Zentraler Fachdienst Wasser – Boden –Luft – Abfall – Altlasten bei der Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg

5

Handbuch Abfall 1

Beratungsprogramm zur Reststoffvermeidung und –verwertung in Baden-Württemberg

Untersuchung von Eisen- und NE-Metallgießereien

Branchengutachten

IMPRESSUM

Herausgeber	Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg 76185 Karlsruhe, Griesbachstr. 1
ISSN	0941-780 X (Zentraler Fachdienst Wasser, Boden, Abfall, Altlasten bei der Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg) 0949-0493 (Handbuch Abfall 1)
Bearbeitung	IfG - Institut für Gießereitechnik GmbH Postfach 10 30 44, 40021 Düsseldorf
Umschlaggestaltung	Stephan May, Grafik-Design, 76227 Karlsruhe
Projektträger	Ministerium für Umwelt und Verkehr Baden-Württemberg Referat Abfallvermeidung, -verwertung
Projektkoordinator	Lahmeyer International GmbH Postfach 71 06 51, 60496 Frankfurt/Main
Druck	Druckerei Grässer, Karlsruhe
Umwelthinweis	gedruckt auf Recyclingpapier aus 100 % Altpapier

Nachdruck - auch auszugsweise – nur mit Zustimmung des Herausgebers unter Quellenangabe und Überlassung von Belegexemplaren gestattet.

Karlsruhe, November 1996

Vorwort

Das Umweltministerium Baden-Württemberg - seit Juni 1996 Ministerium für Umwelt und Verkehr Baden-Württemberg - hat im Herbst 1993 das anlagenbezogene "Beratungsprogramm zur Vermeidung und Verwertung von Reststoffen [1] aus Industrie und Gewerbe" begonnen.

Das Programm wird aus Mitteln der baden-württembergischen Landesabfallabgabe finanziert. Die Landesabfallabgabe ist seit 1991 von Erzeugern bestimmter, im Landesabfallabgabengesetz aufgeführter Sonderabfälle zu entrichten. [2] Die Mittel der Abgabe müssen vom Land zweckgebunden eingesetzt werden, z.B. zur Erforschung und Entwicklung von Verfahren zur Vermeidung und Verwertung von Sonderabfällen sowie für die betriebliche Beratung auf diesem Gebiet.

Während der Laufzeit des Programms sollen rund 150 sonderabfallrelevante Anlagen aus den für Baden-Württemberg wichtigsten Branchen durch Fachgutachter untersucht und beraten werden. Ziel ist die Ausschöpfung der Reduktionspotentiale, die vom "Forum zur Sonderabfallwirtschaft Baden-Württemberg" ermittelt wurden.

Zur Förderung der Abfallvermeidung und -verwertung in Industrie und Gewerbe haben einzelne Bundesländer - z.B. Hessen - Vollzugsprogramme zur Umsetzung des Reststoff- bzw. nunmehr Abfallvermeidungs- und -verwertungsgebots nach § 5 Abs. 1 Nr. 3 Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG) verabschiedet und durchgeführt. Beim baden-württembergischen Beratungsprogramm stehen dagegen die abfallabgabepflichtigen Sonderabfälle im Vordergrund, soweit sie in relevanten Mengen anfallen und maßgebliche Vermeidungs- oder Verwertungspotentiale erwarten lassen. Derartige Sonderabfälle fallen nicht nur in immissionsschutzrechtlich genehmigungsbedürftigen Anlagen an, sondern zu einem erheblichen Anteil auch in solchen Anlagen, auf die § 5 Abs. 1 Nr. 3 BImSchG keine Anwendung findet.

Das baden-württembergische Beratungsprogramm umfaßt daher sowohl immissionsschutzrechtlich genehmigungsbedürftige als auch nicht genehmigungsbedürftige Betriebe

---

1 Die Verwendung des Begriffs Reststoff ist historisch bedingt. Gemeint ist damit Abfall (zur Verwertung bzw. zur Beseitigung) im Sinne des Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetzes (Krw-/AbfG)

2 Die Landesabfallabgabe wurde rückwirkend zum 1. Januar 1997 per Gesetz abgeschafft.

und beruht - im Gegensatz zu Vollzugsprogrammen zur Umsetzung des § 5 Abs. 1 Nr. 3 BImSchG - auf der freiwilligen Teilnahme von Betrieben.

Für das Beratungsprogramm sind Fachgutachter aus den Bereichen Wissenschaft, Forschung und Technik verpflichtet worden, die spezifische Kenntnisse bezüglich der zu untersuchenden Branche haben. Diese Fachgutachter erarbeiteten zunächst ein Branchengutachten (Teil A), in dem alle bedeutsamen technischen Möglichkeiten für eine wirksame Vermeidung und Verwertung der jeweils branchentypischen Abfälle zusammengestellt sind. Das Branchengutachten enthält darüber hinaus Informationen, die für eine wirtschaftliche und ökologische Beurteilung dieser Verfahren relevant sind, soweit diese Informationen auf allgemeiner Ebene - d.h. ohne Berücksichtigung betriebsspezifischer Gegebenheiten - aussagekräftig sind.

Im Anschluß führten die Gutachter für jeden der teilnehmenden Betriebe eine detaillierte Einzeluntersuchung durch. Dabei wurden in enger Abstimmung mit Betrieben und zuständigen Fachbehörden die organisatorischen und technischen Möglichkeiten zur Vermeidung und Verwertung der anfallenden Abfälle untersucht. Um die Problematik des einzelnen Betriebes möglichst vollständig zu erfassen, betrifft dies nicht allein abfallabgabepflichtige Abfälle, sondern auch sonstige im Einzelfall relevante Abfälle und betriebliche Abwässer. Die festgestellten Möglichkeiten zur Abfallvermeidung und -verwertung wurden von den Fachgutachtern nun unter den konkreten Randbedingungen des Betriebs bezüglich der technischen Machbarkeit, der Wirtschaftlichkeit sowie anhand ökologischer Kriterien bewertet. Auf dieser Basis erarbeiteten die Gutachter Maßnahmeempfehlungen, die zusammen mit allen über den untersuchten Betrieb erhobenen Daten und Informationen in einem Einzelgutachten niedergelegt wurden. Dieses Einzelgutachten stand dann Betrieb und Behörde zur Verfügung.

Die Umsetzung der von den Fachgutachtern ermittelten Vermeidungs- und Verwertungsmöglichkeiten wird bei den am Beratungsprogramm teilnehmenden, nach BImSchG genehmigungsbedürftigen Betrieben durch subordinationsrechtliche öffentlich-rechtliche Verträge angestrebt; ggf. können die von den Fachgutachtern erarbeiteten Grundlagen aber auch für eine ordnungsrechtliche Umsetzung des Abfallvermeidungs- und -verwertungsgebots nach § 5 Abs. 1 Nr. 3 BImSchG in diesen Betrieben genutzt werden.

Bei den im Beratungsprogramm untersuchten immissionsschutzrechtlich **nicht** genehmigungsbedürftigen Anlagen wird eine Umsetzung der von den Fachgutachtern ermittelten

Vermeidungs- und Verwertungsmöglichkeiten ebenfalls durch öffentlich-rechtliche, u.U. lediglich koordinationsrechtliche Verträge angestrebt. Für eine ordnungsrechtliche Umsetzung von Vermeidungs- und Verwertungsmaßnahmen standen im Bereich der immissionsschutzrechtlich nicht genehmigungsbedürftigen Anlagen bislang nur sehr begrenzte Möglichkeiten auf der Grundlage des Wasserhaushaltsgesetzes zur Verfügung. In Bezug auf die Verwertung änderte sich dies jedoch mit Inkrafttreten des Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetzes (KrW-/AbfG) am 07.10.1996. Unabhängig von der Art der Anlagenzulassung unterliegen die Erzeuger von Abfällen seit diesem Datum der Verwertungspflicht nach §§ 5 und 6 KrW-/AbfG. Die allgemeine Verwertungspflicht nach § 5 Abs. 2 Sätze 1 und 2 entspricht weitgehend den Anforderungen an die Abfallverwertung nach § 5 Abs. 1 Nr. 3 BImSchG.

Das Beratungsprogramm soll noch über die Umsetzung der Ergebnisse in den teilnehmenden Betrieben hinaus Wirkung entfalten, indem das erarbeitet Know-how auch in einer möglichst großen Zahl anderer Betriebe genutzt wird. Dazu dient die Veröffentlichung der Branchengutachten, mit der das im Rahmen des Beratungsprogramms gesammelte Know-how einer breiten Öffentlichkeit zugänglich gemacht wird. Nutzer dieses Know-hows sollen insbesondere Betriebe und Behörden sein, denen die Umsetzung des Abfallvermeidungs- und -verwertungsgebots (BImSchG) bzw. der allgemeinen Verwertungspflicht (KrW-/AbfG) somit erleichtert wird.

Hinweise zur Nutzung des Branchengutachtens

Das hier für die Branche **Eisen- und Nicht-Eisenmetall-Gießereien** vorgelegte Branchengutachten beinhaltet zwei Teile:

- In **Teil A** wird der technische Stand der Abfallvermeidung und -verwertung für die Gießerei-Branche umfassend und allgemeinverständlich dargestellt. Hierzu gibt Teil A u.a. Informationen zu folgenden Punkten:
  - Grundlagen der branchentypischen Produktionsverfahren
  - Darstellung repräsentativer Anlagentypen
  - Branchentypische Abfallarten mit Angaben u.a. zu Anfallbedingungen, Zusammensetzung, Entsorgung
  - Maßnahmen zur Vermeidung, Verminderung und Verwertung der Abfälle
  - Wirtschaftliche und ökologische Bewertungskriterien von Verwertungsverfahren

Teil A beinhaltet darüber hinaus ein ausführliches Literaturverzeichnis, das dem Leser die tiefergehende Einarbeitung in die spezifische Problematik der untersuchten Branche ermöglicht.

· In **Teil B** sind die Ergebnisse aller Einzelgutachten zu Betrieben der Branche Gießerei tabellarisch zusammengestellt. Damit wird kompakt und übersichtlich dokumentiert, welche Vermeidungs- und Verwertungspotentiale unter Beachtung ökologischer und wirtschaftlicher Kriterien in den untersuchten Betrieben ermittelt wurden. Darüber hinaus finden sich in Teil B ausgewählte Praxisbeispiele aus dem Beratungsprogramm, die besonders interessante Vermeidungs- oder Verwertungsverfahren unter den spezifischen Rahmenbedingungen einzelner, anonymisierter Betriebe zeigen.

Um diese Informationen dem Leser leicht und zeitsparend zugänglich zu machen, sind die Branchengutachten als Handbücher konzipiert: zur Nutzung wird dem Leser **nicht** die vollständige Durchsicht des gesamten Branchengutachtens abverlangt. Vielmehr wird mit Hilfe von Inhaltsverzeichnis, Einführungstexten und Zuordnungstabellen zu einzelnen Kapiteln ein Einstieg ausgehend von drei praxisrelevanten Fragestellungen ermöglicht:

- ausgehend vom Verfahren: welche Abfälle fallen bei welchen Produktionsverfahren an?
- ausgehend vom Abfall: welche Vermeidungs- und Verwertungs-Verfahren existieren für welchen Abfall?
- ausgehend vom Vermeidungs- und Verwertungs-Verfahren: für welche Abfälle aus welchen Produktionsverfahren eignet sich ein bestimmtes Vermeidungs- und Verwertungs-Verfahren?

Der Leser gelangt mit jeder dieser Fragestellungen sofort an die ihn direkt interessierenden Informationen. Alle damit zusammenhängenden Informationen können von der so aufgefundenen Stelle aus über Verweise erschlossen werden.

Inhaltsverzeichnis Teil A

		Seite
1	**Einführung**	A- 1
1.1	Ziele und Gliederung	A- 1
1.2	Ökologische Bewertung	A- 4
	1.2.1 Vorgehen zur ökologischen Bewertung im Rahmen des Beratungsprogramms	A- 4
	1.2.2 Schadlosigkeit	A- 5
	1.2.3 Zusätzliche ökologische Bewertungskriterien	A- 7
	1.2.4 Fazit	A- 8
2	**Grundlagen der Gießverfahren**	A- 9
2.1	Übersicht der Verfahrensschritte	A- 9
2.2	Vorgeschaltete Verfahrensschritte - Schmelzen und Schmelzbehandlung	A- 11
2.3	Produktionsverfahren Formen und Gießen	A- 13
	2.3.1 Anwendungsbereiche der Form- und Gießverfahren	A- 15
	2.3.2 Gießen in verlorene Formen	A- 17
	2.3.2.1 Verfahren mit anorganisch gebundenen Formstoffen	A- 18
	2.3.2.2 Verfahren mit organisch gebundenen Formstoffen	A- 25
	2.3.2.3 Feingießverfahren	A- 29
	2.3.2.4 Vollformgießen	A- 29
	2.3.3 Kernherstellverfahren	A- 30
	2.3.3.1 PUR-Cold-Box- und Pep-Set-Verfahren	A- 32
	2.3.3.2 SO_2-Verfahren	A- 32
	2.3.3.3 Methylformiat-Verfahren	A- 33
	2.3.3.4 Wasserglas-Verfahren	A- 33
	2.3.3.5 Kaltharz-Verfahren	A- 33
	2.3.3.6 Hot-Box-Verfahren	A- 33
	2.3.3.7 Croning-Verfahren	A- 34
	2.3.4 Gießen in Dauerformen	A- 34
	2.3.4.1 Kokillengießen	A- 35
	2.3.4.2 Druckgießen	A- 36
	2.3.4.3 Schleudergießen	A- 36
	2.3.4.4 Stranggießen	A- 37
2.4	Nachgeschaltete Verfahrensschritte - Nachbehandlung von Gußstücken	A- 37
	2.4.1 Putzstrahlen	A- 37
	2.4.2 Putzen durch Schleifen und Spanen	A- 38
	2.4.3 Grob- oder Feinbearbeitung	A- 38
	2.4.4 Oberflächenschutz durch Grundieren und Lackieren	A- 38
2.5	Maßnahmen zur Emissionsminderung	A- 39
	2.5.1 Staub A- 39	
	2.5.2 Abwasser	A- 41
3	**Darstellung repräsentativer Anlagentypen**	A- 42
3.1	Eisengießerei	A- 42
3.2	Aluminiumgießerei	A- 44
4	**Abfallarten und -beseitigung**	A- 46
4.1	Zuordnung der Abfallarten zu Verfahrensschritten	A- 46

4.2 Daten und Informationen zu den Abfallarten A- 46
4.2.1 Rechsgrundlagen A- 46
4.2.2 Gießereirestsand A- 48
4.2.3 Staub aus Sandaufbereitung A- 51
4.2.4 Putzereisandrückstände A- 54
4.2.5 Kernsand A- 56
4.2.6 Schlamm aus Gießereien A- 58
4.2.7 Eisenhaltiger Staub A- 60
4.2.8 Eisenmetallbehältnisse mit schädlichen Restinhalten A- 62
4.2.9 Aluminiumabfälle A- 64
4.2.10 NE-metallhaltiger Staub A- 66
4.2.11 Aminsulfatlösung A- 68
4.2.12 Abwasser A- 70
4.3 Umweltauswirkungen der Beseitigungsverfahren A- 72

5 Maßnahmen und Verfahren zur Vermeidung, Verminderung und Verwertung der Abfallarten A- 73
5.1 Zuordnung geeigneter VVV-Maßnahmen zu einzelnen Abfallarten A- 74
5.2 Vermeiden durch Kreislaufführung der Form- und Kernsande A- 76
5.2.1 Angaben zur Technik A- 76
5.2.2 Angaben zu Rahmenbedingung der Wirtschaftlichkeit A- 85
5.2.3 Ökologische Bewertung A- 85
5.3 Regenerieren A- 88
5.3.1 Angaben zur Technik A- 89
5.3.1.1 Beschreibung der Regenerierungsverfahren A- 89
5.3.1.1.1 Anlagen zur mechanischen Regenerierung A- 91
5.3.1.1.2 Anlagen zur thermischen Regenerierung A- 99
5.3.1.2 Entwicklungsstand A- 101
5.3.1.2.1 Kunstharzgebundene Restsande A- 101
5.3.1.2.2 Bentonitgebundene Restsande A- 102
5.3.1.3 Einsatzbereiche A- 111
5.3.1.3.1 Monosysteme A- 111
5.3.1.3.2 Mischsysteme A- 113
5.3.1.4 VVV-Potential A- 117
5.3.2 Angaben zu Rahmenbedingungen der Wirtschaftlichkeit A- 119
5.3.2.1 Einfache mechanische Rückgewinnungsanlagen für harzgebundene Sande A- 119
5.3.2.2 Thermische Regenerieranlagen und hochwertige mechanische Anlagen zur Regenerierung von Mischrestsanden A- 120
5.3.3 Ökologische Bewertung A- 121
5.4 Verwertung zur Silikatkorrektur im Zementklinker A- 123
5.4.1 Angaben zur Technik A- 123
5.4.2 Angaben zur Wirtschaftlichkeit A- 125
5.4.3 Ökologische Bewertung A- 125
5.5 Stoffliche Verwertung als Magerungsmittel für Ziegel A- 128
5.5.1 Angaben zur Technik A- 128
5.5.2 Angaben zur Wirtschaftlichkeit A- 129
5.5.3 Ökologische Bewertung A- 129

5.6 Verwertung als Schüttmaterial im Erd-, Straßen - und Deponiebau sowie zur Schachtverfüllung A- 132
5.6.1 Angaben zur Technik A- 132
5.6.2 Angaben zur Wirtschaftlichkeit A- 134
5.6.3 Ökologische Bewertung A- 134
5.7 Verwertung als Versatzmaterial A- 136
5.7.1 Angaben zur Technik A- 136
5.7.2 Angaben zur Wirtschaftlichkeit A- 137
5.7.3 Ökologische Bewertung A- 137
5.8 Metallurgische Verwertung von Metallresten A- 138
5.8.1 Angaben zur Technik A- 138
5.8.2 Angaben zur Wirtschaftlichkeit A- 139
5.8.3 Ökologische Bewertung A- 139
5.9 Verwerterliste A- 141

6 Zusammenfassung A- 144

7 Schrifttum

Verifizierung der Eignung praxiserprobter Regenerierungsanlagen Anhang 1

Tabellen Anhang 2

Inhaltsverzeichnis Teil B

		Seite
	Einführung	B- 1
1	**Untersuchte Gießereien**	B- 2
1.1	Eingesetzte Produktionsverfahren	B- 3
	1.1.1 Formherstellung	B- 3
	1.1.2 Kernfertigung	B- 4
	1.1.3 Einsatzstoffe für die Form- und Kernherstellung	B- 5
1.2	Genehmigte, installierte und tatsächlich mögliche Kapazitäten	B- 6
2	**Derzeitige Abfallsituation**	B- 7
2.1	Art und Menge der derzeitigen Abfälle	B- 7
2.2	Derzeitige Entsorgung der anfallenden Abfälle	B-11
3	**VVV-Maßnahmen und Verfahren**	B-12
3.1	Empfohlene Maßnahmen	B-12
	3.1.1 Vermeiden durch Kreislaufführung (Teil A, Kap. 5.2)	B-12
	3.1.2 Vermindern durch Regenerieren (Teil A, Kap. 5.3)	B-13
	3.1.2.1 Istzustand	B-13
	3.1.2.1 Zusätzliches internes Regenerieren	B-13
	3.1.2.2 Externes Regenerieren	B-15
	3.1.3 Externes Verwerten im Zementwerk (Teil A, Kap. 5.4)	B-15
	3.1.4 Verwerten zur Ziegelherstellung (Teil A, Kap 5.5)	B-16
	3.1.5 Verwertung im Erd- und Straßenbau sowie zur Schachtverfüllung	B-16
	3.1.6 Verwertung als Bergversatz (Teil A, Kap. 5.7)	B-17
	3.1.7 Metallurgische Verwertung (Teil A, Kap. 5.8)	B-17
	3.1.8 Verzicht/Abtrennen von Chromerzsand	B-17
3.2	Erzielbare VVV-Potentiale auf der Basis der Empfohlenen Maßnahmen	B-18
	3.2.1 Vermeidung durch Kreislaufführung der Form- und Kernsande	B-18
	3.2.2 Regenerieren	B-19
	3.2.3 Externes Verwerten	B-19
3.3	Beurteilung der Wirtschaftlichkeit der empfohlenen Maßnahmen	B-19
3.4	Ökologische Bewertung der empfohlenen Maßnahmen	B-21
	3.4.1 Kreislaufführung	B-21
	3.4.2 Regenerieren	B-22
	3.4.3 Verwerten in Zement- und Ziegelwerken	B-22
	3.4.4 Verwerten im Erd- und Straßenbau als Deponiebaustoff	B-23
	3.4.5 Verwerten als Bergversatz im Salzbergwerk	B-23
3.5	Umsetzungszeiträume	B-23
4	**Praxisbeispiele für VVV-Maßnahmen**	B-25
4.1	Vermeiden durch Kreislaufführung	B-25
	4.1.1 Abfallminderung im Formsandkreilslauf	B-25
	4.1.2 Beurteilung der Wirtschaftlichkeit	B-26
	4.1.3 Ökologische Beurteilung	B-26
4.2	Abfallminderung durch Kernsandrückführung in den Formsandkreislauf	B-26
4.3	Vermeiden/Vermindern durch Regenerieren	B-27
	4.3.1 Regenerieren von Kaltharzsanden in der Handformerei	B-27

4.3.2 Regenerieren von bentonitgebundenem Formsand und Rückführung in den gleichen Formsandkreislauf Praxisbeispiel aus der Maschinenformerei einer mittelständischen Eisengießerei B-30
4.3.3 Regenerieren von bentonitgebundenem Altsand mit kunstharzgebundenen Kernen Kernanteil im Altsand > 75 % B-31
4.3.4 Regenerieren von Naßgußsand mit anorganisch bundenen Kernen B-36
4.4 Schadlose Verwertung von Gießereiabfällen B-37

Abbildungsverzeichnis Teil A

Bild 2.1: Übersicht der Verfahrensschritte A- 10

Bild 2.2: Übersicht der wichtigsten Metallgruppen sowie der wesentlichen Schmelzöfen A- 12

Bild 2.3: Einteilung der Form- und Gießverfahren A- 14

Bild 2.4: Grundsätzlicher Aufbau der Formstoffe [Roller 1990] A- 17

Bild 2.5: Überblick über die wichtigsten Verdichtungsverfahren und Verfahrenskombinationen [Flemming 1993] A- 21

Bild 2.6: Schematische Darstellung des Formstoffkreislaufes im Naßgußverfahren A- 24

Bild 2.7: Kernherstellverfahren für a) Einzelguß und b) Serienguß [Ellinghaus 1993] A- 31

Bild 2.8: Abfälle bei Emissionsminderungsmaßnahmen A- 40

Bild 3.1: Übersicht der Verfahrensschritte einer Eisengießerei mit verlorenen Formen A- 43

Bild 3.2: Übersicht über die Verfahrensschritte einer Aluminiumgießerei a) mit Dauerformen b) mit verloren Formen A- 45

Bild 5.1: Verwertungs- und Entsorgungsmöglichkeiten für Gießereirestsande im Naßgußverfahren A- 75

Bild 5.2: Schema einer auf Kreislaufführung beruhenden Formstoffaufbereitung [Roller 1990] A- 76

Bild5.3: Einfluß des Kernrestsandzulaufes auf die Eigenschaften des bentonit gebundenen Formstoffen [Boenisch 1992] A- 83

Bild 5.4: Einfluß der Gießhitze auf die Acidität bzw. Alkalität des Formstoffes [Boenisch 1992] A- 83

Bild 5.5: Wirkung nicht abgegossener Kernaltsande auf die Bindekraft des Bentonits [Boenisch 1992] A- 84

Bild 5.6: Kernqualität durch Restsandherkunft, Stärke des Kernbinders und Regenerierungsdauer bestimmt [Boenisch 1992] A- 89

Bild 5.7: Verfahrensschritte zur Restsandregenerierung A- 90

Bild 5.8: Fliehkraftreiniger (System Klein) A- 92

Bild 5.9: Grundprinzipien mechanischer Regenerierungsverfahren [Tillmans 1994] A- 93

Bild 5.10: Schema der pneumatischen Sandregenerierung (System „GUT“) [Müller-Späth 1994] A- 95

Bild 5.11: Mechanische Schleif-Sandregenerierung (System „Gemco“) [van Wijk 1994] A- 96

Bild 5.12: Restsandregenerierung mit optischer Staubdichteerfassung [Gärtner-Kaufmann 1994] A- 97
Bild 5.13: „Intelligenter Regenerator“ für die Regeneratherstellung mit Qualitätsgarantie für die Kernproduktion [Gärtner-Kaufmann 1994] A- 98
Bild 5.14: Fixe Kosten pro Tonne Regenerat bei einfachen mechanischen Rückgewinnungsanlagen für kaltharzgebundene Formstoffe A- 119
Bild 5.15: Fixe Kosten pro Tonne Regenerat bei thermischen Regenerierungsanlagen und hochwertigen mechanischen Anlagen zur Regenerierung von Mischrestsanden A- 120

Abbildungsverzeichnis Teil B

Bild 1: Untersuchte Gießereien nach Gußart B- 2
Bild 2: Erfaßte Produktion 81994) B- 2
Bild 3: Verteilung der Kernarten in den 25 Gießereien B- 4
Bild 4: Einsatzstoffe in den untersuchten Eisen- und Aluminiumgießereien B- 5
Bild 5: Verteilung der Kapazitäten B- 6
Bild 6: SiO_2- Gehalte der verschiedenen Reststoffe aus den untersuchten Eisen- (Fe) und Aluminiumgießereien (Al) B- 9

Tabellenverzeichnis Teil A

Tabelle 2.1:	Anwendungsbereiche der Form- und Gießverfahren	A- 16
Tabelle 2.2:	Verfahren zur Form- und Kernherstellung, geordnet und ausgewählt nach der Bindung des Formstoffsystems im formbaren Zustand [[Fritz 1985]	A- 18
Tabelle 2.3:	Vor- und Nachteile kalthärtender Furan- und Phenolharze [Engels 1990, ABAG 1992]	A- 27
Tabelle 5.1:	Übersicht der untersuchten Firmen mit praxiserprobten Regenerierungsanlagen	A- 104
Tabelle 5.2:	Anlagenbauteile der untersuchten Regenerierungsanlagen	A- 105
Tabelle 5.3:	Praxiserprobte Regenerierungsanlagen für Gießereirestsande	A- 106
Tabelle 5.4:	Pilotanlage zur Regenerierung von Gießereirestsanden	A- 107
Tabelle 5.5:	Regenerierungsgrade der untersuchten thermisch bzw. thermisch-mechanisch arbeitenden Regenerierungsanlagen	A- 108
Tabelle 5.6:	Regenerierungsgrade der untersuchten mechanisch arbeitenden Regenerierungsanlagen	A- 108
Tabelle 5.7:	Die Auswahl des zu regenerierenden Restsandes bestimmt das Regenerierungsverfahren und die Regeneratqualität	A- 109
Tabelle 5.8:	Entwicklungsstand von Regenerierungsverfahren für bentonithaltige Restsande	A- 110
Tabelle 5.9:	Einsatzbereiche verschiedener Regenerierungsverfahren für Monosysteme	A- 112
Tabelle 5.10:	Einsatzbereiche verschiedener Regenerierungsverfahren für Mischsysteme	A- 115
Tabelle 5.11:	Technische Regeln für die Verwertung der LAGQA vom 08.09.1994 Zurordnungswerte Feststoff und Eluat für Gießereisande	A- 133

Tabellenverzeichnis Teil B

Tabelle 1:	Verteilung der Produktionsverfahren zur Formherstellung	B- 3
Tabelle 2:	Abfallaufkommen 1994 in 25 Gießereien (gerundet)	B- 7
Tabelle 3:	Abfallaufkommen 1994 in Eisen- und Aluminiumgießereien	B- 8
Tabelle 4:	Entsorgung Reststoffe 1994 in 1 000 t/a	B- 11

Tabelle 5: Anzahl vorgeschlagener Maßnahmen B- 12
Tabelle 6: VVV-Potentiale B- 18
Tabelle 7: Kosten der VVV-Maßnahmen B- 20
Tabelle 8: Überblick über die Umsetzungszeiträume bei VVV-Maßnahmen B- 24

Teil A

1 Einführung

1.1 Ziele und Gliederung

Nach dem Formgebungsverfahren Gießen werden aus Metallen und Legierungen Gußstücke erzeugt. Durch Gießen lassen sich metallische Werkstoffe besonders wirtschaftlich fertigen. Mit Gießverfahren, wie Sandformguß, Kokillen- und Druckguß sowie Präzisions- oder Genauguß werden oftmals bessere Werkstückeigenschaften erzielt als mit konkurrierenden Formgebungsverfahren (z.B. Schmieden, Pressen, Sintern).

Die Gießereiindustrie ist somit ein wichtiger Zweig der metallverarbeitenden Industrie der Bundesrepublik Deutschland. Im Jahre 1993 wurden rund 2,9 Mio. Tonnen Gußteile aus Eisen und Stahl sowie ca. 0,55 Mio. Tonnen Gußteile aus Nichteisen-Metallen - vorwiegend aus Aluminium-, Kupfer- und Zinklegierungen - erzeugt.

Die Verschärfung der Abfallgesetzgebung, steigende Deponie- und Transportkosten sowie knapper werdende Deponiereserven machen das Abfallmanagement zu einem schwerwiegenden Problem für die Gießereiindustrie. Trotz Kreislaufwirtschaft, also Vermeidung oder Wiederverwertung bleibt eine nicht unerhebliche Menge an Gießereiabfällen übrig, die es zu entsorgen gilt.

Der größte Teil der Eisen- und ca. 30% der Nichteisen-Schwermetall-Gußproduktion erfolgt mit Sandformen, die nach dem Gießprozeß zerstört werden (verlorene Formen, vgl. Kapitel 2.3.2). Die Nichteisen-Leichtmetalle werden überwiegend in wiederverwendbare Dauerformen (z.B. Kokillen) (vgl. Kapitel 2.3.3) vergossen.

Obwohl bereits heute etwa 95% des Formstoffes im Kreislauf geführt werden, fallen in der Bundesrepublik Deutschland noch immer große Mengen Gießereirestsande an, die z.T. intern (z.B. durch Regenerierung, vgl. Kapitel 5.3) oder extern (vgl. Kapitel 5.4 bis 5.8) verwertet oder auf betriebseigenen oder öffentlichen Deponien entsorgt werden. Die in Baden-Württemberg aus Eisen- und Nichteisenmetallgießereien entsorgte Abfallmenge betrug 1994 laut Umfrage der beiden Verbände der Gießereiindustrie ca. 180 000t.

Daher wurden die Gießereien in das “Beratungsprogramm zur Vermeidung und Verwertung von Abfällen aus Industrie und Gewerbe“ aufgenommen.

Das vorliegende Branchengutachten gibt in Teil A den technischen Stand der Abfallvermeidung und -verwertung in Eisen- und NE-Metallgießereien in Baden-Württemberg wieder.

Die Darstellungen beschränken sich auf Gießereien, die mit Form- oder Kernsand arbeiten. Zu betrachten sind die abfallintensiven Verfahrensschritte beginnend bei der Formherstellung bis zum fertigen Gußteil. Das Abfallminderungspotential beim Schmelzen der Metalle ist in vorliegenden Untersuchungen [ABAG Schmelzanlagen 1994] bereits ausführlich beschrieben und wird deshalb hier nicht mehr behandelt. Auch die spanende Bearbeitung von Gußteilen oder die Oberflächenveredelung und -behandlung ist Gegenstand anderer Gutachten und wird deshalb nicht berücksichtigt.

Im Rahmen des Branchengutachtens wird in **Kapitel 2** ein Überblick über die Grundlagen der Gießverfahren gegeben. Es werden die vorgeschalteten Verfahrensschritte Schmelzen und Schmelzbehandlung (vgl. Kapitel 2.2), die Verfahren zum Formen und Gießen (vgl. Kapitel 2.3), die nachgeschalteten Arbeitsschritte (vgl. Kapitel 2.4) und Maßnahmen zur Verminderung von Emissionen (vgl. Kapitel 2.5) beschrieben.

In **Kapitel 3** sind die chronologischen Abläufe für eine Eisengießerei, die mit verlorenen Formen arbeitet und für eine Aluminiumgießerei, die Serien in Dauerformen und in verlorenen Formen fertigt, dargestellt.

Kapitel 4 gibt einen Überblick über die gießereitypischen Abfälle, ihre Zusammensetzung, die Ablagerung auf Deponien und abfallspezifische Daten sowie Informationen zu den Umweltauswirkungen der Beseitigungsverfahren.

Des weiteren enthält das Branchengutachten in **Kapitel 5** Informationen zu Maßnahmen zur Vermeidung, Verminderung und Verwertung der Abfälle. So können die in der Gießerei anfallenden Abfälle z.B. durch engere und zusätzliche innerbetriebliche Kreisläufe vermindert werden. In Kapitel 5.2 werden Formstoffkreisläufe beschrieben und der Entwicklungsstand sowie Grenzen der Kreislaufführung aufgezeigt.

Entscheidende Bedeutung bei der Verwertung von Gießereirestsanden kommt der Regenerierung zu. Aus diesem Grund werden die Regenerierungsverfahren und Anlagen zur mechanischen bzw. thermischen Regenerierung verschiedener Formstoffe ausführlich behandelt (vgl. Kapitel 5.3). Eine Unterteilung in Anlagen zur Regenerierung von organisch und anorganisch gebundenen Formstoffen wird nicht vorgenommen, da die z.Z. auf dem

Markt befindlichen Regenerierungsanlagen sowohl für organisch als auch für anorganisch gebundene Restsande geeignet sind.
Im Rahmen dieses Branchengutachtens wurden Anlagentechnik und Anwendungsbereiche der Regenerate praxiserprobter Regenerierungsanlagen für bentonithaltige Mischrestsande untersucht, um den Entwicklungsstand umfassend darstellen zu können. Die ausführlichen Untersuchungsergebnisse sind in Anhang 1 zusammengefaßt.

Ferner werden in Kapitel 5 externe Verwertungsmöglichkeiten von Gießereirestsanden bei der Zementherstellung (vgl. Kapitel 5.4), als Magerungsmittel für Ziegel (vgl. Kapitel 5.5), als Schüttmaterial im Erd- und Straßenbau (vgl. Kapitel 5.6) und als Versatzmaterial (vgl. Kapitel 5.7) vorgestellt. Die metallurgische Verwertung metallhaltiger Stäube wird in Kapitel 5.8 beschrieben.
Neben Angaben zur Technik, der Darstellung des Entwicklungsstandes und der Einsatzbereiche finden sich in diesen Abschnitten Informationen zur Wirtschaflichkeit und zur ökologischen Beurteilung.

Darüber hinaus enthält das Branchengutachten ein ausführliches Schrifttum, das dem Leser die tiefergehende Einarbeitung ermöglicht.

In diesen Bericht fließen eigene wissenschaftliche Arbeiten auf dem Gebiet der Abfallvermeidung in Gießereien [IfG-Jahresbericht 1994] sowie gleichartige Untersuchungen in Nordrhein-Westfalen [PROGNOS 1993, Winterhalter 1992] und in Hessen [INTECUS 1991] ein. Die in Baden-Württemberg bereits durchgeführten Erhebungen in Gießereien [ABAG 1992] werden ergänzt und vertieft. Hierbei wird der aktuelle Entwicklungsstand von Rückgewinnungsanlagen durch Massenbilanzen und Stoffanalysen bewertet.

1.2 Ökologische Bewertung

1.2.1 Vorgehen zur ökologischen Bewertung im Rahmen des Beratungsprogramms

Im Rahmen des Beratungsprogramms sind Fragen der ökologischen Vorteilhaftigkeit möglicher Verwertungsmaßnahmen [1] soweit wie möglich zu berücksichtigen. Es steht außer Frage, daß eine ausführliche quantitative Bewertung einzelner Verfahren im Sinne einer Ökobilanz im Rahmen des vorliegenden Branchengutachtens nicht geleistet werden kann. Es soll jedoch der Versuch einer qualitativen Bewertung unternommen werden; Ziel ist es, die beim derzeitigen Kenntnisstand identifizierbaren wesentlichen ökologischen Vor- und Nachteile einzelner Verfahren zu benennen, um diese Informationen als Entscheidungshilfe für die Verfahrensauswahl im konkreten Einzelfall zugänglich zu machen.

Die ökologische Bewertung wird demnach im vorliegenden Branchengutachten nicht abschließend durchgeführt. Vielmehr sind hier diejenigen Informationen zusammengestellt, die auf allgemeiner Ebene zu diesem Themenkomplex erhoben werden können. Diese werden von den Gutachtern bei der Erstellung von Einzelgutachten im Rahmen des Beratungsprogramms genutzt, um unter Berücksichtigung der individuellen Rahmenbedingungen des untersuchten Betriebs eine vergleichende ökologische Beurteilung der im konkreten Fall bestehenden Verfahrensalternativen zu treffen. Gleichermaßen können und sollen diese Informationen von den Lesern des Branchengutachtens genutzt werden, um - ebenfalls unter Berücksichtigung des Rahmenbedingungen im konkreten Einzelfall - eine ökologische Bewertung der bestehenden Verfahrensalternativen zu treffen. Im folgenden wird die im Beratungsprogramm angewandte Vorgehensweise der Bewertung näher erläutert.

Die Vorgehensweise im Beratungsprogramm orientiert sich an den beiden Begriffen **Schadlosigkeit** und **zusätzliche ökologische Kriterien**. Während die Schadlosigkeit notwendige Voraussetzung für die Zulässigkeit einer Verwertungsmaßnahme bei genehmigungsbedürftigen Anlagen nach BImSchG ist, sollen die zusätzlichen ökologischen Kriterien die Einschätzung der Zukunftssicherheit eines Verfahrens unter ökologischen Aspekten

[1] Die Abgrenzung Vermeidung/Verwertung wird im Rahmen des Beratungsprogramms wie folgt getroffen: als Vermeidung werden neben dem ganzen oder teilweisen Wegfall von abfallverursachenden Verfahrensschritten Maßnahmen der Stoffsubstitution, der Produktionsumstellung und des direkten Wiedereinsatzes von Stoffen im Ausgangsprozeß ohne irgendwelche Aufbereitungsmaßnahmen bezeichnet. Sonstige Verfahren (d.h. auch innerbetriebliche und anlageninterne Aufbereitungsmaßnahmen) werden als Verwertung eingestuft.

ermöglichen, insbesondere wird mit der Berücksichtigung der zusätzlichen ökologischen Kriterien bereits wesentlichen Anforderungen des Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetzes (KrW-/AbfG) entsprochen.

1.2.2 Schadlosigkeit

Die Schadlosigkeit einer Verwertung wird in den Bestimmungen des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (BImSchG) und des Kreislaufwirtschaftsgesetzes (KrW-/AbfG) gefordert. Der Begriff „schadlos“ im Sinne von § 5 Abs. 1 Nr. 3 BImSchG ist in einer Auslegung des Unterausschusses „Recht“ des Länderausschusses für Immissionsschutz (LAI) konkretisiert (zitiert in: Niederschrift über die 82. Sitzung des LAI vom 12.-14.10.92 in Potsdam, S. 238). Nach Inkrafttreten des KrW-/AbfG ist die gesetzliche Definition des Begriffs „schadlos“ in § 5 Abs. 3 Satz 3 KrW-/AbfG zu beachten. Danach muß die Verwertung gemeinwohlverträglich sein und es darf insbesondere keine Anreicherung von Schadstoffen im Wertstoffkreislauf erfolgen (vgl. Ausführungen weiter unten zu den zusätzlichen ökologischen Kriterien).

Im Rahmen des Beratungsprogramms wird die Schadlosigkeit in Anlehnung an den oben genannten Ausführungen des LAI wie folgt geprüft:

- Von der Schadlosigkeit eines vorgesehenen Verwertungsverfahrens ist in der Regel dann auszugehen, wenn das Verfahren in einer planfestgestellten oder einer nach dem BImSchG zugelassenen Anlage erfolgt.
- Im übrigen erklärt sich die Schadlosigkeit über die Umweltverträglichkeit der Verwertungsart (die Verwertungsart umfaßt sowohl die vorgesehene Verwendung des Verwertungsproduktes als auch das Verfahren zu seiner Herstellung). Diese wird in einer vergleichenden Betrachtung (siehe unten: relative Schadlosigkeit) überprüft.

Die Information, ob ein Verwertungsverfahren in einer nach dem BImSchG genehmigten oder planfestgestellten Anlage erfolgt, findet sich im Kapitel 5 des vorliegenden Branchengutachtens.

Sofern die Verwertung nicht oder nicht immer in einer entsprechend zugelassenen Anlage erfolgt, so wird von den Gutachtern die **relative Schadlosigkeit** einer Verwertungsart in Bezug auf

- mögliche Vermeidungsmaßnahmen
- mögliche andere Verwertungsmaßnahmen
- notwendige Abfallbeseitigungsmaßnahmen

geprüft. Die Prüfung soll erfolgen, indem für die möglichen Verwertungsverfahren die Vor- und Nachteile in Bezug auf die verschiedenen Umweltmedien dargestellt werden. Berücksichtigt werden sollen dabei entsprechend den Ausführungen des LAI nur "vernünftigerweise zu betrachtende Auswirkungen".

Es ist also ein Vergleich eines Verwertungsverfahrens durchzuführen mit möglichen anderen Verwertungsverfahren, aber auch mit Vermeidungsmaßnahmen und mit der ansonsten infrage kommenden Beseitigung. Als zu berücksichtigende Umweltauswirkungen wurden im Rahmen des Beratungsprogramms definiert Emissionen (Abluft, Abwasser und Abfall) sowie Energieverbrauch.

In Kapitel 4 sind für die in der TA Abfall aufgeführten Beseitigungsverfahren stichpunktartig die Umweltauswirkungen angegeben. Diese Informationen stellen keine selbständige Bewertung möglicher Umweltauswirkungen einzelner Beseitigungsverfahren dar, sondern sollen die Basis liefern, um einen Vergleich der Verwertungsverfahren mit der Beseitigung durchführen zu können.

In Kapitel 5 werden für sämtliche Vermeidungs- und Verwertungsverfahren (incl. ihrer Verwertungsprodukte) die jeweiligen relevanten Belastungspfade in die Umweltmedien benannt und die hierzu vorliegenden Daten und Informationen dokumentiert; dies erfolgt strukturiert in analoger Weise wie die Darstellung der Umweltauswirkungen der Beseitigungsverfahren in Kapitel 4. Die Informationen können nur in Ausnahmefällen abschließend sein; im Regelfall geben sie dem Nutzer des Branchengutachtens Hinweise darauf, was im Einzelfall relevant sein kann bzw. zu prüfen ist.

Aufbauend auf diesen Informationen kann im Einzelfall der Vergleich eines Verwertungsverfahrens mit den technischen Alternativen (Vermeidung, andere Verwertungsverfahren, Beseitigung) geführt werden. Für die Behörden wird dadurch die Beurteilung der relativen Schadlosigkeit und damit der Zulässigkeit eines Verwertungsverfahrens erleichtert.

1.2.3 Zusätzliche ökologische Beurteilungskriterien

Die im Rahmen des Beratungsprogramms versuchsweise angewandten zusätzlichen ökologischen Beurteilungskriterien wurden aus der Studie "Bericht über die Auswirkungen der Abfallabgabe in Baden-Württemberg" (Öko-Institut e.V, Darmstadt, Januar 1994), die 1993 im Auftrag des Umweltministeriums Baden-Württemberg angefertigt wurde, übernommen und für die Zwecke des Beratungsprogramms angepaßt.

Einige der unten aufgeführten Kriterien werden mit Inkrafttreten des Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetzes (KrW-/AbfG) am 7.10.1996 rechtsverbindlich. Es sind dies die Anreicherung von Schadstoffen (vgl. § 5 Abs. 3 Satz 3 KrW-/AbfG), die Vermischung unterschiedlicher Abfälle (vgl. § 5 Abs. 2 Satz 4 KrW-/AbfG) und das Prinzip der hochwertigen Verwertung (vgl. § 5 Abs. 2 Satz 3 KrW-/AbfG). Die übrigen Kriterien sind rechtlich nicht verbindlich. Bereits vor Inkrafttreten des KrW-/AbfG bestehen gesetzliche Regelungen über das Vermischungsverbot nach § 2 HKWAbfV, § 4 Altölverordnung und §§ 1a Abs. 2, 3 Abs. 2 Satz 3 AbfG i.V.m. Nr. 4.2 und 4.3 TA Abfall, § 4 Abs. 5 AbfG i.V.m. Nr. 4.2 und 4.4 TA Abfall sowie Nr. 3.5.1 Satz 3 der VwV zu § 5 Abs. 1 Satz 3 BImSchG vom 04.11.1989.

Im Rahmen des Beratungsprogramms werden die zusätzlichen ökologischen Kriterien nach folgenden Vorgaben geprüft:

- Anreicherung von Schadstoffen
  Bei Kreislaufführung von Stoffen darf keine Anreicherung von Schadstoffen erfolgen. Produkte aus der Verwertung dürfen keine höheren Schadstoffkonzentrationen aufweisen als Produkte aus Neumaterialien.

- Verdünnung von Schadstoffen
  Schadstoffe dürfen durch das Verwertungsverfahren nicht in anderen Medien gestreckt bzw. verdünnt werden.

- Vermischung unterschiedlicher Abfälle
  Zu verwertende Stoffe dürfen nur dann vermischt werden, wenn dadurch eine Verwertung entsprechend den Anforderungen von §§ 4 und 5 KrW-/AbfG uneingeschränkt möglich bleibt. Eine Vermischung zum Zweck der energetischen Verwertung ist nur zulässig, wenn der Heizwert jedes einzelnen Abfalls einen Heizwert von mindestens 11 000 kJ/kg aufweist (§ 6 Abs. 2 Nr. 1 KrW-/AbfG).

- Prinzip der hochwertigen Verwertung

Der Abfall soll nach Möglichkeit so aufbereitet werden, daß die gewonnenen Stoffe möglichst hohen Anforderungen an die Materialeigenschaften gerecht werden.

- Prinzip der Transportminimierung

  Zur Vermeidung von Verkehrserzeugung soll die Verwertung möglichst in räumlicher Nähe (am besten am Ort des Abfallanfalles) erfolgen.

Im Rahmen des Branchengutachtens befinden sich Informationen zu diesen Kriterien in Kapitel 5 zu allen dort genannten Verwertungsverfahren. Eine konkrete Bewertung erfolgt erst unter den Rahmenbedingungen des Einzelfalls. Zu beachten ist, daß die zusätzlichen ökologischen Kriterien für jedes Verwertungsverfahren einzeln abgeprüft werden, es handelt sich hier also nicht um eine vergleichende Beurteilung wie im Falle der Schadlosigkeit.

1.2.4 Fazit

Ziel des Beratungsprogramms ist, Maßnahmenempfehlungen für die untersuchten Betriebe aufgrund einer Gesamtbeurteilung von Verfahren abzuleiten. Zu dieser Gesamtbeurteilung gehören technische, wirtschaftliche und ökologische Kriterien. Die Ableitung der ökologischen Kriterien, die im Rahmen des Beratungsprogramms angewendet werden, wurde in den vorstehenden Abschnitten nachvollziehbar dargestellt.

2 Grundlagen der Gießverfahren

2.1 Übersicht der Verfahrensschritte

Metalle werden durch Gießen in einem Arbeitsgang weitgehend gestaltungsfrei zu isotropen Werkstücken geformt. Hierbei bildet die Metallschmelze den Hohlraum einer Form ab, welche aus verfestigtem Formstoff hergestellt wird; NE-Metalle werden auch in metallische Dauerformen (Kokillen) gegossen, wobei allerdings die Innenkonturen der Werkstücke meistens mit verfestigtem Formstoff (Kernen) ausgeformt werden.

Wegen der hohen Gießtemperaturen der Metalle können Dauerformen (Kokillen) nur bei einfacher Gestalt der Gußteile und Großserien wirtschaftlich eingesetzt werden, so daß Sandguß mit verlorenen Formen häufiger anzutreffen ist. Eisen- und NE-Metallguß wird aus Altstoffen (Schrott) hergestellt, ist dauerhaft und kann nach Gebrauch ohne Qualitätseinbußen wiederverwendet werden; ein funktionierendes Erfassungssystem für Altmaterial ist seit Jahren vorhanden.

Ein zentraler Fertigungsschritt bei Sandguß ist die Formherstellung durch physikalisches oder chemisches Verfestigen des Formstoffs. Dies erfolgt bei Serienguß auf Formautomaten mit Transportsystemen für Formstoff, Formen und Guß (**Bild 2.1**). Angeschlossen sind Anlagen zum Rückgewinnen und Aufbereiten des Formstoffs, der wiederverwendet wird. Formen für Einzelstücke und Kleinserien werden auf Formmaschinen und durch chemische Aushärtung gefertigt. Formteile für Innenkonturen (Kerne) werden meistens durch Verfestigen harzgebundener Kernsande hergestellt.

Vorgeschaltet sind das Schmelzen und die Bereitstellung der Schmelze zum Gießen. Das erkaltete Werkstück wird gestrahlt und, wenn erforderlich, durch Schleifen gesäubert (**Bild 2.1**). Bearbeitungsschritte wie Bohren oder Spanen sowie das Aufbringen eines Oberflächenschutzes gehören nicht mehr zum üblichen Fertigungsumfang der Gießerei; sie sind jedoch in vielen Betrieben anzutreffen.

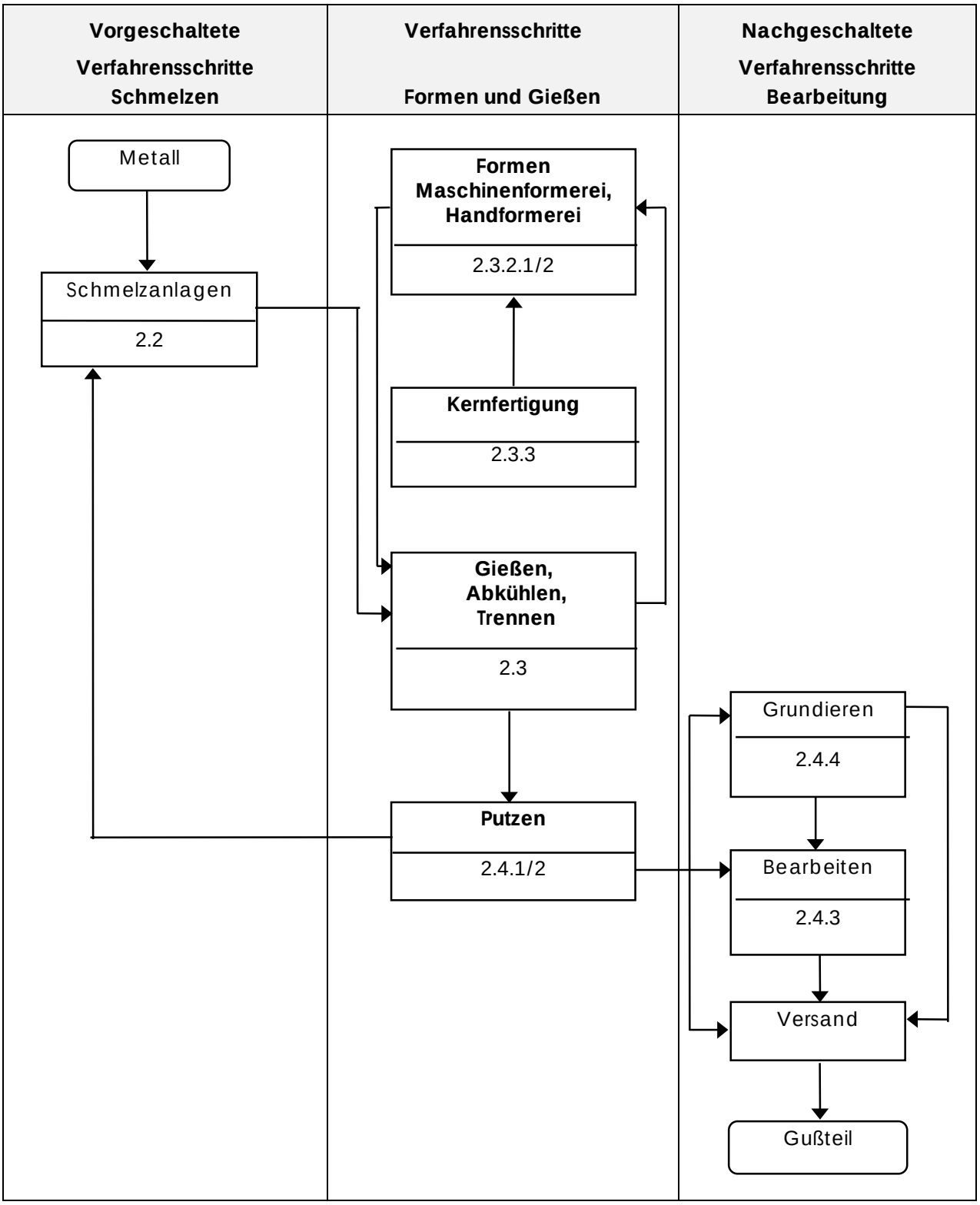


Bild 2.1: Übersicht der Verfahrensschritte

Trotz innerbetrieblicher Metall- und Formsandkreisläufe fallen in Gießereien erhebliche Mengen Restsande sowie Stäube und Schlacken an, die extern verwertet oder als Abfälle deponiert werden.

Für den Abfall letztlich verantwortliche Form- und Gießverfahren sowie deren Alternativen sind in den folgenden Kapiteln ausführlich beschrieben. Die Anwendungsbereiche der einzelnen Verfahren ergeben sich aus Werkstoff und Komplexität der Gußstücke sowie wirtschaftlichen Kriterien wie Losgröße und Produktvielfalt bei der Fertigung. Hierzu gehören auch Besonderheiten der Betriebsgröße vom handwerklich geführten Kleinbetrieb bis zur großindustriellen Fertigung.

Bei den Verfahrensschritten Schmelzen und Bearbeiten fallen deutlich weniger Abfälle an, die zudem weitgehend verwertet werden können. Diese vor- und nachgeschalteten Verfahrensschritte werden deshalb nur kurz dargestellt.

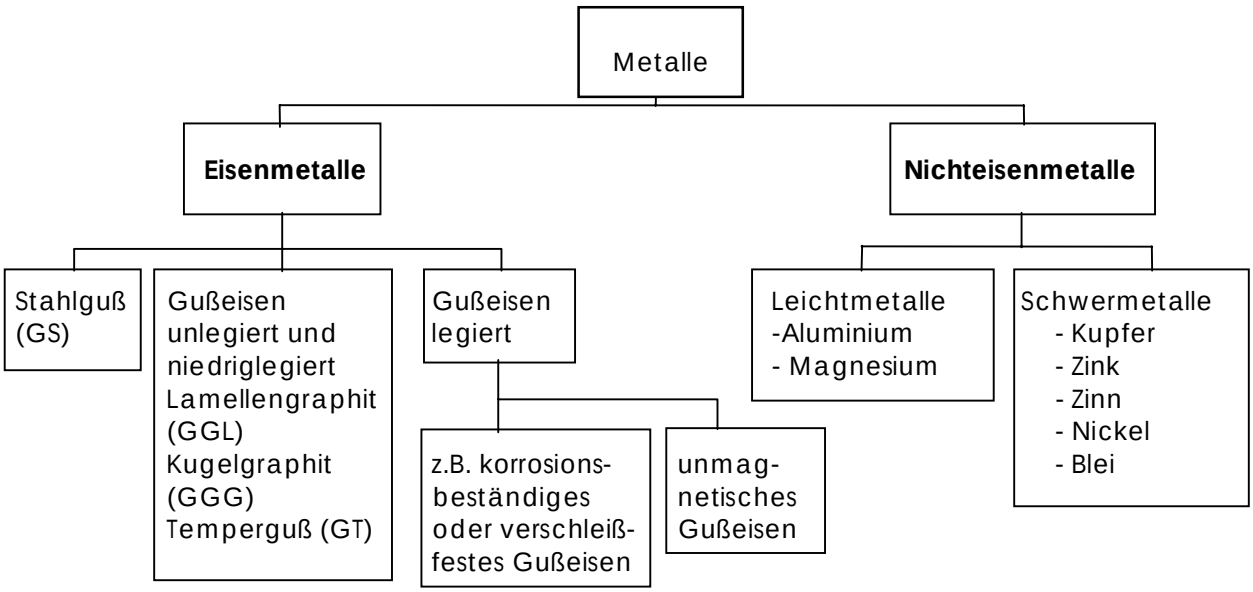
2.2 Vorgeschaltete Verfahrensschritte

Schmelzen und Schmelzbehandlung

Zur Gußproduktion gehört das Schmelzen der metallischen Werkstoffe in brennstoff- oder elektrisch beheizten Öfen (**Bild 2.2**). Aluminiumgießereien können auch flüssiges Aluminium bei Schmelzwerken beziehen. Diese liefern auch als Blockmaterial fertige Legierungen für NE-Metallguß, während Eisengußwerkstoffe direkt aus definierten Altstoffen erschmolzen werden.

Der größte Teil des Gußeisens wird in Kupolöfen mit Koks als Brennstoff erschmolzen [E. Hofmann 1994]. Kupolöfen sind sehr robuste Schmelzanlagen, welche auch bei weniger gut definiertem Einsatzmaterial und Staubrückführung eine gleichmäßige Schmelze liefern. In kleineren und mittleren Gießereien werden Kaltwindkupolöfen oder Sekundärwindkupolöfen betrieben, in größeren Gießereien Heißwindkupolöfen [Hery 1980].

Elektrisch beheizte Tiegelöfen erfordern definierte Einsatzprodukte und eine umfangreichere analytische Überwachung des Schmelzergebnisses. Sie sind besonders geeignet zur Herstellung hochwertiger Eisensorten [Neumann 1994]. In den letzten Jahren wurden mit Netzfrequenz arbeitende Induktionsöfen durch Mittelfrequenz-Induktionsöfen abgelöst, in denen mit höherer Leistung wirtschaftlicher geschmolzen werden kann [M. Hofmann 1994].



Schmelzöfen	
Mit Sekundärenergie betriebene Öfen	Mit Primärenergie betriebene Öfen
- Induktionstiegelöfen - Rinneninduktionsöfen - Widerstandsbeheizte Öfen	- Tiegelöfen - Herdöfen - Drehtrommelöfen - Schachtöfen (Kupolöfen)

Bild 2.2: Übersicht der wichtigsten Metallgruppen sowie der wesentlichen Schmelzöfen

In kleineren Gießereien wird Gußeisen auch in öl- oder gasbeheizten Drehtrommelöfen geschmolzen, die bei stark wechselndem Werkstoffprogramm und bei kleinen Losgrößen wirtschaftliche und technische Vorteile bieten. Neuere Anlagen sind mit Sauerstoffbrennern ausgerüstet [Bautz 1987].

Auch Aluminium wird hauptsächlich in brennstoffbeheizten Öfen erschmolzen [Wenk 1994]. Kleinere Gießereien verwenden Tiegelöfen mit fest eingebautem oder herausnehmbarem Tiegel, mit dem gleichzeitig gegossen werden kann. In größeren Betrieben sind Kupolöfen und Wannenöfen im Einsatz. Zunehmend werden auch elektrisch beheizte Schmelzöfen mit induktiver oder konduktiver (widerstandsbeheizter) Beheizung betrieben. Kupferwerkstoffe werden hauptsächlich in elektrisch beheizten Öfen erschmolzen, da hier höhere Temperaturen als bei Aluminium erforderlich sind.

Manche Schmelzen bedürfen zur Einstellung bestimmter Werkstoffeigenschaften einer Schmelzbehandlung. Beispiele hierfür sind die Magnesiumbehandlung von Gußeisenschmelzen zu duktilem Gußeisen (Gußeisen mit Kugelgraphit) oder das Entgasen von Aluminiumschmelzen im Vakuum oder mittels Spülgas verbunden mit Rühren.

Desoxidieren oder Impfen der Schmelze vor dem Gießen dient einer letzten Reinigung und fördert die Erstarrung zu den geforderten Werkstoffeigenschaften.

2.3 Produktionsverfahren Formen und Gießen

Die Formgebung durch Gießen nimmt unter den Urformverfahren aufgrund der nahezu unbegrenzten Gestaltungsmöglichkeit, der großen Werkstoffvielfalt, des weiten Werkstückgewichtsbereiches und der wirtschaftlichen Fertigung eine herausragende Stellung ein [Fritz 1985].

Bei der Herstellung gegossener Konstruktionsteile werden Gußwerkstoffe durch Füllen einer Form direkt vom formlosen flüssigen Zustand in ein Gußstück mit definierter Gestalt und bestimmten Werkstückeigenschaften überführt.

Die Besonderheit der Formgebung durch Gießen gegenüber anderen Formgebungsverfahren wie z.B. dem Umformen, Fügen oder Spanen besteht vor allem darin, daß das zu fertigende Werkstück unmittelbar aus dem schmelzflüssigen Zustand in seine nahezu endgültige Gestalt übergeht. Die Formgebung durch Gießen ist sowohl bei Einzelteilen als auch bei Großserien einfacher sowie komplizierter Gußstücke im Gewichtsbereich von einem Gramm bis zu mehreren 100 Tonnen wirtschaftlich möglich.

Voraussetzung für die Gußteilherstellung ist das Vorhandensein einer Form. Diese enthält das zukünftige Gußteil als Hohlraum und kann als das Negativ des Gußteils bezeichnet werden [Roller 1990].

Als Gießformen kommen sowohl "verlorene Formen" als auch "Dauerformen" zum Einsatz (**Bild 2.3**). Der überwiegende Anteil von Eisenguß und etwa 30% der Kupfergußlegierungen werden in Sandformen gegossen, die in der Maschinen- oder Handformerei hergestellt werden. Nach dem Abguß werden diese Formen zerstört (verlorene Formen). Gießverfahren mit Dauerformen, wie z.B. Kokillen- und Druckguß, können in Eisengießereien nur für spezielle Anwendungen eingesetzt werden. NE-Leichtmetalle hingegen werden zu 85% in wieder-

verwendbare Dauerformen gegossen, die zur Erzeugung von Hohlräumen Sandkerne enthalten können (Kokillenguß) [ABAG 1992]. Ob Gußstücke in verlorene Formen oder in Dauerformen gegossen werden, richtet sich nach der erforderlichen Stückzahl, der Gußstückgröße und dem verwendeten Gußwerkstoff. Das Gießen in Dauerformen ist aufgrund der hohen Werkzeugkosten in der Regel nur bei Großserien üblich.

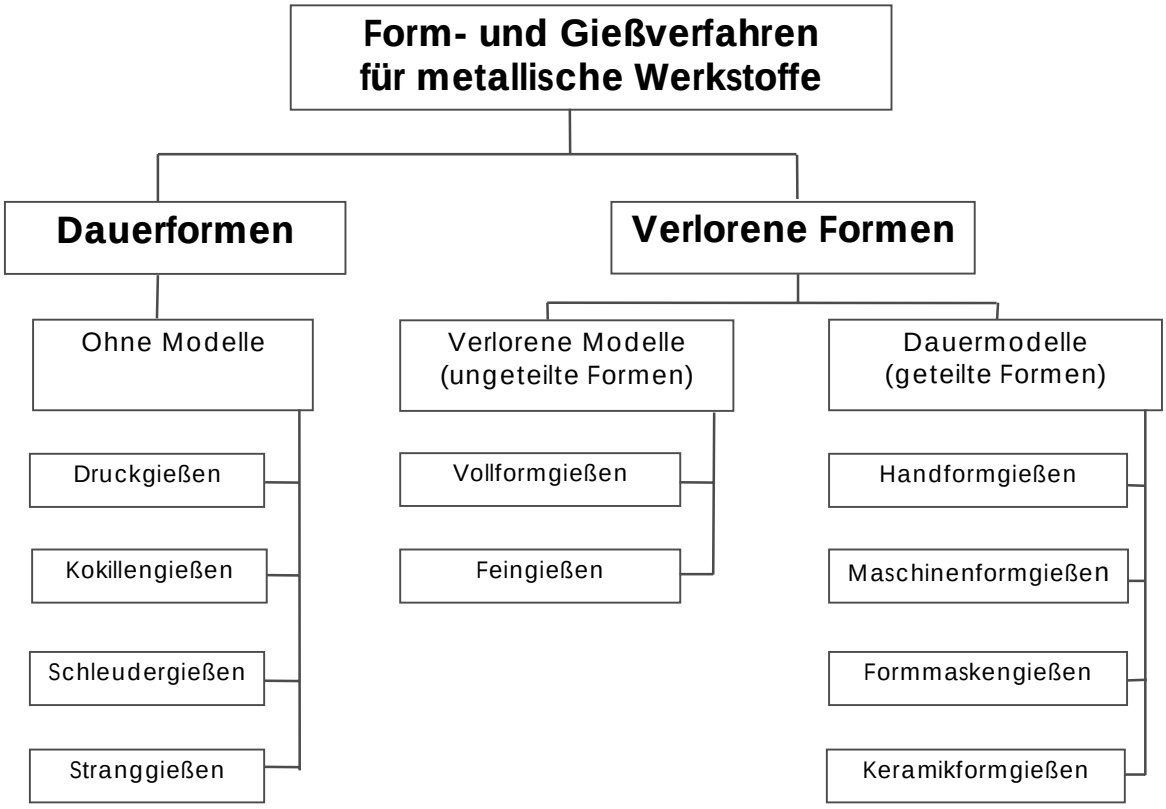


Bild 2.3: Einteilung der Form- und Gießverfahren [N. N. 1983]

2.3.1 Anwendungsbereiche der Form- und Gießverfahren

Das Gieß- und Formverfahren ist in der Regel nicht frei wählbar, sondern hängt von der Gußstückgestalt und dem zu vergießenden Werkstoff ab.

Die Zuordnung zu den in **Tabelle 2.1** dargestellten Formgebungsverfahren ist bedingt durch:

- Maßgenauigkeit
- Oberflächengüte
- Wandstärke
- Stückzahl
- Stückgewicht
- Abmessungen
- Kompliziertheit der Gestalt und
- Änderungsmöglichkeiten der Modelleinrichtung

Verfahren	Naßguß	Handformen nach dem Kaltharz-Verfahren	Feingießen	Vollform-gießen	Kokillen-gießen	Druckgießen	Schleuder-gießen	Stranggießen
Kapitel	2.3.2.1	2.3.2.2	2.3.3.1	2.3.3.2	2.3.4.1	2.3.4.2	2.3.4.3	2.3.4.4
vergießbare Werkstoffe	alle Metalle	alle Metalle	alle Guß-werkstoffe	Gußeisen, Stahlguß	Leichtmetall e, Kupferlegie-rungen, GGL, GGG	Legierungen auf Al-, Mg-, Zn-, Cu-, Sn- oder Pb- Basis	GGL, GGG, Stahlguß, Leichtmetall- und Kupfer-legierungen	GGL, GGG, Stahlguß, Kupfer- und Aluminium-legierungen
Gußstück-gewicht	bis 500 kg[1)] keine Be-schränkung[2)]	keine Be-schränkung (Transport-grenze)	0,5 g bis 30 kg	keine Be-schränkung (Transport-grenze)	bis 100 kg	Begrenzt durch die Größe der Druck-gießmaschine	5 g bis 5000 kg	abhängig vom Querschnitt bis zu mehreren Tonnen
Seriengröße	kleine bis große Serien[1)] Einzelteile, kleine Serien[2)]	Einzelteile, kleine Serien[2)]	kleine bis große Serien	Einzelfertig ung kleine Serien	große Serien; Haltbarkeit der Kokille ca. 100 000 Abgüsse	große Serien; Haltbarkeit der Kokille ca. 10 000 bis 500 000 Abgüs-se je nach Material	große Serien; Haltbarkeit der Kokille ca. 5 000 bis 100 000 Stk.	Länge des Gießstrangs ist maschinen-abhängig
Werkstück-form	Rohteil (Nachbear-beitung erfor-derlich)	Rohteil (Nachbear-beitung erfor-derlich)	Fertigteil	Fertigteil	Rohteil (Nachbear-beitung erfor-derlich)	Fertigteil	Rohteile und Fertigteile	Halbzeuge (z.B. Profile)

1) Maschinenformerei

2) Handformerei, Transporteinrichtungen und SchmelzkapazitŠt bestimmen die obere Grenze

Tabelle 2.1: Anwendungsbereiche der Form- und Gießverfahren

2.3.2 Gießen in verlorene Formen

Alle Einzelgußstücke und der größere Teil der Seriengußstücke werden wegen der vergleichsweise niedrigen Kosten und der hohen Flexibilität in der Produktion nach diesen Verfahren gefertigt.

Für verlorene Formen werden im allgemeinen Formstoffe verwendet, die aus einem feuerfesten, körnigen Grundstoff bestehen. Bei diesem Formgrundstoff handelt es sich meist um Sand. Der Zusammenhalt der Körner wird bei den meisten Formstoffen durch einen verhältnismäßig geringen Anteil an Bindemitteln bewirkt. Darüber hinaus beigemengte Zusatzstoffe sollen bestimmte Eigenschaftsverbesserungen des Formstoffes erbringen und die Gußoberflächenqualität steigern (**Bild 2.4**) [Roller 1990, Bindernagel 1983].

Formgrundstoffe + **Formstoffbindemitte** + **Formstoffzusatzstoff** = **Formstoff**

- Quarzsand
- Olivinsand
- Chromitsand
- Zirkonsand
- Schamotte

1. Silikate
   - Tone
   - Zement
   - Wasserglas
2. Kunstharze:
   - Kondensationsharze
     Phenolharz
     Furanharz
   - Reaktionsharze
     Urethanreaktanten
3. Sonstige
   - Kohlenhydrate
   - Öle

- Bitumen
- Kohlenstaub
- Eisenoxid
- Torfmehl
- Holzmehl
- Glykol
- Borsäure
- Schwefel u. a.

Bild 2.4: Grundsätzlicher Aufbau der Formstoffe [Roller 1990]

Zur Form- und Kernsandherstellung finden Quarz-, Chromit-, Olivin- und Zirkonsande Anwendung. Dem Quarzsand kommt hierbei die größte Bedeutung zu. Die anderen Sande werden nur in den Fällen eingesetzt, in denen ihre spezifischen Vorteile (z.B. höhere Sintertemperatur, geringere Ausdehnung, bessere Wärmeleitfähigkeit) erforderlich sind. So wird Chromitsand vor allem bei der Herstellung von Stahlguß in thermisch hoch belasteten Bereichen der Formen oder Kerne verwendet [PROGNOS 1993].

Bindemittel sind Stoffe organischer oder anorganischer Natur. Durch Mischen des Bindemittels mit dem Formgrundstoff entsteht der Formstoff. Hauptaufgabe des Bindemittels ist es, den Formstoff zu einer Form zu verfestigen.

Tabelle 2.2 zeigt eine Übersicht der Verfahren zur Form- und Kernherstellung mit verlorenen Formen gegliedert nach Art der Formstoffbindung, die mechanischer, chemischer oder physikalischer Natur sein kann. Die mechanische Bindung wird bei den bentonitgebundenen Formstoffen - auch Naßgußsande genannt - durch Verdichten, z.B. Rütteln, Pressen oder Impulsverdichtung erreicht.

Verfahren	mechanische Verfahren	chemische Verfahren zur Form- und Kernherstellung				physikalische Verfahren
Prinzip	Zuführen von Verdichtungs-arbeit	kalthärtend in der Form oder Kernbüchse		heißhärtend in der Form oder Kernbüchse		Magnetfeld, Vakuum
Formstoff-beschaffen-heit	formgerecht, feucht	formgerecht, feucht	formgerecht, feucht	trocken und rieselfähig	formgerecht, feucht	trocken und rieselfähig
Formstoffe bzw. Verfahren	synthetischer Bentonitsand, Natursand, Schamotte, Ton, Lehm, Mergel	Zementsand, Polyphosphat, Magnesia, Gips und Sand, Kaltharz-Ver-fahren, Pep-Set-Verfahren	Wasserglas-, PUR-Cold-Box-, Methylformiat- und SO_2-Epoxid-Verfahren	Croning-Verfahren	Hot-Box-Verfahren	Magnetform-Verfahren und Vakuumform-Verfahren
nähere Be-schreibung	Seite 19	Seite 25, 26, 33	Seite 25, 32, 33	Seite 25, 34	Seite 33	-----

Tabelle 2.2: Verfahren zur Form- und Kernherstellung, geordnet und ausgewählt nach der Bindung des Formstoffsystems im formbaren Zustand [Fritz 1985]

2.3.2.1 Verfahren mit anorganisch gebundenen Formstoffen

Als Bindemittel zur Herstellung verlorener Formen aus anorganisch gebundenen Formstoffen finden

- Tone (z.B. Bentonit, Kaolinit, Glaukonit und Illit),
- Wasserglas und
- Zement

Anwendung.

Das wichtigste anorganische Bindemittel für Formstoffe ist der Bindeton. Die Vorteile der **tongebundenen Formstoffe** sind in erster Linie auf die Wirtschaftlichkeit und die hohe Wiederverwendbarkeit im Gießprozeß zurückzuführen. Sie eignen sich jedoch nicht zum Ausformen komplizierter Innenkonturen durch sogenannte Kerne, die mit chemisch aushärtenden Bindemitteln verfestigt werden (2.3.3).

Natürliche, tonhaltige Sande enthalten je nach Lagerstätte Anteile eines geeigneten Bindetons, der ihnen Plastizität und Formbarkeit verleiht. Die Ungleichmäßigkeit und die dadurch bedingten schlechten Steuerungsmöglichkeiten der Eigenschaften dieser Natursande führten zur Entwicklung synthetischer Formstoffe. Diese bestehen aus den Grundelementen Quarzsand, Ton und Wasser, die durch die Aufbereitung zu einer plastischen Masse vermischt werden [Hofmann 1975].

Tone sind natürliche, glimmerartig aufgebaute Schichtsilikat-Mineralien in Form sehr kleiner, blättchenförmiger Partikel von meist weniger als 2 µm Durchmesser. Als Bindetone für die Gießereiindustrie werden Kaolinite, Bentonite, Illite und damit verwandte Tonmineralien eingesetzt, wobei den Bentoniten die größte Bedeutung zukommt. Die Haupteigenschaften der Bentonite, z.B. große spezifische Oberfläche, ein hohes Adsorptionsvermögen, leichte Suspendierbarkeit, hohe Quellfähigkeit und hohes Bindevermögen, führen zu einer breiten industriellen Anwendung. Durch den Zusatz von Wasser quillt der Bentonit und entwickelt Klebkräfte, die bei Zuführung von mechanischer Verdichtungsarbeit zu einer Verfestigung des feuchten Formstoffes führen.

Der Fertigungsprozeß zur Herstellung verlorener Formen aus bentonitgebundenem Formstoff verläuft im wesentlichen in folgenden Etappen:

- Formfertigung durch Verdichtung des Formstoffs,
- Formteilmanipulationen zur Herstellung einer abgußfähigen Gießform (Transport, Wenden, Kerneinlegen, Formzusammenbau, Beschweren u. a.),
- Abgießen der Form, Erstarren und Abkühlen des Gußstückes,
- Trennen des Gußteils vom Formstoff; Nachbehandlung des Gußteils,
- Aufbereitung des "Altformstoffes" mit Formgrundstoff, Bentonit, Wasser und u. U. Formstoffzusätzen in geeigneten Aufbereitungsaggregaten zu einem feuchten, plastischen und formbaren Formstoff und Wiedereinsatz bei der Formstoffaufbereitung.

Im Fertigungsprozeß wird die anfallende Menge von Gießereirestsand und Staub durch die Art der Aufbereitung, den Kernsandzulauf und die Kreislaufführung des Formstoffes bestimmt.

Formstoffaufbereitung

Die Formstoffaufbereitung steht im Zentrum des Formstoffkreislaufes. Aufgabe der Aufbereitung ist es, der Formmaschine die benötigte Formstoffmenge mit der erforderlichen Qualität zur Verfügung zu stellen. Die hier eingestellten Formstoffeigenschaften müssen den in den nachfolgenden Prozeßschritten auftretenden Beanspruchungen angepaßt sein. Aufgabe der Aufbereitung ist die Homogenisierung der Komponenten, die Dispergierung der Tonmineralien, die Umhüllung der Sandkörner mit Bentonit oder Ton und die Auflockerung des Formstoffes.

Formfertigung

Ziel der Formherstellung ist die Verfestigung des Formstoffs durch geeignete Verdichtungsverfahren zu ausreichend stabilen und maßgenauen Formen. Das wichtigste Verfahren für die Gußstückfertigung in mittleren Serien bis Großserien nach verlorenen Formen ist der Maschinenformguß. Die Arbeitsgänge in der Maschinenformerei laufen folgendermaßen ab:

- Verdichten des Formstoffs im Unterkasten,
- Abheben und Wenden des Unterkastens,
- Verdichten des Formstoffs im Oberkasten,
- Abheben des Oberkastens,
- Kerneinlegen von Hand in den Unterkasten,
- Zulegen, Beschweren und Abgießen,
- Abkühlen der Gußstücke,
- Auspacken.

Das Maschinenformen kann mit unterschiedlichem Mechanisierungsgrad bis zur vollautomatischen Form- und Gießanlage ausgebaut werden.

Das Naßgußverfahren genügt in seinen Formeigenschaften den Ansprüchen vieler Anwendungsgebiete (Stückzahl, Maßgenauigkeit, Oberflächenbeschaffenheit, Wanddicke, Gußgewicht und Gußteilgestalt). Durch moderne Verdichtungsverfahren für Naßgußsande (z.B. Luftstrom-Pressen, Gasdruck-Impuls-Verdichtung, Hochdruck-Pressen) konnte die Maßhaltigkeit der Gußteile in den letzten Jahren erheblich verbessert werden.

Bild 2.5 zeigt die wichtigsten Verdichtungsverfahren und Verfahrenskombinationen für bentonitgebundene Formstoffe [Flemming 1993].

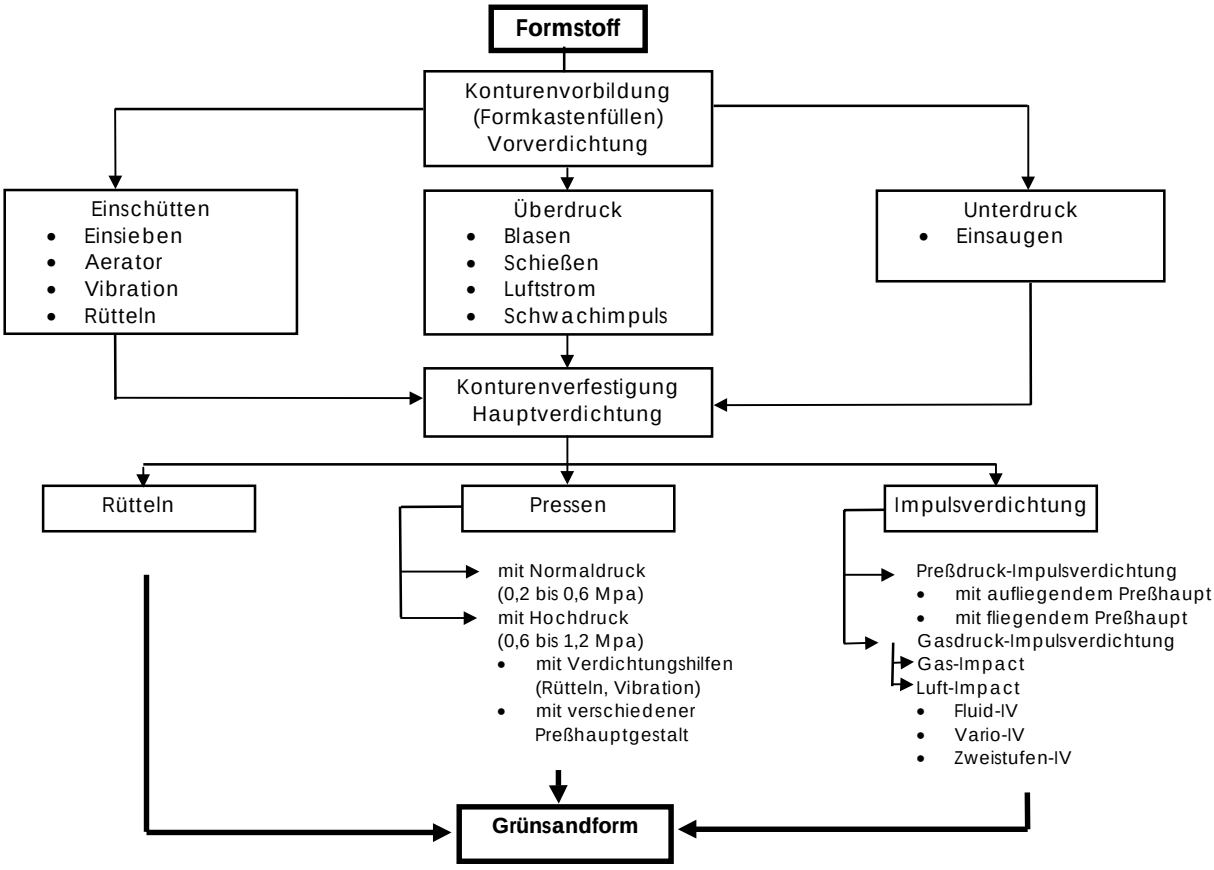


Bild 2.5: Überblick über die wichtigsten Verdichtungsverfahren und Verfahrenskombinationen [Flemming 1993]

Formteilmanipulationen und Abgießen der Form

In der Regel bestehen die gießfertigen Formen aus Ober- und Unterkasten. Zur Erzeugung von Hohlräumen werden Kerne aus harzgebundenen Formstoffen eingelegt. Für die Herstellung einer abgußfähigen Form müssen die Formhälften transportiert, der Oberkasten gewendet und ggf. Kerne eingelegt werden. Anschließend wird die Form zugelegt und abgegossen. Nach dem Abkühlen des Gußstückes in der Form wird das Gußteil vom Formstoff getrennt und nachbehandelt.

Rückgewinnung

Ein wesentlicher Vorteil des Naßgußverfahrens ist die Möglichkeit der nahezu vollständigen Rückgewinnung des im Umlauf befindlichen Formstoffs, welche die Führung eines geschlossenen Formstoffkreislaufes erlaubt (**Bild 2.6**). Über 95% des bentonitgebundenen Formstoffs werden zurückgeführt und wiederverwendet. Ursache für dieses günstige Verhalten ist die reversible Bindefähigkeit des Bentonitanteils, der unterhalb seiner Dehydratationstemperatur (Temperatur der Kristallwasserabgabe) thermisch belastet wurde. Nur der Bentonitanteil, der oberhalb dieser Temperatur von etwa 500°C thermisch beansprucht wurde, verliert sein Bindevermögen und ist totgebrannt. Der totgebrannte Bentonitanteil muß bei der Wiederaufbereitung ersetzt werden.

Darüber hinaus ist in der Regel aber auch zusätzlich Bentonit zum Binden des in den Formstoffkreislauf einlaufenden Kernrestsandes erforderlich. Hohlräume in Gußteilen werden bevorzugt durch sogenannte Kerne ausgeformt, die aus harzgebundenem Formstoff bestehen. Beim Abguß werden die organischen Binder der Kerne durch die Gießhitze teilweise vergast und teilweise verkokt. Dadurch ist der Kernsand beim Auspacken mehr oder weniger rieselfähig und gelangt beim Abtrennen der Gußteile auf Vibrationsrosten oder -rinnen in den bentonitgebundenen Formstoff.

Falls der in den Formstoffkreislauf gelangte Kernrestsand nicht ausreicht, um unvermeidbare Sandverluste aus dem System auszugleichen, muß Neusand direkt in den Kreislauf eingeführt und mit der erforderlichen Menge Bentonit versehen werden. Je mehr Kernsand und/oder Neusand in das System einfließen, desto mehr Überschußsand muß aus dem Kreislauf entfernt werden, damit die Formstoffmenge im Kreislauf der Gießerei konstant bleibt.

Verfahrensbedingt werden am und im Gußstück haftender Formstoff sowie abgesiebte Knollen aus dem Sandkreislauf ausgetragen.

Eine Auffrischung des Formstoffsystems mit Kernrestsand oder Neusand ist aber nicht nur zum Ausgleich der Verluste unabdingbar, sondern auch um Veränderungen des Formstoffs und seiner Zusammensetzung durch thermische und mechanische Beanspruchung sowie chemische Einflüsse zu kompensieren. Steigende Gehalte an totgebranntem Bentonit und zersplitterten Sandkörnern reichern sich im Formstoff an und beeinflussen die Qualität der Form und des Gußstückes negativ. Nur durch eine ausreichende Auffrischung kann eine gleichbleibende, hohe Gußqualität gewährleistet werden.

Diese formstoffbedingten Veränderungen im Kreislauf haben folgende Ursachen:

- Durch die **thermische Belastung** beim Abguß kommt es neben einer Austrocknung des Formstoffs zur Bildung irreversibler Verschleißprodukte, wie z.B. staubförmiger Totbentonit, Veraschung und Verkokung des Glanzkohlenstoffbildners sowie Quarzkornzersplitterung und zur Entstehung oolithischer Hüllen um das Quarzkorn. Unter Oolithisierung versteht man das Aufwachsen einer totgebrannten Bentonithülle auf dem Sandkorn.

- **Mechanische Beanspruchung** führt bei der Aufbereitung und Verdichtung des Formstoffs zu einer Verringerung der Korngröße, zu Veränderungen der Kornform und zur Erhöhung der Staubanteile. Dies hat einen vermehrten Binderverbrauch und Änderungen in der Gußstückqualität zur Folge.

- **Chemische Einflüsse** äußern sich in der Veränderung des Ionengehaltes und können zur Versalzung (Desaktivierung des Bentonits) und Übersäuerung des Umlaufformstoffes führen. Die beim Abguß entstehenden Pyrolyseprodukte lagern sich um die Bentonithülle an und verschlechtern deren Eigenschaften [Flemming 1993]. Dieser Effekt tritt neben der Oolithisierung auf.

Neben den beschriebenen, im Formstoff verbleibenden Zersetzungsprodukten sind aus dem Formstoff entweichende Gase (Gießgase) zu beachten, die hier nicht weiter betrachtet werden.

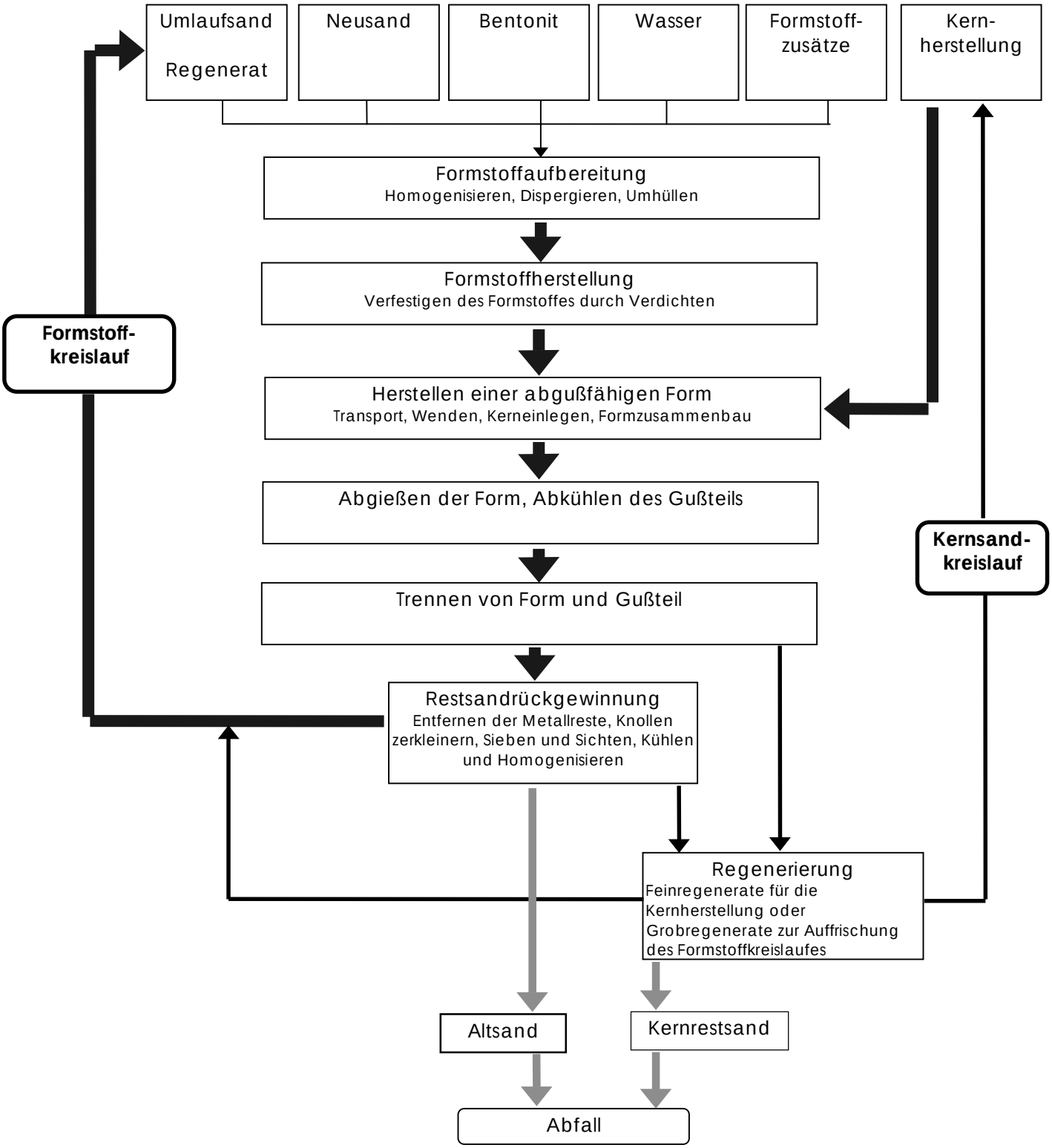


Bild 2.6: Schematische Darstellung des Formstoffkreislaufes im Naßgußverfahren

Das **Wasserglasverfahren** wird überwiegend zur Kernherstellung verwendet und nur in geringem Umfang zur Herstellung von Formen eingesetzt. Am häufigsten wird das Kohlensäure-Erstarrungsverfahren (CO_2-Verfahren) angewendet. Das Formteil wird aus einem Wasserglasbinder-Sand-Gemisch hergestellt und durch Begasen mit Kohlensäure ausgehärtet. Dabei wird das Wasserglas (Alkalisilikat) zu gelförmiger Kieselsäure und Soda umgesetzt. Die Kieselsäure bewirkt die Bindung der Sandkörner. Die Menge der Kohlensäurezugabe ist maßgeblich dafür, welche Festigkeit der Kern besitzt.

Das **Zementsand-Formverfahren** findet heute fast ausschließlich Anwendung bei Verfahren zur Erzeugung von Großgußteilen, im wesentlichen aus Gußeisen, und ist daher wenig verbreitet. Der Formstoff enthält als Binder einen geeigneten Zement (7 bis 11%), der mit Wasser (5 bis 7%) abbindet und so dem Formteil seine Festigkeit gibt. Der Formstoff ist wegen seines hohen Sandanteils und den geringen Anteilen an Wasser schüttfähig bis plastisch. Nach dem Mischen von Sand, Zement, Wasser und u. U. weiteren Formstoffzusätzen, wie z.B. Steinkohlenstaub oder Beschleunigern, härtet das Gemisch auf der Basis von Hydrolyse und Hydratation aus.

Eine wirtschaftliche Anwendung des Verfahrens ist nur dort gegeben, wo geometrisch einfache Teile mit hohem Stückgewicht bei geringer Losgröße hergestellt werden.

2.3.2.2 Verfahren mit organisch gebundenen Formstoffen

Steigende Anforderungen an das Formstoffverhalten haben zu einer Verfahrensentwicklung mit neuen Bindersystemen geführt. Die Verwendung chemisch härtender, organischer Bindemittel wurde Ende der 40er Jahre mit dem **Maskenform-Verfahren** nach Croning eingeleitet.

Bei diesem Verfahren wird mit heißen Formwerkzeugen gearbeitet. Im Gegensatz zu anderen Formverfahren wird hier nur eine wenige Millimeter dicke Formmaske oder Formschale hergestellt. Rieselfähiger, trockener, harzumhüllter Sand wird auf die heiße Modellplatte (250 bis 300°C) geschüttet oder geblasen. Die Hitze dringt in den Sand ein, das Phenolharz schmilzt und verkittet die Sandkörner miteinander. Die Schichtdicke des verklebten Sandes ist von der Dauer der Hitzeeinwirkung abhängig. Die Formmaskenhälften werden durch Verklammern oder Verkleben zusammengefügt. Um dem Gießdruck standzuhalten, werden die Formen gegebenenfalls durch Formstoff oder Stahlkies abgestützt. Das Maskenformverfahren findet speziell für die Herstellung von Kleinguß zwischen 1 und 100 kg Stückgewicht Verwendung (z.B.

beim Automobilguß). Die Stückzahl einer Gießserie muß entsprechend groß sein (mehrere 1000 Stück), damit die teure Modelleinrichtung wirtschaftlich ist. Die gute Präzision der Gußstücke erübrigt zumeist eine Nachbehandlung.
In vielen Gießereien wird das Verfahren ausschließlich für die Kernherstellung angewendet.

In der Gießereiindustrie ist das **Kaltharzverfahren** weit verbreitet. Besonders vorteilhaft ist das Kaltharzverfahren durch seine hohe Formstabilität, sehr gute Gußoberflächen, eine hohe Maßgenauigkeit der Gußteile, eine rationelle Fertigung (Taktzeit: mehrere Minuten) und durch die Möglichkeit, sehr große Gußteile und Gußteile mit dünnen Wandstärken herstellen zu können. In der Formherstellung wird das Kaltharzverfahren bevorzugt für mittlere bis große Gußteile im Massebereich von 0,5 bis 5 t für die Einzel- und Serienfertigung eingesetzt. Typische Einsatzgebiete sind der Werkzeugmaschinenguß, Gußteile für den allgemeinen Maschinenbau und Walzenguß. Das Kaltharzverfahren findet auch im NE-Metallguß Anwendung.

Kaltharzgebundene Formstoffe werden bevorzugt in der Handformerei für die Formherstellung, aber auch für Kerne eingesetzt. Die schüttfähigen, feuchten Formstoffe werden in das Formwerkzeug eingebracht und verdichtet. Einfüllen und Vibrieren, leichtes Andrücken oder Stampfen genügt meist.

Das Kaltharzverfahren ist durch den Einsatz organischer Bindersysteme gekennzeichnet, die bei Raumtemperatur durch Polykondensation selbständig aushärten. Die Verarbeitungscharakteristik kann durch eine entsprechende Kombination von Harzen und Härtern bzw. den Harz- und Härteranteilen in praktisch beliebigen Grenzen eingestellt werden.

Als Bindemittel dienen Furan- und Phenolharze, die zusammen mit einer Härterkomponente bei Raumtemperatur aushärten. Die Vor- und Nachteile kalthärtender Phenol- und Furanharze sind in **Tabelle 2.3** dargestellt. Als Härter kommen bei Verwendung eines Furanharzes Phosphorsäure oder Para-Toluolsulfonsäure (PTS) zum Einsatz. Bei Phenolharzen wird vorwiegend PTS verwendet. Die Harzgehalte liegen in der Regel zwischen 0,8 bis 1,2 Gewichtsteilen.
Die Härterzugabe liegt je nach erforderlicher Festigkeit, notwendiger Verarbeitbarkeitsdauer und gewünschter Ausschalzeit zwischen 0,3 bis 0,6%.

	Furanharz-System	**Phenolharz-System**
Vorteile	- niedriger Bindemittelzusatz - hohe Reaktivität (relativ temperaturunabhängig) - gute Lagerbeständigkeit - gute Durchhärtung - niedrige Viskosität - hohe Festigkeit bei hohem Anteil an Furfurylalkohol - gute Regenerierbarkeit	- niedriger Preis - geringe Schadstoffentwicklung bei Aushärtung - stickstofffrei - lange Sandverarbeitungszeit - geringe Neigung zu Überhärtung - gleichmäßige Härtung - im Vergleich zu harnstoffreichen Furfurylalkoholharzen geringe Gasentwicklung beim Abguß
Nachteile	- hoher Preis - meist nicht stickstofffrei (Gefahr von Gasblasen etc.) - u. U. relativ hohe Formaldehydentwicklung bei Aushärtung	- höhere Viskosität - geringe Reaktivtät - geringe Lagerstabilität - (Viskositätsanstieg) - Phenolgehalt im Restsand

Tabelle 2.3: Vor- und Nachteile kalthärtender Furan- und Phenolharze [Engels 1990, ABAG 1992]

Als Formgrundstoffe für das Kaltharzverfahren werden bevorzugt trockene, schlämmstofffreie, gewaschene und klassierte Quarzsande eingesetzt. Zur Aufbereitung werden überwiegend Durchlaufmischer verwendet. Am Anfang des Mischtroges werden Quarzsand und Härter zugesetzt, nach Vermischen dieser Komponenten erfolgt die Zugabe des Harzes. Auf diese Weise erhält man eine homogene Formstoffmischung [Flemming 1993]. Zu beachten ist, daß die Aushärtereaktion sofort nach Vermischen der beiden Binderkomponenten beginnt.

Nach der Verfestigung des Formstoffes wird das Modellwerkzeug entfernt und die ausgeschalte Form härtet bis zum Erreichen ihrer Endfestigkeit aus. Anschließend kann eine Schlichte aufgetragen werden. Bei phenol- und furanharzgebundenen Formen lassen sich sowohl wäßrige als auch alkoholische Schlichten auftragen, die als hitzebeständiger Überzug die Form gegen die Schmelze schützen.

Nach dem Abguß der Formen wird der anfallende Restsand wiederaufbereitet und erneut für die Formherstellung eingesetzt. Die Forminnenteile (Kerne) werden in der Regel nach dem gleichen Verfahren und mit gleichen Bindemitteln hergestellt, so daß ein rein organisch gebundener Monorestsand vorliegt, der leicht regenerierbar ist.

Die Rückgewinnung kaltharzgebundener Formstoffe wird seit Jahrzehnten in den Gießereien betrieben. Sie besteht eigentlich nur aus einer Zerkleinerung der Knollen und Kernreste. Des weiteren wird Metall abgeschieden und Überkorn bzw. Schlämmstoffe (Feinanteile < 0,02 mm) durch eine Siebung und Sichtung entfernt. Die Intensität dieser Arbeitsschritte bestimmt die Abfallmenge wesentlich.

Zur Zerkleinerung der Knollen werden bevorzugt Prall- oder Kugelmühlen, Schwingreibbrecher, Schwingmuldenbrecher und Raspeltöpfe eingesetzt [Flemming 1993, Weller 1989]. Diese Aggregate bewirken die gewünschte Vereinzelung. Gleichzeitig wirken Schlag-, Reib- und Prallbeanspruchungen auf den Restsand, die auch die Binderhüllen abtrennen. Bedeutsam ist die Wirkung der Gießhitze und die damit verbundene Verbrennung der organischen Binderbestandteile. Die Nachbehandlung besteht im wesentlichen aus den Prozeßstufen Sichten (Entstauben), Kühlen und Sieben. Die Sichter haben die Aufgabe, den Staub- und Bindemittelabrieb aus dem Regenerat zu entfernen. Die Sandqualität wird entscheidend von der Intensität des Sichtprozesses beeinflußt. Zum Einsatz gelangen bevorzugt Kaskadensichter, Aufstromsichter, Trommel- und Streusichter [Flemming 1993]. Neben der Kühlung im Sichter ist in den meisten Fällen eine zusätzliche Kühlung erforderlich, z.B. in Riesel-Kaskadenkühlern, Staukühlern und wassergekühlten Wirbelschichtkühlern. Gekühlt wird indirekt in der Regel mit Frischwasser, da auch im Sommer auf ca. 20 °C abzukühlen ist. Diese Temperatur ist bei Kreislaufführung mit Kühltürmen nicht oder nur mit erhöhtem Aufwand, z.B. mit zusätzlichen Kühlaggregaten zu erreichen. Das ablaufende Kühlwasser kann z.B. zur Kühlung des Kupolofens oder zum Befeuchten des bentonitgebundenen Formstoffes genutzt werden.

Für die Siebung werden Schwingsiebmaschinen verwendet.

Die Einführung verschiedener Kunstharze, wie z.B. der Furan- und Phenolharze sowie von Epoxid- und Urethanharzen, hat die Anwendung von Bindemitteln, wie Kohlenhydraten (z.B. Stärke, Zellulose) und Ölen in den Hintergrund treten lassen.

2.3.2.3 Feingießverfahren

Neben den Formverfahren, die mit chemisch oder mechanisch verfestigten Formstoffen auf der Basis eines feinkörnigen, mineralischen Formgrundstoffes und anorganischen oder organischen Bindemitteln sowie Dauermodellen arbeiten, gibt es spezielle Formverfahren, für die verlorene Formen und verlorene Modelle aus anderen Formstoffen eingesetzt werden. Hierzu gehört das Feingießverfahren.

Beim hochentwickelten Feingießverfahren wird ein Wachsmodell mit einer Keramikschale umhüllt. Nach diesem Verfahren können Gußteile mit höchster Maßgenauigkeit und Feinheit gefertigt werden. Da dieses Verfahren in Baden-Württemberg nur in zwei Gießereien zum Einsatz kommt, wird auf eine Beschreibung des Verfahrens verzichtet. Das Feingießverfahren wird in [Spur 1981, Fritz 1985, Roller 1990] ausführlich dargestellt.

2.3.2.4 Vollformgießen

Das Gießen der Schmelze in eine ungeteilte Form, in der sich ein Schaumstoffmodell befindet, wird Vollformgießen genannt [Fritz 1985].

Der Modellwerkstoff, geschäumtes Polystyrol, wird in der Modelltischlerei durch Sägen oder mit einem Heizdraht zugeschnitten. Das verlorene Gießmodell wird mit Formstoff (z.B. Kaltharzsand) umgeben. Das flüssige Metall wird unmittelbar nach Aushärtung des Formstoffes in die Gießform (Vollform) vergossen. Beim Eingießen der Schmelze vergast und verbrennt der Schaumstoff vollständig. Die Form wird zunächst so langsam gefüllt, daß die kohlenwasserstoffhaltigen Zersetzungsgase in der Form verbrennen.

Das Vollformgießen bietet Kostenvorteile bei mittleren bis großen Gußstücken in der Einzelfertigung, bei kleinen Serien und bei Versuchsteilen, da Formarbeit und Modellkosten eingespart werden können.

Das Gußstück ist gratfrei und hat keine Formschrägen. Es wird überwiegend Gußeisen, aber auch Aluminium nach dem Vollformverfahren vergossen.

Formverfahren mit physikalischer Bindung durch Vakuum oder Magnetkräfte werden in diesem Branchengutachten nicht weiter berücksichtigt, da sie sich wegen technischer Schwierigkeiten in der Praxis nicht durchsetzen konnten.

2.3.3 Kernherstellverfahren

Kerne werden in Gußformen (Sandformen oder Kokillen) eingelegt, um Hohlräume, komplizierte Konturen und Hinterschneidungen im Gußstück zu erzeugen. Nach dem Abguß müssen die Kerne leicht zerfallen, um aus den Hohlräumen des Gußstückes entfernt werden zu können.

Sandkerne werden manuell (z.B. Handformen) oder maschinell (z.B. auf Kernschießautomaten) hergestellt. Beim Kernschießen wird der Kernsand durch hohen Luftdruck in den Kernkasten gefördert und gleichzeitig verdichtet. Nach der Aushärtung des Kernsandes erfolgt die Entnahme der Kerne aus dem Kernkasten.

Kerne werden in der Regel mit einer Schlichteschicht überzogen, um glatte Gußoberflächen zu erhalten und eine Reaktion zwischen Formstoff und Metall zu verhindern. Diese mehr oder weniger flüssigen Überzugsstoffe werden durch Tauchen oder Fluten des Kerns in alkoholische oder wäßrige Suspensionen feuerfester Stoffe aufgebracht. Auch durch Streichen kann der Kern mit einer Schlichteschicht überzogen werden.

Sandkerne bestehen zumeist aus chemisch gebundenen Sanden (**Tabelle 2.2**). Sie werden nach heiß- und kalthärtenden Verfahren hauptsächlich mit organischen Bindemitteln hergestellt (**Bild 2.7**).

Bei den heißhärtenden Verfahren verfestigt der Kernsand in einem beheizten Kernkasten bei Temperaturen von 200 bis 350°C [Flemming 1993].

Bei den kaltselbsthärtenden Verfahren erfolgt die Aushärtung durch Zugabe eines Härters, der die chemische Reaktion startet und zu einer Vernetzung und Verfestigung des Kernsandes führt.

Bei den Begasungsverfahren wird die Aushärtungsreaktion durch eine gasförmige Komponente beschleunigt (z.B. Aminbegasung beim PUR-Cold-Box-Verfahren) oder in Gang gesetzt (z.B. Methylformiat beim Methylformiat-Verfahren; SO_2-Gas reagiert beim SO_2-Verfahren mit der Binderkomponente Peroxid zu Schwefelsäure, die die Aushärtung bewirkt).

a) Einzelguß						
kalt-härtend	Wasserglas-Ester Natriumsilicat (Wasserglas) + Esterhärter (Diacetin + Triacetin)	Kaltharz-Verfahren Furanharz + Säure-härter (PTS oder H_3PO_4)	Kaltharz-Verfahren Phenolharz + Säure-härter (PTS)	Resol-Ester Resol (alkalisch kondensiert) + Ester-härter	Polyurethan-Isocyanat Phenolharz + Katalysator (Pyridin) + Poly-isocyanat (Pep-Set-Verfahren)	Polyurethan-Isocyanat Amino-polyol + Poly-isocyanat
b) Serienguß						
kalt-härtend	Wasserglas-CO_2 Natriumsilicat (Wasserglas) + CO_2-Gas	PUR-Cold-Box Phenolharz + Poly-isocyanat + tertiäre Amine (gasförmig)	Resol-CO_2 Resol (alkalisch kon-densiert) + CO_2-Gas	Methyl-formiat-Verfahren* Resol (alkalisch kondensiert) + Methyl-formiat (gasförmig)	Acetal-Verfahren Polyphenol-harz Acetal (gasförmig)	SO_2-Verfahren Furanharz Epoxidharz Acrylharz Peroxid + SO_2-Gas
heiß-härtend	Croning Novolak + Hexamethylentetramin ca. 280°C	Hot-Box Harnstoffharz Furanharz Phenolharz + Härter ca. 220°C		Warm-Box Furanharz + Härter ca. 180°C		

* Das Methylformiat-Verfahren wird auch als Beta-Set-Verfahren bezeichnet.

Bild 2.7: Kernherstellverfahren für a) Einzel- und b) Serienguß [Ellinghaus 1993]

Der Anteil wasserglasgebundener Kerne hat in den letzten Jahren deutlich, der Anteil an Hot-Box-, Kaltharz- und Croning Kernen leicht abgenommen. Im Gegenzug gewannen die Cold-Box-Begasungs-Verfahren (z.B. PUR-Cold-Box-, Methylformiat- und SO_2-Verfahren) in der Bundesrepublik wesentlich an Bedeutung [ABAG 1992].

In zahlreichen Veröffentlichungen finden sich ausführliche Beschreibungen der genannten Kernherstellverfahren [Ellinghaus 1993, Boenisch 1977, Scholich 1991, Flemming 1993, Krapohl 1991, Gardziella 1982, Bindernagel 1983, Döpp 1985, Kögler 1976, ABAG 1992, PROGNOS 1993, Golcher 1992, Kögler 1987].

Kerne werden noch zum überwiegenden Teil aus Neusand gefertigt. Zur Reststoffverminderung setzen viele Gießereien zunehmend zerkleinerten, geraspelten Kernbruch ein.

2.3.3.1 PUR-Cold-Box- und Pep-Set-Verfahren

Das PUR-Cold-Box-Verfahren hat eine breite Anwendung zur schnellen und wirtschaftlichen Herstellung von Kernen für die Einzel- und Serienfertigung gefunden. Der Formstoff enthält als Bindemittel Phenolharz und Polyisocyanat. Der Formstoff wird in den Kernkasten geschossen und kalt durch Begasen mit einem Katalysator (tertiäres Amin) sekundenschnell ausgehärtet. Die Aushärtung erfolgt durch Polyaddition; dabei entsteht ein Urethanharz. Spaltprodukte treten nicht auf. Der Amin-Katalysator wird durch eine anschließende Abgasreinigung (z.B. Säurewäscher) entfernt.
Beim Pep-Set-Verfahren handelt es sich um eine kalt selbstaushärtende Variante des Cold-Box-Verfahrens. Es kommen ebenfalls Phenolharz und Polyisocyanat zum Einsatz. Im Unterschied zum PUR-Cold-Box-Verfahren wird der Katalysator (Pyridin) jedoch nicht gasförmig eingeleitet, sondern ist bereits in flüssiger Form im Phenolharz enthalten, so daß die Härtungsreaktion direkt nach dem Vermischen der einzelnen Komponenten beginnt. Es erfolgt keine sekundenschnelle Aushärtung der Form, sondern ebenso wie beim Kaltharzverfahren eine bei Raumtemperatur über längere Zeit ablaufende Aus- und Durchhärtung.
Übliche Bindergehalte:

PUR-Cold-Box:	Leichtmetallguß	0,8 - 1,6%
	Eisenguß	1,4 - 2,2%
Pep-Set:	1,2 - 1,8% (incl. Katalysator)	

2.3.3.2 SO_2-Verfahren

Bei dem SO_2-Verfahren wird der Formstoff mit dem Binder - meist Epoxidharz, seltener Furanharz - und einem organischen Peroxid gemischt und in den Kernkasten geschossen. Durch die Begasung mit SO_2 bildet sich Schwefelsäure, die in Sekundenschnelle mit dem Harz reagiert und den Kern aushärtet. Auch hierbei ist eine Abgasreinigung erforderlich.
Übliche Bindergehalte: 1 - 1,6%

2.3.3.3 Methylformiat-Verfahren

Bei diesem Verfahren wird der Formgrundstoff mit einem alkalischen Phenolresol gemischt. Nach dem Einbringen in den Kernkasten wird mit Methylformiat begast. Durch eine Fällungsreaktion härtet der Kern aus. Als Spaltprodukte entstehen Methanol und Kaliumformiat (Kalisalz). Die erreichbaren Festigkeiten liegen höher als bei wasserglasgebundenen Kernen, jedoch wesentlich geringer als bei PUR-Cold-Box-Kernen.
Übliche Bindergehalte: 1,8 - 2,2%

2.3.3.4 Wasserglas-Verfahren

Wasserglas ist ein anorganisches Silikat-Bindemittel, das durch Begasen mit CO_2 aushärtet (Ausfällreaktion durch Neutralisation). Es wird nicht nur zur Kernherstellung, sondern auch zur Formherstellung verwendet (vgl. Kapitel 2.3.2.1).
Übliche Bindergehalte: 3 - 5%

2.3.3.5 Kaltharz-Verfahren

Kalthärtende kunstharzgebundene Formstoffe werden als Formstoff sowohl für Formen als auch für Kerne bei der Herstellung großer Gußstücke eingesetzt. (vgl. Kapitel 2.3.2.2) Der mit geringen Mengen Flüssigharz (Furan- oder Phenolharz) und Säurehärter (Phosphorsäure oder Para-Toluolsulfonsäure) vermischte Sand wird durch Schütten in den Kernkasten eingebracht. Die Aushärtung des Formstoffes (Polykondensation) setzt bereits im Mischer beim Zusammentreffen der Harz- und Härterkomponente ein; dadurch ist die Verarbeitbarkeitszeit des Formstoffes begrenzt. Das bei der Aushärtung entstehende Wasser muß entweichen können, andernfalls treten Gußfehler auf.
Übliche Bindergehalte: 1 - 1,6%

2.3.3.6 Hot-Box-Verfahren

Das Hot-Box-Verfahren gehört zu den heißhärtenden Kernherstellverfahren, da die Aushärtung im heißen Formwerkzeug bei Temperaturen von 180 bis 300°C erfolgt. Der Sand wird mit dem Harz (Phenol- oder Furanharz) und den als Härter dienenden Ammoniumsalzen gemischt. Der **feuchte** Formstoff wird in die heiße Kernbüchse geschossen, wo sofort die Aushärtungsreaktion beginnt. Nach wenigen Sekunden ist die äußere Schale des Kerns so

hart, daß dieser ohne zu deformieren aus dem Kernkasten entnommen werden kann. Die Härtereaktion geht bis zur vollständigen Aushärtung an der Luft vor sich. Maßgenauigkeit und guter Kernzerfall zeichnen die Kerne aus. Der Einsatz des Verfahrens ist von der Stückzahl einer Gußserie abhängig, da die Kernkasteneinrichtung teuer ist. Das Verfahren wird zunehmend durch kalthärtende Kernherstellverfahren abgelöst.
Übliche Bindergehalte: 2 - 2,5%

2.3.3.7 Croning-Verfahren

Kennzeichnend für das Croning-Verfahren ist die Verwendung eines Sandes, der nach erfolgter Harzumhüllung **trocken** ist. Diese Umhüllung des Quarzsandes besteht aus Phenolharz mit einem beigemischten Härter (Hexamethylentetramin). Der **trockene**, rieselfähige, umhüllte Sand wird in den beheizten Kernkasten eingeschossen. Die Aushärtung erfolgt bei 250 bis 300°C durch Aktivierung des Härters und Vernetzung des Phenolharzes.

Ein wesentlicher Vorteil dieses Verfahrens beruht auf der Herstellung von Hohlkernen, die sehr geringe Formstoffmengen erforderlich machen.
Übliche Bindergehalte: 2 bis 3% Phenolharz

2.3.4 Gießen in Dauerformen

Dauerformen sind Gießformen, die für mittlere bis große Stückzahlen aus Metall (Gußeisen, verschleißfeste, hitze- und zunderbeständige Stähle sowie Kupfer- und Kupferlegierungen) hergestellt werden. Der Formwerkstoff hängt vom eingesetzten Gießmetall (Gießtemperatur) ab. Die Verwendungsdauer bzw. die Standzeit der Form richtet sich nach dem verwendeten Formwerkstoff und dem zu vergießenden Metall [Roller 1990].

Im Gegensatz zu den verlorenen Formen bleiben Dauerformen beim Trennen des Gußteils von der Form erhalten. Die Formen bestehen aus zwei oder mehreren Teilen, die während des Gießens zusammengehalten werden. Nachdem das vergossene Metall erstarrt ist, wird die Form geöffnet und das Gußteil ausgestoßen. Um günstige Materialeigenschaften der Gußstücke zu erreichen und die thermische Beanspruchung der Form zu verringern, können die Formen mit Heiz- oder Kühlvorrichtungen ausgestattet sein. Auch bei Gießverfahren mit Dauerformen werden Kerne eingesetzt, die aus Metall oder Sand bestehen. Vor dem Einfüllen der Schmelze können die Formen und Kerne mit Schlichte und anderen Überzügen versehen werden. Dies verhindert ein Anschweißen der Gußteile und verbessert ihre Oberflächengüte.

Dauerformen unterliegen erheblichem Verschleiß und haben eine von der Beanspruchung (Entformung und Temperaturwechsel) abhängige Lebensdauer.

Da Dauerformen in der Herstellung sehr lohnintensiv und somit teuer sind, werden nur Serengußstücke in diesen Verfahren hergestellt und zwar überwiegend Leicht- und Schwermetallteile (Al, Mg, Zn und Cu). Nur spezielle Hydraulikteile aus Gußeisen werden in Kokillen gefertigt, weil bestimmte Eigenschaften, z.B. Dichtheit und gleichmäßiges Gefüge, besser erreicht werden können.

Durch die Verwendung einer metallischen Dauerform ergeben sich gegenüber einer Sandform zwei wesentliche Unterschiede:

- die metallische Form ist gasundurchlässig
- die Abschreckwirkung der Metallform ergibt eine rasche Abkühlung der Schmelze

Damit steigt die Gefahr, daß die Form nicht vollständig gefüllt und vorzeitiges Erstarren eintritt.

Aus diesem Grund müssen Gießmetalle für Gießverfahren, bei denen Dauerformen verwendet werden, besonderen Anforderungen genügen (z.B. hohes Fließvermögen, hohes Formfüllungsvermögen, günstiges Lunkerverhalten, geringe Klebneigung, günstiges Erstarrungsverhalten u. a.) [Roller 1990].

2.3.4.1 Kokillengießen

Das Kokillengießen umfaßt die Arbeitsgänge Kerne einlegen, Schließen der Form, Abgießen, Kühlen, Entnahme des Abgusses, Säubern und Schlichten der Kokille [Roller 1990].

Beim **Schwerkraftgießen** fließt die Metallschmelze unter dem Einfluß der Schwerkraft in die Kokille. Das im Formhohlraum befindliche Gas entweicht durch Entlüftungskanäle.

Beim **Niederdruckgießen** steigt das flüssige Metall durch ein Steigrohr von unten in die Kokille. Ein leichter Überdruck (0,3 bis 0,7 bar) über dem Flüssigkeitsspiegel des Schmelztiegels bewirkt den Transport der Schmelze im Steigrohr. Dabei entweichen die Gase durch eine oben angebrachte Entlüftungsöffnung aus der Kokille. Solange das Metall noch nicht erstarrt ist, wird der Überdruck über dem Schmelztiegel aufrecht erhalten. Nach dem Erstarren fließt das noch flüssige Metall im Steigrohr zurück in den Tiegel [ABAG 1992].

Weitere Verfahrensvarianten beim Kokillengießen sind das **Gegendruckgießen** und das **Druck-Kokillengießen** [Roller 1990].

Vorteile der Kokillengießverfahren sind u.a. geringe Mengen an Kreislaufmaterial und geringe Abfallmengen, da Sand nur für Kerne benötigt wird.

2.3.4.2 Druckgießen

Beim Druckgießen wird die Schmelze mit hoher Geschwindigkeit in den Dauerformhohlraum gedrückt. Die Geschwindigkeiten liegen zwischen 20 und 70 m/s je nach Gießmetall. Die Formfüllungszeiten sind außerordentlich niedrig und liegen im Bereich von 5 bis 100 ms.

Durch eine Füllöffnung wird das flüssige Metall aus dem Warmhalteofen entweder von Hand oder automatisch (Löffeldosierung bei Kaltkammer-, Selbstladen bei Warmkammermaschinen) in die Gießkammer gebracht. Das Gießmetall wird dann durch einen Gießkolben in den Formhohlraum gedrückt. Nach dem Füllhub erfolgt die Nachverdichtung bei hohem Druck.

Vorteile des Druckgießens sind u.a. kurze Taktzeiten, gute Oberflächengüte und hohe Maßhaltigkeit der Gußstücke sowie die Einsparung nachfolgender Bearbeitungsschritte. Die Nachteile des Verfahrens sind z.B. die hohen Form- und Maschinenkosten sowie die Schwierigkeiten bei Teilen mit Hinterschneidungen [ABAG 1992].

2.3.4.3 Schleudergießen

Beim Schleudergießen wird über eine Gießrinne flüssiges Metall in eine rotierende Dauerform gebracht; das Metall erstarrt in der von außen mit Wasser gekühlten Kokille unter der Einwirkung der Fliehkraft. Die Teile erhalten durch diese Erstarrungsbedingungen ein dichtes und feinkörniges Gefüge.

Mit diesem Verfahren lassen sich Rohre, Büchsen, Ringe und andere rotationssymmetrische Teile herstellen. Die Innenform der Gußstücke erfordert keinen Kern; die Wandstärke wird durch die zugeführte Gießmetallmenge, durch die Drehzahl der Kokille und durch den Vorschub der Schleudergießmaschine bestimmt.

Das Schleudergießen wird sowohl im Eisen- und Stahlguß als auch im NE-Schwermetallguß eingesetzt. Mit dem Horizontalverfahren werden vorwiegend lange Rohre aus Gußeisen hergestellt (Länge 5 bis 8 m, Durchmesser von 40 bis 2600 mm). Mengenmäßig ist die Fertigung von Druckrohren das Hauptanwendungsgebiet des Schleudergusses. Kleine und mittlere Teile werden mit dem Vertikalverfahren gefertigt. Im Schleuderguß lassen sich maßgenaue Gußstücke mit guter Oberfläche herstellen.

Das senkrechte Schleudergießen wird zum Gießen von Schmuckstücken und Zahnkronen eingesetzt, wobei um eine vertikale Achse auf einem Schleudertisch Metall-, Sand- oder Keramikformen aufgespannt werden.

2.3.4.4 Stranggießen

Bei diesem Verfahren können in einem kontinuierlichen oder halbkontinuierlichen Gießvorgang Rohre und Profile mit gleichbleibendem Querschnitt hergestellt werden. Die wassergekühlten Durchlaufkokillen bestehen aus Kupfer, Graphit oder Aluminium.

2.4 Nachgeschaltete Verfahrensschritte Nachbehandlung von Gußstücken

Die erstarrten Werkstücke werden aus der geöffneten Form entnommen und in der Putzerei Sandanhaftungen und Grate entfernt [Amboß 1984]. Der Putzaufwand kann durch gieß- und putzgerechte Gußstückgestaltung sowie durch eine hochwertige Qualität des Formstoffes vermindert werden [Riege 1994, Walter 1994, Wolff 1994].

2.4.1 Putzstrahlen

In geschlossenen Kabinen werden körnige, metallische Strahlmittel über Schaufelräder mit hoher Geschwindigkeit auf die zu reinigenden Gußstücke geschleudert. Durch die Wucht des Aufpralls werden festgebackene Formsandreste von der Gußstückoberfläche abgesprengt und die Oberfläche selbst metallisch blank geputzt. Bei Aluminium erfolgt das Putzstrahlen oft mit Aluminiumoxid, um eine Verunreinigung durch Rost zu verhindern.

Größere Werkstücke werden auf Drehtischen oder auf Hängebahnen in und durch die Strahlkabine geführt; kleinere Werkstücke in Trommeln oder auf Raupenbändern bewegt. Das Strahlmittel wird zurückgewonnen und wiederverwendet.

2.4.2 Putzen durch Schleifen und Spanen

Nach dem Reinigen der Oberfläche durch Strahlen werden Grate und Unebenheiten vom Gußstück entfernt. Dies erfolgt meistens mit Hilfe von Schleifmaschinen. Kleinere Gußstücke werden auf bekannten Ständerschleifmaschinen gesäubert; bei größeren Werkstücken wird mit Pendelschleifmaschinen oder Handschleifmaschinen gearbeitet. Für Aluminiumguß sind auch Bandschleifmaschinen im Einsatz.

Grate und festanhaftende Vererzungen werden mit Meißeln, Brechwerkzeugen oder durch Fräsen entfernt [Amboß 1995].

Das sehr harte und körperlich belastende Putzen wird zunehmend durch Manipulatoren erleichtert oder von Robotern übernommen.

2.4.3 Grob- oder Feinbearbeitung

Während Putzen noch der eigentlichen Fertigung von Gußteilen zuzuordnen ist, ist die weitere Bearbeitung der Werkstücke bereits ein Verfahrensschritt der Maschinen- oder Automobilfertigung. Einzelne Arbeitsgänge werden zunehmend als Komponentenherstellung in die Gießerei verlagert. So werden z.B. Zylinderköpfe oder Maschinenständer gebohrt und mit bearbeiteten Flächen ausgeliefert.

2.4.4 Oberflächenschutz durch Grundieren und Lackieren

Gußteile werden oft über große Entfernungen auch nach Übersee transportiert. Dabei sind sie Wind und Wetter ausgesetzt und müssen deshalb gegen Rost geschützt werden. Dies erfolgt durch Grundieren mit einer Korrosionsschutzfarbe im Tauch- oder Spritzverfahren. Da diese Verfahrensschritte nicht typisch für Gießereien sind und sich nicht von anderen Oberflächenbeschichtungen unterscheiden, wird im folgenden nicht näher darauf eingegangen.

2.5 Maßnahmen zur Emissionsminderung

2.5.1 Staub

In Gießereien können in folgenden Bereichen Stäube anfallen (**Bild 2.8**):

- Schmelzbetrieb
- Sandkreislauf (Ausleeren und Sandrückgewinnung)
- Strahlen der Gußteile
- Schleifen und Putzen

Die Bereiche mit Staubentwicklung werden abgesaugt und die Abluft über filtrierende oder naßarbeitende Entstauber gereinigt. In den letzten Jahren haben sich vermehrt filtrierende Entstauber als Schlauch- oder Flächenfilter bewährt, die mit Druckluftimpulsen oder auch Gegenspülen abgereinigt werden. Der abgeschiedene Staub wird in geschlossenen Behältern oder Silos gesammelt.

Naßarbeitende Staubabscheider haben den Vorteil, daß sie bei feuchten Abgasen weniger störanfällig sind; beim Schleifen von Aluminium und Magnesium sind diese zur Vermeidung von Staubexplosionen sogar vorgeschrieben. Der Staub setzt sich im Absetzbecken ab und wird als Schlamm entsorgt. Das Waschwasser wird üblicherweise im Kreislauf gefahren. Abwasser kann beim Reinigen des Wäschers oder als Abschlämmwasser zur Vermeidung von Aufsalzungen im Kreislaufwasser anfallen.

Umfang und Art der Emissionsminderungsmaßnahmen hängen von der Verfahrenstechnik, der Fertigung und dem Automatisierungsgrad ab. Bei hohem Automatisierungsgrad sind alle wesentlichen Entstehungsstellen von Staub gekapselt und alle Abluftströme entstaubt. In Kleinbetrieben z.B. Aluminiumgießereien hingegen, die mit feuchtem Natursand formen, wird Staub vermieden, so daß im Sandumlauf weder Absaugungen noch Entstauber vorhanden sind.

Bei der Kernfertigung nach dem Amin-Cold-Box-Verfahren sind Säurewäscher zur Abscheidung der Amine im Einsatz. Die Waschsäure wird im Kreislauf gefahren und nach Beladung entweder extern zur Rückgewinnung des Amines aufgearbeitet oder - Amine sind biologisch abbaubar - in Kläranlagen gereinigt.

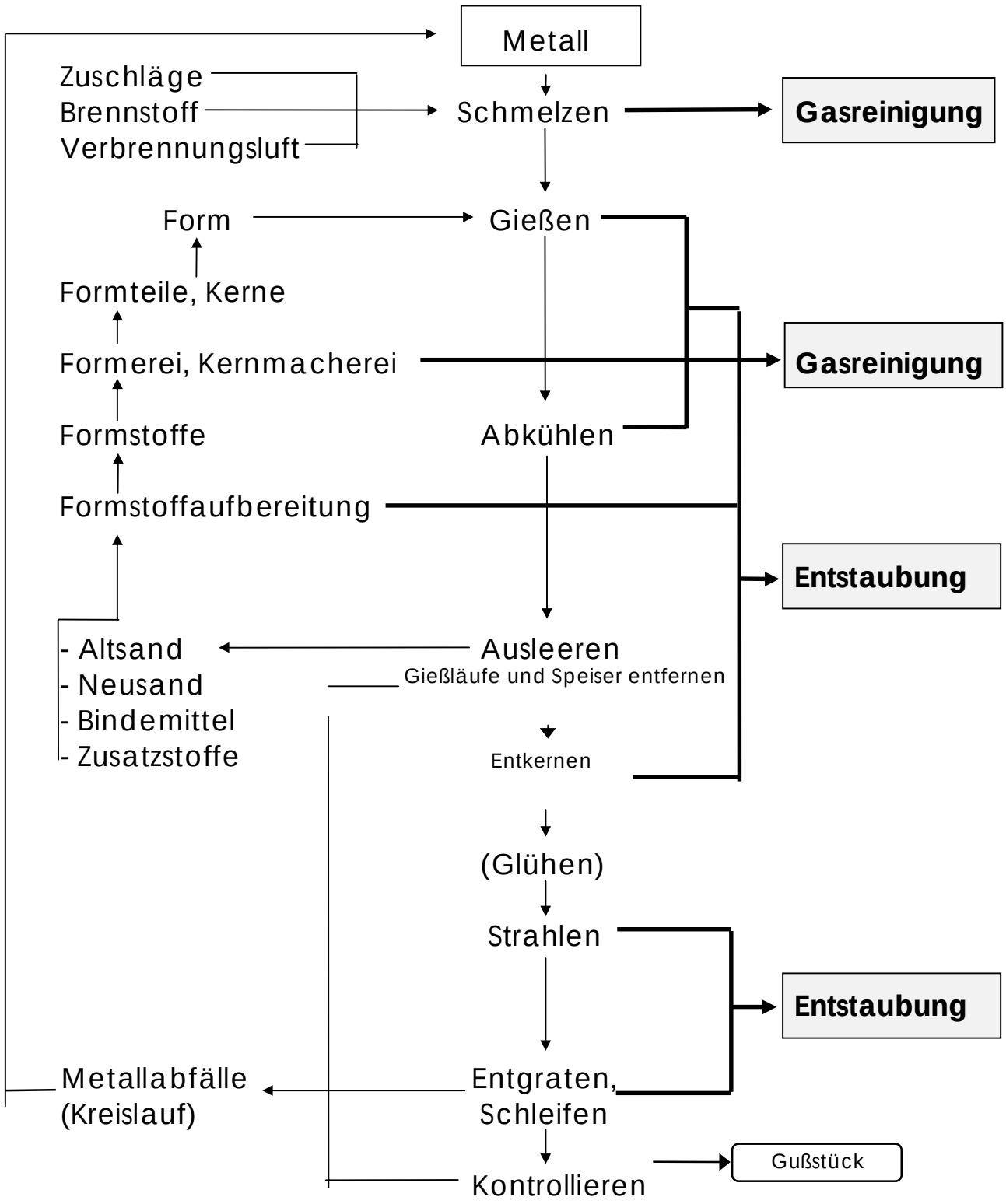


Bild 2.8: Abfälle bei Emissionsminderungsmaßnahmen

2.5.2 Abwasser

Da in Sandgießereien Wasser nur zum indirekten Kühlen sowie als direktes Kühlmittel mit vollständiger Verdunstung und für die Befeuchtung des Formsandes verwandt wird, fällt kein produktionsspezifisches Abwasser an außer aus naßarbeitenden Entstaubern.

Den größten **Kühlwasserbedarf** hat der Schmelzbetrieb, der hier jedoch nicht betrachtet wird. Hier sind Kühlkreisläufe mit Verdunstungskühlern üblich. **Kühlwasser** zur indirekten Kühlung von Formsand wird meistens im Durchlauf verwendet, da sehr niedrige Temperaturen von 20 bis 25°C im Formsand erreicht werden müssen. Dieses Kühlwasser kann zur direkten Kühlung des Naßgußsandes (Verdunstungskühlung) oder als Anmachwasser für Formsand nochmals genutzt werden, d. h. das den Durchlaufkühler verlassende Wasser wird zur direkten Kühlung wiederverwendet.

Das **Waschwasser** von Entstaubern und Säurewäschern wird grundsätzlich im Kreislauf geführt; nur verdunstetes Wasser wird ersetzt. Aus dem Kreislauf der Naßentstauber wird der sedimentierte Staub abgetrennt. Mit diesem Schlamm wird Wasser aus dem Kreislaufsystem ausgetragen, so daß Wäscher im Regelfall abwasserlos betrieben werden können. Auch beim Reinigen der Wäscher und Absetzbecken benutztes Wasser verbleibt im System. Werden jedoch über das Brauchwasser sehr viele Salze in den Waschwasserkreislauf eingetragen und wird der ausgetragene Schlamm weitgehend entwässert, muß einer unzulässigen Aufsalzung des Waschwassers durch Abschlämmen einer kleinen Teilmenge entgegengewirkt werden. Die ist der Fall, wenn der sedimentierte Schlamm eingedickt und in Filterpressen oder mit Zentrifugen entwässert wird. Das Filtrat der Filterpresse fällt als klares Abwasser an und wird nur teilweise wieder in den Waschwasserkreislauf zurückgeführt [Richter 1988, Kirsten 1988, Winterhalter 1990]. Das anfallende **Abwasser** kann Feststoffe aus dem Sandkreislauf (Sand, Kohlenstaub) und gelöste organische Verbindungen (CSB-Wert < 200 mg/l O_2) in biologisch abbaubarer Form enthalten. Sowohl Wäscher als auch Sedimentationsbecken sind keine Abwasseranlagen nach § 45 WHG, da Betriebswasser zur Wiederverwendung im Betrieb bereitgestellt oder aufbereitet wird.
Die Einleitung in den Kanal ist genehmigungsbedürftig. Von den Gemeinden werden Vorgaben über zulässige Inhaltsstoffe gemacht, um das Kanalnetz und die nachgeschaltete biologische Abwasserreinigung zu schützen und funktionsfähig zu halten.

3 Darstellung repräsentativer Anlagentypen

Beschrieben wird eine Eisengießerei, die Automobilteile in Großserien, Ständer für Werkzeugmaschinen in Einzelstücken und kleinen Losgrößen fertigt. Weiterhin wird eine typische Aluminiumgießerei mit Serienfertigung in Sandguß und in Dauerformen beschrieben.

3.1 Eisengießerei

Eine Übersicht über die Verfahrensschritte gibt **Bild 3.1.** Serienteile werden in der **Maschinenformerei** (vgl. Kapitel 2.3.2.1) auf einem **Formautomaten** gefertigt, der über die **Sandaufbereitungsanlage** (vgl. Kapitel 5.2.1) mit automatischer Dosierung von Bentonit und Kohlenstaub mit Formstoff versorgt wird.

Das Gießen erfolgt über einen Warmhalteofen, der im Takt der Formherstellung Schmelze in die Formen abgibt. Das flüssige Metall wird in einem Schachtofen (**Kupolofen**) und in elektrisch beheizten **Tiegelöfen** erschmolzen (vgl. Kapitel 2.2) und nach Bedarf einer Schmelzebehandlung zur Qualitätsverbesserung unterworfen. Die Schmelze wird in Pfannen zum Vergießofen transportiert. Forminnenteile (Kerne) werden aus harzgebundenem Sand auf sogenannten **Kernschießautomaten** (vgl. Kapitel 2.3.3) gefertigt, auf Paletten zur Formanlage transportiert und dort in die Formen eingelegt. Form und abgekühlter Guß werden auf einem Rüttelrost getrennt; der Formstoff wird in der Sandaufbereitung zurückgewonnen und wiederverwendet; Gußstücke werden in einer **Durchlaufstrahlanlage** (vgl. Kapitel 2.4.1) gesäubert und anschließend durch **Schleifen** (vgl. Kapitel 2.4.2) fertiggeputzt.

In der **Handformerei** (vgl. Kapitel 2.3.2.2) werden Einzelstücke und Kleinserien mit harzgebundenem Formstoff ausgeformt, der in einer **Rückgewinnungsanlage** (vgl. Kapitel 5.3.1.1) bestehend aus Vibrationsbrecher und Kühler/Sichter zurückgewonnen wird. Gegossen wird mit Gießpfannen, die mit dem Hallenkran transportiert werden.

Die Gußstücke werden durch **Strahlen** (vgl. Kapitel 2.4.1) und **Putzen** (vgl. Kapitel 2.4.2) gereinigt.

Beim Gießprozeß unvermeidlich anfallendes überschüssiges Metall wird gesammelt und im Schmelzbetrieb wieder eingeschmolzen. Es fallen deshalb keine metallischen Abfälle, sondern nur Abfälle aus dem Formsandbereich an.

Kernrestsande, z.B. Kernbruch, werden durch **Zerkleinern** (vgl. Kapitel 5.3.1.1) und **kernreicher Restsand** durch Reiben und Sichten in einer **Regenerierungsanlage** (vgl. Kapitel 5.3.1.1) zurückgewonnen und zur Kernfertigung wiederverwendet.

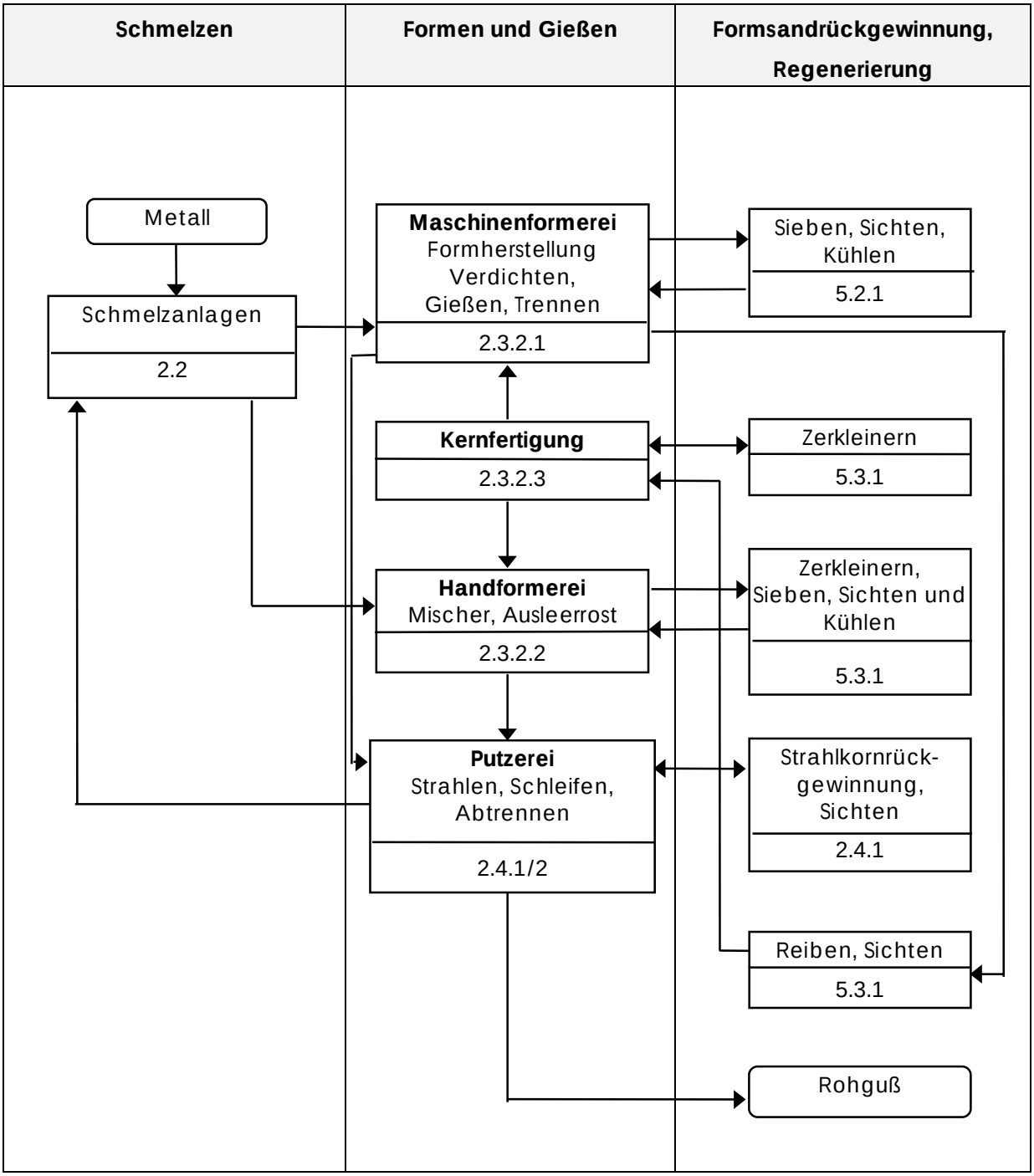


Bild: 3.1 Übersicht der Verfahrensschritte eine Eisengießerei mit verlorenen Formen

3.2 Aluminiumgießerei

Mit den in **Bild 3.2** dargestellten Verfahrensschritten wird Serienguß für die Automobilindustrie und den Maschinenbau in **Dauerformen (a)** (vgl. Kapitel 2.3.4) und auf **Formmaschinen (b)** (vgl. Kapitel 2.3.2.1) gefertigt.

In die **Dauerformen (a)** werden zur Erzeugung von Hohlräumen Kerne eingelegt. Das Gießen erfolgt über Vergießöfen. Nach dem Erstarren des Gußstückes wird dieses aus der Dauerform entnommen und in der Entkernstation die im Gußteil verbliebenen Kerne entfernt. Der anfallende Kernrestsand wird durch Reiben oder Brennen **regeneriert** (vgl. Kapitel 5.3.1.1) und wieder in der **Kernherstellung** (vgl. Kapitel 2.3.3) eingesetzt.

Die Gußteile werden bei Bedarf gestrahlt und gesäubert (vgl. Kapitel 2.4.1/2).

In der **Maschinenformerei (b)** werden durch Verdichten von tonhaltigem Sand (Natursand), der in der **Sandaufbereitung** (vgl. Kapitel 5.2.1)befeuchtet und nach Bedarf mit Bentonit und Stärke aufgefrischt wird, auf Formautomaten Naßgußsandformen gefertigt. Das Metall wird in gasbeheizten **Tiegelöfen** (vgl. Kapitel 2.2) erschmolzen oder flüssig vom Schmelzwerk bezogen. Das Gießen erfolgt über handbetätigte Pfannen.

Die erstarrten Gußstücke werden aus der Form entnommen; die Formreste werden in der **Sandaufbereitung** (vgl. Kapitel 5.2.1) wiederverwendet. Die eingesetzten anorganisch gebundenen **Kerne** (vgl. Kapitel 2.3.3) verbleiben am Gußteil und werden in der Entkernstation vom Guß abgetrennt. Hierbei fällt Kernsand gesondert an. Auch dieser Kernsand wird wieder aufbereitet (vgl. Kapitel 5.3.1.1) und zur Herstellung neuer Kerne verwendet.

Die Gußteile werden nach Bedarf gestrahlt und gesäubert (vgl. Kapitel 2.4.1/2).

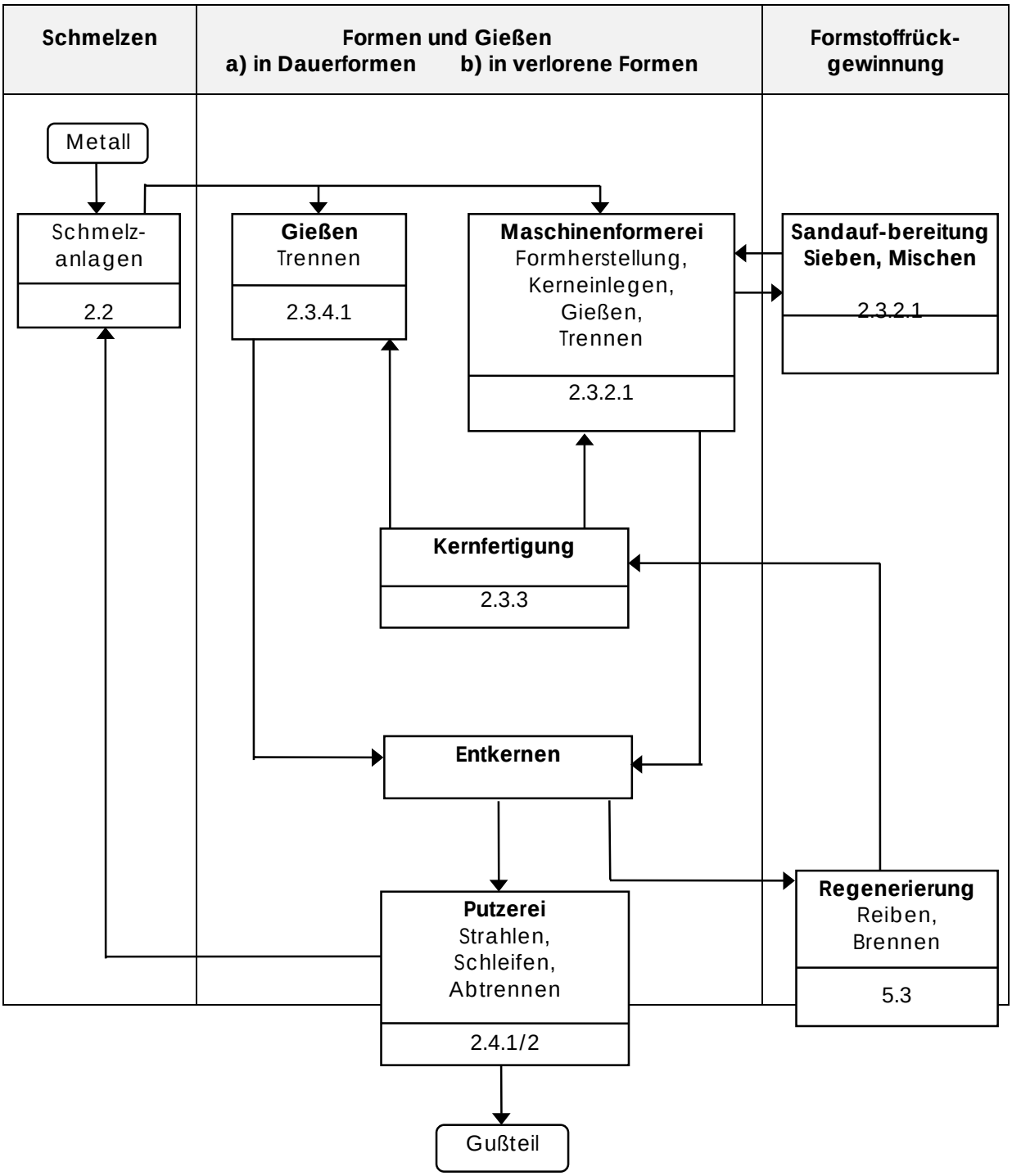


Bild 3.2: Übersicht über die die Verfahrensschritte einer Aluminiumgießerei
a) mit Dauerformen
b) mit verlorenen Formen

4 Abfallarten und -beseitigung

In diesem Kapitel werden die entstehenden Abfälle beschrieben und den Schlüsselnummern des Abfallartenkatalogs der LAGA [LAGA 1990] und des entsprechenden europäischen Kataloges [EG 1994] zugeordnet. Für die Gießereiabfälle werden die bei der Abfallbeseitigung üblichen und die technisch-wissenschaftlichen Bezeichnungen verwendet [VDG R 204 E 1994].

4.1 Zuordnung der Abfallarten zu Verfahrensschritten

Abfallart	AS-Nr.	Herkunft	Überwachungs-bedürftigkeit
Gießereialtsand, Gießereirestsand	31 401	Formen und Gießen	nein
Staub aus Sandaufbereitung,Gießereifeinsand	31 401	Entstaubung Sandkreislauf und Regenerierung	nein
Putzereisand	31 402	Strahlen und Putzen	nein
Kernsand, Kernrestsand	31 426	Kernfertigung	ja
Schlamm aus Gießereien	31 616	Naßentstauber	nein
Eisenhaltiger Staub	35 101	Putzereientstaubung	nein
Eisenbehältn. mit schädl. Restinhalten	35 106	Kernfertigung	ja
Aluminiumabfälle	35 304	Aluminiumputzerei	nein
Sonstige NE-metallhaltige Abfälle	35 315	NE-Metallputzerei	ja
Aminsulfatlösung	52 725	Kernfertigung	ja
Abwasser	------	Wäscher	----

4.2 Daten und Informationen zu den Abfallarten

4.2.1 Rechtsgrundlagen

An Abfälle mit besonderem Gefährdungspotential (vgl. § 41 Abs. 1 KrW-/AbfG) stellt der Gesetzgeber hinsichtlich der Überwachung, Verwertung und Beseitigung besondere Anforderungen. Das Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz (KrW-/AbfG) unterscheidet dabei nach Abfällen zur Verwertung und solchen zur Beseitigung. Diese Abfallarten sind in der Verordnung zur Bestimmung von besonders überwachungsbedürftigen Abfällen (BestbüAbfV) vom 10. September 1996 zusammen mit ihren Abfallschlüsseln aufgelistet. Die neue Verordnung ersetzt die bisher gültigen Abfall- und Reststoffbestimmungsverordnungen.

Wer mit diesen Abfällen umgeht, ob als Besitzer, Erzeuger, Entsorger, Einsammler oder Beförderer, unterliegt einem Überwachungsverfahren mit Nachweispflichten entsprechend der Nachweisverordnung (NachwV) vom 10. September 1996. Sie ersetzt die bisher gültige Abfall- und Reststoffüberwachungsverordnung. Durch Entsorgungsnachweise wird die Zulässigkeit der Verwertung oder Beseitigung vorab geprüft; durch die Begleitscheine wird der Weg eines Abfalles von seiner Anfallstelle bis zum endgültigen Verbleib dokumentiert.

Im Bundesland Baden-Württemberg waren bestimmte besonders überwachungsbedürftige Abfälle zur Beseitigung seit 1991 mit einer gestaffelten Abgabe belegt. Der baden-württembergische Landtag erließ am 11. März 1991 ein entsprechendes Landesabfallabgabengesetz [LAbfAG 1991]. Über die Abfallabgabe sollte die Vermeidung und Verwertung von Abfällen gefördert werden. Damit hatten die in Baden-Württemberg ansässigen Erzeuger besonders überwachungsbedürftiger Abfälle zur Beseitigung - die betroffenen Abfallarten waren in einer Anlage zum LAbfAG aufgeführt - jährlich Abfallabgaben an das Land zu entrichten.

Mit Gesetz zur Aufhebung des Landesabfallabgabengesetzes vom 5. Mai 1997 wurde die Landesabfallabgabe rückwirkend zum 1. Januar 1997 wieder abgeschafft.

Das LAbfAG ordnete die Abfälle drei Abgabekategorien zu. Die Abgabesätze lagen bei 100 DM (Kat. 1), 200 DM (Kat. 2) und 300 DM (Kat. 3) je angefangener Tonne. Kleinerzeuger mit einem jährlichen Aufkommen von insgesamt weniger als 500 kg besonders überwachungsbedürftiger Abfälle unterlagen keiner Abgabepflicht. Die Abgaben waren/sind vom Land Baden-Württemberg zweckgebunden im Sonderabfallbereich einzusetzen, z.B. für Beratung, Forschung, Entwicklung und die Förderung von auf dem Gebiet der Vermeidung und Verwertung besonders überwachungsbedürftiger Abfälle sowie bei der Sanierung von Altlasten (§ 10 LAbfAG).

Die in den nachfolgenden Ziffern als praxisüblich beschriebenen Möglichkeiten der Entsorgung von Gießereiabfällen auf oberirdischen Hausmüll- oder Bauschuttdeponien waren bislang an Hand der jeweiligen Deponiezulassung zu beurteilen. Spätestens mit Ablauf der in der TA Siedlungsabfall genannten Übergangsfristen ist die Zulässigkeit der oberirdischen Deponierung der nicht vermeidbaren und nicht verwertbaren Abfälle aus Gießereien auf Deponien der Klasse I oder II nach den Zuordnungskriterien des Anhangs B der TA Siedlungsabfall zu beurteilen. Für einige der in den folgenden Ziffern beschriebenen Abfälle, die bislang auf Hausmüll- oder Bauschuttdeponien abgelagert werden, sind dann möglicherweise Vorbehandlungsmaßnahmen zur Einhaltung der Zuordnungskriterien vor einer Deponierung durchzuführen. Kritische Parameter könnten pH-Wert, Schwermetallgehalt im Eluat und der organische Anteil des Trockenrückstandes der Originalsubstanz sein.

4.2.2 Gießereirestsand

4.2.2.1 Formale Abfalldaten

- Gießereialtsand, AS-Nr. 31 401, EWC-Nr. 1009 02, 1010 02, 1009 99 und 1010 99
- nicht überwachungsbedürftig und nicht abgabepflichtig

Nach dem EG-Abfallartenkatalog wird nach der Art des Formstoffbindemittels und des vergossenen Werkstoffes unterschieden: EWC-Code 1009 02 umfaßt Gießformen und Sande mit organischen Bindern nach dem Gießen aus Eisen- und Stahlgießereien. EWC-Code 1010 02 umfaßt Gießformen und Sande mit organischen Bindemitteln nach dem Giessen aus NE-Metallgießereien. Für bentonitgebundene Gießereirestsande ist keine spezielle EWC-Bezeichnung und Nr. vorhanden. Hier müßte sinngemäß der allgemeine Abfallschlüssel für Eisengießereien (1009 99) oder NE-Metallgießereien (1010 99) verwendet werden.

4.2.2.2 Herkunftsverfahrensschritte

Definitionsgemäß handelt es sich um den Formstoff, der in der Gießerei nach dem Gießprozeß nicht wiederverwendet und ausgeschleust wird. Entscheidend für die Zuordnung ist der Gießprozeß, der durchlaufen sein muß. Der Ausgangsformstoff kann sowohl tongebunden (vgl. Kapitel 2.3.2.1) als auch harzgebunden (vgl. Kapitel 2.3.2.2) sein.

4.2.2.3 Zusammensetzung

Hauptbestandteil des Gießereirestsandes ist feinkörniger Quarzsand mit einer mittleren Korngröße von 0,2 mm. Nebenbestandteile sind Ton, Kohlenstaub und Harzreste. Enthalten sind Kernknollen sowie Reste von Keramikteilen und Speisern, soweit diese nicht abgesiebt sind. Gießereirestsand aus weitgehend geschlossenem Kreislauf enthält hauptsächlich solche abgesiebten Knollen.

Die in größter Menge anfallenden Restsande aus Eisen- und Aluminiumgießereien enthalten verfahrensbedingt keine schädlichen Schwermetalle; die Konzentrationen im Feststoff liegen deutlich unter den Zuordnungswerten der Verwertungsklasse Z 2 (vgl. Kapitel 5.6). Nur wenn Kerne aus Chromerzsand verwendet werden, kann der Zuordnungswert für Chrom überschritten sein. Da in diesem Falle Chrom als säureunlösliches Mineral vorliegt, ist eine schädliche Mobilisierung von Chrom und anderen Schwermetallen auszuschließen. Differenziert zu betrachten sind Gießereirestsande aus bestimmter NE-Metallfertigung, die Schwermetalle aus dem Produkt z.B. bei Blei- und Messingguß enthalten können.

Gießereirestsande sind beim Gießprozeß erhitzt oder erwärmt worden, so daß flüchtige und wasserlösliche organische Bestandteile verfahrensbedingt enthalten sein können, aber im feuchten Restsand abgebaut werden. Der Kohlenstoffgehalt in Form von Koks oder wasserunlöslichen Harzen liegt unter den Zuordnungswerten für oberirdische Deponien 1 [TA Siedlungsabfall 1993]; polycyclische Aromate und Phenole sind, wenn überhaupt unterhalb der Zuordnungswerte für die Verwertung Z 2 (vgl. Kapitel 5.6.1) enthalten.

4.2.2.4 Spezifische Abfallmengen

- 20 bis 50% der Produktion von Eisen- oder 100 bis 200% von Aluminiumguß (guter Guß)

4.2.2.5 Abfallbeseitigung

- z.Z. Hausmüll- und Bauschuttdeponien oder Deponie Klasse 1 nach TA Siedlungsabfall

4.2.2.6 Umweltauswirkungen der Beseitigung

- **Luft**

Verwehungen beim Transport und Umschlag feinkörniger Gießereirestsande können durch Befeuchten oder mit Hilfe geschlossener Behälter vermieden werden. Im feuchten Gießereirestsand mit 5 bis 15% Wasseranteil oxidieren Phenole innerhalb weniger Tage, so daß weder Luft noch Wasser belastet werden können. Direkt aus dem Fertigungsprozeß entnommene Gießereirestsande verlieren den typischen „Gießereigeruch“. Wegen des geringen und in fester Form vorliegenden Kohlenstoffanteils erfolgt im abgelagerten Material keine Gärung mit Gasbildung, sondern eine langsame Oxidation.

- **Wasser**

Gießereirestsande bilden einen tragfähigen und festen Schüttkörper mit geringer Wasserdurchlässigkeit, so daß Auswaschvorgänge, wenn überhaupt, sehr langsam ablaufen und Zeit für die Oxidation organischer und Immobilisierung anorganischer Bestandteile bleibt. Organische und anorganische Schadstoffe innerhalb der Zuordnungswerte der Verwertungsklasse Z 2 (vgl. Kapitel 5.6.1) oder Deponieklasse 1 [TA Siedlungsabfall 1993] führen deshalb nicht zu einer Belastung des Sickerwassers, wie an Monodeponien für solche Gießereirestsande eindeutig nachgewiesen werden konnte.

Da die Schwermetallfracht der in größter Menge anfallenden Restsande aus Eisen- und Aluminiumgießereien sehr niedrig im Bereich natürlicher Tone liegt, führen abgeschwemmte Feststoffe vor allem zu einer vorübergehenden Wassertrübung. Lagerplätze und Deponiekörper werden deshalb gegen Abschwemmen durch Oberflächenwasser gesichert.

Die heutigen tongebundene Restsande (vgl. Kapitel 2.3.2.1) ergeben bei der Auslaugung mit Wasser ein leicht alkalisches, harzgebundene Restsande (vgl. Kapitel 2.3.2.2) ein leicht saures Eluat mit pH-Werten zwischen 4 und 6. Da meist beide Sandarten zusammen oder auch mit anderen alkalisierenden Gießereiabfällen abgelagert werden, kann so eine Neutralisation der geringen Säuremengen im Deponiekörper erfolgen. Dies tritt zwangsläufig ein, wenn alle mineralischen Reststoffe einer Gießerei auf der gleichen Deponie abgelagert werden.

Eine Belastung des Sickerwassers mit Schwermetallen wie Blei oder Kupfer ist nur bei Material aus bestimmten NE-Metallgießereien z.B. bei Blei- oder Rotguß möglich. Diese fallen allerdings nur in ganz geringen Mengen und definiert an.

- **Abfall**

Abfallentstehung durch Sickerwasserbehandlung ist vernachlässigbar. Eine Belastung des Sickerwassers ist nur dann zu erwarten, wenn Schwermetalle im Altsand enthalten sind und ausgelaugt werden.

- **Energie**

Energie wird nur für Transport und Verfüllen benötigt.

4.2.3 Staub aus Sandaufbereitung

4.2.3.1 Formale Abfalldaten

- Gießereialtsand, AS-Nr. 31 401
- nicht überwachungsbedürftig und nicht abgabepflichtig

Diese Stäube entsprechen in der Zusammensetzung dem Gießereirestsand (Altsand AS-Nr. 31 401) und werden in der Praxis so gekennzeichnet.

4.2.3.2 Herkunftsverfahrensschritte

Es fallen zwei Typen von Stäuben an. Bei **Typ A** handelt es sich um Stäube aus dem Formstoffumlauf und mechanischen Regenerierungsanlagen. Die Stäube fallen hauptsächlich in Abgasreinigungsanlagen der Formstoffaufbereitung (vgl. Kapitel 2.3.2.1 und 5.2.1.1) und der Sandrückgewinnungsanlagen an. Stäube aus der thermischen Regenerierung [**Typ B**] (vgl. Kapitel 5.3.1.1.2) werden gesondert betrachtet.

4.2.3.3 Zusammensetzung

[Typ A] Die Stäube bestehen wie Gießereirestsand hauptsächlich aus Quarzsand und Kohlenstoff bzw. Restbinderhüllen (kunstharzgebundene Binderbestandteile, z.B. ausgehärtete Furan- und Phenolharze) > 10%. Bei Stäuben aus Naßgußsand ist zusätzlich Ton enthalten. Definitionsgemäß sind die feinkörnigen oder leichten Bestandteile des Restsandes in höheren Anteilen enthalten. Stäube aus dem Formstoffumlauf und der Regenerierung weisen je nach Feinheit und Wasseranteil eine Schüttdichte von 0,5 bis 1 kg/l auf.

Der Kohlenstoffanteil kann bei hohem Feinkornanteil bis zu 50% betragen oder auch im Bereich der jeweiligen Formsande liegen. Feinkörnige Materialien enthalten im geringen Umfang wasserlösliche Bestandteile. Auch bei Stäuben mit hohem Kohlenstoffanteil bis 50% wird ein Heizwert von 11 000 kJ/kg in der Regel nicht erreicht.

[Typ B] Stäube aus thermischen Regenerierungsanlagen sind durch den Prozeß ausgebrannt. Es handelt sich um Feinsand mit Ton und Eisenoxiden (wenig).

4.2.3.4 Spezifische Abfallmenge

- 1 bis 30% der Produktion an gutem Guß bei hohem Recyclinggrad des Formstoffes

4.2.3.5 Abfallbeseitigung

- z.Z. auf Hausmülldeponien

4.2.3.6 Umweltauswirkungen der Beseitigung

Bei der Betrachtung der Umweltauswirkungen werden beide Staubtypen gesondert betrachtet:

[Typ A] Staub aus Formstoffumlauf und mechanischen Regenerieranlagen (vgl. Kapitel 2.3.2.1, 5.2.1.1 und 5.3.1.1.1) mit hohem Anteil an Kohlenstoff bzw. Restbinderhüllen (kunstharzgebundene Binderbestandteile, z.B. ausgehärtete Furan- und Phenolharze) > 10%.

[Typ B] Staub aus der thermischen Regenerierung (Heißregenerierung) (vgl. Kapitel 5.3.1.1.2) mit einem Kohlenstoffanteil unter 3%.

Beide Staubarten unterscheiden sich nicht im Schwermetallpegel, der bei Stäuben aus Eisen- und Aluminiumgießereien erwartungsgemäß niedrig im natürlichen Bereich des Tones liegt. Sie unterscheiden sich nur im organischen Anteil.

- **Luft**

Beim **Typ A** ist ein Ausgasen organischer Stoffe bei hohem Anteil an Kohlenstoffverbindungen nicht auszuschließen. Insbesondere auch deshalb, weil das feinkörnige Material wenig luftdurchlässig ist und deshalb im Gegensatz zum Gießereirestsand eine Oxidation behindert wird. Beim **Typ B** hingegen mit geringem Anteil an Kohlenstoff kann eine Luftbelastung durch organische Stoffe oder Gärprodukte ausgeschlossen werden.

Bei beiden Staubtypen kann ein Verwehen durch Befeuchten bzw. geschlossenes Transportsystem verhindert werden.

- **Wasser**

Beim **Typ A** können organische Bestandteile wie z.B. Phenole ausgewaschen werden und saure Regenerierstäube aus kaltharzgebundenen Formstoffen (vgl. Kapitel 5.3.1.1.1) zu einer pH-Verschiebung des Sickerwassers in den sauren Bereich führen, soweit nicht Stäube oder Sande mit alkalischem Potential aus tongebundenen Formstoffen mit abgelagert werden. In selteneren Fällen ist auch mit Ammoniumstickstoff zu rechnen. Keine Belastung über den Wasserpfad erfolgt bei **Typ B**.

- **Abfall**

Abfallentstehung durch Sickerwasserbehandlung ist nur bei **Typ A** möglich, wenn der CSB-Wert - verursacht durch wasserlösliche Bindemittelbestandteile wie Phenole und Paratoluolsulfonsäuren - zu senken ist. Dies erfolgt in biologischen Anlagen. Abfall fällt als Klärschlamm an.

- **Energie**

Energiebedarf für Transport, Einbringen der Abfälle sowie Sickerwasserbehandlung und andere Nachsorgemaßnahmen.

4.2.4 Putzereisandrückstände

4.2.4.1 Formale Abfalldaten

- Putzereisandrückstände, Strahlsandrückstände, AS-Nr. 31 402, EWC-Nr. 1009 99, 1010 99
- nicht überwachungsbedürftig und nicht abgabepflichtig

4.2.4.2 Herkunftsverfahrensschritte

Es handelt sich um Formstoffreste, die am Gußstück haftend bis in die Strahlanlagen gelangen und dort durch den Strahlvorgang freigesetzt werden (vgl. Kapitel 2.4.1). Bei der Strahlmittelreinigung wird abgestrahlter Sand vom metallischen Strahlmittel getrennt. Strahlstaub fällt bei der Entstaubung im Sichter der Strahlmittelreinigung an und wird in der zugehörigen Entstaubung abgeschieden.
Typ A fällt in Eisen- und Aluminiumgießereien an, in denen mit Stahlkies oder Aluminiumgranulat gestrahlt wird. **Typ B** fällt in Messing- oder Bleigießereien an und enthält Bestandteile der verarbeiteten Werkstoffe, wie Blei, Zink oder Kupfer.

4.2.4.3 Zusammensetzung

[Typ A] Putzereisandrückstände der Eisen- und Aluminiumgießereien enthalten Bestandteile des Strahlmittels und des bearbeiteten Werkstückes. Da bei der praxisüblichen Verfahrenstechnik nur am Gußstück haftendes Material in die Strahlanlagen verschleppt wird, ist **Strahlsand** sehr gut abgebrannt und enthält deshalb wenig Kohlenstaub oder andere organische Stoffe. Andererseits sind hier Bestandteile der verwendeten Schlichten und auch Reste von exothermen Massen zur Flüssighaltung der Speiser bevorzugt anzutreffen. Schädliche Schwermetalle sind nur bei Restsanden aus Eisen- und Aluminiumgießereien zu erwarten. Je nach Metallanteil im Restsand liegt die Schüttdichte bei 1 bis 2 kg/l.

[Typ B] Putzereisandrückstände aus NE-Metallgießereien außer Aluminiumgießereien enthalten neben den oben beschriebenen Bestandteilen zusätzlich Schwermetalle aus den bearbeiteten Werkstoffen, z.B. Blei, Zink oder Kupfer in mobilisierbarer Form.

4.2.4.4 Spezifische Abfallmengen

- 0,1 bis 1% der Gußproduktion (guter Guß)

4.2.4.5 Abfallbeseitigung

- z.Z. Hausmüll- und Bauschuttdeponien

4.2.4.6 Umweltauswirkungen der Beseitigung

- **Luft**

Es ist mit keiner Belastung zu rechnen, soweit Verwehungen vermieden werden.

- **Wasser**

Putzereisandrückstände des **Typs A** enthalten in der Regel keine eluierbaren, organischen Stoffe. Aus Resten exothermer Massen zur Flüssighaltung der Speiser können Fluoride ausgewaschen werden. Eine Belastung über den Trinkwassergrenzwert von 1,5 mg/l ist nur in Ausnahmefällen zu erwarten. Im sauren Sickerwasser von Hausmülldeponien kann Eisen gelöst und bei Luftzutritt als Oxid wieder ausgefällt werden. Dies führt zu einer Verockerung und Verstopfung der Entwässerungssysteme. Werden eisenhaltige Stäube jedoch getrennt gelagert z.B. auf einer Monodeponie für Gießereireststoffe, so erfolgt zwar eine Oxidation des metallischen Eisens jedoch keine Mobilisierung. Eisenhaltige Stäube werden deshalb generell auf getrennten Poldern abgelagert. Bei dieser Verfahrensweise ist nicht mit einer Wasserbelastung zu rechnen.
Putzereisandrückstände des **Typs B** aus NE-Metallgießereien außer Aluminiumgießereien verhalten sich wie **Typ A**; statt Eisen können je nach Werkstoffart Zink, Blei oder Kupfer gelöst werden. Auch hier ist bei getrennter Ablagerung nicht mit einer Wasserbelastung zu rechnen. Es verbleibt jedoch ein Potential an langfristig mobilisierbaren Schwermetallen.

- **Abfall**

Abfallentstehung durch Sickerwasserbehandlung ist vernachlässigbar.

- **Energie**

Energie wird in geringer Menge für Transport und Einbau benötigt.

4.2.5 Kernsand (Kernrestsand)

4.2.5.1 Formale Abfalldaten

- Kernsande, AS-Nr. 31 426, EWC-Nr. 1009 01 und 1010 01
- besonders überwachungsbedürftig und abgabepflichtig nach Kategorie 2

4.2.5.2 Herkunftsverfahrensschritte

Kernsande sind nicht thermisch beeinflußte Formstoffe, die aus ausgehärteten und nicht ausgehärteten Form-/Kernresten bestehen. Sie fallen in der Kernmacherei beim Reinigen des Mischers und der Kernschießmaschinen (vgl. Kapitel 2.3.3) und als Überfallsand an (vgl. Kapitel 2.3.2.2 und 3.1/2); weiterhin als Form- und Kernbruch. Als Kernsande sind auch Kernsandmischungen und Kernbruch mit silikatischen Bindemitteln z.B. Wasserglas zu bezeichnen.

4.2.5.3 Zusammensetzung

Kernrestsand besteht aus Sand und < 3% vorwiegend verfestigtem Bindemittel; nur bei nicht ausgehärtetem Kernsand z.B. Fehlchargen am Mischer können erhebliche Anteile an Monomeren wie Phenole enthalten sein. Beim Lagern erfolgt eine Nachhärtung. Je nach Aushärtegrad und Herkunft enthält Kernsand lösliche organische Binderreste. Rein silikatische Kernsande (Wasserglassand) hingegen enthalten lösliche Alkalisilikate. Kernsand liegt meistens in stückiger Form (z.B. als Kernbruch) vor. Der Binderanteil liegt selten über 1 bis 3% der Trockenmasse.

4.2.5.4 Spezifische Anfallmenge

- 0 bis 5% der Gußproduktion (guter Guß)

4.2.5.5 Abfallbeseitigung

- z.Z. bevorzugt auf Sonderabfalldeponien, aber auch auf Hausmülldeponien oder Monodeponien [LAGA 1990]

4.2.5.6 Umweltauswirkungen der Beseitigung

Da Kernsande durch Nachhärtung (Polymerisation oder Kondensation der monomeren Harzbestandteile) verfestigen und dabei die Löslichkeit der Binderbestandteile abnimmt, ist die Einwirkung auf Wasser und Umwelt auf Wochen bis Monate begrenzt.

- **Luft**

Der typische Geruch frischer Kernsandmischungen, verursacht durch ausdampfende Bindemittelbestandteile wie Phenole oder Lösemittel, verschwindet bereits beim Bereitstellen und Lagern im Fertigungsbetrieb, so daß beim Deponieren keine Belastung der Luft erfolgt. Kernsand führt auch wegen seiner insgesamt körnigen, anorganischen Struktur zu keiner Gasentwicklung auf der Deponie, da wie bei Gießereirestsand ein Abbau der Kohlenstoffverbindungen durch Oxidation und nicht durch Vergären erfolgt.

- **Wasser**

Eine Belastung des Sickerwassers kann dann ausgeschlossen werden, wenn Kernsand durch trockenes Lagern (Tage bis Wochen) durchgehärtet ist und/oder lösliche Binderbestandteile im feuchten Gut oxidiert werden. In diesem Fall unterscheidet sich Kernsand nicht vom Gießereirestsand (vgl. Kapitel 4.2.1). Ist dies nicht gewährleistet, so kann eine Belastung des Sickerwassers mit löslichen Binderbestandteilen wie Phenolen erfolgen.

- **Abfall**

Abfall kann bei der Sickerwasseraufbereitung z.B. durch Klärschlamm aus der biologischen Reinigung, bei der gelöste organische Stoffe (CSB-Wert) - z.B. Phenole oder Stärke abgebaut werden - entstehen.

- **Energie**

Energie wird für den Transport und den Verfüllvorgang sowie die Sickerwasseraufbereitung und andere Nachsorgemaßnahmen benötigt.

4.2.6 Schlamm aus Gießereien

4.2.6.1 Formale Abfalldaten

- Schlamm aus Gießereien, AS-Nr. 31 626, EWC-Nr. 1009 99 und 1000 99
- nicht nachweispflichtig und nicht abgabepflichtig

4.2.6.2 Herkunftsverfahrensschritte

- Entstaubungsanlagen für Formstoffumlauf und Sandrückgewinnung [**Typ A**] (vgl. Kapitel 2.3.2.1) sowie Putzen und Strahlen [**Typ B**] (vgl. Kapitel 2.4.1/2)

4.2.6.3 Zusammensetzung

Schlamm [**Typ A**] enthält Bestandteile des Formstoffes wie Feinsand, Kohlenstaub und Bentonit. Schlamm [**Typ B**] aus der Putzerei enthält Metalle vom Strahlen oder Putzen sowie abgestrahlten Formsand. Metalle wie Eisen oder Aluminium verfestigen den Schlamm. Schlamm aus Formstoffumlauf und Putzerei der Eisen- und Aluminiumgießereien enthält keine wasserlöslichen Bestandteile. Um ein schüttfähiges Material zu erhalten, wird dieser Schlamm z.T. mit dem Gießereirestsand vermischt, von dem er durch Entstauben abgetrennt wurde.

Bei Schlämmen [**Typ B**] aus bestimmten NE-Metallgießereien (Blei und Buntmetall) können schädliche Schwermetalle enthalten sein (bis 10%).

4.2.6.4 Spezifische Abfallmengen

Da zunehmend trocken entstaubt wird, nimmt die zu entsorgende Schlammenge aus Gießereien deutlich ab. Derzeit fallen in vielen Betrieben keine, sonst Mengen von 1 bis 20% der Produktion an gutem Guß an.

4.2.6.5 Abfallbeseitigung

- z.Z. **Typ A**: Hausmülldeponie
- z.Z. **Typ B**: Hausmüll- und Sondermülldeponie mit Ablagerung auf getrennten Poldern

4.2.6.6 Umweltauswirkungen der Beseitigung

- **Luft**

Durch Wasser sind auch feinkörnige Bestandteile gebunden. Bei der Deponierung von Schlämmen mit hohem Anteil an Kohlenstoffverbindungen (> 10%) ist langfristig mit Gasbildung zu rechnen, soweit Luftzutritt behindert wird.

- **Wasser**

[Typ A] Bei Schlämmen aus Eisen- und Aluminiumgießereien ist wegen des geringen Schwermetallpegels mit keiner Belastung des Sickerwassers durch Schwermetalle oder organische Stoffe zu rechnen. Auch andere Werkstoffe werden im Naßwäscher weitgehend oxidiert bzw. sind wasserunlöslich.

[Typ B] Im sauren Sickerwasser von Hausmülldeponien können Metalle gelöst und bei Luftzutritt als Oxid wieder ausgefällt werden. Dies führt zu einer Verockerung und Verstopfung der Entwässerungssysteme. Werden Metallhaltige Stäube jedoch getrennt gelagert z.B. auf einer Monodeponie für Gießereireststoffe, so erfolgt zwar beispielsweise eine Oxidation des metallischen Eisens jedoch keine Mobilisierung. Metallhaltige Stäube werden deshalb generell auf getrennten Poldern abgelagert. Bei dieser Verfahrensweise ist nicht mit einer Wasserbelastung zu rechnen. Bei legierten Eisenwerkstoffen oder bestimmten NE-Metallen wie Zink oder Blei verbleibt ein Potential an langfristig mobilisierbaren Schwermetallen.

- **Abfall**

Abfall kann bei der Sickerwasserbehandlung aus dem **Typ B** entstehen, wenn nicht getrennt abgelagert wird und Eisen oder andere Metalle bei der physikalisch-chemischen Behandlung ausgefällt werden.

- **Energie**

Es wird Energie für Transport und Einbringen sowie die Sickerwasserbehandlung und andere Nachsorgemaßnahmen benötigt.

4.2.7 Eisenhaltiger Staub

4.2.7.1 Formale Abfalldaten

- Eisenhaltiger Staub, AS-Nr. 35 101, EWC-Nr. 1009 99
- nicht überwachungsbedürftig und nicht abgabepflichtig

4.2.7.2 Herkunftsverfahrensschritte

Dieser Staub fällt in Abluftreinigungsanlagen der Strahlanlagen von Eisengießereien sowie beim Schleifen und Putzen an (vgl. Kapitel 2.4.1/2).

4.2.7.3 Zusammensetzung

Er besteht hauptsächlich aus dem verarbeiteten Metall neben Formstoff und Schleifscheibenresten und in geringem Umfang Legierungsbestandteilen.

Eine niedrige Schüttdichte weisen Stäube aus Strahlanlagen mit hohem Sandanteil aus. Schleifstäube hingegen sind deutlich schwerer aufgrund ihres hohen Eisenanteils bis 60%. Je nach Metallanteil liegt die Schüttdichte bei 1 bis 2 kg/l.

4.2.7.4 Spezifische Abfallmengen

- rund 0,1% der Produktion an gutem Guß

4.2.7.5 Abfallbeseitigung

- Eisenhaltiger Staub wird z.Z. auf Hausmüll- oder Sondermülldeponien entsorgt.

4.2.7.6 Umweltauswirkungen der Beseitigung

- **Luft**

Eine Belastung der Luft ist nicht zu erwarten, soweit ein Verwehen, z.B. durch Befeuchten, ausgeschlossen wird.

- **Wasser**

Im sauren Sickerwasser von Hausmülldeponien kann Eisen gelöst und bei Luftzutritt als Oxid wieder ausgefällt werden. Dies führt zu einer Verockerung und Verstopfung der Entwässerungssysteme. Werden eisenhaltige Stäube jedoch getrennt gelagert z.B. auf einer Monodeponie für Gießereireststoffe, so erfolgt zwar eine Oxidation des metallischen Eisens jedoch keine Mobilisierung. Eisenhaltige Stäube werden deshalb generell auf getrennten Poldern abgelagert. Bei dieser Verfahrensweise ist nicht mit einer Wasserbelastung zu rechnen. Bei legierten Eisenwerkstoffen verbleibt ein Potential an langfristig mobilisierbaren Schwermetallen.

- **Abfall**

Abfall kann bei der Sickerwasserbehandlung durch Eisenfällung anfallen. Legierungsbestandteile spielen hierfür keine Rolle.

- **Energie**

Für Transport und Einbringen sowie die Sickerwasserbehandlung und sonstige Nachsorgemaßnahmen wird Energie benötigt.

4.2.8 Eisenmetallbehältnisse mit schädlichen Restinhalten

4.2.8.1 Formale Abfalldaten

- Eisenmetallbehältnisse mit schädlichen Restinhalten AS-Nr. 35 106, EWC-Nr. 150104
- überwachungsbedürftig und abgabepflichtig nach Kategorie 2

4.2.8.2 Herkunftsverfahrensschritte

- Die Gebinde fallen beim Entleeren von Harzbindemitteln und Schlichten in der Kernmacherei an, wenn diese nicht vollständig entleert und keine Mehrwegbehälter verwendet werden (vgl. Kapitel 2.3.3).

4.2.8.3 Zusammensetzung

Restinhalte von Kondensationsharzen in Wasser oder Lösemitteln. Da beim Entleeren der Behälter hauptsächlich Feststoffe und klebende Harze zurückbleiben, sind Lösemittel in entzündbaren Mengen nicht vorhanden.

4.2.8.4 Spezifische Abfallmenge

Da meistens Mehrweggebinde verwendet werden oder die Gebinde nach Entleeren im Schmelzbetrieb eingeschmolzen werden, fällt wenig als Abfall an.

4.2.8.5 Abfallbeseitigung

- Sonderabfalldeponie oder Sonderabfallverbrennung [LAGA 1990].
  Zu beachten ist die VAwS oder VbF, wenn mehr als 1 l brennbare Restflüssigkeit enthalten ist.

4.2.8.6 Umweltauswirkungen der Beseitigung

- **Luft**

Luft kann durch Lösemittel- und Harzbestandteile wie Phenol belastet werden.

- **Wasser**

Wasser kann bei unsachgemäßer Lagerung im Freien durch wasserlösliche Binderbestandteile wie Phenole und Lösemittel belastet werden.

- **Abfall**

Abfall fällt bei der Verbrennung als Schlacke an

- **Energie**

Energie wird bei der Verbrennung benötigt, da im Normalfall die geringen Restinhalte zu wenig Energie liefern können.

4.2.9 Aluminiumabfälle

4.2.9.1 Formale Abfalldaten

- Aluminiumabfälle, AS-Nr. 35 304, EWC-Nr. 1010 99
- nicht überwachungsbedürftig und nicht abgabepflichtig

4.2.9.2 Herkunftsverfahrensschritte

Aluminiumabfälle fallen in Abgasreinigungsanlagen der Putzerei (vgl. Kapitel 2.4) von Aluminiumgießereien als Staub und als Schlamm an.

4.2.9.3 Zusammensetzung

Sie bestehen hauptsächlich aus Aluminium (30 - 60%), Formstoff und Schleifscheibenresten.

4.2.9.4 Spezifische Abfallmenge

- 0,1% der Produktion bei Aluminiumguß

4.2.9.5 Abfallbeseitigung

- z.Z. Sondermülldeponie und Hausmülldeponie [LAGA 1990]

4.2.9.6 Umweltauswirkungen der Beseitigung

Je nach Anfallprozeß entstehen mehr oder weniger feine Aluminiumpartikel, die zur Vermeidung von Staubexplosionen meistens naß abgeschieden werden. Zu beachten ist die Brandgefahr bei trockenen Stäuben und die Wasserstoffentwicklung mit Feuchtigkeit.

- **Luft**

Der Gefahr des Verwehens wird durch Transport und Einbringen in geschlossenen Behältern z.B. Plastiksäcken begegnet.

- **Wasser**

Es sind keine Belastungen zu erwarten. Aluminium kann im Sickerwasser gelöst werden und so ins Deponiesickerwasser gelangen.

- **Abfall**

Bei der Sickerwasserbehandlung ist ein Anfall von Schlamm durch Fällen von Aluminium zu erwarten.

- **Energie**

Energie wird für Transport und Einbringen auf die Deponie verbraucht; außerdem wird Energie verschwendet, die zur Herstellung von Neumaterial in entsprechender Menge erforderlich ist.

4.2.10 NE-metallhaltiger Staub

4.2.10.1 Formale Abfalldaten

- Sonstige NE-metallhaltige Stäube, AS-Nr. 35 315, EWC-Nr. 1009 99
- je nach Schadstoff und -gehalt überwachungsbedürftig und abgabepflichtig nach Kategorie 2

4.2.10.2 Herkunftsverfahrensschritte

Dieser Staub fällt in Abluftreinigungsanlagen der Strahlanlagen von bestimmten NE-Metallgießereien sowie beim Schleifen und Putzen von NE-Metallen an (vgl. Kapitel 2.4).

4.2.10.3 Zusammensetzung

Er besteht hauptsächlich aus dem verarbeiteten Metall neben Formstoff und Schleifscheibenresten.

4.2.10.4 Spezifische Abfallmengen

- rund 0,1% der Produktion

4.2.10.5 Abfallbeseitigung

- je nach Schadstoff und -gehalt z.Z. auf Sonderabfalldeponie oder auch auf Hausmülldeponie [LAGA 1990]

4.2.10.6 Umweltauswirkungen der Beseitigung

- **Luft**

Ein Verwehen ist durch Befeuchten oder Arbeiten in geschlossenen Systemen zu vermeiden; ansonsten ist mit Bodenbelastungen durch über den Luftpfad eingetragene Schwermetalle zu rechnen.

- **Wasser**

Beim Deponieren ist durch Ablagern auf getrennten Poldern möglichst im Bereich von anderen Gießereiabfällen dafür zu sorgen, daß Sickerwasser aus anderen Bereichen der Sonder- oder Hausmülldeponie keine toxischen Schwermetalle lösen kann.

- **Abfall**

Bei Sickerwasserbehandlung kann durch Fällen Abfall entstehen, wenn Schwermetalle wie Blei oder Zink gelöst werden.

- **Energie**

Für Transport und Einbringen auf der Deponie sowie Sickerwasseraufbereitung oder sonstige Nachsorgemaßnahmen wird Energie benötigt.

4.2.11 Aminsulfatlösung

4.2.11.1 Formale Abfalldaten

- Waschkonzentrat AS-Nr. 52725, EWC-Nr. 060302 oder Säuregemische AS-Nr. 52102, EWC-Nr. 060101
- überwachungsbedürftig und abgabepflichtig nach Kategorie 2

4.2.11.2 Herkunftsverfahrensschritte

Aminsulfatlösung fällt bei der Abgasreinigung in der Kernmacherei an. In Gegenstromwäschern werden Amine aus der Cold-Box-Fertigung mit verdünnter Schwefelsäure ausgewaschen. Die Waschflüssigkeit wird im Kreislauf gefahren. Der Säuregrad der Waschlösung wird durch Zudosieren von frischer Säure konstant gehalten; verdunstetes Wasser wird durch Frischwasser ersetzt. Von Zeit zu Zeit wird das beladene Waschkonzentrat ausgeschleust.
In einigen Betrieben wird statt Schwefelsäure Phosphorsäure als Waschmedium verwendet.

4.2.11.3 Zusammensetzung

Je nach Aminart besteht das Waschkonzentrat aus Triethyl-, Dimetyhlethyl-, oder Dimethylisopropylaminsulfat und Schwefelsäure. Die Salzkonzentration liegt bei rd. 50%.

4.2.11.4 Spezifische Abfallmengen

Pro 1 000 kg Kerne entstehen 4,3 kg Waschkonzentrat. Je nach Gußprogramm und Kernbedarf sind das rd 0,1% der Produktion an gutem Guß.

4.2.11.5 Abfallbeseitigung

Das Waschkonzentrat wird vorwiegend zur Aminrückgewinnung verwertet [2]. Die Abfallbeseitigung erfolgt durch chemisch-physikalische Behandlung oder Sonderabfallverbrennung. Die Waschlösungen einzelner Betriebe werden nach Neutralisation zusammen mit dem Abwasser

[2] Die Verwertung erfolgt bei der Fa. Haltermann GmbH, Werk Speyer, Joachim-Becher-Str. 1, 67 346 Speyer oder bei der Fa. Westab GmbH, Betrieb Voerde, Weseler Straße 100, 46 562 Voerde

anderer Bereiche in die öffentliche Kanalisation eingeleitet und in biologischen Kläranlagen gereinigt.

4.2.11.6 Umweltauswirkungen der Beseitigung und Abwasserbeseitigung

- **Luft**

Neutrales Waschkonzentrat riecht intensiv nach Amin (Fischgeruch); ein Säureüberschuß (pH 2) verhindert Ausgasungen.

Wird die Waschlösung vor Ableitung in den Kanal neutralisiert, so können Gerüche durch freigesetztes Amin entstehen, wenn nicht in einen fließenden Abwasserstrom geleitet wird. Die Ableitung in den Kanal ist genehmigungspflichtig (vgl. Kapitel 2.5).

- **Wasser**

Das Waschkonzentrat gilt als wassergefährdende Flüssigkeit. Vorgeschrieben sind stabile Transportbehälter und einlagern auf wasserundurchlässigem Untergrund bzw. in Auffangwannen. Gelangt die Waschlösung und Reinigungsflüssigkeit aus Wäschern oder Auffangbehältern in das Abwasser, so bleibt nach der biologischen Reinigung die Salzbelastung durch Sulfat erhalten.

- **Abfall**

Bei der Abwasserbeseitigung entsteht Klärschlamm bei der biologischen Reinigung. Glaubersalz entsteht bei der physikalisch-chemischen Behandlung oder bei der Verbrennung (Abgaswäsche). Je nach Behandlungsart wird Salz im Abwasser oder als Abfall entsorgt. Die chemisch-physikalische Behandlung und auch die Sonderabfallverbrennung ergeben Abfall (Glaubersalz).

- **Energie**

Bei der Abwasserbeseitigung wird zur biologischen Reinigung Energie benötigt. Die Verbrennung oder chemisch-physikalische Behandlung verbrauchen deutlich mehr Energie.

4.2.12 Abwasser

Der weitaus größte Teil des in Gießereien anfallenden Abwassers wird durch den Schmelzbetrieb verursacht, der jedoch außerhalb des Betrachtungsraums liegt. Dieser Teil des Abwassers wird daher nicht berücksichtigt.

im betrachteten Bereich kann Abwasser anfallen aus:

- Naßwäschern und Abgasreinigungsanlagen der Bereiche Gießen, Kühlen, Ausleeren und Formstoffaufbereitung, Kernherstellung, Putzerei,
- Schlichtebecken,
- Reinigungsflüssigkeit aus naßarbeitenden Abgasreinigungsanlagen und aus Gebinden für angelieferte Flüssigkeiten.

4.2.12.1 Herkunftsverfahrensschritte und spezifische Abfallmengen

Da zunehmend abwasserlos entstaubt und gereinigt wird, fällt oft kein oder sehr wenig Abwasser an. Abwasser aus dem Schmelzbetrieb wird nicht betrachtet.

Soweit Wäscher in einer Gießerei vorhanden sind, ergibt sich Abwasser nur bei kontinuierlichem Ablauf eines Teils der Waschflüssigkeit oder gelegentlich bei Reinigungsarbeiten. Naßentstauber und die zugehörigen Absetzbecken werden wöchentlich bis einmal jährlich, Säurewäscher der Kernfertigung jährlich und Schlichtebecken täglich bis wöchentlich gereinigt. Die Reinigung kann trocken oder naß ohne Anfall von Abwasser erfolgen (Rückführung in Waschkreislauf) oder naß mit Anfall von Abwasser.

4.2.12.2 Zusammensetzung

Nicht betrachtet wird Abwasser aus dem Schmelzbetrieb.
Abwasser aus Naßentstaubern des betrachteten Bereichs enthält hauptsächlich unlösliche Feinanteile des Formstoffes und der Metalle mit geringen organischen Anteilen aus den verwendeten Bindemitteln. Die anorganischen Feststoffe, wie feindispers verteilte Tone und Oxide, setzen sich nur schwer ab. Abwasser aus der Reinigung von Schlichtebehältern enthält ebenfalls anorganische Feststoffe und bei Alkoholschlichte Isopropylalkohol. Abwasser aus der Reinigung von Wäschern der Kernfertigung und der Gebindereinigung kann Bestandteile von Harzbindemitteln enthalten, die biologisch abbaubar sind.

4.2.12.3 Umweltauswirkungen der Einleitung

Nicht betrachtet wird Abwasser aus dem Schmelzbetrieb.

Da Abwasser aus den betrachteten Bereichen der Gießereien entweder sedimentierende Partikel oder abbaubare organische Bestandteile enthält, ist eine Störung von biologischen Kläranlagen nicht zu befürchten. Eine nachteilige Schwermetallbelastung des Klärschlammes ist nur bei Abwasser aus der Putzerei zu erwarten, wenn bestimmte Werkstoffe wie z.B. Blei, Zink oder Nickel behandelt werden und ein unkontrollierter Austrag erfolgt. Dies ist bei Eisen- und Aluminiumgießereien in der Regel nicht der Fall.

4.3 Umweltauswirkungen der Beseitigungsverfahren

Faßt man die in den vorherigen Abschnitten beschriebenen Informationen zu den Umweltauswirkungen zusammen, so ergibt sich unabhängig von der Abfall- und der Deponieart folgendes Bild der Belastungswege bei der Beseitigung durch Deponieren:

- **Luft**

Luft wird wenn überhaupt nur kurzzeitig durch aufgewirbeltes Feingut oder Ausgasen von flüchtigen Substanzen belastet. Nur bei Stoffen mit hohem Kohlenstoffanteil wie Stäuben aus dem Formstoffkreislauf oder Schlamm aus Gießereien kann auch ein langfristiges Ausgasen durch Vergären der organischen Bestandteile erfolgen. Solche Stoffe werden allerdings auf Hausmüll- oder Sonderabfalldeponien abgelagert, bei denen Deponiegas erfaßt und verbrannt wird.

- **Wasser**

Sickerwasser kann kurzzeitig (einige Wochen bis Monate) durch eingebrachte organische Binderbestandteile belastet werden; im übrigen bestimmt die Art des Gußwerkstoffes, ob eine langfristige Belastung durch Schwermetalle erfolgen kann. Dies ist bei Gießereirestsand und Kernsanden in der Regel nicht, sondern allenfalls bei metallhaltigen Schleifstäuben zu erwarten. Durch Sickerwasserbehandlung werden gelöste, toxische Schwermetalle aus Bunt- und Schwermetallgießereien abgeschieden und können geordnet entsorgt werden.

- **Abfälle**

Abfälle können bei Sickerwasserbehandlung anfallen. Die meist mineralischen Abfälle werden deponiert.

- **Energie**

Energie wird nur in geringem Umfang für Transport und Einbringen sowie bei Sickerwasserbehandlung oder anderen Nachsorgemaßnahmen benötigt. Beim Deponieren von Stäuben mit hohem Metallanteil wird Energie verschwendet, soweit die Metalle durch Umschmelzen zurückgewonnen werden könnten.

5 Maßnahmen und Verfahren zur Vermeidung, Verminderung und Verwertung der Abfallarten

Beim Gießen fallen Abfälle an. Zur Verringerung des Abfallaufkommens sind verschiedene technische und organisatorische Maßnahmen zur Vermeidung und zur innerbetrieblichen oder externen Verwertung möglich. In dem vorliegenden Kapitel werden diese Maßnahmen beschrieben.

Einen Überblick über geeignete VVV-Maßnahmen für die verschiedenen Abfallarten gibt Kapitel 5.1.

In Kapitel 5.2 sind Maßnahmen zur Intensivierung und Erweiterung der bestehenden Formstoffkreisläufe durch z.B. die Rückführung von geraspeltem Kernbruch in den bentonitgebundenen Formstoff beschrieben.

Eine innerbetriebliche Verwertung von Gießereirestsanden stellt die Regenerierung dar. Ziel der Regenerierung ist es, den Restsand soweit von Bindemittelresten zu befreien, daß das Regenerat bei der Form- und Kernherstellung Neusand ersetzen kann. In Kapitel 5.3.1.1.1 werden Anlagen zur mechanischen und pneumatischen Regenerierung vorgestellt. Dabei handelt es sich sowohl um einfache Reinigungsaggregate für die Regenerierung kaltharzgebundener Formstoffe als auch um hochentwickelte mechanische Anlagen zur Regenerierung bentonithaltiger Mischrestsande. Thermische Regenerierungsanlagen (Heißregenerierung) werden in Kapitel 5.3.1.1.2 behandelt. Entwicklungsstand und Einsatzbereiche der Regenerierverfahren werden am Beispiel von acht praxiserprobten Regenerierungsanlagen in Kapitel 5.3.1.2 vorgestellt.

In den Kapiteln 5.4 bis 5.7 werden Maßnahmen zur externen Verwertung in der Zement- und Ziegelindustrie, zur Verwertung als Schüttmaterial im Erd-, Straßen- und Deponiebau und als Bergversatz erläutert und ökologisch bewertet. Im Kapitel 5.8 wird die metallurgische Verwertung metallhaltiger Stäube dargestellt.

5.1 Zuordnung geeigneter VVV-Maßnahmen zu einzelnen Abfallarten

Je nach Abfallart können die Abfallmengen vermindert werden durch:

- engere und zusätzliche innerbetriebliche Kreisläufe
- internes und externes Regenerieren zur Wiederverwendung als Form- und Kernsand
- außerbetriebliche Verwertung als Rohstoff oder Verfüllmaterial

		VVV- Maßnahmen		
Abfallart	**AS-Nr.**	**Kreislauf**	**Regenerieren**	**ext. Verwerten**
Abschnitt		5.2	5.3	5.4 bis 5.8
Gießereialtsand, Gießereirestsand	31 401	x	x	x
Staub aus Sandaufbereitung, Gießereifeinsand	31 401	x		x
Putzereisandrückstände	31 402			x
Kernrestsand, Kernsande	31 426	x	x	x
Schlamm aus Gießereien	31 616	x		x
Eisenhaltiger Staub	35 101			x
Eisenbehältn. mit schädl. Restinhalten	35 106	x		x
Aluminiumabfälle	35 304			x
Sonstige NE-metallhaltige Abfälle	35 315			x
Aminsulfatlösung	52 725			x
Abwasser	-----	x		

In **Bild 5.1** werden beispielhaft für Restsande aus dem Naßgußverfahren die Verwertungsmöglichkeiten dargestellt.

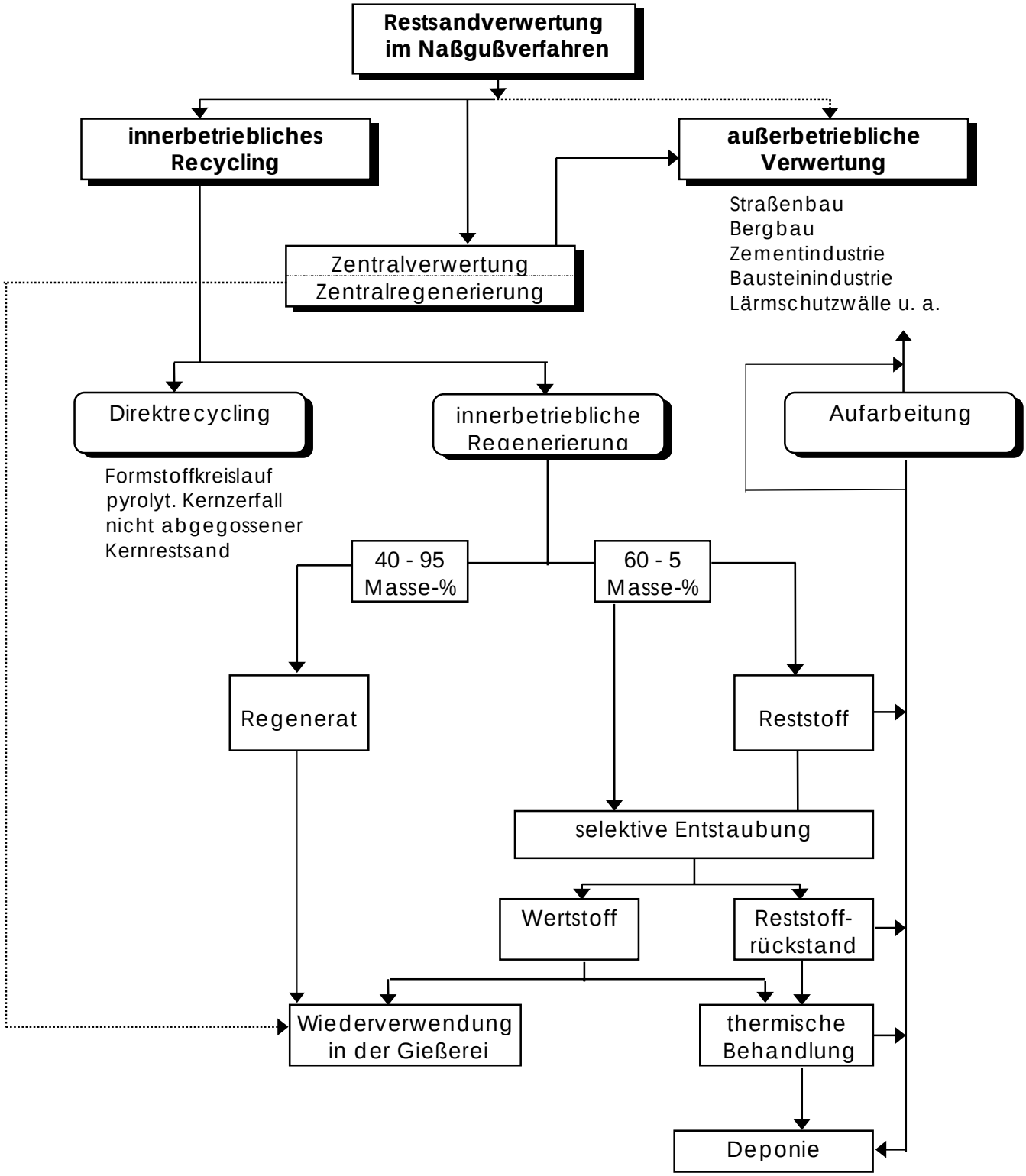


Bild 5.1: Verwertungs- und Entsorgungsmöglichkeiten für Gießereirestsande im Naßgußverfahren [Boenisch 1994]

5.2 Vermeiden durch Kreislaufführung der Form- und Kernsande

Sowohl tongebundene als auch harzgebundene Formstoffe werden zurückgewonnen und wiederverwertet. Formstoffkreisläufe sind allgemein üblich (s. Seite 22-24 dieses Berichtes).

5.2.1 Angaben zur Technik

5.2.1.1 Beschreibung

Grundsätzlich umfaßt die Wiederverwendung des „Altformstoffes“ vier Stufen:

- Zerkleinern der Formstoffknollen bis zum einzelnen Korn und Entfernen der Fremdkörper
- Entfernen von Staub und Feinstanteilen
- Fördern, Kühlen und Bevorraten
- Messen, Wiegen, Dosieren und Mischen

Bild 5.2 zeigt das vereinfachte Schema einer auf Kreislaufführung beruhenden Formstoffaufbereitung [Roller 1990].

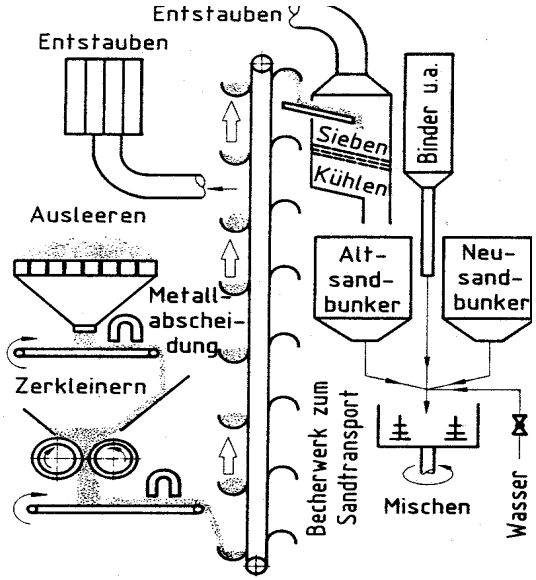


Bild 5.2: Schema einer auf Kreislaufführung beruhenden Formstoffaufbereitung [Roller 1990]

Verfahrensablauf

- **Zerkleinern der Form**

  Das Zerkleinern der Formstoffknollen beginnt beim Ausleeren der Form auf dem Trennrost, der Schwingrinne oder dem Drehrohr. Weiteres Zerkleinern der Knollen kann mit Walzen- oder Backenbrechern erfolgen. Partikel, welche die zulässige Korngröße überschreiten, werden durch Sieben entfernt. Kernknollen, Keramikteile und größere Metallteile werden im Polygonsieb abgetrennt. Metallteile, wie z.B. Sandstifte, werden mit Magneten entfernt.

- **Entstauben**

  Binderhüllen kunstharzgebundener Formstoffe werden bei der Zerkleinerung (z.B. in Wendelbrechern, Kugelmühlen) teilweise abgetrennt und als Staub freigesetzt (vgl. Kapitel 5.3.1.1).

  Ähnlich verhalten sich in der Gießhitze veränderte Binderbestandteile (z.B. Bentonit, Kohlenstaub) und zersplitterte Sandkörner. Diese Feinanteile werden abgesaugt und in Entstaubern entfernt. Als Staubabscheider kommen Zyklone, Naßentstauber und Textilfilter zum Einsatz.

- **Kühlen**

  Die Gußteile geben beim Abkühlen einen Teil ihrer Wärme an den Formstoff ab. Um gute Formstoffeigenschaften gewährleisten zu können, darf die Formstofftemperatur jedoch gewisse Grenzwerte nicht überschreiten. Zu diesem Zweck kann der Kreislaufsand in entsprechenden Aggregaten gekühlt werden. In der Gießereiindustrie werden Verdunstungskühler mit Wirbel - oder Fließbetten und für harzgebundene Formstoffe Staukühler verwendet. Erfolgt das Ausleeren in Schwingrinnen oder Drehrohren, so kann der Altformstoff gleichzeitig gekühlt werden.

- **Fördern, Bevorraten**

  Um den Altformstoff und die Binderbestandteile zu den einzelnen Stationen der Aufbereitung zu bringen, sind verschiedene Fördereinrichtungen üblich. Formstoffaufbereitungsanlagen werden häufig in Turmbauweise errichtet. Hierbei hat das Becherwerk die Aufgabe, den Formstoff vertikal in den umlaufenden Formstoffbechern zu fördern. Für die horizontale Förderung werden Gurtförderer mit auf Rollen umlaufenden Bändern eingesetzt. Schneckenförderer eignen sich besonders zum Austragen von Zuschlagstoffen aus den Vorratsbunkern.

Die pneumatische Förderung benutzt Druckluft zum Transport von Trockenstoffen, wie z.B. Kaltharzregenerat.

Bei Schwingförderern wird die Förderung des Sandes durch eine gerichtete Schwingbewegung erreicht.

Die Bevorratung der Formstoffe und ihrer Bestandteile erfolgt in geschweißten Stahlblechbehältern mit kreisförmigem oder rechteckigem Querschnitt. Entsprechend ihrer Funktion werden diese als Altsandbunker, Neusandbunker, Fertigsandbunker usw. bezeichnet.

- **Mischen**

  Das Mischen ist eine entscheidende Prozeßstufe innerhalb der Formstoffaufbereitung. Hierbei müssen die Sandkörner möglichst gleichmäßig mit Binder umhüllt werden. Bei den bentonitgebundenen Formstoffen müssen das zur Aufbereitung erforderliche Wasser, der Bentonit und die Formstoffzusätze homogen verteilt werden.

  Das Durchmischen der Formstoffbestandteile erfolgt durch Kneten oder Wirbeln. Nach dem Prinzip des Knetens arbeiten der Kollermischer und der Schneckenmischer. Das Prinzip des Wirbelns ist im Wirbel-, Turbinen-, Schleuder- und Flügelmischer realisiert.

  Als sehr geeignet für das Mischen von Formstoffen für das Kaltharzverfahren haben sich Durchlaufwirbelmischer erwiesen. Hier werden sowohl Schneckenwellen als auch schnellaufende Werkzeuge zur Durchmischung verwendet.

Neben dem Naßgußsand- und Kaltharzsand-Kreislauf, die seit langem genutzt werden, gewinnt die Rückführung von Kernaltsanden zunehmend an Bedeutung.

Kerne werden z.Z. noch überwiegend aus Neusand gefertigt. Als erster Ansatz eines Kernsandkreislaufes wird Kernsand aus der Kernmacherei, der den Gießprozeß nicht durchlaufen hat und unvermischt mit tongebundenem Formstoff ist, zerkleinert und bei der Kernfertigung wieder eingesetzt. Nach dem gleichen Prinzip werden auch nicht abgegossene Formteile aus organisch gebundenem Sand wiederverwendet. Dabei kann die Sandrückgewinnungsanlage für harzgebundene Sande verwendet werden (vgl. Kapitel 5.3.1.1). Zusätzliche Investitionen sind in diesem Fall nicht erforderlich.

5.2.1.2 Entwicklungsstand

Die Kreislaufführung von bentonit- und kaltharzgebundenen Formstoffen wird seit Jahrzehnten genutzt und vermindert die in Gießereien anfallenden Abfallmengen in erheblichem Maße.

Eine optimale Trennung der Sandströme bei bentonitgebundenen Formsanden und harzgebundenen Kernen erleichtert die Kreislaufführung, wird aber in vielen Gießereien aufgrund des damit verbundenen Aufwands noch nicht vorgenommen. Von entscheidender Bedeutung ist, daß frühzeitig im Produktionsprozeß darauf geachtet wird, daß die Vermischungen der Sandsysteme soweit wie irgend möglich vermieden werden. Das Gußstück sollte der Form ohne größere Mengen anhaftenden Formsandes entnommen werden; notfalls muß der anhaftende Ballen abgekratzt oder abgeschlagen werden. Gleichzeitig sollten Kernteile nur in geringem Umfang (nur zur Auffrischung) in den Formsandkreislauf gelangen. Das erleichtert einerseits die Wiederaufbereitung des Formsandes, andererseits ermöglicht es eine einfache Regenerierung wegen geringerer Störstofffracht (hier: Bentonitanteil) (vgl. Kapitel 5.3.1.2).

In den Formstoffkreislauf werden bei jedem Umlauf

- Bindemittel und für den Gießprozeß bedeutsame Zusatzstoffe eingetragen,
- Verschleißstoffe wie abgebrannte Bindemittel und zertrümmerter Quarzsand hauptsächlich über Entstaubungsanlagen und in der Putzerei ausgetragen.

Wenn dem Eintrag entsprechende gleichartige Verschleißstoffe nicht ausgetragen werden, reichern sich diese im Formsand an und machen diesen bei zu hohen Konzentrationen unbrauchbar. Diesem Vorgang wird dadurch entgegengewirkt, daß eine geringe Menge Gießereirestsand zusätzlich ausgeschleust wird. Diese auszuschleusende Restsandmenge hängt ab von:

- Gußprogramm und Qualitätsanforderungen an die Werkstücke,
- Losgröße und Automatisierungsgrad,
- maschineller Ausstattung und Formverfahren.

Der totgebrannte Bentonitanteil muß bei der Wiederaufbereitung ersetzt werden. Darüber hinaus ist aber auch neuer Bentonit für den in den Formstoffkreislauf einlaufenden Kernrestsand erforderlich. Falls der Anteil an Kernrestsand nicht ausreicht, um Sandverluste aus dem System auszugleichen, muß Neusand direkt in den Kreislauf eingeführt und mit der nötigen Menge Bentonit versehen werden. Je mehr Neu- und/oder Kernsand dem Formstoffsystem zugeführt werden, desto mehr muß auch daraus entfernt werden, damit das Volumen des Formstoffes im Kreislauf konstant bleibt [Hofmann 1975].

Nach bisherigen Erfahrungen sollen bei Eisenguß 0,2 bis 0,3 kg Restsand pro kg guten Guß ausgeschleust werden. Bei Aluminiumguß mit geringerer Gießtemperatur und Sandbelastung ist dies deutlich weniger.
Beträchtliche, verfahrensbedingte Sandverluste ergeben sich vor allem durch Sand, der am Gußstück anhaftet und in der Putzerei anfällt. Formstoff kann aber auch an der Auspackstelle verlorengehen.

Werden harzgebundene Kerne in tongebundene Formen eingelegt, so vermischen sich Kern- und Formsand beim Ausleeren zwangsläufig; durch bestimmte Ausleertechniken kann diese Vermischung teilweise unterbunden werden. Die Wiederverwendung solcher zwangsläufig entstehenden Gemische aus organisch und anorganisch gebundenen Formstoffen wird im Kapitel 5.3 "Regenerieren" näher dargestellt.

In den tongebundenen Formstoff einlaufende Kernreste können durch saure und alkalische Bestandteile die Bindefähigkeit des Bentonites beeinträchtigen; andererseits fügen sie dem Kreislaufsand Kohlenstoff und Quarzsand zu, so daß entsprechende Neustoffmengen ersetzt werden. Wenn jedoch bei kernreichem Guß mehr als rd. 0,1 kg Kernrestsand pro kg guter Guß in das Formsandsystem einlaufen, so führt dies zu einem Sandüberschuß, der durch vermehrtes Ausschleusen ausgeglichen werden muß. Die Restsandmenge steigt an. Eine Entlastung wird nur erreicht, wenn der Restsand zu hochwertigem, für die Herstellung von Kernen geeignetem Sand regeneriert wird. Dazu näheres in den folgenden Kapiteln.

Eine weitere Möglichkeit, Abfälle zu vermeiden, ist die Rückführung von vermahlenem Kernbruch. Aufgrund der chemischen Auswirkungen auf das bentonitgebundene Formstoffsystem sollten auf keinen Fall Methylformiat- und Wasserglaskerne in den Naßgußsandkreislauf zurückgeführt werden. Die alkalischen Bestandteile dieser Bindersysteme beeinträchtigen die Gebrauchseigenschaften des Naßgußsandes (vgl. Kapitel 5.2.1.3). Hinzu kommt, daß das Minderungspotential durch das Rückführen von Kernsand gering ist, da nur etwa 5 bis 10% des aufbereiteten Kernsandes als Kernbruch anfallen.

Des weiteren kann die Staubmenge durch Rückführung des in der Sandaufbereitung, an der Ausleerstation und am Kühler anfallenden Staubes vermindert werden. Dieser VVV-Maßnahme sind durch die Verstaubung des Formstoffes und daraus resultierender Qualitätseinbußen erhebliche Grenzen gesetzt.

Wesentlichen Einfluß auf die Menge an Gießereirestsand und Staub haben die zum Ausleeren und Kühlen im Einsatz befindlichen Aggregate. Ebenso kommt der Dosierung der Formstoffkomponenten und dem Mischer entscheidende Bedeutung zu.

Die Entwicklung neuer Aufbereitungsaggregate hat entscheidend zu einer Verbesserung des "Recyclinggrades" beigetragen. Unter "Recyclinggrad" ist das prozentuale Verhältnis der wiederverwendeten Altsandmenge zur Summe von Fertigsand (ausgenommen die Wasserzugabe) und Neusand für Kerne zu verstehen [ABAG 1992].

Bei dem Maschinenformen mit tonhaltigen Formstoffen liegt der Recyclinggrad zwischen 95 und 98%.

Beim Handformen nach dem Kaltharzverfahren werden Recyclinggrade von 90 bis 95% erreicht.

5.2.1.3 Einsatzbereiche

Ein entscheidender wirtschaftlicher Vorteil des Maschinenformens mit tongebundenen Formstoffen ist die nahezu vollständige Rückgewinnung des im Umlauf befindlichen Formstoffes.

Die Kreislaufführung tongebundener Formstoffe ist jedoch durch Anreicherungsvorgänge im Formstoff, die die Gußstückqualität negativ beeinflussen können, begrenzt.

Durch die thermische und mechanische Beanspruchung des Sandes kommt es infolge Kornzertrümmerung zu einer Zunahme der Feinanteile. Des weiteren erhöht sich der Glühverlust im Formstoff und durch das Aufwachsen der Bentonithüllen auf den Quarzkörnern (Oolithisierung) nimmt der Oolithisierungsgrad zu. Stark oolithisierte und verstaubte Sande bewirken extrem schlechte Gußoberflächen und können zu Ausschuß führen. Zur Begrenzung des Oolithisierungsgrades (Schamottegehaltes) und als Ersatz für den mechanischen und thermischen Verschleiß des Sandes ist daher Auffrischungssand erforderlich. Die notwendige

Neusandmenge hängt von Einflußfaktoren wie Metall-Sand-Verhältnis, Qualität und Menge des verwendeten Bentonits und dem vergossenen flüssigen Metall ab [Bindernagel 1983].

Je nach Bindemittelart beeinflußt der Kernrestsandzulauf die Eigenschaften des Formstoffes [Boenisch 1992, Tilch 1992]. Bekannt sind die Auswirkungen neutralnaher, saurer und alkalischer Systeme.

Die neutralnahen Kernrestsande nach dem SO_2-Expoxid-, Croning- und PUR-Cold-Box-Verfahren haben einen positiven Einfluß auf die Gebrauchseigenschaften des bentonitgebundenen Formstoffes (**Bild 5.3**). Sie verbessern die Grünfestigkeiten und führen aufgrund der höheren Packungsdichte zu glatteren Gußoberflächen [Boenisch 1992].

Durch die Gießhitze wird die Acidität der sauren Kernherstellverfahren (Hot-Box-, Warm-Box-, Acetal- und FRC-Verfahren) verringert (**Bild 5.4**), so daß der bentonitschädigende Einfluß dieser Systeme nur bei Rückführung von Kernbruch in die Formstoffaufbereitung zu berücksichtigen ist. Eine Anreicherung der sauren Bestandteile dieser Kernsysteme durch Einlaufen des rieselfähigen Kernrestsandes in den Formstoff oder durch die Rückführung von gemahlenem Kernbruch in die Aufbereitung des bentonitgebundenen Formstoffes kann zu einer Desaktivierung des Bentonits führen (**Bild 5.5**). Die in den Kernsanden enthaltenen Elektrolyte beeinträchtigen die Bindefähigkeit des Bentonits, so daß die Festigkeiten sinken und die Gefahr zur Bildung von Gußfehlern besteht. Die Anreicherungsvorgänge begrenzen somit die Kreislaufführung. Eine gewisse Auffrischung ist erforderlich, um eine gleichbleibend hohe Gußqualität gewährleisten zu können.

In den folgenden Bildern verwendete Abkürzungen für verschiedene Kernherstellverfahren:
SO_2-E = SO_2-Epoxid, CR = Croning, CB = PUR-Cold-Box, AC = Acetal, FRC = Free radical cure, HB = Hot-Box, HB_F = Hot-Box-Furan; WG = Wasserglas, MF = Methylformiat

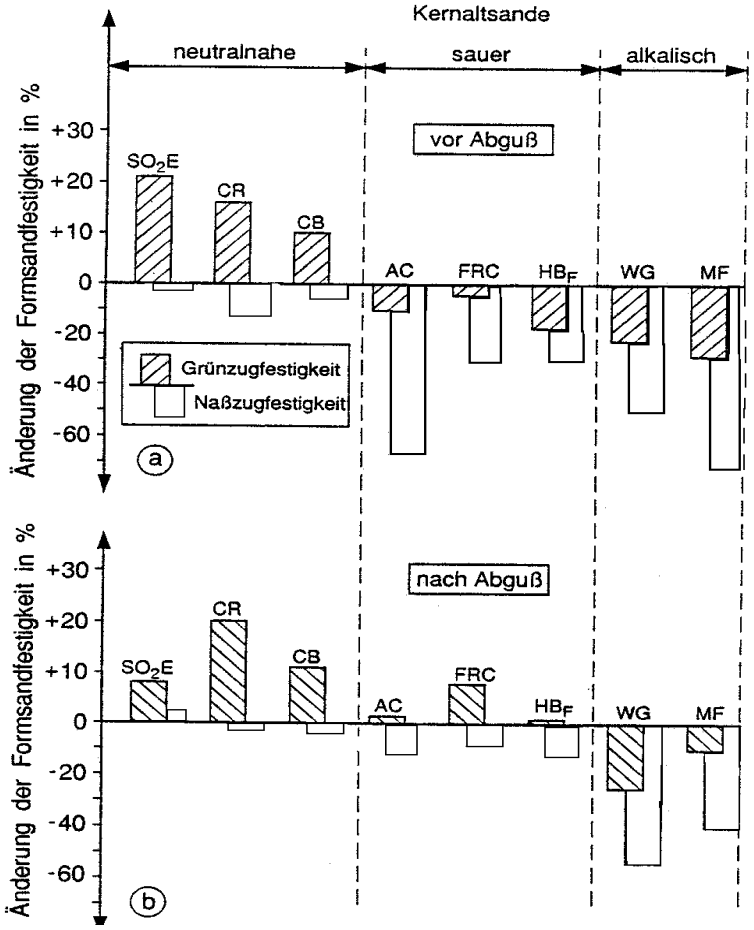


Bild 5.3: Einfluß des Kernrestsandzulaufes auf die Eigenschaften des bentonitgebundenen Formstoffes [Boenisch 1992]*

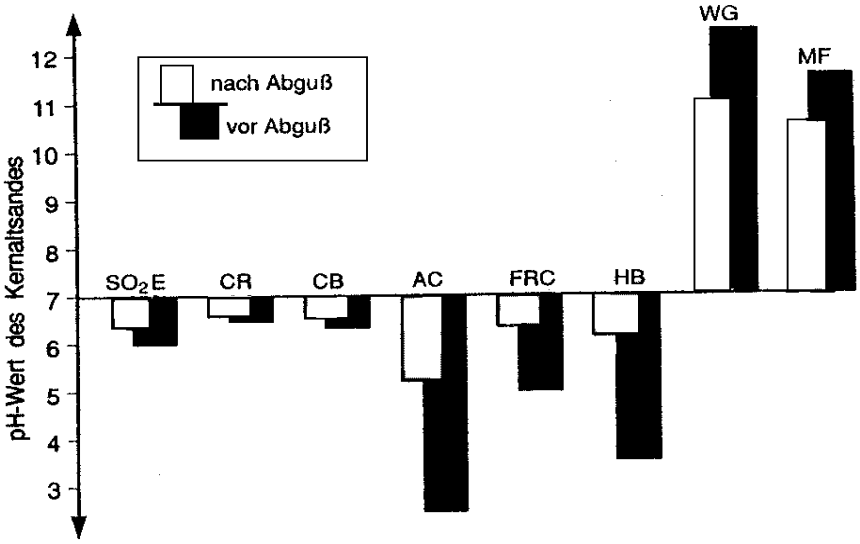


Bild 5.4: Einfluß der Gießhitze auf die Acidität bzw. Alkalität des Formstoffes [Boenisch 1992] [3]

[3] Legende s. S. A-82

Mit alkalischen Verfahren (Wasserglas und Methylformiat) hergestellte Kerne hingegen behalten auch nach der thermischen Belastung während des Abgusses ihre Alkalität. Sie sollten deshalb sowohl als nicht abgegossener Kernbruch wie auch als abgegossene Restsande vom Formstoffkreislauf möglichst ferngehalten werden. Das Aussortieren wasserglasgebundener Kernstücke ist aufgrund ihres schlechten Kernzerfalls gut möglich, Kernreste aus dem Methylformiat-Verfahren hingegen sind wegen des leichteren Kernzerfalls schwieriger zu selektieren. Kernrestsand dieser Art schädigt den Bentonit und muß mit einem höheren Binderverbrauch ausgeglichen werden [Boenisch 1992].

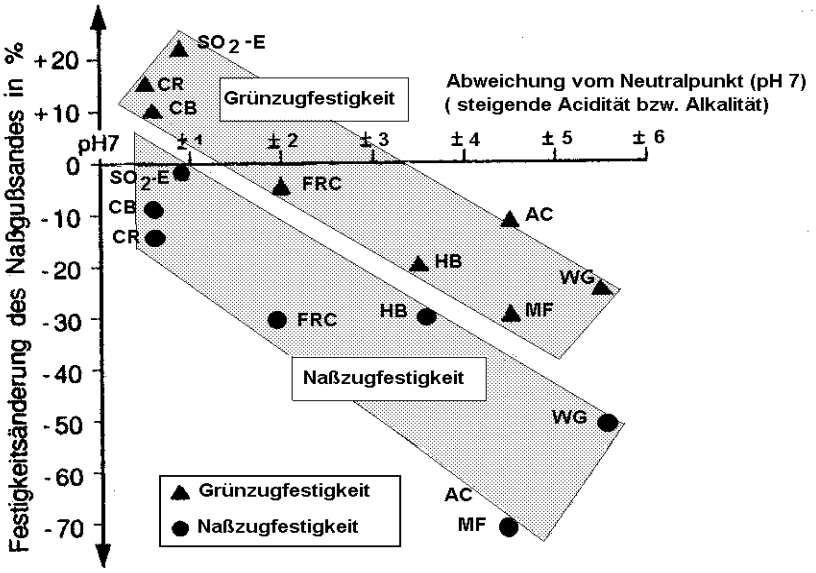


Bild 5.5: Wirkung nicht abgegossener Kernaltsande auf die Bindekraft des Bentonits [Boenisch 1992] (Legende vgl. S. A-82)

5.2.1.4 VVV-Potential

Durch Kreislaufführung des Formstoffes verbunden mit Rückführen von Kernbruch und in geringem Umfang mittels geeigneter Ausleertechniken sowie durch Rückführen von Stäuben und Schlämmen werden Recyclingquoten von bis zu 98% erreicht, soweit in einheitlichen oder zumindest verträglichen Bindersystemen geformt wird. Bei kernreichem Naßgußsand mit alkalischen oder sonst unverträglichen Bindersystemen sind nur rund 90 bis 95% erreichbar.
Dieses Potential ist in vielen Betrieben bereits ausgeschöpft.

5.2.2 Angaben zu Rahmenbedingungen der Wirtschaftlichkeit

Eine umfangreiche Rückgewinnung und Abfallminimierung ist nur bei sorgfältiger technischer Überwachung des Formstoffkreislaufes möglich. Dies erfordert u. U. Investitionen für entsprechende Mischer, Dosiereinrichtungen und eine Prozeßsteuerung in der Größenordnung von 0,1 bis 2 Mio. DM. Das Zerkleinern von Kernbruch erfordert Investitionen von rd. 0,2 Mio. DM, soweit dies nicht in vorhandenen Anlagen zur mechanischen und pneumatischen Regenerierung erfolgen kann.

5.2.3 Ökologische Bewertung

Die Kreislaufführung von Form- und Kernsand kann als interne Verwertung eines Hilfsstoffes angesehen werden, durch die der Einsatz von Neustoffen wie Sand und Bentonit vermieden wird.

5.2.3.1 Schadlosigkeit

Bei immissionsschutzrechtlicher Genehmigung gilt die Verwertung als schadlos. Die Kreislaufführung ist nicht mit Umweltauswirkungen verbunden, da durch prozeßbedingte Abbauvorgänge und Austräge eine Anreicherung von umweltrelevanten Schadstoffen im Kreislauf vermieden wird. Um die Prozeßtauglichkeit des Umlaufsandes gewährleisten zu können, dürfen die Gehalte an Schamotte (totgebranntem Bentonit), Feinanteilen, Glühverlust, Schwefel, Stickstoff und Schwermetallen gewisse Grenzwerte nicht überschreiten. Schädliche Anreicherungen würden die Brauchbarkeit des Kreislaufsandes einschränken. Durch laufende Kontrollen dieser Prozeßparameter zur Einhaltung der notwendigen form- und gießtechnischen Eigenschaften wird gleichzeitig dafür gesorgt, daß schädliche Anreicherungsvorgänge organischer Stoffe und Schwermetalle vermieden werden.

- **Luft**

Es erfolgt durch Kreislaufführung keine zusätzliche Belastung im Gießbereich sowie im Formstoffkreislauf, wenn organische Bindemittel und Kohlenstaub kontrolliert auf niedrigem Niveau zugegeben und hochwertige Einsatzstoffe verwendet werden. Hingegen führen Bindemittelanteile und Kohlenstaub über den prozeßbedingten Bedarf hinaus zu zusätzlichen Emissionen von Kohlenmonoxid und Kohlenwasserstoffen an der Gießstrecke.

- **Wasser**

Keine zusätzliche Beeinträchtigung durch Kreislaufführung

- **Abfall**

Die Abfallmenge wird durch Kreislaufführung deutlich vermindert. Der Kreislaufsand sowie die abgesaugten Stäube enthalten jedoch deutlich mehr Kohlenstoffbestandteile, so daß der verbleibende Abfall nicht mehr deponiert, sondern nach TA Abfall verbrannt werden muß.

- **Energie**

Die mechanisch arbeitenden Prozesse erfordern nur einen geringen zusätzlichen Energiebedarf.

5.2.3.2 Zusätzliche ökologische Kriterien

- **Anreicherung von Schadstoffen**

Bei der Kreislaufführung tongebundener Formstoffe bleiben nutzbare Bindemittelbestandteile erhalten; durch entsprechend geringere Zugabe an Neustoffen wird die für den Prozeß erforderliche Konzentration im Formstoff ergänzt. Anreicherungen an Schadstoffen erfolgen nicht, da Abbrand bzw. Austrag die Neuzugabe ausgleichen.

Bei harzgebundenen Formstoffsystemen und Kernen verbleiben Binderreste im Kreislaufsand; es handelt sich hierbei um kondensierte und polymerisierte Harzbestandteile. Verbliebene Reste von monomeren Bindemittelbestandteilen werden bei der Wiederverwendung im neuen Harz eingebunden, so daß auch hier keine Anreicherung von Schadstoffen erfolgt.

- **Verdünnung von Schadstoffen**

Es erfolgt keine Verdünnung in andere Medien.

- **Vermischung unterschiedlicher Abfälle**

Bei der Kreislaufführung von tongebundenen Formstoffsystemen werden abgesaugte Feinanteile (Stäube) dem Kreislauf zur erneuten Nutzung wieder zugegeben. Es handelt sich hier um keine unzulässige, sondern um eine erwünschte und nützliche Vermischung.

- **Prinzip der hochwertigen Verwertung**

Durch Rückführung und erneutes Nutzen von Restsanden und Stäuben im originären Prozeß erfolgt eine Verwertung auf höchstem Niveau.

- **Prinzip der Transportminimierung**

Durch interne Verwertung wird externer Transport völlig vermieden.

5.3 Regenerieren

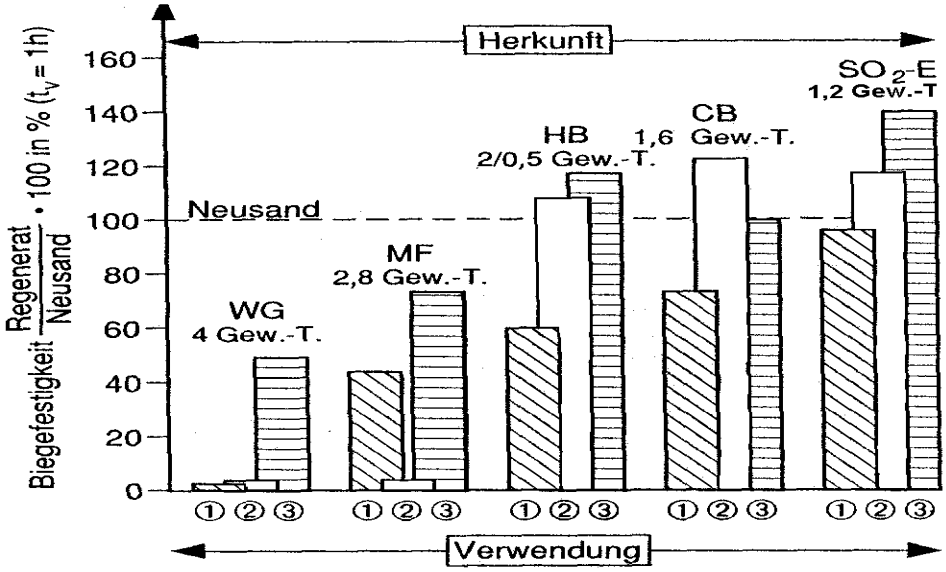
Die Regenerierung dient zur Wiedergewinnung des in der Produktion eingesetzten Formgrundstoffes - in der Regel Quarzsand - aus dem abgegossenen Formstoff mit dem Ziel, dieses Regenerat als hochwertigen Ersatz für Neusand zurückzuführen.

Bei der Regenerierung müssen Störstoffe, wie Schlämmstoffe, Binderreste, Oolithhüllen, Elektrolyte sowie Über- und Unterkorn aus dem Restsand entfernt werden.

Untersuchungen haben gezeigt, daß die Mischung von Restsanden unterschiedlicher Herkunft negativ auf die Regenerierbarkeit und die Festigkeiten der mit dem Regenerat hergestellten Formen und Kerne wirken kann. **Bild 5.6** läßt das Gefährdungspotential erkennen, das von stark elektrolythaltigen Kernbinderresten auf andere Kernbinder einwirkt [Boenisch 1991]. Bei diesen „Kreuzversuchen“ ist zwischen „Herkunft“ und „Verwendung“ der Restsandregenerate unterschieden. Alle Kernarten wurden zunächst mit Gußeisen abgegossen und danach 30 Minuten lang regeneriert. Anschließend wurden die Regenerate im Methylformiat-, PUR-Cold-Box- und SO_2-Epoxid-Verfahren verarbeitet. Die Biegefestigkeit nach einer Stunde Sandlagerzeit (Verarbeitungszeit) wurde auf die Neusandfestigkeit (100%) bezogen und in dem Diagramm dargestellt. Die Festigkeitsmessungen weisen nach, daß die Regenerate aus den stark basischen Restsanden der Wasserglas- und Methylformiat-Verfahren auch durch diese intensive Reinigung nicht wesentlich verbessert werden konnten.

Selbst das sehr bindungsstarke SO_2-Epoxidharz wird durch Wasserglas weitgehend unbrauchbar (linkes Balkenbündel in **Bild 5.6**). Das Methylformiat-Verfahren läßt ein mittleres Gefährdungspotential erkennen mit besonderen Erschwernissen bei der PUR-Cold-Box-Kernherstellung (**Bild 5.6**, zweiter Balken Nr. 2 von links). Die starke Basizität der Kernstoffe des Methylformiat-Verfahrens verschlechtert die Lagerfähigkeit von Cold-Box-Mischungen extrem stark.

Bild 5.6 läßt das geringe Störpotential von Regeneraten aus den SO_2-Epoxid-, PUR-Cold-Box- und Hot-Box-Verfahren erkennen, die sämtlich auch als Mischregenerate brauchbare bis gute Kernstoffe liefern. Für den problemlosen Einsatz der Regenerate bei der Herstellung hochwertiger Formen und Kerne sollten die untereinander unverträglichen Restsande getrennt gehalten werden und die störenden Binderbestandteile und Staubanteile möglichst vollständig entfernt werden. Dies ist insbesondere bei der Planung und dem Betrieb einer zentralen Regenerierungsanlage zu berücksichtigen.



Herkunft des Restsandes	Bindergehalt des Ausgangssandes in 8Gew.-T. (GT)	Verwendung des Regenerates	Bindergehalt bei Einsatz des Regenerates in Gew.-T.
Wasserglas-Verfahren WG	4	1 Methylformiat-	2,8
Methylformiat-Verfahren MF	2,8	2 PUR-Cold-Box-	1,6
Hot-Box-Verfahren HB	2 GT Harz/0,5 GT	3 SO_2-Epoxid-Verfahren	1,2
PUR-Cold-Box-Verfahren CB	1,6		
SO_2-Epoxid-Verfahren SO_2-E	1,2		

5.6: Kernqualität durch Restsandherkunft, Stärke des Kernbinders und Regenerierungsdauer bestimmt [Boenisch 1991] (Legende s. S. A-82)

5.3.1 Angaben zur Technik

5.3.1.1 Beschreibung der Regenerierungsverfahren

Für die verschiedenen Formstoffsysteme wurden unterschiedliche Regenerierungsverfahren entwickelt [ABAG 1992, PROGNOS 1993, INTECUS 1991]. **Bild 5.7** gibt einen Überblick über die einzelnen Verfahrensschritte bei den unterschiedlichen, auf die Eigenarten des jeweiligen Bindersystems abgestimmten Regenerierungsverfahren [Weller 1989).

Es kommen thermische, mechanische, pneumatische und kombiniert arbeitende Anlagen zum Einsatz. **Bild 5.7** zeigt, daß der Restsand unabhängig von dem gewählten Regenerierungsverfahren zerkleinert und von Metall befreit werden muß. Bei den mechanischen und pneumatischen Regenerierungsverfahren ist in der Regel eine Vortrocknung des Restsandes erforderlich, damit überhaupt eine Korn-an-Korn-Reibung stattfinden kann. Im Anschluß an die Regenerierung wird das Regenerat gesichtet und gesiebt.

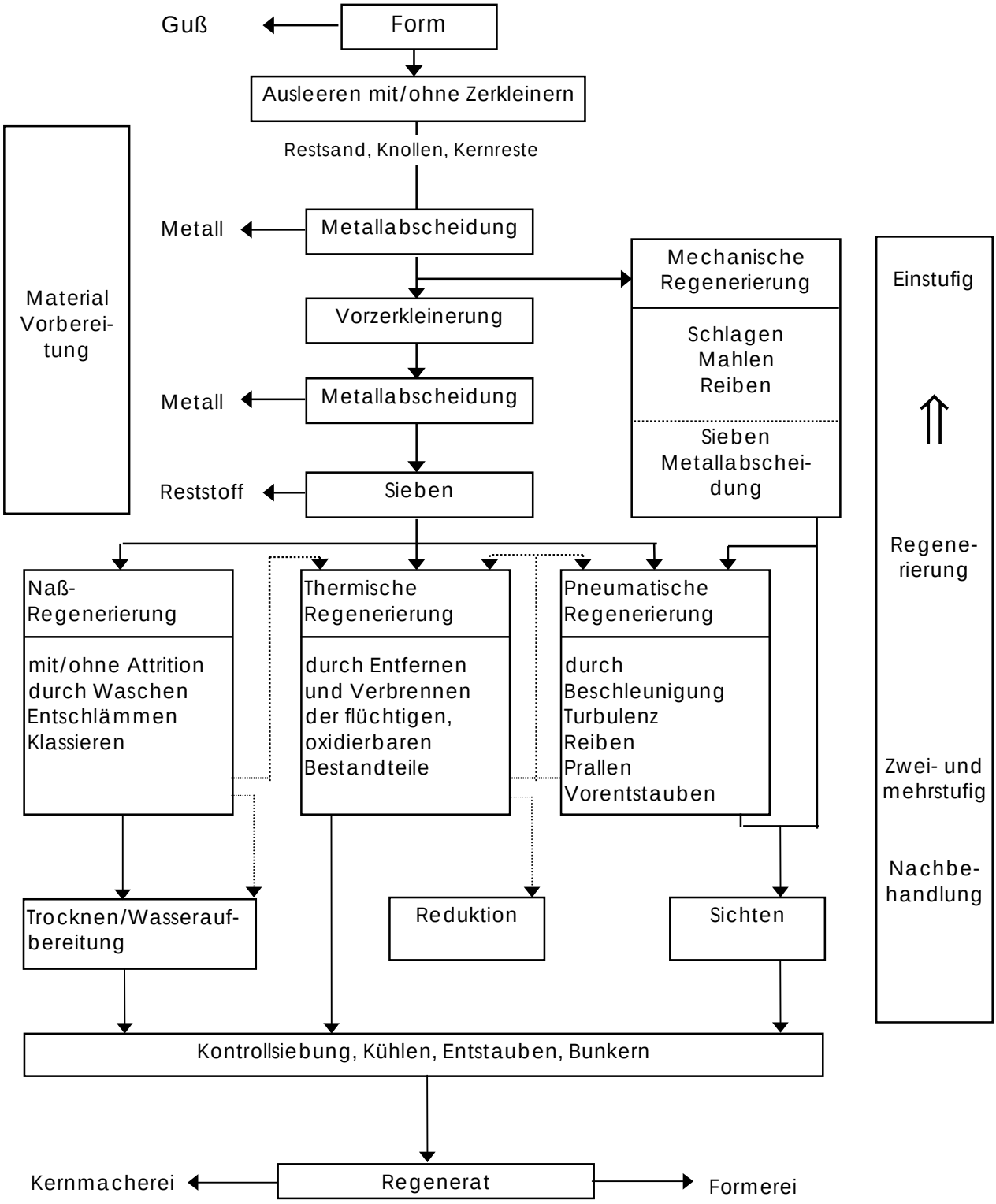


Bild 5.7: Verfahrensschritte zur Restsandregenerierung [Weller 1989]

5.3.1.1.1 Anlagen zur mechanischen Regenerierung (Kaltregenerierung)

[Wilhelm 1991, Leidel 1993, Müller-Späth 1994, van Wijk 1994, Ritzen 1993, Pohl 1990, Sanders 1992].

Die **Regenerierung kaltharzgebundener Form- und Kernsande** ist weitverbreitet und wird seit Jahrzehnten in den Gießereien betrieben. Aufgrund der spröden, duroplastischen Binderhülle können die furan- und phenolharzgebundenen Sande in einfachen Zerkleinerungsaggregaten vereinzelt werden. Hierfür kommen z.B. Prallmühlen, Wendelbrecher, Backenbrecher, Kugelmühlen, Raspeltöpfe und Schwingreibbrecher zum Einsatz [Flemming 1993, ABAG 1992, Weller 1989, Thumm 1977, Jansen 1972, Brown 1979, Kunz 1971, Sappok 1992].

Auch Croning-, Hot-Box-, SO_2- und PUR-Cold-Box-Kernrestsande können mechanisch regeneriert werden, wenn ihre Binderhüllen ausreichend versprödet sind. Für die Regenerierung dieser Restsande werden die oben angeführten Aggregate, wie z.B. Wendelbrecher, jedoch nur zur Knollenzerkleinerung und Vereinzelung verwendet. Die eigentliche mechanische Regenerierarbeit erfolgt in Regenerierungseinheiten, die durch Prallen, Schlagen, Schleifen oder Scheuern die auf den Sandkörnern befindlichen Restbinderbestandteile abtrennen. Hierzu eignen sich u.a. Fließbettreiniger, Scheuertrommel, Sand-Cleaner, Öko-Sandregenerierung, Universal-Sandreclaimer und pneumatische Prallreinigungszellen sowie der Jet-Reclaimer.

Ein Aggregat, daß sich sowohl zur Regenerierung kaltharzgebundener als auch anderer organisch gebundener Sande eignet, ist der **Fliehkraftreiniger** (**Bild 5.8**). Die Anlage besteht aus einem Fliehkraftreiniger, einem pneumatischen Förderer und einem Fließbettsichter. Der von oben axial zugeführte Restsand wird mit Hilfe eines Rotors beschleunigt und gegen die mit Sand gefüllten Taschen eines Statorringes geschleudert. Die auf dem Sandkorn befindlichen Fremdstoffe werden durch die entstehende Reibung der Sandkörner aneinander abgerieben. Die Umfangsgeschwindigkeit des Rotors wird dabei so gewählt, daß die Sandkörner hauptsächlich durch Reiben und weniger durch Prallen beansprucht werden. Über den pneumatischen Förderer wird das Regenerat vom Fliehkraftreiniger aufwärts zum Fließbettsichter transportiert, in dem die abgeriebenen Fremdstoffe durch einen aufwärtsströmenden Luftstrom aus dem Regenerat entfernt werden. Die Anlage wird mit einer Leistung von 5 bzw. 10 t/h angeboten.

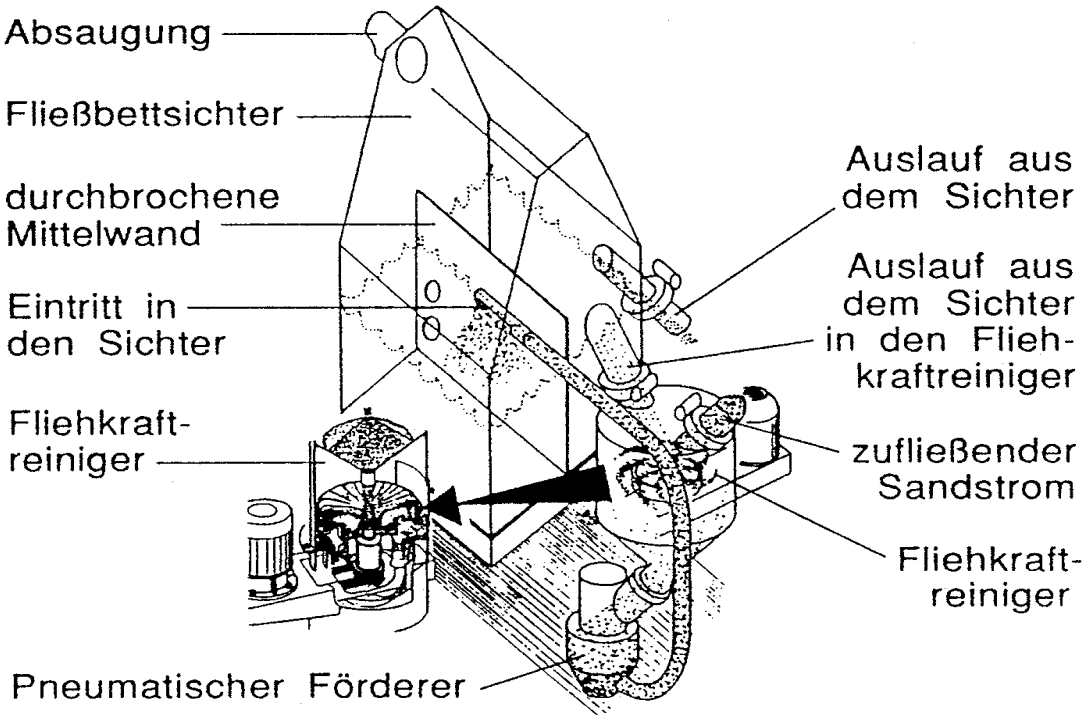


Bild 5.8: Fliehkraftreiniger (System Klein [4])

Der **Fliehkraftreiniger** wurde erst Anfang der 90er Jahre entwickelt und soll als zusätzliche Regenerierstufe für kaltharzgebundene Sande eingesetzt werden, um den Wirkungsgrad der mechanischen Kaltharz-Rückgewinnung zu erhöhen. Diese Anlage wird nach Aussage des Herstellers bereits in verschiedenen Gießereien eingesetzt.

Die **Regenerierung bentonitgebundener Mischsande** gewinnt in den letzten Jahren zunehmend an Bedeutung, stellt aber an die Regenerierungstechnik hohe Ansprüche.

Für die mechanische und pneumatische Regenerierung dieser Gießereirestsande stehen die nachfolgend beschriebenen Regeneratoren zur Verfügung (**Bild 5.9**).

[4] Fliehkraftreiniger der Fa. Alb. Klein GmbH & Co. KG · Apparatebau - Verfahrenstechnik, Niederfischbach

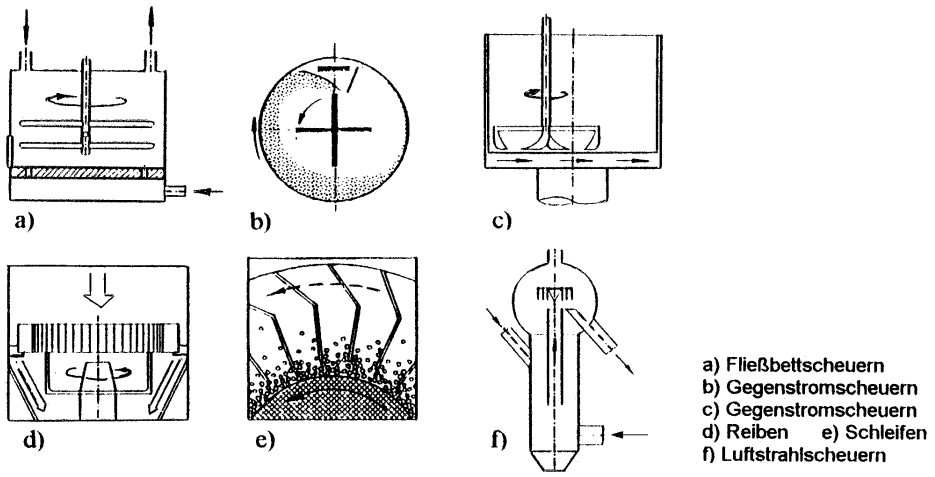


Bild 5.9: Grundprinzipien mechanischer Regenerierungsverfahren [Tillmanns 1994]

Die Verfahrensentwicklungen zur trockenen, mechanischen oder pneumatischen Regenerierung bentonithaltiger Restsande umfassen vor allem die Wirkprinzipien:

- Scheuern
  (Luftstrahlscheuern, Fließbettscheuern, Gegenstromscheuern),
- Schleifen,
- Reiben (Fliehkraftreiben, Luftstrahlreiben) und
- Prallen.

Beim Scheuer-, Schleif- oder Reibvorgang werden die Körner innerhalb der Sandmasse intensiv gegeneinander bewegt. Die notwendige Bewegungsenergie kann

- mechanisch, beispielsweise durch Rühr- oder Schleifwerkzeuge oder
- pneumatisch, wobei der Sandluftstrom gegen einen Widerstand so geführt wird, daß Korn an Korn reibt,

eingebracht werden [Tillmanns 1994].

Aggregate wie die Scheuertrommel, der Schleuderradreiniger, die Regenerationszelle "Turbodry", die Simpson-Prallanlage und der Fließbettreiniger sind ausführlich in den vorliegenden Berichten zur Abfallvermeidung- und -verwertung beschrieben [ABAG 1992, PROGNOS 1993, INTECUS 1991]. Daher wird im Rahmen dieses Branchengutachtens auf eine Darstellung dieser Anlagen verzichtet. Es werden im folgenden lediglich die Neuentwicklungen vorgestellt.

Diskontinuierliche, pneumatische Sandregenerierung (System "GUT" [5])

Die Wirkungsweise der in **Bild 5.10** dargestellten Sandregenerierung basiert auf einer im Chargenbetrieb arbeitenden pneumatischen Reinigungspfeife, in der das dosiert zugegebene Material von einem Luftstrom erfaßt und gegen die Prallglocke gelenkt wird. In dem Luftstrom erfolgt eine schonende Korn-an-Korn-Reibung.

Der so vorbehandelte Restsand verläßt die Reinigungspfeife und bildet die nächste Charge im Chargen-Sandreiber-Sichter (auch Kühler bzw. Erhitzer), in dem durch gezielte Fluidisierung anhaftende Formstoffreste vom Sandkorn getrennt und der Abluft zugeführt werden.

Von besonderem Vorteil ist dabei, daß sich die Sandkörner und Binderreste an den geerdeten Kühlschlangen statisch entladen und sich so voneinander trennen können. Der Reinigungsgrad läßt sich gezielt durch die vorwählbare Chargenumlaufzahl einstellen.

Untersuchungen zeigen, daß ein akzeptabler Regenerierungsgrad bei bentonithaltigen Mischrestsanden nach 5 Durchläufen und bei Kernrestsanden nach 3 Durchläufen erreicht wird. Die Zeit für den Durchlauf einer 300 Liter-Charge beträgt etwa 10 Minuten. Da jedoch immer zwei Chargen gleichzeitig behandelt werden, ergibt sich eine Taktzeit von 5 Minuten für 300 Liter. Die Regenerierungsleistung liegt bei 1 bis 5 t/h. Die beschriebene Anlage brachte bei einem Restsand, der zu 75% aus Kernrestsand bestand, eine Regenerierungsquote von 85%.

Die Anlage wird bisher nur als Pilotanlage betrieben und ist noch in keiner Gießerei im Dauereinsatz betrieben worden. Es sind nur wenige Ergebnisse veröffentlicht worden [Müller-Späth 1994].

[5] Ökosandregenerierung der Fa. GUT, Gießerei Umwelt Technik GmbH, Freudenberg

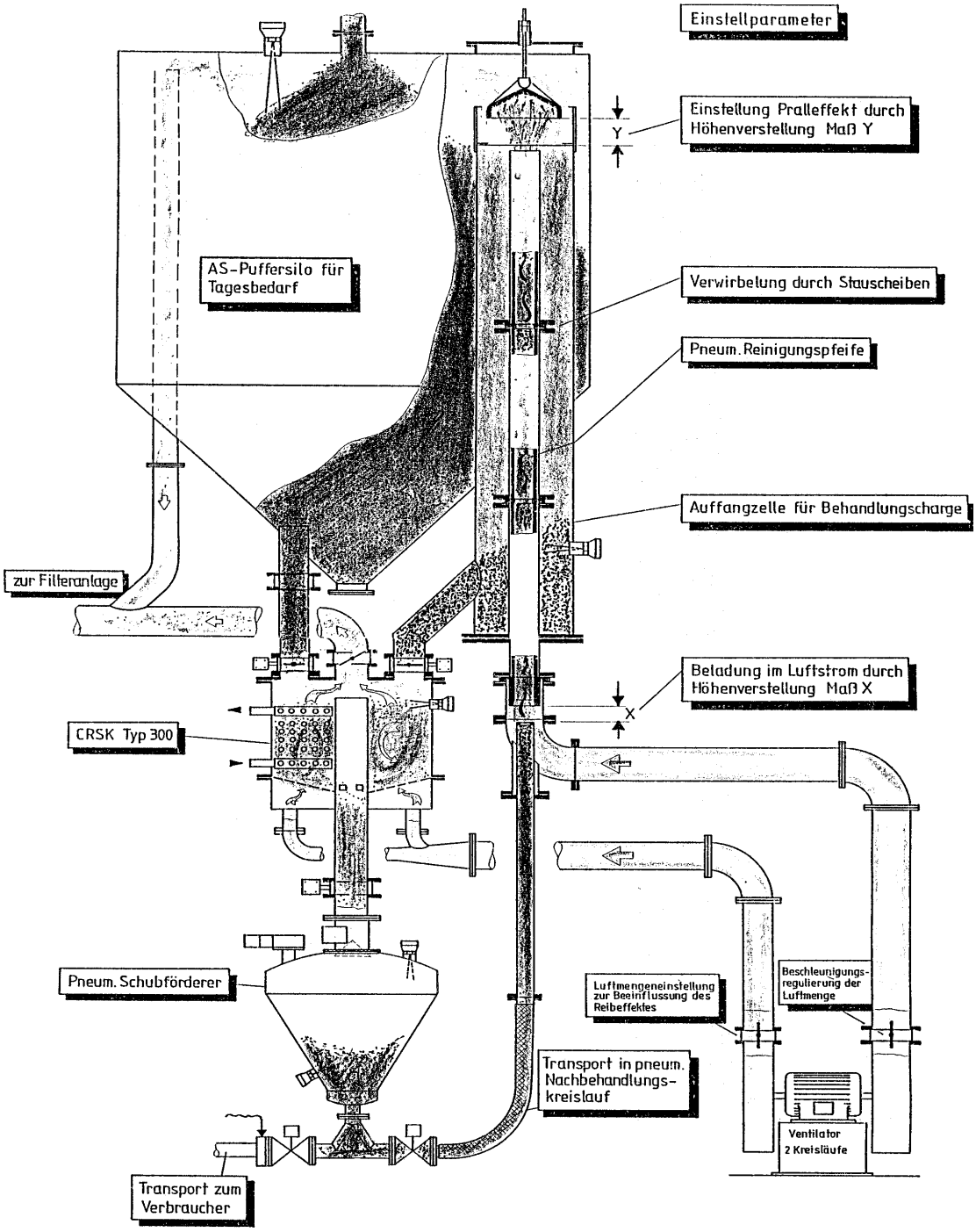


Bild 5.10: Schema der pneumatischen Sandregenerierung (System „GUT“) [Müller-Späth 1994]

Mechanische Schleif-Sandregenerierung (System "Gemco" [6])

Die Sandregenerierung, System "Gemco", besteht im wesentlichen aus einer horizontal rotierenden Schleifwalze, um die ein langsam rotierendes Schaufelrad läuft, das ständig Restsand auf die Schleifscheibe befördert (**Bild 5.11**). Auf der Schleifscheibe werden nun die Störstoffe von den Sandkörnern abgeschliffen. Über der Regenerierungsanlage befindet sich eine Entstaubung, die den während der Regenerierung anfallenden Staub kontinuierlich absaugt. Die Chargengröße beträgt 750 kg. Das Regeneratausbringen liegt bei rd. 70%, je nach Regenerierungsdauer und Störstoffgehalt des Restsandes. Die bei der Regenerierung anfallenden gröberen Stäube werden in einem Zyklon abgeschieden, die Feinststäube werden in einem Feinfilter aufgefangen und können aufgrund ihres hohen Wertstoffgehaltes an Aktivbentonit und Glanzkohlenstoffbildner in den Formstoffkreislauf zurückgeführt werden. Dadurch wird die zu entsorgende Staubmenge erheblich verringert [van Wijk 1994, Ritzen 1993].

Die Schleif-Sandregenerierung wird mit Erfolg in einer niederländischen Gießerei betrieben, die aus dem Regenerat PUR-Cold-Box-Kerne fertigt.

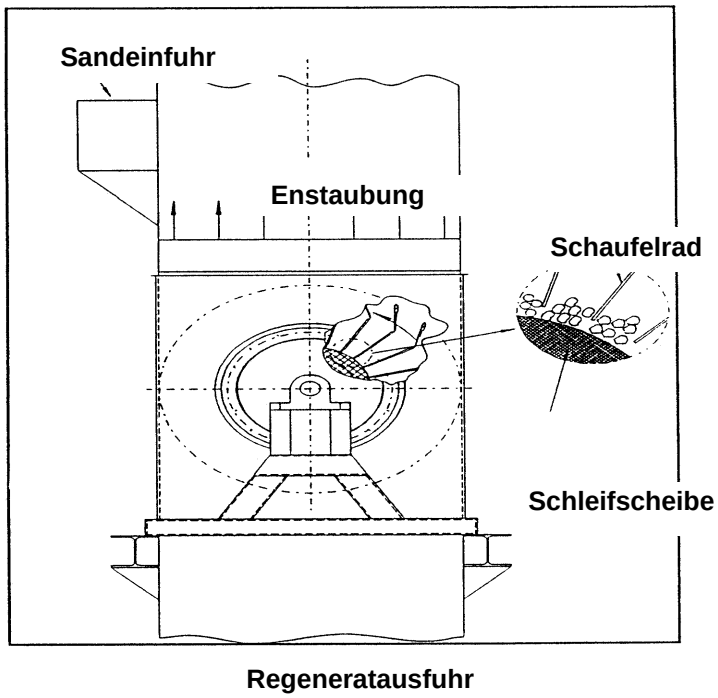


Bild 5.11: Mechanische Schleif-Sandregenerierung (System „Gemco") [van Wijk 1994]

6 Schleif-Sandregenerierung, Fa. Gemco Engineers BV, Son, Niederlande

Restsandregenerierung mit optischer Staubdichteerfassung (Vogel & Schemmann [7])

Diese Regenerierungsanlage, die es bisher nur als Pilotanlage gibt und von der keine Ergebnisse vorliegen, wurde für die Regenerierung bentonithaltiger Mischrestsande entwickelt (**Bild 5.12**).

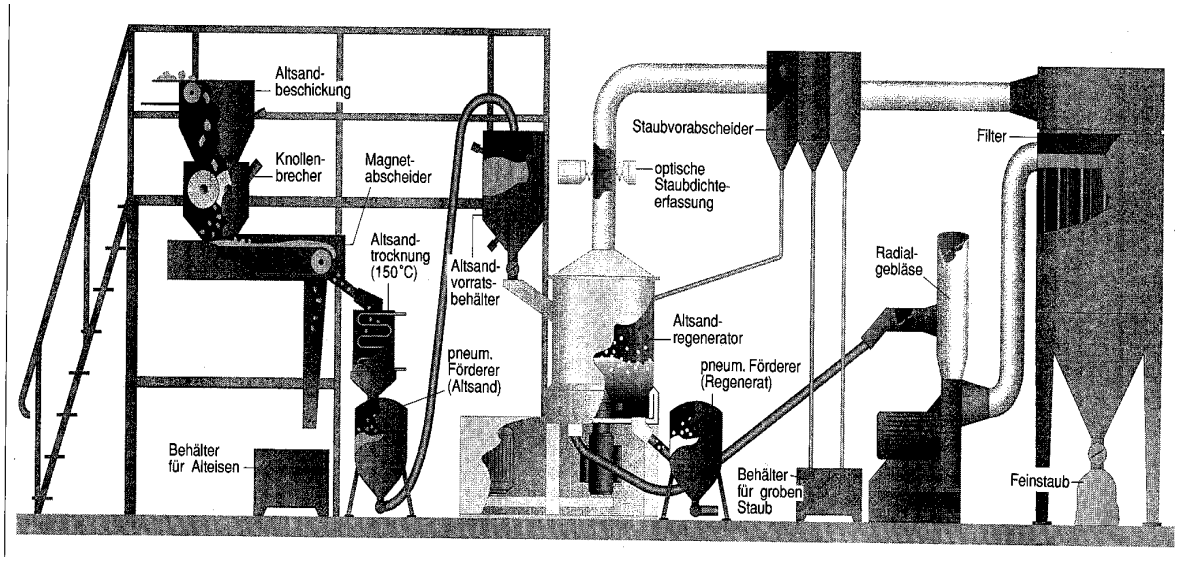


Bild 5.12: Restsandregenerierung mit optischer Staubdichteerfassung [Gärtner-Kaufmann 1994]

Das Herzstück der Anlage ist der Kaltregenerator, der einen Schleifrotor enthält (**Bild 5.13**). Zu Beginn der Regenerierung wird bei langsamer Umdrehung des Schleifrotors vorzugsweise Wertstoff (Aktivbentonit und Kohlenstaub) aus dem Restsand ausgetragen. Am Regenerator befindliche Sensoren messen die Staubdichte und steuern so die Entstaubungs- und Regenerierungsdauer. Zeigen die Sensoren nur noch eine geringe Staubdichte in der Abluft, schaltet ein Regler den Regenerator automatisch auf höhere Drehzahlen und geringere Luftvolumenströme. Sobald der Sensor wieder eine abnehmende Staubdichte feststellt, wird die eigentliche Regenerierungsphase eingeleitet, in der weitgehend auf den Sandkörnern haftender Hartbentonit abgeschliffen wird. Im Anschluß an die Starkschleifphase wird wiederum bei geringerer Rotordrehzahl feinentstaubt. Das Regenerat durchläuft bei diesem Regeneratortyp unter ständiger Kontrolle der Staubdichte mehrere Regenerierungsstufen, deren Dauer und Intensität u.a. von der Menge und Härte der auf den Sandkörnern haftenden Störstoffe abhängen [Gärtner-Kaufmann 1994].

[7] Restsandregenerierung mit optischer Staubdichteerfassung, Fa. Vogel & Schemmann AG, Hagen

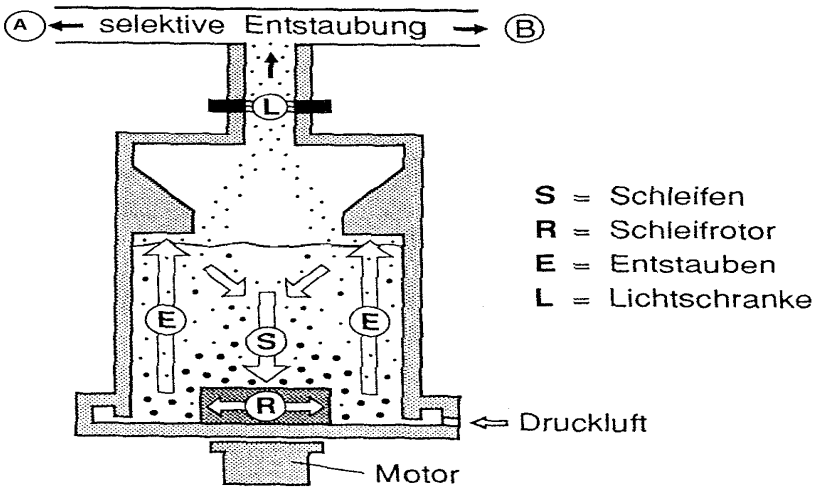


Bild 5.13: "Intelligenter Regenerator" [8] für die Regeneratherstellung mit Qualitätsgarantie für die Kernproduktion [Gärtner-Kaufmann 1994]

Jet-Reclaimer (KGT [9])

Dieses Aggregat eignet sich ebenso für die Regenerierung bentonithaltiger Mischrestsande wie für die Reinigung von Wasserglasrestsand. Im Jet-Reclaimer wird der Restsand durch einen Luftstrom gegen eine Prallhaube gelenkt. Der Luftstrom kann so variiert werden, daß eine schonende Korn-an-Korn-Reibung erfolgt. Die Anlagenleistung liegt bei 0,75 t/h. Mit einer Zusatzausstattung kann in diesem Aggregat getrocknet und gekühlt werden.

Der Jet-Reclaimer ist als Vor- und Nachreinigungsstufe in mehrstufigen thermisch-mechanisch arbeitenden Regenerierungsanlagen mit Erfolg im Einsatz.

Zur Zeit läuft ein Forschungsprojekt in einer Gießerei in Baden-Württemberg. Dort werden wasserglashaltige Restsande aus verschiedenen Aluminiumgießereien in einem Jet-Reclaimer regeneriert und die Eignung der Regenerate für den Einsatz in der Kernherstellung nach dem Wasserglas-Verfahren ermittelt. Ergebnisse liegen jedoch noch nicht vor.

8 Fa. Vogel & Schemmann AG, Hagen

9 Jet-Reclaimer, Fa. KGT Gießereitechnik GmbH, Düsseldorf

5.3.1.1.2 Anlagen zur thermischen Regenerierung (Heißregenerierung) mit und ohne mechanische Nachbehandlung (allgemeiner Überblick)

[ABAG 1992, PROGNOS 1993, Gärtner-Kaufmann 1994, Boenisch 1992, Weller 1989, Reier 1993, Schneider 1992, Stuzmann 1992, Bauch 1992, Stevenson 1992, Baudequin 1992, Maspero 1993, Jansohn 1992].

Bei der thermischen Regenerierung wird der vorbehandelte Restsand bei Temperaturen zwischen 700 und 950°C geglüht. Bei den **kunstharzgebundenen Monosystemen** kann durch das Verbrennen der Binderbestandteile Neusandqualität erreicht werden. Die Anlagen zur thermischen Regenerierung sollen in diesem Branchengutachten nicht näher beschrieben werden, da im Schrifttum ausführliche Darstellungen der verschiedenen Regenerierungsanlagen zu finden sind [Bailey 1992, Bex 1993, Droscha 1976, Simmons 1992, Thomas 1978, Wesp 1992]. In diesem Kapitel werden ausschließlich innovative Verfahren vorgestellt.

Anlagen zur thermischen Regenerierung bestehen in der Regel aus einer Vorbehandlungsstufe, einer thermischen Hauptstufe und einer mechanischen oder pneumatischen Nachreinigung. Als Vorbehandlungsstufen sind eine Metallabscheidung und eine mechanische Vorzerkleinerung des Restsandes erforderlich. Häufig erfolgt in einer mechanischen Vorreinigung ein teilweises Abschleifen der Schamotte und eine Vorentstaubung.

Zur Regenerierung des vorbehandelten Restsandes werden folgende Ofentypen eingesetzt:

- Wirbelschichtofen
- Fließbettofen
- Drehtrommelofen

Die genannten Öfen werden entweder mit einem Gas-Luft-Gemisch direkt oder indirekt mit Gas beheizt. Beim indirekt beheizten Ofen wird zusätzlich Luft zur Verbrennung eingeblasen. Die thermischen Anlagen werden in der Regel kontinuierlich betrieben, um den ohnehin hohen Energiebedarf durch häufiges Anfahren nicht weiter zu erhöhen.

Anlagen zur thermischen Regenerierung von **bentonithaltigen Restsanden** sind in den vorliegenden Berichten zur Abfallvermeidung- und -verwertung detailliert dargestellt [INTECUS 1991, ABAG 1992, PROGNOS 1993]. Ferner gibt es zahlreiche Veröffentlichungen, die praxis-

erprobte thermische Regenerierungsanlagen beschreiben und Ergebnisse der Regeneratuntersuchungen vorstellen [Bauch 1992, Stuzmann 1992, Jansohn 1992].

Dampfdruckverfahren (Küttner [10])

Ein neues thermisches Verfahren zur Regenerierung bentonithaltiger Mischrestsande ist das sogenannte "Dampfdruckverfahren". Nach einer Vorbehandlung (Knollenzerkleinerung, Magnetabscheidung von Resteisen) wird der zu regenerierende Restsand in einem Mischer mit Wasser vermengt, so daß die poröse Bentonitschicht das Wasser aufnehmen kann. Anschließend wird der befeuchtete Restsand kontinuierlich in eine 950°C heiße Wirbelschicht befördert. Das in den Poren der Bentonitschalen gespeicherte Wasser verdampft bei dieser Temperatur schlagartig. Das Dampfvolumen vergrößert sich dabei schneller als der Dampf aus den Poren entweichen kann, es kommt zu einem starken Druckanstieg. Die Hüllen sind jedoch nicht stark genug, um den auftretenden Kräften standzuhalten und werden abgesprengt oder weitestgehend gelockert. Das noch unsaubere Regenerat verläßt den Reaktor und gelangt in die Kühlung und Nachreinigung. Die Nachreinigung und die Entstaubung erfolgen mit Hilfe einer pneumatischen Reibbehandlung.

Das Regenerat wird gesiebt und in einem Wirbelschichtreiniger und Sichter von Feinkorn befreit, so daß die Schlämmstoffgehalte bis auf Werte unter 0,3% abgebaut werden. Diese Regenerierungsanlagen werden als Kompaktanlagen konzipiert und sollen einen Leistungsbereich von 0,5 bis 4 t/h abdecken [Jansohn 1992].

Eine derartige Anlage wird in der Gießerei des weltweit führenden Druckmaschinenherstellers betrieben. Die Anlage ist seit Ende 1994 in Betrieb und hat eine Leistung von 3,5 t/h. In dieser Anlage werden Naßgußsand und kaltharzgebundener Sand mit einem hohen Feinanteil thermisch regeneriert. Das Regenerat wird als Neusandersatz für den bentonitgebundenen und den kaltharzgebundenen Formstoffkreislauf eingesetzt. Aufgrund des hohen Feinanteils im Altsand liegt das Ausbringen an wiederverwendbarem Korn nur bei 40%.

10 Thermische Regenerierung nach dem „Dampfdruckverfahren“, Fa. Küttner GmbH & Co. KG, Essen

5.3.1.2 Entwicklungsstand

5.3.1.2.1 Kunstharzgebundene Restsande

Die mechanische Regenerierung kaltharzgebundener Formstoffe wird seit Jahren erfolgreich durchgeführt. In einfachen Zerkleinerungsaggregaten werden die Sandkörner vereinzelt und z.T. von den anhaftenden Binderhüllen befreit. Nach einer Sichtung kann der so behandelte Sand wieder zur Formherstellung eingesetzt werden.

Kunstharzgebundene Restsande können auch thermisch regeneriert werden. Einige Gießereien betreiben seit Jahren erfolgreich thermische Anlagen zur Regenerierung kunstharzgebundener Formstoffe [Oehlerking 1993, Utzig 1972, Rötters 1987, Schwarzl 1987]. Der Vorteil der thermischen Regenerierung ist die restlose Verbrennung der Kunstharzbinderhüllen, so daß nach einer Sichtung des Regenerates Neusandqualität erreicht oder sogar übertroffen werden kann.

Kunstharzgebundene Form- und Kernstoffe werden nach ihrem Zustand vor der Regenerierung in thermisch belastete und thermisch unbelastete (nicht abgegossene) Formen und Kerne sowie Form- und Kernbruch, Sandreste der Formerei und Kernmacherei unterschieden. Die Kunstharzhüllen thermisch unbelasteter Sande sind z.T. sehr glatt und können Lösungsmittelanteile enthalten (z.B. PUR-Cold-Box-Kernsande). Mechanisch lassen sich von thermisch unbelasteten Sanden nur etwa 25% des Bindemittels abtrennen [Boenisch 1991]. Auch thermisch schwach belastete Sande, wie sie in Leichtmetallgießereien anfallen, sind je nach Bindersystem nur schwer mechanisch zu regenerieren [ABAG 1992]. Hier sind thermische Regenerierungsanlagen besser geeignet.

Thermisch belastete Restsande entstehen in heißen Formwerkzeugen (z.B. Croningsand) oder beim Abguß. Duroplastische Kunstharze (Kondensationsharze wie z.B. Phenol- und Furanharz) verspröden schon bei relativ geringer Temperatur ab etwa 250°C (z.B. Hot-Box-Binder). Dabei werden die Binderhüllen aufgerissen. Thermoplastische Binder (z.B. Polyurethanbinder) verspröden erst bei längerer Wärmeeinwirkung ab etwa 350°C, wobei sie in den duroplastischen Zustand übergehen [Boenisch 1991]. Versprödete Binderhüllen sind mechanisch leicht von den Sandkörnern abtrennbar.

Versuche haben gezeigt, daß **unkontrolliertes Mischen** von Kernrestsanden verschiedener Ursprungsbindersysteme den Einsatz des Regenerates in der Kernherstellung erschweren. Sauer härtende Zielbindersysteme reagieren sehr empfindlich auf basische Bestandteile im

Regenerat [Oehlerking 1993]. Wichtig ist, daß frühzeitig im Produktionsprozeß darauf geachtet wird, daß die Vermischungen der Sandsysteme weitestgehend vermieden werden.

Nach den bisher gemachten Erfahrungen bei Verwendung von Regeneraten - vor allem bei Verwendung von Regeneraten aus bentonithaltigen Restsanden - ist der Einsatz von regenerierten Sanden in der Kernfertigung zwar möglich, aber begrenzt. Dies belegen die in **Anhang 1** dargestellten Ergebnisse. Oftmals ist der Regenerateinsatz mit einem erhöhten Bindemittelverbrauch verbunden und in vielen Fällen nur bei geometrisch einfachen, stabilen Kernen möglich.

5.3.1.2.2 Bentonitgebundene Restsande

Etwa 72% des Restsandaufkommens in der deutschen Gießereiindustrie bestehen aus bentonithaltigem Überschußsand. Die Erzeugung hochwertiger Regenerate aus diesem bentonitgebundenen Restsand stellt an die Regenerierung und die Verfahrenstechnik höchste Anforderungen, da anorganische und organische Bestandteile gleichzeitig zu entfernen sind.

Eine wichtige Voraussetzung für die erfolgreiche Regenerierung und eine hohe Regeneratqualität ist die Auswahl geeigneter Restsande, die der Anlage zugeführt werden. Regeneriert wird vorzugsweise thermisch belastetes Material. Beim Auspacken der Gußstücke werden bereits zwei getrennte Sandkreisläufe geschaffen, indem das Gußstück durch verschiedene "Entsandungsstationen" geleitet wird. An der ersten Station wird der thermisch gering belastete Formstoff entfernt und in die Formstoffaufbereitung zurückgeführt (1. Sandkreislauf). Den zweiten Sandkreislauf bildet der thermisch hochbelastete Formstoff, der aus totgebranntem, am Gußstück haftendem Naßgußsand und thermisch hochbelastetem Kernrestsand besteht. Dieser Formstoff, der im Gießereiprozeß nicht mehr verwendet werden kann, wird nun der Regenerierungsanlage zugeführt und zu Regenerat für die Kernherstellung verarbeitet.

In den letzten Jahren wurde zwar eine Reihe von Regenerierungsanlagen für diese Mischrestsande entwickelt, sie sind aber kaum in der Gießereiindustrie verbreitet. Einige Anlagen werden nur als Pilotanlagen betrieben und haben sich noch nicht im Dauerbetrieb bewährt. Andere Anlagen, die in Zusammenarbeit mit der jeweiligen Gießerei, in der sie heute betrieben werden, entwickelt wurden, liefern zwar für diesen Betrieb ausreichende Regeneratqualitäten, doch haben Versuche gezeigt, daß diese Erfahrungen nicht auf jede beliebige Firma übertragbar sind.

Im Rahmen dieses Branchengutachtens wurden einige praxiserprobte Regenerierungsanlagen für bentonithaltige Mischrestsande hinsichtlich Anlagentechnik und Anwendungsbereichen der Regenerate untersucht, um den Entwicklungsstand der Regenerierung bentonithaltiger Restsande umfassend darstellen zu können.

Mit Hilfe der **Untersuchungsergebnisse** war die Eignung der Anlagen zu beurteilen.

Es wurden acht Regenerierungsanlagen besichtigt und Daten zum Input, der Leistung, dem Energiebedarf und dem Anwendungsbereich der Regenerate gesammelt. Durch Analysen der zu regenerierenden Restsande, der Regenerate, der anfallenden Stäube und der Umlaufsande wurden die Eignung der Anlagen für die Regenerierung und der Anwendungsbereich der Regenerate ermittelt.

Bei den Betreibern handelte es sich um eine Aluminium- und fünf Eisengießereien, die innerbetrieblich regenerieren. Des weiteren wurde eine zentrale Regenerierungsanlage besichtigt, die bentonithaltige Mischrestsande und organische Restsande in zwei Linien regeneriert. Ferner wurden Regenerate aus einer Pilotregenerierungsanlage untersucht.

Informationen über die verschiedenen Gießereien und Daten zu den vergossenen Werkstoffen sowie den eingesetzten Form- und Gießverfahren sind **Tabelle 5.1 auf der folgenden Seite** zu entnehmen.

Auffällig ist, daß diese Betriebe neben ein bis zwei Verfahren zur Formherstellung, die in getrennten Kreisläufen gehalten werden, lediglich ein bis zwei Kernherstellungsverfahren einsetzen. Dies erleichtert die inner- und außerbetriebliche Verwertung der anfallenden Restsande entscheidend. Je mehr Verfahren angewendet und vermischt werden, desto höher werden die Anforderungen an die Regenerierung und desto problematischer wird der Einsatz des Regenerates in der Kernherstellung, da die Verfahren oft nicht kompatibel sind [Boenisch 1991]. Je nach jährlicher Gußproduktion fallen in den untersuchten Firmen zwischen 890 und 37 000 Tonnen Restsand pro Jahr an, die der Regenerierung zugeführt werden.

Firma	Vergossene Werkstoffe	Gußpro-duktion in t/a	Handformerei	Maschinenformerei	Kernherstell-verfahren	Restsand zur Regenerierung in t/a	Regenerie-rungsverfahren	Bemerkungen
A	Aluminium Aluminium-Leg.	4000 Sand- und Kokillenguß 4500 Druckguß	nicht vorhanden	Naßgußsand, 1 Vakuum-Schieß-Preß-Formanlage, 1 Rüttel-Preß-formanlage	PUR-Cold-Box, Pep-Set	5500	thermisch-mechanisch	Großserienfertigung
B	Gußeisen mit Lamellen- und Kugelgraphit	19000	Kaltharz-Ver-fahren (ge-trennter Kreis-lauf mit Kalt-harzsandrück-gewinnung)	Naßgußsand, 1 Schieß-Preß-Formanlage	Kaltharz (Furan), PUR-Cold-Box	4800	mech.-therm.-mech.	
D	Gußeisen mit Lamellen- und Kugelgraphit	37000	Kaltharz-Ver-fahren (ge-trennter Kreis-lauf mit Kalt-harzsandrück-gewinnung)	Naßgußsand, 1 Vacu-Preß-Formanlage	Wasserglas, PUR-Cold-Box	9000	thermisch	
E1	Gußeisen mit Lamellen- und Kugelgraphit	70000	nicht vorhanden	Naßgußsand 1 Schieß-Preß-, 1 Rüttel-Preß-, 1 Vacu-Preß- und 1 Impuls-Formanlage	PUR-Cold-Box	37000	pneumatisch	Vortrocknung nicht erfor-derlich, da Restsand trocken und rieselfähig
F	Gußeisen mit Lamellen- und Kugelgraphit	34000	nicht vorhanden	Naßgußsand, 1 Schieß-Preß-Formanlage	PUR-Cold-Box	9600	mechanisch	Vortrocknung des Restsandes bei 60 °C
G	Gußeisen mit Lamellen- und Kugelgraphit	4300	Kaltharz-Ver-fahren (ge-trennter Kreis-lauf mit Kalt-harzsandrück-gewinnung)	Naßgußsand, 1 Formatic, 1 Schieß-Preß-Formanlage	PUR-Cold-Box, Wasserglas	890	pneumatisch	Behandlungstemperatur des Restsandes: 175 °C

In diese Tabelle werden nur die untersuchten Gießereien beschrieben. Bei der Anlage C handelt es sich nicht um eine Gießerei, sondern um eine zentrale Regenerierungsanlage, die an dieser Stelle nicht dargestellt wird.

Tabelle 5.1: Übersicht der untersuchten Firmen mit praxiserprobten Regenerierungsanlagen

Nach den angewendeten Verfahren können die Regenerierungsanlagen in drei Kategorien unterteilt werden:

Kategorie 1: **Thermische Regenerierung**
Anlage C und D, wobei C einen Sonderfall darstellt, da es sich um eine zentrale Anlage handelt,

Kategorie 2: **Thermisch kombiniert arbeitende Anlagen**
Anlage A und B,

Kategorie 3: **Mechanische und pneumatische Regenerierung**
Anlage E1, F und G.

Alle Regenerierungsanlagen schließen die Vorbehandlung des Restsandes, also die Zerkleinerung und Metallabtrennung ein. Die eigentliche Regenerierung erfolgt in unterschiedlichen Aggregaten. Da die verschiedenen Regenerierungsverfahren in Kapitel 5.3.1.1 und in einschlägigem Schrifttum ausführlich beschrieben sind, wird hier auf eine detaillierte Darstellung verzichtet. Die wichtigsten Bauteile der Regenerierungsanlagen sind in **Tabelle 5.2** aufgelistet.

	Firma						
Anlagenbauteile	**A**	**B**	**C**	**D**	**E1**	**F**	**G**
Vorzerkleinerung und Metallabtrennung	X	X	X	X	X	X	X
Vortrocknung		X				X	X
Thermische Regenerierungseinheit							
- Wirbelschichtofen			X	X			
- Fließbettofen	X	X					
Kühler	X	X	X	X			
Mechanische Regenerierungseinheit							
- Fließbettscheuern	X						
- Reiben		X					
- Luftstrahlscheuern					X		X
- Schleifen						X	
Sichter (Wirbelschicht-, Kaskadensichter)	X	X	X	X	X	X	X
Klassierung	X	X	X	X	X	X	X

Tabelle 5.2: Anlagenbauteile der untersuchten Regenerierungsanlagen

Eine Beschreibung der einlaufenden Restsande, Daten zur Leistung der Anlagen, zum Energiebedarf, dem Regeneratausbringen und dem Einsatzgebiet der Regenerate sind aus **Tabelle 5.3** auf der folgenden Seite ersichtlich.

Firma	Regenerie-rungs-verfahren	Regenerie-rungsprinzip	Restsande für die Regenerierung	Leistung t/h	Energiebedarf/ Tonne Regenerat	Investi-tionskosten	Ausbringen in %	Regenerateinsatz	Reststoffverwertung (Regenerierstaub)
A	thermisch-mechanisch	Verbrennen /Fließbett-scheuern	13 % Naßgußsand 87 % Kernrestsand (PUR-Cold-Box)	2,3	20 m³ Gas 62 kWh	n.b.	80* 84**	Feinregenerat zur PUR-Cold-Box-Fertigung	inerter Regenerierstaub zur Bauschutt-deponie
B	mech.-therm.-mech.	Reiben/ Verbrennen / Reiben	Naßgußsand mit PUR-Cold-Box-Kernrestsand, Strahlsand	2,5	16 m³ Gas 50 kWh	n.b.	70* 87**	Feinregenerat zur PUR-Cold-Box-Fertigung	inerter Regenerierstaub zu Entsorgungsfirma
C[1]	thermisch	Verbrennen	Linie 1: bentonit-haltige Misch-restsande Linie 2: kunstharz-gebundene Rest-sande	Linie 1: 4 Linie 2: 8	14 m³Gas 68 kWh	n.b.	Linie 1: 87* n.b.[2] Linie 2: 90* n.b.[2]	Gießerei (nur Linie 2), Trockenmörtel, Kalksandstein, Baustoffe, Ziegelei	Mörtelherstellung, Baustoff, Stahlindustrie, Kalksandstein
D	thermisch	Verbrennen	Naßgußsand, Kaltharzsand, Stäube (50 - 60 % < 90 µm)	3,4	28 m³Gas 50 kWh	12 Mio. DM	40 - 50* 69 - 86**	Grobregenerat zur Formstoff-auffrischung, 100 % Feinregene-rat zur Wasserglas-kernherstellung	inerter Regenerierstaub zur Deponie
E1	pneuma-tisch	Luftstrahl-scheuern	20 % Naßgußsand 80 % Kernrestsand (PUR-Cold-Box)	8	41 kWh	2,5 Mio DM	85* n.b.[3]	Feinregenerat zur PUR-Cold-Box-Fertigung	Deponie
F	mechanisch	Schleifen	Naßgußsand, PUR-Cold-Box-Kernrestsand	1,5	3 m³ Gas 39 kWh	1,2 Mio. DM	72* 89**	Feinregenerat zur PUR-Cold-Box-Fertigung	Deponie
G	pneuma-tisch	Luftstrahl-scheuern	Strahlsand (Naßgußsand, PUR-Cold-Box- und Wasserglas-Kernrestsand)	0,75	0 bis 3 m³ Gas 62 kWh	n.b.	65* 80**	Feinregenerat zur PUR-Cold-Box-Fertigung	Deponie

[1] Sonderfall: zentrale Regenerierungsanlage

[2] nicht bestimmbar, da der Sandanteil des Restsandes nicht bekannt ist

[3] nicht bestimmbar, da der Restsand Chromerzsand enthält und der Sandanteil somit nicht bekannt ist

* bezogen auf die Einsatzmenge

** bezogen auf den Quarzkornanteil

Tabelle 5.3: Praxiserprobte Regenerierungsanlagen für Gießereirestsande

Die in einer mechanisch arbeitenden Pilotanlage regenerierten Restsande, der Energiebedarf und das Ausbringen sind in **Tabelle 5.4** zusammengestellt.

Restsand	Regenerierungsverfahren	Regenerierungsprinzip	Restsande für die Regenerierung	Einsatz in t	Energiebedarf/ t Reg.	Regenerierungsdauer in min	Ausbringen in%	Regeneratseinsatz
E2 Versuch 1	mechanisch	Schleifen	20% Naßgußsand 80% Kernrestsand (PUR-Cold-Box)	0,15	3 m³ Gas 39 kWh	20	86* n.b.	Feinregenerat zur PUR-Cold-Box-Fertigung
E2 Versuch 2	mechanisch	Schleifen	20% Naßgußsand 80% Kernrestsand (PUR-Cold-Box)	0,15	3 m³ Gas 39 kWh	30	75* n.b.	Feinregenerat zur PUR-Cold-Box-Fertigung
E2 Versuch 3	mechanisch	Schleifen	20% Naßgußsand 80% Kernrestsand (PUR-Cold-Box)	0,15	3 m³ Gas 39 kWh	40	68* n.b.	Feinregenerat zur PUR-Cold-Box-Fertigung
H	mechanisch	Schleifen	Naßgußsand, PUR-Cold-Box-Kernrestsand	0,15	3 m³ Gas 39 kWh	30	59* 76**	Feinregenerat zur PUR-Cold-Box-Fertigung

* bezogen auf Restsandeinsatz ** bezogen auf Quarzkornanteil n.b. = nicht bestimmbar, da Restsand Chromerzsand enthält

Tabelle 5.4: Pilotanlage zur Regenerierung von Gießereirestsanden

Da fünf der Gießereien ihre Regenerate zur Kernherstellung im PUR-Cold-Box-Verfahren einsetzen, wurden alle Regenerate in diesem Bindersystem auf ihre Eignung überprüft. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen sind im **Anhang 1** zusammengestellt.

Die Überprüfung der Eignung verschiedener mechanischer und thermischer Regenerierungsverfahren zeigt, daß **vorsortierte** und ausgewählte **Restsande**, die eine günstige Zusammensetzung, also eine geringe Störstoffgrundlast aufweisen, sowohl **mechanisch** als auch **thermisch** (mit mechanischer Nachbehandlung) **regeneriert** werden können. Sie erreichen, wie die **Bilder 1**, **2** und **7** im Anhang 1 belegen, gute Regeneratqualitäten und sind für den vorgesehenen Einsatz in der Cold-Box-Kernfertigung anstelle von Neusand geeignet.

Die Regenerierungsgrade der untersuchten Anlagen liegen bei den **thermischen** Anlagen zwischen **75** und **94%** (**Tabelle 5.5**). Bei der mechanischen Regenerierung werden Regenerierungsgrade von **83** bis **91%** erreicht (**Tabelle 5.6**). Bei vorsortierten Restsanden, wie A und E1, die eine geringe Störstoffgrundlast mitbringen, kann das Störstoffpotential auf 1% und niedriger gesenkt werden.

Thermische Regenerierung (Heißregenerierung)						
Firma	**A**		**B**		**D**	
	Restsand	**Regenerat**	**Restsand**	**Regenerat**	**Restsand**	**Regenerat**
Störstoffe						
Schlämmstoff in% 1)	1,8	0,19	12,1	0,3	23,0	0,27
Tongehalt in%	11,1	0,8	7,4	0	15,2	0
Gesamtglühverlust in%	0,9	0	4,0	0	12,6	0
Glühverlust (Korn) 2)	0,7	0	0,9	0	7,1	0
Schamotte in% 3)	1,8	0,9	6,3	0,9	11,7	4,3
Störstoffpotential in% 1) + 2) + 3)	4,3	1,09	19,3	1,2	41,8	4,57
Wirkungsgrad der Regenerierung in%		**75**		**94**		**89**
Staubaustrag in%		**20**		**30**		**50 - 60**
Relative Biegefestigkeit nach t_V = 1h in%	**n.b.**	**90**	**n.b.**	**72**	**n.b.**	**13**

Tabelle 5.5: Regenerierungsgrade der untersuchten thermisch bzw. thermisch-mechanisch arbeitenden Regenerierungsanlagen

Eine höhere Störstofflast des Restsandes kann zwar durch geeignete Regenerierungsverfahren drastisch vermindert werden (z.B. Restsande B und G), bedingt aber einen erheblich höheren Staubanfall.

Mechanische Regenerierung (Kaltregenerierung)						
Firma	**E1**		**F**		**G**	
	Restsand	**Regenerat**	**Restsand**	**Regenerat**	**Restsand**	**Regenerat**
Störstoffe						
Schlämmstoff in% 1)	3,8	0,3	12,2	1,4	11,0	0,2
Tongehalt in%	3,4	0	9,5	1,1	8,6	0,7
Gesamtglühverlust in%	1,8	0,4	4,2	0,7	4,3	0,2
Glühverlust (Korn) 2)	1,3	0,4	2,0	0,6	2,4	0,2
Schamotte in% 3)	0	0	5,1	1,3	5,3	1,3
Störstoffpotential in% 1) + 2) + 3)	5,1	0,7	19,3	3,3	18,7	1,7
Wirkungsgrad der Regenerierung in%		**86**		**83**		**91**
Staubaustrag in%		**15**		**28**		**35**
Relative Biegefestigkeit nach t_V = 1h in%	**n.b.**	**70**	**n.b.**	**60**	**n.b.**	**103**

Tabelle 5.6: Regenerierungsgrade der untersuchten mechanisch arbeitenden Regenerierungsanlagen

n.b. = nicht bestimmt

Der Staubanfall ist, wie die Ergebnisse belegen, von der Auswahl des Restsandes und der mechanischen Regenerierungsarbeit abhängig.

In **Tabelle 5.7** ist das Ergebnis der Untersuchung nochmals zusammenfassend dargestellt.
Nur vorsortierte und ausgewählte Restsande, deren Kernsandanteil über 70% beträgt, können sowohl mechanisch als auch thermisch-mechanisch regeneriert werden.

Regenerierungsverfahren			
Restsand	mechanisch	thermisch-mechanisch	thermisch
vorsortierte Restsande Kernrestsandanteil > 70%	++	++	+
bentonithaltige Mischrestsande Naßgußsandanteil > 70%	+ / -	+	-

++ sehr gut regenerierbar + gut regenerierbar - schlecht regenerierbar

Tabelle 5.7: Die Auswahl des zu regenerierenden Restsandes bestimmt das Regenerierungsverfahren und die Regeneratqualität

Der Entwicklungsstand der Regenerierungsverfahren für bentonithaltige Restsande ist in Tabelle 5.8 dargestellt.

Regenerierungsanlage	Pilot-anlage	großtechnische Anlage	im Einsatz seit	Verbreitung	Beschreibung S.
mechanisch/pneumatische Verfahren					
pneumatische Regenerierung, System „GUT“	x	--------	--------	----------	93, 94
mechanische Schleif-Sandregenerierung, System „Gemco“		x	1993	2 Anlagen[1]	95
Restsandregenerierung mit optischer Staubdichteerfassung	x	---------	-------	----------	95, 96
Jet-Reclaimer		x	1993	3 Anlagen	96
pneumatische Regenerierung System „Turbodry“[3]		x	1991	1 Anlage[1]	93
pneumatische Regenerierung System „Jacob“[4]		x	> 10 Jahre	2 Anlagen[1]	93
System IMD [5]		x	1992	1 Anlage [1,2]	---
thermische Anlagen					
Dampfdruckverfahren		x	1994	1 Anlage[1]	99
mechanisch-thermisch-mechanische Anlagen					
System KGT		x	1986	5 Anlagen[1,2]	98
System Richards [6]		x	1993	1 Anlage [2]	---
System KHD [7]		x	1986	1 Anlage [1]	---
zentrale Regenerierung Lage		x	1992	1 Anlage	---

1 in Eisengießereien im Einsatz

2 in Aluminiumgießereien im Einsatz

3 Fa. Künkel & Wagner, Alfeld

4 Fa. Georg Fischer AG, Schaffhausen

5 Fa. IMD, USA

6 Fa. Richards Engineering Limited, Leicester, England

7 Fa. Klöckner Humbold Deutz, Köln

Tabelle 5.8: Entwicklungsstand von Regenerierungsverfahren für bentonithaltige Restsande

5.3.1.3 Einsatzbereiche

5.3.1.3.1 Monosysteme

Dem Naßgußsand wird zur Auffrischung häufig Neusand zugesetzt. Dieser Neusandbedarf kann durch den Einsatz von „Grobregeneraten“ aus bentonitgebundenen Restsanden vermindert werden. Der beim Ausleeren der Form anfallende bentonitgebundene Restsand wird so lange in geeigneten mechanischen Regeneratoren geschliffen und entstaubt, bis die Hartbentonitmenge ausreichend entfernt ist (**Tabelle 5.9**).

Kaltharzgebundene Restsande können aufgrund der spröden Binderhüllen in einfachen Zerkleinerungsaggregaten zurückgewonnen werden. Nach einer anschließenden Sichtung und Siebung eignen sich die Regenerate für den Wiedereinsatz in der Form- und Kernherstellung. Der Regenerierungsgrad ist bei den kaltharzgebundenen Formstoffen in erster Linie von der thermischen Beanspruchung während des Abgusses, vom Sand/Eisen-Verhältnis und vom Bindergehalt abhängig. Durch die mechanische Beanspruchung während des Vereinzelns werden Binderbestandteile nur in geringem Umfang von der Sandkornoberfläche entfernt. Durch eine intensive mechanische Regenerierung, z.B. in einem Fliehkraftreiniger, kann der Regenerierungsgrad deutlich verbessert werden.

Der Staubgehalt im Regenerat sollte unter 0,5% liegen, da sonst ein Bindermehrverbrauch und Festigkeitsverluste in Kauf genommen werden müssen. Richtwerte für die Regeneratqualität aus mechanischen Regenerierungsanlagen zeigt **Tabelle 4.2** in [ABAG 1992, S. 86]. Eine Entstaubung ist daher unbedingt erforderlich [ABAG 1992].

Kunstharzgebundene Restsande aus dem PUR-Cold-Box-, SO_2-, Hot-Box- und Croning-Verfahren können nicht in einfachen Zerkleinerungsaggregaten zurückgewonnen werden. Erst durch mechanische Arbeit, wie Schleifen, Reiben, Mahlen, Scheuern, Schlagen, Prallen und Scheren, werden der Restsand vereinzelt und die Störstoffe (Staub, organische Binderbestandteile und inaktiver Bentonit) durch Korn-an-Korn-Reibung von den Sandkörnern getrennt. Eine ausreichende Versprödung der Binderhüllen durch den Abguß ist Voraussetzung für eine erfolgreiche mechanische Regenerierung. Während des Regenerierungsprozesses muß kontinuierlich entstaubt werden.

Restsandart	Regenerier-ungsverfahren	Regenerierungs-aggregat	Einsatzbereiche	Rand-bedingungen	Mindest-menge
Anorganische Monosysteme Naßgußsand	mechanisch	z.B. Luftstrahl-scheuern	• Auffrischungs-sand für Naßgußsand-kreislauf	• Vortrocknung erforderlich • Verwertung der Stäube	0,75 t/h
Wasserglassand	z.Z. nicht regenerierbar		• nur zur Form- und Kernher-stellung im Wasserglas-verfahren	• Versprödung der Binderbestandt eile	
Organische Mono-systeme Kaltharzsand	mechanisch oder thermisch	mechanisch: Reiben, Prallen, Luftstrahl-scheuern thermisch: Wirbelschicht-, Drehrohr- und Fließbettofen	• zur Form- und Kernher-stellung im Kalharzver-fahren • 20 - 25% zur Cold-Box-Kerherstellung anstelle von Neusand	• mechanisch: nur bei ausreichender Versprödung der Binderhüllen durch den Abguß • Richtwerte für Regenerat-qualität müssen eingehalten werden	1,5 t/h
Cold-Box-, SO_2-, Hot-Box- und Croning-Sand	mechanisch oder thermisch	mechanisch: Luftstrahl-scheuern, Fliehkarftreiben, Fließbett-scheuern thermisch: Wirbelschicht-, Drehrohr- und Fließbettofen	• zur Kernher-stellung anstelle von Neusand	• mechanisch: nur bei ausreichender Versprödung der Binderhüllen durch den Abguß • Richtwerte für Regenerat-qualität müssen eingehalten werden • Verwertung der Stäube	0,75 t/h
Methylformiat-sand	z.Z. nicht regenerierbar		• bedingt im Methyformiat-verfahren	• Versprödung der Binderbestandt eile	

Tabelle 5.9: Einsatzbereiche verschiedener Regenerierungsverfahren für Monosysteme

Es liegen z.Z. keine Erfahrungen zur mechanischen Regenerierung stark alkalischer Restsande (z.B. aus dem Wasserglas- und Methylformiat-Verfahren) vor. In einer Aluminiumgießerei in Baden-Württemberg hat gerade ein Projekt zur Untersuchung der Regenerierbarkeit wasserglasgebundener Restsande in Zusammenarbeit mit verschiedenen anderen Gießereien begonnen. Erste Versuchsergebnisse sind jedoch erst im Laufe dieses Jahres zu erwarten.

Die einzusetzende Verfahrenstechnik richtet sich nach der erforderlichen Regeneratqualität. Die Regenerierungsdauer und der Staubanfall sind von den an die Regeneratqualität gestellten Anforderungen abhängig.

Kunstharzgebundene Restsande können auch thermisch regeneriert werden. Der wesentliche Vorteil der thermischen Regenerierung liegt in der Verbrennung der organischen Bestandteile und der beim Gießen entstandenen Umsetzungsprodukte. Der bei dieser Regenerierungsvariante anfallende Reststaub wird bei den hohen Temperaturen von 750 bis 900°C inertisiert. So gewonnene Regenerate können nach einer guten Sichtung Neusandqualität erreichen.

Ein wesentlicher Nachteil der thermischen Regenerierung ist, daß hohe Alkaligehalte des Wasserglas- und Methylformiat-Verfahrens thermisch nicht beseitigt werden können. Vielmehr versintern in diesen Bindersystemen enthaltene alkalische Bestandteile (z.B. Natrium, Kalisalze) mit der Quarzkornoberfläche, reichern sich im Regenerat an und verringern die Festigkeit der aus Regenerat hergestellten Kerne.

5.3.1.3.2 Mischsysteme

Organische Mischsysteme können sowohl mechanisch in hochwertigen Kaltregeneratoren als auch thermisch regeneriert werden und anstelle von Neusand in der Kernherstellung verwendet werden (**Tabelle 5.10**). Die thermische Regenerierung hat den Vorteil, daß die sauren Bestandteile aus dem Hot-Box- oder SO_2-Verfahren verbrannt werden.

Die thermische Regenerierung **bentonithaltiger Mischrestsande** hat hingegen den Nachteil, daß bei diesen Temperaturen der noch enthaltene Aktivbentonit desaktiviert wird und die Oolithisierung zunimmt. Des weiteren wird der im Restsand befindliche aktive Glanzkohlenstoffbildner verbrannt. Eine Rückgewinnung und Rückführung der Wertstoffe Bentonit und Glanzkohlenstoffbildner ist nur dann möglich, wenn die erste mechanische Regenerierungsstufe entsprechend ausgelegt wird, d.h. wenn in dieser mechanischen Vorreinigung der Aktivbentonit und der Glanzkohlenstoffbildner weitgehend durch Abreiben

und Entstauben aus dem Restsand entfernt werden. Die thermische Regenerierung erfordert eine mechanische Nachreinigung, um das Regenerat zu entstauben und aufgebrannte Binderbestandteile zu entfernen.

Mischrestsande mit einem Kernanteil > 70% können nach einer hochwertigen mechanischen oder einer mechanisch-thermisch-mechanischen Regenerierung anstelle von Neusand zur Kernherstellung eingesetzt werden. Aufgrund des Anteils an aktivem Bentonit und Wasser ist bei der mechanischen Regenerierung allerdings eine Vortrocknung erforderlich.

Mischrestsande mit einem Kernanteil < 70% sollten wegen der Regenerierungserschwernisse durch den hohen Aktivbentonitgehalt und dem damit verbundenen hohen Anfall von Regenerierungsstaub nur zu Auffrischungssand für den Naßgußsandkreislauf regeneriert werden (**Tabelle 5.10**). Die Kernherstellung stellt so hohe Anforderungen an die Regeneratqualität, daß die wirtschaftliche Regenerierung eines solchen Restsandes kaum möglich ist.

Die Untersuchung der praxiserprobten Regenerierungsanlagen hinsichtlich der Anwendungsbereiche der Regenerate zeigt deutlich, wie problematisch ein Einsatz von Regeneraten zur Kernherstellung ist. Die zur Verfügung stehenden Regenerierungsanlagen erzeugen in der Regel Regenerate, die selbst bei leicht erhöhtem Bindemitteleinsatz nur bei geometrisch einfachen, stabilen Kernen eingesetzt werden können. Die Verwendung von Regeneraten ist bei der Herstellung von komplizierten Wasserraumkernen mit dem PUR-Cold-Box-Verfahren nach den bisher vorliegenden Erfahrungen nicht möglich.

Restsandart	Regenerierungsverfahren	Regenerierungsprinzip	Einsatzbereiche	Randbedingungen	Mindestmenge
organische Mischsysteme	mechanisch oder thermisch	mechanisch: Fliehkraftreiben, Luftstrahlscheuern, Fließbettscheuern thermisch: Wirbelschicht-, Drehrohr- und Fließbettofen	• zur Kernherstellung anstelle von Neusand	• mechanisch: nur bei ausreichender Versprödung der Binderhüllen durch den Abguß • Richtwerte für Regeneratqualität müssen eingehalten werden • Verwertung der Stäube	0,75 t/h
bentonithaltige Mischsysteme Mischrestsand Kernanteil > 70%	mechanisch oder mechanisch-thermisch-mechanisch	mechanisch: Luftstrahlscheuern, Fließbettscheuern thermisch: Wirbelschicht-, Drehrohr- und Fließbettofen	• zur Kernherstellung anstelle von Neusand	• Vortrocknung erforderlich • bei der thermisch-kombinierten Regenerierung ist eine wirksame mechanische Vorreinigung zur Entfernung des Aktivbentonites erforderlich • Verwertung der Stäube	0,75 t/h
Mischrestsand Kernanteil < 70%	mechanisch, oder 3-stufig mechanisch-thermisch-mechanisch	mechanisch: Luftstrahlscheuern, Fließbettscheuern thermisch: Wirbelschicht-, Drehrohr- und Fließbettofen	• Auffrischungssand für Naßgußsandkreislauf • zur Kernherstellung bei Großserien für einfache Kerngestalt	• Verwertung der Stäube	0,75 t/h

Tabelle 5.10: Einsatzbereiche verschiedener Regenerierungsverfahren für Mischsysteme

Die im PUR-Cold-Box-Verfahren mit den Regeneraten erzielten Festigkeiten und das nach der Regenerierung verbleibende Störstoffpotential der Regenerate zeigen, daß der Einsatz von Regeneraten zur Kernherstellung zwar möglich, aber begrenzt und mit Qualitätsrisiken bei der Gußherstellung verbunden ist.

Des weiteren verdeutlichen die Ergebnisse die Notwendigkeit des Abtrennens von störstoffbelastetem Material (z.B. Putzereisand und wasserglasgebundener Restsand), das ein erhebliches Regenerierungserschwernis darstellt.

Für eine erfolgreiche Regenerierung und den Einsatz des Regenerates in der Kernherstellung ist es wichtig, daß im Produktionsprozeß eine Vermischung der Sandsysteme soweit wie möglich vermieden wird. Das Gußstück sollte der Form ohne größere Mengen anhaftenden Formsandes, der aktiven Bentonit und Glanzkohlenstoffbildner enthält, entnommen werden. Gleichzeitig sollte Kernsand nur in geringem Umfang (nur zur Auffrischung des Kreislaufsandes) in den Formstoffkreislauf einfließen. Das erleichtert einerseits die Wiederaufbereitung des Formsandes, andererseits ermöglicht es eine einfache Regenerierung wegen geringer Störstofffracht (z.B. Aktivbentonit, Elektrolyte).

5.3.1.4 VVV-Potential

Restsandart	Restsand zu 100% organisch gebunden	Restsand Kernanteil > 70%	Restsand Kernanteil < 70%	Restsand nicht regenerierbar
VVV-Potential	95%	80%	50%	0%

Besteht der Gießereirestsand zu 100% aus organisch gebundenen Bestandteilen, so können durch eine Regenerierung etwa 95% des Restsandes zurückgewonnen und im Kreislauf geführt werden. Mit abnehmendem organisch gebundenem Kernsandanteil verringert sich das VVV-Potential deutlich. Ursache sind die höhere Störstoffbelastung (z.B. höherer Aktivbentonitanteil, höherer Oolithisierungsgrad), die damit erschwerte Regenerierung und der steigende Reststoffanfall. So beträgt das VVV-Potential bei einem Restsand mit einem Kernanteil < 70% nur noch 50%.

Die **mechanische Regenerierung** hat neben den Vorteilen des möglichen diskontinuierlichen Betriebs sowie der Regenerierungserleichterung durch Kunstharzbestandteile auch Nachteile. In der Regel muß der zu regenerierende Restsand vorgetrocknet werden, damit eine Korn-an-Korn-Reibung stattfinden kann. Des weiteren lassen sich nicht abgegossene Kernsande aufgrund ihrer oftmals geschmeidigen und plastischen Binderhüllen kaum mechanisch regenerieren. Ein weiterer wesentlicher Nachteil ist der häufig hohe Staubanfall, der je nach Restsandzusammensetzung zwischen 5 und 40% betragen kann. Dieser Staubanfall kann durch Auswahl des zu regenerierenden Restsandes, durch angepaßte Regenerierarbeit und durch Rückführung der abgetrennten Wertstoffe in Grenzen gehalten werden.

Bei der Verwendung **mechanischer und thermisch-kombiniert arbeitender Regenerierungsverfahren** besteht in begrenztem Umfang die Möglichkeit, Wertstoffe wie Bentonit und Glanzkohlenstoffbildner zurückzugewinnen und erneut im Formstoffkreislauf einzusetzen. Werden diese Wertstoffe nicht in den Formstoffkreislauf zurückgeführt, so verbleibt bei der mechanischen Regenerierung ein Staub mit Kohlenstoff und organischen Binderresten, der z.Z. deponiert wird. Die Erschließung schadloser Verwertungswege mit thermischem Prozeß z.B. im Zementwerk oder in der Ziegelei trägt wesentlich zur wirtschaftlichen und ökologischen Akzeptanz bei. Die thermisch-kombinierte Regenerierung erlaubt eine Inertisierung dieses Staubes.

Durch die **thermische Regenerierung** wird zwar die gesamte Stoffmenge inertisiert, aber gleichzeitig erhöht sich der Schleifaufwand in der nachfolgenden mechanischen oder pneumatischen Regenerierungsstufe. Eine Wertstoffnutzung kann nur erfolgen, wenn in einer effizienten mechanischen Vorreinigung Aktivbentonit und Glanzkohlenstoffbildner abgetrennt und zurückgewonnen werden [INTECUS 1991].

5.3.2 Angaben zu Rahmenbedingungen der Wirtschaftlichkeit

5.3.2.1 Einfache mechanische Rückgewinnungsanlagen für harzgebundene Sande

Diese Anlagen, z.B. Wendelbrecher, Raspeltöpfe und Schwingreibbrecher (vgl. Kapitel 5.3.1.1.1) sind seit langem im Einsatz. Die Fixkosten liegen je nach Regeneratmenge und Investitionssumme zwischen 2 und 65 DM/t (**Bild 5.14**). Die variablen Kosten können in erster Näherung mit ca. 18 DM/t angegeben werden. Sie umfassen Personalkosten, Betriebs- und Wartungskosten. Die Gesamtkosten (Fixkosten und variable Kosten) belaufen sich damit je nach Größe und Ausstattung auf 20 bis 83 DM/t Regenerat. Die variablen Kosten können nicht genau angegeben werden. Diese Angabe ist nur für eine detailliert geplante Regenerierungsanlage möglich. Bei sehr geringem Durchsatz und nur zeitweiligem Betrieb der Anlage können die variablen Kosten doppelt so hoch sein wie der angegebene Wert von 18 DM.

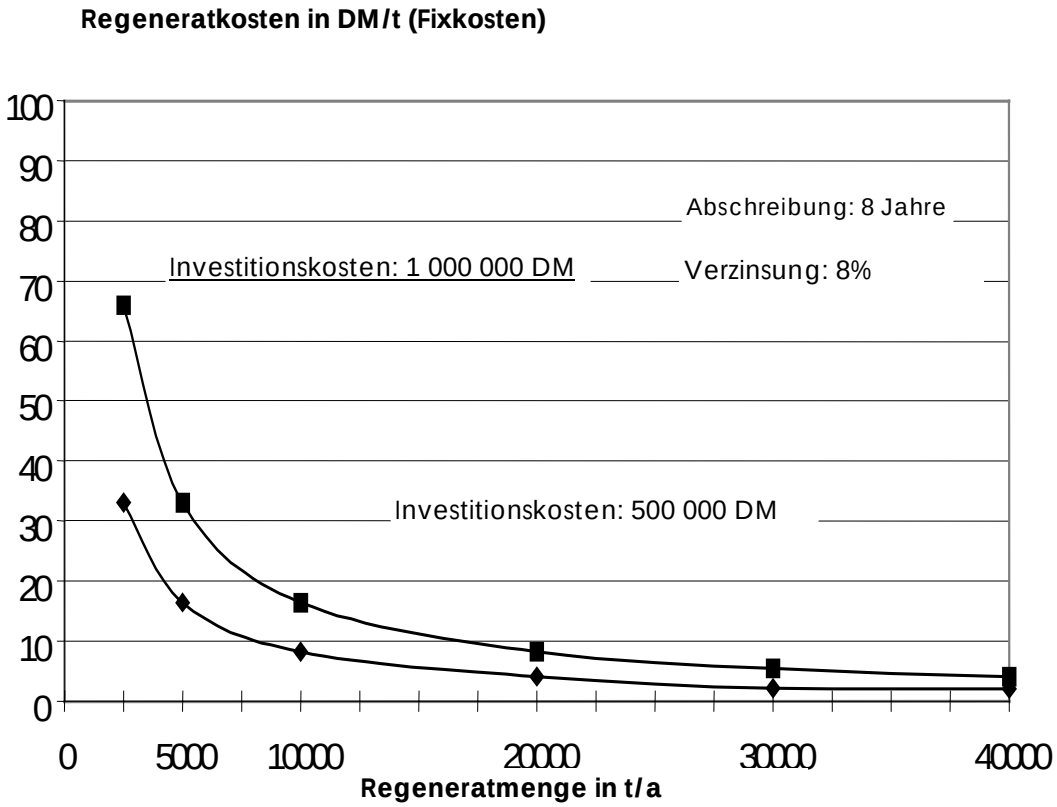


Bild 5.14: Fixe Kosten pro Tonne Regenerat bei einfachen mechanischen Rückgewinnungsanlagen für kaltharzgebundene Formstoffe

Die Kapitalkosten setzen sich aus der erforderlichen Investitionssumme, der Abschreibung (Abschreibungszeitraum 8 Jahre) und den Zinsen (Zinssatz 8%) zusammen.

5.3.2.2 Thermische Regenerierungsanlagen und hochwertige mechanische Anlagen zur Regenerierung von Mischrestsanden

Je nach Größe und Ausstattung belaufen sich die Investitionskosten auf 1 bis 12 Mio. DM (**Bild 5.15**). Für die thermische Regenerierung werden vor allem Wirbelschichtöfen eingesetzt (vgl. Kapitel 5.3.1.1.2), denen in der Regel eine mechanische Stufe vor- und nachgeschaltet ist. Bei den hochwertigen mechanischen Regenerierungsanlagen handelt es sich z.B. um die mechanische Schleif-Sandregenerierung (vgl. Kapitel 5.3.1.1.1). Die kleinsten Anlagen haben eine Leistung von 0,75 t/h oder 1 500 t/a Regenerat. Eine mittlere Gießerei liegt bei 2 500 bis 5 000 t/a Regenerat.

Bei einer Abschreibungsdauer von 8 Jahren und 8% kalkulatorischen Zinsen ergeben sich für die kleinste Anlage (Investitionssumme 1 Mio. DM) allein Kapitalkosten von 165 000 DM/a oder 110 DM/t Regenerat.

Da zusätzliche Kosten für Personal und Energie sowie die Entsorgung der abgetrennten Stäube anfallen, ergeben sich wirtschaftliche Grenzen für die Regenerierung kleiner Mengen (bei ca. 1 000 t/a).

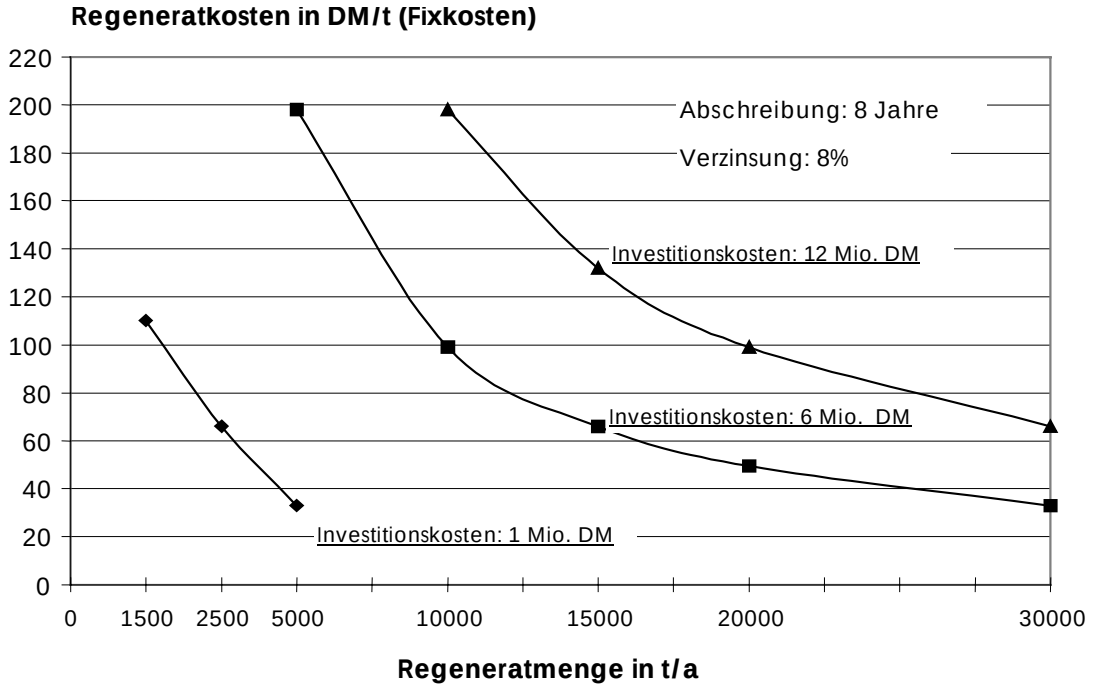


Bild 5.15: Fixe Kosten pro Tonne Regenerat bei thermischen Regenerierungsanlagen und hochwertigen mechanischen Anlagen zur Regenerierung von Mischrestsanden

Zentrale Anlagen mit günstigerer Kostenstruktur durch größere Durchsatzmengen sind für begrenzte Mengen gleichartiger Restsande nutzbar.

5.3.3 Ökologische Bewertung

Durch Regenerieren wird Gießereirestsand entweder innerhalb der Gießerei oder außerhalb so aufbereitet, daß er anstelle von Neusand verwendet werden kann. Es handelt sich um eine Verwertungsmaßnahme, durch die der Einsatz von Neusand vermindert wird.

5.3.3.1 Schadlosigkeit

Soweit in Anlagen regeneriert wird, die zusammen mit der Gießerei oder für sich allein nach dem Bundesimmissionsschutzgesetz genehmigt sind, ist von der Schadlosigkeit der Maßnahme auszugehen.

- **Luft**

Die mechanische Regenerierung führt zu zusätzlichen, durch Entstaubungsanlagen begrenzten Partikelemissionen. Bei der thermischen Regenerierung sind zusätzlich Emissionen aus dem Brennstoff z.B. NO_x und SO_2 zu beachten.

- **Wasser**

Wasser wird nicht belastet

- **Abfall**

Die Abfallmenge wird entsprechend dem zurückgewonnenen Material verringert. Es verbleibt jedoch ein staubförmiger Abfall, der einen hohen Anteil an Feinstoffen und einen Kohlenstoffanteil > 10% (bei mechanicher Regenerierung) aufweist.

- **Energie**

Bei der mechanischen Regenerierung ist nur ein geringer zusätzlicher Energiebedarf, bei der thermischen Regenerierung dagegen ein deutlicher Mehrbedarf an Brennstoff erforderlich.

5.3.3.2 Zusätzliche ökologische Kriterien

- **Anreicherungen von Schadstoffen**

Im Regenerat findet keine Anreicherung von Schadstoffen statt. Die Schadstoffe der Restbinderhüllen werden bei thermischer Regenerierung zerstört, bei mechanischer Regenerierung findet eine Anreicherung statt. Diese Schadstoffe werden jedoch bei anschließender thermischer Verwertung im Zementwerk oder in der Ziegelei zerstört.

- **Verdünnung von Schadstoffen**

Es erfolgt keine Verdünnung in andere Medien.

- **Vermischung unterschiedlicher Abfälle**

Es erfolgt keine Vermischung.

- **Prinzip der hochwertigen Verwertung**

Durch das Regenerieren fließt der Restsand in den originären Prozeß zurück. Damit ist eine hochwertige Verwertung gegeben.

- **Prinzip der Transportminimierung**

Beim innerbetrieblichen Regenerieren fällt externer Transport außer für die deutlich geringere Staubmenge weg. Gegen das Prinzip wird verstoßen, wenn die Regenerierung in einer mehrere 100 km entfernten Anlage vorgenommen wird, wobei bei Hin- und Rücktransport Energie verbraucht wird. Dies kann nur als Übergangslösung hingenommen werden.
Des weiteren werden die Transporte zur Neusandbeschaffung durch verstärkten Regenerateinsatz verringert.
Die Verwertung im eigenen Betrieb bringt neben der Minimierung des Entsorgungstransportes auch die wesentlich bedeutsamere Minimierung des Neusandtransportes von ca. 500 km Entfernung mit sich.

5.4 Verwertung zur Silikatkorrektur im Zementklinker

5.4.1 Angaben zur Technik

Bei der Zementherstellung werden je nach Rohstoffbasis zur Einstellung der gewünschten Zusammensetzung Natursande verwendet, die durch Gießereirestsande ersetzt werden können. Bei Zementwerken mit Zyklonvorwärmung kann Gießereirestsand direkt in die heiße Zone des Drehrohrs (rund 800°C) oder der Vorkalzinierung zugegeben werden (**Zugabe in die heiße Zone**).

Im Lepolofen werden die Einsatzstoffe gemeinsam vermahlen (**konventionelle Zugabe**) und dann als Granulat in Rostwärmern auf rund 800°C erhitzt. Eine getrennte Zugabe ist hier nicht möglich. Bei diesem Ofentyp besteht kein enger Kontakt zwischen Heizmedium und Produkt wie im Zyklonvorwärmer. Es werden Gießereirestsande mit wenig flüchtigen Bestandteilen verarbeitet.

5.4.1.1 Entwicklungsstand

Eine Umfrage bei sechs Zementwerken in Baden-Württemberg ergab einen Sandbedarf von rund 332 000 t/a; dies entspricht der Menge an Gießereirestsand, die in Baden-Württemberg anfällt. Die Zementwerke sind gewillt, Gießereisand einzusetzen und damit Grubensand zu ersetzen. Immissionsschutzrechtliche Genehmigungen liegen allerdings nur zum kleinen Teil vor; Anträge sind in Bearbeitung oder gestellt.

In Betriebsversuchen in bayrischen Zementwerken wurde festgestellt, daß Gießereirestsand auch ohne Feinmahlung in das Drehrohr gegeben werden kann; auch hierbei wird der feine Sand ausreichend aufgeschlossen und im Zementklinker eingebunden. Für das Abbrennen von Kohlenstoff und Organika hat dies eher Vorteile, da die gröberen Partikel tiefer in die heiße Zone des Drehrohrs transportiert werden, was für die Oxidation nur förderlich sein wird. Die separate Feinmahlung ist aus Umweltschutzgründen auf keinen Fall erforderlich.

5.4.1.2 Einsatzbereiche

Da Kohlenstaub und die in geringer Menge vorliegenden Organika durch die Prozeßführung vollständig verbrennen, sind Begrenzungen dieser Stoffe im Restsand oder Staub wenn überhaupt nur zur Vermeidung von Auswaschungen beim offenen Lagern sinnvoll. Ansonsten

können sich die Rohstoff-Spezifikationen auf die prozeß- und produktbedingten technischen Erfordernisse beschränken, die den anorganischen Anteil des Restsandes betreffen und vom Verarbeiter festzulegen sind.

Zementwerke legen Bereiche für Siliciumdioxid sowie Eisen und Aluminiumoxid als wesentliche Bestandteile des Zementes sowie Grenzen für Chrom oder flüchtige Alkalien und Schwermetalle fest. Zur Vermeidung von Umwelteinwirkungen bei der offenen Lagerung könnten die Zuordnungswerte für Einsatz von Gießereisanden im Erd- und Straßenbau [LAGA 1994, vgl. Kapitel 5.6.1.1] herangezogen werden.

In Eignungsanalysen wird vorab die Prozeßfähigkeit festgestellt. Zur Eingangskontrolle genügen sensorische Prüfungen bei Anlieferung verbunden mit Analysen nach Bedarf des Zementwerkes. Der Anlieferer sagt eine Lieferung nach Deklarationsanalyse zu und meldet Veränderungen des Gießprozesses, welche sich auf die Zusammensetzung auswirken. Eine Rückstellprobe kann bis zur Verarbeitung aufbewahrt werden, um Auffälligkeiten zuordnen zu können. Eine jährliche Überprüfung der Restsandanalysen reicht unter diesen Bedingungen in der Regel zur Sicherstellung der schadlosen Verwertung aus.

Die Anlieferung wird von einigen Zementwerken angefeuchtet offen und von anderen im Silowagen oder mit “Big-Bags“ vorgeschlagen. Es sind keine besonderen logistischen Probleme zu erwarten. Staub ist von einigen Werken sogar erwünscht, allerdings getrennt angeliefert. Schwefelanteile im Staub stören in der Regel weder den Prozeß noch entstehen zusätzliche Emissionen, da der kalkhaltige Rohstoff Schwefel als Sulfat bindet. Daher liegt im Zementwerk die technisch ideale Verwertungsart für alle Arten von Regenerierstäuben vor, bei der auch der Energieinhalt des Kohlenstoffanteils genutzt werden kann.

Es ergeben sich somit folgende Varianten einer schadlosen Verwertung:

- Stäube und Restsande ohne Begrenzung von Kohlenstoff und flüchtigen organischen Bestandteilen bei **Zugabe in die heiße Zone**
- thermisch belastete oder kohlenstoffarme Gießereirestsande mit wenig flüchtigen Bestandteilen bei **konventioneller Zugabe** gemeinsam vermahlen mit den übrigen Rohstoffen

Die einzelnen Sandarten sind getrennt der Eignungsprüfung zu unterziehen, soweit dies aus Umweltschutzgründen erforderlich ist.

5.4.2 Angaben zur Wirtschaftlichkeit

Die Verwertung kostet ca. 20 bis 80 DM/t (incl. Transportkosten), da im Zementwerk nur Anpassungsinvestitionen z.B. für zusätzliche Lager- und Verladeeinrichtungen zu tätigen sind und nicht für eine völlig neue Verfahrenstechnik. Bei diesem Preis handelt es sich um einen Marktpreis, der je nach Angebot und Nachfrage schwanken und unabhängig von den Anpassungsinvestitionen sein kann.

5.4.3 Ökologische Bewertung

Es liegen immissionsschutzrechtliche Genehmigungen zum Einsatz von Gießereirestsanden und auch von Stäuben vor. Der Länderausschuß für Immissionsschutz sieht den Einsatz von Restsanden und Kernsanden als grundsätzlich schadlos an, wenn der Gießereirestsand nach einer separaten Feinmahlung direkt am Einlauf des Drehrohrofens in den Zementklinkerprozeß zugegeben wird [LAI 1993]. Nach neueren Untersuchungen im Zementwerk Schwenk in Karlstadt ist die „separate Feinmahlung“ nicht erforderlich, da eine homogene Verteilung auf andere Art z.B. durch ausreichend lange Verweilzeit im Drehrohr erreicht wird. Auf die Emissionen oder das Umweltverhalten hat dies keinen Einfluß, entscheidend hierfür ist das Verweilen in der heißen Zone.

5.4.3.1 Schadlosigkeit

Bei der Nutzung von Gießereirestsanden und Stäuben als Ersatzrohstoff (Silikatträger) ergeben sich unterschiedliche Umweltauswirkungen je nach Zugabeort. Betrachtet werden die Varianten: **konventionelle Zugabe** und **Zugabe in die heiße Zone**.

- **Luft**

In Eisen-, Stahl- und Tempergießereien werden den bentonitgebundenen Formstoffen zur Vermeidung von Gußfehlern und zur Erzielung glatter Gußoberflächen glanzkohlenstoffbildende Zusatzstoffe - in der Regel Kohlenstaub - beigemischt. In der Kernfertigung wird überwiegend mit kunstharzgebundenen Formstoffen gearbeitet.

Aus Kohlenstaub und Harzresten können bei **konventioneller Zugabe** flüchtige organische Stoffe und Pyrolyseprodukte freigesetzt werden. Zu beachten sind aromatische Kohlenwasserstoffe (BTX) sowie polycyclische Aromaten (PAK) aus Kohlenstaub. Die in Gießereien verwendeten Harze setzen keine oder deutlich weniger polycyclische Aromaten als kohlen-

staubhaltige Formstoffe frei. Gießereirestsande aus überwachter Fertigung mit heute üblichen emissionsarmen Einsatzstoffen und einem Kohlenstoffanteil < 3%, die den Gießprozeß durchlaufen haben, setzen allerdings nicht mehr solcher Schadstoffe frei als sonst verwendete Natursande.

Bei **Zugabe in die heiße Zone** verbrennen auch flüchtige Kohlenstoffverbindungen wie z.B. PAK und BTX, so daß auch kohlenstoffreiche Materialien, z.B. Stäube, aus dem Formstoffkreislauf und der Regenerierung keine zusätzlichen Emissionen ergeben. Verwehungen beim Umschlag und Lagern werden durch Befeuchten der Stäube oder Anlieferung in geschlossenen Behältern z.B. Big Bags vermieden.

Unabhängig von der Zugabeart ergeben sich durch die Ersatzrohstoffe keine höheren Schwermetallemissionen, soweit praxisübliche Gießereirestsande und Stäube mit einem Schwermetallpegel unterhalb dem Zuordnungswert Z 2 für eine Verwertung im Straßenbau [LAGA 1994, vgl. Kapitel 5.6.1.1] eingesetzt werden. Der Schwermetallpegel liegt dann im Bereich der natürlichen Tone.

- **Wasser**

Eine Wasserbelastung durch organische Stoffe kann erfolgen, wenn bei Lagerung von Stäuben eluierbare Schadstoffe ausgewaschen werden. Durch ein geschlossenes Transport- und Lagersystem oder Regenschutz bei offener Lagerung kann dies verhindert werden. Bei Gießereirestsanden können auch bei Lagerung im Freien keine Schadstoffe in erheblichem Umfang ausgewaschen werden, da Restsande im Bereich der Zuordnungswerte Z 2 [LAGA 1994] liegen (vgl. Kapitel 4.2.2.6).

- **Abfall**

Durch die Nutzung im Zementwerk wird Abfall vermieden; Ressourcen werden geschont.

- **Energie**

Da die Gießereirestsande und Stäube Natursand ersetzen und der Herstellungsprozeß im Zementwerk nicht grundlegend geändert wird, ergibt sich kein zusätzlicher Energiebedarf. Bei **Zugabe in die heiße Zone** wird die erforderliche Energie zum Aufwärmen des kalten Abfalls auf 800°C durch die Verbrennungswärme des enthaltenen Kohlenstoffs aufgebracht. Wenn aus Vorsorge kohlenstoffarmer Sand in die heiße Zone zugegeben wird, muß zusätzliche Energie aufgebracht werden. Dies ist nicht der Fall, wenn solche Sande **konventionell zugegeben** und gemeinsam mit den übrigen Einsatzstoffen vermahlen werden.

5.4.3.1 Zusätzliche ökologische Kriterien

- **Anreicherung von Schadstoffen**

Es erfolgt keine Anreicherung von Schadstoffen wie z.B. Schwermetallen, da der Schwermetallpegel des Ersatzrohstoffes im Bereich des Rohstoffes Natursand bzw. Ton liegt.

- **Verdünnung von Schadstoffen**

Es würde nur dann eine Verdünnung erfolgen, wenn schwermetallhaltige Gießereirestsande und Stäube, z.B. Putzereistäube aus Bronzegießereien, verarbeitet würden. Bei Materialien aus Eisen- und Aluminiumgießereien liegt keine Verdünnung vor.

- **Vermischung unterschiedlicher Abfälle**

Es erfolgt keine Vermischung unterschiedlicher Abfälle.

- **Prinzip der hochwertigen Verwertung**

Die stoffliche Nutzung von Gießereirestsanden im Zementwerk ist geringwertiger als die Nutzung zur Formherstellung in der Gießerei. Für nicht mehr in der Gießerei brauchbare Restsande und Stäube liegt eine hochwertige Verwertung vor.

- **Prinzip der Transportminimierung**

Zementwerke sind in Baden-Württemberg üblicherweise in Entfernungen von rd. 100 km zu erreichen.

5.5 Stoffliche Verwertung als Magerungsmittel für Ziegel

5.5.1 Angaben zur Technik

Für die Fertigung von Hintermauerziegeln sind Gießereirestsande als Magerungsmittel bei zu fetten Tonen erprobt. Für eine Ziegelei in Baden-Württemberg liegt eine immissionsschutzrechtliche Genehmigung vor. Erwünscht ist neben Silikat und Tonresten auch Kohlenstaub, der andere porenbildende Stoffe wie Papierschnitzel ersetzen kann. Die Besonderheit bei dem Einsatz von Restsanden und Stäuben ist die gleichzeitige stoffliche Nutzung als Magerungsmittel und Porenbildner. Zusätzliche Emissionen werden entweder durch bestimmte Abgasführung oder durch Nachschalten eines Thermoreaktors in Form eines regenerativen Wärmetauschers vermieden, der eine vollständige Verbrennung organischer Stoffe sicherstellt.

5.5.1.1 Entwicklungsstand

Soweit die Ziegelei mit einem Thermoreaktor oder einer Abgasrückführung ausgerüstet ist, müssen Kohlenstaub bzw. vergleichbar schwer flüchtige Organika im zu verwertenden Gießereirestsand oder Staub aus Immissionsschutzgründen nicht begrenzt werden. Die Anforderungen an den Einsatzstoff können sich nach den Verfahrensbedingungen der Ziegelei und den Anforderungen an das Produkt richten. Nur bei offener Lagerung wären Begrenzungen aus Umweltgründen erforderlich, wie im vorherigen Abschnitt erläutert.

5.5.1.2 Einsatzbereiche

Der Bedarf an Magerungsmittel und Porenbildner für Hintermauerziegel dürfte in Baden-Württemberg unter 100 000 t/a liegen, die jedoch nur nach Umrüstungen im Laufe mehrerer Jahre erschlossen werden können. Zunächst ist nur eine Ziegelei rechtlich und organisatorisch in der Lage, rund 10 000 t/a Altsand, hauptsächlich Stäube, aufzunehmen. Die technischen Voraussetzungen sind jedoch auch in weiteren Ziegeleien gegeben. Eignungsversuche und Genehmigungsanträge werden von mehreren Betreibern angestrebt.

Angeliefert wird als Schüttgut, das bei Bedarf befeuchtet wird oder in geschlossenen Behältern. Bei Staub sind auch transportable Silos im Gespräch, die in den jeweiligen Gießereien mit Staub befüllt werden und voll zur Ziegelei transportiert und dort direkt in den Mischer entleert werden. Damit fallen stauberzeugende Umfüllvorgänge und Lagerrisiken weg. Für

Restsande, Stäube und Schlämme ist die Verwertung in geeigneten Ziegeleien als schadlos und auch ökologisch sinnvoll anzusehen, da Grubensande und Porenbildner dadurch eingespart werden.

5.5.2 Angaben zur Wirtschaftlichkeit

Wegen der mittelständischen Struktur und größeren Anzahl der Ziegeleien ist die Verwertung besonders für kleinere Gießereien und für Stäube und Schlämme interessant. In Ziegelwerken sind nur geringe Anpassungen erforderlich, da der Prozeß insgesamt nicht verändert wird. Die Kosten für die Anpassungsmaßnahmen im Ziegelwerk hängen vom Einzelfall ab. Ein davon unabhängiger Marktpreis konnte sich noch nicht bilden. Dieser kann sich auf keinen Fall an den Deponiekosten orientieren, da ein Ersatzrohstoff verwertet wird, der Natursande ersetzt.

5.5.3 Ökologische Bewertung

Soweit die Verwertung in genehmigten Anlagen erfolgt, ist sie als schadlos anzusehen. Das Produkt wird durch den Ersatzrohstoff nicht verändert, da dem Natursand oder Ton gleichwertiges Material eingesetzt wird und Kohlenstoffbestandteile statt anderer Porenbildner verbrennen. Dadurch werden sowohl Silikat und Ton als auch Kohlenstaub- oder Harzreste stofflich genutzt. Regenerierstäube mit hohem Anteil an Kohlenstoffverbindungen können so in vorteilhafter Weise verwertet werden; dies ist günstig für die interne mechanische Regenerierung (vgl. Kapitel 5.3.1.1).

5.5.3.1 Schadlosigkeit

Bei der Beurteilung der Umweltauswirkungen sind Ziegeleien mit konventioneller Verfahrenstechnik ohne Abgasreinigung von modernen Anlagen mit nachgeschalteter thermischer Verbrennung (Thermoreaktor) zu unterscheiden. Bei letzteren ist eine vollständige Verbrennung eingebrachter Kohlenstoffverbindungen zu erwarten. Poröse Ziegel werden mit organischen Porenbildnern nach diesem Stand der Technik hergestellt.

- **Luft**

Bei Betrieben ohne thermische Nachverbrennung ist nur dann mit einer tolerablen Freisetzung von organischen Stoffen zu rechnen, wenn Gießereirestsande aus kontrollierter Fertigung mit emissionsarmen Einsatzstoffen verwendet werden. Kohlenstoffreiche Stäube hingegen

können im Aufheizbereich z.B. aromatische Kohlenwasserstoffe (BTX) und polycyclische Kohlenwasserstoffe (PAK) freisetzen.

Ist jedoch eine thermische Nachverbrennung dem Brennprozeß nachgeschaltet, so entstehen keine zusätzlichen organischen Emissionen unabhängig von der Art des Ersatzrohstoffes. Schwermetallemissionen können nur dann auftreten, wenn entsprechend belastendes Material z.B. Schleifstäube aus Blei- und Rotgußgießereien eingesetzt würden, nicht jedoch bei Abfällen aus Eisen- und Aluminiumgießereien.

- **Wasser**

Eine Wasserbelastung durch Auswaschen von Schadstoffen kann grundsätzlich nur bei der Bereitstellung von staubhaltigem Material und vor dem Brennprozeß erfolgen. Gießereirestsande entsprechend den Zuordnungswerten Z 2 für eine Verwertung im Erd- und Straßenbau [LAGA 94] ergeben keine schädlichen Auswaschungen. Bei Stäuben und Schlämmen aus dem Formstoffkreislauf und der Sandregenerierung mit hohem Kohlenstoffanteil sind durch Transport und Lagerung in geschlossenen Behältern oder durch Regenschutz schädliche Auswaschungen zu vermeiden. Keine Belastung erfolgt durch das gebrannte Produkt.

- **Abfall**

Es werden Abfälle vermieden und durch den Ersatzrohstoff Ressourcen geschont.

- **Energie**

Für den Fertigungsprozeß verändert sich der Energiebedarf nicht. Die Verwertung als Ersatzrohstoff benötigt deshalb keine zusätzliche Energie.

5.5.3.2 Sonstige ökologische Kriterien

- **Anreicherung von Schadstoffen**

Eine Anreicherung von Schwermetallen im Produkt kann nur beim Einsatz von Gießereirestsanden und Stäuben aus bestimmter Fertigung z.B. bei Blei- und Rotguß mit hohem Schwermetallanteil erfolgen, nicht jedoch bei Abfällen aus Eisen- und Aluminiumgießereien.

- **Verdünnung von Schadstoffen**

Dies wäre dann der Fall, wenn schwermetallhaltige Materialien z.B. Putzereistäube aus Blei- und Rotgußgießereien verwendet würden.

- **Vermischung unterschiedlicher Abfälle**

Es erfolgt keine unzulässige Vermischung.

- **Prinzip der hochwertigen Verwertung**

Die Verwertung von Gießereirestsanden und Stäuben zur Ziegelherstellung ist geringwertiger als die Nutzung in der Gießerei selbst. Dies gilt allerdings nicht für Sande und Stäube, die unbrauchbar für den Fertigungsprozeß in der Gießerei sind.

- **Prinzip der Transportminimierung**

Ziegeleien liegen in Baden-Württemberg meistens nicht mehr als 100 km von den Gießereien entfernt, so daß deutliche Vorteile gegenüber anderen stofflichen Verwertungsmaßnahmen in zentralen Anlagen gegeben sind.

5.6 Verwertung als Schüttmaterial im Erd-, Straßen- und Deponiebau sowie zur Schachtverfüllung

5.6.1 Angaben zur Technik

Gießereirestsande bestehen aus einem feinkörnigen Quarzsand, der ein tragfähiges Gerüst für Verfüllmaßnahmen ergibt. Ein Einsatz im Erd- und Straßenbau hat eine lange Tradition z.B. als Deponiebaustoff, Unterbau für Straßen und Parkplätze in Asphaltmischungen und Lärmschutzwällen sowie zum Verfüllen von Schächten und Stollen. Im Erd- und Straßenbau erfolgt eine „eingeschränkte Nutzung“ außerhalb von Wasserschutzgebieten und unter dichter Abdeckung. Gießereirestsande werden auch für Rekultivierungsmaßnahmen eingesetzt.

5.6.1.1 Entwicklungsstand und Einsatzbereiche

Zu Sicherstellung einer schadlosen Verwertung von Gießereirestsanden als Schüttmaterial wurden vorläufige technische Lieferbedingungen und Richtlinien für die Güteüberwachung im Erd- und Straßenbau erarbeitet [DGV 1993], die in NRW angewendet werden. Weiterhin hat die Länderarbeitsgemeinschaft Abfall [LAGA 1994] Technische Regeln für die Verwertung im Erd- und Straßenbau aufgestellt, die bundesweit gelten. Diese enthalten die folgenden Zuordnungswerte Z 2 (**Tabelle 5.11**), bei deren Einhaltung eine eingeschränkte Nutzung möglich ist.

Anhand der **Zuordnungswerte Z 2** werden geeignete Restsande definiert und der Einsatzbereich für eine schadlose Verwertung im Erd- und Straßenbau festgelegt. Damit öffnet sich auch in Baden-Württemberg dieser Verwertungsweg, allerdings nur für begrenzte Mengen sehr sauberer Restsande. Die Verwertung in anderen Bereichen, z.B. in Asphaltmischungen und zur Schachtverfüllung, ist auch bei weniger reinen Sanden nach Einzelfallprüfung möglich.

Parameter	Dimension	Zuordnungswert Z 2
Feststoff		
EOX	mg/kg	3
Mineralölkohlenwasserstoffe (H 18)	mg/kg	150
PAK (Summe nach EPA)	mg/kg	20
Cadmium [1]	mg/kg	5
Chrom (ges.) [1]	mg/kg	600
Kupfer [1]	mg/kg	300
Nickel [1]	mg/kg	300
Zink [1]	mg/kg	500
Blei [1]	mg/kg	100
Eluat		
pH-Wert		5,5 - 12
Leitfähigkeit	µS/cm	1000
Fluorid	µg/l	1000
DOC	µg/l	20000
Ammonium-Stickstoff	µg/l	1000
Phenolindex	µg/l	100
Arsen	µg/l	60
Blei	µg/l	200
Cadmium	µg/l	10
Chrom (ges.)	µg/l	150
Kupfer	µg/l	300
Nickel	µg/l	150
Zink	µg/l	600

1 Die Werte sind gemäß Untersuchungskonzept (II.3.2.2) zu erheben und zu dokumentieren. Sie stellen allein kein Aussagekriterium dar (dies gilt für erhöhte Chromgehalte bei Chromitsanden). Bei Überschreitung ist die Ursache zu prüfen.

Tabelle 5.11: Technische Regeln für die Verwertung von Gießereirestsanden nach der LAGA vom 08.09.1994 (Zuordnungswerte Feststoff und Eluat für Gießereisande)

5.6.1.2 VVV-Potential

Da eine Verwertung nur für bestimmte Baumaßnahmen unter eingeschränkten Bedingungen zugelassen wird, kann über die verwertbaren Mengen keine Aussage gemacht werden. Z.Z. ergibt diese Art der Verwertung neben der Vermeidung durch Kreislaufführung das größte Minderungspotential für Gießereirestsande.

5.6.2 Angaben zur Wirtschaftlichkeit

Die Kosten für eine ordnungsgemäße Verwertung im Erd- und Straßenbau liegen mit 20 bis 40 DM/t (ohne Transportkosten) deutlich niedriger als bei einer hochwertigen Regenerierung.

5.6.3 Ökologische Bewertung

Betrachtet wird die Nutzung (vgl. Kapitel 5.6.1) als Schüttmaterial im Erd- und Straßenbau außerhalb von Wasserschutzgebieten und unter einer dichten Abdeckung nach den Technischen Regeln für die Verwertung mineralischer Abfälle in Asphaltmischungen [LAGA 1994] und als Deponiebaustoff bzw. zur Schachtverfüllung. Eine schadlose Verwertung wird einerseits durch Grenzwerte für die Schadstoffbelastung (Zuordnungswerte) andererseits durch technische Maßnahmen beim Einbau z.B. durch wasserundurchlässige Schichten gewährleistet. Bei der Betrachtung der Umweltauswirkungen wird von Gießereireststoffen (Gießereirestsande und Kernsande) ausgegangen, die dem Zuordnungswert Z 2 für eine Verwertung im Erd- und Straßenbau [LAGA 1994] (vgl. Kapitel 5.6.1.1) entsprechen. Auswirkungen abweichender Stoffeigenschaften werden gesondert betrachtet.

5.6.3.1 Schadlosigkeit

- **Luft**

Da grundsätzlich befeuchtetes Material für Baumaßnahmen verwendet wird, ist eine Luftbelastung auszuschließen. Im körnigen Haufwerk oxidieren in geringem Umfang vorhandene Schadstoffe z.B. Kohlenstoffverbindungen und können deshalb auch langfristig zu keiner Luftbelastung führen.

- **Wasser**

Durch technische Maßnahmen wie Einbau oberhalb des Grundwasserspiegels und unter dichten Deckschichten wird ein Auswaschen organischer und anorganischer Schadstoffe vermieden. Im übrigen werden diese bereits beim Lagern des feuchten Sandes oxidiert bzw. immobilisiert. Diese Vorgänge werden beim Einbau in dünneren Schichten z.B. zur Rekultivierung besonders rasch ablaufen, so daß hierbei auch Sande mit organischen Anteilen (DOC bis 50 mg/l im Eluat) über den Zuordnungswerten Z 2 verwertet werden können. Dies gilt auch bei einer Verwertung als Deponiebaustoff und für Asphaltmischungen. Hierbei und bei der Verwertung zur Schachtverfüllung ist eine Einzelfallprüfung erforderlich. Durch die

eingeschränkte Anwendung ist ein Verschleppen von Schadstoffen über das Grundwasser ausgeschlossen.

Da Gießereirestsande aus Eisen- und Aluminiumgießereien einen niedrigen Schwermetallpegel aufweisen, ist auch keine langfristige Wasserbeeinträchtigung durch mobilisierbare Schwermetalle zu erwarten. Dies ist nur bei Gießereirestsanden bestimmter Fertigung z.B. Blei- und Rotguß mit erhöhtem Schwermetallpegel im Eluat nicht auszuschließen.

- **Abfall**

Abfall fällt nicht an.

- **Energie**

Energie wird nur für Transport und Einbau benötigt.

5.6.3.2 Zusätzliche ökologische Kriterien

- **Anreicherung von Schadstoffen**

Eine Anreicherung von Schadstoffen im Erdreich kann nur beim Einsatz von Gießereirestsanden und Stäuben aus z.B. Blei- und Rotguß mit hohem Schwermetallanteil erfolgen, nicht jedoch bei Abfällen aus Eisen- und Aluminiumgießereien.

- **Verdünnung von Schadstoffen**

Da Gießereirestsande direkt als Schüttgut verwertet werden, erfolgt keine Verdünnung in anderen Medien.

- **Vermischen unterschiedlicher Abfälle**

Eine unzulässige Vermischung erfolgt nicht.

- **Prinzip der hochwertigen Verwertung**

Die Verwertung als Tragkörper im Erd- und Straßenbau unterscheidet sich nicht grundsätzlich von der Nutzung als Gießereiformstoff; in beiden Fällen handelt es sich um Baustoffe allerdings mit deutlich höherer Qualität der Gießform gegenüber dem Straßendamm. Es handelt sich um keine hochwertige Verwertung, da der Abfall nicht in den originären Prozeß zurückfließt. Dies gilt auch für die Nutzung von Feinkorn als Deponiebaustoff oder als Versatzmaterial.

5.7 Verwertung als Versatzmaterial

Der Versatz dient der Verfüllung von Hohlräumen, die durch die Mineralgewinnung im Bergbau geschaffen wurden [LWA 1991, Bieler 1994, LOBA 1994, Striegel 1995]. Durch Versatz sollen der Einsturz der Hohlräume verhindert und Bergschäden an der Oberfläche vermieden werden.

5.7.1 Angaben zur Technik

Versatzmaterialien sollen Hohlräume vollständig verfüllen. Dies kann durch Schüttgüter oder durch verfestigende Materialien z.B. durch Zusatz von Zement erfolgen.

Der Versatz kann pneumatisch als sogenannter Blasversatz oder hydraulisch als Pumpversatz eingebracht werden. Daneben gibt es noch bergwerkspezifische Verfahren wie Schleudern und Stürzen körniger Materialien oder das Verbringen in Big Bags mit Hilfe von Radladern.

5.7.1.1 Entwicklungsstand

Werden Abfälle über- oder untertage in bergbaulichen Hohlräumen als Versatz-, Füll- oder Dichtstoff im Rahmen einer üblichen und begründbaren Versatz - oder Verfüllmaßnahme eingesetzt, so handelt es sich um eine ordnungsgemäße Verwertung und keine Abfallentsorgung. Eine Verwertung liegt z.B. dann vor, wenn Versatz von den Bergbaubehörden vorgeschrieben und das Versatzmaterial geeignet ist.

Bei vollständigem Einschluß z.B. im Salzstock oder in tiefliegenden (> 800 m Tiefe) Kohlebergwerken ist eine Wechselwirkung mit der Biosphäre ausgeschlossen, so daß nur geringe umwelttechnische Anforderungen an den Versatz gestellt werden. Bei nicht vollständigem Einschluß im Bergwerk wird eine immissionsneutrale Verbringung gefordert; dies ist dann gegeben, wenn eine zusätzliche Befrachtung des Grubenwassers mit Schadstoffen nicht oder nur in unbedeutendem Maße möglich ist oder durch die Beschaffenheit des eingebrachten Materials im tolerierbaren Rahmen bleibt.

Für Versatz stehen erhebliche Hohlräume von über 100 Mio. m^3 hauptsächlich im Salzbergbau zur Verfügung. Auch in Baden-Württemberg sind über 10 Mio. m^3 Hohlräume vorhanden, die mit Versatz zu verfüllen sind.

5.7.1.2 Einsatzbereiche

Nach neueren Erhebungen werden in der Bundesrepublik Deutschland jährlich ca. 2 Mio. t Versatzstoffe eingebracht. In Baden-Württemberg haben die Südwestdeutschen Salzbergwerke AG in Heilbronn eine Versatzkapazität von über 100 000 t/a. In Knochendorf werden Filterstäube und andere Reststoffe in Big Bags in Steinsalz eingebettet. Diese Art des Einbringens ist auch für Gießereireststoffe geeignet. Weitere Gruben in Baden-Württemberg mit Versatz sind die Spatwerke Käfersteige bei Pforzheim und Clara in Wolfach sowie das Salzbergwerk Stetten.

Genehmigungen liegen für das Kalibergwerk Bernburg in Sachsen-Anhalt vor, das Versatzmaterial hydraulisch einbringt. Hierzu wird das Material in Salzlauge aufgeschlämmt und über Fallrohre eingeleitet.

5.7.2 Angaben zur Wirtschaftlichkeit

Die Kosten für Versatz im Salzbergwerk belaufen sich auf rd. 40 DM/t bei Schüttgutanlieferung (ohne Transportkosten) und auf bis zu 400 DM/t (incl. Transportkosten) bei Anlieferung in Big Bags. Das Salzbergwerk Kochendorf baut eine Schüttgut-Annahmestation für LKW und Eisenbahnwagen, in der neben Schlacken und Böden auch Gießereisande angenommen werden sollen. Die Genehmigung für den Einsatz dieser Stoffe soll bis Mitte 1996 vorliegen. Damit wird Versatz auch für Gießereireststoffe wirtschaftlich.

5.7.3 Ökologische Bewertung

Bei vollständigem Einschluß im Salzbergwerk ist eine Beeinträchigung von Luft und Wasser ausgeschlossen. Es wird kein Abfall erzeugt; der Energiebedarf ist gering.

Das Verfahren entspricht nicht dem Prinzip der höchsten Verwertungsstufe, da der Abfall nicht in den originären Prozeß zurückfließt.

Die Nutzung als Versatzmaterial sollte deshalb Sanden und Stäuben vorbehalten werden, die anderweitig nicht verwertet werden können, z.B. für schwermetallbehaftete Putzereisande.

5.8 Metallurgische Verwertung von Metallresten

5.8.1 Angaben zur Technik

In Gießereien fallen metallhaltige Reststoffe in kompakter Form z.B. Gießläufe und Eingußtrichter oder fein zerteilt beim Strahlen, Schleifen und Bearbeiten der Gußstücke an.

Kompakte oder durch Pressen kompaktierte Metalle können direkt in den Gießereien oder extern in Umschmelzwerken eingeschmolzen und wiederverwendet werden. Eisen- und Metallpartikel mit feinem Span hingegen, die z.T. oxidiert und mit Formsand oder Schleifscheibenabrieb vermischt sind, können nicht direkt eingeschmolzen werden, sondern bedürfen einer metallurgischen Behandlung in Sekundärhütten. Hierbei werden Oxide reduziert oder verschlackt und Störstoffe für den Gußwerkstoff z.B. Wasserstoff bei Aluminium entfernt. Das Metall wird als Block zurückgewonnen. Eine solche Behandlung ist in der Gießerei nicht möglich und auch nicht zulässig.

5.8.1.1 Entwicklungsstand

Die Eisenrückgewinnung im Hochofen der DK-Recycling in Duisburg ist für eisenreiche Stäube seit langem üblich. Aluminiumhaltiges Material wird in Umschmelzwerken und Sekundäraluminiumhütten aufgearbeitet. Auch für Kupferwerkstoffe sowie Zink und Blei sind Rückgewinnungsanlagen seit langem in Betrieb. Blei- und zinkhaltige Stäube werden soweit erforderlich nach dem Wälzverfahren im Drehrohr aufkonzentriert.

5.8.1.2 Einsatzbereiche

Geeignet für eine Verhüttung im Hochofen sind Putzereisandrückstände (Kap. 4.2.4) und zwar Schleifstäube mit hohem Metallanteil (mit > 50%) und eisenhaltiger Staub (mit Fe > 30%) (Kap. 4.2.7). Aluminiumabfälle (Kap. 4.2.9) können in Aluminiumhütten verwertet werden und andere NE-metallhaltige Stäube (Kap. 4.2.10) je nach Werkstoff in den entsprechenden Metallhütten. Für bestimmte Begleitelemente z.B. Chrom legen die Hütten Höchstgrenzen fest, wenn diese den Verarbeitungsprozeß beeinträchtigen können.
Bei eisenhaltigen Stäuben liegt die untere Grenze für eine ökologische Verhüttung bei 30 bis 50% Eisenanteil.

5.8.2 Angaben zur Wirtschaftlichkeit

Die Verhüttung im Hochofen zur Eisengewinnung kostet je nach Metallanteil zwischen 50 und 300 DM/t (ohne Transportkosten). Aluminium und Kupferlegierungen werden meistens ohne Zuzahlungen verwertet.

5.8.3 Ökologische Bewertung

Begleitstoffe wie Sand und Schleifscheibenabrieb gelangen bei der Verhüttung in die Schlacke; soweit das Metall oxidiert ist, werden Reduktionsmittel z.B. Koks benötigt.

5.8.3.1 Schadlosigkeit

Da die Verhüttung in genehmigten und entsprechend ausgestatteten Anlagen erfolgt, ist von einer schadlosen Verwertung auszugehen.

- **Luft**

Bei der Verhüttung verbrennen Kohlenstoff oder organische Bestandteile. Die Verwertungsanlagen sind so ausgerüstet, daß hierbei keine schädlichen Emissionen auftreten.

- **Wasser**

Die Verhüttung führt zu keiner Wasserbelastung.

- **Abfall**

In Form von metallurgischen Stäuben und Schlacke entsteht Abfall in geringer Menge.

- **Energie**

Für die Verhüttung wird Energie benötigt. Soweit der Metallanteil des Abfalls im Bereich der sonst verarbeiteten Erze liegt, ist der Energieeinsatz gleich wie bei der Herstellung von Primärmetall. Bei höherem Anteil an Begleitstoffen (ab ca. 60%) ergibt sich ein deutlich höherer Energiebedarf für die Schlackenbildung und Reduktion, so daß eine Verhüttung nicht mehr sinnvoll ist. Bei hohen Anteilen an Begleitstoffen und Oxiden sind andere Verwertungswege z.B. bei eisenhaltigen Stäuben im Zementwerk, ökologisch vorteilhafter.

5.8.3.2 Zusätzliche ökologische Kriterien

- **Anreicherung von Schadstoffen**

Eine Anreicherung von Schadstoffen erfolgt im Hüttenstaub, der in kleiner Menge anfällt. Das zurückgewonnene Metall hingegen entspricht Neumaterial.

- **Verdünnung von Schadstoffen**

Es erfolgt keine Verdünnung von Schadstoffen, sondern im Gegenteil eine Konzentrierung im Hüttenstaub.

- **Vermischung unterschiedlicher Abfälle**

Durch gezielte Vermischung unterschiedlicher Abfälle wird bei der Verhüttung die Herstellung eines brauchbaren Sekundärrohstoffs erst ermöglicht.

- **Prinzip der hochwertigen Verwertung**

Durch die Verhüttung wird das Metall in reiner Form wiedergewonnen, so daß es im originären Prozeß wieder eingesetzt werden kann. Diese Verwertung ist hochwertig.

- **Prinzip der Transportminimierung**

Es gibt nur wenige Hütten für die Rückgewinnung von Metallen. Es ist deshalb mit größeren Transportentfernungen zu rechnen.

5.9 Verwerterliste

Die Verwerterliste soll eine Handlungshilfe für Gießereien und Behörden sein. Es werden Verwerter genannt, die seit Jahren in der Branche tätig sind. Da der Markt insbesondere bei der Verwertung in Zementwerken und Ziegeleien ständig in Bewegung ist, sollten sich die hieran interessierten Gießereien direkt an die Betriebe in örtlicher Nähe wenden. In diesem Zusammenhang sei auch auf das **Verwerterhandbuch** hingewiesen, das von der ABAG zweimal jährlich aktualisiert wird.

In der Liste sind nur Verwertungsbetriebe aufgeführt, die den notwendigen Verwertungsnachweis erbringen können und soweit erforderlich die immissionsschutzrechtliche Genehmigung haben.

Alle genannten Betriebe, die im Erd- und Straßenbau verwerten, unterwerfen sich einer freiwilligen Gütesicherung im Gütekreis „Verwerter von Gießereireststoffen“ durch den Verein Deutscher Gießereifachleute in Düsseldorf.

Mehrere Ziegeleien in Baden-Württemberg, die poröse Hintermauerziegel herstellen, sind in der Lage, Gießereireststoffe einzusetzen. Genehmigungen werden z.Z. eingeholt.

Zementwerke

Südbayerisches Portland Zementwerk Gebr. Wiesböck & Co GmbH	Sinning 1 83108 Rohrdorf Tel.: 08032/1820
Heidelberger Zement AG Werk Lengfurt	Postfach 1160 97855 Triefenstein Tel.: 09395/180
Heidelberger Zement AG Werk Blautal	Postfach 1164 89135 Blaubeuren
Zementwerk Schwenk	Laudenbacher Weg 5 97753 Karlstadt Tel.: 09353/7970

Ziegeleien

BER Beratungsgesellschaft für die Verarbeitung von Rohstoffen mbH (Ziegelei Grehl/Ulm)	Birkenstr. 15 89185 Hüttisheim-Humlangen Tel.: 07305/9697-0

Salzbergwerke

Südwestdeutsche Salzwerke [11] Werk Kochendorf	Postfach 3161 74021 Heilbronn Tel.: 07131/959-0

Aminrückgewinnung

Haltermann GmbH, Werk Speyer	Joachim-Becher-Str. 1 67346 Speyer
Westab GmbH, Betrieb Voerde	Weselerstr. 100 46562 Voerde

Metallrückgewinnung

DK Recycling und Roheisen GmbH	Werthauser Straße 182 47053 Duisburg Tel.: 0203/6081-0
Norddeutsche Affinerie	Postfach 10 48 40 20033 Hamburg Tel.: 040/7883-0
Metallwarenfabrik Stockach	Nenzinger Str. 15/17 78333 Stockach Tel.: 07771/9306-0
Lindner Metall-Recycling GmbH	Siemensstr. 11-13 42551 Velbert Tel. 02051/28620
AIR Lippewerke Recycling GmbH	Brunnenstr. 138 44536 Lünen Tel.: 02306/106-519
Georg Kerscher GmbH & Co. KG	Industriestr. 4 90765 Fürth Tel.: 0911/30607-0
Metallschmelzwerk Ulm GmbH	Daimlerstr. 20 89079 Ulm Tel.: 0731/43087

[11] Genehmigung wird Mitte 1996 erwartet

Erd- und Straßenbau, Untertageversatz, Asphaltherstellung, Schachtverfüllung

C.C. Umwelt-Entsorgung GmbH & Co.KG	Bataverstr. 25 47809 Krefeld Tel.: 02151/957-6
BSR Bodensanierung Recycling GmbH	Neuburger Str. 5 85057 Ingolstadt Tel.: 0841/46913
VVG Verwertungs- und Vertriebs GmbH & Co. KG	Stahlstr. 14 42551 Velbert Tel.: 02051/2836-0
QWF Reststoff-Verwertungs-GmbH	Kaskadenweg 40 50226 Frechen Tel.: 02234/1010
Montan-Entsorgung GmbH & Co. KG	Rolandstr. 5-9 45128 Essen Tel.: 0201/820670
SKS Baustoffvertriebs- und Transport GmbH	Klosterstr. 28 76332 Bad Herrenalb Tel.: 07083/5601
DEUTAG remex Gesellschaft für Baustoff-aufbereitung mbH	Albert-Hahn-Str. 9 47 269 Duisburg Tel.: 0203/7685-0
Claus Schmidke Baustoffe GmbH	Frankfurter Str. 462 51145 Köln Tel.:02203/21065

Regenerierung

Hepworth GmbH	Benzstr. 12 46395 Bocholt Tel.: 02871/7026-28
Sandregenerierung Lage GmbH	Im Seelenkamp 20 32791 Lage Tel.: 05232/3617

6 Zusammenfassung

Im Zuge knapper werdenden Deponieraumes, wegen fehlender Akzeptanz für neue Deponiestandorte, aber auch aus Gründen steigender Deponie- und Transportkosten und verschärfter Abfallgesetzgebung, gewinnt die Forderung nach einer Vermeidung, Verminderung und Verwertung der Gießereiabfälle zunehmend an Bedeutung.

Neben den Gießereirestsanden, die in diesem Branchengutachten im Mittelpunkt stehen, fallen im Gießereiprozeß weitere Abfallarten an, deren Aufkommen jedoch gemessen an der Restsandmenge, vergleichsweise gering ist. Insbesondere sind hier Putzerei- und Strahlsand, Staub, Schlamm, Bindemittelreste sowie Verpackungsmaterial zu nennen. Die Entstehung dieser Abfälle läßt sich in der Regel nicht vermeiden, es sind jedoch eine Reihe von Verwertungsmöglichkeiten gegeben.

Das vorliegende Branchengutachten gibt den technischen Stand der Abfallvermeidung und -verwertung in Eisen- und Nichteisenmetallgießereien in Baden-Württemberg wieder.

Nach der Formulierung der Intention des Branchengutachtens und der Vorgehensweise in Kapitel 1 wird in Kapitel 2 bis 5 der technische Stand bei der Minimierung der Gießereirestsande und Stäube aus Eisen- und NE-Metallgießereien dargestellt. Kapitel 3 zeigt anschaulich je eine repräsentative Gießereianlage einer Eisen- und einer Aluminiumgießerei. In Kapitel 4 werden die gießereitypischen Abfälle hinsichtlich folgender Kriterien näher beschrieben:

- Herkunft,
- Zusammensetzung und anfallende Menge,
- Abfallbeseitigung und
- Umweltauswirkungen der Abfallbeseitigung.

Kapitel 5 gibt Hinweise zur Vermeidung und Verwertung der Abfallarten, zu den erzielbaren Abfallvermeidungs- und -verminderungspotentialen und zur ökologischen Beurteilung. Die Maßnahmen zur Vermeidung, Verminderung und Verwertung werden hinsichtlich ihrer Technik, ihres Entwicklungsstandes und ihrer Einsatzbereiche beschrieben.

Um die Wirtschaftlichkeit der einzelnen Verfahren und Maßnahmen abschätzen zu können, werden entstehende Kosten und Einsparungen aufgeführt.

Zur Abfallminderung sind folgende Maßnahmen geeignet:

- engere Sandkreisläufe (Kapitel 5.2)
- verstärktes und zusätzliches Regenerieren der Gießereirestsande (Kapitel 5.3)
- stoffliche Verwertung in der Zementindustrie (Kapitel 5.4)
- stoffliche Verwertung in Ziegeleien (Kapitel 5.5)
- Verwertung als Schüttmaterial im Erd- und Straßenbau sowie zur Schachtverfüllung (Kapitel 5.6)
- Verwertung als Versatzmaterial (Kapitel 5.7)
- metallurgische Verwertung metallhaltiger Abfälle (Kapitel 5.8)

Entscheidende Bedeutung bei der Verwertung von Gießereirestsanden kommt der Regenerierung zu. Daher werden die fortschrittlichsten Verfahren und Anlagen zur mechanischen und thermischen Regenerierung vertiefend dargestellt (Kapitel 5.3.1.1.1/2).

Im Rahmen dieses Branchengutachtens wurden Regenerate aus acht praxiserprobten Regenerierungsanlagen hinsichtlich ihrer Anwendungsbereiche untersucht, um neueste Erkenntnisse über den derzeitigen Entwicklungsstand der Regenerierungstechnik zu gewinnen (Kapitel 5.3.1.2). Die ausführlichen Untersuchungsergebnisse sind Anhang 1 und 2 zu entnehmen.

Durch mehrere sich ergänzende VVV-Maßnahmen ergeben sich erhebliche Minderungspotentiale, die sowohl bei Großanlagen als auch bei Kleingießereien ausgeschöpft werden können.

Düsseldorf, Februar 1996
Wi-GK/hy

Schrifttum

7 Schrifttum

Allgemeines Schrifttum zum Branchengutachten

ABAG	**Abfallberatungsagentur Baden-Württemberg (ABAG) Vermeidung von Abfällen durch abfallarme Produktionsverfahren, Gießereialtsande aus Eisen-, Stahl- und Tempergießereien, Dezember 1992**
Ambos, E.; Hofmann, I.; Bähr,R.; Walther, H.	**Untersuchungen zur Rationalisierung des Entgratens von Innenkonturen bei Gußstücken aus nichtduktilen Werkstoffen Giesserei 82 (1995) Nr. 2, S. 49ff.**
Altenpohl, D.	**Aluminium von innen - Profil eines modernen Werkstoffes Giesserei-Verlag, Düsseldorf 1994**
Bailey, I.	**Thermal reclamation of furane sand Foundry Trade Journal 166 (1992) 3447, S. 55ff.**
Baudequin, M.M.; Honoré; Figueras	**Régénération thermo-mechanique des sables de fonderie procedes „sun sand“ Hommes et fonderie (1992) Nr. 224, S. 38ff.**
Bauch ,G.; Dieterle, U.	**Betriebserfahrungen mit der Regenerierung von Mischaltsanden und dem Einsatz des Regenerates in der Kernfertigung Giesserei 79 (1992) Nr. 3, S. 102ff.**
Bautz, H.; Siefer, W.	**Untersuchung zur Verringerung des Brennstoffverbrauchs beim Schmelzen im Drehtrommelofen Giesserei 74 (1987) Nr. 19, S. 582**
Bautz, H.; Siefer, W.	**Die Beeinflussung der Futterhaltbarkeit von Induktionstiegelöfen durch den Einsatz von Abfällen von verzinkten Blechen Giessereiforschung 44 (1992) Nr. 1, S. 199ff.**
Bex, T.	**Thermal reclaimer developed to reduce energy costs Modern Casting 83 (1993) 5, S. 40ff.**
Bieler	**Systemanalyse über die Nutzung untertägiger Hohlräume des Steinkohlen-, Erz-, Salz- und Kalkbergbaus Bergakademie Freiberg, 1994**
Bindernagel, I.	**VDG-Taschenbuch 12; Formstoffe und Formverfahren in der Gießereitechnik Giesserei-Verlag, Düsseldorf 1983**
Boenisch, D.; Mollenkott, R.	**Wirkungsgrad von Kaltharzen beeinflußt die Formteilfestigkeit Giesserei 64 (1977) Nr. 17, S. 429ff.**
Boenisch, D.	**Regenerierung bentonithaltiger Gießereialtsande - Leitfaden einer wirtschaftlichen und reststoffreduzierten**

	Prozeßführung **Giesserei 77 (1990), Nr. 19, S. 602ff.**
Boenisch, D.; Gärtner, C.	**Innerbetriebliche Altsandverwertung im Naßgußverfahren.** **Teil 1. Die Schlüsselrolle des Hartbentonits** **Giesserei 78 (1991), Nr. 7, S. 255ff.**
Boenisch, D.	**Recycling von Kernaltstoffen.** **Teil 1. Die Kaltregenerierung kunstharzgebundener Altsande** **Giesserei 78 (1991) Nr. 21, S. 733ff.**
Boenisch, D.	**Recycling von Kernaltstoffen.** **Teil 2. Kernabfall - ein vielseitiger Werkstoff** **Giesserei 79 (1992) Nr. 11, S. 428ff.**
Boenisch, D.;. **Gärtner-Kaufmann, C.**	**Über die Zukunft der Altsandverwertung.** **Teil 1. Regenerierung heute** **Giesserei 79 (1992), Nr. 20, S. 826ff.**
Boenisch, D.	**Die Grundlagen der Reststoffminderung und Qualitätssicherung im Naßgußverfahren mit bentonitgebundenen Formstoffen** **Giesserei 81 (1994), Nr. 8, S. 214ff.**
Brown, J.R.	**Regenerieren von chemisch gebundenem Sand** **British Foundrym. 72 (1979), S. 169ff.**
DGV	**Deutscher Gießereiverband, Düsseldorf** **Vorläufige Technische Lieferbedingungen und Richtlinien für die Güteüberwachung von Gießereireststoffen im Erd- und Straßenbau, 1993; siehe auch Runderlaß des Ministeriums für Stadtentwicklung und Verkehr des Landes NRW vom 16.04.1993 (MBL NW 1993, S. 889)**
Döpp, R.; Deike, R.; **Gettwert, G.**	**Beitrag zum Wasserglas-CO_2-Verfahren** **Giesserei 72 (1985) Nr. 22, S. 626ff.**
Dreyhaupt, F.J.	**Handbuch für Emissionsschutzbeauftragte, Teil 2** **Verlag TÜV Rheinland, Köln 1981**
Droscha, H.	**Thermische Regenerierungsanlage für Maskenform-Altsand** **Giesserei 63 (1976) Nr. 5, S 120ff.**
ECOTEC	**Verminderung des Sonderabfallaufkommens in Baden-Württemberg, September 1992**
Ellinghaus, W.	**Kernherstellungsverfahren der neunziger Jahre** **Giesserei 80 (1993), Nr. 5, S. 142ff.**
Flemming, E.; Tilch, W.	**Formstoffe und Formverfahren, 1. Auflage,** **Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig 1993**
Fritz, A.H.; Schulze, G.	**Fertigungstechnik, 1. Auflage** **VDI-Verlag, Düsseldorf 1985**

Gardziella, A.	**Herstellung von Kernen nach dem SO_2-Formverfahren - Grundlagen und Erfahrungen Giesserei 69 (1982) Nr. 4, S. 81ff.**
Gärtner-Kaufmann, C.	**Die Grundlagen des Formsandrecyclings in der Gießereiindustrie Dr-.Ing. Dissertation, RWTH Aachen 1993**
Gärtner-Kaufmann, C.	**GIFA 94: Anlagen für Regenerierung von Mono- und Mischsystemen Giesserei 81 (1994) Nr. 18, S.637ff.**
Golcher, G.	**The Red Set process. A new gas curing production process Foundry Trade Journal 166 (1992) 3447, S. 58ff.**
Hery, F.J.; Dahlmann, A.; Orths, K.	**Beitrag zur Frage des Einflusses konstruktiver Merkmale auf das Schmelzergebnis von Kupolöfen Giessereiforschung 32 (1980) Nr. 3, S. 119ff.**
Hofmann, E.	**GIFA 94: Einrichtungen für Schmelz- und Gießbetriebe von Eisen- und Stahlgießereien auf dem Technologieforum International Gießerei 1981 (1984) Nr. 17, S. 592ff.**
Hofmann, F.	**VDG-Taschenbuch 2; Tongebundene Formstoffe Giesserei-Verlag, Düsseldorf 1975**
Hofmann, F.	**Der Einfluß des Sandumlaufs auf Zustand und Eigenschaften betrieblicher Gießereiformsande Giesserei 53 (1966) Nr. 24, S. 818ff**
Hofmann, M.	**Schmelzen im Netzfrequenztiegelofen und im Mittelfrequenztiegelofen - eine Gegenüberstellung Giesserei 81 (1994) Nr. 24, S. 889ff.**
INTECUS	**Hessisches Vollzugsprogramm zur Durchführung des Reststoffvermeidungs- und -verwertungsgebotes nach §5- 1 -3 BImSchG, Dezember 1991**
Jansen, H.	**Die Regenerierung von Formstoffen, besonders von kunstharzgebundenen Altsanden Giesserei 59 (1972) Nr. 20, S. 599ff.**

Jansohn, K.; Schott, K.	**Regeneration of foundry waste sand notably bentonite return sand with vapour pressure process Foundry and environment. Proceedings. Technical Forum. 59th Foundry Congress, Sao Paulo, Brazil, 24.09.1992**
Kirsten, J.	**Aufbereiten von Rohwasser und Behandlung von Kühlwasser, Waschwasser und Abwasser von Kupolofenanlagen Giesserei 75 (1988) Nr. 26, S. 782ff.**
Kögler, H.	**Stand des Cold-Box-Verfahrens und Vergleich mit dem Hot-Box-Verfahren Giesserei-Rundschau 23 (1976) Nr. 3, S. 21ff.**
Kögler, H.; Scholich, K.; Weiker, G.	**Neue Entwicklung in der gashärtenden Kerntechnologie Giesserei-Rundschau 34 (1987) Nr. 12, S. 9ff.**
Krapohl, H-P.	**Gashärtende Gießereisandkerne - ein Eigenschaftsvergleich von der Kernfertigung bis zur Regenerierung Dr.-Ing. Dissertation, RWTH Aachen, 1991**
Kunz, H.; Wetzel, F.	**Mechanische Rückgewinnung von Kaltharzformsanden Giesserei 58 (1971) Nr. 21, S. 646ff.**
LAbfAG	**Landesabfallabgabengesetz des Landes Baden-Württemberg (LAbfAG) vom 11. März 1991 (GBl. S. 133)**
LAGA	**Länderarbeitsgemeinschaft Abfall Technische Regeln für die Verwertung mineralischer Reststoffe/ Abfälle aus Gießereien, 1994**
LAI	**Länderarbeitsgemeinschaft Immissionsschutz Musterverwaltungsvorschrift zur Vermeidung und Verwertung von Reststoffen nach § 5 Abs. 1 Nr. 3 BImSchG bei Anlagen nach Nr. 3.7 des Anhangs zur 4. BImSchV (Eisen-, Stahl- und Tempergießereien) 1993**
Leidel, D.S.	**Low temperature sand reclamation for dramatically improved quality and reduced cost Transaction of the Japan Foundrymen's Society 12 (1993), Okt., S. 1ff.**
Levelink, H.G.; Julien, F.P.M.A.	**Eigenschaften von regeneriertem Furanharzsand Giesserei 68 (1981) Nr. 12, S. 339ff.**
LOBA	**Entwurf Technische Regeln für den Einsatz bergbaufremder Reststoffe/Abfälle als Versatz vom 12.10.1994 Entwurf des MWMT NRW vom 24.11.1994**

LWA	**Studie zur Eignung von Steinkohlebergwerken im rechts-rheinischen Ruhrkohlenbezirk zur Untertageverbringung von Abfall- und Reststoffen Landesamt für Wasser und Abfall Nordrhein-Westfalen, Düsseldorf 1991**
Maspero, R.; Calzolai, B.	**Praktische Erfahrungen mit thermisch regenerierten Sanden in Homo- und Heterosystemen 60. Internationaler Gießerei-Weltkongreß, The Hague, NL, 26.09. - 01.10.1993, CIATF, Vortrag 46**
Müller-Späth, G.; Westhoff, E.; Schädlich-Stubenrauch, J.; Sahm, P.R.	**Öko-Sandregenerierung Giesserei-Praxis (1994) Nr. 11/12, S. 308ff.**
Neumann, F.	**Gusseisen Schmelztechnik - Metallurgie - Schmelzbehandlung Düsseldorf, Giesserei-Verlag 1994**
N.N.	**Feinguß für alle Industriebereiche Zentrale für Gußanwendung. Düsseldorf 1983**
N.N.	**Wendelbrecher mit Vibrationsantrieb zum Regenerieren von kunstharzgebundenem Altsand Giesserei 70 (1983) Nr. 22, S. 609ff.**
Oehlerking, T.	**Regeneratverwendbarkeit bei gemeinsamer thermischer Regenerierung verschiedener Kernaltsande Giesserei 80 (1993) Nr. 21, S. 721ff**
Pohl, P.	**Beispiele zur Regenerierung von Gießereialtsanden Giesserei 77 (1990) Nr. 21, S. 659ff.**
PROGNOS, INTECUS, IfG	**Im Auftrag des Ministeriums für Umwelt, Raumordnung und Landwirtschaft des Landes NRW. Vermeidung und Verwertung von Reststoffen aus genehmigungsbedürftigen Anlagen nach dem Bundesimmissionsschutzgesetz, Düsseldorf, September 1993**
Reier, G.G.	**Economics, quality lead move to reclaim clay-bonded sand Modern Casting 83 (1993) 5, S. 34ff.**
Richter, K.	**Kühl- und Waschsysteme für Kupolofenanlagen Giesserei 75 (1988) Nr. 26, S. 785ff.**
Riege, W.	**GIFA 94: Einrichtungen für die Gußputzerei Giesserei 81 (1994) Nr. 20, S. 721ff.**
Ritzen, J.	**The green sand plant ready for the future Foundry Trade Journal 167 (1993) 3478, S. 378ff**

Roller, R.	Grund- und Fachkenntnisse gießereitechnischer Berufe, 2. Auflage, Hamburg: Verlag Handwerk und Technik 1990
Rötters, H.	Thermische Regenerierung von kunstharzgebundenen Sanden in kleineren und mittleren Gießereien Giesserei 74 (1987) Nr. 21, S. 653ff.
Sanders, F.-H.	Turbodry Foundry and environment. Proceedings. Technical Forum. 59th Foundry Congress, Sao Paulo, Brazil, 24.09.1992
Sappok, M.	Chemically bonded sand systems for mould and cores BCIRA International Conference, Warwick, GB, 31.03. - 02.04.1992, Vortrag 11
Schneider, G.; Wolff, H.	Material aspects of used sand reclamation, re-use and dumping Foundry and environment. Proceedings. Technical Forum. 59th Foundry Congress, Sao Paulo, Brazil, 24.09.1992
Scholich, K.	Dynamisch. Kerne und Formen herstellen mit katalytischen und gashärtenden Verfahren Der Maschinenmarkt 97 (1991) 51, S. 28ff.
Schwarzl, H.	Gießereialtsand dreistufig regenerieren Giesserei 74 (1987) Nr. 21, S. 655
Simmons, C.W.; Leidel, D.S.	The universal sand reclaimer. Eight years of foundry experience on processing furan and ECP bonded sand Transaction of American Foundrymen's Society 100 (1992), S. 725ff.
Spur, G.; Stöferle, Th.	Handbuch der Fertigungstechnik, Band 1 Urformen, 1. Auflage, München: Carl Hanser Verlag 1981
Stevenson, M.	Current developments in sand reclamation plant Foundry Trade Journal International 15 (1992) Nr. 3, S. 96ff.
Stevenson, M.	Chemical binders - back to basics Foundry Trade Journal 167 (1993) 3476, S. 311ff,
Striegel, K.-H.	Bedeutung der untertägigen Verwertung von Reststoffen für die Entsorgungswirtschaft Landesumweltamt NRW, 1995
Stuzmann, W.; Godderidge, V.	Ein- und mehrstufige Sandregenerieranlagen im Modulsystem - Anlagenkonzeption und Betriebsergebnisse Giesserei 79 (1992) Nr. 3, S. 110ff.

Thomas, G.	**Einsatz des Wirbelschichtofens zum Regenerieren von Gießereisand** **Giesserei 65 (1978) Nr. 5, S. 105ff.**
Thumm, H.	**Mechanisierte Formanlage mit Altsandregenerierung für kalthärtenden Formsand** **Giesserei 64 (1977) Nr. 25, S. 653ff.**
Tilch, W.; Flemming, E.	**Umlauf- und Regenerierungsverhalten bentonitgebundener Formstoffe - technologische Bewertung und Einflußnahme** **Giesserei 79 (1992) Nr. 19, S. 779ff.**
Tillmanns, H.; Tilch, W.	**Regenerierung bentonithaltiger Restsande - Verfahrenstechnik und stoffliche Aspekte** **Internationaler GIFA-Kongress, Giessereitechnik '94, Vortrag 08, Düsseldorf, 15.- 18.06.1994**
Utzig, H.	**Thermische Regenerierung von Kern- und Maskensanden** **Giesserei 59 (1972) Nr. 20, S. 607ff.**
van Wijk, J.	**Einfluß der Regenerierung tongebundener Sande auf die Verfahrensabläufe bei der Gußherstellung** **Vortrag: VDG-Sprechabend, Landesgruppe Bayern, 14.10.1994**
VDG	**Verein Deutscher Gießereifachleute, Düsseldorf,** **Gütekreis Verwerten von Gießereireststoffen, Stand Juni 1994**
VDS	**Vereinigung Deutscher Schmelzhütten Aluminium-Gußlegierungen** **Düsseldorf, Giesserei-Verlag 1988**
Walter, Ch.; Siefer, W.	**Schlanke Putzerei** **Giesserei 81 (1994) Nr. 10, S. 308ff.**
Weller, E.	**Möglichkeiten und Grenzen der Sandregenerierung** **Giesserei 76 (1989) Nr. 10/11, S. 350ff.**
Wenk, L.	**GIFA 94: Einrichtungen und Zubehör für Schmelz- und Gießbetriebe von NE-Metallgießereien sowie metallische Einsatzstoffe auf dem Technologieforum International** **Giesserei 81 (1994) Nr. 20, S. 695ff.**
Wesp, S.; Engelhardt, W.	**Thermal reclamation of core sand in an aluminium foundry - a contribution to environmental protection** **BCIRA International Conference, Warwick, GB, 31.03. - 02.04.1992, Vortrag 18**
Wilhelm, L.; Rossmanith, P.	**Kaltmechanisches Verfahren zur Regenerierung von bentonitgebundenem Mischaltsand** **Abfallwirtschaftsjournal 3 (1991) Nr. 11, S. 755ff.**

Winterhalter, J.; Reither, K.; Rudolf, H.; Ruff, W. — **Abwasser aus Gießereien - Kernmacherei**
Giesserei 77 (1990) Nr. 12, S. 405ff.

Winterhalter, J. — **GIFA 94: Luftreinhaltung, Reststoffvermeidung und -verwertung, Arbeits- und Umweltschutz**
Giesserei 81 (1994) Nr. 20, S. 726ff.

Wolff, H. — **Chemisch gebundene Formstoffe für Formen und Kerne**
Giesserei 79 (1992) Nr. 15, S. 644ff.

Wolff, H.; Troglio, C. — **Die weiße Giesserei - ein Konzept, keine Farbe**
VDG Fachbericht Nr. 061, 1994

7.2 Schrifftum zum Thema „Verwertung“

ABAG — **Handbuch zu Recycling- und Verwertungsanlagen**
Richard Boorberg Verlag, Stuttgart

IfG — **Liste einiger Verwerter von Gießereireststoffen**

Anhang 1

Anhang 1: Verifizierung der Eignung praxiserprobter Regenerierungsanlagen

Etwa 72% des Restsandaufkommens in der Gießereiindustrie stammen aus dem Naßgußsandverfahren. Der Kernsandzulauf und eine zur Qualitätssicherung erforderliche Auffrischung des Kreislaufsandes verursachen diese Abfallmenge. Die Regenerierung bentonithaltiger Mischrestsande ist daher eine vordringliche Aufgabe, um die Reststoffmenge zu reduzieren. Im Rahmen dieses Branchengutachtens wurden daher praxiserprobte Regenerierungsanlagen für bentonithaltige Mischrestsande hinsichtlich Anlagentechnik und Anwendungsbereichen untersucht. Da die ausführliche Darstellung der Ergebnisse dieser Regeneratuntersuchungen im Kapitel 5.3.1.3 „Einsatzbereiche“ zu weit führen würde, sind die Untersuchungsergebnisse in diesem Anhang zusammengestellt.

Versuchsbeschreibung

Die Beurteilung der Regeneratqualität wurde im PUR-Cold-Box-Verfahren ermittelt.
Die Kernherstellung erfolgte mit einem regeneratverträglichen Bindemittel. Die Regenerate wurden in einem Laborschwingmischer mit 1,6 Gew.-T. Binder (0,8 Gew.-T. Phenolharz, 0,8 Gew.-T. Polyisocyanat) 40 sec gemischt und auf einer Laborschießmaschine mit einem Druck von 6 bar zu scheibenförmigen Prüfkörpern mit einem Durchmesser von 50 mm und einer Höhe von 12 mm verdichtet. Die Aushärtung erfolgte durch Begasung mit 0,2 ml Amin (DMEA). Die Begasungsdauer betrug 30 sec. Es wurden der Einfluß der Sandlagerzeit (Verarbeitungszeit) und der Kernlagerzeit auf die Biegefestigkeit ermittelt. Als Vergleich dienten zwei Neusandmischungen (H 32, mittlere Korngröße 0,32mm und F32, mittlere Korngröße 0,24 mm).

Bild 1 zeigt den Verlauf der Biegefestigkeit in Abhängigkeit von der Kernlagerzeit. Die Kerne wurden hierzu sofort nach dem Mischen hergestellt und unterschiedlich lange gelagert.

Die Regenerate A, B, C2, C3, E1 und G erreichen bei einer Kernlagerzeit 0 annähernd Neusandfestigkeit, und härten bis auf Regenerat B mit steigender Kernlagerzeit nach. Ursache sind der relativ geringe Schlämmstoff- und Schamottegehalt der Regenerate.

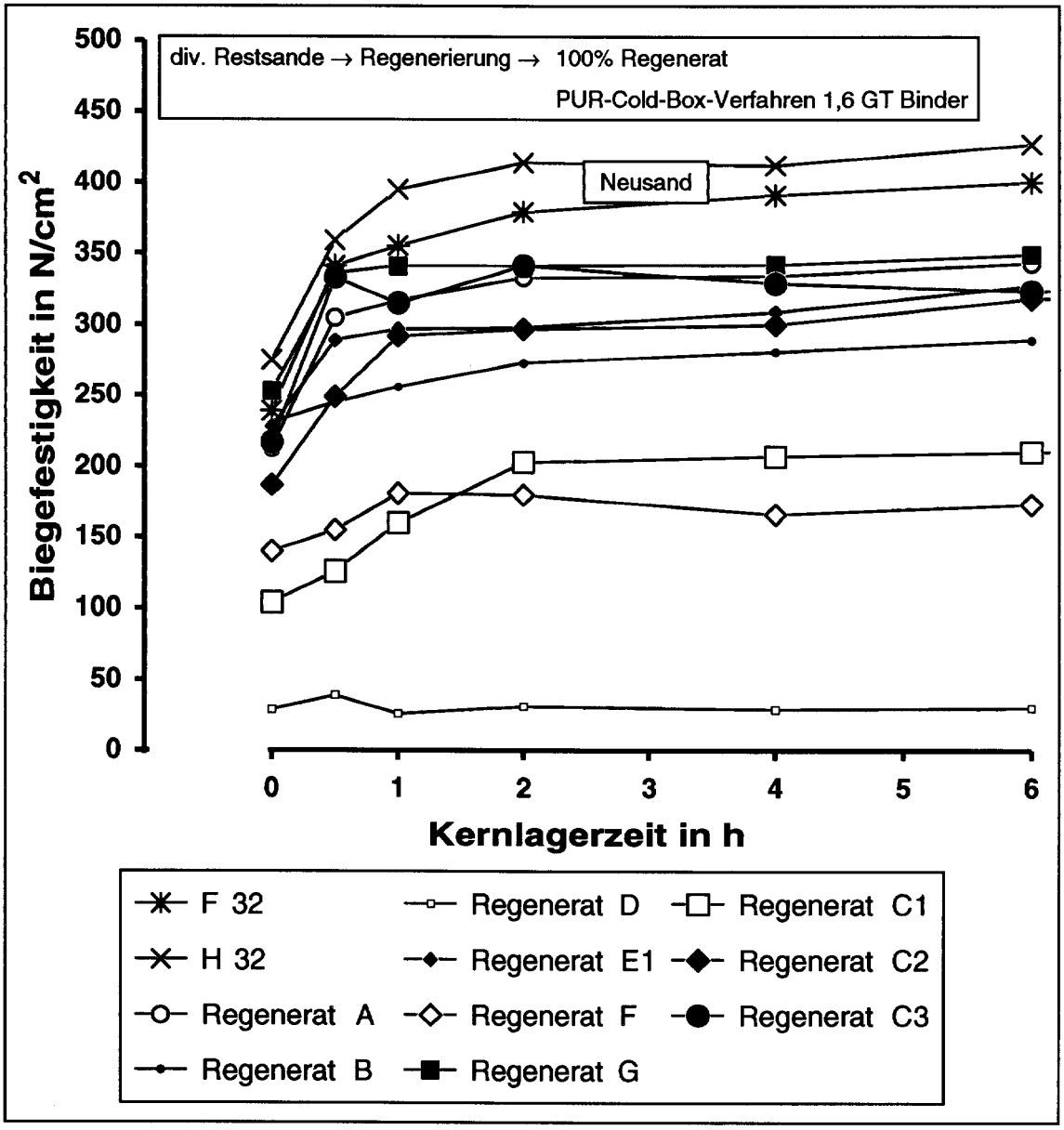


Bild 1: Regenerate mit einem geringen Schlämmstoff- und Schamottegehalt erreichen Neusandfestigkeit.

Die ausführlichen Analysenergebnisse können den **Tabellen 1** bis **21** im **Anhang 2** entnommen werden. Diese enthalten neben den Restsand- und Regeneratanalysen die Zusammensetzung der Regenerierstäube und der Umlaufsande.

Das Regenerat F weist nur geringe Festigkeiten auf.
Regenerat D und C1 sind nach den vorliegenden Ergebnissen nicht für den Einsatz im PUR-Cold-Box-Verfahren geeignet. Ursache dürfte der hohe Anteil an furanharzgebundenem Formstoff sein, der in den Restsand D einläuft und die Härtung des Polyurethan-Cold-Box-Binders beeinträchtigt. Anzumerken ist, daß dieses Regenerat nicht in der Cold-Box-Kernfertigung eingesetzt wird, sondern zur Auffrischung des Naßgußsandes oder zur Wasserglaskernfertigung dient (**Bild 9**).
Über die Zusammensetzung und Herkunft des Restsandes, der zu Regenerat C1, C2 und C3 regeneriert wurde, liegen keine Informationen vor.

Entscheidend für die Beurteilung der Eignung eines Regenerates für die Kernherstellung ist jedoch weniger der Festigkeitsverlauf in Abhängigkeit von der Kernlagerzeit, sondern vielmehr das Festigkeitsverhalten mit zunehmender Verarbeitungszeit der Sandmischung. Produktionsbedingt kann es zu längeren Lagerzeiten kommen, bevor der Sand zu Kernen verarbeitet wird. Ursache hierfür können u.a. Störungen in der Produktion und zu groß dimensionierte Füllbehälter der Kernschießmaschinen sein.

Während bei Neusanden die Festigkeit mit steigender Verarbeitungszeit nur relativ wenig abnimmt, erleiden die Regenerate innerhalb der ersten Stunde z.T. einen erheblichen Festigkeitsabfall (**Bild 2**). Ursache hierfür ist u.a. die hohe elektrische Leitfähigkeit einiger Regenerate, die auf stark wirkende Elektrolytreste hinweist. Sie sind auf die Reste aus Aktiv- und Totbentonit (Schamotte) und Kernbinder aus dem Wasserglas-Verfahren (Regenerat D) zurückzuführen [Boenisch 1992].

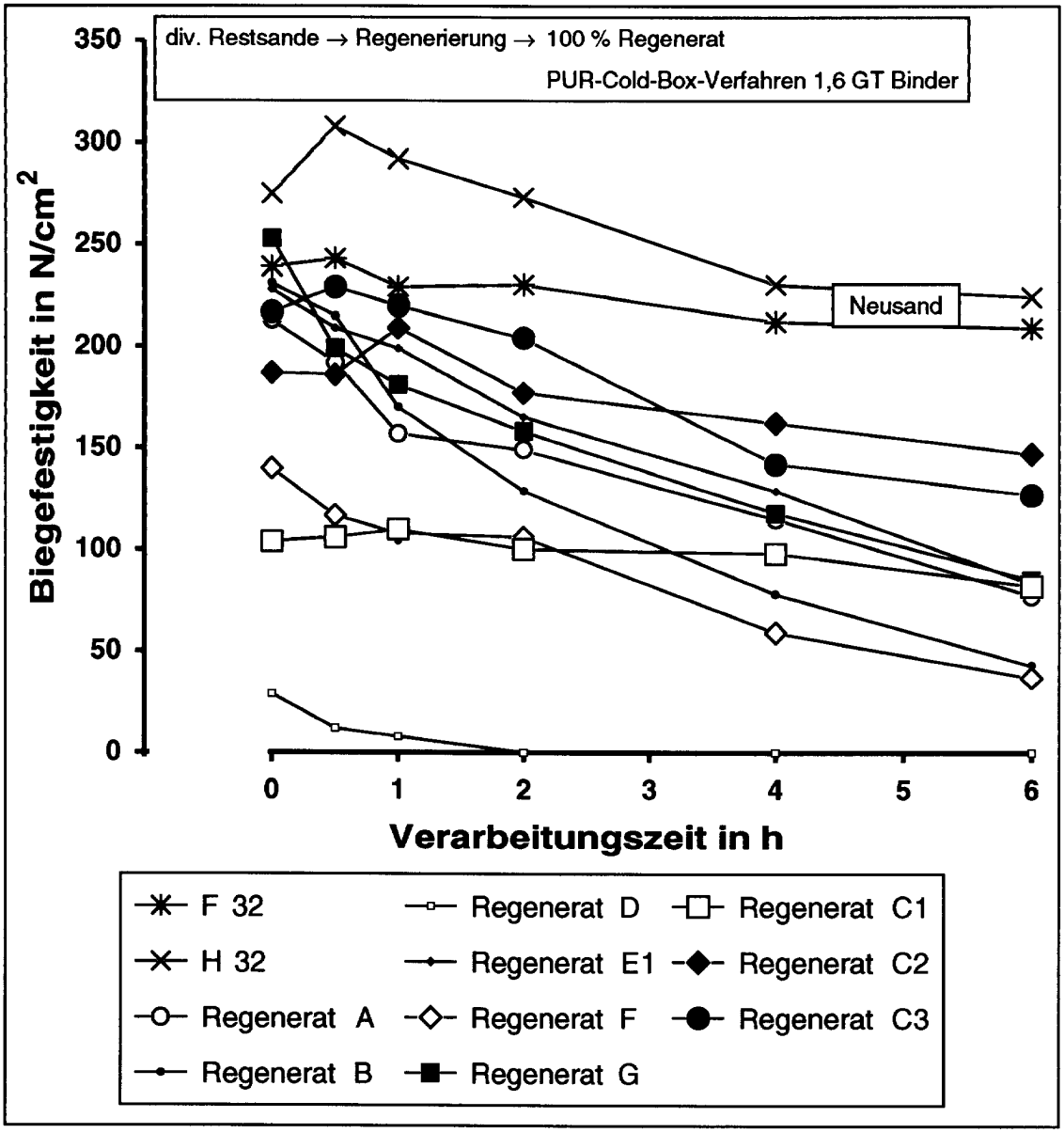


Bild 2: Stark wirkende Elektrolytreste beeinträchtigen die Festigkeit von PUR-Cold-Box-Kernen mit steigender Verarbeitungszeit.

Stark basische Elektrolytreste wirken bei der Polyurethanbildung im Cold-Box-Verfahren als Katalysator, beschleunigen die Vorreaktion der Kunstharzbausteine bereits vor der Kernherstellung und verschlechtern die Kernfestigkeit. Diese Gesetzmäßigkeit kommt in **Bild 2** zum Ausdruck.

Obwohl die Elektrolytreste durch die verschiedenen Regenerierungsverfahren erheblich reduziert werden, verbleiben je nach Restsandzusammensetzung erhebliche Anteile im Regenerat, die die Kernfestigkeit verschlechtern (**Bild 3**). Regenerate, die eine elektrische Leitfähigkeit über 50 µS/cm aufweisen, führen zu einem deutlichen Abfall der Biegefestigkeit. Der große Vorzug des Neusandes ist seine Elektrolytfreiheit.

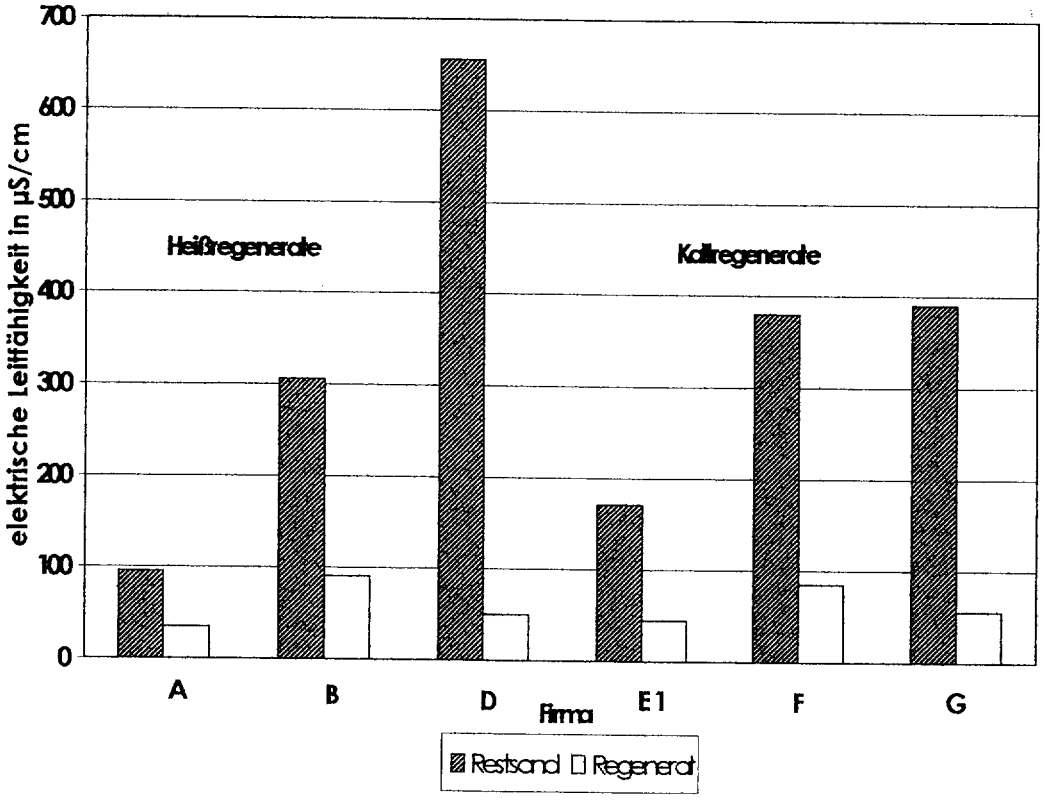


Bild 3: Die Elektrolytgehalte der Regenerate werden durch die Heiß- und Kaltregenerierung erheblich reduziert.

Das Elektrolytpotential der Regenerate kann auch durch eine erhöhte Neusandzugabe nicht vollständig kompensiert werden, wie **Bild 4** verdeutlicht. Die Regenerate wurden in diesem Fall mit 30% Neusand vermischt. Diese Vorgehensweise ist in der Praxis üblich, da die Sandverluste durch die Regenerierung ausgeglichen werden müssen.

Die Festigkeiten liegen zwar auf einem höheren Niveau, fallen aber mit zunehmender Verarbeitungszeit ab. Anzumerken ist, daß sowohl Regenerate aus kaltmechanischen als auch aus einer thermisch-mechanischen Anlage nach einer Stunde Verarbeitungszeit bei 80 bis 100% der Neusandfestigkeit (Relative Biegefestigkeit) liegen und für den Einsatz in der PUR-Cold-Box-Kernfertigung geeignet sind.

Zusätzlich zu den Regeneraten aus praxiserprobten Betriebsanlagen wurden zwei Restsande unterschiedlicher Zusammensetzung in einer Pilotanlage regeneriert (**Bild 5**). Diese Pilotanlage arbeitet nach dem Regenerierungsprinzip Schleifen.

Die Restsande stammen aus Eisengießereien und unterscheiden sich deutlich in ihrer Zusammensetzung (Tabellen 5 und 8, Anhang). Bei Restsand E2 handelt es sich um einen vorsortierten, ausgewählten Sand, der 20% Naßgußsand und 80% Kernrestsand enthält. Restand H ist ein typischer bentonithaltiger Mischrestsand, in den unkontrolliert Kernrestsand einläuft. Dieser Formstoff weist in seiner Analyse ein hohen Schlämmstoff-und Aktivbentonitgehalt sowie einen hohen Glühverlust auf (**Tabelle 8, Anhang 2**).

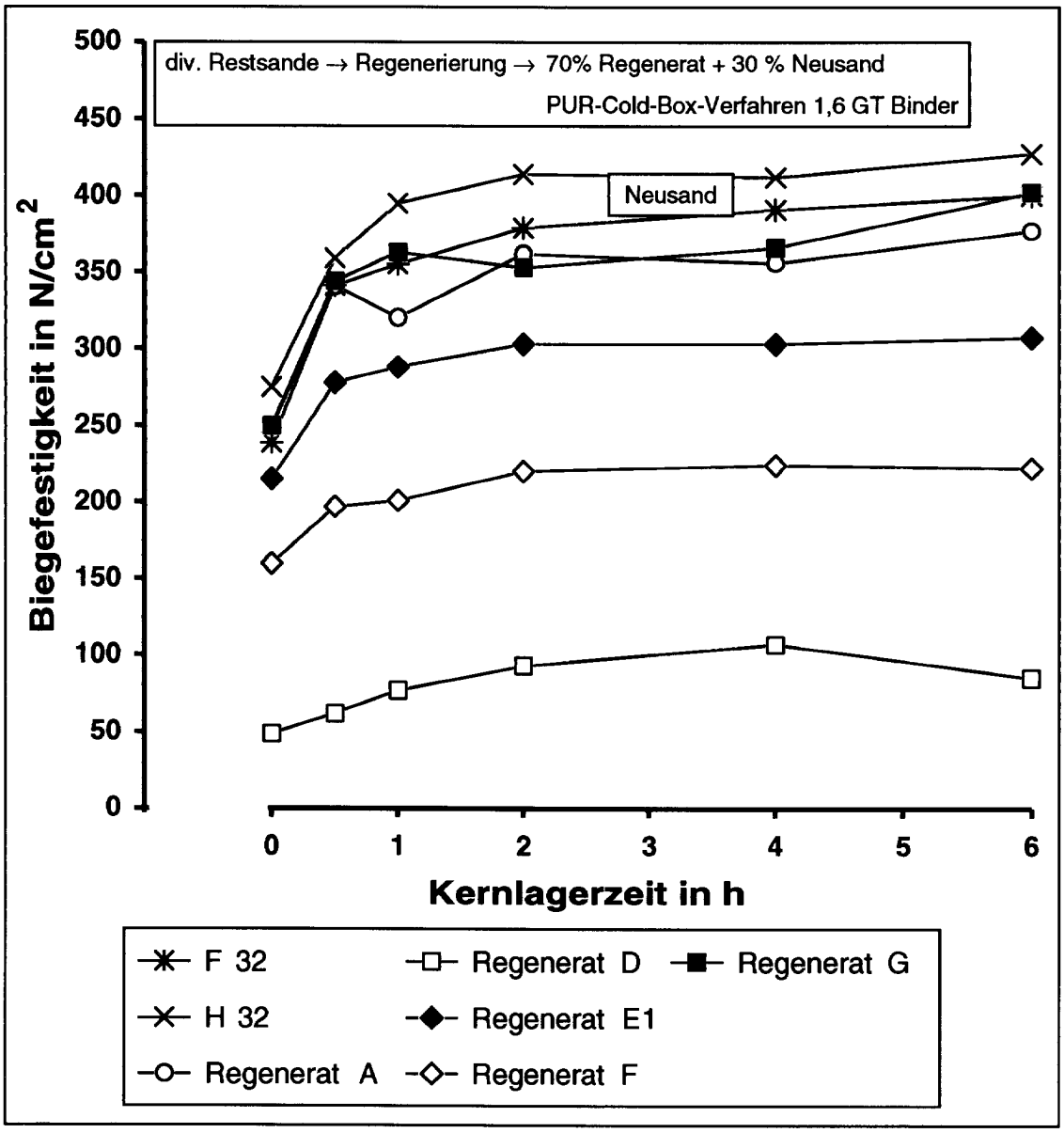


Bild 4: Die Zugabe von Neusand kompensiert den Einfluß der Elektrolyte teilweise und verringert den Festigkeitsabfall mit steigender Verarbeitungszeit.

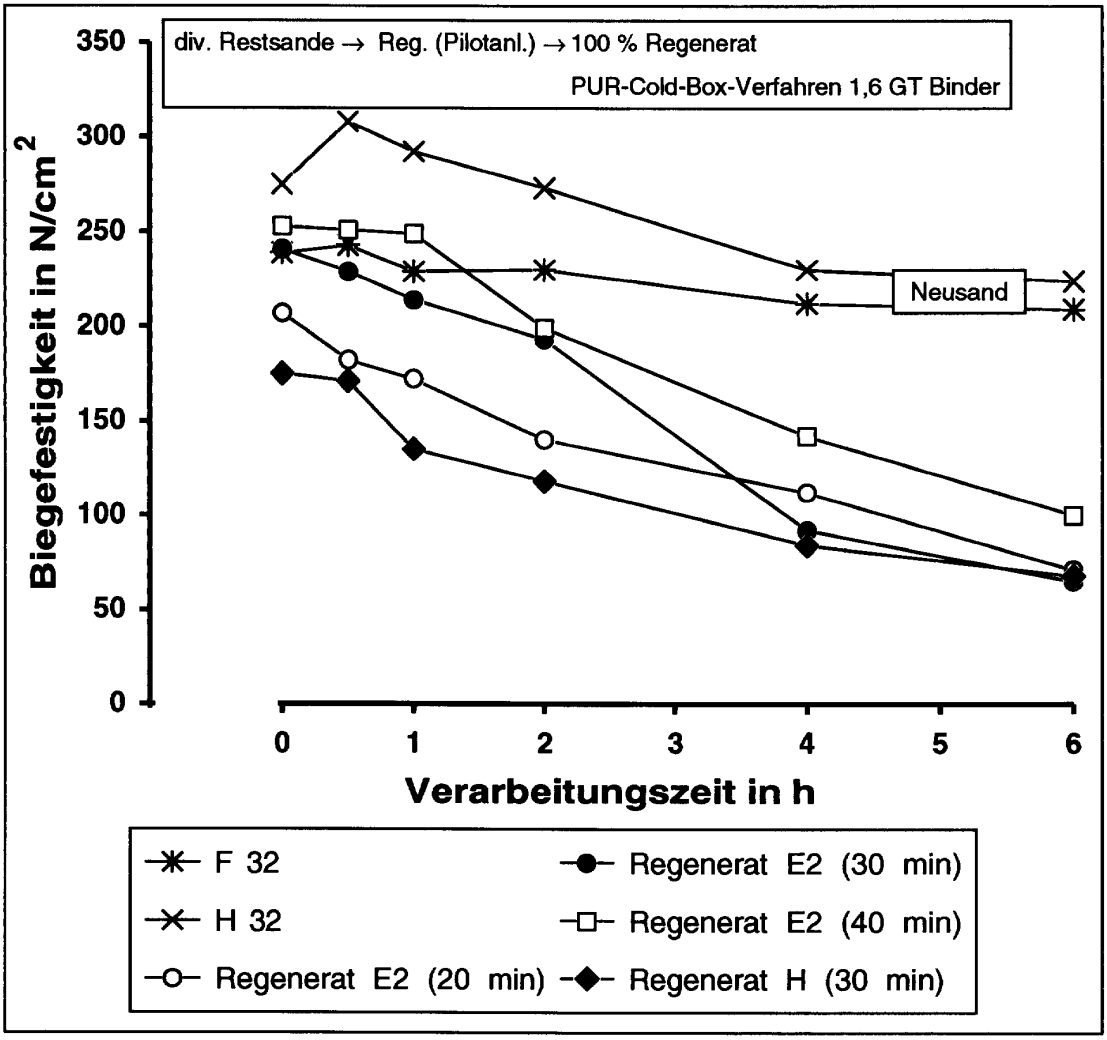


Bild 5: Kaltmechanische Regenerate können bei ausreichender Regenerierung und Entstaubung auch noch nach einstündiger Verarbeitungszeit Neusandqualität erreichen.

Das Bild zeigt deutlich den Festigkeitsanstieg mit steigender Regenerierungsdauer. Erreicht das Regenerat nach 20minütiger Schleifzeit nur 60% der Neusandfestigkeit, so sind es nach 30 minütiger Schleifzeit 75% und nach 40 min Schleifen 80%. Der Restsand mit einem Kernrestsandanteil kleiner 80% liegt lediglich bei 54% der Neusandfestigkeit nach einer einstündigen Verarbeitungszeit und ist damit nicht für den Einsatz in der Kernherstellung nach dem PUR-Cold-Box-Verfahren geeignet.

Restsandregenerate können jedoch nicht mehr allein nach dem erreichten Reinheitsgrad und der Kernfestigkeit bewertet werden. Die Reststoffmenge, die bei der Regenerierung zurückbleibt, ist die zweite wichtige Qualitätskenngröße. Sie wird hauptsächlich durch die Reststoffgrundlast der Restsande, die Regenerierungsdauer und den Blindverlust des Regenerators bestimmt. Die wichtigsten Einflußgrößen sind im Reststoff-Stammbaum aufgelistet (**Bild 6**) [Boenisch 1994].

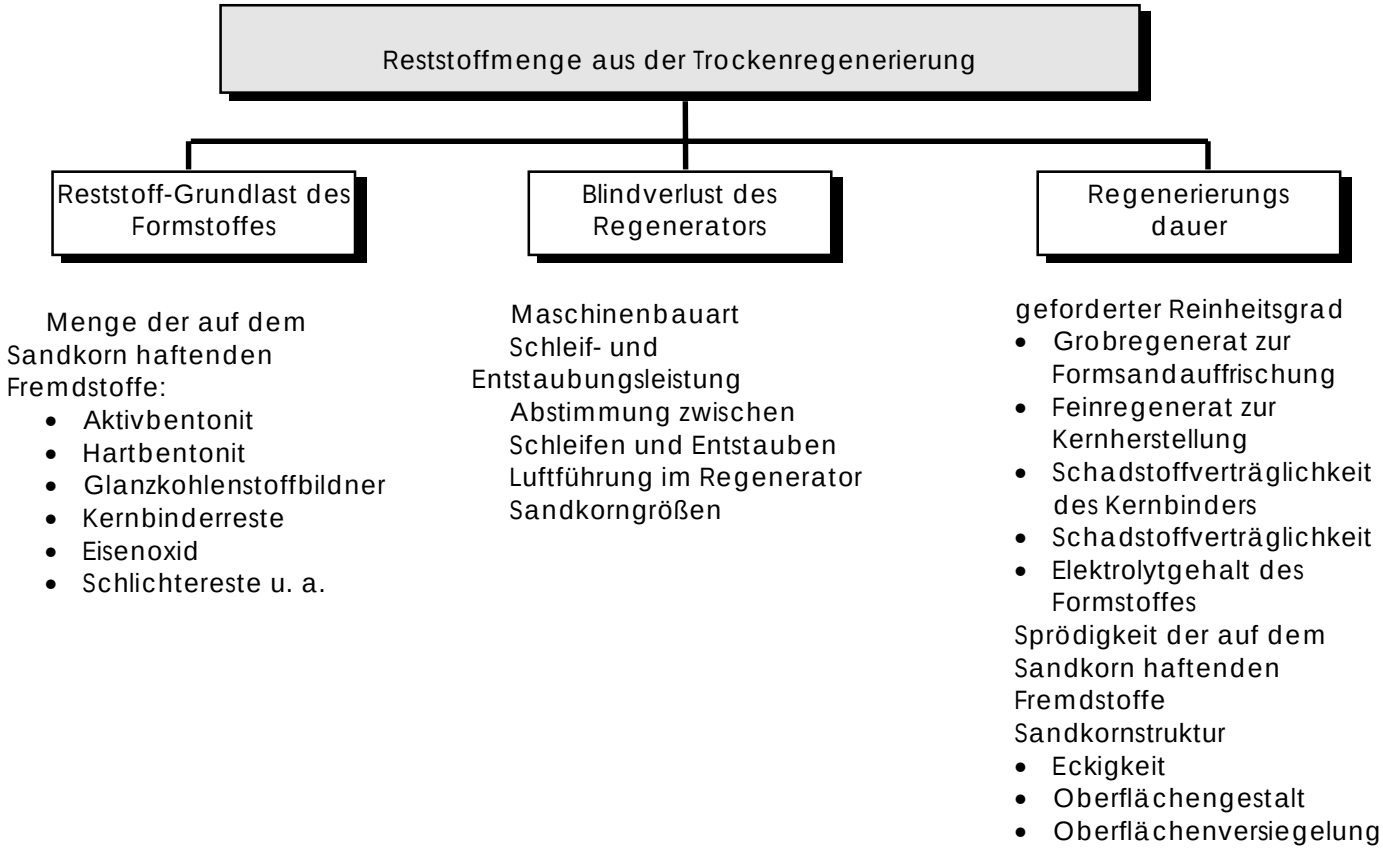


Bild 6: Der Reststoff-Stammbaum zeigt die reststoffbestimmenden Einflußgrößen [Boenisch 1994]

Die beiden Kenngrößen Reststoffmenge und relative Biegefestigkeit (Festigkeit des Regenerates nach einer Stunde Verarbeitungszeit bezogen auf Neusandfestigkeit in%) werden im sogenannten Reststoffdiagramm zur Bewertung der Regeneratqulität verknüpft, das die Beurteilung der Wirtschaftlichkeit einer Regenerierung gestattet.

In **Bild 7** sind die untersuchten Regenerate im Reststoffdiagramm dargestellt. Es zeigt sich, daß vorsortierte und geschickt ausgewählte Restsande E1 und A, die einen Kernrestsandanteil von über 80% aufweisen, mit einfachen Kaltregeneratoren (Luftstrahlscheuern) oder in thermischen Anlagen mit einer mechanischen Nachbehandlung bei Reststoffmengen von 15 bis 20% zu guten Festigkeiten im PUR-Cold-Box-Verfahren führen.

Eine Steigerung der Regenerierungsdauer von 20 auf 40 Minuten erhöht bei Regenerat E2 neben der relativen Biegefestigkeit (Anstieg von 60 auf 85%) auch den Reststoffanfall von 14 auf 32%. In diesem Fall muß geklärt werden, ob eine Festigkeit von 75% nicht völlig ausreicht, da hier der Reststoffanfall nur 25% beträgt.

Dieser Versuch verdeutlicht neben der Wirksamkeit der Kaltregeneratoren die reststoffschonende Regenerierung nach dem Prinzip Luftstrahlscheuern. Restsand E1 wurde nach diesem Regenerierungsprinzip gereinigt; die Reststoffmenge beträgt bei einer relativen Biegefestigkeit von etwa 70% nur 15%, während bei dem schleifenden Prinzip bei vergleichbarer Festigkeit eine Reststoffmenge von ca. 23% anfällt.

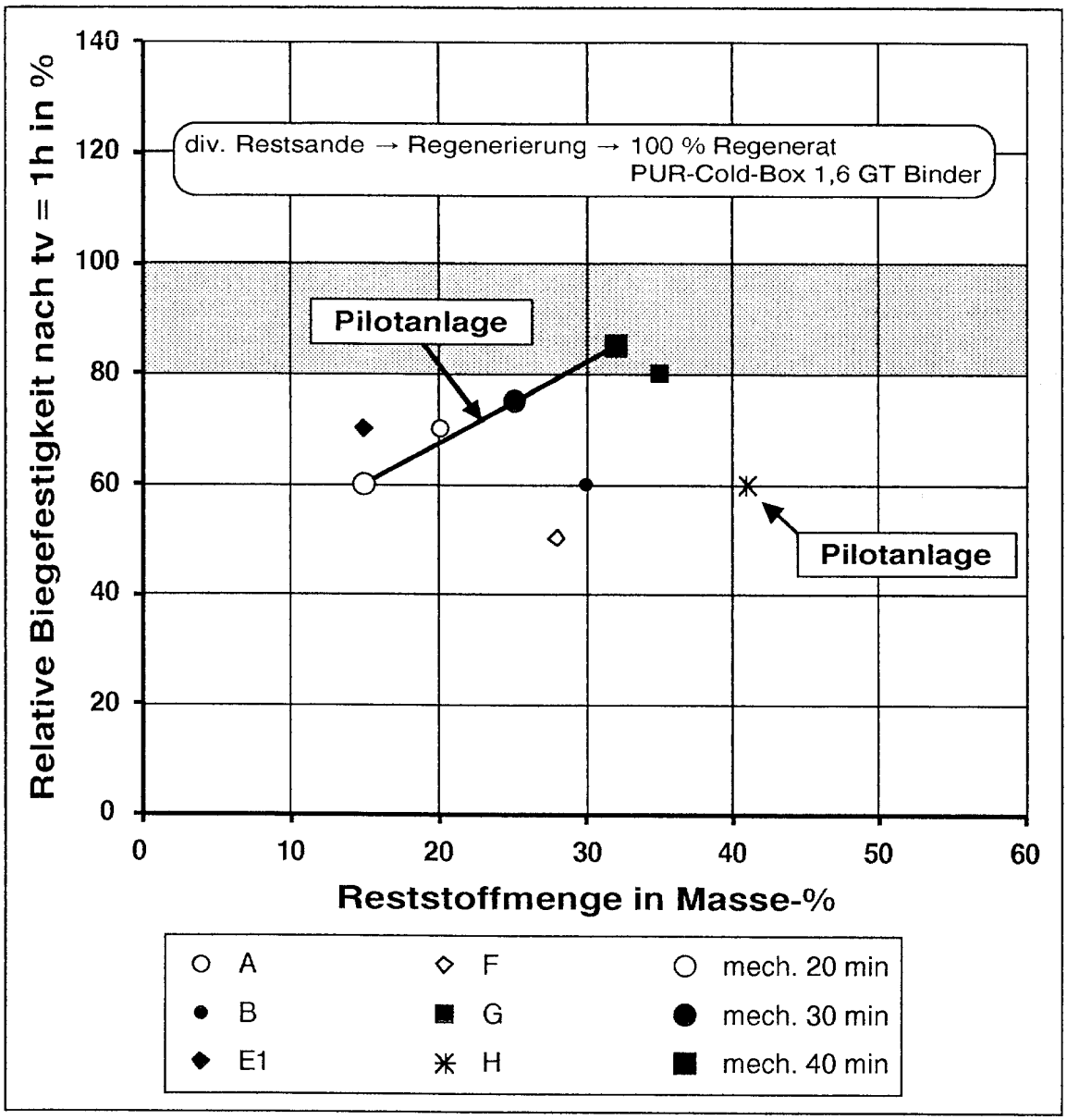


Bild 7: Reststoffmenge und Regeneratqualität sind neben der Restsandzusammensetzung vom angewandten Regenerierungsprinzip abhängig.

Eine mindere Regeneratqualität durch hohe Störstofflasten im Restsand oder unzureichende Regenerierung erfordert höhere Bindergehalte, um anforderungsgerechte Kernfestigkeit zu erzielen. In den Fällen leichter Regeneratmängel kann eine Erhöhung der Bindergehalte bis zu einem gewissen Grade als Hilfsmaßnahme akzeptiert werden. Bei extremen Regeneratmängeln, die einen derart starken Mehrverbrauch bedingen, ist diese Hilfsmaßnahme wirtschaftlich nicht mehr vetretbar [Gärtner-Kaufmann 1993].

Bild 8a zeigt ein Beispiel für die Schwierigkeit, Regeneratmängel durch erhöhte Bindergehalte auszugleichen. Der hier untersuchte Restsand einer Eisengießerei, der zu einem hohen Anteil aus Naßgußsand besteht, wurde in einer Kaltregenerierung durch Schleifen gereinigt. Die Störstofflast des Regenerates ist jedoch immer noch so hoch, daß selbst eine Erhöhung des Bindergehaltes um fast 40% nur einen Festigkeitsanstieg (Festigkeit nach einer Stunde Verarbeitungszeit) von ca. 30% bewirkt.

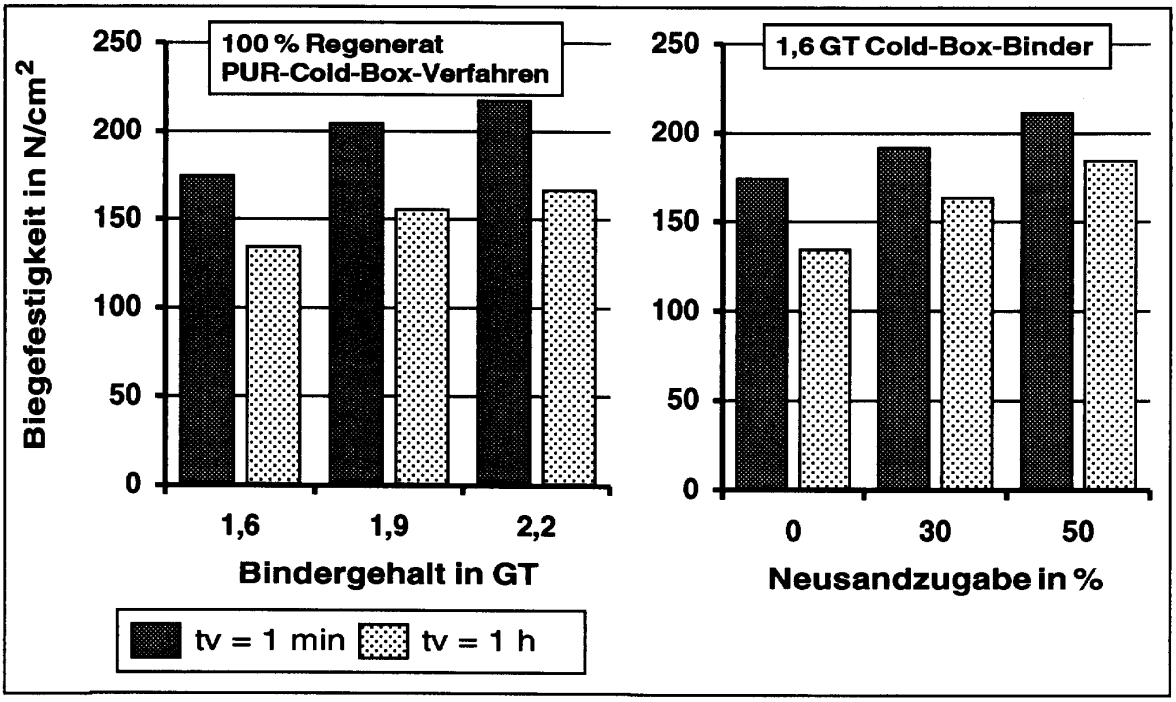


Bild 8: Erhöhung der Bindergehalte (a) und Neusandzusätze (b) können Regeneratmängel kaum ausgleichen

Eine weitere Maßnahme zur Verbesserung der Regeneratqualität, die aber nur bei gut entstaubten Regeneraten wirksam wird, ist der Neusandzusatz. Das Beispiel des oben beschriebenen Regenerates zeigt, daß nennenswerte Verbesserungen kaum möglich sind (**Bild 8b**). Eine Neusandzugabe von 50% hat eine Steigerung der Festigkeit um knapp 40% zur Folge, wobei die Festigkeit immer noch weit unter der Neusandfestigkeit (230 N/cm^2) liegt.

Bild 9 zeigt die Biegefestigkeit, die mit Neusand F 32 und dem thermisch-mechanischen Regenerat A in Abhängigkeit vom Bindergehalt erzielt wird. Gerade Leichtmetallgießereien arbeiten bei der Kernherstellung im Cold-Box-Verfahren mit geringen Bindergehalten. Setzt eine Gießerei z.B. F 32 mit 0,8 Gew.-T. Cold-Box-Binder ein, so werden Sofortfestigkeiten von 100 N/cm² erreicht. Wird bei gleichem Binder und Bindergehalt 100% Regenerat verwendet, so beträgt die Sofortfestigkeit nur noch 45 N/cm² und liegt damit weit unter den geforderten 80% der Neusandfestigkeit, die für eine gleichbleibende Gußstückqualität erforderlich sind. Erst durch eine Erhöhung des Bindergehaltes um fast 30% auf 1,1 Gew.-T. erreicht das Regenerat die Neusandfestigkeit. Neben dem Bindermehrverbrauch kann der Einsatz von Regenerat mit Qualitätsrisiken verbunden sein.

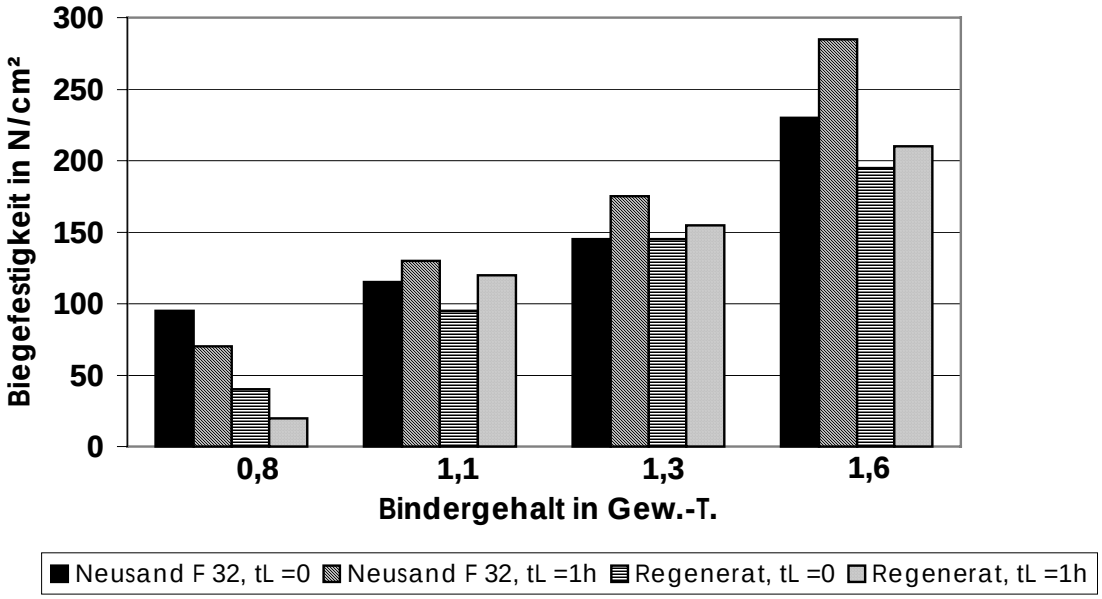


Bild 9: Einfluß des Bindergehaltes auf die Sofortfestigkeit nach t_V = 1min und t_V = 1h bei Einsatz von Neusand F 32 und einem thermisch-mechanischen Regenerat

Wie wichtig der richtige Anwendungsbereich für Regenerate ist, verdeutlicht **Bild 10**. Das thermische Regenerat aus furanharz- und bentonitgebundenem Restsand war, wie die

Ergebnisse in **Bild 2** gezeigt haben, für den Einsatz im PUR-Cold-Box-Verfahren nicht geeignet. Wird dieses Regenerat jedoch im Wasserglas-Verfahren verarbeitet, so erreicht es Neusandqualität.

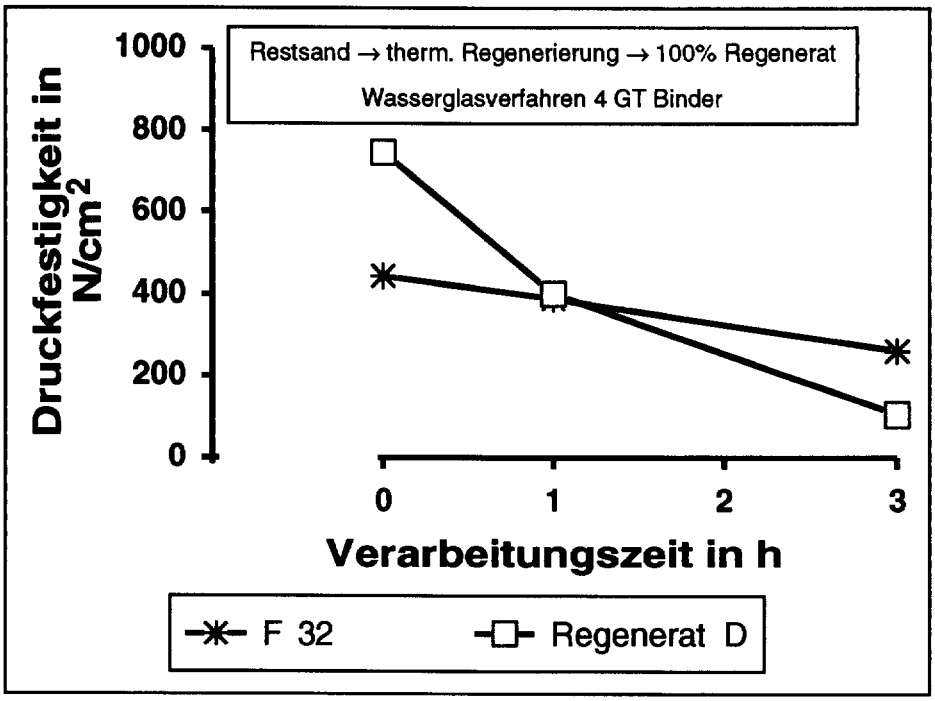


Bild10: Im richtigen Anwendungsbereich erreicht das Regenerat D Neusandfestigkeit (vgl. Bild 2)

Anhang 2

Anhang 2: Tabellen

Analysen der Restsande, der Regenerierungsstäube, der Regenerate und der Umlaufsande aus den untersuchten Firmen mit praxiserprobten Regenerierungsanlagen bzw. aus einer Pilotanlage

Inhaltsverzeichnis:

Tabelle 1: Analysen der Sande und Regenerierungsstäube der Firma A thermisch-mechanische Regenerierung in einer Aluminiumgießerei

Tabelle 2: Analysen der Sande und Regenerierungsstäube der Firma B mechanisch-thermisch-mechanischeRegenerierung in einer Eisengießerei

Tabelle 3: Analysen der Sande der Firma C thermische Regenerierung in einer zentralen Regenerierungsanlage

Tabelle 4: Analysen der Sande und Regenerierungsstäube der Firma D thermische Regenerierung in einer Eisengießerei

Tabelle 5: Analysen der Sande und Regenerierungsstäube der Firma E1 pneumatische Regenerierung in einer Eisengießerei

Tabelle 6: Analysen der Sande und Regenerierungsstäube der Firma E2 mechanische Regenerierung in einer Pilotanlage

Tabelle 7: Analysen der Sande und Regenerierungsstäube der Firma F mechanische Regenerierung in einer Eisengießerei

Tabelle 8: Analysen der Sande und Regenerierungsstäube der Firma G pneumatische Regenerierung in einer Eisengießerei

Tabelle 9: Analysen der Sande und Regenerierstäube der Firma H mechanische Regenerierung in einer Pilotanlage

Tabelle 10: Biegefestigkeit der untersuchten Regenerate im PUR-Cold-Box-Verfahren Einfluß der Kernlagerzeit; 100% Regenerat

Tabelle 11: Biegefestigkeit der untersuchten Regenerate im PUR-Cold-Box-Verfahren Einfluß der Verarbeitungszeit; 100% Regenerat

Tabelle 12: Biegefestigkeit der untersuchten Regenerate im PUR-Cold-Box-Verfahren Einfluß der Kernlagerzeit; 70% Regenerat/ 30% Neusand

Tabelle 13: Biegefestigkeit der untersuchten Regenerate im PUR-Cold-Box-Verfahren Einfluß der Verarbeitungszeit; 70% Regenerat/ 30% Neusand

Tabelle 14 - 21: Chemische Zusammensetzung verschiedener Regenerierungsstäube, einzelner Restsande und Regenerate

Tabelle 1: Analysen der Sande und Regenerierungsstäube der Firma A
thermisch-mechanische Regenerierung in einer Aluminiumgießerei

Beratungsprogramm Baden-Württemberg
Branchengutachten zum Stand der Regenerierungstechnik
Firma: A
Regenerierungprinzip: Verbrennen/Fließbettscheuern

IfG-P-Nr.	95-980	95-982	95-981	95-983	95-984
Kennwert	Restsand	Regenerat therm.-mech.	Staub therm. Regen.	Staub them.-mech.	Umlaufsand Naßgußsand
Wassergehalt in %	0,2	n.b.	n.b.	n.b.	3,9
Glühverlust in %	0,9	0	1,2	1,1	2,2
Schlämmstoffgehalt in %	1,8	0,19	19,6	8,3	13,0
Aktivbentonitgehalt in %	11,1	0,8	1,1	26,8	12,1
Sandanteil in %	95,7	98,8	n.b.	n.b.	85
Oolithisierungsgrad in %	1,8	0,9	n.b.	n.b.	1,6
Mittlere Korngröße in mm	0,21	0,22	n.b.	n.b.	0,22
Feinanteil < 0,125 mm in %	6,6	1,9	n.b.	n.b.	3,9
Stickstoffgehalt in %	0,039	< 0,02	0,021	<0,02	n.b.
Kohlenstoffgehalt in %	0,55	0,025	0,66	0,18	1,11
Schwefelgehalt in %	n.b.	n.b.	< 0,1	< 0,1	0,017
elek. Leitfähigkeit in µS/cm	91	33	n.b.	n.b.	330
pH-Wert	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Relative Biegefestigkeit in% nach t_v = 1h, CB-Verfahren	n.b.	69	n.b.	n.b.	n.b.

Tabelle 2: Analysen der Sande und Regenerierungsstäube der Firma B mechanisch-thermisch-mechanische Regenerierung in einer Eisengießerei

Beratungsprogramm Baden-Württemberg Branchengutachten zum Stand der Regenerierungstechnik **Firma: B** Regenerierungprinzip: Reiben/Verbrennen/Reiben				
IfG-P-Nr.	95-1018	95-1019	95-1021	95-1020
Kennwert	Restsand	Regenerat	Staub	Umlaufsand
Wassergehalt in%	1,9	n.b.	n.b.	n.b.
Glühverlust in%	4,0	0	5,5	2,4
Schlämmstoffgehalt in%	12,1	0,3	30,9	11,0
Aktivbentonitgehalt in%	7,4	0	7,1	5,8
Sandanteil in%	80,7	98,7	n.b.	84,9
Oolithisierungsgrad in%	6,3	0,9	n.b.	3,4
Mittlere Korngröße in mm	0,29	0,28	n.b.	0,30
Feinanteil < 0,125 mm in%	6,6	4,7	n.b.	9,9
Stickstoffgehalt in%	0,052	< 0,02	0,08	n.b.
Kohlenstoffgehalt in%	1,87	n.b.	3,77	1,59
Schwefelgehalt in%	0,037	0,014	0,1	0,039
elek. Leitfähigkeit in µS/cm	310	87	n.b.	310
pH-Wert	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Relative Biegefestigkeit in% nach t_V = 1h, CB-Verfahren	n.b.	60	n.b.	n.b.

Tabelle 3: Analysen der Sande der Firma C
thermische Regenerierung in einer zentralen Regenerierungsanlage

Beratungsprogramm Baden-Württemberg Branchengutachten zum Stand der Regenerierungstechnik **Firma: C** Regenerierungprinzip: Verbrennen			
IfG-P-Nr.	95-1022	95-1023	95-1024
Kennwert	Regenerat O-G	Regenerat O-M	Regenerat O-F
Wassergehalt in%	n.b.	n.b.	n.b.
Glühverlust in%	0	0	0
Schlämmstoffgehalt in%	0,13	0,10	0,20
Aktivbentonitgehalt in%	0	0	0
Sandanteil in%	99,2	99,6	98,8
Oolithisierungsgrad in%	0,6	0,3	1,0
Mittlere Korngröße in mm	0,39	0,30	0,19
Feinanteil < 0,125 mm in%	0,9	0,5	9,9
Stickstoffgehalt in%	< 0,02	< 0,02	< 0,02
Kohlenstoffgehalt in%	0,036	0,025	0,038
Schwefelgehalt in%	0,010	0,009	0,012
elek. Leitfähigkeit in µS/cm	30	29	45
pH-Wert	n.b.	n.b.	n.b.
Relative Biegefestigkeit in% nach t_v = 1h, CB-Verfahren	75	72	45

Tabelle 4: Analysen der Sande und Regenerierungsstäube der Firma D thermische Regenerierung in einer Eisengießerei

Beratungsprogramm Baden-Württemberg

Branchengutachten zum Stand der Regenerierungstechnik

Firma: D

Regenerierungsprinzip: Verbrennen

IfG-P-Nr.	95-964	95-973	95-966	95-972	95-974	95-968
Kennwert	Restsand	Regenerat	Staub 1 Kaltfilter	Staub 2 inerter Staub	Umlaufsand Naßgußsand	Umlaufsand Kaltharz
Wassergehalt in%	11,8	n.b.	n.b.	9,2	2,1	n.b.
Glühverlust in%	12,6	0	0,49	0,35	3,1	2,9
Schlämmstoffgehalt in%	23,0	0,27	14,5	19,3	12,1	0,49
Aktivbentonitgehalt in%	15,2	0	0	0	11,0	n.b.
Sandanteil in%	58,2	92,4	n.b.	n.b.	83,9	n.b.
Oolithisierungsgrad in%	11,7	4,3	n.b.	n.b.	2,9	n.b.
Mittlere Korngröße in mm	0,13	0,16	n.b.	n.b.	0,19	0,21
Feinanteil < 0,125 mm in%	48,8	21,7	n.b.	n.b.	10,7	7,0
Stickstoffgehalt in%	0,26	< 0,02	< 0,02	< 0,02	n.b.	0,095
Kohlenstoffgehalt in%	8,27	0,036	0,40	0,19	1,82	1,97
Schwefelgehalt in%	0,329	0,014	< 0,1	< 0,1	n.b.	0,169
elek. Leitfähigkeit in µS/cm	650	53	n.b.	n.b.	330	310
pH-Wert	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	3,4
Relative Biegefestigkeit in% t_v = 1 h , CB-Verfahren	n.b.	3	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.

Tabelle 5: Analysen der Sande und Regenerierungsstäube der Firma E1 pneumatische Regenerierung in einer Eisengießerei

Beratungsprogramm Baden-Württemberg Branchengutachten zum Stand der Regenerierungstechnik **Firma: E1** Regenerierungsprinzip: Luftstrahlscheuern			
IfG-P-Nr.	95-985	95-986	95-987
Kennwert	Restsand	Regenerat	Staub
Wassergehalt in%	0	n.b.	n.b.
Glühverlust in%	1,8	0,4	8,1
Schlämmstoffgehalt in%	3,8	0,3	27,5
Aktivbentonitgehalt in%	3,4	0	12,9
Sandanteil in%	n.b.	n.b.	n.b.
Oolithisierungsgrad in%	n.b.	n.b.	n.b.
Mittlere Korngröße in mm	0,28	0,31	n.b.
Feinanteil < 0,125 mm in%	3,1	0,9	n.b.
Stickstoffgehalt in%	0,053	0,024	0,24
Kohlenstoffgehalt in%	1,21	0,43	6,11
Schwefelgehalt in%	n.b.	n.b.	< 0,1
elek. Leitfähigkeit in µS/cm	170	48	n.b.
pH-Wert	n.b.	n.b.	n.b.
Relative Biegefestigkeit in% nach t_v = 1h, CB-Verfahren	n.b.	70	n.b.

Tabelle 6: Analysen der Sande und Regenerierungsstäube der Firma E2
mechanische Regenerierung in einer Pilotanlage

Beratungsprogramm Baden-Württemberg

Branchengutachten zum Stand der Regenerierungstechnik

Firma: E2

Regenerierungprinzip: Schleifen

IfG-P-Nr.	95-985	95-988	95-990	95-989	95-991	95-993	95-992	95-994	95-996	95-995
Kennwert	Rest-sand	Reg. 1 20 min	Staub 1 Zyklon	Staub 1* Feinfilter	Reg. 2 30 min	Staub 2 Zyklon	Staub 2* Feinfilter	Reg. 3 40 min	Staub 3 Zyklon	Staub3* Feinfilter
Wassergehalt in %	0	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Glühverlust in %	1,8	0,3	11,0	17,2	0,2	9,3	18,0	0	3,8	15,1
Schlämmstoffgehalt in %	3,8	0,8	40,7	99,3	0,36	41,6	99,2	0,4	38,4	99,7
Aktivbentonitgehalt in %	3,9	0	31,3	32,6	0	33,2	33,7	0	37,4	36,6
Sandanteil in %	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Oolithisierungsgrad in %	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Mittlere Korngröße in mm	0,28	0,28	n.b.	n.b.	0,28	n.b.	n.b.	0,28	n.b.	n.b.
Feinanteil < 0,125 mm in %	3,1	2,9	n.b.	n.b.	4,0	n.b.	n.b.	3,8	n.b.	n.b.
Stickstoffgehalt in %	0,053	< 0,02	0,23	0,35	< 0,02	0,19	0,20	< 0,02	0,08	0,35
Kohlenstoffgehalt in %	1,21	0,34	7,18	10,7	0,27	6,34	11,1	0,19	2,32	9,35
Schwefelgehalt in %	n.b.	n.b.	.< 0,1	0,1	< 0,1	< 0,1	0,1	< 0,1	< 0,1	0,1
elek. Leitfähigkeit in mS/cm	170	55	n.b.	n.b.	36	n.b.	n.b.	26	n.b.	n.b.
pH-Wert	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Relative Biegefestigkeit in % nach t_V = 1h, CB-Verfahren	n.b.	60	n.b.	n.b.	75	n.b.	n.b.	85	n.b.	n.b.

Tabelle 7: Analysen der Sande und Regenerierungsstäube der Firma F
mechanische Regenerierung in einer Eisengießerei

Beratungsprogramm Baden-Württemberg Branchengutachten zum Stand der Regenerierungstechnik **Firma: F** Regenerierungprinzip: Schleifen					
IfG-P-Nr.	95-1001	95-1002	95-1004	95-1003	95-1005
Kennwert	Restsand	Regenerat	Staub 1 Zyklon	Staub 2 Feinfilter	Umlaufsand
Wassergehalt in%	0,7	n.b.	n.b.	n.b.	3,8
Glühverlust in%	4,2	0,7	14,0	21,4	4,2
Schlämmstoffgehalt in%	12,2	1,4	46,4	99,0	13,4
Aktivbentonitgehalt in%	9,2	1,1	24,2	58,4	10,8
Sandanteil in%	80,7	96,7	n.b.	n.b.	78,3
Oolithisierungsgrad in%	5,1	1,3	n.b.	n.b.	5,9
Mittlere Korngröße in mm	0,24	0,25	n.b.	n.b.	0,24
Feinanteil < 0,125 mm in%	6,9	3,5	n.b.	n.b.	10,7
Stickstoffgehalt in%	0,078	< 0,02	0,20	0,30	0,059
Kohlenstoffgehalt in%	2,92	0,48	8,46	10,3	2,45
Schwefelgehalt in%	0,055	0,016	0,1	0,2	0,042
elek. Leitfähigkeit in µS/cm	380	88	n.b.	n.b.	450
pH-Wert	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Relative Biegefestigkeit in% nach t_v = 1h, CB-Verfahren	n.b.	50	n.b.	n.b.	n.b.

Tabelle 8: Analysen der Sande und Regenerierungsstäube der Firma G pneumatische Regenerierung in einer Eisengießerei

Beratungsprogramm Baden-Württemberg Branchengutachten zum Stand der Regenerierungstechnik **Firma: G** Regenerierungsprinzip: Luftstrahlscheuern				
IfG-P-Nr.	95-997	95-998	95-999	95-1000
Kennwert	Restsand	Regenerat	Staub	Umlaufsand
Wassergehalt in%	0,9	n.b.	n.b.	3,6
Glühverlust in%	4,3	0,2	15,7	5,6
Schlämmstoffgehalt in%	11,0	0,2	24,0	10,5
Aktivbentonitgehalt in%	8,6	0,7	15,2	13,1
Sandanteil in%	81,3	98,3	n.b.	86,6
Oolithisierungsgrad in%	5,3	1,3	n.b.	2,0
Mittlere Korngröße in mm	0,23	0,24	n.b.	0,26
Feinanteil < 0,125 mm in%	12,0	9,0	n.b.	4,5
Stickstoffgehalt in%	0,098	< 0,2	0,18	0,14
Kohlenstoffgehalt in%	3,45	0,28	7,29	5,12
Schwefelgehalt in%	0,117	0,019	0,3	0,113
elek. Leitfähigkeit in µS/cm	390	52	n.b.	210
pH-Wert	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Relative Biegefestigkeit in% nach t_v = 1h, CB-Verfahren	n.b.	80	n.b.	n.b.

Tabelle 9: Analysen der Sande und Regenerierstäube der Firma H
mechanische Regenerierung in einer Pilotanlage

Beratungsprogramm Baden-Württemberg Branchengutachten zum Stand der Regenerierungstechnik **Firma: H** Regenerierungprinzip: Schleifen				
IfG-P-Nr.	95-976	95-977	95-979	95-978
Kennwert	Restsand	Regenerat	Staub 1 Zyklon	Staub 2 Feinfilter
Wassergehalt in%	1,6	n.b.	n.b.	n.b.
Glühverlust in%	11,1	2,0	27,2	21,3
Schlämmstoffgehalt in%	9,9	0,66	42,1	98,1
Aktivbentonitgehalt in%	8,1	0,8	20,3	33,9
Sandanteil in%	77,1	96,9	n.b.	n.b.
Oolithisierungsgrad in%	4,0	0,8	n.b.	n.b.
Mittlere Korngröße in mm	0,26	0,25	n.b.	n.b.
Feinanteil < 0,125 mm in%	12,2	11,6	n.b.	n.b.
Stickstoffgehalt in%	0,17	0,039	0,37	0,26
Kohlenstoffgehalt in%	9,13	1,78	20,0	13,01
Schwefelgehalt in%	0,087	0,025	0,2	0,2
elek. Leitfähigkeit in µS/cm	220	51	n.b.	n.b.
pH-Wert	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Relative Biegefestigkeit in% nach t_v = 1h, CB-Verfahren	n.b.	60	n.b.	n.b.

Tabelle 10: Biegefestigkeit der untersuchten Regenerate im PUR-Cold-Box-Verfahren
Einfluß der Kernlagerzeit; 100% Regenerat

Beratungsprogramm Baden-Württemberg
Branchengutachten zum Stand der Regenerierungstechnik
Biegefestigkeit verschiedener Regenerate aus praxisüblichen Regenerierungsanlagen im PUR-Cold-Box-Verfahren
Einfluß der Kernlagerzeit
100 % Regenerat; 0,8 GT Harz, 0,8 GT Isocyanat; Begasungszeit: 30 s; Katalysator: 0,2 ml DMEA

Probenbezeichnung	F 32	H 32	G	F	A	D	H	E1	E2a	E2b	E2c	B	C1	C2	C3
IfG-P-Nr. 95-			998	1002	982	973	977	986	988	991	994	1019	1024	1023	1022
Regenerierungsprinzip			IV	V	I	III	V*)	IV	V*)	V*)	V*)	II	III	III	III
Kernlagerzeit in h	Biegefestigkeit in N/cm^2														
0	239	275	253	140	213	29	175	228	207	241	253	231	104	187	217
0,5	341	359	336	155	305	39	217	289	253	319	345	245	126	249	333
1	355	395	341	181	317	26	217	297	260	324	367	256	160	292	315
2	379	414	341	180	333	31	224	298	267	353	380	273	203	297	341
4	391	412	342	166	334	29	220	309	285	357	384	281	207	300	329
6	400	427	349	173	343	30	226	327	279	360	399	289	210	318	323
24	416	452	364	187	379	39	243	329	308	385	439	306	250	338	372

Regenerierungsprinzip:
- I Verbrennen/Fließbettscheuern
- II Reiben/Verbrennen/Reiben
- III Verbrennen
- IV Luftstrahlscheuern
- V Schleifen

*) Pilotanlage

Tabelle 11: Biegefestigkeit der untersuchten Regenerate im PUR-Cold-Box-Verfahren
Einfluß der Verarbeitungszeit; 100% Regenerat

Beratungsprogramm Baden-Württemberg
Branchengutachten zum Stand der Regenerierungstechnik
Biegefestigkeit verschiedener Regenerate aus praxisüblichen Regenerierungsanlagen im PUR-Cold-Box-Verfahren
Einfluß der Sandlagerzeit (Verarbeitungszeit)
100 % Regenerat; 0,8 GT Harz, 0,8 GT Isocyanat; Begasungszeit: 30 s; Katalysator: 0,2 ml DMEA

Probenbezeichnung	F 32	H 32	G	F	A	D	H	E1	E2a	E2b	E2c	B	C1	C2	C3
IfG-P-Nr. 95-			998	1002	982	973	977	986	988	991	994	1019	1024	1023	1022
Regenerierungsprinzip			IV	V	I	III	V*)	IV	V*)	V*)	V*)	II	III	III	III
Verarbeitungszeit in h	Biegefestigkeit in N/cm^2														
0	239	275	253	140	213	29	175	228	207	241	253	231	104	187	217
0,5	243	308	199	117	192	12	171	209	182	229	251	215	106	186	229
1	229	292	181	108	157	8	135	199	172	214	249	170	110	209	220
2	230	273	158	106	149	0	118	165	140	193	199	129	100	177	204
4	212	230	118	59	115	0	84	129	112	92	142	78	98	162	142
6	209	224	85	37	77	0	68	83	71	65	100	43	82	147	127

Regenerierungsprinzip:
- I Verbrennen/Fließbettscheuern
- II Reiben/Verbrennen/Reiben
- III Verbrennen
- IV Luftstrahlscheuern
- V Schleifen

*) Pilotanlage

Tabelle 12: Biegefestigkeit der untersuchten Regenerate im PUR-Cold-Box-Verfahren
Einfluß der Kernlagerzeit; 70% Regenerat/ 30% Neusand

Beratungsprogramm Baden-Württemberg Branchengutachten zum Stand der Regenerierungstechnik Biegefestigkeit verschiedener Regenerate aus praxisüblichen Regenerierungsanlagen im PUR-Cold-Box-Verfahren - Einfluß der Kernlagerzeit 70 % Regenerat, 30 % Neusand; 0,8 GT Harz, 0,8 GT Isocyanat; Begasungszeit: 30 s; Katalysator: 0,2 ml DMEA												
Proben-bezeichnung	F 32	H 32	G	F	A	D	H	E1	E2a	E2b	E2c	B
IfG-P-Nr. 95-			998	1002	982	973	977	986	988	991	994	1019
Regenerie-rungsprinzip			IV	V	I	III	V*)	IV	V*)	V*)	V*)	II
Kernlagerzeit in h	Biegefestigkeit in N/cm^2											
0	239	275	250	160	249	49	192	215	211	268	279	n.b.
0,5	341	359	344	197	341	62	257	278	277	356	382	n.b.
1	355	395	363	201	320	77	260	288	288	359	399	n.b.
2	379	414	353	220	362	93	254	303	293	373	420	n.b.
4	391	412	366	224	356	107	252	303	313	374	428	n.b.
6	400	427	402	222	377	85	259	307	318	392	424	n.b.
24	416	452	408	233	398	106	275	331	334	390	431	n.b.

Regenerierungsprinzip:
- I Verbrennen/Fließbettscheuern
- II Reiben/Verbrennen/Reiben
- III Verbrennen
- IV Luftstrahlscheuern
- V Schleifen

*) Pilotanlage

Tabelle 13: Biegefestigkeit der untersuchten Regenerate im PUR-Cold-Box-Verfahren
Einfluß der Verarbeitungszeit; 70% Regenerat/ 30% Neusand

Beratungsprogramm Baden-Württemberg
Branchengutachten zum Stand der Regenerierungstechnik
Biegefestigkeit verschiedener Regenerate aus praxisüblichen Regenerierungsanlagen im PUR-Cold-Box-Verfahren
Einfluß der Sandlagerzeit (Verarbeitungszeit)
70 % Regenerat; 30 % Neusand, 0,8 GT Harz, 0,8 GT Isocyanat; Begasungszeit: 30 s; Katalysator: 0,2 ml DMEA

Proben-bezeichnung	F 32	H 32	G	F	A	D	H	E1	E2a	E2b	E2c	B
IfG-P-Nr. 95-			998	1002	982	973	977	986	988	991	994	1019
Regenerierungsprinzip			IV	V	I	III	V*)	IV	V*)	V*)	V*)	II
Verarbeitungszeit in h	Biegefestigkeit in N/cm^2											
0	239	275	250	160	249	49	192	215	211	268	279	n.b.
0,5	243	308	246	146	242	37	186	215	205	247	262	n.b.
1	229	292	235	139	205	29	164	200	186	226	245	n.b.
2	230	273	206	113	183	17	143	187	161	193	212	n.b.
4	212	230	156	91	151	11	125	127	149	153	186	n.b.
6	209	224	134	69	90	4	104	102	116	140	160	n.b.

Regenerierungsprinzip:
- I Verbrennen/Fließbettscheuern
- II Reiben/Verbrennen/Reiben
- III Verbrennen
- IV Luftstrahlscheuern
- V Schleifen

*) Pilotanlage

Tabelle 14: Chemische Zusammensetzung der Regenerierungsstäube der Firma A

Beratungsprogramm Baden-Württemberg Branchengutachten zum Stand der Regenerierungstechnik **Firma A**		
IfG-P-Nr.	95-981	95-983
Chemische Zusammensetzung in%	Staub therm. Regenerierung	Staub mech. Regenerierung
SiO_2	82,7	90,8
CaO	3,3	0,7
Al_2O_3	9,5	4,4
Fe ges.	0,8	0,7
MnO	< 0,1	< 0,1
MgO	1,2	0,9
TiO_2	0,3	0,2
Cr_2O_3	< 0,1	< 0,1
S	< 0,1	< 0,1
Schamottegehalt ca.	15	7

Tabelle 15: Chemische Zusammensetzung des Regenerierungsstaubes der Firma B

Beratungsprogramm Baden-Württemberg Branchengutachten zum Stand der Regenerierungstechnik **Firma B**	
IfG-P-Nr.	95-1021
Chemische Zusammensetzung in%	Staub mech.-therm.-mech. Regenerierung
SiO_2	73,4
CaO	1,7
Al_2O_3	13,0
Fe ges.	2,5
MnO	0,1
MgO	1,9
TiO_2	0,4
Cr_2O_3	< 0,1
S	0,1
Schamottegehalt ca.	20

Tabelle 16: Chemische Zusammensetzung der Regenerierungsstäube der Firma D

Beratungsprogramm Baden-Württemberg Branchengutachten zum Stand der Regenerierungstechnik **Firma D**			
IfG-P-Nr.	95-966	95-972	95-970
Chemische Zusammensetzung in%	Staub Kaltfilter	Inertstaub therm. Regenerierung	Staub Kaltharzregenerierung
SiO_2	80,6	82,5	85,5
CaO	1,1	0,9	0,1
Al_2O_3	7,3	5,8	0,9
Fe ges.	5,9	6,3	4,1
MnO	0,1	0,2	0,1
MgO	1,9	1,9	0,6
TiO_2	0,2	0,2	< 0,1
Cr_2O_3	< 0,1	< 0,1	< 0,1
S	< 0,1	< 0,1	0,6
Schamottegehalt ca.	17	15,4	6

Tabelle 17: Chemische Zusammensetzung des Restsandes, des Regenerates und des Staubes aus der Kaltregenerierung der Firma E

Beratungsprogramm Baden-Württemberg Branchengutachten zum Stand der Regenerierungstechnik **Firma E1**			
IfG-P-Nr.	95-985	95-986	95-987
Chemische Zusammensetzung in%	Restsand zur Regenerierung	Regenerat	Staub Kaltregenerierung
SiO_2	83,3	80,3	71,8
CaO	0,2	0,1	0,9
Al_2O_3	3,1	3,0	6,8
Fe ges.	3,0	4,0	4,1
MnO	< 0,1	0,1	0,1
MgO	1,7	2,2	2,2
TiO_2	0,1	0,1	0,2
Cr_2O_3	6,4	0,9	4,7
S	< 0,1	< 0,1	< 0,1

Tabelle 18: Chemische Zusammensetzung der Regenerierungsstäube der Firma E2

Beratungsprogramm Baden-Württemberg Branchengutachten zum Stand der Regenerierungstechnik **Firma E2**									
IfG-P-Nr. 95-	988	989	990	991	992	993	994	995	996
Chemische Zusammen-setzung in %	Regenerat 20min	Staub Feinfilter 20min	Staub Zyklon 20min	Regenerat 30min	Staub Feinfilter 30min	Staub Zyklon 30min	Regenerat 40min	Staub Feinfilter 40min	Staub Zyklon 40min
SiO_2	81,1	62,2	67,8	85,1	63,2	71,4	84,0	62,7	78,7
CaO	0,1	1,5	1,6	0,1	1,4	1,3	0,1	1,4	0,5
Al_2O_3	3,0	10,4	8,8	2,4	10,3	7,4	2,4	9,9	4,5
Fe ges.	3,6	3,4	3,7	3,2	2,7	3,2	3,2	5,6	3,5
MnO	0,1	< 0,1	0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,1	0,1
MgO	2,0	2,4	2,6	1,8	2,3	2,3	1,8	2,5	2,1
TiO_2	0,1	0,3	0,2	0,1	0,4	0,2	0,1	0,3	0,2
Cr_2O_3	8,2	1,7	3,1	7,2	1,0	3,3	7,6	2,8	6,5
S	< 0,1	0,1	< 0,1	< 0,1	0,1	< 0,1	< 0,1	0,1	< 0,1

Tabelle 19: Chemische Zusammensetzung der Regenerierungsstäube der Firma F

Beratungsprogramm Baden-Württemberg Branchengutachten zum Stand der Regenerierungstechnik **Firma F**		
IfG-P-Nr.	95-1003	95-1004
Chemische Zusammensetzung in%	Staub Feinfilter	Staub Zyklon
SiO_2	56,5	71,3
CaO	2,1	2,0
Al_2O_3	14,1	9,4
Fe ges.	2,5	1,7
MnO	0,1	0,1
MgO	3,1	2,2
TiO_2	0,6	0,5
Cr_2O_3	< 0,1	0,1
S	0,2	0,1
Schamottegehalt ca.	23	16

Tabelle 20: Chemische Zusammensetzung des Regenerierungsstaubes der Firma G

Beratungsprogramm Baden-Württemberg Branchengutachten zum Stand der Regenerierungstechnik **Firma G**	
IfG-P-Nr.	95-999
Chemische Zusammensetzung in%	Staub Regenerierungsanlage
SiO_2	69,6
CaO	1,4
Al_2O_3	7,8
Fe ges.	7,4
MnO	0,2
MgO	1,6
TiO_2	0,3
Cr_2O_3	< 0,1
S	0,3
Schamottegehalt ca.	19

Tabelle 21: Chemische Zusammensetzung der Regenerierungsstäube der Firma H

Beratungsprogramm Baden-Württemberg Branchengutachten zum Stand der Regenerierungstechnik **Firma H**		
IfG-P-Nr.	95-978	95-979
Chemische Zusammensetzung in%	Staub Feinfilter	Staub Zyklon
SiO_2	62,7	63,0
CaO	1,5	1,3
Al_2O_3	11,0	7,0
Fe ges.	1,7	0,9
MnO	< 0,1	< 0,1
MgO	2,2	1,5
TiO_2	0,5	0,3
Cr_2O_3	< 0,1	< 0,1
S	0,2	0,2
Schamottegehalt ca.	17	11

Teil B

Einführung

Im Rahmen des „Beratungsprogramms zur Reststoffvermeidung und -verwertung in Baden-Württemberg wurden in 25 Gießereien Baden-Württembergs die organisatorischen und technischen Möglichkeiten zur Vermeidung, Verminderung und Verwertung der anfallenden Abfälle untersucht. Einbezogen wurden hierbei nicht nur abfallabgabepflichtige Abfälle sondern alle relevanten Abfälle und betriebliche Abwässer aus dem Bereich Sandguß, um den Betrieben ein umfassendes Minderungskonzept für die in größeren Mengen anfallenden Abfälle zu bieten. Nicht berücksichtigt wurden Abfälle aus dem Bereich Schmelzen und der nicht betriebstypischen Nachbearbeitung des Gusses; die Minderungspotentiale der hierbei anfallenden Abfälle werden im Rahmen anderer Branchengutachten behandelt oder sind bereits ausreichend ermittelt. Nicht betrachtet werden auch die in wesentlich geringerer Menge anfallenden Abfälle aus Kokillen- und Druckgießereien.

In enger Zusammenarbeit mit den Betrieben wurden das jeweilige Mengen- und Verfahrensgerüst sowie typische Randbedingungen der Fertigung aufgenommen und daraus Maßnahmen abgeleitet. Für jeden Betrieb wurde ein Einzelbericht erstellt, der mit dem Projektkoordinator Lahmeyer International GmbH abgestimmt wurde. Daraufhin erfolgte ein Abstimmungsverfahren mit Betrieb und zuständiger Überwachungsbehörde, um einen Konsens über notwendige Maßnahmen zu erreichen.

Im vorliegenden Bericht werden zunächst Produktion und Verfahren der untersuchten Gießereien mit den Einsatzstoffen für die Form- und Kernherstellung und den genehmigten Kapazität beschrieben. Darauf folgen in Kapitel 2 Auswertungen zum Abfallaufkommen sowie zur Zusammensetzung und zum Verbleib der Abfälle. Die empfohlenen Maßnahmen zur Vermeidung, Verminderung und Verwertung der Abfälle (VVV-Maßnahmen) werden in Kapitel 3 erläutert und die Potentiale und Umsetzungszeiträume zusammengestellt. Die einzelnen Maßnahmen sind gegliedert nach dem in Teil A vorgegebenen Schema. Anhand von Praxisbeispielen in Kapitel 4 können geeignete VVV-Maßnahmen für bestimmte Gießereitypen und Verfahrensbedingungen abgeleitet werden.

1 Untersuchte Gießereien

Von den 25 untersuchten Gießereien fertigen 15 Eisenguß und 9 Aluminiumsandguß; ein Betrieb gießt Bronze, die zusätzlich im geringen Umfang auch in 2 Eisengießereien gegossen wird (**Bild 1**) und (**Bild 2**).

Bild 1: Untersuchte Gießereien nach Gußart

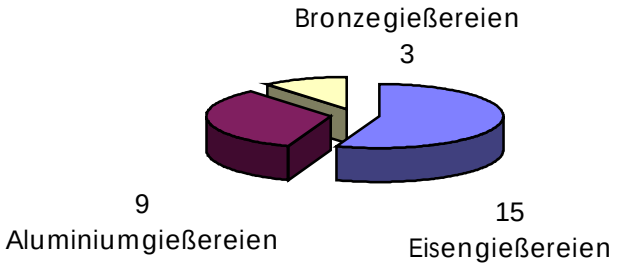
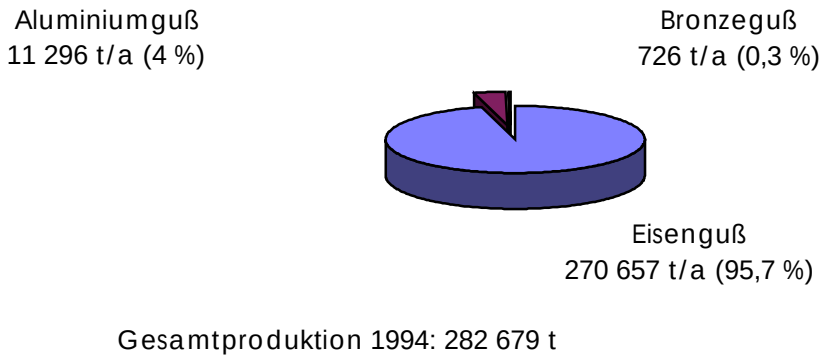


Bild 2: Erfaßte Produktion (1994)



Gesamtproduktion 1994: 282 679 t

In Baden-Württemberg wurden 1994 insgesamt 439 633 t Eisenguß und 52 105 Aluminiumguß als Sand- und Kokillenguß hergestellt. Die Produktion Aluminiumsandguß betrug 17 850 t. Die Untersuchung erfaßt somit 61,5 % dieser Eisengußproduktion und 69 % der Aluminiumsandgußproduktion.

Das Größenspektrum der untersuchten Gießereien umfaßt die weite Spanne der hauptsächlich mittelständisch strukturierten Betriebe. Von den 15 Eisengießereien erzeugten

- 6 Betriebe unter 3 000 t/a Guß,
- 5 Betriebe zwischen 3 000 und 15 000 t/a Guß,
- 4 Betriebe über 15 000 t/a Guß.

Aluminiumgießereien wiesen deutlich geringere aber ebenfalls weit gespannte Betriebsgrößen auf

- 6 Betriebe erzeugten weniger als 1 000 t/a Sandguß,
- 3 Gießereien zwischen 1 000 und 4 000 t/a Sandguß.

1.1 Eingesetzte Produktionsverfahren

1.1.1 Formherstellung

Die größeren Betriebe fertigten Serienguß auf automatischen Formanlagen mit tongebundenem Formsand. Diese Betriebe entwickeln sich zu Systemlieferanten für den Automobil- und Maschinenbau; die Fertigung ist eng mit oft wenigen Abnehmern verknüpft. Auch die kleineren und mittleren Betriebe formen mit Formmaschinen in tongebundenem Formsand; die Serien sind kleiner und es wird Kundenguß für viele Abnehmer erzeugt. Vertreten war auch eine Gießerei, die Großguß nach dem Kaltharzverfahren herstellt. Dieses Verfahren wird in vielen mittelständischen Gießereien neben der Maschinenformerei zur Herstellung von Einzelstücken angewendet (**Tabelle 1**).

Tabelle 1: Verteilung der Produktionsverfahren zur Formherstellung

	Anzahl Betriebe mit		
Formverfahren	**Eisenguß**	**Aluminiumguß**	**Bronzeguß**
Naßgußverfahren mit			
• Formautomaten (Großserien)	9	4	0
• Formmaschinen (Kleinserien)	5	4	2
• Handformen (Einzelstücke)	1	1	
Kaltharzverfahren in			
• Einzelfertigung	6	3	1
• Kleinserienfertigung	2	0	0

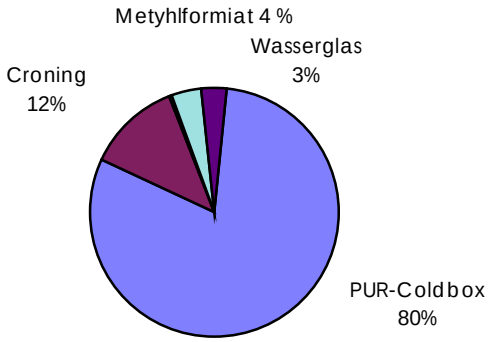
In allen Betrieben bis auf 2 Kleingießereien wird Formsand im Kreislauf geführt und wiederverwendet. Die umlaufende Formsandmenge betrug in den untersuchten Betrieben 4,4 Millionen t/a.

Einige der untersuchten Aluminiumgießereien fertigen neben Sandguß auch Kokillen- und Druckguß allerdings im geringeren Umfang. Eine Eisengießerei fertigt zusätzlich nach dem Schleudergußverfahren.

1.1.2 Kernfertigung

Alle untersuchten Gießereien mit Ausnahme einer Eisengießerei formen die Innenkonturen der Gußstücke mit sogenannten Kernen aus. Diese werden aus Quarzsand mit Kunstharzbindern hauptsächlich nach dem PUR-Colbox-Verfahren und weniger nach dem Croning- und dem Methylformiat-Verfahren gefertigt (Teil A, Kap. 2.3.3, S. A-32-34). In sehr vielen Aluminiumgießereien ist auch das Wasserglasverfahren mit einem anorganischen Bindemittel gebräuchlich (**Bild 3**). 80 % der Kerne wurden nach dem PUR-Coldbox-Verfahren und 12 % nach dem Croning-Verfahren hergestellt. Die anderen Kernarten z. B. Wasserglaskerne sind besonders in kleineren Betrieben weit verbreitet und deshalb trotz des geringen Gesamtanteils zu beachten.

Bild 3: Verteilung der Kernarten in den 25 Gießereien

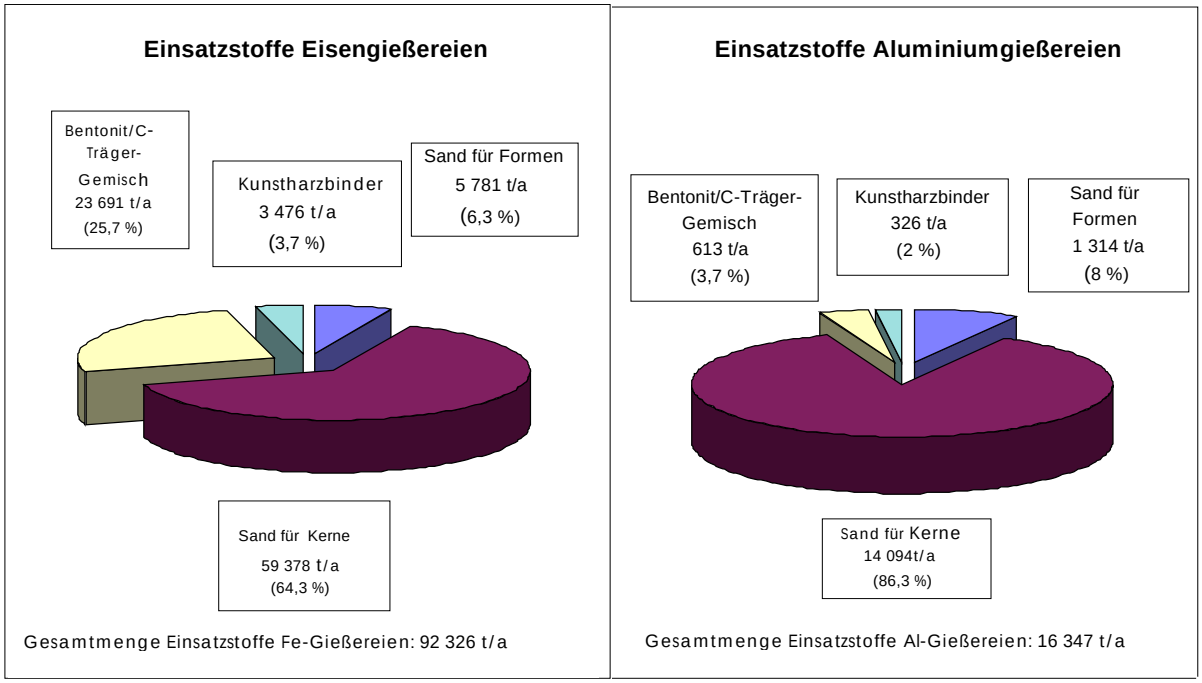


Die meisten Gießereien verwenden mehrere Kernfertigungsverfahren z. B. Wasserglas- und PUR-Coldbox-Kerne. Größere Betriebe beschränken sich i. d. R. auf ein Verfahren.

1.1.3 Einsatzstoffe für die Form- und Kernherstellung

Zum Auffrischen des im Kreislauf geführten Formsandes werden verbrauchte Bestandteile, z. B. Bentonit und Kohlenstaub, ersetzt. In den untersuchten Gießereien waren dies im Jahre 1994 23691 t/a für Eisenguß und 613 t/a für Aluminiumguß. Neusand wurde nur im geringen Umfang (5781 t/a bei Eisenguß und 1314 t/a bei Aluminiumguß) und nur in einzelnen Betrieben zugegeben (**Bild 4**).

Bild 4: Einsatzstoffe in den untersuchten Eisen- und Aluminiumgießereien



Auch die verbrauchte Menge an Kunstharzbinder für Kerne und Formen ist mit 3,7 und 2 % der Gesamteinsatzstoffe gering. Den **größten Anteil** mit 59378 t/a oder 64,3 % bei Eisenguß und 14094 t/a oder 86,3 % bei Aluminium macht **Neusand für Kerne** aus. Dieser bestimmt im wesentlichen die Abfallmenge, wenn eine Rückführung und Wiederverwendung des Kernsandes nicht möglich ist.

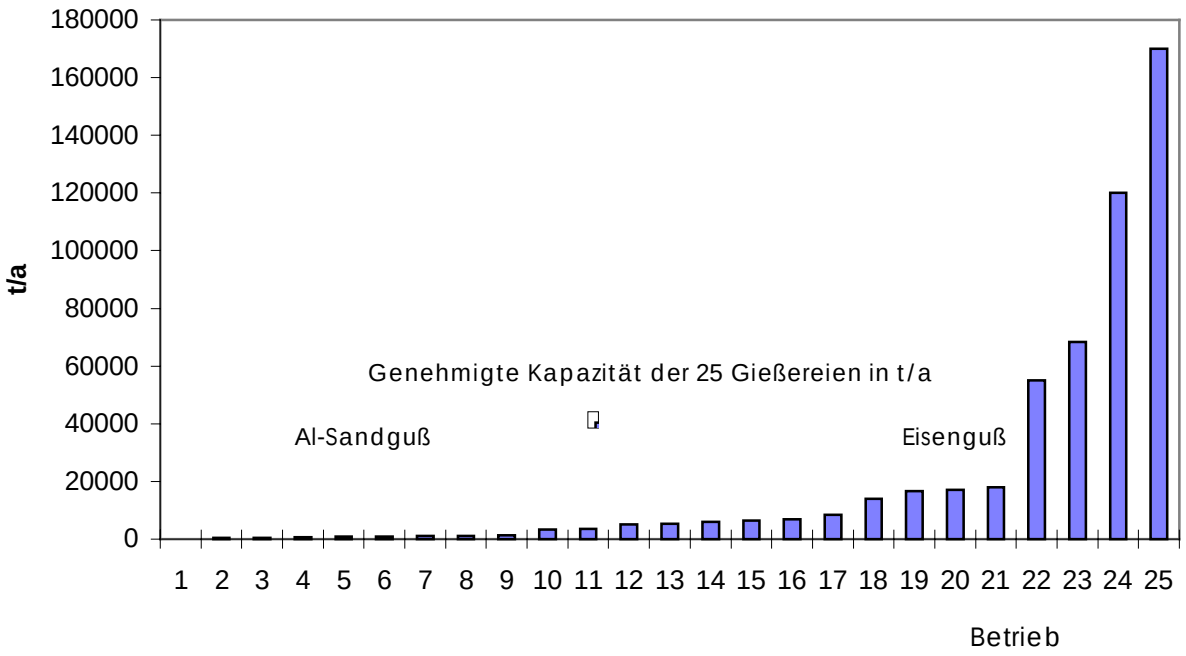
1.2 Genehmigte, installierte und tatsächlich mögliche Kapazitäten

Es handelt sich ausnahmslos um genehmigungsbedürftige Anlagen nach dem BImSchG. Die genehmigten Produktionskapazitäten wurden einheitlich als Jahresmengen der Gußprodukte definiert. Soweit nur die Schmelzleistung genehmigt war, wurde diese um den Kreislaufanteil, der üblicherweise 30 bis 50 % der Schmelze umfaßt, vermindert und durch Multiplikation mit der genehmigten Betriebszeit die Jahreskapazität errechnet.

Diese lag im Jahre 1994 in den 25 Gießereien bei rd. 530 000 t/a, wobei rd. 75 % dieser Kapazität in 4 Eisengießereien genehmigt ist (**Bild 5**). Bei Eisenguß betrug die genehmigte Kapazität bezogen auf guten Guß in

- 4 Betrieben unter 5 000 t/a,
- 3 Betrieben zwischen 5 000 und 10 000 t/a,
- 4 Betrieben zwischen 10 000 und 50 000 t/a,
- 4 Betrieben über 50 000 t/a.

Bild 5: Verteilung der Kapazitäten



Da jedoch oft im Schmelzbetrieb oder in der übrigen Gießerei die Anlagentechnik nicht voll ausgebaut war oder auch zur Ausschöpfung der genehmigten Kapazität längere Betriebszeiten einzelner Anlagenteile erforderlich sind, ergab sich eine installierte Kapazität von rd. 450 000 t/a. Diese war im Jahre 1994 zu 63 % ausgeschöpft.

Aluminiumguß wurde in kleineren Einheiten erzeugt mit Kapazitäten (Sandguß) in

- 5 Betrieben kleiner 1 000 t/a,
- 4 Betrieben größer 1 000 t/a.

2 Derzeitige Abfallsituation

2.1 Art und Menge der derzeitigen Abfälle

In den 25 untersuchten Gießereien fielen bei den einzelnen Fertigungsschritten die in **Tabelle 2** zusammengestellten Abfallarten an.

Tabelle 2: Abfallaufkommen 1994 in 25 Gießereien (gerundet)

Abfallart	AS-Nr.	Herkunft	Aufkommen in 1 000 t/a
Gießereialtsand, Gießereirestsand	31 401	Formen und Gießen	98
Staub aus Sandaufbereitung,Gießerei-Feinsand	31 401	Entstaubung Sandkreislauf und Regenerierung	4
Putzereisand	31 402	Strahlen und Putzen	5,7
Kernsand, Kernrestsand	31 426	Kernfertigung	1,5
Schlamm aus Gießereien	31 616	Naßentstauber	9,5
Eisenhaltiger Staub	35 101	Putzereientstaubung	2,2
Eisenbehältn. mit schädl. Restinhalten	35 106	Kernfertigung	--
Aluminiumabfälle	35 304	Aluminiumputzerei	0,01
Sonstige NE-metallhaltige Abfälle	35 315	NE-Metallputzerei	--
Aminsulfatlösung	52 725	Kernfertigung	0,1
Gipsschlamm	31 613	Wäscher	0,2
		Summe	**121**

Die ermittelten Mengen stammen zum größten Teil aus Eisengießereien. In **Tabelle 3** ist das Aufkommen typischer Abfallarten nach Werkstoffen differenziert.

Tabelle 3: Abfallaufkommen 1994 in Eisen- und Aluminiumgießereien

Abfallart	AS-Nr.	Eisenguß		Aluguß	
		t/a	%	t/a	%
Gießereialtsand, Gießereirestsand	31 401	80640	79	15015	92,6
Staub aus Sandaufbereitung,Gießerei-Feinsand	31 401	3 110	3	916	5,7
Putzereisand	31 402	5 700	5,6	23	0,1
Kernsand, Kernrestsand	31 426	1 300	1,3	242	1,5
Schlamm aus Gießereien	31 616	9 480	9,3	--	--
Eisenhaltiger Staub	35 101	2 200	2,1	--	--
Aluminiumabfälle	35 304	--	--	12	0,1
Gesamt		**102 430**	**100**	**16 208**	**100**

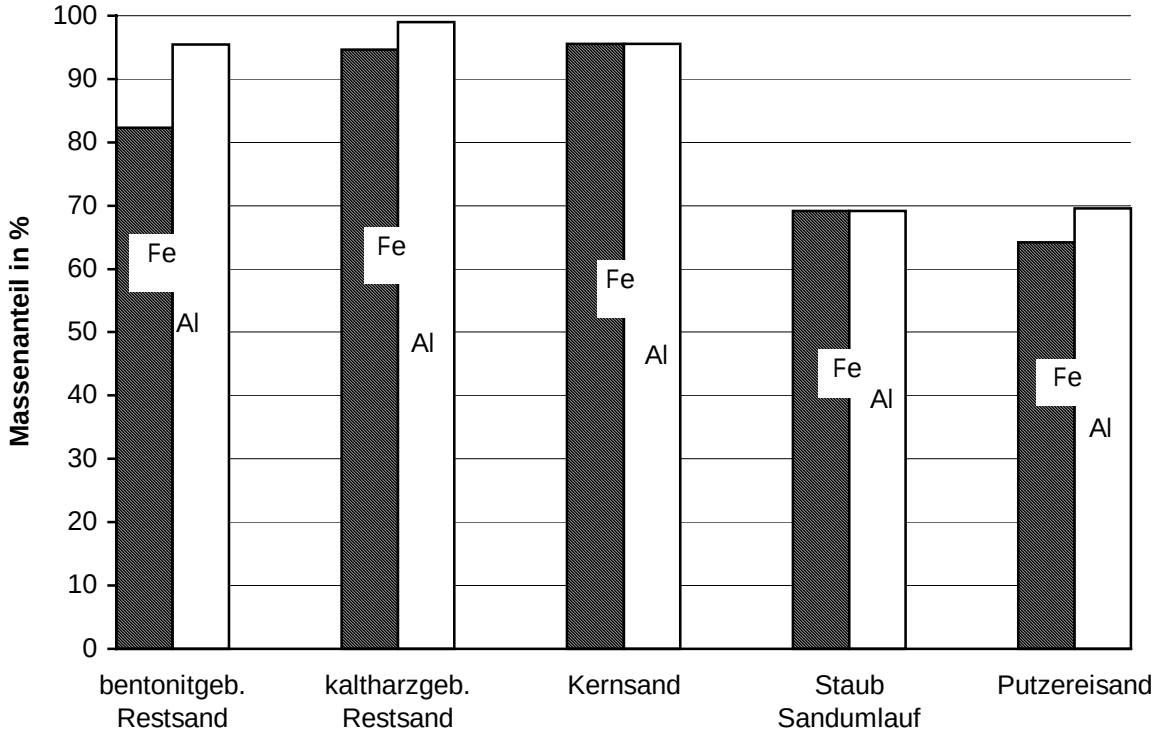
In den untersuchten Eisengießereien fielen im Jahre 1994 rd. 102 500 t Reststoffe an und zwar hauptsächlich Altsand. Die übrigen Reststoffarten wie Staub aus Sandumlauf, Putzereisand, Kernsand und Schlamm aus Gießereien sowie eisenhaltiger Staub machen nur einen Anteil von zusammen 21 % aus. Vom Gesamtaufkommen von 121 000 t/a stammte rd. 85 % aus Eisengießereien. Aus den untersuchten Aluminiumgießereien ergaben sich insgesamt rd. 16 000 t/a Reststoffe, auch wieder hauptsächlich Altsand. Rund 2 500 t/a fielen bei Bronzeguß an.

Die **Zusammensetzung der anfallenden Abfälle** wurde - soweit dies für die Beurteilung möglicher VVV-Maßnahmen erforderlich war - durch chemisch-physikalische Analysen ermittelt. Je nach Anfallstelle und Abfallart stellte sich eine typische Zusammensetzung ein. Proben für die Untersuchungen wurden bei den Betriebsbegehungen entnommen. Die Analyse erfolgte in unserem Labor in Düsseldorf. Geprüft wurden für die Rückgewinnung und die Verwertung der Abfälle bedeutsame Parameter: z. B. Gehalte an Schwermetallen, Korn- oder Quarzanteile, wirksamer Bentonit und Kohlenstoff sowie Verschleißstoffe aus den verwendeten Bindemitteln. Diese sind bei der Rückführung in den Kreislaufsand und beim Regenerieren zu beachten.

Der Sand- oder Quarzanteil der verschiedenen Abfälle ist bei harzgebundenem Restsand und Kernsand am höchsten; dies bedeutet weniger Aufwand beim Regenerieren. Bentonitgebundener Restsand aus Eisengießereien sowie Staub aus Sandumlauf und Putzereisand

weisen deutlich weniger Sand oder Quarz auf und sind deshalb nicht oder nur mit hohem Aufwand regenerierbar (**Bild 6**).

Bild 6: SiO_2-Gehalte der verschiedenen Reststoffe aus den untersuchten Eisen- (Fe) und Aluminiumgießereien (Al)



Die Auswertung der Bentonitsandanalysen ergab deutlich höhere Anteile an Kohlenstoff, Aktivbentonit, aufgebranntem Ton (Schamottisierungsgrad) und Schlämmstoffen bei Altsanden aus Eisengießereien gegenüber Altsanden aus Aluminiumgießereien. Auch Kaltharzsande aus Eisengießereien enthalten deutlich mehr Restbinder (Kohlenstoff) als gleichartige Altsande aus Aluminiumgießereien. Deshalb sind Sande aus Aluminium-Gießereien oft mit geringerem Aufwand regenerierbar, da nach den Analysenergebnissen weniger Störstoffe beim Regenerieren zu entfernen sind. Der höhere Sandanteil der Altsande aus Aluminiumgießereien erleichtert die Aufarbeitung. Bei Kernsand ist wegen des hohen Sandanteils der geringste Aufwand erforderlich. Stäube aus Sandumlauf und Putzereisand hingegen enthalten nach den Untersuchungen zu wenig Sand, um mit vernünftigem Aufwand ein brauchbares Regenerat aus ihnen gewinnen zu können.

Die nutzbaren Bestandteile des Staubes aus dem Sandumlauf wie Aktivbentonit und Kohlenstaub können in vielen Fällen in den Sandkreislauf zurückgeführt werden. Staub aus der Kaltharzsandrückgewinnung hingegen ist im eigenen Betrieb nicht mehr nutzbar. Zu beachten sind bei einem Kohlenstoffgehalt von über 35 % auch lösliche organische Stoffe

(DOC), so daß solcher Regenerierstaub auch vor Ablauf der Übergangsregelungen nach der TA Siedlungsabfall auf Hausmülldeponien u. U. nicht deponiert werden darf.

Während die Schwermetallfracht der Altsande aus Eisen- und Aluminiumgießereien im Bereich des natürlichen Pegels liegt - Ausnahmen ergeben sich nur bei Betrieben, welche Chromerzsandkerne verwenden - enthalten Putzereisande Anteile des gestrahlten Werkstoffes sowie Reste des Strahlmittels und Schlichtereste. Allerdings ist der Metallanteil oft zu gering für eine metallurgische Verwertung, die aber - insbesondere wenn Chrom aus dem Strahlmittel enthalten ist - bei den VVV-Maßnahmen zu beachten ist. Betroffen ist nur eine geringe Abfallmenge (5,6 % Putzereisand bei Eisenguß). Schleifstäube hingegen enthalten i. d. R. nutzbare Mengen des abgeschliffenen Metalls, das in Metallhütten zurückgewonnen werden kann.

2.2 Derzeitige Entsorgung der anfallenden Abfälle

Einen Überblick über die Entsorgung gibt **Tabelle 4.**

Tabelle 4: Entsorgung Reststoffe 1994 in 1 000 t/a

Abfallart	Ab-Nr.	Deponie	Erdbau/ Zementwerk	Metall-hütte	externes Regenerieren
Gießereialtsand, Gießereirestsand	31 401	51	45	--	2
Staub aus Sandaufbereitung,Gießerei-Feinsand	31 401	4	--	--	--
Putzereisand	31 402	5,7	--	--	--
Kernsand, Kernrestsand	31 426	--	--	--	1,5
Schlamm aus Gießereien	31 616	9,5	--	--	--
Eisenhaltiger Staub	35 101	1,7	--	0,5	--
Aluminiumabfälle	35 304	0,01	--	*	--
Aminsulfatlösung	52 725	--	--	--	0,1
Gipsschlamm	31 613	0,2	--	--	--
Gesamt		**72**	**45**	**0,53**	**3,6**

* Die in Metallhütten verwertete Menge wurde nicht erfaßt.

Nach unseren Erhebungen wurde die Hauptmenge (60 %) der rd. 121 000 t/a Abfall auf Hausmüll- oder Monodeponien entsorgt; rd. 39 % wurde extern als Verfüllmaterial oder in Zementwerken verwertet. In Zementwerke gingen rd. 5 000 t/a. Da keine genaue Aufteilung zwischen Erdbau und Verwertung im Zementwerk möglich war, wurden diese Verwertungsarten in einer Spalte zusammengefaßt. Kleinere Mengen von eisenhaltigem Material und von Aluminiumrückständen gingen zur Metallrückgewinnung. In der Spalte externes Regenerieren sind die Altsande aufsummiert, die extern thermisch behandelt und dann z. B. in Zementwerken verwertet wurden. Es handelt sich deshalb um keine Regenerierung im eigentlichen Sinne, die das Wiederverwenden des Regenerates in der Gießerei einschließen sollte.

Die Verwertung erfolgt hauptsächlich außerhalb von Baden-Württemberg; große Mengen von Altsand werden in Nordrhein-Westfalen als Deponiebaustoff und zum Verfüllen von größeren Abgrabungen oder zur Schachtverfüllung verwendet. Nach unseren Ermittlungen wurde die Verwertungsrate zum Ende des Beurteilungszeitraumes deutlich angehoben, so daß im Jahre 1995 mit deutlich geringeren Deponiemengen zu rechnen ist.

3 VVV-Maßnahmen und Verfahren

3.1 Empfohlene Maßnahmen

Einen Überblick über die empfohlenen Maßnahmen gibt die folgende Zusammenstellung in **Tabelle 5**. Dabei ist zu beachten, daß in den meisten Fällen mehrere VVV-Verfahren vorgeschlagen wurden, die je nach den wirtschaftlichen Randbedingungen alternativ genutzt werden können. Differenziert wird nach Maßnahmen, die kurzfristig realisiert werden können und solche, die vorab Versuche erfordern.

Tabelle 5: Anzahl vorgeschlagener VVV-Maßnahmen

s.Teil A Kapitel	VVV-Maßnahme	gesamt	kurzfristig	nach Versuchen
5.2	Vermeiden durch Kreislaufführung	3	2	1
5.3	Verminderung durch internes Regenerieren	4	2	2
	Vermindern durch externes Regenerieren	5	2	3
5.4/5	Stoffliche Verwertung im Zement- oder Ziegelwerk	20	20	--
5.6	Verwertung als Schüttmaterial im Erdbau	5	5	--
5.7	Verwerten als Versatzmaterial	10	5	5
5.8	Metallurgische Verwertung von Metallen	5	3	2
	Verzicht auf/Abtrennen von Chromerzsand	4	2	2

Dargestellt sind alle technisch möglichen und zum Teil bereits realisierten VVV- Maßnahmen bei den einzelnen Abfällen. Es überwiegt die externe Verwertung. Im folgenden werden die einzelnen empfohlene VVV-Maßnahmen erläutert. Dabei wird besonders auf die Abfälle aus dem Sandkreislauf eingegangen, da die übrigen Abfälle bereits im Untersuchungszeitraum vermieden oder extern stofflich verwertet werden.

3.1.1 Vermeiden durch Kreislaufführung (Teil A, Kap. 5.2)

Die Formstoffkeisläufe sind bei allen untersuchten Betrieben voll ausgeschöpft. Es wurde deshalb nur in den Fällen, in denen Staub aus dem Formstoffumlauf des Bentonitsandes

ausgeschleust wird, eine vollständige oder teilweise Rückführung in 3 Betreiben empfohlen. Diese Maßnahme trägt nur im geringen Umfang (1 120 t/a) zur Abfallverminderung bei.

3.1.2 Vermindern durch Regenerieren (Teil A, Kap. 5.3)

3.1.2.1 Istzustand

Neben den üblichen Rückgewinnungsanlagen für Formsand aus der Maschinen- und Handformerei betreiben 4 Eisengießereien und eine Aluminiumgießerei mechanische oder thermische Regenerieranlagen für Mischaltsande und Kernsande. Zurückgewonnen werden in den 4 Eisengießereien rd. 48 000 t/a Regenerat, das zur Herstellung von Kernen verwendet wurde. In der Aluminiumgießerei wurden 3 244 t/a Regenerat erzeugt und wieder eingesetzt. Diese Regeneratmengen von insgesamt rd. 51 000 t im Jahre 1994 sind im Abfallaufkommen nicht enthalten, da sie innerhalb der Anlagen verbleiben. Die extern in zentralen Regenerieranlagen behandelten und nicht wieder zurückgenommenen Altsandmengen von rd. 2 000 t/a sind jedoch als Abfall zur externen Verwertung erfaßt.

Die Regenierleistung der vorhandenen 3 thermisch und 2 rein mechanisch arbeitenden Regenerieranlagen wurde anhand von Sandanalysen vor und nach der Regenerierung und dem Ausbringen an Staub bewertet. Danach hängt die Menge an Regenerierstaub wesentlich von dem Störstoffpotential des zu verarbeitenden Altsandes ab. Der Input entscheidet über Abfallmenge und Regeneratqualität. Auch **rein mechanisch** wirkende Anlagen ergeben durch „Luftstrahlscheuern“ oder „Schleifen“ (siehe Seite A-106) Wirkungsgrade über 80 %, so daß eine thermische Stufe nicht immer erforderlich ist. Diese wurde von den Betrieben vor allen Dingen deshalb bevorzugt, weil der Regenerierstaub ausgebrannt und deshalb leichter verwertbar schien. Nachdem aber bei bestimmter Verfahrenstechnik sowohl im Zementwerk als auch im Ziegelofen eine vollständige Verbrennung sichergestellt und Genehmigungen für den Einsatz auch kohlenstoffreicher Sande vorliegen, sollte allein die bessere Technik der Störstoffabtrennung und die Wirtschaftlichkeit über die zu wählende Regeneriertechnik entscheiden. Dabei haben die rein mechanischen Verfahren wegen geringerem Energieverbrauch Vorteile.

3.1.2.2 Zusätzliches internes Regenerieren (Teil A, Kap. 5.3.1, Seite A-115)

Es wurden mechanische Regenerieranlagen dann empfohlen, wenn eine ausreichende formtypische Sandmenge zum Regenerieren vorhanden war und der Einsatz des Regenerates zur Kernfertigung ohne Qualitätsrisiken möglich erschien. Dies ist nach unserer Meinung in 4

Betrieben der Fall. Die Regenerierung führt in diesen 4 Betrieben zu rd. 25 000 t/a Regenerat für die Kernfertigung.

Die betroffenen Gießereien sehen jedoch erhebliche Risiken beim Einsatz von Regenerat und ziehen deshalb die Verwertung im Zementwerk oder auch für Verfüllmaßnahmen vor, um Risiken für die Fertigung, z. B. durch höheren Kernbinderverbrauch und geringere oder schwankende Kernqualität zu vermeiden. Gefordert wird eine bessere und nicht schlechtere Kernqualität, um weiterhin wettbewerbsfähig produzieren zu können. Nach langjährigen Erfahrungen in einer Automobilgießerei können bestimmte Wassermantelkerne nicht mit ausreichender Qualität aus Regenerat gefertigt werden. Es besteht weiterhin Entwicklungsbedarf für hochwertige und mit geringem Energiebedarf wirtschaftlich arbeitende Regenerieranlagen.

Um die Risiken beim Einsatz von Regenerat zu mindern, sind Betriebsversuche erforderlich, in denen wesentliche Betriebsparameter wie Ausbringen an Regenerat, Energiebedarf und Eignung für komplizierte Kerne festzustellen sind. Solche Versuche wurden immer dann vorgeschlagen, wenn neben organisch gebundenen Kernsanden auch anorganische Formsande enthalten sind. Dies ist fast immer der Fall, da eine Trennung bei Sandguß nur unvollkommen möglich ist.

Kerne mit filigranen Formen erfordern eine bessere und gleichmäßigere Regeneratqualität als kompakte Kernzylinder. Der durch die Formtechnik bedingte Regenerieraufwand erhöht sich deutlich bei Mischsystemen mit unterschiedlichen Formstoffbindemitteln in Form und Kern in nachfolgender Reihung:

1. Sandguß im Monosystem mit Kunstharzbinder (Handformerei)
2. Sandguß im Monosystem mit bentonitgebundenem Formsand (Maschinenformerei)
3. Sandguß im Mischsystem Bentonit/Kunstharz (Maschinenformerei mit Kunstharzkernen)
4. Sandguß im Mischsystem Bentonit/Wasserglas oder Methylformiat (Maschinenformerei mit Wasserglas- oder MF-Kernen)
5. Sandguß im Mischsystem Bentonit/Kunstharz + Wasserglas/MF (Maschinenformerei mit mehreren Kernarten)

Bei Mischsystemen ist eine wirtschaftliche Regenerierung nur bei größeren Sandmengen und einfachen Kernformen gegeben, oder wenn z. B. bei Aluminiumguß eine Trennung von Kern und Form möglich ist. Die Präferenz bestimmter Maßnahmen wurde jeweils im Einzelfall geprüft.

3.1.2.3 Externes Regenerieren

Ein gemeinsames Regenerieren mit oder in einer gleichartigen Gießerei wurde dann empfohlen, wenn kleine Mengen rein kunstharzgebundener Sande oder gut abgetrennter Wasserglas-Kerne aus Aluminiumguß vorlagen. Im Rahmen eines von der ABAG geförderten Pilotprojektes werden in der mechanischen Regenerieranlage einer Schwetzinger Aluminiumgießerei Wasserglaskerne aus kleineren Aluminiumgießereien regeneriert. Zur Zeit werden Betriebsversuche durchgeführt, um die Randbedingungen für das Regenerieren festzulegen. Die Anlage soll für 4 gleichartige Aluminiumgießereien Wasserglassand regenerieren.

Nicht empfohlen wurde eine unabhängig von Gießereien betriebene zentrale Regenerieranlage, da nach bisherigen Erfahrungen außer bei strenger Trennung der einzelnen Lieferungen kein allgemein brauchbares Regenerat erzeugt werden kann.

3.1.3 Externes Verwerten im Zementwerk (Teil A, Kap. 5.4)

Zementwerke haben Bedarf an Quarzsand zur Korrektur des Silikatgehaltes. Für mehrere Werke liegen Genehmigungen zum Einsatz von Gießereialtsand vor. Bereits im Jahre 1994 wurden erhebliche Mengen an Altsand in Zementwerken verwertet. Durch eine besondere Einbringtechnik können auch Gießereisande mit höherem Kohlenstoffanteil und Stäube aus der Regenerierung und dem Sandumlauf verwertet werden. Nicht geeignet sind Sande aus Gießereien, die Chromerzsand in bedeutsamen Mengen als Formstoff einsetzen. Auch Sande aus der Putzerei von Aluminiumgießereien können aus dem Strahlmittel zu hohe Chromanteile enthalten, so daß eine Verwertung im Zementwerk ausgeschlossen ist. Zusammen mit der Verwertung in Ziegeleien wurden 64 000 t/a an Altsand und Stäuben aus 20 Gießereien für diese Verwertung empfohlen.

Zu beachten ist allerdings, daß Zementwerke im Winter längere Zeit geschlossen sind und deshalb ein Zwischenlager für die dann anfallenden Mengen erforderlich ist. Besonders kleinere Gießereien können in der Regel nur die gerade anfallenden Mengen lagern, so daß hier andere Verwendungswege z. B. der Bergversatz zu beschreiten sind.

3.1.4 Verwerten zur Ziegelherstellung (Teil A, Kap. 5.5)

Für die Fertigung von Hintermauerziegeln sind Gießereirestsande als Magerungsmittel bei zu fetten Tonen erprobt. Erwünscht ist neben Silikat- und Tonresten auch Kohlenstaub, der andere porenbildende Stoffe wie Papierschnitzel ersetzen soll. Stäube aus dem Bereich Sandregenerierung und Sandumlauf sind geeignete Rohstoffe, da sie die Nutzung als Magerungsmittel und Porenbildner vereinigen. Zusätzliche Emissionen werden vermieden, wenn eine bestimmte Abgasführung gewählt und ein Thermoreaktor in Form eines regenerativen Wärmetauschers nachgeschaltet wird, wie dies bereits in einigen Ziegeleibetrieben der Fall ist.

Die Ziegelei Grehl bei Ulm hat Genehmigungen zum Einsatz von Gießereistäuben und -sanden. Weitere Betriebe streben die Genehmigung an und machen bereits Versuche. Es ist zu erwarten, daß in 2 Jahren mehrere Ziegeleien Altsande verwerten können.

Die Verwertung in Ziegeleien wurde für tonhaltige Sande und Stäube aus 10 Betrieben empfohlen.

3.1.5 Verwertung im Erd- und Straßenbau sowie zur Schachtverfüllung (Teil A, Kap. 5.6)

Die Verwertung im Erd- und Straßenbau hat innerhalb von Baden-Württemberg aufgrund ausgedehnter Wasserschutzzonen keine Bedeutung. Es wurde jedoch festgestellt, daß sehr viele Gießereisande den Anforderungen der LAGA an die Verwertung im Erd- und Straßenbau entsprechen und deshalb in der Nähe der Gießereien verwertet werden könnten. Eine Verwertung liegt aus technischer Sicht auch dann vor, wenn z. B. eine Abgrabung zur Sandgewinnung wieder verfüllt werden muß und dafür Gießereisande geeignet sind und verwendet werden. Bedarf für eine solche Verwertung liegt vor.

Zur Schachtverfüllung und für besondere Baumaßnahmen, z. B. auf Deponien, werden in Nordrhein-Westfalen große Mengen Altsande verwertet. Genehmigungen liegen jeweils für einzelne Baumaßnahmen vor. Transport und Verwertung erfolgen unter der Obhut von Verwertern, die in einem Gütekreis von Unternehmen extern auf sachgerechte Wahrnehmung ihrer Aufgaben überprüft werden. Statt dieser Verwertung außerhalb Baden-Württembergs empfehlen wir - soweit kostengünstiger und schadlos - die Verwertung in der Nähe der Gießereien, z. B. als Verfüllmaterial oder zur Zementherstellung. Dies wurde in 5 Fällen empfohlen.

3.1.6 Verwertung als Bergversatz (Teil A, Kap. 5.7)

Salzbergwerke in Baden-Württemberg, aber auch in Thüringen haben die Auflage, die entstandenen Hohlräume mit geeigneten Materialien zu verfüllen. Zur Zeit bauen die Südwestdeutsche Salzwerke AG in Kochendorf eine Annahmeeinrichtung für Schüttgüter, über die auch Gießereirestsande eingebracht werden können. Die Genehmigung hierfür soll noch 1996 erteilt werden.

Die Verwertung als Bergversatz wurde in 10 Fällen z. B. für Sande empfohlen, welche aufgrund ihres Anteils an Chromerz für die Verwertung im Zementwerk nicht geeignet sind sowie für Putzereisande und Stäube, deren Metallgehalt unterhalb der Schwellen für eine metallurgische Verwertung liegt.

Weiterhin können wegen des ganzjährigen Betriebes im Gegensatz zu Zementwerken jederzeit kleinere Partien Altsande, Putzereisande und befeuchtete Stäube aus dem Formstoffumlauf und dem Regenerieren direkt aus der Gießerei ohne externes Umschlagen angeliefert werden. Bergversatz wurde wegen dieser Vorteile besonders für kleinere Betriebe mit geringen Lagermöglichkeiten empfohlen.

3.1.7 Metallurgische Verwertung (Teil A, Kap. 5.8)

Für diese Verwertung kommen metallhaltige Stäube aus der Putzerei mit Metallteilen über 50 % in Frage. Geeignete Stäube aus 5 Gießereien können so verwertet werden.

3.1.8 Verzicht/Abtrennen von Chromerzsand

Wie die Untersuchungen und Erhebungen ergeben, kann in 4 Fällen auf Chromerzsand verzichtet oder dieser nachträglich entfernt werden. Geübte Praxis ist die Rückgewinnung von Chromerzsand aus Kaltharzsanden und Regeneraten. Dies führt jedoch nicht zuverlässig zu einer ausreichenden Entfrachtung für die Verwertung im Zementwerk.

3.2 Erzielbare VVV-Potentiale auf der Basis der empfohlenen Maßnahmen

Einen Überblick über die erreichbaren VVV-Potentiale der Sande und Stäube gibt **Tabelle 6.** Die prozentuale Minderung ist jeweils auf das Abfallaufkommen mit rd. 105 000 t/a Sande und 14 000 t/a Staub/Schlamm bezogen.

Tabelle 6: VVV-Potentiale

VVV-Maßnahme	Abfallarten	VVV in %	Potentiale in 1 000 t/a
Vermeiden durch Kreislaufführung	Altsand	0	0
	Staub/Schlamm	7	1
Verminderung durch internes Regenerieren	Altsand	24	25
Verminderung durch externes Regenerieren	Altsand	1	1
Stoffliche Verwertung im Zement- oder Ziegelwerk	Altsand, Kernsand, Putzereisand	48	51
	Staub Schlamm	71	10
Verwertung als Schüttmaterial im Erdbau	Altsand	9	9
Verwertung als Versatzmaterial	Putzereisand, Altsand, Kernsand	19	20
Metallurgische Verwertung von Metallen	Staub/Schlamm	22	3

3.2.1 Vermeidung durch Kreislaufführung der Form- und Kernsande

Dieses Potential ist weitgehend ausgeschöpft; es ist mit geringen Abfallminderungen von rd. 1 000 t/a in den 25 Betrieben zu rechnen.

3.2.2 Regenerieren

Eine betriebseigene Regenerierung von Mischsanden wurde dann empfohlen, wenn eine Mindestmenge formtypischer Altsande vorliegt und beim Einsatz von Regenerat mit tolerierbaren Qualitätseinbußen zu rechnen ist. Da das Regenerat hauptsächlich für die Herstellung von Kernen verwendet werden muß, liegen günstige Voraussetzungen für das Regenerieren dann vor, wenn verträgliche Bindersysteme im Ausgangssand vorliegen und der Kernsandanteil in diesem Sand sehr hoch ist. Unter diesen Voraussetzungen ergibt sich ein Minderungspotential durch Regenerieren von 20 000 t/a Regenerat in den untersuchten Eisengießereien und 6 000 t/a in den Aluminium-Gießereien, d. h. eine Verminderung um 21 %. Bei Eisenguß wird dann zusammen mit den bereits regenerierten Mengen von 48 000 t/a eine spezifische Regeneratmenge von 0,25 t/t guter Guß bezogen auf das Jahr 1994 erreicht, bei Aluminiumguß ergibt sich zusammen mit den bereits regenerierten 3 244 t/a eine spezifische Regeneratmenge von 0,8 t/t erzeugtem Aluminiumguß. Dies sind durchaus bemerkenswerte Minderungsergebnisse, wenn man die hohen Kosten der Regenerierung und die Qualitätsrisiken beim Einsatz von Regenerat berücksichtigt.

3.2.3 Externes Verwerten

Im Jahre 1994 wurden rd. 48 000 t Gießereialtsande extern verwertet, und zwar hauptsächlich für Schachtverfüllung und als Deponiebaustoff in Nordrhein-Westfalen und in Zementwerken in Bayern und Baden-Württemberg. Diese Menge kann nach unseren Empfehlungen auf rd. 73 000 t/a ansteigen. Die Verwertung soll hauptsächlich in Zementwerken, Ziegelwerken oder als Versatz in Salzbergwerken innerhalb Baden-Württembergs erfolgen. Eine kleinere Menge (rd. 1 000 t/a) eisenhaltiger und aluminiumhaltiger Abfälle soll auch im Hüttenwerk bzw. im Schmelzwerk verwertet werden.

3.3 Beurteilung der Wirtschaftlichkeit der empfohlenen Maßnahmen

Einen Überblick über die Kosten der einzelnen Maßnahmen gibt **Tabelle 7**. Die Kostenspannen in dieser Tabelle beziehen sich auf die verwertete oder verminderte Menge; beim Regenerieren entspricht diese dem erzeugten und rückgeführten Regenerat.

Tabelle 7: Kosten der VVV-Maßnahmen

VVV-Maßnahmen	Kostenspannen in DM/t
Kreislaufführung	10-50
Regenerieren der Kaltharzsande/Kernsande	30-100
Regenerieren der Mischsande	140-170
externes Verwerten:	
• im Zementwerk/Ziegelwerk	40-80*
• als Schüttmaterial im Erdbau	20-40*
• als Versatzmaterial im Salzbergwerk	30-40*
metallurgische Verwertung	0-300*
Deponieren zum Vergleich	80-200*

* Momentaufnahme zum Erhebungszeitpunkt. Zusätzlich fallen Transportkosten an, die je nach Entfernung und Transportart bei 10-30 DM/t liegen.

Das empfohlene **mechanische Regenerieren** ist je nach Größe und Ausstattung der Regenerieranlage mit Kosten von 140 bis **170 DM/t** Regenerat verbunden (s. Teil A, Kap. 5.3.2.2 mit Kurven Seite A-120). Bei größeren Anlagen (> 5 000 t/a) liegen die Gesamtkosten im Bereich von rd. 150 DM/t. Wirtschaftlichkeit gegenüber Deponieren bzw. externem Verwerten ist dann gegeben, wenn die Gesamtkosten nach Abzug der Kosten für Neusand (rd. 70 DM t) niedriger liegen als die Kosten für die Deponierung (80 bis 200 DM/t) bzw. für die Verwertung (40 bis 80 DM/t). Dies ist in drei Fällen zu erwarten. Dabei wird unterstellt, daß der beim Regenerieren anfallende Staub zu den Deponierungskosten für Altsand verwertet werden kann.

Da Gießereialtsande und auch Stäube weitgehend den Rohstoffen für Zement und auch für Ziegel entsprechen, ist bei der **Verwertung im Zement- und Ziegelwerk** nur ein Aufpreis für zusätzlich erforderliche Anlagen zum Lagern, Transportieren und Einbringen in die vorhandene Verwertungsanlage gerechtfertigt. Die Verwerterbetriebe verlangen Marktpreise. Diese liegen im Bereich von **40 bis 80 DM/t**. Es wurde allerdings eine abnehmende Tendenz festgestellt, da Bedarf an Sanden und Stäuben besteht. **Bergversatz** im Salzbergwerk kostet **rd. 40 DM/t** ohne Transportkosten. Die Kosten für die Verwertung als Verfüllmaterial hängen überwiegend von den Transportkosten ab. Durch Schiffstransport entstehen nur geringe Transportkosten unter 10 DM die Tonne.

Am wirtschaftlichsten ist Kreislaufführung und das Regenerieren und Rückführen der Kaltharz- und Kernsande sowie die externe Verwertung. Regenerieren von Mischsanden ist außer bei großen Anlagen > 5 000 t/a i. d. R. unwirtschaftlich.

3.4 Ökologische Bewertung der empfohlenen Maßnahmen

Bei der ökologischen Beurteilung spielen Transportart und Entfernung eine oft maßgebliche Rolle. Hierzu sind einige Vorbemerkungen zur Logistik, Größe der Einzeltransporte und Transportentfernung je nach Transportart (Bahn, Schiff, LKW) erforderlich.

Neusand wird vorwiegend aus dem Rheinland aus rd. 300 km Entfernung mit Bahn oder Silo-LKW mit einem Fassungsvermögen von 25 t angeliefert. Der Altsandtransport zur Deponie oder externen Regenerieranlagen und zu kleinen Verwertern wie Ziegeleien wird hingegen meistens in Containern mit einem Fassungsvermögen von rd. 5-10 t abgewickelt.

Größere Fuhren, z. B. ins Rheinland, werden mit kombinierten Schiff-LKW-Transporten abgewickelt und verbrauchen deshalb auch bei längeren Wegen > 500 km oft nicht mehr Energie als Kleintransporte im 100 km Nahbereich. Zementwerke können ebenfalls mit großen Ladungen von rd. 25 Tonnen angefahren werden, so daß auch hier ökologisch und wirtschaftlich günstige Bedingungen vorliegen.

Zur ökologischen Beurteilung der Einzelmaßnahmen wird auf die Passagen bei der Beschreibung der einzelnen VVV-Maßnahmen im Teil A, Kap. 5.x.3 verwiesen.

3.4.1 Kreislaufführung

Diese ist als ökologisch und ökonomisch günstigste Maßnahme einzustufen, da bei unveränderter Emissionssituation geringe Aufwendungen für die Anlagen- und Verfahrenstechnik anfallen. In der Regel können vorhandene Kreisläufe teilweise noch verbessert werden.

3.4.2 Regenerieren

Regenerieren bringt insbesondere dann ökologische Vorteile, wenn der Energiebedarf nicht größer ist als die Transportenergie zum Antransport von Neusand und Altsandabtransport und sich die Emissionssituation in der Gießerei z. B. durch höheren Binderbedarf zur Kernfertigung nicht verschlechtert. Der spezifische Energieaufwand zum Regenerieren steigt mit dem durch die Formtechnik bedingten Störstoffanteil im Altsand und den durch Gußwerkstoff und Kerngeometrie geforderten Qualitätsansprüchen an das Regenerat. Bei thermischer Regenerierung treten nennenswerte lokale Emissionen auf. Mechanischen Regenerieranlagen sind demgegenüber geringere globale Emissionen zuzurechnen.

Durch Regenerieren wird Abfall vermieden. Nur wenn der zwangsläufig anfallende Regenerierstaub im Zementwerk oder als Versatz verwertet wird, ist eine Wasserbelastung auszuschließen. Luft wird bei thermischer Regenerierung zusätzlich belastet, bei mechanischen Regenerieranlagen ist die Luftbelastung durch die erforderliche Energieerzeugung zu beachten. Die Verwertung des Regenerierstaubes im Zementwerk oder als Bergversatz verhindert Anreicherungen von Schadstoffen im Kreislauf. Regenerieren schont die Lagerstätten hochwertiger Quarzsande, die allerdings im Rheinland, Münsterland sowie Mitteldeutschland und in der Oberpfalz mit gesicherten Reserven für > 100 Jahre ausreichend vorhanden sind.

3.4.3 Verwerten in Zement- und Ziegelwerken

Die Nutzung im Zementwerk und zur Ziegelherstellung hat den Vorteil, daß Kohlenstoff und Harzreste verbrennen und eine vollständige Mineralisation erfolgt, ohne daß bei Zugabe in die heiße Zone zusätzliche Emissionen entstehen oder zusätzliche Energie erforderlich ist. Die Untersuchungen ergaben, das Altsande und Kernsande in der Regel schwermetallfrei sind und deshalb keine Verdünnung von Schadstoffen in andere Umweltmedien erfolgt. Schwermetalhaltige Altsande, z. B. mit Anteilen an Chromerzsand, oder Putzereisande aus bestimmten Gießereien sind einfach zu identifizieren und von dieser Verwertung auszuschließen. Transporte für Neu- und Altsand werden in großen Ladungen (rd. 25 t) auch im Nahbereich abgewickelt und sind somit energiesparend durchgeführt. Die stoffliche Verwertung im Zement- und Ziegelwerk ist zwar geringerwertig als Regenerieren, jedoch die höchste Verwertungsstufe für nicht oder nur mit hohem Aufwand regenerierbare Mischsande.

3.4.4 Verwerten im Erd- und Straßenbau als Deponiebaustoff

Bei der Verwertung im Erd- und Straßenbau ist ein Verdünnen von Schadstoffen in andere Medien z. B. Wasser dann ausgeschlossen, wenn die Kriterien der LAGA erfüllt bzw. bei Verfüllmaßnahmen geeignete örtliche Verhältnisse vorliegen. Diese Voraussetzungen sind häufig gegeben. Aus Gründen der Transportminimierung sind Verfüllmaßnahmen in der Nähe der Betriebe zu bevorzugen.

3.4.5 Verwerten als Bergversatz im Salzbergwerk

Die Verwertung als Bergversatz im Salzbergwerk führt durch den vollständigen Einschluß zu keinen Belastungen der Umwelt.

Diese Verwertungsart bietet besonders für kleinere Betriebe ökologische und ökonomische Vorteile, wenn wechselnde Zusammensetzungen der Altsande oberhalb der LAGA-Werte für den Erd- und Straßenbau zu besorgen sind und alle verwertbaren Abfälle aus dem Formbereich angeliefert werden können, so daß trotz kleiner, unterschiedlicher Chargen eine zuverlässige und schadlose Verwertung ohne Umschlag und Zwischenlager ermöglicht wird.

3.5 Umsetzungszeiträume

Das Regenerieren erfordert üblicherweise eine Vorlaufzeit von etwa 2 Jahren. Vor Errichtung einer Regenerieranlage sind in Versuchen Leistungen und Energiebedarf der Anlage sowie die Brauchbarkeit des Regenerates zu ermitteln.

Beim externen Verwerten sind technische und wirtschaftliche Verhandlungen mit mehreren Verwertern zu führen. Dies ist innerhalb eines Jahres abzuwickeln, soweit behördliche Genehmigungen bereits vorliegen oder kurzfristig erteilt werden, was nur zum Teil der Fall ist. **Tabelle 8** zeigt einige charakteristische Umsetzungszeiträume für die vorgeschlagenen Maßnahmen.

Tabelle 8: Überblick über die Umsetzungszeiträume bei VVV-Maßnahmen.

Maßnahme	Umsetzungszeitraum bis zu:
Kreislaufführung	1 Jahr
Regenerieren mit Vorversuchen	3 Jahre
Verwertung im Zement- und Ziegelwerk bei vorliegender Genehmigung	1 Jahr
Mit Einholung der Genehmigung	2 Jahre
Verwertung als Bergversatz bei vorliegender Genehmigung	1 Jahr
Mit Einholen der Genehmigung	2 Jahre
Metallurgische Verwertung	1 Jahr
Vermeiden/Abtrennen von Chromerzsand	2 Jahre

4 Praxisbeispiele für VVV-Maßnahmen

4.1 Vermeidung durch Kreislaufführung

4.1.1 Abfallminderung im Formsandkreislauf

Praxisbeispiel: Rückführung von Stäuben in den tongebundenen Formsand einer Maschinenformerei.

In Gießereien wird an Trennstationen von Guß und Formsand sowie an den Übergabe- und Bearbeitungsstellen von trockenem Formsand abgesaugt und der anfallende Staub üblicherweise in filtrierenden Entstaubern abgetrennt. Da nutzbare Formsand-Bestandteile wie z. B. aktiver Ton enthalten sind, wird in vielen Betrieben dieser Staub wieder in den Formsandkreislauf zurückgeführt.

In einer Eisengießerei, welche Automobilteile in großen Serien herstellt, wird auf Formautomaten geformt und gegossen. Der Formsand wird zurückgewonnen, in einem Verdunstungskühler abgekühlt und in einem Mischer wieder zu einsatzfähigem Formsand aufbereitet. Bei einer Produktion von rd. 8 000 t/a Eisenguß fallen aus dem Formsandkreislauf 480 t/a Staub (Altsand AS-Nr. 41 401) an. Dieser wird bislang auf einer Deponie entsorgt.

Dieser Staub aus dem Sandumlauf enthält als nutzbare Bestandteile 23 % aktiven Ton und 10 % Kohlenstoff, die bei Rückführung in den Sandkreislauf zu einem entsprechend geringeren Verbrauch an Neustoffen führen. Nach der chemisch/physikalischen Analyse des Formsandes können rd. 50 % der Staubmenge zurückgeführt werden, ohne daß Qualitätseinbußen z. B. durch Verschleißstoffe und Feinanteile zu befürchten sind.

Es wurde deshalb vorgeschlagen, den Staub in einem Silo mit Dosierschnecke zu sammeln und 240 t/a dosiert in den Mischer zurückzuführen. Die Technik hierfür ist erprobt.

Da der Staub hauptsächlich aus Quarzsand, Ton und Kohlenstaub besteht, kann der verbleibende Rest zur Herstellung von porösen Hintermauerziegeln verwendet werden. Dies wurde für den im eigenen Betrieb nicht verwertbaren Anteil empfohlen.

4.1.2 Beurteilung der Wirtschaftlichkeit

Für die Rückführung des Staubes sind Investitionen von etwa 50 000 DM für Behälter und Transporteinrichtungen erforderlich. Bei 8 Jahren Abschreibung und einer Verzinsung von 8 % führt das bei 240 t/a Staub zu Kapitalkosten von 34 DM/t. Zusätzliche Personalkosten und Betriebskosten fallen nicht an, da die übrige Anlagentechnik und die Verfahrensweise sich nicht ändern. Kostenentlastungen entstehen durch verminderten Verbrauch an Bentonit und Kohlenstaub, die jedoch nicht quantifiziert werden können.

Die Rückführung des Staubes führt zu einer Kostenentlastung gegenüber der bisherigen Entsorgung auf der Deponie (60 DM/t). Die Rückführung ist wirtschaftlicher als eine externe Verwertung im Ziegelwerk, bei der je nach Transportentfernung und Annahmebedingungen Kosten von 40 bis 80 DM/t anfallen dürften.

4.1.3 Ökologische Beurteilung

Die Staubrückführung führt wie auch die schadlose Verwertung in der Ziegelherstellung zu geringeren Belastungen von Luft und Wasser gegenüber der Deponierung, da die Gefahr von Verwehungen und Auswaschungen wegfallen. Bei beiden Verfahren wird nur im unbedeutenden Maße zusätzliche Energie benötigt; der Sandkreislauf bzw. die Technologie der Ziegelherstellung verändern sich nicht. Es erfolgt auch keine Anreicherung von Schadstoffen oder unzulässige Vermischung, da der Staub schwermetallfrei ist und durch die Prozeßbedingungen (Gießprozeß oder Brennen bei der Ziegelherstellung) Kohlenstoff- und Kohlenstoffverbindungen zerstört werden. Die Staubrückführung führt zu einer Transportminimierung durch Wegfall von Transporten für die Verwertung/Entsorgung und verminderte Rohstoffanfuhr.

4.2 Abfallminderung durch Kernsandrückführung in den Formsandkreislauf

4.2.1 Praxisbeispiel: Zerkleinern von Kernbruch und Verwerten im Formsand

In den meisten Gießereien fallen bei der Kernfertigung unbrauchbare Kernreste und Kernbruch (Kernsand AS-Nr. 31 426) an, die deponiert oder extern verwertet werden. Eine Eisengießerei, die kernreichen Serienguß auf Formautomaten fertigt, zerkleinert Kernbruch in einem Vibrationszerkleinerer mit angeschlossener Entstaubung und Sichtung. Der zerkleinerte

Kernsand (rd. 2 000 t/a) wird statt Neusand zum Auffrischen des Formsandes in den Formsandmischer gegeben. Neusand wird jetzt nur noch zur Kernfertigung verwendet. Die zu entsorgende Altsandmenge vermindert sich um die eingesparte Neusandmenge, d. h. um rd. 10 %.

Im installierten Vibrationszerkleinerer, der in Aufbau und Wirkungsweise einer einfachen mechanischen Regenerieranlage entspricht, werden die Kernknollen durch Reibkräfte zu den ursprünglichen Sandkörnern zerkleinert; diese werden zusammen mit den anhaftenden Resten von Binderharz, das ein Teil des Kohlenstaubs ersetzt, im Formsand genutzt.

4.2.2 Beurteilung der Wirtschaftlichkeit

Für die Zerkleinerung und Rückführung des Kernsandes sind Investitionen von etwa 200 000 DM aufzuwenden. Bei 8 Jahren Abschreibung und einer Verzinsung von 8 % führt das bei 2 000 t/a Kernsand zu Kapitalkosten von 16,5 DM/t. Zusätzlich fallen Betriebskosten von rd. 25 DM/t an, so daß mit Gesamtkosten von rd. 41,5 DM/t zu rechnen ist. Dies ist wirtschaftlicher als die Entsorgung/Verwertung, die etwa 80 DM/t einschließlich Transport kostet.

4.2.3 Ökologische Beurteilung

Die Kernsandrückführung führt zu geringeren Belastungen von Luft und Wasser als die Deponierung, da keine Ausgasungen und Auswaschungen erfolgen können. Durch die Nutzung im Formsand wird keine zusätzliche Energie benötigt; der Sandkreislauf innerhalb der Gießerei verändert sich nicht. Es erfolgt auch keine Anreicherung von Schadstoffen oder unzulässige Vermischung, da Kernsand schwermetallfrei ist und durch die Prozeßbedingungen beim Gießen Harzreste zerstört werden. Es erfolgt eine Transportminimierung durch Wegfall von Transporten.

4.3 Vermeiden/ Vermindern durch Regenerieren

4.3.1 Regenerieren von Kaltharzsanden in der Handformerei

Praxisbeispiel A: Kleingießerei mit einer Produktion < 100 t/a Aluminium-Sandguß

Rohlinge für Formen werden als Einzelstücke nach dem Kaltharzformverfahren hergestellt. Zum Teil werden Modelle aus Polystyrol verwendet. Formen und Kerne werden aus einer Mischung von Quarzsand und einem selbsthärtenden Furanharz hergestellt. Beim Trennen von Form und Guß fallen rd. 400 t/a Altsand an, der extern thermisch behandelt und verwertet wird.

Da die Altsandmenge für eine wirtschaftliche Regenerierung allein nicht ausreicht, wurde empfohlen, zusammen mit einer gleichartigen Gießerei zu regenerieren. Alternativ kann im Zementwerk verwertet werden.

Erforderlich ist eine Regenerieranlage, bestehend aus Vibrationsbrecher, Sichtung und Entstaubung, die in einer nahegelegenen Aluminiumgießerei betrieben wird.

Praxisbeispiel B: Kundengießerei für 500 t/a Eisen- und Bronzeguß

In der Handformerei werden Formen für hochwertigen Guß aus Stahl und Bronze nach dem Kaltharzverfahren geformt. Für Einzelstücke wird Formsand mit Furan- oder Phenolharz, für Kleinserien mit selbsthärtendem Polyurethanbinder gebunden. Nach dem Gießen und Abkühlen wird der Guß von den Formresten abgetrennt. Die anfallenden 2 000 t/a werden bislang nicht regeneriert, sondern in Bitumenmischungen verwertet.

Es wurde empfohlen Altsand in einer einfachen mechanischen Regenerieranlage zu brauchbarem Regenerat aufzubereiten. Diese besteht aus einem gekapselten und entstaubten Trennrost, einem Vibrationszerkleinerer sowie Sichter, Kühler und Lagersilos. Die gesamte Anlage wird über ein Tuchfilter entstaubt. Beim Regenerieren fällt Regenerierstaub an, der aus Feinsand und Festharz besteht und z. B. im Zementwerk verwertet werden kann.

Praxisbeispiel C: Kundengießerei für Eisenguß mit >1 000 t/a Handformguß

In der Maschinenformerei werden Serienteile durch Verdichten von Naßgußsand, in der Handformerei Einzelstücke in Kaltharzsand geformt; beide Formsandarten werden in getrennten Kreisläufen zurückgeführt. Nach dem Gießen und Abkühlen werden die Formen aus der Handformerei in einem gekapselten Trennrost abgetrennt. Die Formreste durchlaufen die

angeschlossene mechanische Regenerieranlage bestehend aus Vibrationsbrecher, Sichter, Kühler und Entstauber und werden in Silos zur Formherstellung bereitgestellt.

Aus der Produktion von 1 000 t/a Handformguß werden rd. 3 000 t/a Regenerat zurückgewonnen, das allein oder zusammen mit Neusand zu Formen und Kernen verarbeitet wird. Neusand wird bevorzugt nur für Kerne und Formbereiche mit höheren Festigkeitsanforderungen verwendet. Beim Regenerieren fallen 100 t/a Regenerierstaub mit 20 % Kohlenstoff an, der bislang noch deponiert, nach unseren Empfehlungen jedoch im Zementwerk verwertetet werden soll.

4.3.1.1 Beurteilung der Wirtschaftlichkeit

Die Regenerierung von Kaltharzsanden aus der Handformerei ist bei ausreichenden Altsandmengen nach aller Erfahrung kostengünstiger als die Beschaffung von Neusand, der je nach Herkunft und Transportentfernung 50-80 DM/t frei Gießerei kostet. 3 000 t/a Regenerat in Praxisbeispiel C bedeutet wirtschaftliches Regenerieren; bei 2 000 t/a in Praxisbeispiel B liegen die Regenerierkosten über dem Neusandpreis. Da jedoch bei der Kostenrechnung auch die Entsorgungs- oder Verwertungskosten zu berücksichtigen sind und diese höher als 30-50 DM/t liegen, ergeben sich Kostenvorteile.

Die externe Verwertung des Altsandes oder auch das gemeinsame Regenerieren mit einer gleichartigen Gießerei sind bei Praxisbeispiel B wirtschaftliche Alternativen. Dies gilt noch mehr bei Altsandmengen < 1 000 t/a in Praxisbeispiel A, die in einer betriebseigenen Anlage zu Kosten über 200 DM/t führen würden, so daß eine kostengünstigere Gemeinschaftsanlage mit höheren Altsandmengen empfohlen werden mußte.

4.3.1.2 Ökologische Beurteilung

Die Regenerierung von harzgebundenen Monosanden mit einfachen mechanischen Anlagen führt zu geringeren Belastungen von Luft und Wasser als die externe Verwertung als Verfüllmaterial oder die Deponierung, da keine Ausgasungen und Auswaschungen erfolgen können. Die Regenerieranlage benötigt im Betrieb nur wenig Energie, so daß der Energieverbrauch durch Wegfall von Transporten für Sandanlieferung und -abfuhr im Vergleich zur externen Verwertung bei Praxisbeispiel B etwa gleichwertig und im Vergleich mit der externen thermischen Behandlung mit anschließender Verwertung in Praxisbeispiel A vorteilhafter einzustufen ist. Der Einsatz von Regenerat führt allerdings zu merklich höheren Luftbelastungen

im Bereich der Formerei als bei Verwendung von Neusand und es fällt Abfall (Regenerierstaub) an, soweit dieser nicht im Zementwerk verwertet wird. Transportminimierung erfolgt nur bei der Regenerierung, da Transporte für Anlieferung von Neusand und die Abfuhr des Altsandes zur Verwertung wegfallen oder bei der gemeinsamen Regenerierung kürzere Entfernungen zurückzulegen sind.
Zusammenfassend ergibt sich aus ökologischer Sicht i. d. R. eine Gleichwertigkeit von Regenerierung und schadloser Verwertung.

4.3.2 Regenerieren von bentonitgebundenem Formsand und Rückführung in den gleichen Formsandkreislauf

4.3.2.1 Praxisbeispiel aus der Maschinenformerei einer mittelständischen Eisengießerei

In der Maschinenformerei werden auf mechanisierten Formanlagen Kleinserien aus unterschiedlichen Eisenwerkstoffn (verschleißfester Guß und Stahlguß) gefertigt. Formsand wird wie üblich im Kreislauf geführt; um jedoch glatte Gußoberflächen zu erreichen, werden die Innenbereiche der Form nicht mit Kreislaufsand sondern mit sogenannten Modellsand gefertigt, der nur aus Neustoffen aufbereitet wird. Dadurch ergibt sich ein für Gießereien dieser Größenordnung (5 000 t/a Guß) ungewöhnlich hoher Neusandbedarf zur Formherstellung von 3 000 t/a. Die Abfallmenge des Betriebes wird wesentlich durch diesen zulaufenden und wieder als Altsand zu entfernenden Modellsand und nicht durch Kernsand bestimmt.

Es wurde empfohlen, den ausgeschleuste Formsand (Altsand AS-Nr. 31 401) aus der Maschinenformerei mit aufwendigen mechanischen Regenerieranlagen mit den Prozeßstufen Trocknen, Reiben oder Luftstrahlscheuern sowie Entstauben zu einem für Modellsand geeigneten Regenerat aufzubereiten. Hierbei müssen die hauptsächlich anorganischen Bestandteile des Sandes wie Bentonit und daraus entstandene Verschleißstoffe nicht völlig entfernt werden, da das Regenerat in den gleichen Kreislauf (Monosystem) zurückgeführt wird. Mit handelsüblichen Regenerieranlagen ist das Ausbringen an Regenerat (> 70 %), der Energiebedarf (< 30 kwh/t) und die Eignung als Modell- und Anlegesand zu prüfen. Der anfallende Regenerierstaub ist zur Zementherstellung oder als Bergversatz im Salzbergwerk zu verwerten. Alternativ kann auch der gesamte Sand so verwertet werden.

4.3.2.2 Beurteilung der Wirtschaftlichkeit

Für die Regenerieranlage mit Anschluß an den Sandkreislauf sind Investitionen von rd. 2 Mio. DM aufzuwenden. Dies führt bei 2 400 t/a zurückgewonnenem Regenerat zu Kapitalkosten von rd. 96 DM/t und Gesamtkosten von rd. 136 DM/t. Dies ist deutlich mehr als für die Beschaffung von Neusand (50-80 DM/t) und die Entsorgung des Altsandes aufzuwenden ist. Die Regenerierung wäre nur dann wirtschaftlich, wenn die Beschaffungskosten und Betriebskosten für das Regenerieren deutlich abgesenkt werden könnten.

4.3.2.3 Ökologische Beurteilung

Die Regenerierung des bentonitgebundenen Formsandes zu Modellsand in hochwertigen mechanischen Anlagen führt zu geringeren Belastungen von Luft und Wasser im Vergleich zu externen Verwertungen als Schüttmaterial oder zur Deponierung, da keine Ausgasungen und Auswaschungen erfolgen können. Der Energieverbrauch für die Regenerierung ist nicht höher als die eingesparte Transportenergie für wegfallende An- und Auslieferung von Sand. Eine Transportminimierung wird durch Wegfall von Transporten erreicht. Voraussetzungen für das Regenerieren aus ökologischer Sicht ist die Verwertung des anfallenden Regenerierstaubes im Zementwerk oder zur Ziegelherstellung, da der sonst anfallende Abfall wegen des hohen Anteils an Kohlenstoffverbindungen (> 10 %) zu Ausgasungen beim Deponieren führen könnte, während die prozeßintegrierte thermische Behandlung im Zement- oder Ziegelwerk zusätzliche Luft- und Wasserbelastungen vermeidet. Diese Verwertungsart ist deshalb auch eine ökologisch sinnvolle Alternative zum Regenerieren dieses Sandes.

4.3.3 Regenerieren von bentonitgebundenem Altsand mit kunstharzgebundenen Kernen

4.3.3.1 Kernanteil im Altsand > 75 %

Praxisbeispiel A: Regenerieren von Mischsanden mit einem Kernanteil (> 90 %) bei Aluminiumguß.

In einer mittelständischen Aluminiumgießerei werden hochwertige Gußteile für die Maschinenfabrik und Kundenguß auf automatischen Formanlagen erzeugt. Kerne zum Ausformen der Innenkonturen der anspruchsvollen Gußteile werden aus harzgebundenem Sand hergestellt.

Nach dem Gießen und Abkühlen der Gußstücke wird auf einem Rüttelrost Guß vom Sand getrennt; der Formsand wird zurückgeführt und wieder zur Herstellung der Formen verwendet. Die Kerne verbleiben weitgehend in den Gußstücken und werden durch Vibration und mit Hilfe von Meißeln entfernt. Dieser Entkernsand wird getrennt erfaßt und in einer mechanisch-thermischen Regenerieranlage zu Regenerat für die Kernfertigung aufbereitet.

Die Regenerieranlage umfaßt eine mechanische Stufe zum Zerkleinern der Kernknollen; anschließend wird gesichtet und entstaubt. Der verbliebene Sand wird in einem Wirbelbett thermisch regeneriert, wobei Binderreste verbrennen. Nach dem Abkühlen wird in Silos zwischengelagert und das Regenerat für die Kernherstellung bereitgestellt.

Bei einer Produktion von 2 600 t/a Aluminiumguß, ein Teil davon in Kokillen, werden rd. 2 500 /a Regenerat gewonnen und wieder eingesetzt. Beim Regenerieren fallen rd. 25 t/a Staub an, der deponiert wird.

Praxisbeispiel B: Mechanisches Regenerieren von Entkernsand (Kernanteil > 90 %) aus harzgebundenen Kernen in einer Aluminiumgießerei.

In einer hochmechanisierten Aluminiumgießerei werden anspruchsvolle Automobilteile in großen Serien gefertigt. Formsand wird im Kreislauf geführt. Harzgebundene Kerne verbleiben beim Trennen von Guß und Form im Gußstück und werden an der Entkernstation als Entkernsand zurückgewonnen. Dieser ist weitgehend frei von anorganischen Störstoffen wie z. B. Bentonit oder Schamotte. Bei einer Produktion von 3 500 t/a Aluminiumguß fallen 7 500 t/a Entkernsand (AS-Nr. 31 401) an. Versuche zum thermischen Regenerieren ergaben bisher keine positiven Ergebnisse, da die Qualität der Kerne den gestellten hohen Anforderungen nicht genügte. Der Entkernsand wird deshalb extern im Zementwert verwertet.

Der weitgehend aus Kernresten bestehende trockene Altsand ist nach bisherigen Erkenntnissen besser mechanisch z. B. durch Schleifen oder Luftstrahlscheuern regenerierbar. Es wurde deshalb die Errichtung einer mechanischen Regenerieranlage empfohlen. Die Randbedingungen der Regenerierung sind vorher in Versuchen zu erproben. Dabei sollte eine ausreichende Regeneratqualität bei einem Ausbringen > 90 % und einem Energiebedarf < 30 kwh/t erreicht werden.

Praxisbeispiel C: Mechanisches Regenerieren von Mischsanden mit Kernanteil > 75 % in einer Eisengießerei.

Kernreicher Automobilguß wird in Großserie auf automatischen Formanlagen gegossen; die zum Ausformen der Innenkonturen benötigen Kerne werden weitgehend aus Regenerat hergestellt. Beim Trennen von Form und Guß werden durch Öffnen der Form und Abschälen der äußeren Bereiche die gußnahen Kern- und Formsande seperat zurückgewonnen. Dieser ausgebrannte Mischsand mit > 75 % Kernanteil wird mechanisch-pneumatisch regeneriert und das Regenerat wiederverwendet. Der übrige Formsand wird ebenfalls zurückgeführt, so daß sich zwei getrennte Kreisläufe für Formsand und Kernsand ergeben.

Die vorhandene Regenerierung erzeugt bei einer Produktion von 50 000 t/a Eisenguß durch Luftstrahlscheuern rd. 30 000 t/a Regenerat. Das Regenerat ist brauchbar für kompakte Kerne **allerdings bei geringem Bindermehrverbrauch**. Filigrane Kernarten werden weiterhin aus Neusand gefertigt.

Die bestehende pneumatische Regenerieranlage wird ergänzt durch eine zusätzliche Anlage, die nach dem Schleifprinzip arbeitet. Damit sollen rd. 7 000 t/a zusätzliches Regenerat gewonnen werden. Die vorgesehene Anlage wurde ausgiebig getestet und nach umfangreichen Betriebsversuchen mit anderen Anlagentypen ausgewählt.

4.3.3.2 Beurteilung der Wirtschaftlichkeit

Das Regenerieren im Praxisbeispiel A zu 2 500 t/a Regenerat ist derzeit nur deshalb wirtschaftlich, weil die Beschaffung von Neusand (80 DM/t) und die Deponierung des Altsandes (200 DM/t) zu Kosten von rd. 280 DM/t führen würden. Die größeren Anlagen arbeiten auch wirtschaftlich gegenüber der externen Verwertung im Zementwerk (80 DM/t). Beim Praxisbeispiel B mit über 6 000 t/a Regenerat verbleiben nach Abzug der Neusandkosten Aufwendungen von 43 DM/t. Das Regenerieren ist in diesem Fall wirtschaftlicher als die externe Verwertung. Dies gilt auch für den Fall C, wenn 7 000 t/a Regenerat zurückgewonnen werden.

Daten zur Wirtschaftlichkeit

Beispiel		A	B	C
Regeneratmenge	t/a	2 500	6 000	7 000
Regeneratkosten	DM/t	170	123	115
Neusandkosten	DM/t	80	80	70
Entsorgungs-/Verwertungskosten	DM/t	200	80	80
Kostenvorteil der Regenerierung		ja	ja	ja

4.3.3.3 Ökologische Beurteilung

Die Alt- und Entkernsande aus den Aluminiumgießereien nach Praxisbeispiel A und B enthalten keine Schwermetalle und auch nur geringe Anteile an Harzbindemitteln, so daß weder beim derzeitigen Regenerieren noch beim Deponieren oder beim Verwerten im Zementwerk der Luft- und Wasserpfad wesentlich beaufschlagt wird. Zusätzlicher Energiebedarf für die Regenerierung wird durch die Transportminimierung ausgeglichen (es fallen Anlieferungs- und Entsorgungstransporte weg). Da die spezifischen Emissionen weiträumiger LKW-Transporte höher sind als beim Regenerieren, ist das Regenerieren insgesamt als ökologisch vorteilhafter einzustufen.

Abfall wird nur beim externen Verwerten völlig vermieden oder beim Regenerieren, wenn der anfallende Regenerierstaub z. B. im Zementwerk verwertet wird. Dies gilt auch für die Regenerierung in der Eisengießerei nach Praxisbeispiel C; hier ist allerdings die Verwertung des anfallenden Regenerierstaubes als Bergversatz eine wichtige Voraussetzung, da beim Deponieren Luft und Wasser berührt wird und wegen des Chromgehaltes eine Verwertung im Zementwerk nicht erfolgen kann.

4.3.3.4 Kerntanteil im Altsand < 75 %

Praxisbeispiel A: Regenerieren oder Verwerten von Mischsanden aus der Großserienfertigung Eisenguß mit kunstharzgebundenen Kernen.

Auf automatischen Formanlagen werden hauptsächlich Großserien für die Automobilindustrie gefertigt; die Kerne werden nach den PUR-Colbox-Verfahren hergestellt. Der gesamte Fertigungsablauf ist weitgehend automatisiert. Altsand fällt bei der Trennung von Sand und Guß am Ausschlagrost an.

Es fallen rd. 20 000 t/a Altsand mit einem Kernanteil unter 30 % an. Solche Sande können mit aufwendigen mechanischen Regenerieranlagen durch Schleifen oder Luftstrahlscheuern zu Kernsand regeneriert werden. Dabei fallen rd. 15 000 t Regenerat und 5 000 Regenerierstaub an, der im Zementwerk verwertet werden soll. Alternativ kann der gesamte Sand im Zementwerk oder auch für Verfüllmaßnahmen verwendet werden.

Praxisbeispiel B: Regenerieren oder Verwerten des Altsandes aus einer Seriengießerei für Aluminiumguß.

Auf einer automatischen Formanlage werden kernreiche Aluminiumteile für die Automobilindustrie gefertigt. In die tongebundenen Formen werden Kerne eingelegt, die nach dem PUR-Coldbox-Verfahren auf automatischen Fertigungslinien hergestellt sind. Die Anforderungen an das Regenerat sind deshalb sehr hoch.

Die Kerne werden mit minimalem Binderanteil gefertigt, so daß diese am Ausschlagrost nicht mit den Gußteilen ausgetragen und damit nicht getrennt erfaßt werden, sondern zusammen mit den Formsand anfallen. Dieser wird im Kreislauf geführt; der Überschußsand von rd. 3 000 t/a wird im Zementwerk verwertet.

Die Regenerierung mit hochwertigen mechanischen Regenerieranlagen z. B. durch Schleifen oder Luftstrahlscheuern ist grundsätzlich möglich. Wegen den hohen Anforderungen an die Kerne und aus wirtschaftlichen Erwägungen wird im Zementwerk verwertet.

4.3.3.5 Beurteilung der Wirtschaftlichkeit

Da Altsand mit geringem Kernanteil erhebliche Mengen anorganischer Störstoffe z. B. Bentonit und Schamotte enthält, ist die interne Regenerierung aufwendig und teuer (rd. 145 DM/t). Nach Abzug der Beschaffungskosten für Neusand von rd. 75 DM/t verbleiben höhere Kosten als für die Verwertung z. B. im Zementwerk und als Verfüllmaterial mit Verwertungskosten (einschließlich Transport) unter 70 DM/t. Die Regenerierung ist deshalb nicht wirtschaftlich.

4.3.3.6 Ökologische Beurteilung

Die Altsande aus der Großserienfertigung enthalten keine Schwermetalle und auch keine wasserlöslichen Harzbestandteile, so daß weder beim Regenerieren noch beim Verwerten der Luft und Wasserpfad wesentlich beaufschlagt wird. Zusätzlicher Energiebedarf für das Regenerieren wird durch Wegfall von Transportenergie für Anlieferung und Abfuhr von Sanden ausgeglichen. Da die spezifischen Emissionen durch weiträumige LKW-Transporte beim Regenerieren abnehmen, ist dies als ökologisch vorteilhafter einzustufen auch weil eine höherwertige Nutzung des Altsandes und Transportminimierung erfolgt.

4.3.4 Regenerieren von Naßgußsand mit anorganisch gebundenen Kernen (Wasserglas- und Methylformiatkerne)

Praxisbeispiel: Regenerieren von Wasserglaskernen in Aluminiumgießereien.
Aluminiumguß mit Wasserglaskernen wird auf Formmaschinen oder Formanlagen hergestellt. Beim Trennen von Sand und Guß verbleiben die Kerne im Gußteil und werden getrennt vom Formsand zurückgewonnen. Formsand wird im Kreislauf geführt, Entkernsand deponiert oder nach externer thermischer Behandlung verwertet.

Die abgetrennten Kerne enthalten nur sehr wenig Formsandreste und lassen sich deshalb in speziellen Anlagen durch Luftstrahlscheuern regenerieren. Beim Wiedereinsatz des Regenerates muß allerdings Bindermenge und Binderart den neuen Bedingungen angepaßt werden. Regeneriert wird durch Scheuern und Sichten/Entstauben nach Trocknen.

4.3.4.1 Beurteilung der Wirtschaftlichkeit

Da in der Gießerei nur rd. 500 t/a Altsand anfallen, wird in einer Gemeinschaftsanlage mit gleichartigen Gießereien regeneriert. Diese ist so gebaut, daß einzelne Chargen getrennt regeneriert und dem Anlieferer zurückgeliefert werden können.

Die Kosten für die Regenerierung liegen im Bereich der Neusand- und Altsandentsorgungskosten von rd. 150 DM/t; damit ist Wirtschaftlichkeit gegenüber dem Deponieren und Verwerten gegeben.

4.3.4.2 Ökologische Beurteilung

Die Einwirkungen auf Luft und Energieverbrauch sind bei der Regenerierung vorteilhafter als bei der derzeitigen Verwertung nach thermischer Vorbehandlung, da Luftbelastung und Energieverbrauch durch die thermische Behandlung und die langen Transportwege wegfallen. Es erfolgt eine hochwertige Verwertung und Transportminimierung.

4.4 Schadlose Verwertung von Gießereiabfällen

Praxisbeispiel A: Verwerten von Altsand einer Seriengießerei als Verfüllmaterial.
In einer Seriengießerei mit Maschinenformerei fällt als Überschußsand ein gleichmäßiger Altsand an, der keine schädlichen Schwermetalle enthält. Er entspricht den Anforderungen der LAGA an die Verwertung im Erd- und Straßenbau.

In der Nähe der Gießerei befindet sich eine trockene Abgrabung für Sand und Kies, die zu verfüllen ist, um das alte Geländeniveau wieder herzustellen. Dafür ist der tongebundene Altsand vorzüglich geeignet. Durch interne Qualitätssicherungsmaßnahmen wird dafür gesorgt, daß nur geeigneter Altsand und keine anderen Stoffe für die Verfüllung angeliefert werden.

Praxisbeispiel B: Verwertung von Altsand und Kernsand einer Aluminiumgießerei im Zementwerk.
In einer mittelständischen Aluminiumgießerei wird sowohl mit tongebundenem Sand in der Maschinenformerei als auch mit harzgebundenem Sand in der Handformerei gefertigt. Kerne werden aus Kaltharzsand, Wasserglassand und nach dem PUR-Coldbox-Verfahren hergestellt.

Wegen der Vielzahl der Fertigungsverfahren ist die Verwertung des Alt- und Kernsandes im Zementwerk die vorteilhafteste VVV-Maßnahme; vom Markt geforderte Umschichtungen der einzelnen Herstellungsverfahren beeinflussen diese Verwertung nicht, so daß der Betrieb flexibel reagieren kann.

Praxisbeispiel C: Verwertung der Gießereireststoffe einer mittelständischen Eisengießerei als Bergversatz im Salzbergwerk.

In der Kundengießerei wird eine Maschinen- und Handformerei betrieben. Es fallen sowohl tongebundener als auch harzgebundener Altsand und außerdem Putzereisand und Regenerierstaub an. Für bestimmte Gußteile werden Kerne aus Chromerzsand benötigt. Hierdurch ergibt sich ein Chrompegel von < 1 000 ppm im Altsand. Ein Verzicht oder Abtrennen von Chromerzsand ist nicht möglich.

Das innerbetriebliche Minderungspotential ist durch Regenerieren des harzgebundenen Sandes und enge Kreislaufführung beim tongebundenem Sand ausgeschöpft. In der Formerei und Putzerei anfallende Altsande und Stäube werden befeuchtet und in Containern gesammelt und abgefahren. Diese Abfälle sind für die Verwertung als Bergversatz geeignet. Das Salzbergwerk liegt in etwa 100 km Entfernung und kann ohne Zwischenumschlag angefahren werden.

4.4.1 Beurteilung der Wirtschaftlichkeit

Die Verwertung als Verfüllmaterial führt zu den geringsten Kosten, da hochwertiges Verfüllmaterial vom Verwerter dringend benötigt wird. Im Zementwerk und für Bergversatz ergeben sich höhere Kosten von 40 bis 80 DM zuzüglich Transport. Trotzdem sind diese Verwertungsarten der Praxisbeispiele B und C die jeweils kostengünstigste und wirtschaftlichste Maßnahme.

4.4.2 Ökologische Beurteilung

Bei den beschriebenen Verwertungsmaßnahmen wird entweder durch eine geologische Barriere (Versatz im Salzbergwerk), einen thermischen Prozeß (Zementherstellung) oder durch hohe Anforderungen an die Qualität des Verfüllmaterials verbunden mit wasserwirtschaftlichen Sicherungsmaßnahmen Vorsorge gegen Umweltbelastungen getroffen. Gegenüber der Deponierung ergeben sich geringere Belastungen, jedoch in der Regel weitere Transportwege. Es handelt sich zwar um keine hochwertige aber unter Berücksichtigung der verfahrenstechnischen Randbedingungen die jeweils bestmögliche Verwertung.

Düsseldorf, 31.07.1996
Wi/hy