2.3 Aufbereitung und Verwertung von Ofen- und Tiegelausbrüchen

Die Wiederverwertung von Ofenausbrüchen ist noch nicht Stand der Technik.

Schwierigkeiten bei der Verwertung machen zum einen die technologischen Eigenschaften der Ofenausbrüche. Sie sind porös und demzufolge auch nicht in demselben Maße inert wie die Schlacken. Untersuchungen über die technologischen Eigenschaften dieses Reststoffs sowie über sein Verhalten bei bestimmter Verwendung liegen nicht vor. Daneben ist die Umweltverträglichkeit durch die vorhandenen Schadstoffgehalte in Frage gestellt. Verfahren zur Schadstoffentfrachtung sind nicht bekannt.

Angesichts der geringen anfallenden Mengen scheint eine wirtschaftliche Verwertung von Ofen- und Tiegelausbrüchen auch in Zukunft nicht möglich zu sein.

Teil B – IST-Analyse des untersuchten Betriebes

5 Beschreibung des untersuchten Betriebes

5.1 Leistungsangebot

Im untersuchten Betrieb wird eine sehr vielseitige Produktpalette vor allem an Kupferlegierungen zu Gußteilen für den Pumpenbau, Hydraulikaggregate, Werkzeugmaschinen, Fahrzeugbau, Elektrotechnik u. a. vergossen. Im Gesamtbetrieb werden neben der untersuchten Nichteisenmetallschmelzanlage außerdem eine Vakuumschmelzerei, Gleitlager- und Schleudergießerei, Aluminiumfeingießerei, ein Walzwerk und eine Feingießerei für Stahlguß betrieben.

Der bereits 1938 in Betrieb gegangene und ständig erneuerte Nichteisenmetallschmelzbetrieb fertigt die Legierungen für die räumlich angrenzende Gießerei. Die Gießereien arbeiten vorwiegend auf Kundenwunsch.

5.2 Mitarbeiter

Das Gesamtunternehmen beschäftigt etwa 1 180 Mitarbeiter. Insgesamt sind 90 Mitarbeiter im untersuchten Schmelzbetrieb beschäftigt, wovon 81 in der Produktion, 6 für die Planung und 3 Mitarbeiter für Wartung und Reparatur abgestellt sind.

5.3 Gebäude und Anlagenaufteilung

Der untersuchte Schmelzbetrieb liegt zentral gelegen in einer Halle mit einer Fläche von 12 m × 44 m am größten Standort des Unternehmens. Dieser Betriebsteil gliedert sich in die Schmelzofengruppen, Bereitstellungsflächen für die gattierten Einsatzstoffe und Schmelzübergabestellen.

Die Gattierung ist in einer anderen Halle untergebracht.

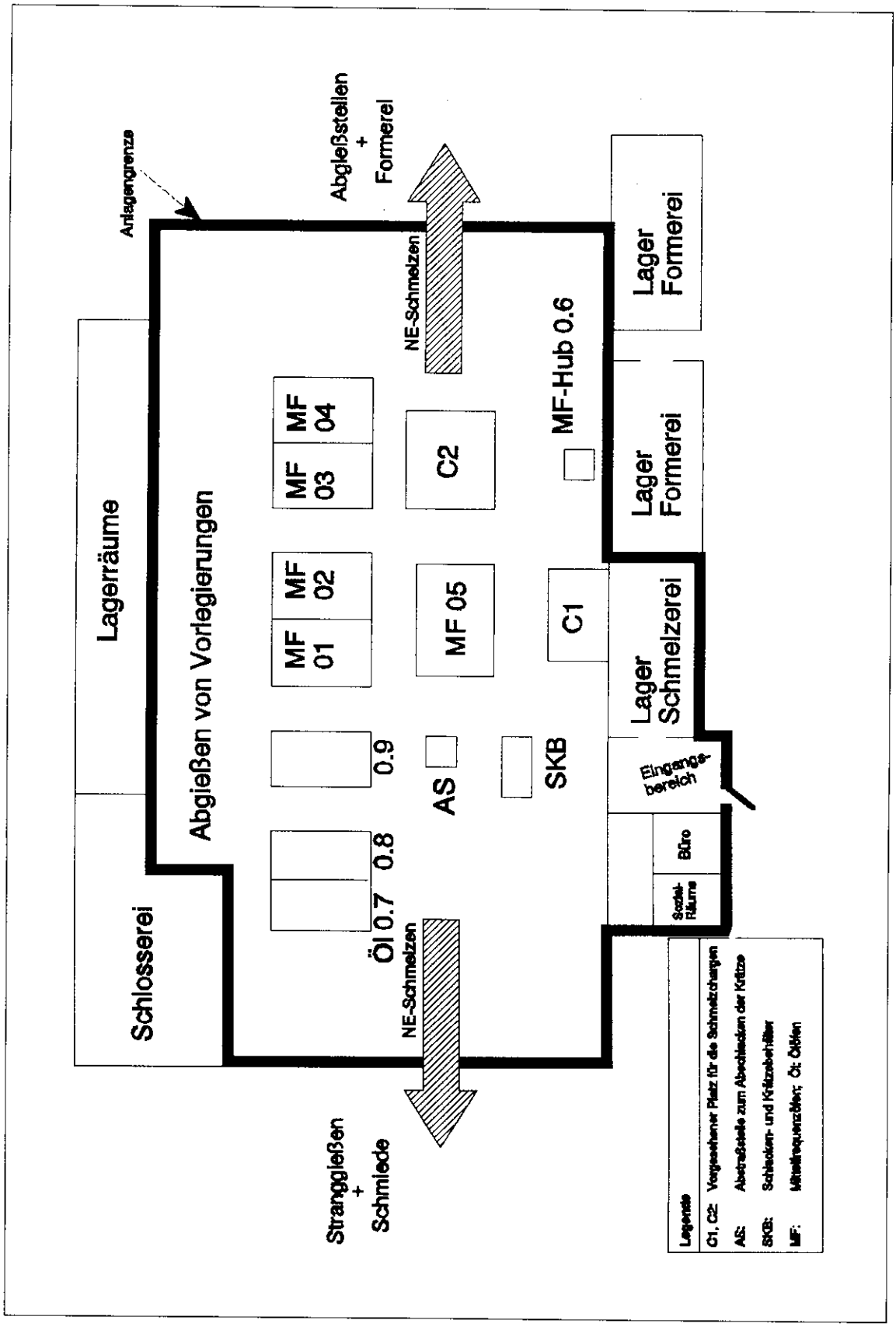


Abb. 5-1: Gebäudegrundriß des untersuchten Schmelzbetriebes und Anordnung der Arbeitsbereiche/Anlagenteile

5.4 Maschinelle und apparative Ausstattung

Die wesentlichen Ausstattungsgüter der Schmelzanlage sind die Schmelzöfen und die Tiegel. In der Schmelzanlage für Nichteisenmetalle kommen 9 Schmelzaggregate zum Einsatz. Dies sind 4 Mittelfrequenzöfen (MF 0.1 bis 0.4) mit einer Kapazität von je 480 kg, ein Mittelfrequenzofen (MF 0.5) mit einer Kapazität von 1 500 kg und ein Mittelfrequenzhubtiegelofen (MF 0.6) mit einer Kapazität von 180 kg sowie 3 Ölöfen mit Kapazitäten von je ca. 600 kg.

Bez.	Ofenart	Hersteller	Anschaffungszeit
MF 0.1 MF 0.2 MF 0.3 MF 0.4	Mittelfrequenzöfen = je 480 kg	Inductotherm Inductotherm Inductotherm	Dezember 1980 Dezember 1980 April 1984
MF 0.5	Mittelfrequenz = 1 500 kg	Inductotherm	Herbst 1990
MF 0.6	Doppelhubtiegelanlage = 180 kg	Inductotherm	Oktober 1979
Öl 0,7 Öl 0.8 Öl 0.9	3 KOBH-Öfen (Ölöfen) = je 600 kg	Fullmina	1961

Tab. 5-1: Kurzbeschreibung der Schmelzaggregate

Mittelfrequenzöfen

Der größte Teil der Legierungen, vor allem Bronzen, wird in den Mittelfrequenzöfen erschmolzen wie z. B. hochprozentige Nickellegierungen und hochprozentige Kupfereisenvorlegierungen, die alle relativ hohe Temperaturen benötigen.

Mittelfrequenz-Hubtiegel-Induktionsschmelzofen

Die spezifischen Qualitäten einiger Schmelzlegierungen sind mit der MF-Hubtiegelanlage besser zu erschmelzen. Vor allem einige Schmelzbehandlungen, die bisher im Ölbetrieb erfolgten, werden mit dem Hubtiegelofen durchgeführt.
Die Schmelzen können sehr schnell und sicher auf die gewünschten Temperaturen gefahren werden. Für das Personal im Schmelzbetrieb ist dies eine wesentliche Entlastung.

Das Tiegelmaterial besteht überwiegend aus Siliciumcarbid (SiC), das anfällig für Störungen bei der MF-Hubtiegelanlage ist. Dies gilt vor allem für hochschmelzende Legierungen und Nickellegierungen, die den Tiegel schnell verbrauchen.

Ölöfen

3 KOBH-Ölöfen sind noch in Betrieb, obwohl ihre Technologie, ihr Emissionsverhalten sowie die Energienutzung nicht mehr dem Stand der Technik entsprechen. Sie dienen als Fertigungspuffer und liefern für bestimmte Legierungen gute Ergebnisse.

Die ölbetriebenen Schmelzöfen haben nur einen Wirkungsgrad von etwa 20 % der eingesetzten Energie im Gegensatz zu Induktionsöfen mit einem Wirkungsgrad von etwa 80 %. Die Schmelzzeiten betragen bis zum 4fachen im Vergleich zu den Elektroöfen. Die insgesamt sehr langen Schmelzzeiten in den Ölöfen wirken sich nachteilig auf die Reststoffmengenentwicklung aus.

Außerdem kann nur mit aufwendigen Schmelzbehandlungen, z. B. mit Phosphorkupfer, Stickstoff oder bekannten Zusätzen und Gasen (Argon) eine gute Qualität der Schmelzen erreicht werden.

Tiegel

Bei der Vielfalt der zu schmelzenden Legierungen im untersuchten Betrieb und aufgrund der unterschiedlichen Ofengrößen/-arten ist eine große Anzahl verschiedener Tiegelarten, -größen und Stampfmassen für den Ofenaufbau im Einsatz. Bei hochkupferhaltigen Legierungen dürfen nur Tiegel eingesetzt werden, die sehr sauber sind. Deshalb ist in diesen Anwendungsfällen der Tiegelverbrauch besonders hoch. Ein Tiegel wird gewechselt, wenn er entweder abgenutzt ist oder wenn eine andere Legierung erschmolzen werden soll.

Siliziumoxidtiegel

Die Tiegel mit einem Fassungsvermögen von ca. 500 kg Schmelzgut sind etwa 80 bis 100 kg schwer und kosten zwischen 800,00 bis 900,00 DM. Die Tiegel werden nach jeder Charge gereinigt. Schmelzhilfsmittel wie Borax als Fluß-, Abdeck- und Einstreichmittel an der Tiegelwand schützen vor Abbrand.

Wenn der Tiegel bauchig abgenutzt ist, besteht die Gefahr des Durchbruchs der Schmelze zur Spule. Deshalb muß er rechtzeitig ausgetauscht werden. Die verbrauchten Tiegel werden üblicherweise zerstört und als Bruchstücke gemeinsam mit der Schlacke entsorgt. Zur Schonung des Tiegelverlustes bzw. -abbrandes wird die optimale Temperaturfahrweise angestrebt, die Überhitzungszeiten verkürzt und das Material vorsichtig eingefüllt.

Gestampfte Tiegel, Ofenausmauerungen

Wird das Schmelzaggregat mit einem Stampftiegel versehen, werden die abgenutzten Tiegelteile, die unregelmäßig abbrennen, zuerst ausgeschält und danach der Tiegel neu aufgebaut. Als Untergrund oder erste Schicht zur Isolierung, um Erdschluß zu vermeiden, wird Fiberfax oder Klimaxfolie eingelegt, die auch ein Abgleiten der Stampfmasse in vertikaler Richtung bewirkt. Die Tiegelstampfmasse wird eingebracht und um eine Schablone herum festgestampft. Die Schablone wird beim Anfahren meist mit eingeschmolzen. Die Kosten der Schablone liegen bei etwa 150 DM.

Anfahren und Sintern einer neuen Ofenausmauerung

Das Aggregat wird sehr langsam bis etwa 500° in ca. 4 bis 6 Stunden mit etwa 20 bis 100 kW Leistung angefahren, um die Stampfmasse zu sintern. Jede halbe Stunde wird die Leistung des Aggregats um 50 kW gesteigert. Bei Stahl wird die Temperatur bis auf 1 650 bis 1 700 °C und bei Alu- und Nickelbronzen auf eine Temperatur von etwa 1 350 °C für etwa zwei Stunden gehalten, um das Material bzw. die Ofenwand auszusintern. Eine Ausmauerung kostet bis zu 1 500 DM. Die Mittelfrequenzöfen werden

sauer ausgestampft (Siliziumoxid), wobei die Kosten der Massen nur etwa 500 DM/ Ausmauerung betragen.

Tiegelstandzeiten

Die Standzeiten der Tiegel sind vor allem von den zu schmelzenden Legierungen abhängig. Auch der häufige Legierungswechsel hat einen höheren Tiegelverschleiß zur Folge. Selbst bei optimaler Fertigungssteuerung ist oftmaliger Tiegelwechsel und somit mechanische Beanspruchung an der Tagesordnung. SiC-Tiegel, die für niedrig-schmelzende Legierungen zum Einsatz kommen, erreichen eine Standzeit von 130 bis 150 Chargen, für die hochschmelzenden Legierungen liegt die Tiegelstandzeit zwischen 50 und 80 Chargen.

Erfahrungen und Probleme mit der Steigerung der Tiegelstandzeiten werden den Tiegelherstellern ständig mitgeteilt, und es wird ein gemeinsamer Weg gesucht, um bessere Tiegelqualitäten zu entwickeln. Zum Teil ist aber leider das Schmelzen in Tiegeln im MF-Ofen für die Tiegelhersteller nach Aussagen des Betreibers immer noch technisches Neuland.

5.5 Ablauf der Arbeiten

Die Gattierung sowie der eigentliche Schmelzprozeß in den Schmelzöfen stellen die wesentlichen Arbeitsabläufe neben der Qualitätssicherung und der Abfallentsorgung dar.

In der Schmelzanlage werden die Chargen für die jeweilige Schicht bereitgestellt, und es wird eine Anfahrcharge für die Morgenschicht vorbereitet. Die folgende **Abbildung 5-2** zeigt den Ablauf der Gattierung und Bereitstellung in der untersuchten Schmelzanlage.

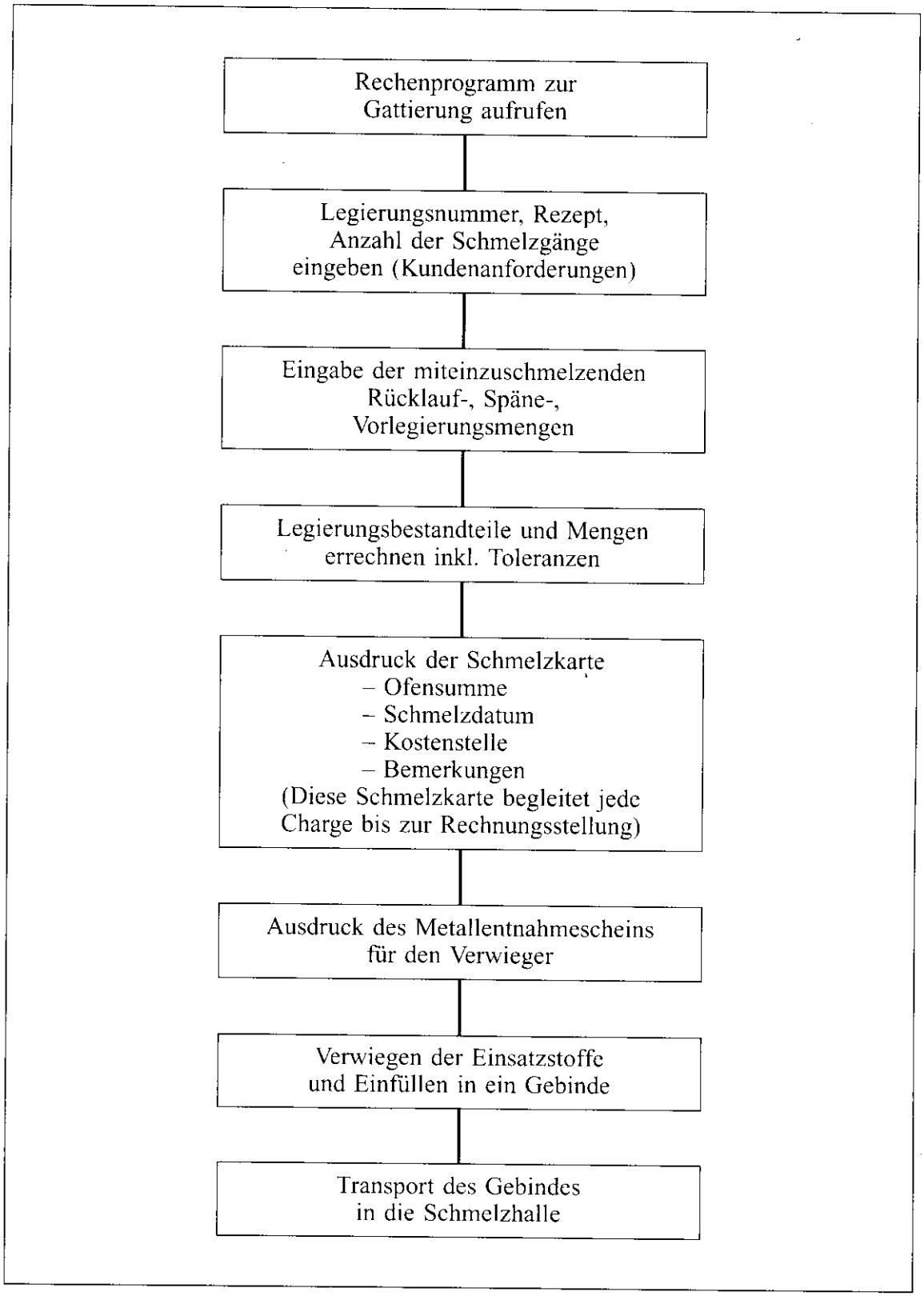


Abb. 5-2: Ablauf der Gattierung und Bereitstellung der Einsatzstoffe zum Schmelzen

Die folgende **Abbildung 5-3** zeigt einen typischen Schmelzzyklus der untersuchten Schmelzanlage.

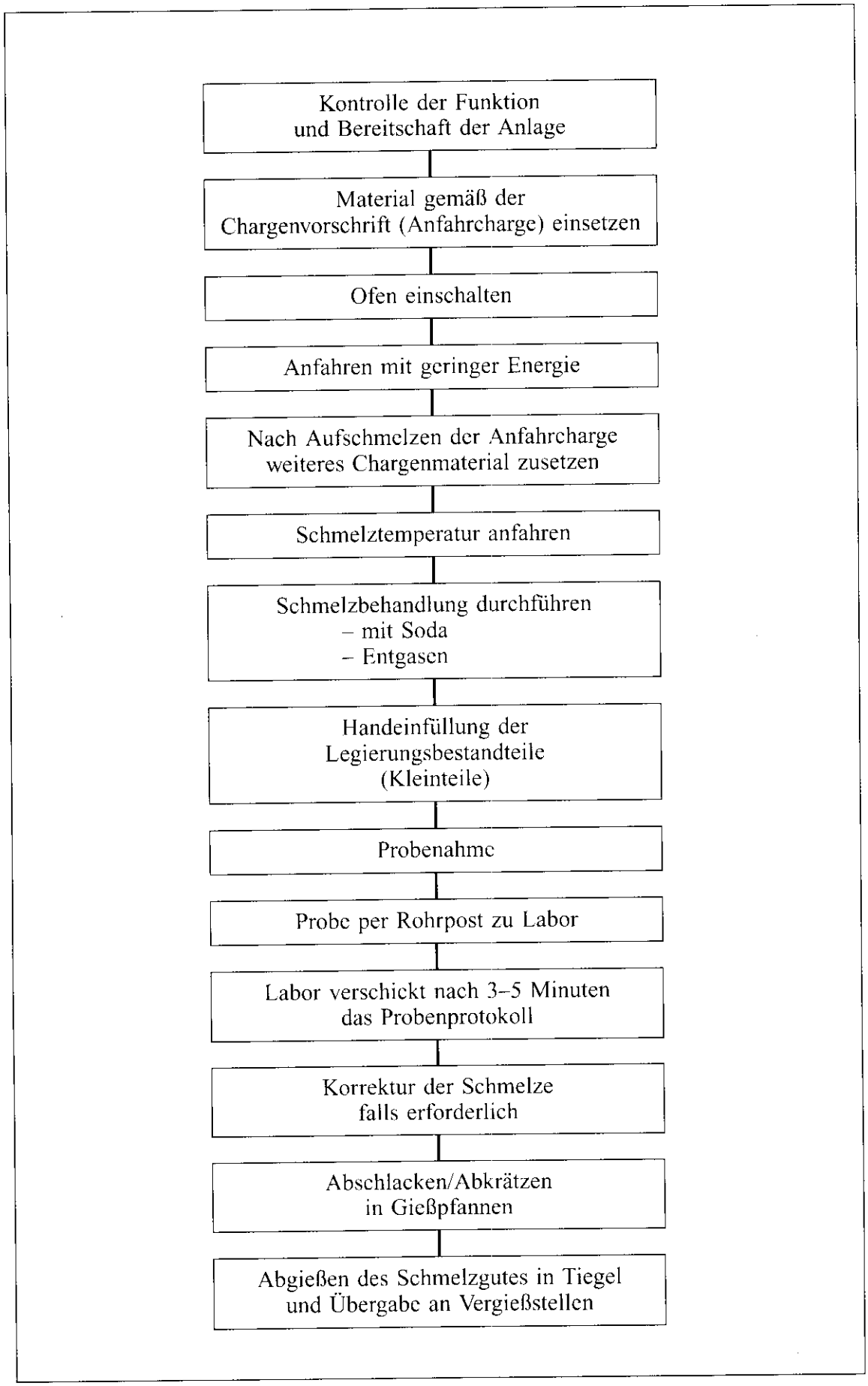


Abb. 5-3: Schematische Darstellung von einem typischen Schmelzzyklus in der untersuchten Schmelzanlage

Reststoffentsorgung

Vor jedem Schmelzaggregat steht ein Tagessammelgefäß für Schlacken und Krätzen. Außerdem sind vor jedem Schmelzaggregat Abtraßstellen zum Abschlacken der Krätze bereitgestellt. Sind Tagessammelgefäß und Abtraßgefäß gefüllt, werden diese zum Sammelbehälter in der Schmelzhalle für Schlacken und Krätzen entleert. In diesem größeren Gefäß werden die Schlacken, Krätzen zur Lagerung unter Dach bis zur Ansammlung von ca. 20 t zwischengelagert.

Die Reststoffe wie Schlacken, Späne, Mischspäne, hausmüllähnliche Abfälle werden z. T. getrennt in Containern erfaßt. Zum Einsatz kommen Container mit 1,5 bis 1,7 t Fassungsvermögen oder auch Thyssen-Mannesmann-Behälter (MM-Behälter) mit einem Fassungsvermögen von ca. 7 t. Auf offenen Eisenbahnwaggons oder Lkw werden die Reststoffe entweder zur Deponie oder zum Verwerter gefahren.

Qualitätssicherung

Alle verwendeten Metalle unterliegen einer Kontrolle durch die Abteilung Werkstoffprüfung (WP). Für angekaufte Reinmetalle und Vorlegierungen sind Liefervorschriften erstellt, die für die Rohstofflieferanten bindend sind. Für alle angelieferten Metalle liegt eine **Eingangskontrollkarte** vor.

Regelmäßige Wartungsarbeiten

An produktionsfreien Tagen (samstags) erfolgt die Wartung durch den Technischen Werkdienst. Dieser säubert und wartet die Schaltanlagen der Schmelzaggregate. Während der Betriebsferien erfolgt eine Generalüberholung/Revision der Anlagen zusammen mit dem Ofenhersteller.

Kreislaufstoffe

Abbildung 5-4 zeigt die Herkunft und die Wege der Neumaterialien und der Kreislaufmaterialien aus dem eigenen Betrieb, die beim Schmelzen selbst und an anderen Produktionsstellen anfallen.

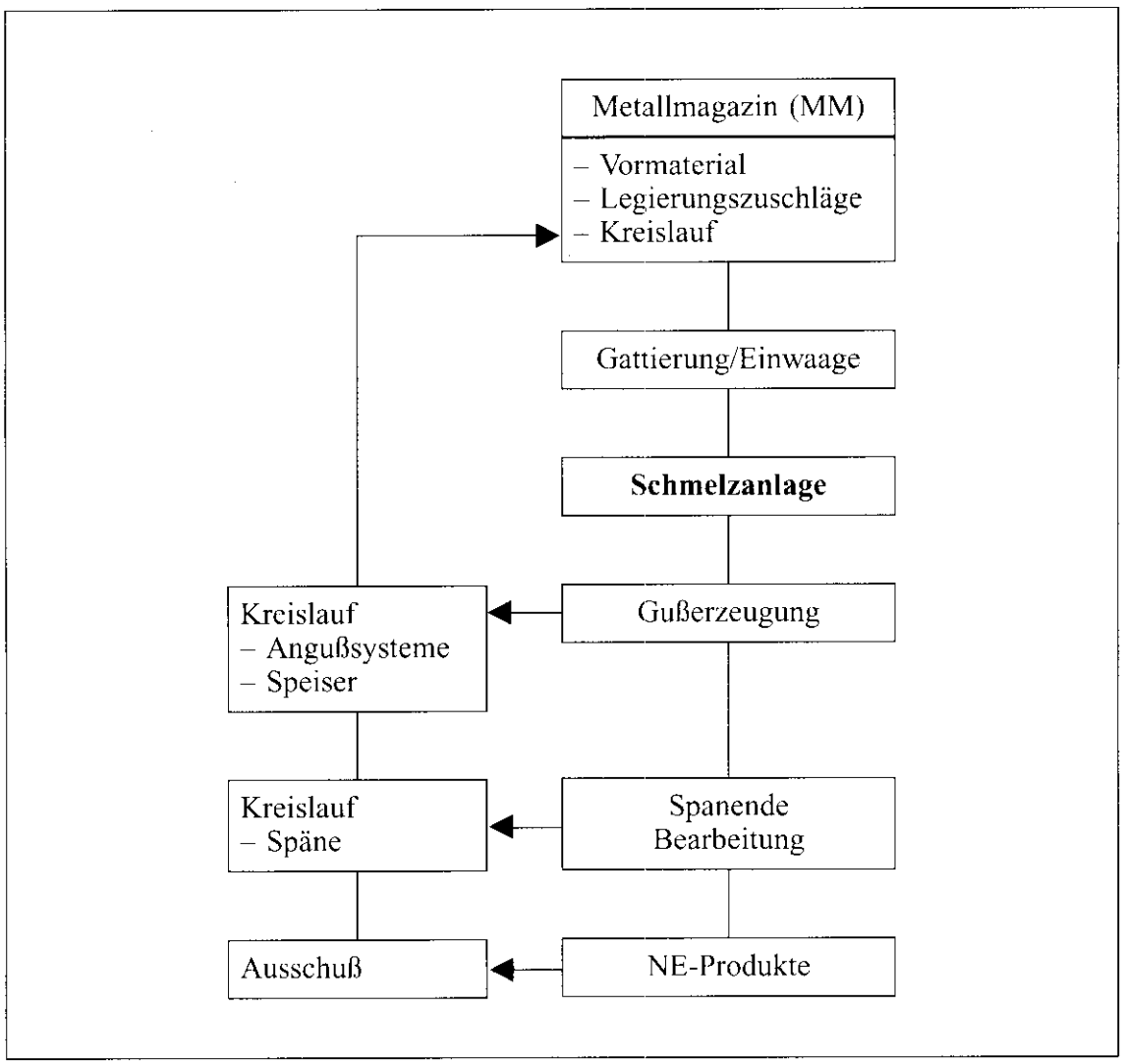


Abb. 5-4: Materialfluß im untersuchten Gießereibetrieb

Anlagenspezifische Fahrweise
Der Nichteisenschmelzbetrieb produziert im 2-Schicht-Betrieb prinzipiell in den folgenden 3 Linien, gemäß den Anforderungen der Gießerei:

LINIE 1: **Formmaskenguß (Formatguß)**	
Kupfer-Zinn- und Kupfer-Zinn-Zink-Gußlegierungen	nach DIN 1705
Kupfer-Zink-Gußlegierungen	nach DIN 1709
Kupfer-Aluminium-Gußlegierungen	nach DIN 1714
Kupfer-Blei-Zinn-Gußlegierungen	nach DIN 1716
Kupfer-Gußwerkstoffe	nach DIN 17655
Kupfer-Nickel-Gußlegierungen	nach DIN 17658

Die Losgrößen umfassen Einzelfertigung und Kleinstserien. Die Stückgewichte liegen zwischen 0,1 bis 30 kg. Es handelt sich um einfache bis komplizierte Gußteile.

LINIE 2: **Strangguß**	
Kupfer-Zinn-Zink-Gußlegierungen	nach DIN 1705
Kupfer-Aluminium-Gußlegierungen	nach DIN 1714

Es handelt sich beim Strangguß um eine teilmechanisierte Einzelstückfertigung, bis zu Kleinserien, bei der Vollstangen von 120 mm bis 620 mm Durchmesser für Lagerschalen und -büchsen im Pressen- und Schwermaschinenbau, Anlaufringe, Wellen, Spindeln, Grund- und Stopfbuchsen usw. hergestellt werden.

LINIE 3: **Sandguß/Formguß**	
Kupfer-Zinn-Zink-Gußlegierungen	nach DIN 1705
Kupfer-Zink-Gußlegierungen	nach DIN 1709
Kupfer-Aluminium-Gußlegierungen	nach DIN 1714
Kupfer-Nickel-Gußlegierungen	nach DIN 17658

Die Losgrößen umfassen Einzelfertigung und kleinere Serien bis zu Stückgewichten von ca. 5 000 kg. Es handelt sich bei den Gußstücken um einfache bis komplizierte Teile.

Die **Abb. 5-5** gibt eine Übersicht der Stoffflüsse in der Gesamt-NE-Schmelzanlage mit allen Schmelzöfen sowie den Reststoffanfallstellen in der Anlage wieder.

Die **Abb. 5-6** zeigt die einzelnen Schmelzöfen in Ofengruppen zusammengefaßt und die 3 Produktionslinien.

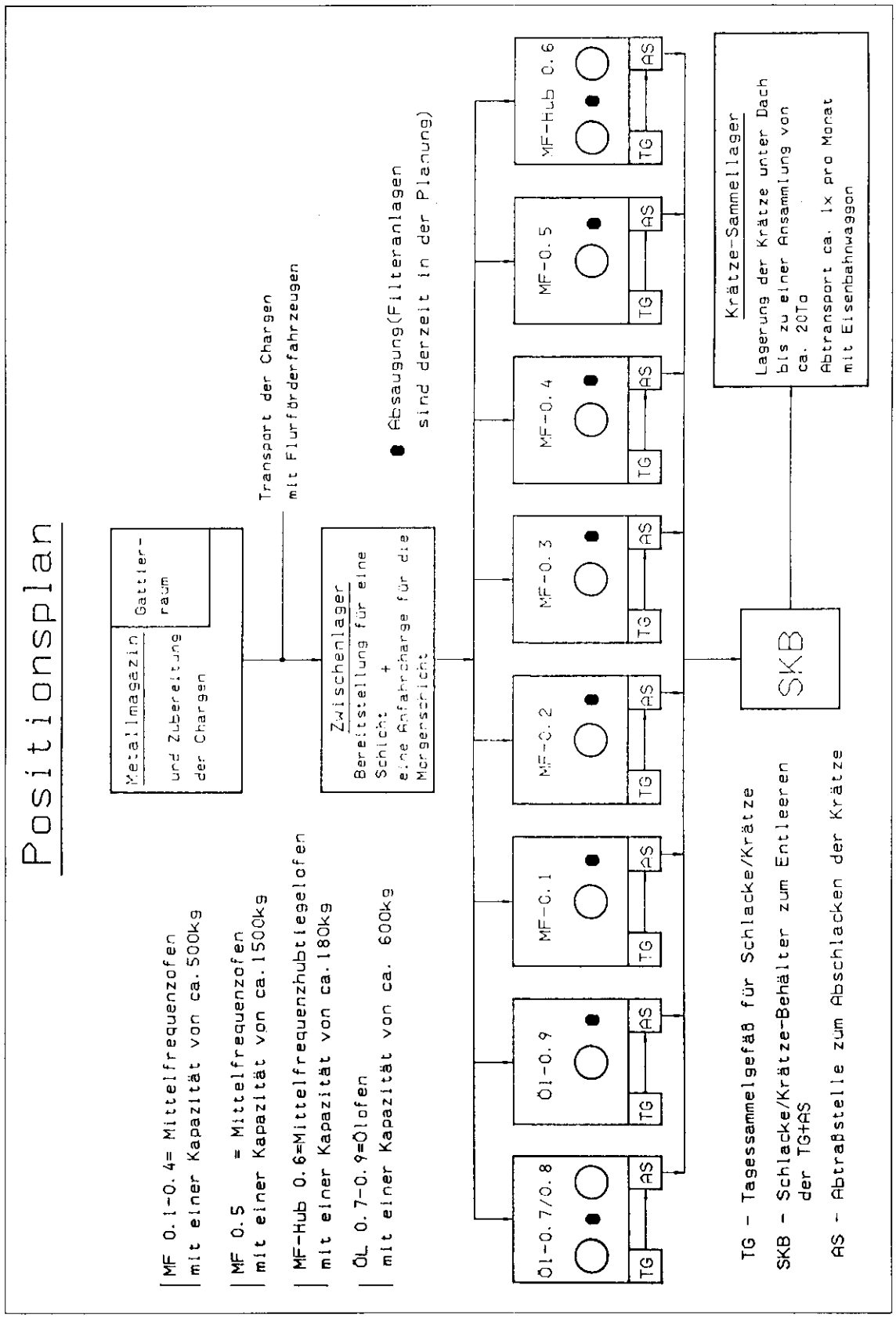


Abb. 5-5: Übersicht der Stoffflüsse in der Gesamtanlage

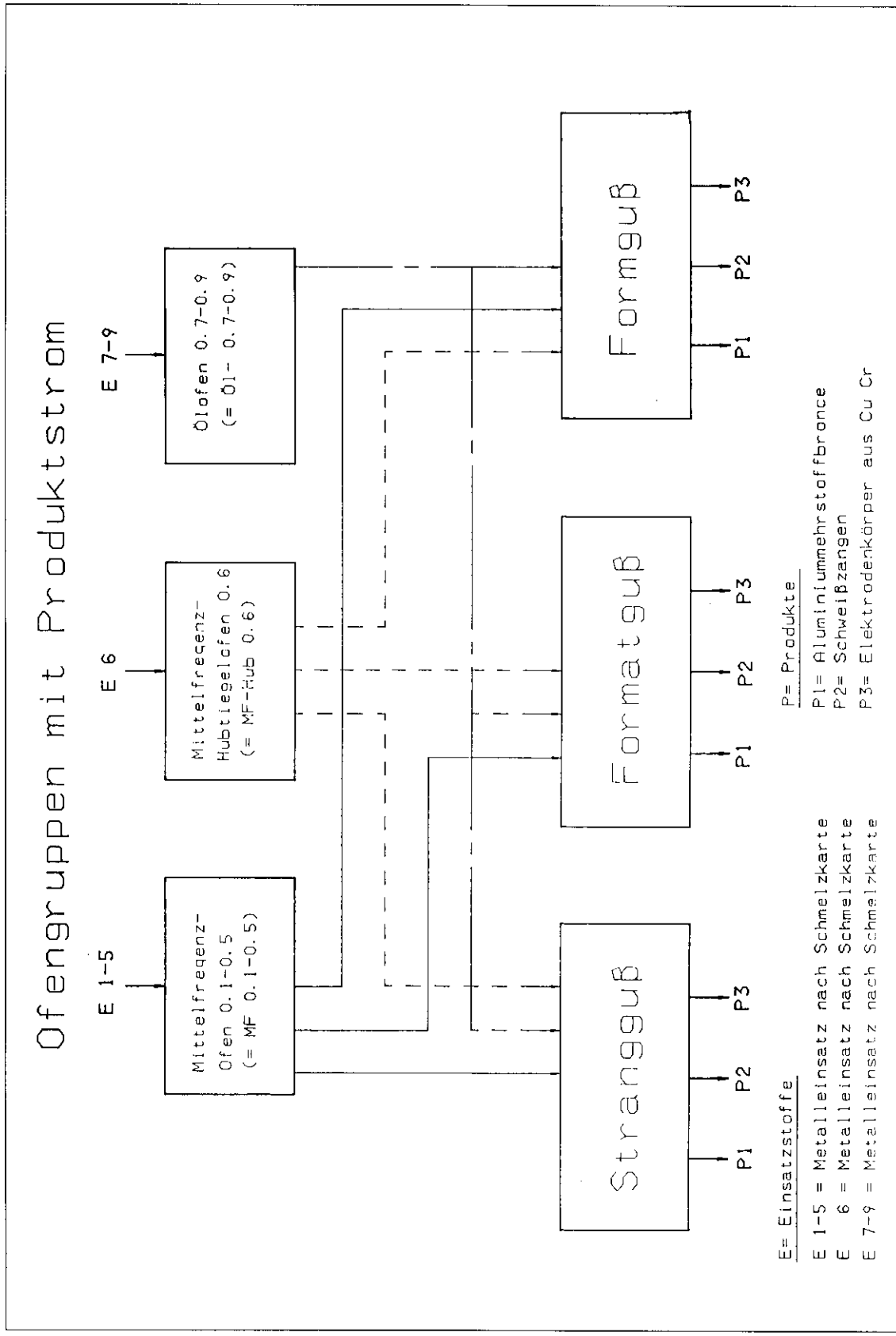


Abb. 5-6: Ofengruppen, Einsatzstoffgruppen und Produktgruppen der 3 Produktionslinien

6 Bilanzierung der Stoffströme

Die Bilanzierung der Einsatzstoffe und ihre Verteilung auf Produkte und Reststoffe dient dazu, einen Überblick über die Stoffflüsse der untersuchten Schmelzanlage und den Verbleib der Einsatzstoffe zu geben. Bereits aus der systematischen Aufstellung der Einsatzstoffe ergeben sich mögliche Anregungen zur Abfallvermeidung und -verwertung sowie zur Schadstoffentfrachtung der anfallenden Abfälle/Reststoffe.

Nachfolgend wird der Nichteisenmetallschmelzbetrieb als Bilanzraum dargestellt. Zur Vereinfachung und Übersichtlichkeit werden Produkt-, Einsatz-, Reststoffgruppen zusammengefaßt, die sich an den Ofenarten wie Mittelfrequenz, Hubtiegel und ölbefeuerter Ofen orientieren. Die Stoffströme sind in Abbildung 6-1 bis 6-4 im Überblick dargestellt. In der **Tabelle 6-1** sind die Einsatzstoffe und in **Tabelle 6-2** die Abfälle/Reststoffe für den Bilanzzeitraum 1990 dargestellt. Erläuterungen zu den Tabellen sind beigefügt.

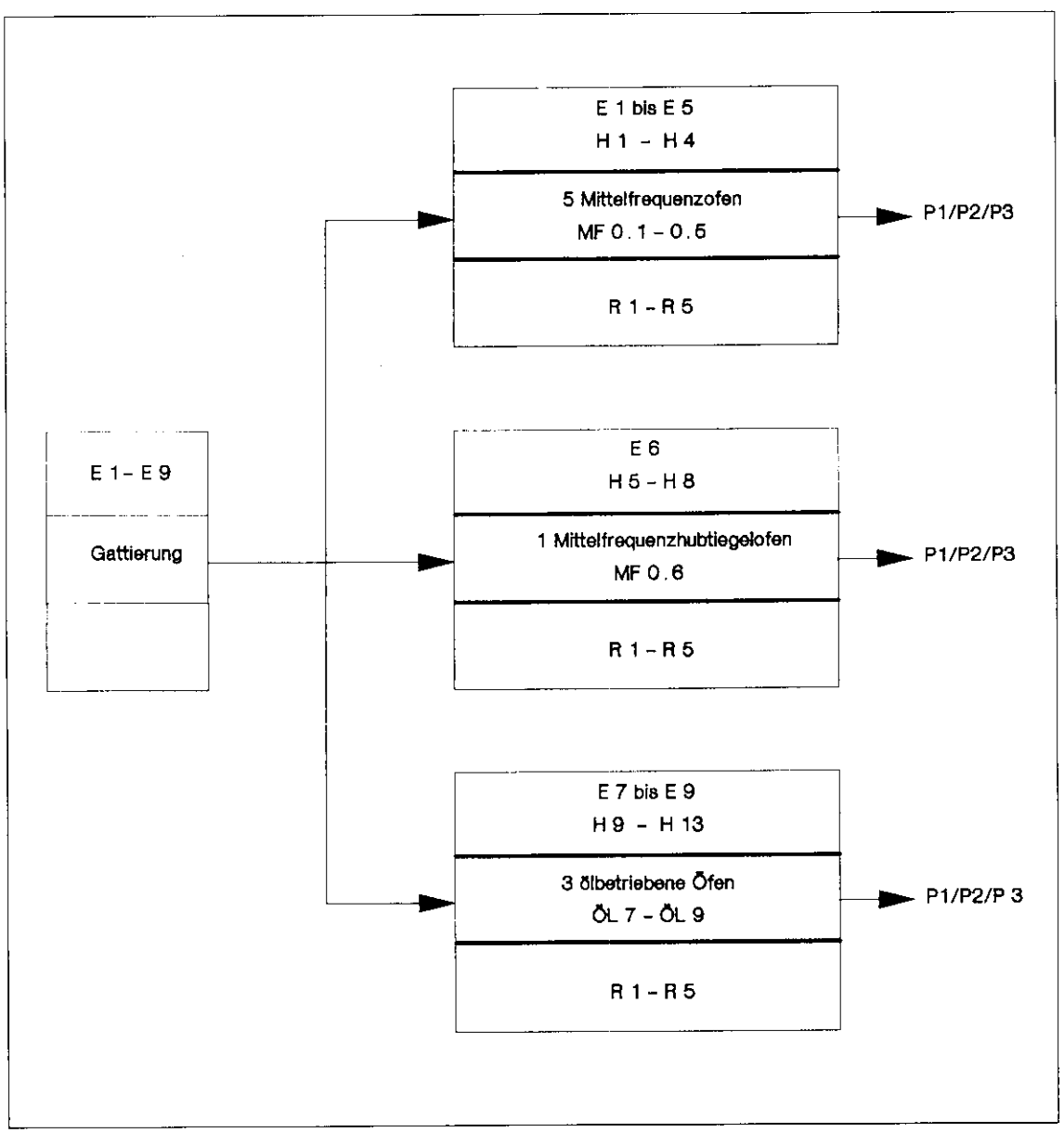


Abb. 6-1: Schematischer Überblick der Stoffströme in den Ofengruppen

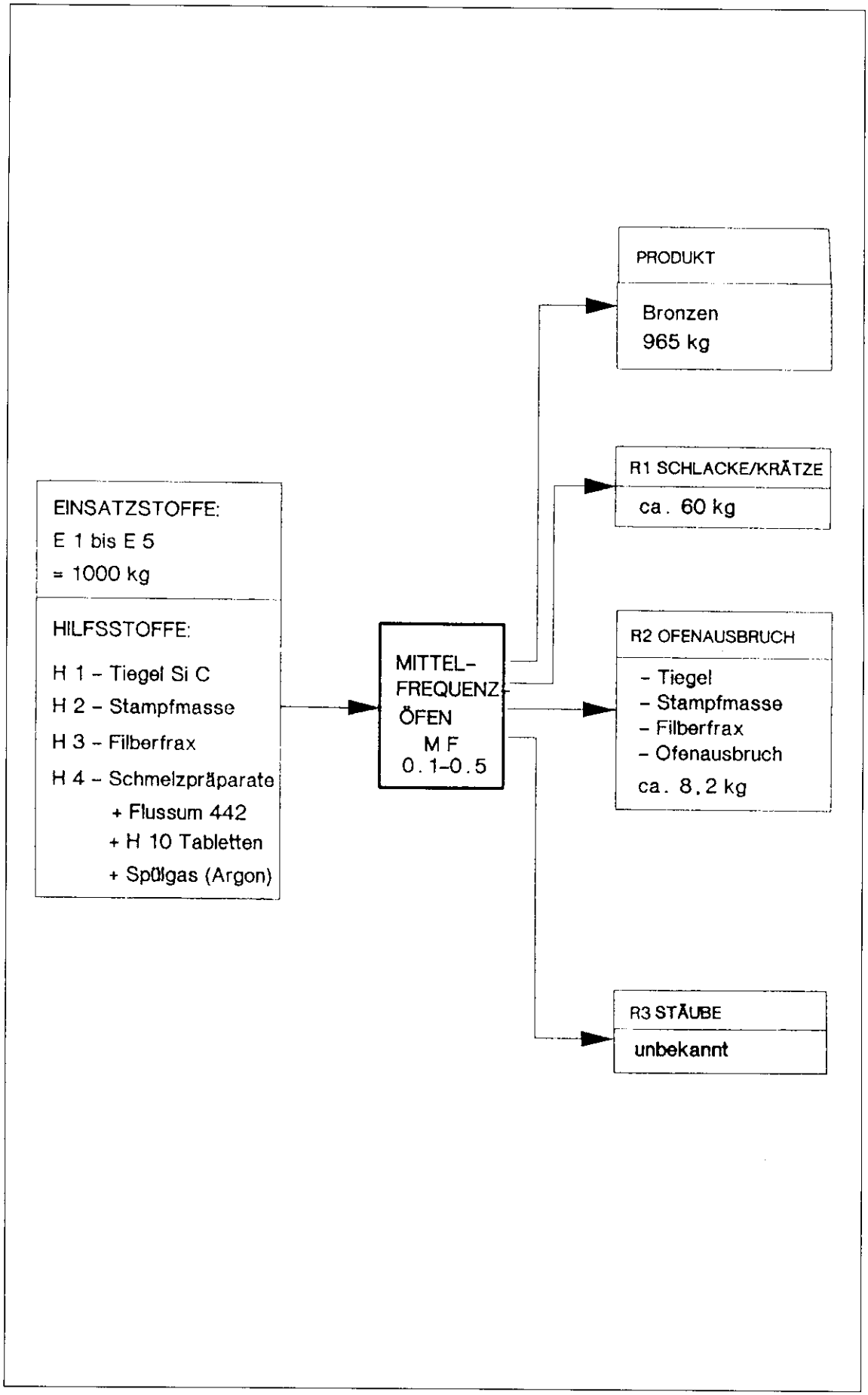


Abb. 6-2: Bilanzierung der Einsatzstoffe, Hilfsstoffe und Reststoffe beim Schmelzen mit den Mittelfrequenzöfen MF 0.1–0.5 (bezogen auf 1 Tonne Einsatzmaterial)

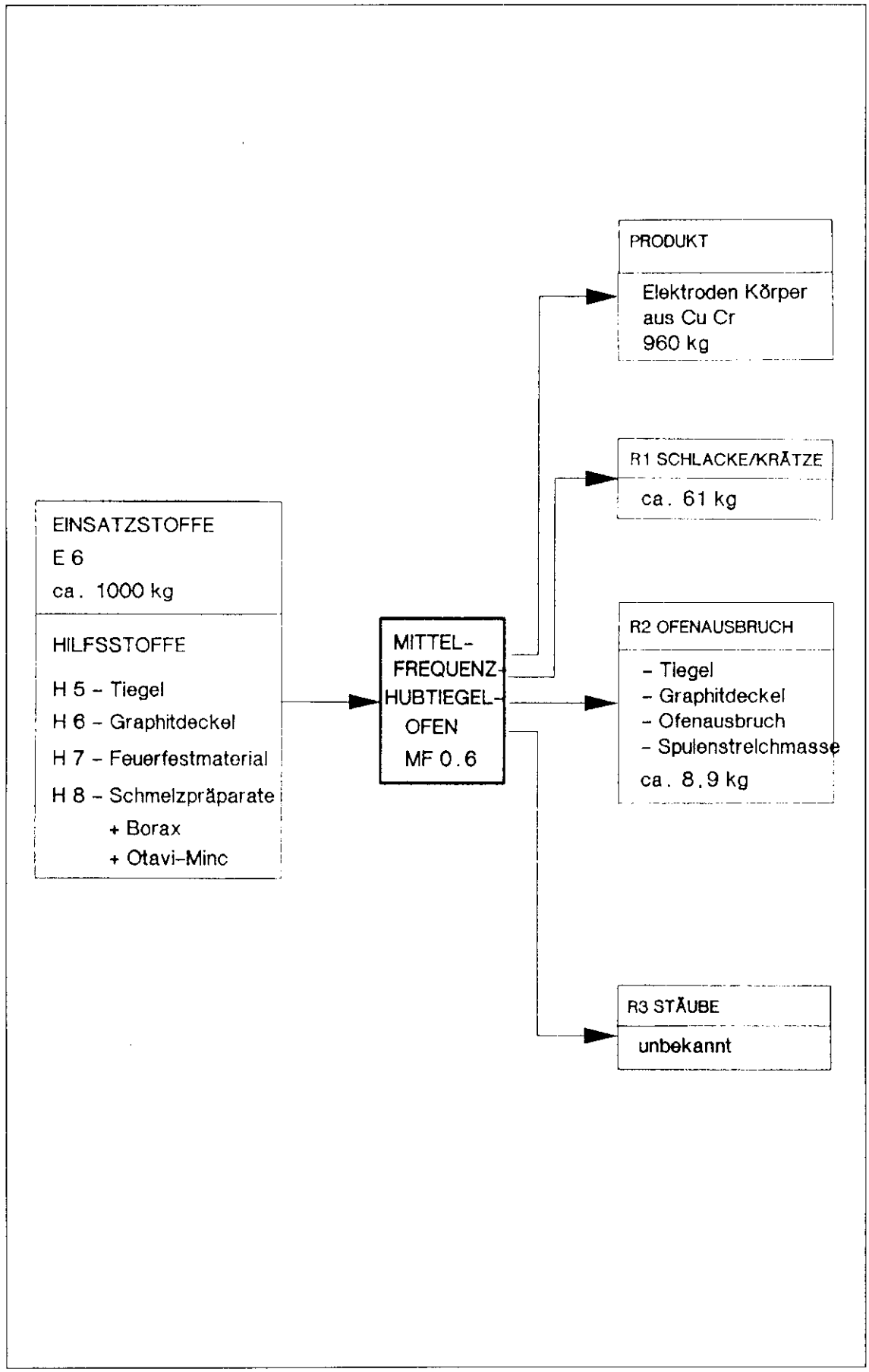


Abb. 6-3: Bilanzierung der Einsatzstoffe, Hilfsstoffe und Reststoffe beim Schmelzen mit dem Mittelfrequenz-Hubtiegelofen MF 0.6 (bezogen auf 1 Tonne Einsatzmaterial)

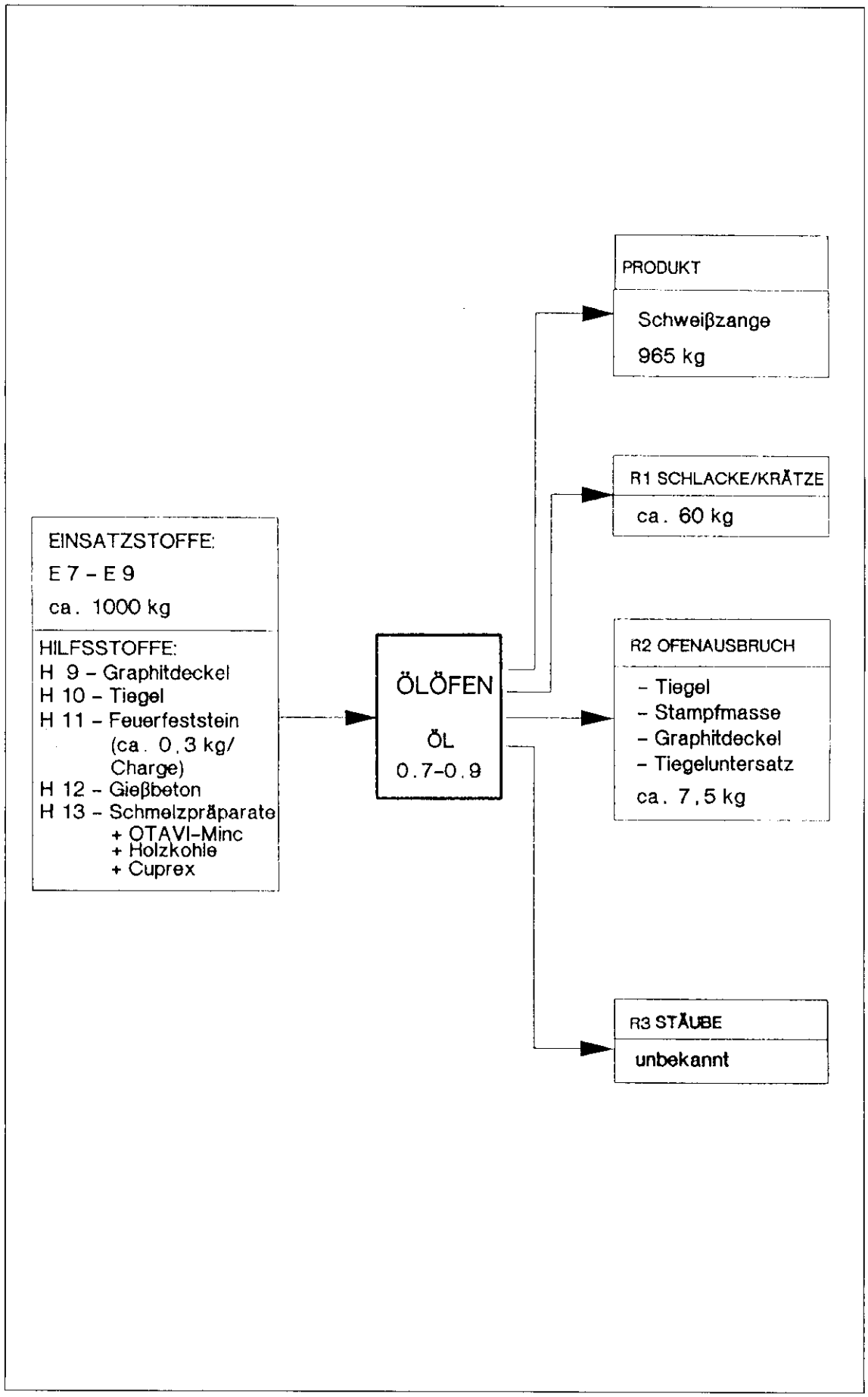


Abb. 6-4: Bilanzierung der Einsatzstoffe, Hilfsstoffe und Reststoffe beim Schmelzen mit den Ölöfen Öl 0.7–0.9 (bezogen auf 1 Tonne Einsatzmaterial)

Kurzzeichen Einsatz-/ Hilfsstoffe	Einsatzstoffe in Gruppen und Hilfsstoffe	Technologische Daten (z. B. Aussehen, Aggregatzustand)	Einsatzort (Anlagenteil)	Verwendungszweck	Produktionsmenge (pro Jahr)	Herkunft (Anlage oder Infrastruktur)	Art des entstehenden Abfalls/ Reststoffs	Entsorgungsweg/ -art
E1 E2 E3 E4 E5 H1 H2 H3 H4	E1 bis E5 sind die metallischen Einsatzstoffe für die 5 Mittelfrequenzöfen, beispielsweise: **Reinmetalle** (z. B. Kupfer, Zink, Aluminium) **Legierungszuschläge** (z. B. V-Cu/Ni 10, V-Cu/Fe 10) **Hilfsstoffe** (z. B. Tiegel SIC, Stampfmasse, Glimmerfolie)	metallisch fest	Mittelfrequenzöfen MF 0.1–0.5	Herstellung von P1 (Aluminiumbronzen)	1 800 t	Gattierung und Metallmagazin	R1 = 108 t R2 = 14,8 t R3 = n. n.	siehe Reststoffblatt
E6 H5, H6, H7, H8	E6 sind die metallischen Einsatzstoffe des Hubtiegelofens, beispielsweise: **Reinmetalle** (z. B. Kupfer, Zink, Aluminium) **Legierungszuschläge** (z. B. Mangan, Einschmelzeisen EFP-10) **Hilfsstoffe** (z. B. Tiegel, Graphitdeckel)	unterschiedlich fest	Mittelfrequenz-Hubtiegelofen MF-Hub 0.6	Herstellung von P2 (Schweißzangen)	1 350 t	Gattierung und Metallmagazin	R1 = 18 t R2 = 11,7 t R3 = n. n.	siehe Reststoffblatt
E7 E8 E9 H9, H10, H11, H12, H13	E7 bis E9 sind die metallischen Einsatzstoffe für die 3 ölbetriebenen Öfen, beispielsweise: **Reinmetalle** (Kupfer) **Legierungszuschläge** (z. B. V-Cu/Cr 10) **Hilfsstoffe** (z. B. Graphittiegel, Tiegel, Feuerfeststein)	unterschiedlich fest	Ölbetriebene Öfen Öl 0.7–0.9	Herstellung von P3 (Kupferelektroden)	1 350 t	Gattierung und Metallmagazin	R1 = 81 t R2 = 10 t R3 = n. n.	siehe Reststoffblatt

Tab. 6-1: Einsatzstoffe und deren Verbleib

Einsatzzstoffe, Hilfsstoffe – Erläuterungen zu Tabelle 6-1

Die wesentlichen Einsatzmaterialien sind:

EINSATZSTOFFE E1 bis E9

Die Einsatzstoffnummern orientieren sich an den Ofengruppen. Eine produktorientierte Zuordnung der eingesetzten Metalle ist aufgrund der Produktvielfalt, die in den Ofengruppen erschmolzen wird, nicht möglich.

Die wesentlichen Einsatzmaterialien sind:

Reinmetalle, Vorlegierungen, Kreislaufmaterial

Reinmetalle sind Kathodenkupfer, Aluminium, Elektrolytmangan, Kathodennikkel, Zink, Zinn, Blei, Weicheisen usw. in Form von Barren oder Masseln. Die Reinmetalle werden angekauft.

Vorlegierungen als Legierungszuschläge, angekauft mit Herstellerzeugnis:
z. B. V-CU-FE10 (Kupfer 90 %, Eisen 10 %)
V-CU-P 10 (Kupfer 90 %, Phospor 10 %)
V-CU-CR10 (Kupfer 90 %, Chrom 10 %)

Vorlegierungen als Legierungszuschläge, aus eigener Produktion:
z. B. V-CU-SI10 (Kupfer 90 %, Silizium 10 %)
V-CU-MN30 (Kupfer 70 %, Mangan 30 %)
V-CU-NI30 (Kupfer 70 %, Nickel 30 %)

Kreislaufmaterial sind z. B. Angüsse und Speiser mit Analyse aus der eigenen Produktion. Diese werden streng nach Art der Legierung getrennt an das Metallmagazin geliefert.

Kreislaufmaterial sind auch Späne mit Analyse, die vor dem Wiedereinsatz zu Masseln umgeschmolzen werden. Deren stoffliche (chemische) Zusammensetzung wird ermittelt und zu geeigneten Gruppen zusammengefaß, wie z. B.:

- Aluminiumbronze
- Messinglegierungen
- Zinnbronzen
- Kupferlegierungen etc.

Die jeweilige chemische Zusammensetzung wird durch die Abteilung Werkstoffprüfung kontrolliert. Alle Analysen werden im Computer abgelegt und können jederzeit abgerufen werden.

HILFSSTOFFE H1 bis H13

Der Durchschnittsverbrauch an Zusatzstoffen für die einzelnen Ofengruppen pro Jahr ist im folgenden zusammengestellt:

Ofenart	**Durchschnittsverbrauch pro Jahr**			
Mittelfrequenzöfen	Tiegel			
MF 0.1–0.5	(54 Stück × ca. 100 kg)	5 400 kg		
	Stampfmasse Kücorma 10		7 200 kg	
	Fiberfrax			
	(10 Rollen × ca. 100 kg)		1 000 kg	
	Glimmerfolie ca.		200 kg	
	Zusatzstoffe ca.		1 000 kg	
				14 800 kg

Ofenart	Durchschnittsverbrauch pro Jahr			
Mittelfrequenz-hubtiegelofen MF-Hub 0.6	Tiegel (72 Stück × ca. 100 kg)	7 200 kg		
	Graphitdeckel (20 Stück × ca. 70 kg)		1 400 kg	
	Feuerfestmaterial Plistix 16, Plicast ca. (= Ofenausbruch)		2 100 kg	
	Zusatzstoffe ca.		1 000 kg	
				11 700 kg
Ölofen Öl 0.7–0.9	Schätzwerte der eingesetzten Tiegelmengen. Daten sind nicht erfaßt.	10 000 kg		

H1 SiC-Tiegel: Diese Schmelzgefäße bestehen aus Siliziumcarbid und dienen dem Einschmelzen der Chargen und dem Vergießen der fertigen Metallschmelze mittels Übergabetiegel in die Sandformen.

H2 Stampfmasse: Mit den Stampfmassen werden feste Schmelzbehälter vorwiegend in den Induktionsöfen mit Formschablonen eingeformt und beim Anfahren des Ofens gesintert bzw. ausgehärtet. Die Stampfmassen (DINIX 85) bestehen im wesentlichen aus Aluminiumoxiden (85 %), Siliziumoxiden (12 %) und Eisenoxiden (ca. 3 %).

H3 Glimmerfolie: Glimmerfolie ist ein Tonerdesilikat (Naturprodukt). Sie wird zur Isolierung der Induktionsofenspule verwendet, damit beim Durchbruch des Tiegels die Spule vor Beschädigung geschützt ist. Außerdem hat die Glimmerfolie eine Gleitwirkung, damit der Ofen bei Ausdehnung „wachsen" kann.

H4 Schmelzpräparate: Die **H10-Tabletten** und das Spülgas **Argon** erfüllen Entgasungs- und Spülfunktionen beim Schmelzen von Kupfer und Kupferlegierungen. Argon ist ein farb- und geruchloses Edelgas, das in der Luft zu 0,8 % enthalten ist. Es ist unbrennbar und ungiftig. **Flussum 442** unterstützt als Flußmittel die Fließfähigkeiten der Schmelze.

H5 SiC-Tiegel: (siehe H1)

H6 Graphitdeckel: Graphitdeckel bestehen aus Kohlenstoff- und Siliziumverbindungen mit Tonerde, die zur Abdeckung der Schmelzöfen und Übergabetiegel zum Einsatz kommen.

H7 Feuerfestmaterial: siehe H2

H8 Schmelzpräparate:
Borax ist ein Flußmittelbestandteil (Natriumtetraborat) für reinigende Flußmittel für Kupfergießwerkstoffe (Handelsname Rasorite 46). Ein Flußmittel ist ein schlakkenbildender Stoff für die Schmelzbehandlung. Das Flußmittel ist stets nur Bestandteil eines Schmelzbehandlungsmittels oder einer Abdeckschlacke. Es hat die Aufgabe, gemeinsam mit den anderen Komponenten des Schmelzmittels eine homogene Schlackendecke von entsprechender Viskosität zu bilden.
Otavi-Minc (Handelsname) ist ein Schlackenbinde- und -flußmittel für viele Gußarten und für NE-Metallguß. Es besteht aus Siliziumoxid (75 %), Aluminiumoxid (12,3 %), Kaliumoxid (4,1 %), Natriumoxid (3,3 %), Kalziumoxid (1,4 %) und anderen.

lfd. Nr.	Reststoff-bezeichnung	Abfall-schlüssel-nummer	Zusammen-setzung, chemische Analyse	Technologische Daten (Aussehen, Farbe, Aggregat-zustand etc.)	Herkunft (Anlagenteil Infrastruktur)	Menge/ Jahr	Entsorgungs-weg	Entsorgungs-kosten DM/t	Verwertungs-weg (intern/extern)	Sonstige Bemerkungen
R1	Krätze	31203	nicht vorhanden	grau/schwarz fest Dichte Schlacke = 2,5 g/cm^3 Dichte Krätze = 4 g/cm^3	aus Öfen: MF 0.1–0.5 MF Hub 0.6 ÖL 0.7–0.9	250 t bis 280 t	Wiederverwer-tung durch diverse Firmen	Kostenneutrale Abgabe an die Entsorger	Rückgewinnung der enthaltenen Metalle in Umschmelz-hütten	Dichteermitt-lung von Schlacke und Krätze im betriebseigenen Labor
R2	Tiegel Ofenausbruch – Stampfmasse – Graphitdeckel – Fiberfrax etc.	31102 31103	nicht vorhanden	schwarz, fest	s. o.	27,2 t 9,3 t	Hausmüll-deponie	100,– DM/t	keine Verwertung	
R3	Stäube Abbrand	31217	nicht vorhanden	grau, fest	s. o.	n. b.	Wiederverwer-tung durch diverse Firmen, auch Hausmüll-deponie	55,– DM/t	Rückgewinnung der enthaltenen Metalle in Um-schmelzhütten	Die Stäube werden mit der Krätze verhüttet

Tab. 6-2: Abfälle/Reststoffe, deren Zusammensetzung und Entsorgung

H9 Graphittiegel: Graphittiegel bestehen aus Kohlenstoff- und Siliziumverbindungen mit Tonerde und werden als Schmelzgefäße und Übergabetiegel verwendet.

H10 SiC-Tiegel: (siehe H1)

H11 Feuerfeststein (Schamotte): Diese dienen der Ausmauerung von Vergießpfannen in Verbindung mit Gießbeton. Die Steine werden in Gießbeton gemauert. Die Feuerfeststeine bestehen aus Siliziumoxiden (ca. 50 %), Aluminiumoxiden (ca. 43 %), Eisenoxiden (ca. 4 %) und anderen.

H12 Gießbeton: Gießbeton ist eine feuerfeste Gieß-, Stampf- oder Spritzmasse, bestehend aus körnigen Feuerfeststoffen und Zement. Er findet bei der Auskleidung von Schmelz- und Warmbehandlungsöfen Anwendung. Er hat selbst keine sehr hohe thermische Beständigkeit, weshalb temperaturbeständige Quarzitmasse mitverwendet wird.

H13 Schmelzpräparate: Holzkohle wird in der Gießerei als Abdeckmittel, vor allem beim Schmelzen von Kupfer und Kupferlegierungen eingesetzt. Bei einer Verbrennungstemperatur über 1000 °C entsteht fast ausschließlich Kohlenmonoxid. Diese Technik wird auch als nicht-oxidierend bezeichnet. Dabei treten die geringsten Abbrandverluste auf.

Abfälle/Reststoffe – Erläuterungen zu Tabelle 6-2

R1: Krätze/Schlacken: Diese Reststoffgruppe (Abfallschlüssel 31203) setzt sich aus einer Vielzahl von Schlacken/Krätzen zusammen. Diese entstehen aus den folgenden Legierungsgruppen:
- Kupfergruppe
- CuAl-Gruppe
- CuNi-Gruppe
- CuZn-Gruppe
- CuZnSnPb-Gruppe
- CuZnSi-Gruppe
- FeMn-Gruppe

Die Analyse der Krätze erfolgt nur bezüglich des Kupfergehaltes. Der Anteil des Kupfers beträgt in der Kupfergruppe etwa 45 bis 55 %. Grundsätzlich kann eine gleichbleibende Schlackenqualität durch gezieltes Vermischen erreicht werden, was eine Grundvoraussetzung zum externen Recycling ist.

R2: Tiegel und Ofenausbrüche: Es werden etwa 27,2 t/a Tiegelreste (Abfallschlüssel 31102, Siliziumoxid-Tiegelausbruch) und etwa 9,3 t/a Ofenausbruch (Abfallschlüssel 31103) entsorgt. Zu den Tiegel- und Ofenausbruchresten gehören z. B. Stampfmassen, Graphitdeckel, Isolierfolien, Zementreste, Glimmerfolie und anderes. Nach etwa 100 Schmelzzyklen sind ca. 50 % des Tiegel- oder Ofenmaterials abgebrannt bzw. verbraucht und finden sich in der Schlacke oder in den Stäuben wieder. Die Entsorgung erfolgt auf die Hausmülldeponie für 100,00 DM/t. Die Verwertung ist nicht möglich.

R3: Stäube und Abbrand (Abfallschlüssel 31217): Die Menge der erfaßten Stäube ist nicht bekannt. Sie werden zum Teil gemeinsam mit den Schlacken und Krätzen einem Verwerter zur Wiederverhüttung überlassen. Die nicht verwertbaren Staubmengen werden auf der Hausmülldeponie abgelagert.

Teil C – Betriebsbezogene Konzepte zur Vermeidung und Verwertung von Abfällen/Reststoffen

7 Bereits durchgeführte Maßnahmen zur Vermeidung und Verwertung von Abfällen/Reststoffen

7.1 Zusammenfassung der bereits erfolgten Maßnahmen

In der untersuchten Schmelzanlage werden bereits einige Maßnahmen zur Vermeidung und Verwertung durchgeführt. Diese sind in der nachfolgenden Tabelle zusammengefaßt.

Bereits durchgeführte Vermeidungs-/Aufbereitungs- und Verwertungsmaßnahmen	Darstellung in Abschnitt	Auswirkung auf die Reststoffe
Einsatz von sauberen Einsatzstoffen	4.1.1	R1/R2/R3
Optimierte Fahrweise	4.1.2	R1/R2/R3
Geschlossene Ofenfahrweise	4.1.4	R1/R2/R3
Oxidierende Einsatzstoffe abdecken	4.1.6	R1/R2/R3
Wahl der geeigneten Ausmauerungen und Tiegel	4.1.7	R2
Wiederverwertung der hochkupferhaltigen Krätzen und Stäube in Sekundärhütten	7.2	R1/R3

Tab 7-1: Bereits erfolgte Vermeidungs- und Verwertungsmaßnahmen in der untersuchten Schmelzanlage

7.2 Wiederverwertung extern

Die Wiederverwertung der Schlacken/Krätzen sowie der hochkupferhaltigen Stäube erfolgt durch verschiedene Firmen. Die Krätzen mit hohen Kupferanteilen (45–55 %) werden üblicherweise kostenneutral entsorgt. In Umschmelzwerken wird aus der Krätze technisch reineres Kupfer erschmolzen und im NE-Schmelzbetrieb wieder eingesetzt.

8 Konzepte zur Vermeidung und Verwertung weiterer Abfälle/Reststoffe

Wie in Kapitel 7 dargestellt, erfüllt der untersuchte Betrieb bereits einige Voraussetzungen zur Vermeidung und Verwertung der Reststoffe. In den folgenden Tabellen werden die noch verbleibenden Vermeidungs-, Aufbereitungs- und Verwertungsmöglichkeiten dargestellt.

Weitere durchzuführende Vermeidungs- und Aufbereitungsmaßnahmen	**Darstellung in Abschnitt**	**Auswirkung auf die Reststoffe**
Einsatz geeigneter Schmelzaggregate – Einsatz geeigneter Brennsysteme – Metallvorwärmung – Luftvorwärmung – Erhöhung des Sauerstoffanteils	4.1.3	R1/R2/R3
Reststoffe beim Warmhalten	4.1.8	R1
Getrennthaltung der Krätzen	4.2.1	R1
Getrennthaltung der Stäube	4.2.2.1	R5
Verstärkte Schlacken-/Krätze-/Staub-Aufbereitung in externen Anlagen	4.2.1.1–4.2.1.4	R1/R3

Tab 8-1: Weitere Maßnahmen zur Vermeidung/Aufbereitung und Verwertung in der untersuchten Schmelzanlage

Die Umstellung der alten, unwirtschaftlichen Ölöfen auf elektrisch betriebene Schmelzöfen hat eine starke Reststoffvermeidung sowie Energieeinsparung zur Folge und sollte vom untersuchten Betrieb als mittelfristige Maßnahme geprüft werden. Sofort umzusetzen ist die Getrennthaltung der verschiedenen Krätzen und Stäube. Die Getrennthaltung wird insbesondere erforderlich, wenn schadstoffhaltige mit schadstoffarmen Reststoffen nicht mehr vermischt auf Deponien angeliefert werden dürfen oder auch als Voraussetzung zur externen Aufbereitung und Verwertung.

Weitere durchzuführende Maßnahmen zur Verwertung und Vermarktung der Sekundär-/Nebenrohstoffe	**Darstellung in Abschnitt**	**Auswirkung auf die Reststoffe**
Wiedereinschmelzung von metallhaltigen Stäuben in Hüttenwerken	4.2.2.2	R1
Verarbeitung von zinkhaltigen Stäuben nach dem Wälzverfahren	4.2.2.3	R1/R2

Tab 8-2: Weitere Maßnahmen zur Verwertung und Vermarktung der Sekundärrohstoffe für die untersuchte Schmelzanlage

Die in **Tabelle 8-2** aufgeführten Maßnahmen sind hinsichtlich ihrer Umsetzbarkeit zu überprüfen. Insbesondere die Erstellung von Analysen, Gutachten in Form von Stoffsteckbriefen ist erforderlich, um die Verwertungschancen zu erhöhen.

9 Entscheidungskriterien zur Durchführung von Maßnahmen zur Vermeidung und Verwertung von Abfällen

9.1 Vermeidungs- und Verwertungspotentiale

Für die abfallwirtschaftliche Bewertung abfall-/reststoffarmer Produktionsverfahren und Verwertungsverfahren ist das erreichbare Abfallvermeidungs- und -verwertungspotential maßgebend. Um nicht Abfall-/Reststoffvermeidung oder -verwertung auf Kosten der Luft- und Wasserqualität zu betreiben, müssen die zur Auswahl stehenden Vermeidungs- und Verwertungstechniken aber auch hinsichtlich der luft- und wasserseitigen Emissionen beurteilt werden.

9.2 Technische Realisierbarkeit und Zumutbarkeit

Nach § 5 Abs. 1 Nr. 3 BImSchG (Verwertungsgebot) haben Reststoffvermeidung und -verwertung Vorrang vor der Pflicht zur Beseitigung. Nur wenn die Vermeidung oder Verwertung von Reststoffen technisch nicht möglich oder unzumutbar ist, sind diese als Abfälle ordnungsgemäß zu beseitigen. Die wesentlichen Kriterien, anhand derer zu beurteilen ist, ob Maßnahmen zur Vermeidung und Verwertung von Reststoffen durchgeführt werden müssen, sind die technische Realisierbarkeit und ihre Zumutbarkeit. In der Verwaltungsvorschrift des Landes Baden-Württemberg zur Vermeidung, Verwertung und Beseitigung von Reststoffen nach § 5 Abs. 1 Nr. 3 BImSchG werden die unbestimmten Rechtsbegriffe der technischen Realisierbarkeit und Zumutbarkeit erläutert.

Technisch möglich ist die Vermeidung bzw. die Verwertung von Reststoffen, wenn zur Erreichung des Betriebszweckes ein praktisch geeignetes Verfahren mit geringerem Reststoffanteil bzw. ein Verwertungsverfahren zur Verfügung steht. Bei der Bestimmung des Standes der Technik zur Reststoffvermeidung/-verwertung sind insbesondere vergleichbare Verfahren, Einrichtungen oder Betriebsweisen heranzuziehen, die mit Erfolg im Betrieb erprobt worden sind.

Wirtschaftlich zumutbar sind die Vermeidungs- und Verwertungsalternativen stets dann, wenn sie von Betrieben vergleichbarer Anlagen bereits angewendet werden oder der mit ihrer Realisierung verbundene Aufwand nicht dazu führt, daß für die erzeugten Produkte keine Vermarktungsmöglichkeiten mehr bestehen.

Überschreiten die Kosten von Verwertungsmaßnahmen die Kosten der Abfallbeseitigung in erheblichem Ausmaß, so gilt die Verwertung als wirtschaftlich zumutbar, wenn die hierzu erforderlichen Aufwendungen in einem vertretbaren Verhältnis zu den gesamten Produktionskosten stehen.

9.3 Organisatorische Integration und Akzeptanz

Die Einführung und Umsetzung von geplanter Vermeidung und Verwertung erfordert eine Umstellung von Arbeitsabläufen und Gewohnheiten im Betrieb. Der Erfolg hängt im hohem Maße vom aktiven Mitwirken aller Mitarbeiter auf allen Organisationsstufen eines Betriebs oder einer Anlage ab.

Deshalb ist das rechtzeitige Miteinbeziehen der betroffenen Mitarbeiter bereits in der Planungsphase von großem Nutzen. So können Schwierigkeiten bei der Einführung frühzeitig erkannt werden. Die Mitarbeiter betrachten die Umstellung nicht als ein Er-

schwernis. Maßnahmen zur Förderung der „Akzeptanz" sind Schulungen, Besichtigungen, Aufklärung über den Zweck und das Ziel einer Verfahrensumstellung.

9.4 Bewertung der Wirtschaftlichkeit

Neben der technischen Durchführbarkeit sind zusätzlich wirtschaftliche Kriterien bei der Bewertung von Maßnahmen zur Vermeidung und Verwertung zu berücksichtigen.

Die Entsorgungskosten werden in den nächsten Jahren deutlich ansteigen. Dies gilt insbesondere für die besonders überwachungsbedürftigen Abfälle. Die Landesabfallabgabe in Baden-Württemberg sowie der sehr knappe Sonderabfalldeponieraum werden dazu beitragen.

Bei der Bewertung von betrieblichen Maßnahmen zur Vermeidung und Verwertung von Abfällen sind zwei Fälle für Investitionen zu unterscheiden:

- Im ersten Fall werden die Produktionsanlage oder Teile der Anlage durch eine abfallarme Anlage oder Teilanlagen ersetzt. In diesem Fall wird ein Kostenvergleich erstellt, der abklären soll, inwieweit die abfallarme Anlage kostengünstiger arbeitet und ab welchem Zeitpunkt die Altanlage am besten ersetzt werden sollte.

- Im zweiten Fall wird die Verwertungsanlage oder -maßnahme zusätzlich zur eigentlichen Produktionsanlage beschafft. Aus betriebswirtschaftlicher Seite ist dann die Zusatzinvestition von Bedeutung.

Die **Betriebskosten** sind neben dem Kapitaldienst für die getätigten Investitionen (Annuitäten) alle durch den Betrieb der Zusatzanlage entstehenden Kosten für Personal, Energie, Wartung, Material und für die Entsorgung der noch anfallenden Reststoffe.

Als **Erlöse** gehen alle eingesparten Kosten in die Berechnung mit ein. Hierzu zählen insbesondere die eingesparten Entsorgungskosten sowie eingesparte Materialkosten, außerdem Einsparung an Energiekosten oder Erlöse durch den Verkauf von aufbereitetem Reststoff als Wertstoff.

9.5 Entsorgungskosten

Die Abfallentsorgungskosten richten sich nach der Art der Abfälle. Die Entsorgungskosten spielen eine entscheidende Rolle für den Zeitpunkt der Einführung einer Maßnahme. Diese sind außerdem von der Abfallsatzung der entsorgungspflichtigen Körperschaft abhängig. Den Deponiekosten zuzuschlagen sind außerdem die Transportkosten.

Auf besonders überwachungsbedürftige Abfälle werden zu den Deponiekosten seit 1. 4. 1991 durch das Landesabfallabgabengesetz (LAbfAG) von Baden-Württemberg Abfallabgaben zwischen DM 50 und DM 150 je nach Abfallkategorie und seit 1993 DM 100 bis DM 300/t erhoben.

Derzeitige durchschnittliche Entsorgungs- und Transportkosten

Die Deponie- bzw. Verbrennungs- und Transportkosten ergeben die Entsorgungskosten für eine Abfallart. Nachfolgend sind die derzeitigen durchschnittlichen Entsorgungskosten aufgeführt.

Entsorgungsweg	Deponie einschl. Transport DM/t
Hausmülldeponie (HMD)	50–150
Sonderabfalldeponie (SAD)*	bis 700

* zuzügl. Sonderabfallabgabe

Tab. 9-1: Durchschnittliche Entsorgungskosten (1993)

Die Betreiber der Entsorgungsanlagen und auch die Transporteure verlangen unterschiedliche Preise. Die durchschnittlichen Transportkosten von hausmüllähnlichen Gewerbeabfällen liegen zwischen 10 bis 50 DM/t und für Sonderabfälle zwischen 30 bis 120 DM/t.

9.6 Kosten- und Leistungsvergleich zwischen Öl- und Hubtiegelofen

Wie in Kapitel 4 und 7 geschildert, ist die Umstellung der alten, unwirtschaftlichen Öl- auf Hubtiegelöfen eine besonders wirksame Maßnahme zur Abfallvermeidung. Nachfolgend werden die Kosten- und Abfallmengeneinsparungen für einen konkreten Umrüstungsfall im untersuchten Betrieb dargestellt.

In die nachfolgende Auswertung sind Leistungsdaten des untersuchten Betriebes von Januar bis Dezember 1980 eingegangen. Die Energiekosten wurden in den Wirtschaftlichkeitsvergleich Öl-Schmelzofen/MF-Hubtiegelofen mit 0,55 DM/l Heizöl und 0,22 DM/kWh Strom eingesetzt. Die Kostenverhältnisse sind gut auf heute übertragbar, denn die Öl- und Strompreise stehen etwa in demselben Verhältnis zueinander.

Es folgt die Gegenüberstellung der Schmelzkosten beim Betrieb mit Öl bzw. elektrischer Energie. Die Schmelzkosten setzen sich aus den Kosten für Energie, Tiegel- und Feuerfestmaterial zusammen.

Einsparung bei den Energiekosten

Bei gleicher Schmelzmenge ergibt sich beim Vergleich Öl-/Strom-Betrieb eine Einsparung an Energiekosten von ca. 30 %. Das entspricht einer Energiekosteneinsparung von ≈ 74,00 DM/t Einsatz.

Einsparung beim Feuerfestmaterial

Bei gleicher Schmelzmenge ergibt sich beim Vergleich Öl-/Strom-Betrieb eine Einsparung bei den Kosten für Feuerfestmaterial von rund 90 % und somit der Abfallmenge. Das entspricht außerdem einer Einsparung an Feuerfestkosten von ≈ 19,00 DM/t Einsatzmaterial.

Einsparung beim Tiegelmaterial

Bei gleicher Schmelzmenge ergibt sich beim Vergleich Öl-/Strom-Betrieb eine Einsparung an Tiegelkosten von rund 25 % und somit der Abfallmenge. Das entspricht außerdem einer Einsparung an Tiegelkosten von ≈ 13,00 DM/t Einsatzmaterial.

Abbrände bzw. unwiederbringliche Metallverluste

Bei der Umstellung eines Schmelzverfahrens ist auch mit einer Änderung der Metallverluste (Abbrände) zu rechnen. In den Jahren 1978 und 1979 lagen die Metallverluste durch Abbrand bei rund 3 %. Die Ermittlung des Abbrandes an erschmolzenen Legie-

rungen aus der MF-Hubtiegelanlage ergab eine Abbrandverringerung auf 1 %, bezogen auf den Gesamteinsatz. Bei dem Vergleich Öl-/Strom-Betrieb ergibt sich außerdem eine Kosteneinsparung durch geringeren Abbrand von 40,00 DM/t Einsatzmaterial.

Personaleinsparung

Anstelle von drei Beschäftigten im Ölbetrieb werden zwei Schmelzer an der MF-Hubtiegelanlage erforderlich. Dies ergab eine Einsparung an Personalkosten von rund 30 000 DM/a und entspricht etwa 35,00 DM/t.

Gesamteinsparung

Das entspricht einer Gesamteinsparung von 180,00 DM/t Schmelzeinsatz.

9.7 Aufbereitungs- und Entsorgungskosten der untersuchten Anlage

Die Entsorgungskosten setzen sich im wesentlichen aus den Deponiegebühren zwischen 56,00 DM bis 100,00 DM/t sowie den Transportkosten zwischen 20,00 bis 25,00 DM pro Tonne zusammen. Der Umhüttungslohn für Kupferkrätzen mit einem Gehalt von 45 bis 55 % an Kupfer beträgt z. Z. ca. 1,15 DM/kg. Die Umschmelzung von Spänen erfolgt extern in einem Metallumschmelzwerk und intern in betriebseigenen Umschmelzöfen. Die Umschmelzkosten für die Späne betragen etwa 0,70 DM/kg. Die Entsorgungskosten für den untersuchten Betrieb zeigt die folgende Tabelle.

	Abfallart	Mengen t/a	Deponie-/ Verwertungs-kosten DM/t	Transport-kosten DM/t	Entsorgungs-kosten (gesamt) DM/a
R1	Schlacke/Krätze	280	keine	25,00	7 000
R2	Tiegel/ Ofenausbruch	36,5	100,00	25,00	4 562
R3	Gewerbeabfälle	140	100,00	25,00	17 500
R4	Altstoffe	10	55,00	25,00	800
R5	Stäube	in R1 enthalten	keine	–	–
Gesamtkosten der Entsorgung					29 862

Tab. 9-2: Entsorgungskosten aller Abfälle/Reststoffe für den untersuchten Betrieb (1989)

Bezogen auf 4 500 t Nichteisenmetallprodukte hat der Schmelzbetrieb etwa 6,60 DM/t an Entsorgungskosten zu bezahlen. Bei Produktkosten von etwa 2000 DM/t sind dies weniger als 0,5 Prozent. In diesen Kosten ist die Landesabfallabgabe nicht enthalten.

Literaturverzeichnis

Berzelius Umwelt-Service GmbH
Beschreibung der Arbeitsweise, für den Umweltschutz und speziell für die Reststoffaufbereitung aus der Stahl-, NE-Metall- und Gießereiindustrie
Frankfurt

Brunhuber E.
Gießereilexikon – Ausgabe 1986 –
13. Auflage
Fachverlag Schiele + Schön, Berlin, 1986

Der Bundesminister für Verkehr
Richtlinien für die Güteüberwachung von Mineralstoffen im Straßenbau
– RG Min-StB 83 –

BUS Berzelius Umwelt-Service Information
Aufbereitung zinkhaltiger Stahlwerksstäube
Frankfurt, 1990

Davids, P.; Lange, M.
TA Luft '86 – Technischer Kommentar
VDI-Verlag, Düsseldorf, 1986

Deutscher Gießerverband (DGV)
Fakten und Daten, 1989
Eisenguß, Stahlguß, Duktiles, Gußeisen

Dinkgraeve
VDI-Bildungswerk, BW 1435
Einsatz von industriellen Nebenprodukten – Müllverbrennungsasche – unter Berücksichtigung bautechnischer und wasserwirtschaftlicher Anforderungen – Untersuchungsmethoden und Fremdüberwachung von Müllverbrennungsasche

Emicke, K.
Umweltfreundliche Verarbeitung komplexer NE-Metallrohstoffe im Elektro-Schmelzofen
1979. (29 Abb.; 41 Tab.; 10 Lit.)

Fleischer, G. (Hrsg.)
Vermeidung und Verwertung von Abfällen 2
EF-Verlag, Berlin, 1990

Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen
Arbeitsgruppe „Mineralstoffe im Straßenbau"
Merkblatt über die Verwendung von industriellen Nebenprodukten im Straßenbau
Teil: Müllverbrennungsasche (MV-Asche)
Ausgabe 1986

Gesamtverband Deutscher Metallgießereien (GDM)
Geschäftsbericht
Düsseldorf, 1989

Glosch, Steffens
VDI-Bildungswerk, BW 1422
Standards und Anforderungen an die Schlackequalität zur Verwertung als Baumaterial bzw. zur umweltneutralen Entsorgung

Graner, C.
Sind die Grenzen für die Verwertung von Reststoffen schon erreicht?
Müll und Abfall, 2/1991

Gußprodukte 1990
Jahreshandbuch für Gußanwender
Verlag Hoppenstedt & Co., Darmstadt, 1990

Hessisches Ministerium für Umwelt und Reaktorsicherheit (HMUR), Hrsg.
Stand der Technik von Vermeidung und Verwertung von Reststoffen bei genehmigungsbedürftigen Anlagen der 4. BImSchV
FICHTNER, Stuttgart, September 1990

Hessisches Ministerium für Umwelt und Reaktorsicherheit
Merkblatt über die Verwertung von Schlacken aus Müllverbrennungsanlagen
Hessische Landesanstalt, Mai 1988
Abfallwirtschafts-Journal 1 (1989) Nr. 10

Intecus
Entsorgungsstruktur und Lösungen auf dem Gebiet der Sonderabfälle in den Wirtschaftszweigen Hüttenindustrie, Chemische Industrie, Metallbe- und -verarbeitung
Berlin 1989

Landesabfallabgabengesetz (LAbfAG)
Regierung des Landes Baden-Württemberg
Gesetzblatt Nr. 7 (1991)

Liesegang, D.
Neues Verfahren zum umweltfreundlichen Erschmelzen von Reststoffen aus der NE-Metallindustrie
Metall (Berlin) (1989) Bd. 34 (5) S. 478–479

Lurgi-Information
Wiedergewinnung von Wertstoffen aus Rückständen metallurgischer und chemischer Prozesse
Frankfurt, 1989

Maczek, H.
Metall – Internationale Zeitschrift für Technik und Wirtschaft, 43 (1989) 9, S. 886–888, 3S/1B

Ministerium für Umwelt Baden-Württemberg (Hrsg.)
Vermeidung von Abfällen durch abfallarme Produktionsverfahren (Voruntersuchung)
Fraunhofer-Institut für Systemtechnik und Innovationsforschung (FHG-ISI)
Karlsruhe, 1989

Ministerium für Umwelt, Raumordnung und Landwirtschaft vom 30. 4. 1991
Anforderung an die Verwendung von aufbereiteten Altbaustoffen (Recycling-Baustoffen) und industriellen Nebenprodukten im Erd- und Straßenbau aus wasserwirtschaftlicher Sicht
Runderlaß 30. 4. 1991

Ministerium für Umwelt, Raumordnung und Landwirtschaft
Runderlaß vom 26. 2. 1991
Angaben zur Wasser- und Abfallwirtschaft und zu den Reststoffen für das Genehmigungsverfahren nach dem Bundes-Immissionsschutzgesetz

Muellner, P.
Die Verarbeitung von Rückständen der Zink- und Bleihütte der BBU im Drehflammenofen
Erzmetall (1977) Bd. 30 (7/8) S. 326–329

Reststoffvermeidung von Kühlschmierstoffen und Schlacken
Diplomarbeit
FICHTNER, Stuttgart, 1990

Sattler, K.; Emberger, J.
Behandlung fester Abfälle
– Vermeiden, Verwerten, Sammeln, Beseitigen, Sanieren –
Vogel Verlag, Würzburg, 1990

Spur, G.; Stöferle, Th.
Handbuch der Fertigungstechnik
Band 1 – Urformen –
Carl Hauser Verlag, München, 1981

Statistisches Bundesamt, Wiesbaden (Hrsg.)
Statistisches Jahrbuch 1990 für die Bundesrepublik Deutschland
Metzler-Poeschel Verlag, Stuttgart, 1990

Statistisches Bundesamt, Wiesbaden (Hrsg.)
Produktion im produzierenden Gewerbe
Fachserie 4; Reihe 3.1
Metzler-Poeschel Verlag, Stuttgart, 1989

Statistisches Bundesamt, Wiesbaden (Hrsg.)
Abfallbeseitigung im produzierenden Gewerbe und in Krankenhäusern
Reihe 1.2
Verlag Kohlhammer GmbH, Stuttgart, 1987

Statistisches Landesamt Baden-Württemberg (Hrsg.)
Statistik von Baden-Württemberg
Verarbeitendes Gewerbe 1989
Band 421
Stuttgart, Dezember 1980

Sutter, H. (Hrsg.)
Vermeidung und Verwertung von Abfällen 1
EF-Verlag, Berlin, 1989

Thome-Kozmienski, K. J. (Hrsg.)
Recycling in der Bauwirtschaft
EF-Verlag, Berlin, Mai 1987

Thome-Kozmienski, K. J. (Hrsg.)
Recycling von Metallen
EF-Verlag, Berlin, März 1987

VDG – Merkblatt
Luftreinhaltung Gießereien Schmelzbetrieb
G 602, März 1987

VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig
Verwertung NE-metallurgischer Sekundärstoffe
Vorträge zum Berg- und Hüttenmännischen Tag 1986 in Freiberg
Prof. Dr. Hein, Doz. Dr. Schab

Klette, W.; Rost, G.; Hebestedt, E.
Verarbeitung von kupferhaltigen Sekundärstoffen im Elektroofen
Freiberger Forschungshefte, Reihe B, B 260 (1987) Dez. S. 7–16, 10S/9B/2T/30

Abbildungsverzeichnis

Abb.		Seite
2-1	Einteilung und Übersicht der wichtigsten Metallgruppen sowie der wesentlichen Schmelzöfen in Nichteisenmetallschmelzbetrieben	13
2-2	Schematische Darstellung eines feststehenden Schmelzofens mit Tiegel zum Ziehen	17
2-3	Schnitt durch einen Tiegelkippofen	18
2-4	Aufbau eines Netzfrequenz-Induktionstiegelofens	19
2-5	Schematische Darstellung eines Induktions-Hubtiegelofens	20
2-6	Netzfrequenz-Induktionsrinnenofen mit geschlossener Rinnenführung	21
2-7	Einteilung der Schmelzebehandlungsmittel	23
2-8	Aufbau einer Gesamtanlage bzw. Aufstellungsplan für Mittelfrequenz-Tiegelöfen	26
2-9	Schnitt durch eine Übergabepfanne	28
2-10	Gießpfanne/Vergießtiegel mit Isolierschicht und Graphitauskleidung	30
4-1	Fließbild einer Krätzeaufbereitungsanlage (Verfahren nach Jöst)	38
4-2	Fließbild einer Krätzeaufbereitungsanlage (Verfahren Steinlein + Kunze)	39
4-3	Fließbild des „Berzelius-Verfahrens"	40
5-1	Gebäudegrundriß des untersuchten Schmelzbetriebes und Anordnung der Arbeitsbereiche/Anlagenteile	44
5-2	Ablauf der Gattierung und Bereitstellung der Einsatzstoffe zum Schmelzen	48
5-3	Schematische Darstellung von einem typischen Schmelzzyklus in der untersuchten Schmelzanlage	49
5-4	Materialfluß im untersuchten Gießereibetrieb	51
5-5	Übersicht der Stoffflüsse in der Gesamtanlage	53
5-6	Ofengruppen, Einsatzstoffgruppen und Produktgruppen der 3 Produktionslinien	54
6-1	Schematischer Überblick der Stoffströme in den Ofengruppen	55
6-2	Bilanzierung der Einsatzstoffe, Hilfsstoffe und Reststoffe beim Schmelzen mit den Mittelfrequenzöfen MF 0.1–0.5	56
6-3	Bilanzierung der Einsatzstoffe, Hilfsstoffe und Reststoffe beim Schmelzen mit dem Mittelfrequenz-Hubtiegelofen MF 0.6	57
6-4	Bilanzierung der Einsatzstoffe, Hilfsstoffe und Reststoffe beim Schmelzen mit den Ölöfen Öl 0.7–0.9	58

Tabellenverzeichnis

Tab.		Seite
0-1	Charakteristische Parameter der in NE-Schmelzanlagen bevorzugt eingesetzten Ofenbauarten	7
0-2	Bereits durchgeführte Vermeidungs- und Verwertungsmaßnahmen in der untersuchten Schmelzanlage	8
0-3	Weitere zu untersuchende Vermeidungs- und Verwertungsmaßnahmen für die untersuchte Schmelzanlage	8
0-4	Übersicht zu Vermeidung, Aufbereitungsmaßnahmen und Verwertungsmöglichkeiten für Abfälle/Reststoffe aus NE-Schmelzbetrieben	9
1-1	Jährliche Erzeugung von Nichteisenmetallguß 1990 in der Bundesrepublik Deutschland (alte Länder) und Baden-Württemberg	10
1-2	Abfallarten aus NE-Schmelzanlagen nach AbfBestV und RestBestV	11
2-1	Funktionale Einteilung und wesentliche Komponenten/Bereiche einer NE-Schmelzanlage	25
2-2	Einteilung der feuerfesten Baustoffe (Zustellungen)	29
4-1	Übersicht zu Vermeidungs-, Aufbereitungs- und Verwertungsmöglichkeiten für Abfälle/Reststoffe aus NE-Schmelzbetrieben	33
4-2	Reststoffvermeidungsmaßnahmen in NE-Schmelzanlagen	34
5-1	Kurzbeschreibung der Schmelzaggregate	45
6-1	Einsatzstoffe und deren Verbleib	59
6-2	Abfälle/Reststoffe, deren Zusammensetzung und Entsorgung	62
7-1	Bereits erfolgte Vermeidungs- und Verwertungsmaßnahmen in der untersuchten Schmelzanlage	64
8-1	Weitere Maßnahmen zur Vermeidung/Aufbereitung und Verwertung in der untersuchten Schmelzanlage	65
8-2	Weitere Maßnahmen zur Verwertung und Vermarktung der Sekundärrohstoffe für die untersuchte Schmelzanlage	65
9-1	Durchschnittliche Entsorgungskosten (1993)	68
9-2	Entsorgungskosten aller Abfälle/Reststoffe für den untersuchten Betrieb (1989)	69