Untersuchung zum Thema:

Vermeidung von Abfällen durch abfallarme Produktionsverfahren

- Gießereialtsande aus Nichteisenmetallgießereien -

Auftraggeber:

Ministerium für Umwelt Baden-Württemberg Deutscher Gießereiverband, Landesverband Baden-Württemberg Gesamtverband Deutscher Metallgießereien, Südwestliche Gruppe e.V.

> Johannes Winterhalter (IfG) Günter Mauersberger (IfG) Peter Bars (FhG-ISI) Dominik Toussaint (FhG-ISI)

Institut für Gießereitechnik (IfG)
Sohnstraße 70
D-4000 Düsseldorf 1

Fraunhofer-Institut für
Systemtechnik und Innovationsforschung (FhG-ISI)
Breslauer Straße 48
D-7500 Karlsruhe 1

Karlsruhe, Oktober 1992

Herausgeber: Geschäftsstelle der ABAG Geschäftsbereich der SBW Sonderabfallentsorgung Baden-Württemberg GmbH Welfenstraße 13, 7012 Fellbach 4

Oktober 1992

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

Gesamtherstellung: Oertel + Spörer, Reutlingen

Vorwort

In Baden-Württemberg fallen jährlich 550 000 t Sonderabfälle an. Dies entspricht einem Güterzug mit der Länge von Basel bis Frankfurt.

Dieser Zug mit Rückständen unserer Wohlstandsgesellschaft muß in den nächsten Jahren kürzer werden. Die Vermeidung von Abfällen und Sonderabfällen hat somit absolute Priorität. Um dieses Ziel zu erreichen, ist ein Umdenken in den Betrieben erforderlich. Wurde in der Vergangenheit die Qualität bei der Produktion allein daran gemessen, was erzeugt wird, so wird es in Zukunft entscheidend darauf ankommen, möglichst ressourcenschonend und abfallarm zu produzieren.

Ein Optimum – kein Maximum – von Gütern und Dienstleistungen muß mit einem Minimum an Energie- und Rohstoffverbrauch und Umweltbelastung erbracht werden.

Deshalb müssen Stoffkreisläufe geschaffen werden, damit wertvolle Rohstoffe so lange wie möglich im Produktionsprozeß verbleiben. Es müssen die Produktionsprozesse darauf überprüft werden, bei welchen Produktionsschritten bestimmte umweltbelastende Einsatzstoffe durch geeignetere Stoffe ersetzt werden können. Hier sind in erster Linie die Betriebe gefragt, die mit ihrer Produktion Abfälle erzeugen und die Umwelt belasten. Die Industrie muß zukünftig vorrangig in abfallarme Produktionsverfahren investieren.

Mit der 1991 eingerichteten Abfallberatungsagentur stellt das Land den investitionsbereiten Betrieben ein Beratungsinstrument an die Seite. Die Abfallberatungsagentur soll zunächst abfallarme Produktionsverfahren erkunden und die Entwicklung gegenüber der Vergabe von Forschungs- und Entwicklungsvorhaben initiieren. Die gewonnenen Erkenntnisse sollen im Wege der individuellen Beratung und der allgemeinen Information an die gewerbliche Wirtschaft und die technischen Fachbehörden weitergegeben werden.

Ein wesentlicher Eckpfeiler der gegenwärtigen Arbeit der Abfallberatungsagentur ist die Betreuung der im Auftrag des Umweltministeriums durchgeführten Untersuchungen zum Thema "Vermeidung von Abfällen durch abfallarme Produktionsverfahren". Im Rahmen dieser Arbeit werden in mehreren Betrieben Baden-Württembergs die Möglichkeiten untersucht, in den Betrieben anfallende Abfälle zu vermeiden oder zu verwerten. Des weiteren wird bei den Untersuchungen darauf Wert gelegt, die betriebswirtschaftliche Seite der technisch verfügbaren Möglichkeiten auszuleuchten.

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

Navald/ (lb)
Harald B. Schäfer

Umweltminister Baden-Württemberg

Inhaltsverzeichnis

Kurzfassı	ing
TEIL A - \$	Stand der Gießereitechnik
1.	Einleitung
2.	Gießverfahren
2.1	Gießverfahren mit verlorener Form
2.1.1	Formstoffe zur Herstellung verlorener Formen und Kerne
2.1.1.1	Formsande
2.1.1.2	Bindemittel für Form- und Kernsande
2.1.1.3	Formstoff-Zusatzstoffe
2.1.1.4	Formüberzugsstoffe
2.1.2	Formherstellung
2.1.2.1	Naßgußverfahren
2.1.2.2	Kaltharzverfahren
2.1.2.3	Das Maskenformverfahren
2.1.2.4	
2.1.2.5	Wasserglasverfahren
2.1.2.6	Vollformgießverfahren
2.1.2.6.1	Vollformgießen mit durch physikalische Kräfte stabilisiertem Formstoff
2.1.2.6.2 2.1.3	Kernherstellung
	Wasserglasverfahren
2.1.3.1 2.1.3.2	Coldbox-Begasungsverfahren
2.1.3.2	Hotbox-Verfahren
2.1.3.3	Gießverfahren mit Dauerformen
2.2.1	Kokillengießen
2.2.1	Druckgießen
2.2.2	Schleudergießen
2.2.3	Schleddergieben
3.	Abfallarten – Entstehung, Aufkommen, Entsorgungsweg
3.1	Gießereialtsande
3.2	Stäube, Schlämme und Feinanteil aus dem Formstoffumlauf und
	der Altsandregenerierung
3.3	Sande, Stäube und Schlämme aus der Gußputzerei
4.	Vermeidung und Verwertung von Abfällen/Reststoffen
	aus der Gießerei-Industrie
4.1	Gießereialtsande
4.1.1	Regenerierung von Gießereialtsanden
4.1.1.1	Verfahren zum Regenerieren von Gießereialtsand
4.1.1.1.1	Knollenzerkleinerung
4.1.1.1.2	Mechanische Verfahrensstufen
4.1.1.1.3	

4.1.1.1.4	Naßregener	ierung				. 7
4.1.1.2	Regenerieru	ing reiner Ursprungssysteme				. 74
4.1.1.2.1	Bentonitget	oundene Altsande				. 74
4.1.1.2.2	•	gebundene Altsande				. 7
4.1.1.2.3	Organisch o	gebundene Altsande				. 78
4.1.1.3	Regenerieru	ing von Mischaltsanden				. 8
4.1.1.3.1	Organisch-r	pentonitgebundene Mischaltsande		•	•	. 8
4.1.1.3.2	Organisch g	gebundene Mischaltsande				. 8
4.1.1.3.3	Bentonit-wa	sserglasgebundene Mischaltsande				. 86
4.1.1.3.4	Organisch-k	pentonit-wasserglasgebundene Mischaltsande				. 86
4.1.2		bliche Verwertung von Gießereialtsanden				
4.1.2.1		als Baustoff				
4.1.2.2	Verwertung	in Asphaltmischungen				. 8
4.1.2.3	Verwertung	bei der Zementherstellung				. 88
4.1.2.4	Verwertung	in der Ziegelindustrie				. 89
4.1.2.5	Verwertung	bei der Kalksandsteinherstellung				. 89
		als Verfüllmaterial für Schachtanlagen im Steinkohlebergbau				. 89
		der Stäube, Schlämme und des Feinanteils				
	aus dem Fo	rmstoffumlauf und der Altsandregenerierung				. 89
Zitierte ur	na berucksi	chtigte Literatur		•		. 91
I		ng von vier netall-Gießereien mit IST-Analyse dungs- und Verwertungskonzept				. 95
Betrieb-Nr	. 000	Mechanisierte und automatisierte Naßgußfertigung ohne Kerne (Kupferlegierungen)				. 97
Betrieb-Nr	. 106	Automatisierte Großserienfertigung im Naßgußverfahren und in Kokillen mit Coldbox-Amin-Kernen (Aluminium)				119
Betrieb-Nr	. 178	Mechanisierte Naßgußfertigung mit Wasserglas- und Coldbox- Methylformiat-Kernen (Aluminium)				139
Betrieb-Nr	. 397	Einzelfertigung im Kaltharzverfahren, mechanisierte Naßgußfertigung mit Kaltharz- und Coldbox-Amin-Kernen sowie Kokillenguß mit Coldbox-Amin-, Hotbox- und Groning Kernen (Aluminium)				161
Anhang 1:		ungskriterien zur Durchführung von Maßnahmen idung und Verwertung von Abfällen/Reststoffen				187
Anhang 2:		ng der in der Wirtschaftlichkeitsuntersuchung ntigten Kostenarten	•			197
Anhang 3:		nstellung von Regenerierungsanlagen itgebunde Mischsande			. 7	203

Kurzfassung

Die Gießereiindustrie ist ein wichtiger Zweig der Metallverarbeitenden Industrie der Bundesrepublik Deutschland. Im Jahr 1989 wurden in den Alten Bundesländern rund 3,5 Mio. Tonnen Gußteile aus Eisen und Stahl, sowie rund 0,6 Mio. Tonnen Gußteile aus Nichteisen-(NE)-Metallen – vorwiegend aus Aluminium und aus Kupferlegierungen – hergestellt.

Der überwiegende Anteil der Eisengußproduktion und etwa 30 % der NE-Schwermetall-Gußproduktion erfolgt mit Sandformen (meist Quarzsand), die nach dem Abguß zerstört werden (verlorene Formen). Gießverfahren mit Dauerformen (z. B. Kokillenguß, Druckguß) können im Eisenguß nur für spezielle Anwendungen eingesetzt werden (z. B. Hydraulikguß). NE-Leichtmetalle werden zu 85 % in wiederverwendbaren Dauerformen gegossen, wobei auch Sandkerne zum Einsatz kommen (Kokillenguß). Das Gießen in Dauerformen ist wegen der hohen Werkzeugkosten in der Regel nur bei Großserien üblich.

Obwohl bereits heute in der Regel 85 bis 95 % der verwendeten Form- und Kernsande im Kreislauf geführt werden, fallen beim Gießen mit verlorenen Formen große Mengen Gießereialtsande als Reststoff an. Der Altsand wird fast ausschließlich als Abfall deponiert. Das Aufkommen an Gießereialtsanden in den Alten Bundesländern lag nach der amtlichen Statistik im Jahr 1987 bei 1,46 Mio. Tonnen. Hiervon wurden rund 60 000 Tonnen einer außerbetrieblichen Verwertung zugeführt. Die verbleibenden 1,4 Mio. Tonnen wurden auf öffentlichen Hausmülloder Bauschuttdeponien oder auf betriebseigenen Deponien abgelagert. Das Altsandaufkommen der überwiegend mittelständischen Gießereibetriebe in Baden-Württemberg lag im Jahr 1987 bei 340 000 Tonnen. Hiervon wurden 12 000 Tonnen außerbetrieblich verwertet, 53 000 Tonnen auf betriebseigenen und 275 000 Tonnen auf öffentlichen Deponien abgelagert.

Im Zuge immer geringer werdender Deponiekapazitäten und der fehlenden Akzeptanz für neue Deponiestandorte gewinnt die Forderung nach einer Vermeidung oder Verwertung von Gießereialtsanden zunehmend an Bedeutung. Da es sich bei Eisen- und NE-Metall-Gießereien um Anlagen handelt, die nach dem Bundesimmissionsschutz-Gesetz (BImSchG) genehmigungsbedürftig sind, unterliegen diese Anlagen dem Reststoffvermeidungs- und -verwertungsgebot nach § 5 Abs. 1 Nr. 3 BImSchG.

Der Gießprozeß mit verlorenen Formen gliedert sich in die Schmelzerei, die Herstellung der Formen und Kerne, die Gießstrecke, das Ausformen der Gußstücke, die Aufbereitung des Kreislaufsandes sowie die Nachbearbeitung der Gußstücke. In der Formerei werden die Formteile aus Formsand (meist Quarzsand) hergestellt, der mit Bindemittel versetzt ist. Der Formsand weist in der Regel einen hohen Altsandanteil auf. In der Kernmacherei werden die erforderlichen Sandkerne unter Verwendung von Kernsandbindern im allgemeinen aus Neusand gefertigt. Zur Herstellung von Großkernen nach dem Kaltharz-Verfahren wird meist ein Gemisch aus Neusand und Kaltharzaltsand verwendet. Formteile und Kerne werden anschließend zu gießfertigen Formen zusammengesetzt. Nach dem Abguß mit dem schmelzflüssigen Metall durchlaufen die Formen eine Kühlstrecke. Die abgekühlten Formen werden anschließend zerstört (z. B. Vibration). Kerne, die beim Ausformen nicht zerfallen, werden beim Entkernen entfernt. Der beim Ausformen anfallende Altsand wird aufbereitet (z. B. Kühlen, Sieben, Entstauben) und wieder zur Formherstellung verwendet. Kern- und Formsandknollen werden in der Regel ausgeschleust und als Abfall deponiert. Der an der Gußstückoberfläche anhaftende Sand wird in Strahlanlagen abgestrahlt. Im Anschluß erfolgt die Nachbearbeitung der Gußstücke (z. B. Entgraten, Schleifen).

Bei der Formherstellung wird in der Regel Altsand verwendet, dem durch die Behandlung nach dem Ausleeren ein Teil der Störstoffe entzogen wird (z. B. Staub, abgebrannte Binderhüllen). Dem Formsand wird zum Ausgleich von Sandverlusten und zur Störstoffverdünnung in gewissem Umfang Neusand zugesetzt. Um eine Verfestigung der Formen zu erreichen, wird dem Formsand ein Bindemittel zugegeben. Beim Naßgußverfahren wird der Sand angefeuch-

tet und als Bindemittel Bentonit zugesetzt. Das Naßgußverfahren ist ein flexibles Formverfahren, mit dem mittlere und große Serien bei kleineren und mittleren Abmessungen der Gußstükke wirtschaftlich hergestellt werden können. In Eisengießereien werden dem Naßgußformsand in der Regel Glanzkohlenstoffbildner zur Verbesserung der Gußstückoberfläche zugegeben. Für Kleinserien und bei großen Gußstücken erfolgt die Formherstellung mit Kunstharzen (Furan-, Phenol-, Alkydharze), die bei Raumtemperatur aushärten (Kaltharzverfahren). Für große Serien kommt auch das Croning- oder Maskenform-Verfahren zur Anwendung, bei dem mit Hilfe eines heißhärtenden Kunstharzes dünnwandige Formen hergestellt werden, die mit bindemittelfreiem Quarzsand oder Stahlkies hinterfüllt werden.

Zur Kernherstellung ist eine Vielzahl von Verfahren gebräuchlich. Wegen der hohen Anforderungen an die Stabilität der Kerne beim innerbetrieblichen Transport, beim Einlegen in die Formen und beim Abguß wird zur Kernherstellung fast ausschließlich neuer Quarzsand eingesetzt. In kleineren Gießereien – insbesondere im NE-Leichtmetallguß – ist Wasserglas wegen seiner einfachen Handhabung, der geringen Kosten und der guten Umweltverträglichkeit als Bindemittel verbreitet. Wegen der höheren Festigkeit, der besseren Lagerfähigkeit der Kerne und besseren Zerfallseigenschaften (Eisenguß) werden zunehmend Kernfertigungsverfahren auf Kunstharzbasis eingesetzt. Weitverbreitet sind kalthärtende Begasungsverfahren, wie das Cold-Box-Methylformiat- und das Cold-Box-Amin-Verfahren. Daneben finden auch heißhärtende (z. B. Hot-Box-Verfahren, Croning-Verfahren) und kalthärtende Kunstharze (Kaltharz-Verfahren) bei der Kernherstellung Anwendung. Kaltharz-Kerne lassen sich aus einem Gemisch aus Neu- und Altsand herstellen.

Beim Gießen mit Sandformen fallen verschiedene Altsandarten als Reststoff an. Im Formsand, der im Kreislauf geführt wird, reichern sich Störstoffe an, die die Festigkeit der Formen herabsetzen und den Bindemittelverbrauch erhöhen. Die Störstoffe werden zum Teil mit dem Staub aus dem Sandsystem entfernt. Der Formsand wird in gewissem Umfang mit Neusand aufgefrischt, um die Störstoffe zu verdünnen. Auch beim Ausleeren der Formen laufen dem Formsand störstoffarme Sandmengen zu (Kernzerfall). Um die umlaufende Sandmenge in einer Gießerei konstant zu halten, muß eine der zulaufenden Neu- und Kernsandmenge äguivalente Menge als Altsand ausgetragen werden. Beim Auspacken der Formen und bei der Umlaufsandaufbereitung fällt in der Regel ein Gemisch aus Form- und Kernsandknollen an. In Aluminiumgießereien sind die Kernsandknollen im allgemeinen nur gering mit Formsand verunreinigt. Beim Strahlen und bei der Nachbearbeitung der Gußstücke fallen Altsande an, die als Putzereisand- oder Strahlsandrückstände bezeichnet werden. Aus Arbeitsschutzgründen und zur Störstoffentfernung werden an verschiedenen Stellen des Sandkreislaufs Stäube abgesaugt, die entweder trocken oder schlammförmig als Abfall anfallen. Trockene Stäube und Feinanteile sind im Abfallartenkatalog der LAGA nicht gesondert aufgeführt, sondern werden den Gießereialtsanden zugerechnet. Stäube und Feinanteile können hohe Anteile an organischem Material aufweisen (z. B. Glanzkohlenstoffbildner, Binderhüllen). Nach zu erwartenden neuen Richtlinien zur Deponierbarkeit von Abfällen (TA Siedlungsabfall) können zukünftig organisch belastete Stäube nur nach einer Vorbehandlung abgelagert werden. Für diese Stäube und Feinanteile ist die Schaffung einer eigenen LAGA-Abfallart in Erwägung zu ziehen.

Zur Verringerung des Aufkommens an Gießereialtsanden sind verschiedene technische und organisatorische Maßnahmen zur Vermeidung und zur betriebsinternen oder außerbetrieblichen Verwertung möglich. Eine Umstellung auf sandarme oder sandfreie Gießverfahren mit Dauerformen ist bei Eisen- und Stahlgießereien aus technologischen (Verschleiß der Formen durch thermische Beanspruchung) und wirtschaftlichen Gründen nur in geringem Umfang möglich. In NE-Metall-Gießereien ist der Einsatz von Dauergießverfahren in der Regel auf Großserien mit geeigneter Geometrie begrenzt (Ausformbarkeit).

Vor der Einführung von Maßnahmen zur Verwertung der Altsande ist es sinnvoll, den bestehenden Formsandkreislauf zu optimieren. Durch eine effektive Störstoffentfernung (z. B. Unterkorn, Bindemittelreste) läßt sich der Neusandbedarf zur Sandauffrischung in der Regel redu-

zieren. In vielen Fällen kann der Neusandbedarf des Formsandkreislaufs allein durch den Kernsandeinlauf gedeckt werden. Durch eine bedarfsgerechte Zugabe von Bindemittel läßt sich der Störstoffpegel im Formsand günstig beeinflussen.

Ziel der inner- oder außerbetrieblichen Altsandregenerierung ist es, den Altsand soweit von Bindemittelresten zu reinigen, daß das Regenerat bei der Kernherstellung Neusand ersetzen kann. Liegen im Altsand Bindemittelsysteme vor, die mit dem Bindemittelsystem, in dem das Regenerat wieder eingesetzt werden soll, schlecht verträglich sind (z. B. chemische Unverträglichkeit, hoher Staubanteil), kann die Festigkeit der Kerne oder Formen deutlich abnehmen. Um eine Regenerierung von Gießereialtsanden zu erleichtern, ist es deshalb vorteilhaft, unverträgliche Bindemittelsysteme durch verträgliche zu ersetzen oder die entsprechenden Altsande getrennt zu halten. Auch die Verwendung von Form- und Kernsand mit einheitlicher Körnung und eine Optimierung der Kernherstellung (Verkürzung der Lagerzeiten von Harz, Kernsand-Harz-Mischung und fertigen Kernen; Mischer mit hohem Homogenisierungsvemögen; exakte Dosierung der Binderkomponenten) erleichtern den Regenerateinsatz.

Zur Regenerierung von Gießereialtsanden sind eine Reihe von Verfahrenskombinationen entwickelt und im Pilot- oder technischen Maßstab mit Erfolg erprobt worden. Bei den Regenerierverfahren unterscheidet man mechanische und thermische Verfahren sowie mechanischthermische Verfahrenskombinationen. Mechanische Verfahren entfernen die Binderhüllen durch Reiben oder Schlagen von den Quarzkörnern. Die Binderhüllen und weitere staubförmige Störstoffe werden als Feinanteil ausgetragen. Bei mechanischen Regenerierungsverfahren enthält die Feinfraktion einen hohen Anteil organischen Materials (z. B. Binderhüllen, Glanzkohlenstoffbildner). Solche organisch belasteten Feinanteile aus mechanischen Regenerierungsanlagen werden mit Inkrafttreten der TA Siedlungsabfall vermutlich von der Deponierung ausgeschlossen werden. Mechanische Verfahren sind für die Regenerierung bentonitgebundener Altsande geeignet. Kunstharzgebundene Altsande lassen sich mechanisch regenerieren, sofern die Binderhüllen beim Gießprozeß ausreichend versprödet sind und das Regenerat wieder im gleichen Bindersystem eingesetzt wird (z. B. Kaltharzaltsand aus Eisengießereien). Kunstharzgebundene Altsande, die thermisch schwach belastet sind (z. B. aus Aluminiumgießereien), lassen sich wegen der Plastizität der Binderhüllen nur schwer mechanisch regenerieren. Thermische Verfahren sind besonders zur Regenerierung kunstharzgebundener Altsande mit geringem Bentonitanteil geeignet. Ein Vorteil thermischer Verfahren liegt darin, daß der entstehende Feinanteil keine organischen Bestandteile mehr enthält. Insbesondere zur Regenerierung bentonithaltiger Mischaltsande in zentralen Regenerierungsanlagen werden mechanischthermische Verfahren eingesetzt. Altsande, die in größerem Umfang wasserglasgebundene Altsande oder Kerne, die mit dem Methylformiat-Verfahren hergestellt wurden, enthalten, lassen sich mit den verfügbaren Verfahren nicht mit zufriedenstellendem Ergebnis regenerieren. Bei der Beurteilung von Regenerierungsverfahren ist zu beachten, daß die in der Fachliteratur veröffentlichten Betriebsergebnisse für die Altsandzusammensetzung des jeweiligen Anwendungsfalls gelten und nicht in jedem Fall verallgemeinerbar sind. Die Konzeption und Auswahl innerbetrieblicher Regenerierungsanlagen erfordert eine systematische Untersuchung der Regeneratqualitäten, die mit den Regenerierungssystemen unterschiedlicher Hersteller erzielbar sind.

Sofern keine Beeinträchtigung der Umwelt erfolgt, lassen sich Gießereialtsande auch branchenfremd verwerten. Der Arbeitskreis "Vereinheitlichung der Untersuchung und Bewertung von Reststoffen" der Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA) erarbeitet derzeit Richtlinien für die Verwendung von Gießereialtsanden als Schüttmaterial im Erd- und Straßenbau und in Asphaltmischungen sowie für den Einsatz als Verfüllmaterial für aufgelassene Gruben im Bergbau. Mit diesen Richtlinien soll ausgeschlossen werden, daß hierbei Altsande verwendet werden, die Schadstoffe enthalten (z. B. Phenole, PAK) und dadurch das Grundwasser oder den Boden gefährden. Die Einsatzmöglichkeiten von Altsanden als Rohstoff in der Zementindustrie und bei der Ziegelherstellung werden derzeit großtechnisch erprobt. Ziel der Untersuchungen ist die Minimierung der Emission organischer Schadstoffe durch einen vollständigen Ausbrand

der organischen Altsandinhaltsstoffe. Der Einsatz von Gießereialtsanden bei der Herstellung von Kalksandsteinen ist nicht praktikabel.

Für die vorliegende Untersuchung wurden für vier Nichteisenmetall-Gießereien (vgl. Tabelle 1) exemplarisch betriebsbezogene Vermeidungs- und Verwertungskonzepte erstellt, um das Vermeidungs- und Verwertungspotential von Gießereialtsanden in der Praxis abschätzen zu können. Zusätzlich wurde untersucht, welche ökonomischen Auswirkungen mit der Umsetzung der Konzepte verbunden sind.

Betrieb	Gußwerkstoff	Formverfahren	Kernverfahren	Produktion	Stückzahl
000	Cu-Legierungen	Naßguß	_	900 t/a	Einzel- und Serienfertigung
	Al-Legierungen*	Naßguß	_	100 t/a	Einzel- und Serienfertigung
106	Al Naßguß Al Kokillenguß Al Naßguß		Coldbox-Amin Pepset	2400 t/a	Einzel- und Serienfertigung
	Al	Kokillenguß	Coldbox-Amin	900 t/a	Serienfertigung
178	Al	Naßguß	Wasserglas-CO ₂	140 t/a	Einzelstücke und Kleinserien
			Coldbox-Methyl- formiat		
397	Al	Kaltharz	Kaltharz	160 t/a	Einzelstücke und Kleinserien
	Al	Naßguß	Coldbox-Amin Kaltharz	1150 t/a	Serienfertigung
	Al	Kokillenguß	Coldbox-Amin	2 100 t/a	Serienfertigung
			Hotbox Croning		
	Mg*	Naßguß	Kaltharz Coldbox-Amin	75 t/a	Serienfertigung

^{*} nicht in die Untersuchung einbezogen

Tab. 1: Charakterisierung der untersuchten NE-Metall-Gießereien

Zunächst erfolgte eine Bestandsaufnahme (Ist-Analyse) der Gießereien, wobei die Verfahren zur Form- und Kernherstellung und die maschinentechnische Ausstattung der Betriebe erhoben wurde. Auf der Basis der Einsatzstoffe, Produkte, Zwischenprodukte und Abfälle/Reststoffe wurde der gesamte Gießprozeß und der Sandkreislauf der Gießereien bilanziert sowie Kennzahlen gebildet. Für ausgewählte Altsande und Stäube wurden Analysen durchgeführt, um Aufschluß über Stör- und Wertstoffgehalte sowie über granulometrische Eigenschaften zu erhalten.

Aufbauend auf der Ist-Analyse wurde in Zusammenarbeit mit den untersuchten Betrieben ermittelt, welche technischen und organisatorischen Maßnahmen zur Vermeidung und/oder Ver-

wertung der Altsande und Stäube in den Betrieben umsetzbar sind. Bei der Erarbeitung der Konzepte wurden – auch im Hinblick auf eine innerbetriebliche oder externe Regenerierung der Altsande und Stäube – insbesondere folgende Maßnahmen geprüft:

- Weitgehende Schließung der Sandkreisläufe
- Interne Rückführung wertstoffhaltiger Stäube
- Vereinheitlichung der Sandarten in der Form- und Kernherstellung (Körnung)
- Chemische und physikalische Verträglichkeit der verwendeten Bindersysteme
- Getrennthaltung von Altsanden mit unverträglichen Bindersystemen
- Reduzierung der Bindervielfalt
- Einsatz regenerierungsfreundlicher Bindersysteme
- Optimierung der Kernherstellung im Hinblick auf den Einsatz von Regenerat (z. B. Vermeidung der Überlagerung von Harzen, Kernsandmischungen und fertigen Kernen, Einsatz guter Mischer, analytische Überwachung der Kernqualität)
- Einsatz innerbetrieblicher Altsandregenerierungsanlagen
- Externe Altsandregenerierung
- Branchenfremde Altsandverwertung

Die Wirtschaftlichkeit der Vermeidungs- und Verwertungskonzepte wurde mit Hilfe einer dynamischen Kostenvergleichsrechnung überprüft. Da die Angaben über die Beschaffungs- und Betriebskosten von Anlagen zur betriebsinternen Regenerierung von Altsanden (inkl. Nebenanlagen) in der Regel nicht von im technischen Maßstab ausgeführten Anlagen ableitbar sind, wurde ermittelt, welche durchschnittlichen Kosten die Umsetzung des vorgeschlagenen Konzepts verursachen darf, um bestimmte Anforderungen an die Amortisationszeit der Maßnahmen zu erfüllen. Wegen der nicht abschätzbaren Entwicklung der Deponiegebühren für Gießereialtsande erfolgt der Kostenvergleich für unterschiedliche Steigerungsraten der Entsorgungskosten. Die durchgeführten Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen bilden eine wesentliche Grundlage für die Beurteilung der Zumutbarkeit von Vermeidungs- und Verwertungsmaßnahmen.

Im folgenden werden die Vermeidungs- und Verwertungskonzepte zusammengefaßt:

Betrieb 000: Die Gießerei stellt Bronze- und in geringem Umfang Aluminiumgußstücke her. Die Aluminiumgießerei wurde nicht untersucht. Die Bronzegußstücke werden überwiegend im Außenbereich eingesetzt. Der Großteil der Produktion wird im Naßqußverfahren hergestellt. Daneben kommen Feingußverfahren zum Einsatz (Gipsquß, Keramikguß). Die eingesetzte Kernmenge ist zu vernachlässigen. Das Vermeidungs- und Verwertungskonzept bezieht sich ausschließlich auf den Naßguß. Nach dem Ausleeren der Naßgußformen haften an den Gußstücken größere Mengen Formsand, die in einer Strahlanlage entfernt werden. Neben dem Altsand und dem Staub aus der Strahlanlage fallen keine bedeutenden Abfälle/Reststoffe an. Der Altsand ist mit Strahlmittelunterkorn (Edelstahl) verunreinigt und kann unbehandelt nicht in den Sandkreislauf zurückgeführt werden. Da aus technischen Gründen eine Umstellung des Strahlmittels nicht möglich ist (z. B. Korrosionsgefahr bei Aufstellung der Gußstücke im Außenbereich), läßt sich die Altsandmenge nur vermindern, wenn die Gußteile vor dem Strahlen so weit wie möglich vom anhaftenden Sand befreit und/oder der Altsand durch geeignete Trennverfahren von Strahlmittelresten gereinigt werden kann. Für beide Lösungswege sind derzeit keine erprobten Verfahren verfügbar, die eine Abschätzung des Vermeidungspotentials erlauben. Zur Beurteilung der Wirtschaftlichkeit möglicher technischer Maßnahmen wurde eine dynamische Kostenvergleichsrechnung durchgeführt. Es zeigt sich, daß bei mittleren Anforderungen an die Amortisationszeit (5 Jahre) der Betrieb rund 350 DM/Tonne Altsand zur Realisierung einer Sandentfernung vor dem Strahlen (Anschaffungs- und Betriebskosten) und 270 bis 300 DM/Tonne Altsand zur Aufbereitung des verunreinigten Strahlsandes aufwenden kann. Es wird daher empfohlen, verschiedene technische Möglichkeiten der Sandentfernung vor dem Strahlen sowie der Trennung von Strahlmittelunterkorn und Altsand systematisch zu prüfen.

Betrieb 106: Die Gießerei verarbeitet Aluminium im Sand- und Kokillenguß. Die Sandformen werden im Naßgußverfahren hergestellt. Das Gußprogramm ist kernreich. Der überwiegende Anteil der Kerne wird im Coldbox-Amin-Verfahren hergestellt. Großkerne werden nach dem Pepset-Verfahren gefertigt. Die Gießerei hat bereits eine Vielzahl organisatorischer und technischer Maßnahmen durchgeführt, die eine innerbetriebliche oder externe Regenerierung der Altsande sowie den Regenerateinsatz für die Kernherstellung erleichtern. Zur Form- und Kernherstellung wird ein Sand mit einheitlicher Körnung eingesetzt. Die ursprünglich vorhandene Vielfalt der eingesetzten organischen Bindemittel wurde auf zwei verträgliche Systeme reduziert. Beim Ausformen wird auf eine Trennung von organisch gebundenen Kernknollen und bentonitgebundenen Formsandknollen geachtet. Auch die Kernherstellung wurde prozeßtechnisch optimiert. Das Aufkommen an Altsand, der sich überwiegend aus Kernknollen aus dem Naßguß und der Kokillengießerei sowie aus Kernbruch, Überfallsanden und Restsanden aus der Kernmacherei zusammensetzt, ist für den Einsatz einer innerbetrieblichen Regenerierungsanlage ausreichend (Anlagenkapazität, Auslastung). Wegen der geringen thermischen Belastung der organisch gebundenen Altsande haben sich bei systematischen Versuchen, die der untersuchte Betrieb durchführte, mechanische Regenerierungsverfahren als ungeeignet erwiesen. Zur Regenerierung wird daher ein thermisches Verfahren vorgeschlagen. Um das Aufbrennen der Bentonitbestandteile im Altsand auf die Quarzkörner zu erschweren, ist hierbei ein Verfahren vorteilhaft, das bei möglichst niedrigen Temperaturen arbeitet und bei dem eine mechanische Reibbeanspruchung der Sandkörner erfolgt (z. B. indirektbeheizte Wirbelschicht). Zur Entfernung der Bentonitanteile ist im Anschluß eine kornschonende mechanische Regenerierungsstufe erforderlich. Versuche der untersuchten Gießerei belegen, daß das Regenerat aus einer derartigen Regenerierungsanlage zur Herstellung von Kernen geeignet ist. Der Feinanteil, der bei der Entstaubung und der Klassierung des Regenerats abgetrennt wird, enthält keine organischen Bestandteile mehr. Legt man die Mengenbilanz des Sandkreislaufs zu Grunde, lassen sich rund 79 % des derzeitigen Neusandbedarfs einsparen. In Folge der Altsandregenerierung ist die Rückführung des am Polygonsieb abgesaugten Staubes, der große Mengen aktiven Bentonits enthält, in den Formsandkreislauf möglich. Unter der Voraussetzung, daß der Feinanteil der Regenerierungsanlage nicht verwertet werden kann, reduziert sich das Abfallaufkommen um ca. 82 %. Die Kostenvergleichsrechnung zeigt, daß bei mittleren Anforderungen an die Amortisationszeit (5 Jahre) rund 300 DM/Tonne Altsand für die Anschaffung und den Betrieb einer Regenerierungsanlage (inkl. Nebenanlagen) aufgewendet werden können.

Betrieb 178: Bei der Gießerei handelt es sich um einen Kleinbetrieb, in dem Einzelstücke und Kleinserien aus Aluminium im Naßguß gefertigt werden. Vereinzelt werden Formen aus Wasserglas-Sand hergestellt, der mit CO2 begast wird. Kerne werden im Wasserglas-CO2-Verfahren und im Coldbox-Methylformiat-Verfahren gefertigt. Das Abfallaufkommen setzt sich aus Kernsandknollen (Wasserglas, Coldbox-Methylformiat) zusammen, die geringfügig mit bentonithaltigem Formsand verunreinigt sind. Das Altsandaufkommen ist für den Einsatz einer innerbetrieblichen Regenerierungsanlage zu gering. Der vorliegende Altsand ist wegen des hohen Wasserglasanteils bei den heute verfügbaren Techniken nicht für eine innerbetriebliche oder externe Regenerierung geeignet. Auch die Regenerierung von Methylformiat-Kernen ist problematisch. Daher wurde untersucht, welche Kostenbelastungen auf den Betrieb zukommen, wenn die Wasserglas- und Methylformiat-Kernherstellung auf das regenerierungsfreundliche Coldbox-Amin-Verfahren umgestellt wird. Bei einer externen Regenerierung der Altsande lassen sich rund 80 % Neusand einsparen. Unter der Annahme, daß der Feinanteil der Regenerierung deponiert werden muß, reduziert sich die Abfallmenge um 80 %. Die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung zeigt, daß die Umstellung bei einer Betrachtungsdauer von 5 Jahren bezogen auf das derzeitige Altsandaufkommen zusätzliche Kosten in Höhe von rund 400 DM/t Altsand verursacht. Selbst nach 10 Jahren amortisieren sich die erforderlichen Investitionen (Kernschießmaschine, Abluftwäscher) und Betriebskosten (höhere Bindemittelkosten, Entsorgung Wäscherkonzentrat) trotz steigender Entsorgungskosten für Altsande nicht. Obwohl bekannt ist, daß sich Methylformiat-Sande nur sehr aufwendig regenerieren lassen, wurden auch die Kosten für eine Umstellung des Wasserglas- auf das Coldbox-Methylformiatverfahren abgeschätzt (Neusandeinsparung: 65 %; Altsandreduzierung: 65 %). Hierbei fallen bei einem Betrachtungszeitraum von 5 Jahren zusätzliche Kosten in Höhe von rund 220 DM/t Altsand an. Auch bei der Umstellung auf das Methylformiatverfahren erfolgt innerhalb von 10 Jahren keine Amortisation. Die Umstellung auf das Coldbox-Amin-Verfahren bringt in die Gießerei bisher nicht vorhandene Gefahrstoffe, die zu zusätzlichen Emissionen und standortbedingten Problemen führen können.

Betrieb 397: Die Gießerei verarbeitet Aluminium im Sand- und Kokillenguß. Große Gußstücke werden im Kaltharzverfahren hergestellt (Kerne und Formen). Kleinere Gußstücke werden im Naßgußverfahren gegossen, wobei überwiegend Coldbox-Amin-Kerne aber auch Kaltharzkerne eingesetzt werden. In der Kokillengießerei werden Coldbox-Amin, Hotbox- und Croningkerne verwendet. In einer separaten Gießerei wird Magnesium im Sandguß verarbeitet. Die Magnesiumgießerei wurde nicht in die Untersuchung einbezogen. Der Altsand setzt sich derzeit im wesentlichen aus mit Bentonit verunreinigten Kernknollen aus dem Naßguß (Kaltharz, Coldbox-Amin) und aus der Kokillengießerei (Coldbox-Amin, Hotbox, Croning) sowie aus Kernbruch, Überfall- und Restsanden aus der Kernmacherei zusammen. Die Kaltharz-Gießerei arbeitet wegen des Kernexports in den Naßguß und in die Magnesiumgießerei praktisch abfallfrei. Das Altsandaufkommen der Gießerei ist für den Einsatz einer innerbetrieblichen Regenerierungsanlage ausreichend (Anlagenkapazität, Auslastung). Zur Vorbereitung auf eine innerbetriebliche Regenerierung der anfallenden Altsande wird vorgeschlagen, die Körnung der zur Form- und Kernherstellung eingesetzten Sande zu vereinheitlichen. Die verwendeten organischen Bindersysteme sind mit Ausnahme des Hotbox-Verfahrens miteinander verträglich. Das Hotbox-Verfahren sollte daher durch Coldbox-Amin-Verfahren ersetzt werden, das in der Gie-Berei bereits angewendet wird. Im Hinblick auf eine gemeinsame Regenerierung mit den bentonitfreien Kernknollen aus der Kokillengießerei ist darauf zu achten, daß die Kernknollen aus dem Naßquß nur geringfügig mit bentonithaltigem Formsand verunreinigt sind. Die Regenerierung kann nach der für Betrieb 106 vorgeschlagenen Verfahrensweise erfolgen. Damit lassen sich Neusandeinsparungen von rund 72 % realisieren. Läßt sich der inertisierte Feinanteil aus der Regenerierung nicht verwerten, reduziert sich die zu deponierende Altsandmenge (inkl. Stäube) um rund 74 %. Die Kostenvergleichsrechnung zeigt, daß bei mittleren Anforderungen an die Amortisationszeit (5 Jahre) rund 165 DM/Tonne Altsand für die Anschaffung und den Betrieb einer Regenerierungsanlage (inkl. Nebenanlagen) aufgewendet werden können. Dieser Betrag ist im Vergleich zu Betrieb 106 deutlich geringer. Ursache hierfür sind die notwendigen Aufwendungen für die Umstellung des Hotbox- auf das Coldbox-Amin-Verfahren (z. B. höhere Bindemittelkosten, Entsorgung von Wäscherkonzentrat) und das geringere Aufkommen von mit der Abfallabgabe belegtem Kernaltsand.

Die durchgeführten Untersuchungen zeigen, daß organisch gebundene Altsande aus Aluminium-Gießereien mit geringen Bentonitbeimengungen thermisch-mechanisch regeneriert und zur Kernherstellung verwendet werden können. Die technische Eignung ist jedoch im Einzelfall zu prüfen. Das Vermeidungspotential der Altsande in den untersuchten Betrieben (inkl. Stäube) beläuft sich auf 65 bis 80 % (vgl. Tabelle 2).

Betrieb	Vermeidungskonzept	Neusand- einsparung	Altsand- vermeidung
000	Entsandung, Strahl- sandaufbereitung	nicht abschätzbar	nicht abschätzbar
106	thermisch-mechanische Regenerierung	79 %	82 %
178	externe Regenerierung, Umstellung auf Coldbox- Amin-Verfahren	80 %	80 %
	externe Regenerierung, Umstellung auf Coldbox- Methylformiat-Verfahren	65 %	65 %
397	thermisch-mechanische Regenerierung, Verein- heitlichung Sande und Bindersysteme	72 %	74 %

Tab. 2: Neusandeinsparung und Altsandvermeidungspotentiale der untersuchten Gießereien

Die wirtschaftliche Betrachtung einer innerbetrieblichen Regenerierung ist von den betrieblichen Gegebenheiten abhängig (z. B. Altsandanfall, Altsandzusammensetzung) und muß im Einzelfall geprüft werden (vgl. Betriebe 106 und 397). Wie die Wirtschaftlichkeitsuntersuchung für Betrieb 178 zeigt, ist die Lage von Gießereien, die in größerem Umfang wasserglasgebundene Kerne einsetzen, im Hinblick auf die Vermeidung und Verwertung der Altsande problematisch. Da derzeit keine kostengünstigen und umweltverträglichen Verfahren zur Regenerierung zur Verfügung stehen, ist aus abfallwirtschaftlicher Sicht der Ersatz des Wasserglasverfahrens zur Kernherstellung zu verfolgen. Die Umstellung des aus Arbeits- und Umweltschutzgründen günstig zu bewertenden Wasserglas-Verfahrens auf regenerierungsfreundliche Kernherstellungsverfahren ist jedoch – insbesondere für kleinere Gießereien – mit hohen Investitionen und Betriebskosten verbunden, die sich in vertretbaren Zeiträumen nicht amortisieren. Im Hinblick auf branchenfremde Verwertungsmöglichkeiten (z. B. Schüttmaterial, Asphaltmischungen, Zement-, Ziegelherstellung) ist die Eignung wasserglasgebundener Altsande weitgehend ungeklärt.

Aus Sicht der Sachverständigen besteht in der Frage der branchenfremden Verwertung und der Regenerierung von wasserglasgebundenen Altsanden Forschungs- und Entwicklungsbedarf.

TEIL A - Stand der Gießereitechnik

1 Einleitung

Metallgießverfahren werden als urformende Umformverfahren bezeichnet und stellen eine wichtige Verfahrensgruppe der Fertigungstechnik dar. Das Gießen wird hauptsächlich in der Eisen-, Stahl- und Nichteisenmetallindustrie, in geringem Umfang auch in anderen Industriezweigen angewendet. Es bietet die Möglichkeit der Formgebung eines Werkstoffes im flüssigen oder breiigen Zustand, wobei der schmelzflüssige Werkstoff in eine Form gefüllt und so in eine definierte Gestalt gebracht wird.

Das Gießen ist sehr vielfältig einsetzbar. Es lassen sich Klein- und Großserien von Gußstücken mit einfachen und komplizierten Formen fertigen. Der Gewichtsbereich der Gußstücke reicht von unter einem Gramm bis zu mehreren 100 Tonnen (Spur, 1981).

Für die Jahre 1988 und 1989 sind in Tabelle 1-1 die Produktionsmengen der westeuropäischen Gießerei-Industrie aufgeführt.

	Eisen-, Sta	.hl- und Temp	erguß	NE-Metalig	ив	
Land	1988 1000 t	1989 1000 t	Ände- rung %	1988 1000 t	1989 1000 t	Ände- rung %
Belgien	190,5	211,4	+11,0	18,8	21,2	+12,6
Bundesrepublik Deutschland	3 406,7	3 534,3	+ 3,7	590,0	629,9 ¹⁾	+ 6,8
Finnland	111,9	119,1	+ 6,3	8,4	9,1	+ 8,4
Frankreich	1 928,4	2 083,3	+ 8,0	290,0	308,2	+ 6,3
Großbritannien	1 255,8	1 277,2	+ 1,7	164,4	165,5	+ 0,7
Italien	1 582,6	1 689,3	+ 7,3	_	_	_
Niederlande	172,2	126,9 ²⁾	$-2,2^{2)}$	15,5	14,6	- 5,7
Norwegen	55,6	53,4	- 3,9	6,3	6,7	+ 6,3
Österreich	173,3	191,4	+10,4	43,2	51,8	+19,9
Portugal	93,1	97,6	+ 4,8	9,1	9,4	+ 3,1
Schweden	293,4	298,5	+ 1,7	46,5	45,0	- 3,2
Schweiz	178,1 ³⁾	187,1 ³⁾	+ 5,1	18,9	18,8	- 0,3
Spanien	714,9	777,7	+ 8,8	122,0	132,0	+ 8,2
Insgesamt	10 156,5	10 656,2	+ 4,9	1 333,1	1 412,3	+ 5,9

¹⁾ Vorläufige Angabe; 2) Ohne Kokillen; 3) Ohne Stahlguß

Tab. 1-1: Produktion/Lieferung von gutem Guß (WiRu, 1990)

In den Ländern der alten Bundesrepublik wurden im Jahr 1990 monatlich etwa 300 000 t Guß hergestellt. Eine genauere Aufgliederung zeigt Abbildung 1-1.

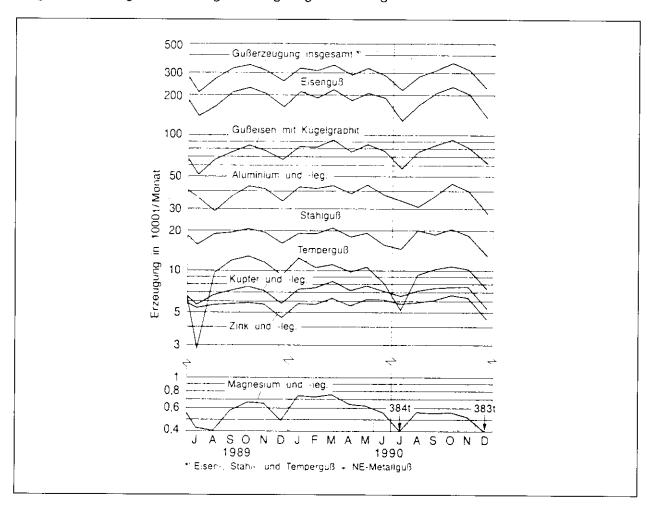


Abb. 1-1: Gußerzeugung in den alten Ländern der Bundesrepublik Deutschland (WiRu, 1991)

Der größte Anteil der Eisenguß- und etwa 30 % der NE-Schwermetall-Gußproduktion (hauptsächlich Kupferlegierungen) erfolgt mit Sandformen, die nach dem Gußprozeß zerstört werden (verlorene Form). Die NE-Leichtmetalle werden überwiegend (ca. 85 %) in wiederverwendbare Dauerformen (z. B. Kokillen, Druckguß) gegossen. Obwohl bereits heute der größte Teil (ca. 95 %) des Formsandes im Kreislauf geführt wird, fallen in den alten Ländern der Bundesrepublik Deutschland noch große Mengen Gießereialtsande an, die in betriebseigenen und öffentlichen Deponien entsorgt oder in branchenfremden Betrieben weiterverwendet werden. In Tabelle 1-2 ist die Entsorgung der Gießereialtsande für das Jahr 1987 in der Bundesrepublik Deutschland und in Baden-Württemberg (141 Betriebe) zusammengestellt.

	Bundesrepublik Deutschland alte Bundesländer (StaBa, 1991)	Baden-Württemberg (StaLa, 1991)
Gesamtmenge	1 459 319 t	340 000 t
öffentl. Hausmülldeponien	430 778 t	237 900 t
öffentl. Bauschuttdeponien	425 829 t	34 700 t
sonstige öffentl. Deponien	77 613 t	2 200 t
betriebseigene Deponien	462 086 t	53 500 t
Verwertung	63 013 t	11 700 t

Tab. 1-2: Entsorgung von Gießereialtsanden 1987

Im Zuge immer knapper werdenden Deponieraumes, wegen der fehlenden Akzeptanz für neue Deponiestandorte, aber auch aus Gründen der Schadstoffbelastung von Deponien sowie wegen der Schonung qualitativ hochwertiger Sandvorkommen, die für Gießereizwecke geeignet sind, gewinnt die Forderung nach einer weitergehenden Vermeidung und Verwertung der Gießereialtsande zunehmend an Bedeutung. Eine deutliche Verringerung des zu entsorgenden Altsandaufkommens läßt sich entweder durch den Einsatz sandarmer Gießverfahren oder durch die Aufbereitung und Verwertung der Altsande realisieren. Auch für bei der Altsandregenerierung anfallende Reststoffe sind Verwertungsmöglichkeiten gegeben.

Neben den Gießereialtsanden fallen im Gießereiprozeß weitere Abfallarten an, deren Aufkommen, gemessen an der Altsandmenge, vergleichsweise gering ist. Insbesondere sind hier Schlacken und Krätzen, Ofenausbruch, Putzerei- und Strahlsand, Staub, Schlamm, Bindemittelreste sowie Verpackungsmaterial zu nennen (VDG, 1987). Die Entstehung dieser Abfälle läßt sich in der Regel nicht vermeiden, es sind jedoch eine Reihe von Verwertungsmöglichkeiten gegeben.

Mit der vorliegenden Arbeit soll sowohl der Gießerei-Industrie als auch den Aufsichtsbehörden ein Überblick über die Möglichkeiten zur Vermeidung und Verwertung von Gießerei-Reststoffen/ -Abfällen gegeben werden. Der Schwerpunkt liegt dabei auf den Vermeidungs- und Verwertungsmöglichkeiten für die mengenmäßig bedeutenden Gießereialtsande. Hierzu werden die gebräuchlichsten Verfahren zur Form- und Kernherstellung sowie deren Einsatzbereiche beschrieben. Im Anschluß erfolgt eine Zusammenstellung der heute verfügbaren Verfahren zur Gießereialtsandregenerierung, wobei auch die Problematik unterschiedlicher Form- und Kernsand-Bindersysteme berücksichtigt wird. Auf Stäube und Schlämme aus dem Sandkreislauf und der Gußputzerei wird weniger ausführlich eingegangen.

2 Gießverfahren

2.1 Gießverfahren mit verlorener Form

Die Herstellung eines Gußstückes setzt eine Form und eine Schmelze mit ausreichendem Gießverhalten voraus. Um Hohlräume, Hinterschneidungen oder komplizierte Konturen im Gußstück erzeugen zu können, werden Kerne in die Formen eingelegt. Als Gießverfahren mit verlorener Form oder verlorenem Kern werden diejenigen Verfahren bezeichnet, bei denen die Form bzw. die Kerne nach dem Gießvorgang und dem Erstarren der Schmelze zerstört werden, um das Gußstück weiter bearbeiten zu können.

Verlorene Formen werden in der Serienproduktion wegen der vergleichsweise niedrigen Kosten und der hohen Flexibilität in der Produktion sowie um große und komplizierte Gußstücke zu fertigen eingesetzt. Abbildung 2-1 zeigt schematisch den Fertigungsablauf bei der Gußherstellung mit verlorener Form.

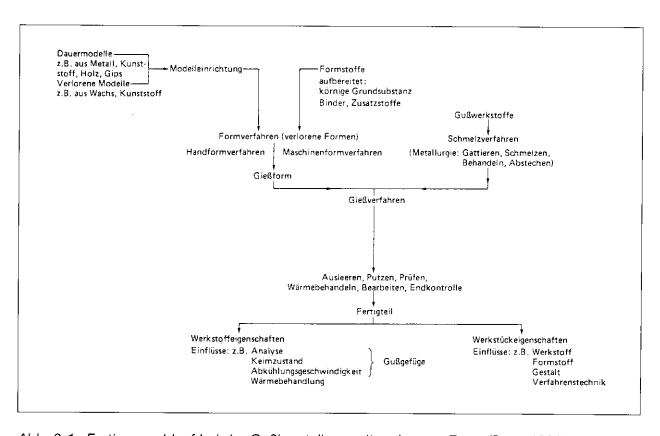


Abb. 2-1: Fertigungsablauf bei der Gußherstellung mit verlorener Form (Spur, 1981)

Verlorene Formen werden mit Hilfe eines Positivmodells des Gußstückes und unter Verwendung eines feuerfesten Formstoffes hergestellt. Die verwendeten Modelle können verlorene Modelle oder Dauermodelle sein. Verlorene Modelle (z. B. aus Wachs, Harnstoff, Polystyrolschaum) werden nach dem Einformen aus der Form ausgeschmolzen, ausgelöst oder ausgegast. Dauermodelle (z. B. aus Metall, Holz, Kunststoff, Gips) werden nach dem Einformen der geteilten Form entnommen und sind wiederverwendbar. Der Formstoff setzt sich aus dem Formgrundstoff (z. B. Quarzsand), dem Formstoffbindemittel sowie weiteren Zusatzstoffen (z. B. Glanzkohlenstoffbildner) zusammen. Neben dem Formstoff werden zur Formherstellung weitere Hilfsstoffe und Hilfsmittel eingesetzt:

- Formhilfsstoffe (z. B. Kleber für Kerne und Masken),
- Formüberzugsstoffe (z. B. Schlichten, Formlacke, Trennmittel),
- Formhilfsmittel (z. B. Eingußrohre, Kühleisen, Kernstützen)

Formen können aus einem oder mehreren Teilen (z. B. Ober- und Unterkasten, Kerne) bestehen, die vor dem Gießen zusammengefügt werden. Wichtige Kenngrößen für Formen sind deren Festigkeit (Biege- und Zugfestigkeit), Oberflächenbeschaffenheit, Maßgenauigkeit und Gasdurchlässigkeit. Die Festigkeit ist für die Stabilität der Form besonders während des Abgießens von Bedeutung. Es muß gewährleistet sein, daß die Form nicht bricht, reißt oder an der Innenoberfläche ausbricht, da sich die Oberflächenbeschaffenheit und Maßgenauigkeit der Form auf die Gußstücke übertragen. Um beim Abgießen entstehende Gase abführen zu können, muß die Form eine gewisse Gasdurchlässigkeit aufweisen. Nach dem Fertigstellen der Form erfolgt das Abgießen mit dem flüssigen Gußwerkstoff. Ist der Gußwerkstoff erstarrt und abgekühlt, wird die Form zerstört. Anschließend wird das Gußstück von anhaftendem Sand befreit, entgratet und den nachfolgenden Bearbeitungsschritten zugeführt.

Tabelle 2-1 zeigt verschiedene Verfahren, die zur Herstellung verlorener Formen und Kerne angewendet werden, im Überblick.

Formenart		gete	ilt			einteilig	
Modell		Dau	er			verloren	
Form- hohlraum		hoh	. <u>.</u> ıl		hohl	V	oil
verlorene Modelle					aus- schmelzbar	verga	asbar
Verfesti- gung	erfesti- mechanisch chemisch		physika- lisch	chemisch	chemisch	physika- lisch	
Form- verfahren	Bentonit- sand- (auch Natur- sand und Schamotte-) verfahren	Zement-, Wasserglas-, Gips- verfahren	Air-Set-, Hotbox-, Coldbox-, Masken- form- verfahren	Vakuum- verfahren	Feingieß- verfahren	Vollform- verfahren	Trocken- sand-, Unterdruck-, Vollform-, Magnet- form- verfahren

Tab. 2-1: Einteilung der Verfahren zur Herstellung verlorener Formen (Spur, 1981)

Bevor in Kapitel 2.1.2 die einzelnen Formverfahren erläutert werden, wird in Kapitel 2.1.1 kurz auf die bei der Formherstellung eingesetzten Formstoffe eingegangen.

2.1.1 Formstoffe zur Herstellung verlorener Formen und Kerne

2.1.1.1 Formsande

Zur Form- und Kernherstellung finden Quarz-, Chromit-, Olivin- und Zirkonsande Anwendung. Quarzsand, der in der Bundesrepublik Deutschland als Rohstoff verfügbar ist, hat bei der Formherstellung die größte Bedeutung. Die anderen genannten Sandarten kommen in europäischen und außereuropäischen Lagerstätten vor und sind sehr teuer. Sie werden nur in den Fällen eingesetzt, in denen ihre spezifischen Vorteile (z. B. geringere Ausdehnung, höhere

Schmelztemperatur, bessere Wärmeleitfähigkeit) unbedingt erforderlich sind. Da in bundesdeutschen Gießereien zu 95,2 % Quarzsand eingesetzt wird (1,6 % Chromitsande, 0,3 % Zirkonsande, 2,9 % nicht zuzuordnen; Weiss, 1984), wird im folgenden hauptsächlich auf dessen Eigenschaften und Anwendungen eingegangen.

Unter gießereitechnischen Gesichtspunkten sind die granulometrischen und die thermischen Eigenschaften der Sande von besonderer Bedeutung. Wärme- und Temperaturleitfähigkeit beeinflussen die Abkühlung des Gußstückes und sind somit für die Gefügebildung im Gußstück mit verantwortlich. Für die Maßgenauigkeit ist der temperaturabhängige Ausdehnungskoeffizient von Bedeutung. Granulometrische Eigenschaften, wie Korngrößenverteilung, Kornform und -oberflächenbeschaffenheit wirken sich auf die Formfestigkeit und -oberflächenqualität, die Gasdurchlässigkeit der Form und den Bindemittelverbrauch aus. In Tabelle 2-2 sind die wichtigsten Eigenschaften der verschiedenen Sandarten zusammengestellt.

Eigenschaft	Quarzsand	Chromitsand	Zirkonsand	Olivinsand
Härte nach Mohs	7	5,5	7,5	6,5 - 7
Dichte in g/cm ³	2,65	rd. 4,5	rd. 4,5	rd. 3,3
Schüttdichte in g/cm ³	1,3–1,5	2,4–2,8	2,7-2,9	1,6-2,0
Temperatur des Sinterbeginns in C	> 1500		> 1500	
Schmelztemperatur- bereich in C	1760–1780	1800–1900	2200–2400	1750–1780
Lineare Ausdehnung bis 600 C in %	1,25	0,4	0,2	0,6
Spezifische Wärme in J/kg K	715–1200 (20 bis 1200 C)	900		1250 (1000 C)
Wärmeleitfähigkeit in W/m K	0,2-0,7 (20-1200 °C)	0,3–0,5		0,5-1 (500-1000 C)
Temperaturleit- fähigkeit in m ² s 10 ⁻⁶	0,2-0,3 (20-1200 °C)	0,36	0,6	0,36
Wärmeeindringfähig- keit in J/m²s ^{0,5} K	600-900 (20-1200 C)	1200	1500–1600	

Tab. 2-2: Eigenschaften von Formsanden (Bindernagel, 1983)

Quarzsande setzen sich aus Quarzmineralen, Feldspäten, Tonmineralen, Glimmermineralen, Kohlebestandteilen, carbonatischen Bestandteilen und Schwermineralen zusammen, die zum Teil Auswirkungen auf die Sandeigenschaften haben (Weiss, 1984). So verringert sich bei Anwesenheit von Feldspat die thermische Ausdehnung des Sandes. Tonminerale und Feldspat setzen den Sinterbeginn herab. Die meisten in der Bundesrepublik abgebauten Quarzsande haben einen Quarzgehalt von über 99 % (Weiss, 1984), so daß die anderen Bestandteile gewichtsmäßig ohne Bedeutung sind. Vor der Verwendung als Formsand werden die abgebauten Rohsande durch Waschen und Klassieren aufbereitet. Tabelle 2-3 zeigt eine typische Korngrößenverteilung für Quarzsand.

Kornklasse, mm	Quarzsand grob	Quarzsand mittel	Quarzsand fein	Quarzsand feinst
> 0,5	25	5	•	
0,5–0,25	65	60	25	5
0,25–0,125	10	35	65	70
0,125-0,063	_	-	10	20
< 0,063	-	-	-	5
max. Schlämm- stoffgehalt, %	< 0,25	< 0,25	< 0,5	< 1,5

Tab. 2-3: Typische Korngrößenverteilung für Quarzsand (Weiss, 1984)

2.1.1.2 Bindemittel für Form- und Kernsande

Formsandbindemittel haben die Aufgabe, den Zusammenhalt des körnigen Formsandes vor und während des Gießprozesses zu gewährleisten. Nach dem Abgießen sind gute Zerfallseigenschaften der Form erwünscht. Die Verfestigung des Formsandes erfolgt mechanisch oder durch eine chemische Reaktion, wobei zwischen organischen und anorganischen Bindern unterschieden wird.

Mechanisch wirkende Bindemittel sind Tone (z. B. Kaolinit, Glaukonit, Bentonit mit mindestens 75 % Montmorillonit) und Kohlenhydrate (z. B. Stärke). Mechanisch wirkende Bindemittel werden ausschließlich zur Formherstellung eingesetzt und finden bei der Kernherstellung keine Anwendung.

Zu den chemisch härtenden, organischen Bindemitteln zählen kalt- oder heißhärtende Kunstharze, die in Verbindung mit Härtern und Katalysatoren abbinden. Sie werden in "starke" (z. B. SO₂-Epoxidharz-Verfahren) und "schwache" (z. B. Methylformiat-Verfahren) Bindemittel unterschieden. Für die Formherstellung werden Furan-, Phenol- und Alkydharze eingesetzt und zur Kernherstellung Phenol-, Furan- und Epoxidharze sowie Aminoplaste verwendet.

Wasserglas und Zement sind chemisch härtende, anorganische Bindemittel. Wasserglas wird sowohl zur Herstellung von Formen und Kernen verwendet, während Zement nur zur Formherstellung geeignet ist.

Für die Auswahl des Form- und Kernsandbindemittels sind verschiedenste Kriterien maßgebend. Neben der mechanischen Qualität der Formen und Kerne (z. B. Festigkeit, Maßhaltigkeit, Oberfläche) spielen auch das Gußgewicht, die Losgröße, die Produktivität, die Prozeßsicherheit, der Arbeits- und Umweltschutz und die Wirtschaftlichkeit eine Rolle. Auf die Anwendungsbereiche der unterschiedlichen Form- und Kernsandbinder wird in den Kapiteln 2.1.2 (Formherstellung) und 2.1.3 (Kernherstellung) eingegangen.

2.1.1.3 Formstoff-Zusatzstoffe

Formstoff-Zusatzstoffe verbessern die Eigenschaften des Formstoffes. Sie lassen sich in zwei Gruppen einteilen (Bindernagel, 1983):

Glanzkohlenstoffbildende Zusatzstoffe

Glanzkohlenstoffbildner sind Stoffe wie Steinkohlestaub, Bitumina, Harze, Öle, Kunststoffe und deren Mischungen. Peche werden wegen der hohen PAK-Gehalte nicht mehr als Glanzkohlenstoffbildner eingesetzt. Glanzkohlenstoff bildet sich während des Gießens durch thermische Abspaltung aus den Substanzen. Die Pyrolyse der Glanzkohlenstoffbildner beim Abguß kann zur Bildung polyzyklischer aromatischer Kohlenwasserstoffe (PAK) führen (Wolff, 1991; Baier, 1991). Der feinkristalline Kohlenstoff umhüllt die Sandkörner der inneren Formoberfläche und verhindert das Benetzen mit Schmelze. Es bilden sich dadurch glattere Gußoberflächen heraus. Glanzkohlenstoffbildner werden vorwiegend tongebundenen Formstoffen für den Eisenund Schwermetallguß zugesetzt.

Zusatzstoffe ohne Glanzkohlenstoffbildung

Einige Zusatzstoffe verhindern Sandausdehnungsfehler (Stärken, Hartholzmehl, Torfmehl) und verbessern die Zerfallseigenschaften der Formen (Hartholzmehl, Torfmehl). Eisenoxid, insbesondere im harzgebundenen Formstoff, vermeidet Gußoberflächenfehler. Schwefelpulver und Borsäure bilden beim Magnesiumguß Schutzgase und verhindern dadurch gefährliche Reaktionen des Metalls mit Wasser und Luftsauerstoff. Glycol ersetzt bei tongebundenen Formstoffen teilweise ein Drittel des Wassers, um Reaktionen zwischen Gußwerkstoff und Formstoff zu verhindern (Randblasen, rauhe Oberfläche).

2.1.1.4 Formüberzugsstoffe

Formüberzugsstoffe (Schlichten, Schwärzen) werden auf die Form- oder Kernoberflächen aufgetragen, um Reaktionen zwischen Gußwerkstoff und Formstoff zu verhindern. Sie tragen zur Ausbildung einer glatten Oberfläche bei und können die Gußoberfläche auch metallurgisch beeinflussen. Die meist als Suspension vorliegenden Überzugsstoffe werden durch Streichen, Sprühen oder Tauchen bei Schichtdicken von 0,1 bis 2,0 mm aufgetragen. Die Tabellen 2-4 bis 2-6 geben einen Überblick über Zusammensetzung und Anwendung von Formüberzugsstoffen (Bindernagel, 1983).

Bestandteil	Funktion	eingesetzte Stoffe
Grundstoff	zweckbestimmender Anteil der Schlichte	Koks, Graphit, Quarz, Zirkoniumsilicat, Glimmer, Talkum, Magnesit, Aluminiumsilicat, Schamotte, metallurgisch wirksame Bestandteile (z. B. Tellur, Wismut, Chrom)
Trägerstoff	bildet mit dem Grundstoff eine Suspension	Wasser oder Alkohol
Suspensions- mittel	verdickt und/oder stabilisiert die Suspension	Tone, organisch modifizierte Tone, Zellulosen, Alginate, Stearate
Bindemittel	dienen zur Haftung des Überzugs an der Formoberfläche und der Teilchen im Überzug untereinander	Stärkederivate, Ligninderivate, Harze, Kunststoffe

Tab. 2-4: Zusammensetzung von Formüberzugsstoffen (Bindernagel, 1983)

	Koks	Graphit	Quarz	Zr-Silicat	Glimmer	Talkum	Magnesit	Al-Silicat	Schamotte	
Stahlguß unlegiert	0	0	0	+	-	-	-	-	+	
Stahlguß legiert	0	0	0	+	-	-	0	-	+	
Gußeisen	+	+	+	+	0	+	_	0	_	
Gußeisen mit Kugelgraphit	+	+	+	+	0	+	-	0	-	
Temperguß	+	+	+	÷	0	+	-	0	-	
Kupferlegierungen	+	+	-	0	+	+	-	÷	-	
Aluminiumlegierungen	+	+	_	+	+	+	-	0	-	
Magnesiumlegierungen	0	0	-	-	-	-	+	-	_	
	+	zut	reff	end	_ . od	er (ibli	.ch		
	0	bed	ingt	: mö	gli	ch.				
	-	nic	ht n	ıögl	ich	ode	er n	ich	t üb	lich

Tab. 2-5: Zuordnung der Überzugsgrundstoffe zu den Gußwerkstoffen (Bindernagel, 1983)

	Koks	Graphit	Quarz	2r-Silicat	Glimmer	Talkum	Magnesit	Al-Silicat	Schamotte
Quarzsand	+	+	+	+	+	+	_	+	+
Schamotte	+	+	_	+	-	-	-	+	+
Olivinsand	+	+		+	-	_	+	-	-
Zirkonsand	+	+	_	+	-	_	-	_	_
Chromitsand	+	+	-	+	-	-	-	-	-
						er ü			t üblich

Tab. 2-6: Zuordnung der Überzugsgrundstoffe zu den Formgrundstoffen (Bindernagel, 1983)

2.1.2 Formherstellung

Zur Herstellung verlorener Formen existiert eine Vielzahl verschiedener Verfahren, die sich aufgrund technischer und ökonomischer Eigenschaften für bestimmte Anwendungsbereiche durchgesetzt haben. Neben den weitverbreiteten Verfahren, bei denen zur Verfestigung der Formen dem Sand ein Bindemittel zugesetzt wird (z. B. Bentonit, Kunstharze) gibt es auch Formverfahren, die eine Verfestigung der Form durch das Aufprägen physikalischer Kräfte auf den Formstoff erzielen (z. B. Vakuum-Formverfahren, Magnet-Formverfahren). Diese bindemittelfreien Formverfahren haben aufgrund ihrer vergleichsweise geringen Produktivität (Vakuum-Formverfahren) und wegen verfahrenstechnischer Mängel (Magnet-Formverfahren) keine Verbreitung finden können.

Wie bereits in Kapitel 2.1.1.2 erwähnt, sind bei der Auswahl eines bestimmten Formverfahrens neben ökonomischen eine Reihe von technischen Kriterien zu beachten. Im Vorgriff auf die Darstellung der einzelnen Formverfahren in den folgenden Abschnitten ist in Tabelle 2-7 die Eignung unterschiedlicher Formsandbindemittel in Abhängigkeit des Gußwerkstoffes, des Gußgewichts, der Wanddicke und der Losgröße angegeben. Tabelle 2-8 zeigt die mit den Formverfahren erzielbaren Fertigungstoleranzen.

Wascergins- Aminoplaste Phenoplaste Phenoplaste für kalt- für heiß- härtenden lärtenden, Pormstoff feuchten	Temperguß Stahlguß Schwermetallguß Leichtmetallguß Gußeisen Temperguß Stahlguß Schwermetallguß Leichtmetallguß Gußeisen Temperguß Stahlguß Schwermetallguß Gußeisen Temperguß Stahlguß Schwermetallguß Gußeisen Temperguß Temperguß Gußeisen Temperguß		• • 0 1	
Formstoff Tone für Was ungetrocknete bind Formteile	Stahiguß Schwermetaliguß Leichtmetaliguß Gußeisen Temperguß Stahiguß	00001 siq 001 Gewichts- bereich [kg]	• • • • • • • • • • • • • • • • • • •	01 V 00001 siq 001 00001 \ 00001 siq 001 siq 0001 \ 000001 siq 0001 \ Stückzahl- bereich

Tab. 2-7: Anwendungsbereiche verschiedener Formsandbindemittel (Spur, 1981)

Formverfahren mit verlorenener Form		Toleranzbereich in %	
Naßgußsande Kunstharzsande	Handformen	etwa 2,5 bis 5	
CO ₂ -Sande	Maschinenformen	etwa 1,5 bis 3	
Maskenformen		etwa 1 bis 2	
Vakuumformen		etwa 0,3 bis 0,6	
Vollformgießen (Kunstharzsande)		etwa 3 bis 5	
Magnetformen		etwa 3 bis 5	

Tab. 2-8: Toleranzbereiche unterschiedlicher Gießverfahren mit verlorener Form (nach Bode, Bode, 1991).

2.1.2.1 Naßgußverfahren

Verfahrensbeschreibung

Der Naßguß ist das am häufigsten praktizierte Gießverfahren mit verlorener Form. Unter Naßguß versteht man das Gießen in noch herstellungsfeuchte, sogenannte "grüne" Formen. Die Formen werden aus feuchten Sanden hergestellt, die als Bindemittel Bentonit enthalten. Die Formsande werden entweder als Natursande mit natürlichem Tongehalt bezogen oder aus Quarzsand, Bentonit und Wasser gemischt. Formteile entstehen dann durch Verdichten des Formstoffes um ein Modell, wobei die von Bentonit umhüllten Sandkörner aneinander haften. Die Verdichtung erfolgt entweder manuell (Stampfen) oder mittels Formmaschinen (Rütteln, Pressen, Vibration, Druckluftverdichten, Vakuumverdichten). Nach dem Abguß bleibt das Gußstück bis zur Abkühlung auf die Auspacktemperatur in der Form. Beim Zerstören der Formen fällt Gießereialtsand - in der Regel eine Mischung aus abgegossenem Form- und Kernsand an, der zu großen Teilen aufbereitet und wieder zur Formherstellung eingesetzt wird. In diesem umlaufenden Sand reichert sich der während des Abgusses totgebrannte Bentonit an. Totgebrannter Bentonit hat durch die Abgabe seines Kristallwassers bei Temperaturen oberhalb 500 °C seine Bindefähigkeit irreversibel verloren. Steigende Gehalte an totgebranntem Bentonit und zersplitterten Sandkörnern beeinflussen die Qualität der Form negativ (z. B. Festigkeit, Gasdurchlässigkeit), so daß ein Teil des Umlaufsandes als Altsand ausgeschleust und durch mit aktivem Bentonit versetzten Sand (Neusand oder regenerierter Altsand) ersetzt wird. Abbildung 2-2 zeigt den Verfahrensablauf im Überblick.

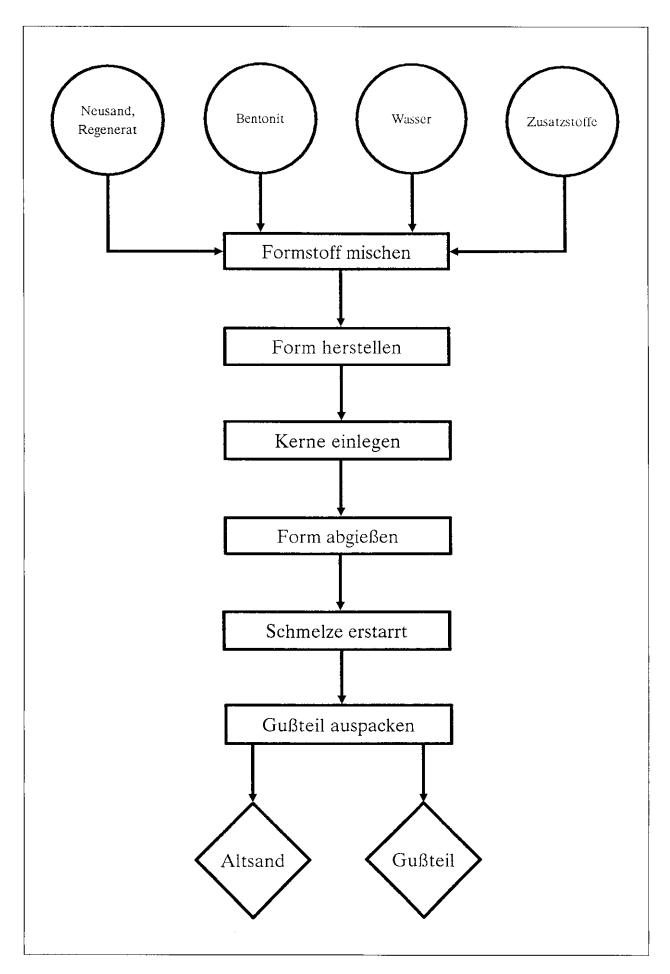


Abb. 2-2: Schematische Darstellung des Naßgußverfahrens

Formstoff

Als Formgrundstoff wird meist synthetischer Formsand aus reinem Quarzsand, Bentonit, Wasser und Zusatzstoffen eingesetzt (vgl. Tabelle 2-9). Es eignen sich Sande mit einer mittleren Korngröße zwischen 0,20 und 0,24 mm. Die spezifische Oberfläche sollte zwischen 100 und 160 cm²/g liegen (weitere Eigenschaften vgl. Kapitel 2.1.1.1; Weiss, 1984). Andere Sandarten werden nur in Ausnahmefällen verwendet.

Werkstoff	Formstoffzusätze zu synt. Sand (o. Wasser)
Gußeisen mit Lamellengraphit (Grauguß), Temperguß und Gußeisen mit Kugelgraphit (Sphäroguß)	Bentonit Quellbinder Steinkohlestaub
Stahlguß	Bentonit Quellbinder
Leichtmetall- und Aluminiumguß	Bentonit Quellbinder
Aluminiumguß mit Magnesium	Bentonit Borsäure
Magnesiumguß	Bentonit Schwefelpulver Borsäure
Schwermetallguß (Kupferlegierungen)	Bentonit Quellbinder Steinkohlestaub

Tab. 2-9: Gußwerkstoffe und synthetische Sandmischungen (Spur, 1981)

Hauptbestandteil der im Naßgußverfahren verwendeten Bentonite ist Montmorillonit mit einem Gewichtsanteil von mindestens 75 %. Bei Montmorilloniten handelt es sich um Dreischichtsilikate (vgl. Abbildung 2-3). Sie bewirken die Klebefähigkeit und Plastizität der Bentonite im Formsand (Boenisch, 1990).

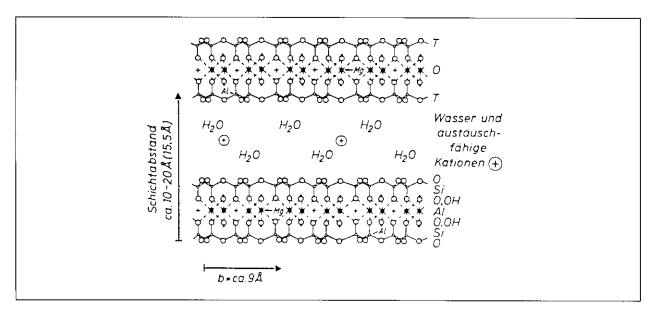


Abb. 2-3: Aufbau von Montmorillonit (Bindernagel, 1983)

Die meisten Bentonite sind von Natur aus mit Calcium- und Magnesium-lonen, selten mit Natrium-lonen abgesättigt. Die Ionen beeinflussen das Verhalten gegenüber Wasser, insbesondere das Quellverhalten. Ein bedeutender Vorteil der Natrium-Bentonite liegt darin, daß deren Hartbentonitbildung gegenüber den Calcium-Bentoniten erst bei um ca. 150 K höheren Temperaturen einsetzt (Gärtner, Boenisch, 1991).

Tauscht man die Calcium-Ionen eines Calcium-Bentonits durch Zugabe von Soda gegen Natrium-Ionen aus, entsteht nach Gleichung (1) ein aktivierter Natrium-Bentonit mit verbesserter Quellfähigkeit (Bindernagel, 1983).

Ca-Bentonit +
$$Na_2CO_3 \rightarrow Na_2$$
-Bentonit + $CaCO_3$ (1)

Der Aktivierungsgrad wird indirekt durch die Naßzugfestigkeit ermittelt und läßt erkennen, ob es sich um einen Calcium- oder Natrium-Bentonit handelt (vgl. Abbildung 2-4).

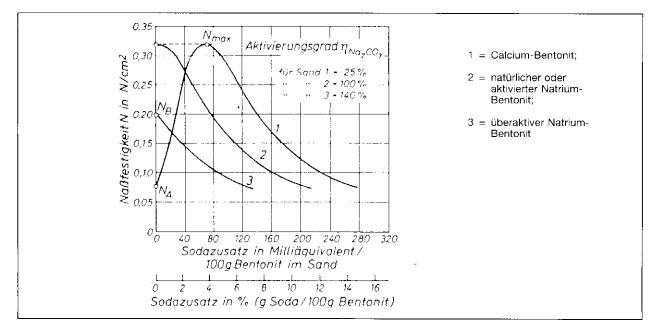


Abb. 2-4: Bestimmung des Aktivierungsgrades mit Hilfe der Naßzugfestigkeit an Labormischungen mit 6 Gewichtsteilen (GT) Bentonit und 3% Wasser (Bindernagel, 1983)

Der Methylenblauwert stellt ein weiteres charakteristisches Merkmal für bentonitgebundene Sande dar. Die Anlagerung dieses Farbstoffes ist abhängig vom Montmorillonitgehalt und der Ionenaustauschfähigkeit der Bentonite (Bindernagel, 1983). Hierbei werden die in der Oberfläche der Tonschicht gebundenen Kationen durch den Methylenblau-Farbstoff ersetzt und sind ein Maß für den Montmorillonitgehalt des Tones (Brunhuber, 1991). Hochwertige Bentonite weisen die in Tabelle 2-10 genannten Eigenschaften auf:

Wassergehalt:	4 %
Kornanteil > 0,2 mm:	max. 10%
Methylenblauwert:	mind. 35%
Aktivierungsgrad:	90 bis 110% bei aktivierten und natürlichen Natrium-Bentoniten
Naßzugfestigkeit:	mind. 27p/m ² für Sandmischung mit 6 GT aktiviertem oder natürlichem Natrium-Bentonit und 3% Wasser

Tab. 2-10: Eigenschaften hochwertiger Bentonite (Bindernagel, 1983)

Die dem Formsand zugemischte Bentonitmenge ist neben den verwendeten spezifischen Eigenschaften der Sande und Bentonite von den Anforderungen an die Festigkeit und Gasdurchlässigkeit der fertigen Form abhängig. Tabelle 2-11 zeigt die wichtigsten Parameter für bentonitgebundene Formsande als Auswertung von 105 untersuchten Formsandproben.

		Durchschnitt aus 105 Form- sanden	Prozentsatz der Formsande im Bereich <u>+</u> 10% vom Durchschnitt Bereich	%	Größter Wert	Kleinster Wert
Wassergehalt	%	4,1	(3,7–4,5)	48	6,9	2,4
Bindeton	%	8,3	(7,5–9,1)	45	11,9	5,6
Schüttdichte	g/cm ³	0,940	(1,00–0,85)	75	1,06	0,73
Verdichtbarkeit	%	38	(34–42)	50	53	25
Schlämmstoff	%	13,2	(11,9–14,5)	43	17,6	9,8
Gesamtglühverlust	%	5,0	(4,5–5,5)	20	15,0	1,0
Druckfestigkeit	N/cm ²	18,6	(16,7–20,5)	54	24,5	13,2
Spaltfestigkeit	N/cm²	3,3	(3,0-3,6)	39	5,3	2,1
Naßzugfestigkeit	N/cm ²	0,18	(0,16-0,20)	47	0,32	0,10
Gasdurchlässigkeit		78	(70–86)	30	140	26
Mittl. Korngröße	mm	0,22	(0,20-0,24)	45	0,29	0,11

Tab. 2-11: Durchschnittswerte von 105 Formsandproben aus 105 Eisengießereien (Bindernagel, 1983)

Bei Eisen- und Schwermetallguß können dem Formstoff Steinkohlestäube (2 bis 5 %) und Bitumina (1 bis 2 %) oder Harze, Öle und Kunststoffe (0,3 bis 0,8 %) als Glanzkohlenstoffbildner zugesetzt werden (vgl. Kapitel 2.1.1.3). Weitere Zusatzstoffe kommen bei anderen Gußwerkstoffen zum Einsatz (vgl. Tabelle 2-9 und Kapitel 2.1.1.4).

Anwendungsbereiche

Naßgußformen werden in Formkästen oder kastenlos hergestellt. Die Abmessungen von Kastenformen liegen zwischen 300×400 mm und 4000×6000 mm bei Formdicken von 100 bis 800 mm. Die Formherstellung erfolgt mechanisiert oder automatisiert. Der Automatisierungsgrad ist von der Größe der Form und der Stückzahl der herzustellenden Gußstücke abhängig. Tabelle 2-12 zeigt für unterschiedliche Werkstoffe die im Naßgußverfahren herstellbaren maximalen Gußstückgewichte.

Werkstoff	Maschine kastenlos	enformen im Kasten	Handformen im Kasten oder Boden
Eisenguß	150	500	1000
Temperguß	100	200	100
Stahlguß	50	2000	2000
Leichtmetallguß (Aluminium, Magnesium)	50	500	500
Schwermetallguß (Rotguß, Bronze, Messing)	50	500	500

Tab. 2-12: Im Naßgußverfahren herstellbare größte Gußstück-Einzelgewichte in kg, unterteilt nach Guß- und Formart (Spur, 1981)

Das Naßgußverfahren genügt in seinen Formeigenschaften den Ansprüchen vieler Anwendungsgebiete (Stückzahl, Gußwerkstoffe, Maßgenauigkeit, Oberflächenbeschaffenheit, Wanddicke, Gußgewicht, Gußteilgestalt). Durch moderne Verdichtungsverfahren für Naßgußsande konnte die Maßhaltigkeit der Gußteile in den letzten Jahren erheblich verbessert werden (Wolff, 1991; vgl. Tabelle 2-8). Die Werte für die Oberflächenrauhigkeit sind im Vergleich zu anderen Verfahren hoch.

In der Gießerei-Industrie ist das Naßgußverfahren wegen seiner Vielseitigkeit, der hohen Produktivität (Taktzeit < 30 s möglich) und Prozeßsicherheit, der Unbedenklichkleit der Einsatzstoffe bezüglich Arbeits- und Umweltschutz sowie der im Vergleich zu anderen Formverfahren geringen Binderkosten weit verbreitet.

2.1.2.2 Kaltharzverfahren

Verfahrensbeschreibung

Mit dem Kaltharzverfahren werden sowohl Formen als auch Kerne gefertigt. Als Bindemittel dienen Kunstharze (Phenol-, Furan- und Alkydharze), die zusammen mit einer Härterkomponente bei Raumtemperatur aushärten (Bindernagel, 1983). Zur Fertigung der Formteile oder Kerne wird der Formstoff in den Formkasten gefüllt und durch Vibration verdichtet. Nach der

Härtung des Formstoffes und dem Ausschalen der Form aus dem Formwerkzeug härten die Formen bis zum Erreichen ihrer Endfestigkeit aus. Anschließend kann eine Schlichte aufgetragen werden (vgl. Kapitel 2.1.1.4). Bei phenol- und furanharzgebundenen Formen lassen sich sowohl wäßrige als auch alkoholische Schlichten einsetzen. Bei der Herstellung der Formteile ist die Aushärtezeit der Kunstharze zu beachten. Sie beeinflußt die Zeit der Verarbeitbarkeit des Formstoffes und liegt je nach Kunstharz-Härter-Kombination im Bereich von wenigen Minuten bis zu mehreren Stunden. Wenn die Aushärtezeit sehr kurz ist, bleiben nur einige Sekunden für das Mischen von Sand und Binderkomponenten sowie für die Formherstellung.

Formstoff

Der gewaschene und getrocknete Quarzsand darf bei der Verwendung von Furan- oder Phenolharzen keine alkalisch oder sauer reagierenden Bestandteile enthalten, da dies zu Störungen im Bindemechanismus führt (Weiss, 1984). Die spezifische Oberfläche des Sandes sollte zwischen 80 und 160 cm²/g liegen (Weiss, 1984). Beim Kaltharzverfahren werden etwa 90% des Formsandes im Kreislauf geführt (Wolff, 1991).

Die im Kaltharzverfahren als Bindemittel verwendeten Phenol-, Furan- und Alkydharze härten unter Einfluß eines Katalysators durch Polymerisation aus. Dabei vernetzen die Moleküle, umschließen die Sandkörner und halten sie so in einem festen Verbund zusammen (vgl. Abbildung 2-5).

$$\begin{array}{c} \mathsf{CH_2} \\ \mathsf{OH} \\ \mathsf{CH_2} \\ \mathsf$$

Abb. 2-5: Vernetztes Kunstharz (Spur, 1981)

Phenolharze werden als Pulver oder dünn- bis zähflüssige Flüssigkeiten hergestellt. Sie werden durch Zugabe einer stärkeren Säure zur Aushärtung gebracht. Als Härter werden p-Toluolsulfonsäure (PTS; oft in wäßriger Lösung), Gemische von PTS und Phosphorsäure oder seltener reine Phosphorsäure verwendet (Bindernagel, 1983; Ambos, 1981). Tabelle 2-13 zeigt Vor- und Nachteile des Einsatzes von PTS und Phosphorsäure.

	p-Toluolsulfonsäure	Phosphorsäure
Kosten	0	0
Umwelt	+	
Durchhärtung	_	+
Rißbildung (Blattrippen)	_	+
Anbrennen	+	_
Penetration	+	_
Gasentwicklung	+	_
Pinholes	+	_
weißer Niederschlag	+	_
Neusandverbrauch	+	_
Feuchtigkeitsaufnahme	+	

^{+ =} günstiger Einfluß; - = ungünstiger Einfluß; O = kein Einfluß

Tab. 2-13: Vor- und Nachteile von PTS und Phosphorsäure (Wittwer, 1988)

Furanharze werden als Flüssigkeiten geliefert (Bindernagel, 1983). Die Harzeigenschaften (Sprödigkeit, Aushärtezeit, Festigkeit, Wassergehalt) lassen sich durch den Harnstoffanteil beeinflussen. Mit harnstoffreichen Harzen gebundene Sande zerfallen nach dem Abgießen und Erstarren der Gußstücke leicht. Reine Furanharze werden wegen ihrer hohen Sprödigkeit selten als Binder eingesetzt (Spur, 1981).

Um die Schadstoffbelastung zu verringern (Arbeitsschutz, Schadstoffgehalt in Altsanden) wurde in den letzten Jahren der Gehalt an freiem Phenol und Formaldehyd im Harz gesenkt. Mittlerweile liegt der Gehalt an freiem Formaldehyd in Furanharzen bei etwa 0,1% (Engels, Kucharcik, 1990), der Gehalt freier Phenole wurde in den letzten 20 Jahren von 17% auf 0,33% gesenkt (Spur, 1981; Engels, Kucharcik, 1990). Vor- und Nachteile kalthärtender Furanund Phenolharze zeigt Tabelle 2-14:

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

Tab. 2-14: Vor- und Nachteile kalthärtender Furan- und Phenolharze (Engels, Kucharcik, 1990)

Alkydharze, die vorwiegend im Stahlguß Anwendung finden, werden aus Ölen (z. B. Leinöl, Holzöl) und mehrwertigen Alkoholen (z. B. Glycerin, Pentaerythrit) hergestellt. Sie sind vor dem Abbinden relativ dünnflüssig. Durch das Abbinden (Polyaddition) entsteht Polyurethan. In der Tabelle 2-15 sind einige in der Praxis verwendete Formstoffmischungen und ihr Anwendungsbereich zusammengestellt.

Zusammen- setzung	100 GewTeile Neusand (Mk 0,32 mm) 0,4 GewTeile PTS 1,0 GewTeile Phenolharz	90 GewTeile Kreislaufsand 10 GewTeile Neusand 0,35 GewTeile PTS 0,9 GewTeile Furanharz 1,2 GewTeile Alkydharz	100 GewTeile Chromitsand ¹ 1,5 GewTeile Fe ₂ O ₃ 0,4 GewTeile Vernetzer
Anwendungs- bereich	Grau- und Stahlguß bis etwa 60 t Stückgewicht	handgeformter Grau- und Stahlguß aller Art, von 200 kg bis etwa 50 t	Stahlguß aller Güteklassen bis 120 t Stückgewicht

¹ als Anlagesand

Tab. 2-15: Mischungsbeispiele für Kaltharzsande (Spur, 1981)

Anwendungsbereiche

In der Gießerei-Industrie ist das Kaltharzverfahren weit verbreitet. Besonders vorteilhaft ist das Kaltharzverfahren durch seine hohe Formstabilität, sehr gute Gußoberflächen, eine hohe Maßgenauigkeit der Gußteile, die rationelle Formherstellung (Taktzeit mehrere Minuten) und durch die Möglichkeiten, sehr große Gußteile und Gußteile mit dünnen Wandstärken herstellen zu können (Wittwer, 1988). Einsatzfelder sind die Herstellung von Großteilen bis ca. 120 t im Stahlguß und die Kleinserienfertigung von Gußteilen im Gewichtsbereich bis 50 kg. Das Kaltharzverfahren findet auch im NE-Metallguß Anwendung.

2.1.2.3 Das Maskenformverfahren

Verfahrensbeschreibung

Das Maskenformverfahren wird nach seinem Erfinder auch als Croning-Verfahren bezeichnet. Mit dem Maskenformverfahren lassen sich Gußformen und Kerne fertigen. Als Formstoff dient ein rieselfähiges Gemisch aus feinkörnigem Sand und einem Kunstharzbindemittel. In der Abbildung 2-6 ist die Herstellung von Maskenformen schematisch dargestellt.

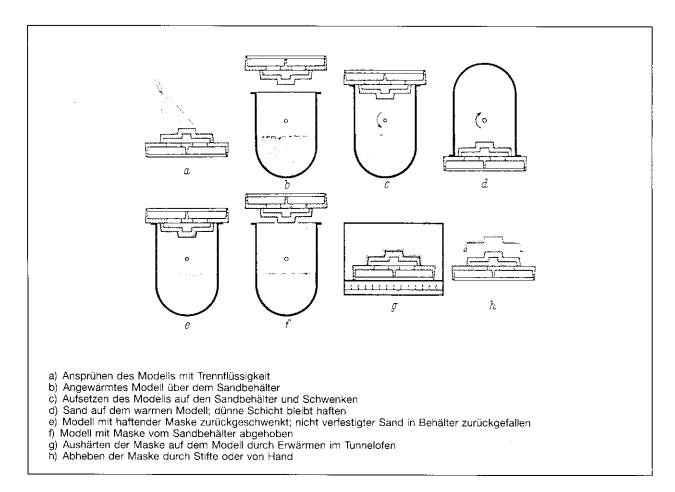


Abb. 2-6: Herstellung von Formen nach dem Maskenformverfahren (Bindernagel, 1983)

Das Modell, das aus Metall gefertigt ist, befindet sich auf einer Modellplatte. Modell und Modellplatte sind elektrisch oder mit Gas beheizt (ca. 250 bis 300 °C). Nach dem Benetzen des Modells mit Trennmittel wird der Formstoff auf das Modell aufgebracht. Die Hitze bewirkt ein Schmelzen und beginnendes Abbinden des Harzes an der Oberfläche des Modells. Nach kurzer Zeit wird das noch lose Formmaterial entfernt. Es bleibt eine dünne Formstoffschicht von 4 bis 8 mm Dicke auf dem Modell erhalten, die durch zusätzliche Hitzeeinwirkung bei ca. 450 °C aushärtet. Partielle Wärmespitzen im Modell haben ein ungleichmäßiges Aushärten des Formteils zur Folge, was während des Gießens zum Brechen des Formteils führen kann. Das ausgehärtete Formteil wird vom Modell abgehoben. Zwei Maskenformteile werden durch Klammern oder Kleben zu einer Form verbunden. Wenn die Stabilität der Form während des Gießens gefährdet ist, wird sie mit Quarzsand oder Stahlkies hinterfüllt. Durch das Hinterfüllen wird zusätzlich die Wärmeabfuhr aus dem Gußstück verbessert. Die Form kann auch durch Einsetzen in eine Kokille abgestützt werden (Spur, 1981). Beim Maskenformverfahren handelt es sich um ein Gießverfahren mit geringem Sand-Guß-Verhältnis.

Formstoff

Als Formstoff ist Quarzsand mit mittleren Korngrößen zwischen 0,15 und 0,20 mm geeignet. Als Bindemittel kommen Phenolharze zum Einsatz. Die Basisharze können durch Zugabe besonderer Zusatzstoffe (z. B. Baumharz; Phenol zum Verhindern des Abrollens des Sandes) in ihren Eigenschaften modifiziert werden (Bindernagel, 1983). Der Bindemittelanteil im Formsand liegt zwischen 1,5 und 4%. Für das Maskenformverfahren werden vorzugsweise Novolake und in geringem Umfang auch modifizierte Resole verwendet.

Anwendungsbereiche

Das Maskenformverfahren ist für alle Gußwerkstoffe geeignet. Das Verfahren wird auch dort eingesetzt, wo aus technologischen oder legierungstechnischen Gründen das Druckgießen nicht möglich ist (Brunhuber, 1991). Wegen der teuren Metallmodelle muß die Stückzahl einer Gießserie groß sein (mehrere 1000 Stück), um einen wirtschaftlichen Einsatz zu gewährleisten (Bindernagel, 1983). Die Produktion ist gut automatisierbar. Die üblicherweise mit dem Verfahren in der Praxis hergestellten Gußstückgrößen sind in Tabelle 2-16 zusammengefaßt.

Verfahren	Gußgewicht
freistehende Maske	bis 20 kg
hinterfüllte Maske	bis 40 kg
abgestützte Maske (z. B. mit Kokille)	bis 100 kg

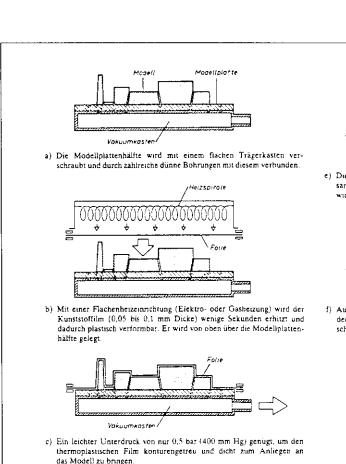
Tab. 2-16: Gußgewichte beim Maskenformverfahren (Spur, 1981)

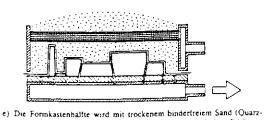
Es werden Gußstücke mit sehr geringen Wanddicken bis ca. 2,5 mm, in Einzelfällen sogar bis 1,5 mm gefertigt. Die Oberflächen der mit dem Maskenformverfahren hergestellten Gußstücke sind in der Regel sehr glatt. Die Oberflächenqualität ist von der Sandkörnung, der Oberflächenspannung des zu vergießenden Materials, dem statischen Gießdruck und vom Erstarrungsintervall abhängig. Im Normalfall liegen die Mittenrauhwerte (R_a) zwischen 10 und 15 μ m, Minimalwerte von 3,2 μ m wurden schon erreicht. Die Maßgenauigkeit von mit Maskenformen hergestellten Gußteilen ist im Vergleich zu anderen Formverfahren hoch (vgl. Tabelle 2-8).

2.1.2.4 Vakuumformverfahren

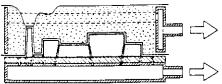
Verfahrensbeschreibung

Beim Vakuumformverfahren werden zur Bindung des Sandes die Reibungskräfte ausgenutzt, die durch den Druck der Umgebungsluft zwischen den im Vakuum befindlichen Formsandkörnern entstehen. Die Reibungskräfte sind so hoch, daß sich die Körner untereinander nicht verschieben können. Von Vorteil ist, daß beim Vakuumformverfahren keine Bindemittel benötigt werden. Abbildung 2-7 stellt den Ablauf der Fertigung eines Gußstückes mit dem Vakuumformverfahren dar.

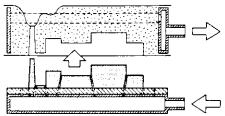




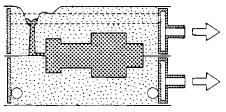
 Die Formkastenhälfte wird mit trockenem binderfreiem Sand (Quarzsand, Zirkonsand usw.) gefüllt. Feine Sandkörnung mit höhem Schüttgewicht. Leichtes Vibrieren zur Vorverdichtung.



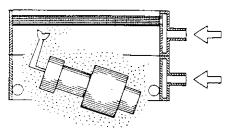
 Ausformung des Eingußtümpels und Abstreichen der Formhälfte. Abdecken mit Kunststoffolie und Verdichtung des Formstoffs durch Einschaltung des Unterdrucks von 0.5 bar. Formhärte 90 bis 95.



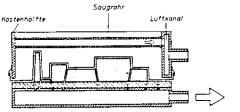
g) Beim Abhebevorgang wird das Vakuum des Modellplattenträgers abgeschaltet, so daß die unter Unterdruck stehende Formkastenhälfte mit der anhaftenden Kunststoffolie leicht abgezogen werden kann.



h) Unterkasten und Oberkasten werden in gleicher Weise hergestellt und können nach dem Zusammenlegen sofort abgegossen werden. Der Unterdruck wird während des Gießens bis zur Beendigung der Erstatrung aufrechterhalten.



j) Nach ausreichender Abkühlung des Gußstücks wird das Vakuum abgeschaltet. Der frei fließende Sand läuft über eine Kühl- und Entstaubungsanlage zum Bunker. Ergebnis: ein sauberes, maßgetreues Gußstück, das keine umfangreiche Putzarbeit erfordert.



d) Ein Formkasten wird auf die filmüberzogene Modellplatte gelegt. Der Formkasten ist durch Rohre oder Schlauche über eine Absaugekammer mit einem Rohranschluß verbunden.

Abb. 2-7: Verfahrensablauf beim Vakuumformverfahren (Bindernagel, 1983)

Über das Modell, das auf einen flachen Trägerkasten montiert ist, wird eine Kunststoffolie gelegt. Das Modell hat kleine Löcher. Durch Beheizen und Anlegen eines leichten Unterdruckes an den Trägerkasten legt sich die Folie eng an das Modell an. Nach dem Aufsetzen eines Formkastens wird dieser mit Sand gefüllt. Durch Vibration erfolgt eine leichte Vorverdichtung.

Anschließend wird der Formkasten mit einer Folie überdeckt, eine Eingießöffnung eingeformt und ein Vakuum von etwa 0,5 bar angelegt. Dadurch verdichtet sich der Formstoff bis zu einer Härte von etwa 900 bis 950 N/cm². Druckfestigkeit und Härte der Form sind sowohl von der Packungsdichte des Sandes als auch vom angelegten Unterdruck abhängig. Um Modell und Formteil zu trennen, wird der Trägerkasten belüftet. Weil das Vakuum im Formkasten erhalten bleibt, zerfällt das Formteil nicht. Die im Ober- und Unterkasten hergestellten Formteilhälften werden zusammengesetzt und abgegossen. Durch die thermische Zersetzung der Folie entstandene Pyrolyseprodukte, deren Zusammensetzung von der Folienart abhängt, kondensieren teilweise im Sand, entweichen aus der Gießform oder werden durch das Vakuum abgezogen. Nach dem Erstarren wird das Vakuum aufgehoben, so daß die Form zu Sand zerfällt. Im Vergleich zu anderen Verfahren ist keine herkömmliche Sandaufbereitungsanlage notwendig. Der Sand kann nach der Metall- und Feinstaubabscheidung (z. B. im Sichter) sowie Kühlung ohne weitere aufwendige Aufbereitung wiederverwendet werden. Die Sandverluste können unter 1% gehalten werden, liegen in der Regel aber zwischen 1 und 5% (Spur, 1981). Als spezifischer Anlagenbestandteil ist die entsprechende Vakuumtechnik erforderlich.

Formstoff

Als Formstoff wird binderfreier Quarzsand eingesetzt. Die Packungsdichte des Sandes beeinflußt die Güte der Gußoberfläche. Der Zusammenhang zwischen Korngrößenverteilung des Formsandes und seiner Packungsdichte ist in Abbildung 2-8 angegeben.

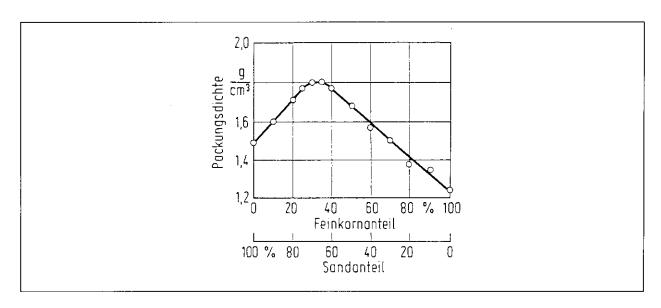


Abb. 2-8: Packungsdichte in Abhängigkeit vom Feinkorn- (0,05 mm) und Sandanteil (Quarz-sand 0,2 mm; Spur, 1981)

Kunststoffolien, die im Vakuumverfahren eingesetzt werden, müssen eine hohe thermoplastische Dehnbarkeit in Längs- und Querrichtung aufweisen. Die Folien müssen reißfest und blasenfrei sein. Ihre Dicke liegt zwischen 0,05 und 0,10 mm. Als sehr gut geeignet hat sich Ethylen-Vinylacetat-Folie mit einer Stärke von 0,075 mm erwiesen (Spur, 1981). In Tabelle 2-17 sind einige Angaben zu verwendeten Kunststoffolien zusammengestellt.

Folientyp	Dichte g/cm³	Schmelzpunkt °C	Bemerkungen
Polyethylen (PE) niedriger Dichte	0,920	88 bis 90	
Polyethylen (PE) hoher Dichte	0,960	94 bis 97	
Nylon	1,13	215 bis 222	
Polypropylen	0,90 bis 0,91	160 bis 170	
lonomer	0,93 bis 0,94	72 bis 75	
EVA ⁺⁾ (A)	0,940	58	enthält 17 % Vinylacetat
EVA ⁺⁾ (B)	-	-	enthält 14 % Vinylacetat
EVA ⁺⁾ (C)	-	-	enthält 14 % Vinylacetat
Polyvinylchlorid (PVC)	1,450	56 bis 90	
Polyvinylalkohol (PVA)	-	~	

⁺⁾ EVA = Kurzbezeichnung für Etyhlen-Vinylacetat-Copolymerisat

Tab. 2-17: Eigenschaften von Kunststoffolien (Spur. 1981)

Als Schlichten werden in der Regel Alkoholschlichten auf der Basis von Graphit oder Zirkonmehl eingesetzt (vgl. Kapitel 2.1.1.4). Nur für die Verarbeitung von Aluminium werden keine Schlichten verwendet.

Anwendungsbereiche

Das Verfahren ist für alle Gußwerkstoffe anwendbar. Im Lauf der Zeit ist das Verfahren soweit entwickelt worden, daß auch relativ komplizierte Gußstücke mit Kernen gefertigt werden können. Der Gewichtsbereich der Gußstücke reicht bis zu mehreren 100 kg (Bindernagel, 1983) und ist derzeit durch die Anlagengröße und nicht durch das Verfahren selbst begrenzt (Bode, Bode, 1991).

Die Zeit für die Folienvorbereitung begrenzt die Leistungsfähigkeit der Vakuumformanlagen auf etwa 60 Formen pro Stunde. Mit Hochdruckpreßformanlagen, wie sie beim Naßgußverfahren eingesetzt werden, lassen sich dagegen über 200 Formen pro Stunde herstellen (Spur, 1981). Die Produktivität des Gesamtverfahrens wird auch durch den Aufwand beim Auspacken der Gußteile und der Sandregenerierung beeinflußt, der im Vergleich zu anderen Verfahren wesentlich geringer ist.

Auch ist das Aufrechterhalten des Vakuums in der Praxis mit einem hohen Energieverbrauch verbunden, da zwischen Folie und Formkasten sowie im Rohrleitungsnetz meist Undichtigkeiten auftreten. Wegen der geringen Produktivität und der Energiekosten wird das Vakuumverfahren in der Bundesrepublik Deutschland nur in geringem Umfang eingesetzt (abnehmende Tendenz).

Die mit dem Vakuumformverfahren hergestellten Gußteile weisen im Vergleich zu in anderen Sandformverfahren hergestellten Gußteilen eine sehr hohe Maßhaltigkeit auf (vgl. Tabelle 2-8). Es werden außerordentlich glatte Oberflächen bei günstigem Feinkornanteil im Sand erzielt (hohe Packungsdichte). Schlichten verbessern die Gußoberfläche bei Verwendung relativ grobkörniger Sande. Auch unter abfallwirtschaftlichen Gesichtspunkten weist das Vakuumformverfahren Vorteile auf, da der Formsand praktisch frei von Bindemittelzusätzen ist und somit eine aufwendige Aufbereitung nicht erforderlich ist.

2.1.2.5 Wasserglasverfahren

Verfahrensbeschreibung

Das Wasserglasverfahren wird hauptsächlich zur Kernherstellung verwendet und nur in geringem Umfang zur Herstellung von Formen eingesetzt. Die Form- bzw. Kernherstellung erfolgt nach dem Kohlensäure-Erstarrungs-Verfahren (CO₂-Verfahren) oder mit selbsthärtenden Wasserglassanden. Mit Abstand am weitesten verbreitet ist das CO₂-Verfahren, das im folgenden näher erläutert wird.

Das Formstoffgemisch (Sand und Wasserglasbinder) härtet durch Begasen mit Kohlendioxid (CO₂) in der Praxis häufig als Kohlensäure bezeichnet aus. Das Wasserglas setzt sich mit der Kohlensäure innerhalb weniger Sekunden zu gelförmiger Kieselsäure und Soda um. Die gelförmige Kieselsäure bewirkt die Bindung der Sandkörner in der Form. Bei der Begasung laufen verschiedene chemische Reaktionen ab (vgl. Gleichungen 2 bis 4).

Besonderen Einfluß auf die Eigenschaften von Wasserglasbinder und Formteilen hat der Wasserglasmodul (Mol-Verhältnis von SiO₂ zu Na₂O; vgl. Tab. 2-18).

Eigenschaft		lasmodul Na₂O
_	> 2,4	< 2,4
Viskosität	\uparrow	\downarrow
Reaktivität	\uparrow	$\downarrow \downarrow$
Alkalimenge	\downarrow	\uparrow
CO ₂ -Verbrauch	\downarrow	\uparrow
Überhärtungsgefahr	\uparrow	\downarrow
Anfangsfestigkeit	\uparrow	\downarrow
Endfestigkeit	\downarrow	\uparrow
Lagerfähigkeit der Kerne	\downarrow	\uparrow
Zerfall	\uparrow	\downarrow

↑ = steigt: ↓ fällt

Tab. 2-18: Einfluß des Wasserglasmoduls (Spur, 1981)

Wasserglasbinder mit hohem Modul reagieren schnell mit CO₂. Ein Überschuß an CO₂ hat zur Folge, daß sich die Feuchtigkeit aus dem Kieselgel mit CO₂ zu H₂CO₃ umsetzt und amorphe Kieselsäure ausfällt, die damit für die Reaktion nach Gleichung (2) verlorengeht, so daß sich weniger gelförmige Kieselsäure bildet. Dadurch verringert sich die Festigkeit des Formteils. Wird die maximale Anfangsfestigkeit durch zu geringe CO₂-Begasung nicht erreicht, so nimmt die Festigkeit der Formteile bzw. Kerne während der Lagerung durch das in der Umgebungsluft enthaltene CO₂ zu.

Zur Oberflächenverbesserung der Formteile und Kerne werden Schlichten auf Alkoholbasis verwendet.

Formstoff

Als Formgrundstoff wird gewaschener und getrockneter Quarzsand mit einer mittleren Körnung zwischen 0,2 und maximal 0,6 mm eingesetzt (Spur, 1981).

Das als Bindemittel dienende Wasserglas ($Na_2O \cdot nSiO_2 \cdot xH_2O$) ist ein Alkalisilicat und hat einen pH-Wert von etwa 12. Für das Kohlensäure-Erstarrungs-Verfahren wird Wasserglas mit Modulwerten von 2,4 bis 2,6 eingesetzt. Im Wasserglas sind etwa 35 Gew.% $Na_2O + SiO_2$ enthalten (Bindernagel, 1983).

Um die Bindemitteleigenschaften zu verbessern, werden oft Weichmacher (mehrwertige Alkohole), hydrophobierende Stoffe (Feuchtigkeitsstabilisatoren) und Zucker (Zerfallsförderer) zugesetzt. Für ein verarbeitungsfähiges Formstoffgemisch wird folgende Zusammensetzung angegeben (vgl. Tabelle 2-19):

Quarzsand (50 bis 80% regenerierter Altsand möglich)	100 GewTeile
Wasserglas	2 bis 5 GewTeile
CO ₂ -Begasung: - theoretisch: - Handdosierung: - mit Dosiergerät:	0,06 bis 1,0 Gew.% CO ₂ 1 bis 5 Gew.% CO ₂ 1 bis 1,5 Gew.% CO ₂
Zusätze zu schnellerer Aushärtung, höherer Festigkeit, geringerer Feuchtigkeitsempfindlichkeit und besserem Zerfall:	ca. 1% alk. Phenolharz
Zusätze zur Verbesserung der Gußoberfläche:	Steinkohlestaub, Graphit
Zusätze zur Verbesserung des Zerfalls:	Asphaltmehl, Steinkohlestaub, lösliche Kohlenhydrate, Tone

Tab. 2-19: Zusammensetzung von Formstoffen beim Wasserglasverfahren (Bindernagel, 1983)

Anwendungsbereiche

Das CO₂-Verfahren wird im Eisen- und NE-Metall-Guß in der Einzelteil- und Serienfertigung zur Herstellung von Gußstücken mit Gewichten bis zu 1000 kg verwendet. Die vergleichsweise schlechte Oberflächenqualität wird durch die Verwendung von Schlichten verbessert. Als Vorteile des Verfahrens sind insbesondere in Hinblick auf Arbeits- und Umweltschutz die schadstoffarme Verarbeitung des Formstoffes und die schadstoffarmen Emissionen beim Gießen zu nennen. Nachteile sind dagegen die vergleichsweise geringe Festigkeit, die begrenzte Lagerfähigkeit und die schlechten Zerfallseigenschaften der Formen und Kerne sowie die ungünstige Regenerierbarkeit der Altsande (vgl. Kapitel 4.1.1.2 und 4.1.1.3).

2.1.2.6. Vollformgießverfahren

Vollformgießverfahren arbeiten mit verlorener Form und mit verlorenem Modell. Zur Formherstellung wird das Modell mit Formstoff umgeben. Der Formstoff kann chemisch gebunden (z. B. durch Kunstharze) oder mittels physikalischer Kräfte (z. B. durch Einfluß von Unterdruck oder Magnetfeld) stabilisiert werden. Als Modellwerkstoff dient vorwiegend Polystyrolschaum. Polystyrol entsteht in einer Polymerisationsreaktion monomeren Styrols. Es besteht aus Kohlenstoff (etwa 92%) und Wasserstoff (etwa 8%). Unter Einfluß eines Katalysators schäumt die Polystyrol-Suspension aus (vgl. Abbildung 2-9).

$$CH = CH_2 \qquad \cdots - CH - CH_2 - \cdots - CH - CH_2 - \cdots$$

$$D = CH - CH_2 - \cdots - CH - CH_2 - \cdots$$

$$D = CH - CH_2 - \cdots$$

Abb. 2-9: Polystyrol

Die Modelle sind Naturmodelle, d. h. sie haben, abgesehen vom Schwindmaß des Metalls, genau die Maße und Formen des Gußteils. In Abhängigkeit von Größe und Anzahl der Gußstükke sowie vom Gießverfahren werden die Modelle automatisch oder von Hand hergestellt. Das eingeformte Modell vergast während des Abgießens der Form durch die Hitzeeinwirkung der Schmelze. Der dabei entstehende Kohlenstoff bewirkt nur bei sehr kohlenstoffarmen Eisenund Stahllegierungen eine Aufkohlung, führt aber leicht zu Kohlenstoffeinschlüssen im Gußstück (Wolff, 1991). Im allgemeinen vermindert die kohlenstoffhaltige Atmosphäre die Schlakkebildung (Spur, 1981). Nach dem Erstarren des Metalls wird die Form zerstört. Von Vorteil ist die Gratfreiheit der im Vollformverfahren hergestellten Gußstücke auf Grund der ungeteilten Form.

Neben Kohlenstoff entstehen bei der Vergasung des Polystyrols schadstoffhaltige Pyrolyseprodukte (z. B. Benzol), deren Umweltrelevanz noch nicht ausreichend geklärt sind. Es wird deshalb Polymethylmethacrylat (PMMA) als neuer Modellwerkstoff auf seine Eignung getestet (Wolff, 1991). Das Ausschäumen der PMMA-Modelle dauert länger als das der Polystyrol-Modelle (Parr, 1991). Die Verwendung von PMMA-Modellen führt nicht zu Kohlenstoffeinschlüssen an den Gußteilen, ist aber mit erhöhter Gasentwicklung verbunden. Über die Schadstoffemissionen liegen noch keine Angaben vor (Parr, 1991). Gegenwärtig liegen die Kosten für PMMA-Modelle deutlich über denen der Polystyrol-Modelle (Parr, Wilhelmi, 1991).

2.1.2.6.1 Vollformgießen mit chemisch gebundenem Formstoff

Verfahrensbeschreibung und Formstoffe

Beim Vollformgießen mit chemisch gebundenem Formstoff werden als Binder in der Regel kalthärtende Kunstharze eingesetzt (vgl. Kapitel 2.1.2.2). Die Modelle der häufig sehr großen Gußstücke werden von Hand aus Polystyrolblöcken hergestellt und anschließend mit dem Kaltharzsand umgeben. Nach dem Aushärten der Form erfolgt der Abguß unter Vergasung des Polystyrolmodells.

Anwendungsbereiche

Mit dem Vollformgießen mit chemisch gebundenen Formstoffen werden vorwiegend Gußstükke im Gewichtsbereich von ca. 50 bis 5 000 kg als Einzelstücke oder in Kleinserien hergestellt. Das Verfahren eignet sich besonders für die Herstellung großvolumiger Gußteile und wird für die Produktion von Prototypen, Preßwerkzeugen und Sondermaschinen eingesetzt. In laufenden Forschungsvorhaben wird versucht, die Prozeßsicherheit zu erhöhen, um auch größere Serien im Vollformverfahren gießen zu können.

Die Oberflächengüte der Gußstücke ist direkt von derjenigen des Modelles abhängig. Es lassen sich gleiche Oberflächengüten und Maßgenauigkeiten wie beim Kaltharzverfahren erreichen.

2.1.2.6.2 Vollformgießen mit durch physikalische Kräfte stabilisiertem Formstoff

Verfahrensbeschreibung und Formstoffe

Bei den Verfahren mit durch physikalische Kräfte stabilisierten Formen werden trockene, binderfreie Formstoffe eingesetzt.

a) Trockensand-Vollformgießen

Der trockene Quarzsand wird um das im Formkasten positionierte Schaumstoffmodell geschüttet und kann durch Vibration verdichtet werden. Problematisch ist das Einformen von Hinterschneidungen, ohne das Modell bzw. die Schlichte stark mechanisch zu beanspruchen oder zu beschädigen (Parr, Wilhelmi, 1991). Nach dem Einformen wird sofort abgegossen. Nach dem Erstarren sind Gußteil und Formsand einfach durch Ausschütten auf Siebe zu trennen. Die Formsandaufbereitung ist sehr einfach. Von Vorteil ist weiterhin, daß keine Aufwendungen zur Formstoffbindung notwendig sind. Es wirkt allein die Schwerkraft. Nachteilig sind dagegen die geringe Stabilität der Formen, ihre geringe Wärmeleitfähigkeit, entstehender Quarzstaub und die Flamm- und Gasentwicklung beim Gießen (Spur, 1981).

b) Unterdruck-Vollformgießen

Das Verfahrensprinzip ist dem des Trockensand-Vollformgießens vergleichbar, unterscheidet sich jedoch durch die Art der Stabilisierung des Formsandes. Der mit dem Schaumstoffmodell und Formstoff gefüllte Formkasten wird mit Folie abgedeckt. Durch das Anlegen eines Unterdruckes an den Formkasten stabilisiert sich der Formsand um das Modell. Das flüssige Metall wird eingegossen. Die durch die Zerstörung des Modells entstehenden Gase werden abgesaugt, so daß sie nicht direkt in die Atmosphäre gelangen. Nachteilig sind die schlechte Wärmeleitfähigkeit des Sandes und die hohe Quarzstaubentwicklung (Spur, 1981).

c) Magnetformverfahren

Der magnetisierbare granulierte Formstoff wird durch ein Magnetfeld stabilisiert. Als Formstoff setzt man in den meisten Anwendungsfällen rieselfähiges, feinkörniges Eisenpulver mit Korndurchmesser von 0,1 bis 0,5 mm ein. Die Körner sind splitterförmig oder rund (Bindernagel, 1983). In Abbildung 2-10 ist der Verfahrensablauf des Magnetformverfahrens dargestellt.

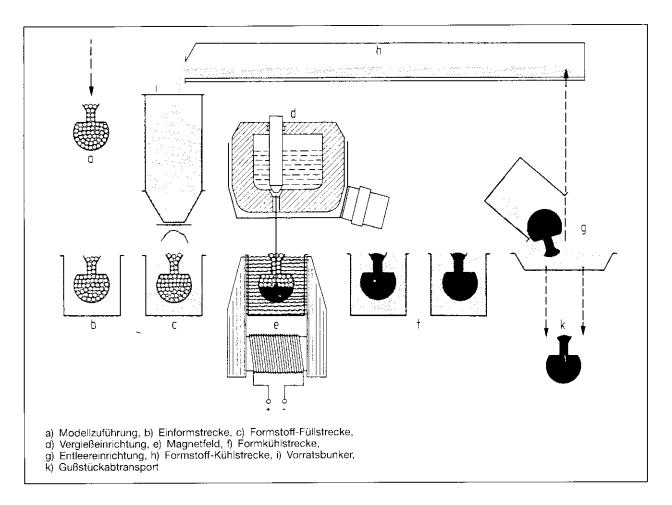


Abb. 2-10: Ablauf des Magnetformverfahrens (Spur, 1981)

Das Schaumstoffmodell wird in einem Formkasten positioniert. Anschließend erfolgt das Füllen des Formkastens mit dem magnetisierbaren Formstoff. Die Umhüllung des Modells mit Formstoff kann durch Vibrieren und/oder Schwenken des Formkastens unterstützt werden. Anschließend erfolgt die Stabilisierung der Formstoffpartikel im Magnetfeld. Das Magnetfeld bleibt während des Gießens aufrechterhalten. Erst wenn sich um das Gußstück eine tragfähige Randschale gebildet hat, kann das Magnetfeld abgeschaltet werden. Durch die gute Wärmeleitfähigkeit des magnetisierbaren Formstoffes kühlen die Teile schneller als bei anderen Verfahren ab. Deshalb bilden sich feinere Gefügestrukturen im abgekühlten Gußwerkstoff heraus. Nach der Abkühlung trennt man Gußstück und Formstoff auf einem Schwingsieb. Der Formstoff kann ohne aufwendige Aufbereitung wiederverwendet werden (Spur, 1981). Nach mehrjährigen Entwicklungsarbeiten und praktischer Erprobung wurde das Magnetformverfahren wegen ungelöster technischer Probleme in der Bundesrepublik Deutschland nicht weiterverfolgt (Wolff, 1991).

Anwendungsbereiche

Mit den Verfahren der durch physikalische Kräfte stabilisierten Formstoffe werden Eisen- und Nichteisenmetalle verarbeitet. Gußteile mit Raumdiagonalen zwischen 50 und 1500 mm werden gefertigt. Beim Serienguß sollten die maximalen Abmessungen aus Gründen der Mechanisierbarkeit und Koordinierung mit der Schaumstoffmodellherstellung nicht zu groß gewählt werden. Die kleinste erreichbare Wandstärke liegt zwischen 4 und 5 mm. Die beschriebenen Verfahren wurden im Eisenguß bereits für Stückgewichte bis zu 500 kg eingesetzt (Spur, 1981).

Die Gußteile entsprechen unter Berücksichtigung des vom Gießmetall abhängigen Schwindmaßes in ihren Maßen genau denen des vergasbaren Modells. Auch die Oberflächengüte hängt von der des Modells ab. Es wurde ein durchschnittlicher Rauhigkeitswert (Ra) von 14 Im ermittelt (Spur, 1981).

Der Produktionsanteil der Vollformgießverfahren mit physikalisch gebundenen Formstoffen ist verschwindend gering. Untersuchungen haben gezeigt, daß das Vollformgießen in Sandformen unter bestimmten Voraussetzungen (z. B. Losgröße, Gußstückgestalt) im Serienguß von Eisenund Stahlteilen wirtschaftlich und qualitätsgerecht sein kann, eine pauschale Aussage ist jedoch nicht möglich (Parr, Wilhelmi, 1991).

2.1.3 Kernherstellung

Kerne werden in Gußformen (Sandformen, 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 bestehen zumeist aus chemisch gebundenen Sanden (Wasserglas, Kunstharz). Der Anteil ton- und wasserglasgebundener Kerne nahm in den letzten Jahren stark ab. Leichter dagegen ging der Anteil der Hotbox-, Kaltharz- und Croning-Kerne zurück. Im Gegenzug gewannen die Coldbox-Begasungsverfahren in der Bundesrepublik wesentlich an Bedeutung (vgl. Abbildung 2-11).

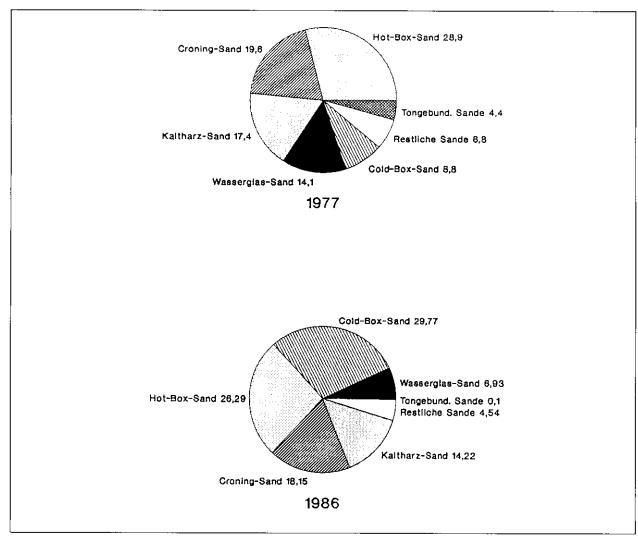


Abb. 2-11: Anteil verschiedener Kernherstellungsverfahren (%) für die Jahre 1977 und 1986 (nach Weiss, Kleinheyer, 1987 a)

Sandkerne werden manuell (z. B. Handformen) oder maschinell (z. B. Kernschießen) hergestellt. Beim Kernschießen wird der Sand durch hohen Luftdruck in den Kernkasten gefördert und gleichzeitig verdichtet. Nach der Aushärtung des Kernsandbinders erfolgt die Entnahme der Kerne aus der Kernform. Die Kernherstellung ist schematisch in Abbildung 2-12 dargestellt.

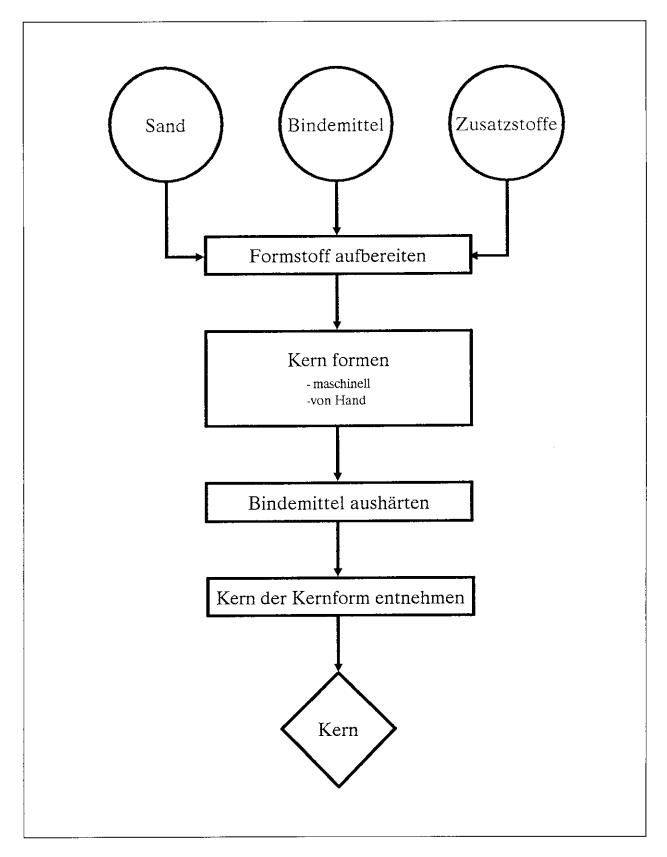


Abb. 2-12: Herstellung von Sandkernen

2.1.3.1 Wasserglasverfahren

Das Wasserglasverfahren verliert wegen seiner Nachteile (geringe Festigkeit und begrenzte Lagerfähigkeit der Kerne, schlechte Zerfallseigenschaften der abgegossenen Kerne, ungünstige Altsandregenerierbarkeit) bei der Kernherstellung zunehmend an Bedeutung (vgl. Abbildung 2-11). Ein neues, anorganisch modifiziertes Wasserglas, welches bessere Anfangsfestigkeiten und Zerfallseigenschaften der Kerne bewirkt sowie relativ unempfindlich gegen Übergasung ist, wird erprobt und könnte den Anteil des Wasserglasverfahrens an der Kernproduktion wieder steigern (Döpp, Schneider, 1991), sofern die Probleme der Altsandregenerierung gelöst werden können (vgl. Kapitel 4.1.1.2.2). Die Kernherstellung erfolgt analog der Formherstellung nach dem CO₂-Verfahren (vgl. Kapitel 2.1.2.5). Auch hier werden die hand- oder maschinengeformten Kerne mit CO₂ begast und härten unter Bildung gelförmiger Kieselsäure aus.

2.1.3.2 Coldbox-Begasungsverfahren

Verfahrensbeschreibung

Innerhalb kurzer Zeit konnten die Coldbox-Begasungsverfahren ihren Anteil an der Kernproduktion bedeutend steigern. Auch die Fertigung von Formteilen ist mit Coldbox-Begasungsverfahren möglich, wird jedoch nur in sehr geringem Umfang praktiziert. Bei den Coldbox-Begasungsverfahren existieren mehrere Verfahrensvarianten, die sich durch die verwendeten Harzsysteme und die Härtemechanismen unterscheiden. Gemeinsames Merkmal ist, daß durch die Begasung des Kerns oder Formteils die Härtungsreaktion eines Kunstharzes ausgelöst wird. Der allgemeine Verfahrensablauf der Coldbox-Begasungsverfahren ist in Abbildung 2-13 dargestellt. Im folgenden werden das Amin-, das Methylformiat- und das SO₂-Verfahren beschrieben.

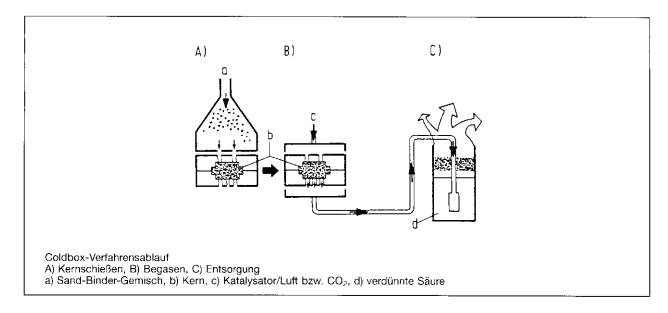


Abb. 2-13: Coldbox-Begasungsverfahren, allgemeine Darstellung (Spur, 1981)

Beim **Amin-Verfahren** ist der Formsand mit einem Zwei-Komponenten-Bindemittel aus Phenolharz und Polyisocyanat gebunden. Das Bindemittel härtet durch den Zusatz von katalysierend wirkenden tertiären Aminen Triethylamin (TEA), Dimethylethylamin (DMEA) oder Dimethylisopropylamin (DMIA) zu Polyurethan aus (vgl. Abbildung 2-14).

Abb. 2-14: Polyurethanbildung beim Amin-Verfahren (Spur, 1981)

Nach dem Mischen wird der Formstoff in die Kernform eingebracht. Anschließend erfolgt das Begasen mit einem Katalysator-Trägergas-Gemisch (Nebel), der das Aushärten des Bindemittels bewirkt. Trägergase können Luft, Kohlendioxid oder Stickstoff sein. Eine Erwärmung des Katalysator-Trägergas-Gemisches beschleunigt das Aushärten des Bindemittels. Nach der Begasung wird der restliche Katalysator mit reinem Trägergas aus dem Kern gespült.

Das Bindepotential dieser Bindemittelkombination ist hoch. Bei einem Gesamtbinderanteil von 1,6 %, bezogen auf Sand, stellt sich kurz nach der Herstellung der Kerne eine Biegefestigkeit von etwa 270 bis 300 N/cm² ein, 10 Minuten später kann sich die Festigkeit schon auf 580 bis 700 N/cm² erhöht haben (Spur, 1981). Die Kerne lassen sich über längere Zeit lagern, können aber auch gleich nach der Herstellung zum Abguß kommen.

Das **Methylformiat-Verfahren** arbeitet mit stark alkalischem Phenolharz und Methylformiat (Ameisensäuremethylester) als Härter. Das Bindepotential dieser Harz-Härter-Kombination ist relativ gering. Die Kerne werden mit einem auf etwa 30 °C erwärmten Methylformiat-Luft-Gemisch begast. Eine anschließende Spülung mit Trägergas ist nicht erforderlich. Die Zugabe von geringen Mengen Ester zum Formstoffgemisch führt zum sofortigen Aushärten. Methylformiat-Kerne haben ähnliche Eigenschaften wie mit dem Amin-Verfahren hergestellte Kerne. Da beim Methylformiat-Verfahren keine tertiären Amine und kein Isocyanat zum Einsatz kommen, ist es im Bezug auf den Arbeitsschutz günstiger zu bewerten als das Amin-Verfahren (vgl. MAK-Werte Tabelle 2-21).

Beim **SO₂-Verfahren** wird mit Schwefeldioxid begast. Der Harzbinder (Furan-, Phenol- oder Epoxidharze) härtet durch eine Reaktion mit Schwefelsäure, die sich während des Begasens aus SO₂, Sauerstoff (aus Peroxiden) und Wasser bildet (vgl. Gleichung (5)), aus.

$$2SO_2 + O_2 + 2H_2O \rightarrow 2H_2SO_4 \tag{5}$$

Vorteile des SO_2 -Verfahrens mit Epoxid-Harzen sind insbesondere die hohe Fließfähigkeit, die lange Verarbeitbarkeit der Sande (Engels, Kucharcik, 1990) sowie das hohe Binderpotential (Boenisch, 1991). Nachteile sind dagegen der Umgang mit SO_2 und den Peroxiden (Gefahrstoffe).

Formstoff

In der Regel dient bei allen Verfahrensvarianten zur Kernherstellung Quarzsand als Formgrundstoff. Beim **Amin-Verfahren** besteht das Binderharz aus einem Gemisch aus Phenolharz und Polyisocyanat (Zwei-Komponenten-Bindemittel). Beide Komponenten sind in Lösungsmitteln

gelöst. Im Vergleich zu anderen Bindemitteln hat das Gemisch eine geringe Viskosität. Phenolharz und Polyisocyanat werden in der Regel im Verhältnis 1:1 eingesetzt. Spezielle Anwendungen erfordern Verhältnisse von 3:2 oder 4:5. Phenolharz im Überschuß bewirkt eine höhere Ausgangsfestigkeit der Kerne (Spur, 1981). Der Einfluß von Wärme läßt das Bindemittel vorzeitig aushärten. Auch alkalische Bestandteile (z. B. basische Metalloxide) im Formstoffgemisch führen zu frühzeitigem Aushärten. Da das Polyisocyanat wasserempfindlich ist, darf das Formstoffgemisch nicht in feuchter Atmosphäre gelagert oder verarbeitet werden. Die wichtigsten Eigenschaften der Binderkomponenten sind in Tabelle 2-20 zusammengefaßt (Bindernagel, 1983).

Eigenschaft	Phenolharz	Polyisocyanat
Dichte in g/cm ³	1,06 bis 1,18	1,06 bis 1,19
Viskosität bei 25 °C in Pa s	140 bis 250	15 bis 25
Feststoffgehalt	50 bis 60%	-

Tab. 2-20: Eigenschaften von Phenolharz und Polyisocyanit

Als Katalysatoren werden die tertiären Amine TEA, DMEA oder DMIA verwendet. Der Einsatz von niedrigsiedendem, hochreaktivem Trimethylamin (TMA) wurde in einer Eisen- und zwei Aluminiumgießereien erfolgreich erprobt. Bei den Versuchen konnte der Amineinsatz gegenüber der Verwendung von DMEA oder DMIA um bis zu 50% reduziert werden (Hemsen, Fuchs, 1991). Daraus ergeben sich verminderte Umwelt- und Arbeitsplatzbelastungen sowie ökonomische Vorteile. In Tabelle 2-21 sind einige Daten zu den Katalysatoren aufgeführt.

Merkmal	Triethyl- amin TEA	Dimethyliso- propylamin DMIA	Dimethyl- ethylamin DMEA	Trimethyl- amin TMA	Methyl- formiat
MAK-Wert	10 ppm	25 ppm*	25 ppm	25 ppm*	100 ppm
Siedepunkt	89 C	64 °C	35 °C	2,9 °C	32 °C
Flammpunkt	-11 C	-27 °C	−45,5 °C	−65 °C	<-20 °C
untere Explosions- grenze (Volumenanteil)	1,6%	1,0%	0,9%	2,0%	5,0%
obere Explosions- grenze (Volumenanteil)	9,3%	8,1 %	11,2%	11,6%	20%
Zündtemperatur	215 °C	190 °C	190 °C	190 · C	450 °C

Sicherheitskennwert, MAK-Wert ist noch nicht festgelegt.

Tab. 2-21: Kennwerte von TEA, DMIA, DMEA, TMA (nach Hemsen, Fuchs, 1991) und Methylformiat (nach GefAst, M26)

Die Zusammensetzung für ein übliches Formstoffgemisch ist in Tabelle 2-22 zusammengefaßt.

Quarzsand (bis 90% regenerierter Altsand möglich)	100 GT
Bindemittelgemisch	0,8 bis 1,3 GT (Verhältnis Phenolharz zu Polyisocyanat in der Regel 1 : 1)
Triethylamin oder Dimethylethylamin	0,05 bis 0,2 Gew.% bezogen auf den Formstoff

Tab. 2-22: Formstoffzusammensetzung für das Amin-Verfahren (nach Bindernagel, 1983)

Beim **Methylformiat-Verfahren** werden dem Sand etwa 1,5 bis 2% Phenolharz (Typ Resol) zugesetzt. Bezogen auf die Harzmenge, genügen theoretisch etwa 15 bis 30% Methylformiat zur Aushärtung, in der Praxis wird jedoch mit 50 bis 100% und mehr begast (Mauersberger, 1992). Methylformiat löst zur Harzbindung eine Neutralisationsreaktion aus. Einige Stoffdaten von Methylformiat sind in Tabelle 2-21 zusammengefaßt.

Neben stickstoffarmen Furanharzen mit niedrigem Furfurylakohol-Gehalt werden beim **SO₂-Verfahren** auch Phenol- und Epoxidharze als Binderharz eingesetzt. Haftvermittler (z. B. Silan) verbessern die Harzbindung zu den Sandkörnern. Den zur Schwefelsäurebildung benötigten Sauerstoff (siehe Gleichung (5)) stellen organische Oxidationsmittel (z. B. Methylethylketonperoxid, Cumolhydroperoxid) bereit. Das Schwefeldioxid (MAK = 5 ppm; GefAst, S 09) wird mittels trockener Luft oder Stickstoff den Gasflaschen entnommen und durch den Kern oder das Formteil gepreßt.

Anwendungsbereiche

Coldbox-Begasungsverfahren finden sowohl in der Serien- als auch in der Einzelfertigung von Kernen Anwendung. Im Vergleich zu anderen Kernfertigungsverfahren sind die Fertigungszeiten kurz (vgl. Abbildung 2-15), wodurch beim Einsatz von Automaten in der Serienfertigung von Kernen kurze Taktzeiten zu erreichen sind.

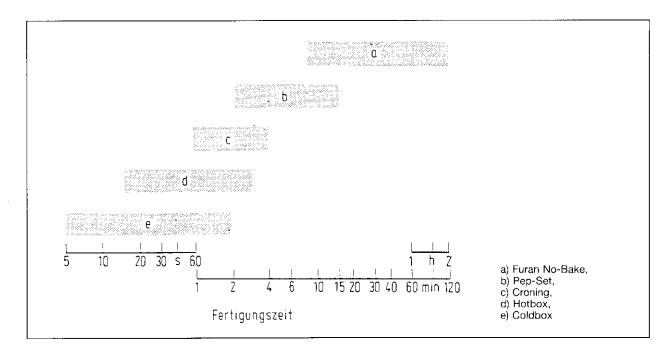


Abb. 2-15: Mittlere Kernfertigungszeiten (Spur, 1981)

Die Anwendung von Coldbox-Kernen ist für alle Gußwerkstoffe möglich. Es werden Kerne für einfache und komplizierte Gußstücke verschiedenster Anwendungsgebiete gefertigt. Die Kernformwerkzeuge bestehen aus Holz, Kunststoff oder Metall. Die sehr maßgenauen Kerne weisen hohe Werte für die Kalt- und Heißfestigkeit vor und während des Abgusses auf. Auch sind die Zerfallseigenschaften der abgegossenen Kerne günstig (Spur, 1981; Ambos, 1981; Engels, Kucharcik, 1990). Mit dem SO₂-Verfahren werden Formen für den Niederdruck-Sandguß hergestellt (vgl. Niederdruck-Kokillengießen, Kapitel 2.2.1; Brunhuber, 1991).

2.1.3.3 Hotbox-Verfahren

Verfahrensbeschreibung

Das Hotbox-Verfahren wird vorwiegend zur Kernherstellung eingesetzt. Ein feuchtes Gemisch aus Quarzsand und Kunstharz bildet den Formstoff. Der Zusatz von Härter katalysiert die Aushärtungsreaktion des Kunstharzes. Nach dem Mischen wird der Formstoff manuell oder mittels Kernschießmaschinen in ein elektrisch oder mit Gas beheiztes Formwerkzeug (Kernkasten) gefüllt und verdichtet. Dabei hat der Kernkasten eine Temperatur im Bereich von 180 bis 340 °C (Bindernagel, 1983). Innerhalb weniger Sekunden härtet das Bindemittel an der Oberfläche aus. Während der anschließenden Lagerung härtet der Kern vollständig aus. Neben den Sandeigenschaften haben die Zusammensetzung des Bindemittels und die Aushärtetemperatur Einfluß auf die Festigkeit der Kerne. Niedrige Temperaturen verringern die Gefahr der Versprödung der Kerne (Spur, 1981). Vor- und Nachteile des Hot-Box-Verfahrens sind in Tabelle 2-23 zusammengestellt.

<i>V</i> orteile	Nachteile
- Gute Maßhaltigkeit der Kerne	- Hoher Energieeinsatz
- Wirtschaftliche Großserienfertigung	- Freisetzung von Schadstoffen
- Gute Lagerfähigkeit der Kerne	- Hohe Werkzeugkosten
- Gute Festigkeits- und Zerfalls- eigenschaften der Kerne	

Tab. 2-23: Vor- und Nachteile des Hot-Box-Verfahrens (Spur, 1981)

Durch weiterentwickelte Binder lassen sich die genannten Nachteile ausgleichen. Insbesondere bei der Freisetzung von Schadstoffen sind in der Vergangenheit Fortschritte erzielt worden.

Formstoff

Als Formgrundstoff wird beim Hotbox-Verfahren gewaschener, trockener und alkalifreier Quarzsand verwendet (Spur, 1981). Die im Hotbox-Verfahren eingesetzten Bindemittel sind flüssige Kunstharze. Dabei handelt es sich um Phenolharze, Furanharze und Aminoplaste. Auch der Einsatz von Gemischen ist üblich. Die folgende Übersicht zeigt die Anwendung der Bindemittel für verschiedene Gußwerkstoffe (Spur, 1981; Brunhuber, 1991):

- Leichtmetallguß: Furfurylalkohol-Harnstoff-Formaldehydharze mit hohem

Formaldehydharz-Anteil

Schwermetalle: Furanharze mit hohem Furfurylalkohol-Anteil

- Gußeisen: Phenol-Harnstoff-Formaldehydharze mit hohem Phenol-Anteil

Phenol-Formaldehydharze vom Resol-Typ enthalten vorwiegend eingesetzte Phenolharze. Die Bindung erfolgt durch eine Kondensationsreaktion. Dabei vernetzen die Harzmoleküle und halten die Sandpartikel zusammen. Furanharze bestehen aus Furfurylalkohol (Hauptbestandteil) und Harnstoff-Formaldehydharzen. Sie vernetzen durch Polymerisation und Polykondensation. Aminoplaste, die auch durch Kondensation vernetzen, setzen sich aus Harnstoff oder Melamin und Formaldehyd zusammen.

Bei allen verwendeten Harzen wird die Aushärtung durch Wärme- und Säureeinwirkung katalysiert. Als Härter finden wäßrige Lösungen von Ammoniumsalzen starker Säuren, wie Ammoniumnitrat und Ammoniumchlorid, Verwendung. Durch den Einsatz von Ammoniumchlorid besteht die Möglichkeit der Dioxinbildung bei der thermischen Regenerierung von Altsanden. Es wird deshalb empfohlen, auf den Einsatz von Ammoniumchlorid zu verzichten.

Dem Formstoff werden zur Verbesserung der Fließ- und Lagerfähigkeit, der Verdichtbarkeit sowie zur Erleichterung des Trennens von Kern und Formwerkzeug Trennmittel zugesetzt (Spur, 1981).

Anwendungsbereiche

Das Hotbox-Verfahren wird hauptsächlich zur Großserienfertigung kleinerer und mittlerer Kerne eingesetzt. Kurze Taktzeiten und ein hoher Automatisierungsgrad der Anlagen ermöglichen eine wirtschaftliche Großserienproduktion. Es werden Kerne für alle Gußwerkstoffe gefertigt. Mit Hotbox-Kernen werden besonders gute Gußoberflächen erreicht. Die Gußteile sind sehr maßgenau.

2.2 Gießverfahren mit Dauerformen

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 vermindern, können Formen beheiz- oder kühlbar ausgeführt 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 Schlichten oder anderen Überzügen versehen werden. Dies verhindert ein Anschweißen der Gußteile und verbessert ihre Oberflächengüte. In Abhängigkeit der Beanspruchung der Formen und der Anforderungen an die Maßhaltigkeit der Gußstücke erlauben Dauerformen bis zu 200 000 Abgüsse. Die Werkstoffe, die zur Herstellung der Formen eingesetzt werden, zeichnen sich durch eine gute Bearbeitbarkeit, maximale Verschleißfestigkeit, hohe Temperaturbeständigkeit, geringe Wärmeausdehnung und gute Wärmeleitfähigkeit aus. Für die Herstellung von Kokillen wird Grauguß, für Druckgußformen werden hochlegierte Stähle als Werkstoff verwendet.

Dauerformen sind nicht universell einsetzbar. Ihre Herstellung ist sehr kostenaufwendig und deshalb nur für das Gießen größerer Stückzahlen wirtschaftlich. Die Formen sind wenig änderungsfreundlich, was eine sorgfältige Planung voraussetzt und nachträgliche Änderungen sehr kostspielig macht. Die Gußteile müssen bezüglich der Größe und des Gewichtes handhabbar und ohne Formzerstörung aus der Form zu entnehmen sein. Diese Anforderungen lassen sich nicht bei jeder Gußteilkonstruktion erfüllen. Auch lassen sich nur bestimmte Gußwerkstoffe in Dauerformen verarbeiten (vgl. Kapitel 2.2.1 bis 2.2.3).

Wie bei den Gießverfahren mit verlorenen Formen werden auch bei den Gießverfahren in Dauerformen unterschiedliche Maßgenauigkeiten der Gußstücke erzielt (vgl. Tabelle 2-24). Im folgenden sind die wichtigsten Verfahren zum Gießen in Dauerformen, das Kokillengießen, das Druckgießen und das Schleudergießen, kurz erläutert.

Gießverfahren in Dauerformen	Toleranzbereich in %
Druckgießen	etwa 0,1 bis 0,4
Kokillengießen (Schwerkraft)	etwa 0,3 bis 0,6
Niederdruck-Kokillengießen	etwa 0,3 bis 0,6
Schleudergießen	etwa 1

Tab. 2-24: Toleranzbereiche unterschiedlicher Gießverfahren in Dauerformen (nach Bode, Bode, 1991).

2.2.1 Kokillengießen

Verfahrensbeschreibung

Der Prozeßablauf beim Kokillengießen umfaßt im allgemeinen folgende Arbeitsschritte. Zunächst wird die Form vorbereitet (Säubern, Schlichten). Anschließend werden die Kerne eingeschoben oder eingelegt und die Kokille geschlossen. Nach dem Gießen der Schmelze folgt die Erstarrungsphase. Ist das Gußstück erstarrt, wird es aus der vorher geöffneten Form ausgestoßen.

Das Kokillengießen ist durch eine hohe Abkühlgeschwindigkeit des Gußwerkstoffes in der metallischen Dauerform gekennzeichnet. Die Abkühlgeschwindigkeit läßt sich durch eine Temperierung der Kokille oder den Auftrag von Schlichten beeinflussen.

Das Kokillengießen wird als Schwerkraft- und als Niederdruckgießen durchgeführt. Beim Schwerkraftgießen fließt die Metallschmelze unter dem Einfluß der Schwerkraft in die Kokille (siehe Abbildung 2-16). Das im Formhohlraum befindliche Gas entweicht durch Entlüftungskanäle.

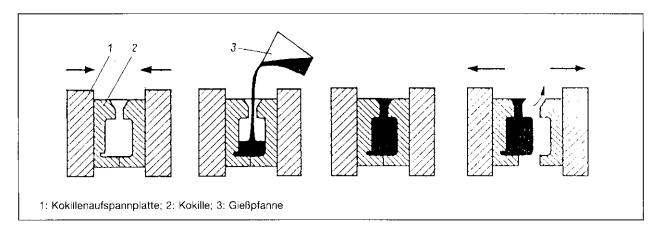


Abb. 2-16: Schwerkraft-Kokillengießverfahren (Ambos, 1981)

Beim Niederdruckgießen steigt das flüssige Metall durch ein Steigrohr von unten in die Kokille (siehe Abbildung 2-17). Ein leichter Überdruck 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 Entspannen fließt das noch flüssige Metall im Steigrohr zurück in den Schmelztiegel.

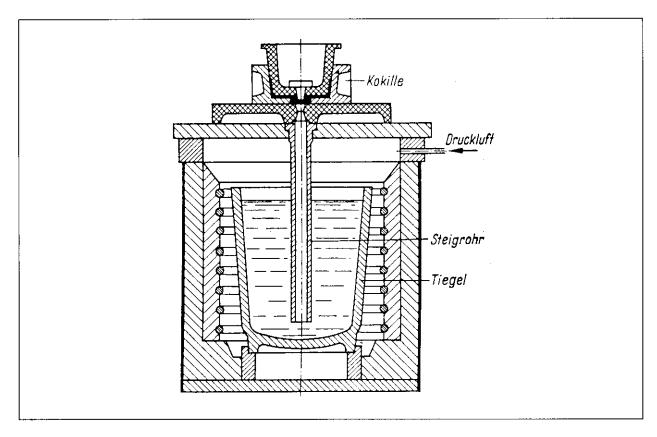


Abb. 2-17: Niederdruckgießeinrichtung (Brunhuber, 1991)

Vorteile des Niederdruckgießens sind (Spur, 1981):

- Ruhige Metallströmung im Formhohlraum,
- gute Abzugsmöglichkeit der Gase nach oben,
- sehr gute Speisung, da die Schmelze von oben nach unten erstarrt,
- geringe Mengen Kreislaufmaterial (3 bis 10%), da keine Speiser erforderlich sind,
- günstige metallurgische Verhältnisse, da sich das Metall in einem geschlossenen System befindet.
- Verfahren ist mechanisierbar.

Anwendungsbereiche

Mit dem Schwerkraftgießen können Eisen-Kohlenstoff-, Leichtmetall- und Schwermetall-Gußwerkstoffe vergossen werden. Große Bedeutung hat der Aluminiumguß in Kokillen erlängt (bis 150 kg Gußgewicht). Eisen-Kohlenstoff-Legierungen werden wegen der hohen Beanspruchung der kostenintensiven Formen nur in geringem Umfang in Kokillen gegossen (z. B. Hydraulikguß). Kupferlegierungen gießt man im Bereich von etwa 20 g bis 10 kg bei Abmessungen bis zu 20×250 mm und minimalen Wandstärken von 2 mm. Seine größte Anwendung findet das Niederdruckverfahren beim Aluminiumgießen im Gewichtsbereich zwischen 1 und 70 kg (Bode, Bode, 1991; Brunhuber, 1991).

Mit Kokillen hergestellte Gußteile weisen im Vergleich zu sandgegossenen Teilen eine bessere Oberflächenqualität und eine höhere Maßhaltigkeit auf.

2.2.2 Druckgießen

Verfahrensbeschreibung

Beim Druckgießen wird die Schmelze mit hoher Geschwindigkeit in eine Dauerform gefüllt. Ein Warmhalteofen bevorratet das flüssige Metall. Nachdem die Gießmenge in einen Zylinder dosiert ist, wirkt der Kolben einer Kolbenpumpe direkt auf das flüssige Metall. Es wird ein Druck zwischen 70 und 140 bar erzeugt (Spur, 1981), wodurch das Metall mit großer Geschwindigkeit durch eine kleine Öffnung (Anschnitt) in den Formhohlraum gepreßt wird. Dieser Vorgang dauert in der Regel zwischen 0,02 und 0,2 Sekunden (Spur, 1981). Die Gießzeit ist von verschiedenen Faktoren abhängig (Volumen des Gußteils, Dicke des Anschnittes, Wandstärke des Gußstückes, Fließlänge der Schmelze innerhalb der Form). Während der Gußwerkstoff erstarrt, bleibt der hohe Druck aufrechterhalten. Danach wird entspannt, die Form geöffnet, das Gußstück ausgestoßen und die Form für den nächsten Abguß vorbereitet.

Die Vorbereitung umfaßt hauptsächlich den Trennstoffauftrag sowie das Schließen und die Vorwärmung der Form. Der Formtrennstoff, der auf die innere Oberfläche der Form aufgetragen wird, verbessert die Beweglichkeit der Formteile, verhindert das Ankleben des Metalls und ermöglicht so ein problemloses Trennen des Gußstückes von der Form. Als Formtrennstoffe dienen Emulsionen, die unter anderem Siloxane, Glykole, Paraffine und Tenside enthalten. Vor dem Gießen muß die Form vorgeheizt werden (mit Gasbrennern, Infrarotgeräten, keramischen Heizstrahlern), um Wärmespannungen und damit verbundene Risse zu vermeiden. Um die Form beim Gießen verschlossen halten zu können, sind durch hydraulische Einrichtungen sehr hohe Kräfte aufzubringen. Von der Höhe der aufbringbaren Haltekräfte ist die mögliche Gußteilgröße abhängig. Beim Druckgießen werden keine Sandkerne verwendet.

Warm- und Kaltkammerverfahren, zwei zum Druckgießen angewendete Technologien, unterscheiden sich durch die Lage der Kolbenpumpe (vgl. Abbildung 2-18). Beim Warmkammerverfahren befindet sich die senkrecht angeordnete Pumpe in der Metallschmelze. Probleme treten auf, sofern die Schmelze den Pumpenwerkstoff angreift. Die Kolbenpumpe von Kaltkammergießmaschinen liegt außerhalb des Warmhalteofens. Sie kann senkrecht oder waagerecht angeordnet sein.

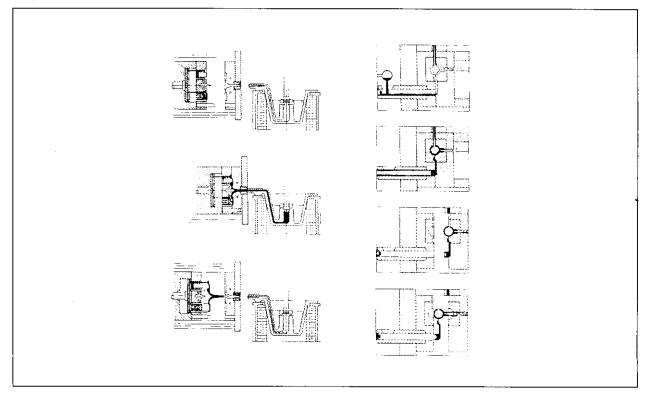


Abb. 2-18: Schematische Darstellung des Druckgießens (Johnen, Wenk, 1989)

Für spezielle Anforderungen sind Varianten des Druckgießens (z. B. Gießverfahren mit Zwangsentlüftung der Druckgießform) entwickelt worden.

Anwendungsbereiche

Vorteile des Druckgießverfahrens sind enge Allgemeintoleranzen, glatte Oberflächen, scharfe Konturen, geringe Bearbeitungszugaben, geringer Werkstoffeinsatz (Verhältnis Fertig- zu Materialeinsatzgewicht) und hohe Produktivität sowie die Möglichkeit, dünnwandige und komplizierte und Gußstücke mit eingegossenen Elementen aus Fremdmaterialien (z. B. Bolzen, Buchsen, Kühlrohre) herstellen zu können (Johnen, Wenk, 1989).

Das Warmkammerverfahren wird vorwiegend zum Gießen von geeigneten Zink- und Magnesiumlegierungen eingesetzt. Mit dem Kaltkammerverfahren werden vorwiegend Aluminiumlegierungen und in geringem Umfang auch Kupfer-, Zink- und Magnesiumlegierungen vergossen (Johnen, Wenk, 1989).

Zur Zeit werden Druckgußteile im Gewichtsbereich von 1 g bis zu rund 40 kg hergestellt. Weitere Richtwerte sind der Tabelle 2-25 zu entnehmen. Bei einzelnen Werkstoffgruppen sind durch technische Weiterentwicklung auch Verbesserungen möglich.

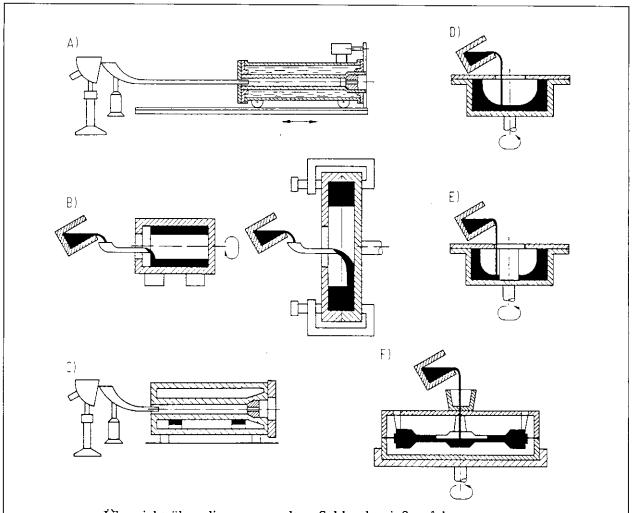
Werkstoff- gruppe	Stück- gewicht	Маßе		Wanddicken	Oberflächen- rauheit	
3	kg	Länge mm	Breite mm	Tiefe mm	mm	lm
Aluminium	35	1200	600	400	ab 1,0 - 3,0	2,0 - 18
Zink	20	1200	600	400	ab 0,3 - 2,0	2,0 - 18
Magnesium	15	1200	600	400	1,0 - 3,0	0,4 - 10
Kupfer	5	400	300	200	1,5 - 4,0	4,0 - 3,5

Tab. 2-25: Maximale Stückgewichte, maximale Abmessungen, Wanddickenbereiche und Oberflächenrauheit für Druckgußstücke (nach Johnen, Wenk, 1989)

Genügen die Teile entsprechenden Anforderungen (z.B. Maßhaltigkeit, Festigkeit, Gefügestruktur) kann das Druckgießen in der Serienfertigung das wirtschaftlichste Verfahren sein (Wenk, 1991).

2.2.3 Schleudergießen

Im Schleudergießverfahren werden bevorzugt rotationssymmetrische Gußstücke hergestellt. Zur Formgebung des Gußwerkstoffes werden die Schwerkraft sowie Reibungs- und Zentrifugalkräfte in einer rotierenden Form ausgenutzt. In die sich um die eigene Achse drehende Kokille wird die Schmelze gegossen. Die an die Kokillenwand gepreßte Schmelze erstarrt während der Rotation. Man unterscheidet das vertikale Schleudergießen, bei dem Gieß- und Rotationsachse senkrecht stehen, und das horizontale Schleudergießen mit senkrecht stehender Gieß- und waagrecht angeordneter Rotationsachse. In Abbildung 2-19 sind einige Verfahrensvarianten dargestellt.



Übersicht über die angewandten Schleudergießverfahren

A) wassergekühlte Metalldrehform mit verschiebbarer Eingußrinne und waagerechter Drehachse, B) ungekühlte Metalldrehform mit waagerechter Drehachse, C) ausgekleidete Drehform mit waagerechter Drehachse, D) ungekühlte Metalldrehform mit senkrechter Drehachse, E) ungekühlte Metalldrehform mit Kern und senkrechter Drehachse, F) sandausgekleidete Drehform mit oder ohne Kern und senkrechter Drehachse

Abb. 2-19: Schleudergießverfahren (Spur, 1981)

Die Schmelze wird beim Horizontalverfahren gleichmäßig entlang der rotierenden Form dosiert. Oft sind die Formen gekühlt, um ein gleichmäßiges Erstarren zu gewährleisten. Beim Vertikalverfahren erfolgt die Verteilung des flüssigen Metalls durch den Einfluß der Schwerkraft sowie der Reibungs- und Zentrifugalkräfte.

Während des Einfüllvorgangs rotiert die Kokille mit verminderter Geschwindigkeit. Beginnend an der Außenwand der Kokille erstarrt die Schmelze gerichtet. Dabei bilden sich die besonderen Eigenschaften der Gußstücke durch den Einfluß der Zentrifugalkraft heraus (Gefügestruktur). Leichte Bestandteile der Schmelze (Schlacke, Schwefel, Sand), die die Festigkeit des Gußstückes negativ beeinflussen, sammeln sich an der inneren Oberfläche des Gußstückes (Spur, 1981; Ambos, 1981; Fritz, Schulze, 1990).

Zur Gewährleistung der Gußqualität sind ein ruhiger, schwingungsfreier Lauf sowie eine gute Wärmeleitfähigkeit und Thermoschockbeständigkeit der Kokille notwendig (Spur, 1981).

Anwendungsbereiche

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 2 600 mm). Mengenmäßig ist die Fertigung von Druckrohren das Hauptanwendungsgebiet des Schleudergusses (Spur, 1981). Kleine und mittlere Teile werden mit dem Vertikalverfahren hergestellt. Besonders im Stahlguß wird das Verfahren vielseitig angewendet. Im Schleudergießverfahren lassen sich maßgenaue Gußstükke mit guter Oberflächenqualität herstellen.

3 Abfallarten – Entstehung, Aufkommen, Entsorgungsweg

3.1 Gießereialtsande

Im Jahr 1986 wurden in den alten Bundesländern ca. 33,6 Mio. t Form- und Kernsand zur Gußherstellung benötigt (Weiss, Kleinheyer, 1987 b). Da die Betriebe zur Kernherstellung in der Regel Neusand einsetzen, der den Umlaufsand auffrischt, wird eine der Neusandmenge entsprechende Menge Umlaufsand als Altsand aus dem Produktionsprozeß ausgeschleust (siehe Abbildung 3-1). Dadurch werden die Anteile an Unterkorn, Schamotten u. a. Stoffen im Umlaufsand begrenzt. Reicht bei kernarmem Gußprogramm die Auffrischung des Umlaufsandes durch Kernsande nicht aus, wird Neusand zugesetzt. Im Jahr 1986 betrug die Neusandmenge rund 1,93 Mio. t (vgl. Tabelle 3-1; Weiss, Kleinheyer, 1987 b). Bezogen auf die gesamte Sandmenge entspricht die Neusandmenge einem Anteil von 5,7%. Die Abfallstatistik des Produzierenden Gewerbes weist für das Jahr 1987 eine Altsandmenge von 1,46 Mio. t aus. Hiervon wurde nur ein verschwindender Anteil von 4,3% einer Verwertung zugeführt. Der überwiegende Anteil wurde deponiert (vgl. Kapitel 1, Tabelle 1-1).

	Sandbedarf Mio. t	Neusandanteil Mio. t	
Gesamtguß	33,650	1,930	
Eisen-Metall-Guß	31,80	1,635	
NE-Metall-Guß	1,826	0,295	

Tab. 3-1: Form- und Kernsandverbrauch in den alten Bundesländern im Jahr 1986 (Weiss, Kleinheyer, 1987 b)

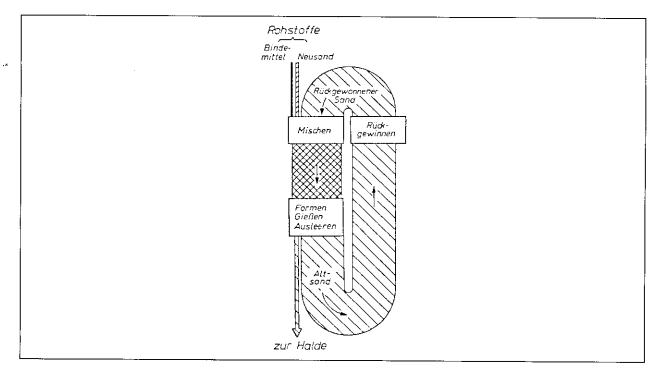


Abb. 3-1: Sandkreislauf (Bindernagel, 1983)

Hinter dem allgemeinen Begriff der Altsande, wie er in der Abfallstatistik des produzierenden Gewerbes gebraucht wird (StaBa, 1991), verbergen sich nach der Nomenklatur des Abfallartenkatalogs der Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA, 1991) mehrere Abfallarten (vgl. Tabelle 3-2):

Abfallart	Abfallschlüssel	
Gießereialtsand	314 01	
Formsande	314 25	
Kernsande	314 26*	

^{...} Besonders überwachungsbedürftiger Abfall

Tab. 3-2: Bezeichnung von Altsanden (LAGA, 1991)

Gießereialtsande werden durch eine Vielzahl von Parametern beschrieben (Weiss, 1991):

- Mineralische Zusammensetzung (Quarz-, Chromit-, Zirkonsilicat-Bentonitanteil sowie Gehalt an SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, CaO+MgO, Na₂O+K₂O),
- chemische Eigenschaften (pH-Wert, Leitfähigkeit, Säure- und Basekapazität),
- physikalische Eigenschaften (Dichte, Schüttdichte, Aussehen, Farbe, Feuchtigkeit, Glühverlust, Geruch),
- granulometrische Eigenschaften (max. Korndurchmesser, Korngrößenverteilung, Schlämmstoffgehalt),
- Metallgehalt in Eluat und Originalprobe (z. B. Blei, Zink, Chrom, Kupfer, Nickel, Cadmium, Eisen, Arsen, Magnesium),
- organische Inhaltstoffe und Spurenstoffe in Eluat und Originalprobe (z. B. Harzanteil, Phenole, PAK).

Hohe Chrom-Konzentrationen in Altsanden werden durch den Einsatz von Chromitsanden hervorgerufen. Das im Chromitsand enthaltene Chrom ist jedoch praktisch nicht mobilisierbar. Phenole, die gut wasserlöslich sind, werden durch die Verwendung phenolhaltiger Bindemittel in den Sand eingetragen. Polyzyklische, aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) entstehen bei pyrolytischen Vorgängen während des Abgusses aus Glanzkohlenstoffbildnern und in sehr geringem Umfang aus Binderharzen (Schönfeld, 1991; Wolff, 1991). Die PAK-Konzentrationen, die in Altsanden gemessen werden, hängen stark von der Art der eingesetzten Glanzkohlenstoffbildner ab. Mit geeigneten, heute verfügbaren Glanzkohlenstoffbildnern lassen sich PAK-Werte im Bereich zwischen 1 und 15 mg/kg (TVO) erzielen, während bei Verwendung aromatenreicher Glanzkohlenstoffbildner PAK-Konzentrationen zwischen 60 und 80 mg/kg dokumentiert sind (Baier, 1991). Bei neueren Untersuchungen wurden in organisch gebundenen Altsanden, die keine Glanzkohlenstoffbildner enthalten, PAK-Konzentration in der Größenordnung von 1 mg/kg und weniger (EPA) ermittelt (Winterhalter, 1991 a).

3.2 Stäube, Schlämme und Feinanteil aus dem Formstoffumlauf und der Altsandregenerieung

Bei der Aufbereitung des Kreislaufsandes und bei allen Verfahren zur Regenerierung von Gießereialtsanden (vgl. Kapitel 4.1) fällt eine Teilchenfraktion mit geringer Korngröße an. Für diese feinkörnige Fraktion werden unterschiedliche Begriffe benutzt. Als Stäube werden Partikel bezeichnet, die aus Arbeits- und Umweltschutzgründen bei der Formstoffaufbereitung, dem Sandtransport oder dem Auspacken der Gußstücke abgesaugt und in Trockenfiltern abgeschieden werden. Als Schlämme werden Stäube bezeichnet, die naß abgeschieden oder vor der weiteren Behandlung (z. B. Transport, Deponierung) gebunden werden. Unter Feinanteil versteht man das Unterkorn, das bei oder nach der Regenerierung gezielt aus dem Altsand entfernt wird.

Stäube und Schlämme aus dem Formstoffumlauf setzen sich aus dem verwendeten Formgrundstoff sowie den Zusatzstoffen und deren Zersetzungsprodukten zusammen (z. B. Quarzstaub, organischen Binderhüllen, aktiver und passiver Bentonit, Glanzkohlenstoffbildner, Harzkoks). Aufgrund der nicht idealen Trennschärfe von Entstaubungsanlagen gelangt auch Quarzsand mit Korngrößen, die einen erneuten Einsatz als Form- oder Kernsand erlauben, in die Stäube. Die Stäube werden in Filtern oder in Naßabscheidern abgeschieden und deponiert. Vor der Deponierung können Stäube noch konditioniert (z. B. pelletiert, brikettiert) werden.

Um eine verbesserte Deponierbarkeit des Feinanteils und der Stäube aus dem Furanharz-Sandkreislauf zu erreichen, wurden chemische und biologische Verfahren untersucht (Wittwer, 1988). Beim Dispergieren durch chemische Reaktion (DCR-Verfahren) werden die Staubpartikel auf chemischem Wege gleichförmig in einem hydrophoben Trägerstoff (z. B. Calciumhydroxid) dispergiert und eingeschlossen, was das Auswaschen der Schadstoffe verhindert. Das DCR-Verfahren wird aus abfallwirtschaftlicher Sicht kritisch beurteilt, weil es eine Erhöhung der Abfallmenge bewirkt und die Schadstoffe nicht unschädlich macht (Wittwer, 1988). Mit speziell gezüchteten, anaeroben Bakterien wurde versucht, die im Staub und Feinanteil enthaltenen organischen Schadstoffe biologisch abzubauen. Die Abbaurate von 20 % ist nicht ausreichend, um das Verfahren praktisch einzusetzen. Grund für den Mißerfolg ist vermutlich der geringe Anteil chemisch gebundenen Sauerstoffs in den organischen Verbindungen, den anaerobe Bakterien aber zum Abbau dieser Verbindungen benötigen (Wittwer, 1988).

Für Stäube aus Gießereien ist im Abfallartenkatalog (LAGA, 1991) kein eigener Abfallschlüssel vorgesehen. Unabhängig von den Inhaltsstoffen der Stäube werden sie meist als Gießereialtsand (Abfallschlüssel 314 01) eingeordnet. Da in Gießereistäuben je nach Zusammensetzung der Form- und Kernsandmischungen pyrolytisch belastete organische Bestandteile in höheren Konzentrationen enthalten sein können (z. B. organische Binderhüllen, Glanzkohlenstoffbildner), sollte die Vergabe eines eigenen Abfallschlüssels für Gießereistäube erwogen werden. Schlämme aus der Naßabscheidung von Gießereistäuben werden unabhängig von ihrer Zusammensetzung unter dem Abfallschlüssel 316 16 (Schlamm aus Gießereien) erfaßt.

Der Feinanteil aus der mechanischen Altsandregenerierung enthält die gleichen Bestandteile wie der Gießereialtsand, jedoch in anderen Konzentrationen. Wesentliche Bestandteile sind Binderreste (z. B. organische Binderhüllen, Harzkoks, aktiver und totgebrannter Bentonit), Zusatzstoffe (z. B. Glanzkohlenstoffbildner) und Quarzstaub. Bei der den Regeneratanforderungen entsprechenden Entfernung dieser feinkörnigen Stoffe aus den Altsanden gelangt wegen der nicht idealen Trennschärfe der Verfahren auch wiederverwendbarer Quarzsand in den Feinanteil. Feinanteile von Altsanden, die vorher eine thermische Stufe durchlaufen haben, sind frei von organischen Bestandteilen (Inertisierung). Abgesehen von als Formstoff wiederverwendbarem Quarzsand, aktivem Bentonit und Glanzkohlenstoffbildnern, die sich bei entsprechender Prozeßführung der Altsandaufbereitung zurückgewinnen und wiederverwerten lassen (vgl. Kapitel 4.1.1.2.1, 4.1.1.3.1), muß der Feinanteil aus dem Gießprozeß ausgeschleust werden. Ebenso wie die Stäube aus Gießereien ist der Feinanteil aus der Altsand-

regenerierung nicht mit eigenem Abfallschlüssel im Abfallartenkatalog (LAGA, 1991) enthalten. Die Vergabe eines Abfallschlüssels für den Feinanteil wird als erforderlich angesehen (Winterhalter, 1991 a).

Sowohl Stäube und Schlämme aus dem Formstoffkreislauf als auch Feinanteile aus der mechanischen Regenerierung weisen in der Regel einen hohen organischen Anteil auf. Mit der TA Siedlungsabfall, die derzeit im Entwurf vorliegt, werden Kriterien für die Ablagerungsfähigkeit von Abfällen auf Hausmülldeponien festgelegt werden. Als wichtiger Parameter ist der Gehalt der Abfälle an organischem Material vorgesehen. Abfälle, die einem Glühverlust von mehr als 5% aufweisen, dürfen nach dem derzeitigen Stand (Entwurf TA-Siedlungsabfall vom 27. 8. 1992) nicht mehr deponiert werden, sondern müssen vorbehandelt werden (z. B. thermisch).

3.3 Sande, Stäube und Schlämme aus der Gußputzerei

In der Gußputzerei werden die Gußstücke entsandet und entkernt, form- und gießtechnisch bedingte Verstärkungen und Zusätze abgetrennt sowie Grate, Form- und Gießfehler beseitigt. Dies erfolgt vorwiegend durch Schleifen und Strahlen. Die entstehenden Schleifstäube und Stäube aus Strahlanlagen werden häufig gemeinsam mit anderen Stäuben in der gleichen Entstaubungsanlage erfaßt und abgeschieden. Schleifstäube und Strahlsande/-stäube unterscheiden sich in ihrer Zusammensetzung deutlich.

Schleifstäube werden direkt an den Arbeitsplätzen erfaßt. Sie weisen oft eine sehr feine Körnung auf und bestehen vorwiegend aus Metallstaub und Schleifmittelabrieb (z. B. Korund, Siliciumcarbid). Der Metallgehalt kann über 50% betragen (z. B. Eisenbearbeitung). Aufgrund ihrer Herkunft (Eisen- oder NE-Metallbearbeitung) und Zusammensetzung sowie der Art der Abscheidung (trocken, naß) sind Schleifstäube und -schlämme nach dem Abfallartenkatalog unterschiedlich einzuordnen (siehe Tabelle 3-3). Schleifstäube mit hohem Metallgehalt werden zum Teil der Metallrückgewinnung zugeführt, ansonsten deponiert.

Abfallart	Abfallschlüssel	,
Schlamm aus Gießereien	316 16	
Schlamm aus NE-Metallurgie	316 26 [*]	
Eisenhaltiger Staub ohne schädliche Beimengungen	351 01	
Sonstige NE-metallhaltige Abfälle ohne Aluminium- und Magnesiumabfälle	35 315	
Aluminiumhaltiger Staub	353 17 [°]	

^{. . .} Besonders überwachungsbedürftiger Abfall

Tab. 3-3: Mögliche Zuordnung von Schleifstäuben und -schlämmen nach dem Abfallartenkatalog (LAGA, 1991)

Strahlstäube fallen an Strahlanlagen und bei der Strahlmittelrückgewinnung an. Als Strahlmittel werden überwiegend Stahlgußschrot oder Strahldrahtkorn verwendet. In geringem Umfang kommen auch mineralische Strahlmittel wie z. B. Korund oder Glas zum Einsatz. Während des Strahlens reichert sich im Strahlmittel vorwiegend abgestrahlter Altsand, aber auch Strahlmittelbruch und abgestrahltes Gußmaterial an. Aus dem Strahlmittel werden die Verunreinigungen in der Strahlmittelrückgewinnung entfernt, um das Strahlmittel (Strahlmittelkreislauf) und den Altsand (Formstoffkreislauf) erneut einzusetzen.

Strahlstäube sind grobkörniger als Schleifstäube und enthalten vorwiegend abgestrahlte Altsandstäube sowie Strahlmittelunterkorn, Metallabrieb und -oxide. Strahlstäube, die beim Putzen getemperter Gußstücke anfallen, zeigen eine abweichende Zusammensetzung. Es überwiegt der Eisenanteil hauptsächlich in Form von Zunder (Fe₂O₃; Wörmann, Winterhalter, Orths, 1983). Aus der Zusammensetzung der Strahlstäube, die teilweise der Zusammensetzung der Stäube aus dem Formstoffumlauf ähnelt, ergibt sich deren Einordnung nach dem Abfallartenkatalog (siehe Tabelle 3-4).

Abfallart	Abfallschlüssel
Gießereialtsand	314 01
Putzerei- und Strahlsandrückstände	314 02
Schlamm aus Gießereien	316 16

Tab. 3-4: Mögliche Zuordnung von Strahlstäuben nach dem Abfallartenkatalog (LAGA, 1991)

4 Vermeidung und Verwertung von Abfällen/ Reststoffen aus der Gießereiindustrie

4.1 Gießereialtsande

Um den Anfall zu deponierender Gießereialtsande drastisch zu reduzieren, wird von behördlicher Seite die Strategie verfolgt, die Altsande so aufzubereiten, daß eine möglichst vollständige, schadlose Verwertung erfolgen kann. Ob die Altsande innerhalb der Gießereibetriebe oder in externen Regenerierungsanlagen zu Form- und Kernsand aufbereitet werden oder ob die Aufbereitung für branchenfremde Verwertungsmöglichkeiten erfolgt, ist aus abfallwirtschaftlicher Sicht zweitrangig (Schönfeld, 1991). Unter dem Aspekt der Ressourcenschonung für hochwertige Sande, wie sie in Gießereien verwendet werden, ist hingegen die Regenerierung der Altsande für den Wiedereinsatz als Form- und Kernsand vorzuziehen, sofern die Qualitätsanforderungen erfüllt werden können.

Bei der Verwendung der Altsande im Gießereibetrieb müssen diese so aufbereitet werden, daß sie den technologischen Anforderungen genügen. Sofern im Altsand Schadstoffe in umweltrelevanter Konzentration enthalten sind, ist vor einer branchenfremden Verwertung sicherzustellen, daß die Schadstoffe bereits vor (z. B. Altsandeinsatz im Baugewerbe) oder im Zuge der Verwertung (z. B. Einsatz in Zementwerken, Ziegeleien oder bei der Asphaltherstellung) sicher beseitigt werden, um eine Belastung von Wasser, Boden und Luft auszuschließen.

Eine Verwaltungsvorschrift zur Vermeidung und Verwertung von Gießereialtsanden, die sich entweder auf das Bundesimmissionsschutzgesetz (BlmSchG) oder auf das Abfallgesetz (AbfG) stützen wird, ist in Vorbereitung (Schönfeld, 1991).

4.1.1 Regenerierung von Gießereialtsanden

Unter der Regenerierung von Gießereialtsand ist dessen Aufbereitung zu einem möglichst vollwertigen Ersatz für Neusande zu verstehen. Dies bedeutet nicht, daß das Regenerat selbst Neusandeigenschaften aufweisen muß oder aus Regenerat gefertigte Formteile und Kerne die gleichen Eigenschaften wie mit Neusand hergestellte Formen und Kerne haben müssen. Das Maß für die Eignung von aus Regenerat hergestellten Formen und Kernen ist vielmehr an den praktischen, technologischen Anforderungen zu orientieren (z. B. Festigkeit, Prozeßsicherheit). So ist beispielsweise zu hinterfragen, ob für Formen und Kerne wirklich die Neusandfestigkeiten erforderlich sind, um einen störungsfreien Gießprozeß zu gewährleisten, oder ob die Neusandfestigkeit nicht soviel Reserven beinhaltet, daß Formteile mit einer um 20 % (vgl. Meßkonvention von Boenisch, 1990) oder mehr verringerten Neusandfestigkeit immer noch den Anforderungen des Gießprozesses gerecht werden. Unstrittig ist, daß Gußprogramme mit unterschiedlich hohen Anforderungen an die Qualität der Formteile und Kerne existieren. Der Wiederverwendungsgrad, das Verhältnis der wieder eingesetzten regenerierten Altsandmenge (Regenerat) zur aufbereiteten Form- und Kernsandmenge, ist deshalb im Einzelfall zu prüfen.

Bei der Beurteilung der Regenerate sind u. a. folgende Kriterien von Bedeutung (Scholich, 1991):

- Festigkeit von Probekörpern, die aus dem Regenerat bzw. der Formstoffmischung hergestellt werden (Kurzzeit- und Langzeitfestigkeit, Festigkeit nach definierter Lagerzeit des Sand-Binder-Gemischs vor der Aushärtung)
- Korngrößenverteilung im Regenerat (Feinanteil)
- Schlämmstoffanteil im Regenerat

Für die Regenerierung ist ein in der Zusammensetzung einheitlicher Altsand, der nur eine Bindemittelart (z. B. Bentonit, Kunstharz, Wasserglas) enthält, vorteilhaft. Mischungen unterschiedlich gebundender Sande ergeben sich, da beim Auspacken der Gußstücke Form- und Kernsand nicht in jedem Fall getrennt werden können. Beim kernlosen Sandgießen und beim Gießen in Dauerformen mit Sandkernen ist eine reine Altsandführung einfach realisierbar. Gießereialtsand kann gegenüber Neusand durch folgende Störgrößen gekennzeichnet sein:

- Überkorn (z. B. Knollen, Agglomerate, Fremdkörper),
- Unterkorn (z. B. Staub, Feinanteil, Glanzkohlenstoffbildner),
- hoher Gehalt an Fremdstoffen (z. B. Spritzmetall, Schlacke),
- thermisch belastete Bindemittelreste (z. B. totgebrannter Bentonit),
- unterschiedliche Bindemittelreste.
- geschädigter Formsand (z. B. rissige, zersplitterte Körner).

Bei der Regenerierung sollen die genannten Störstoffe, wie Über- und Unterkorn, Schlämmstoffe, Staub und Binderreste aus dem Altsand entfernt werden. Die Mischung unterschiedlich gebundener Altsande wirkt sich, von wenigen Ausnahmen abgesehen (Boenisch, 1991), negativ auf die Festigkeit der mit dem Regenerat hergestellten Formen und Kerne aus. Für den problemlosen Einsatz der Regenerate bei der Herstellung hochwertiger Formen und Kerne ist deshalb eine weitgehende Getrennthaltung untereinander unverträglicher Altsande oder die möglichst vollständige Entfernung unverträglicher Binderreste Voraussetzung. Letzteres ist insbesondere bei Planung und Betrieb gemeinschaftlich genutzter Regenerieranlagen zu berücksichtigen. In der Tabelle 4-1 sind die Verträglichkeiten unterschiedlicher Bindersysteme untereinander dargestellt.

Ziel- system Ursprungs- system Bentonit- Sande			Wasserglas-		Hot-Box- Sande	Croning- Sande	Cold-Box-Sande		
			Sande				Methylformiat- Verfahren	Amin- Verfahren	SO ₂ - Verfahren
		+	O 1)	0	-	O 2)	O 3)	O 2)	O 3)
Wasserglas- Sande		0	+	_	_	_	3)	- -	_
Kaltharz- Sande		-+-	<u>-</u>	+	-	0	_	0	+
Hot-Box- Sande		0	<u>-</u>	+	+	+	-	0	+
Croning- Sande		+	+	+	-+-	+	+	+	+
Cold-Box-Sande	Methylformiat- Verfahren	0	+	-	-	_	O 3)	-	-
	Amin- Verfahren	+ 4)	+	+	+	+	0 3)	+	+
Cold	SO ₂ - Verfahren	+		+	_	0	0	+ 3)	+

⁺ verträglich; o bedingt verträglich; - nicht verträglich

Tab. 4-1: Verträglichkeit regenerierter Ursprungssysteme mit verschiedenen Bindern (in Anlehnung an Scholich, 1991)

¹⁾ Gärtner, Boenisch, 1991; 2) Weller, 1991; 3) Boenisch, 1991; 4) Boenisch, 1990

Bei der Beurteilung von Regenerierungsanlagen sind u. a. folgende Kriterien zu berücksichtigen (Scholich, 1991):

- Regenerierungsgrad: Anteil der Störstoffe, die bei einmaligem Umlauf des Sandes entfernt werden. Der Regenerierungsgrad setzt sich aus der Regenerierleistung durch die thermische Belastung beim Gießen und der Leistung der Regenerieranlage zusammen.
- Schadstoffgleichgewicht: Gleichgewichtskonzentration eines Störstoffes, die sich nach unendlich vielen Umläufen des Sandes einstellt.
- Ausbrand: Anteil an flüchtigen Bestandteilen, die beim Abgießen entfernt werden. Durch den Ausbrand werden bereits beim Abguß große Mengen organischer Bindemittel entfernt.

Die Regenerierungskosten sind von vielen betriebsspezifischen Faktoren (Ursprungssysteme, Zielsysteme, Investitionskosten, Energie-, Personalaufwand, Auslastung der Anlage u. a. m.) abhängig. Sie liegen nach Angaben verschiedener Anlagenhersteller und -betreiber zwischen 18 DM/t_{Regenerat} (mechanisches Verfahren) und 170 DM/t_{Regenerat} (kombiniertes Verfahren), im Durchschnitt jedoch zwischen ca. 40 und 70 DM/t_{Regenerat} (Schneider, Wolff, 1991). Derzeit bieten Gießereiausrüster Regenerieranlagen ab einer Durchsatzleistung von 0,5 t_{Regenerat}/h an.

Wie bereits dargestellt, ist die Eignung eines Regenerierungsverfahrens von den Eigenschaften des aufzubereitenden Altsandes (Ursprungssystem) als auch von den Einsatzbedingungen des Regenerats (Zielsystem) abhängig. Aus Gründen einer übersichtlichen Darstellung werden in Kapitel 4.1.1.1 zunächst Verfahrensvarianten und -stufen, die bei der Altsandregenerierung zur Anwendung kommen, erläutert. In Kapitel 4.1.1.2 wird auf die Anwendbarkeit dieser Verfahrensstufen zur Regenerierung reiner Ursprungssysteme (Monosande) eingegangen. Die Probleme, die bei der Regenerierung von Mischsandsystemen auftreten, werden in Kapitel 4.1.1.3 behandelt.

4.1.1.1 Verfahren zum Regenerieren von Gießereialtsand

Der konventionelle Regenerierungsprozeß setzt sich in der Regel aus drei Phasen, dem Vorbereiten des Sandes, dem Abtrennen der Bindemittel und Formstoffzusätze sowie der Nachbehandlung des Sandes, zusammen. Die Abbildung 4-1 zeigt die unterschiedlichen Wege der Altsandregenerierung auf.

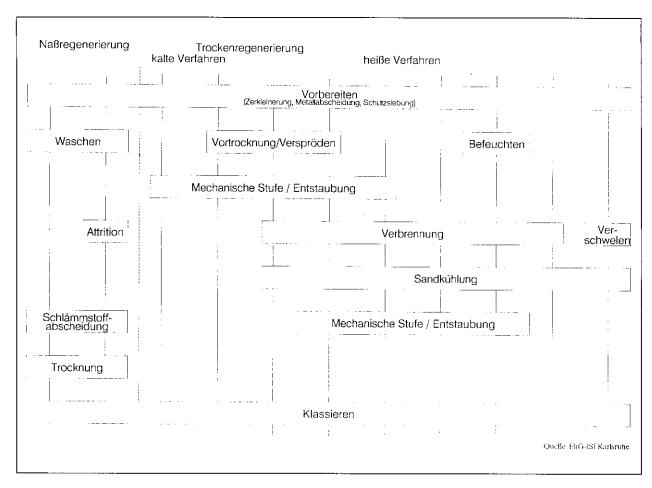


Abb. 4-1: Verfahren der Altsandregenerierung

Der Altsand wird mechanisch zur Regenerierung vorbereitet. Dabei werden Metalle entfernt (Magnet-, Wirbelstromabscheidung), Knollen zerkleinert (Mühlen, Brecher), Fremdkörper (z. B. Steigerröhrchen) durch eine Schutzsiebung abgeschieden sowie das Überkorn abgetrennt.

Die Binderhüllen lassen sich durch mechanische oder thermische Verfahren, denen in der Regel eine Trocknung der Altsande vorangeht, durch Naßreinigung oder durch geeignete Kombinationen dieser Verfahren von den Sandkörnern trennen. Durch die Anwendung dieser Verfahren entstehen neben dem Regenerat Reststoffe. Bei der Naßregenerierung sind das Schlamm und Abwasser, ansonsten Staub. Der Staub aus der thermischen Regenerierung enthält neben Quarzfeinkorn thermisch belasteten (vernichteten) Binder (z. B. Harzkoks, totgebrannten Bentonit, vgl. Kapitel 4.1.1.2). Stäube aus kalter Regenerierung enthalten außer Quarzfeinkorn thermisch unbelastete, abgebundene Bindemittel (z. B. aktiven Bentonit, Bindeharze) und durch den Gießprozeß thermisch belastete Bindemittel.

Kombinierte Verfahren, für die derzeit mehrere Verfahrensvarianten existieren (vgl. Abbildung 4-1), sind durch mehrere unterschiedliche Verfahrensstufen zur Abtrennung der Binderhüllen von den Sandkörnern (vgl. Kapitel 4.1.1.1.2 bis 4.1.1.1.4) gekennzeichnet. Insbesondere bei der Herstellung hochwertiger und möglichst universell einsetzbarer Regenerate aus Mischalt-

sanden, die verschiedene Bindersysteme enthalten, ist eine Kombination verschiedener Regenerierungsverfahren erforderlich.

Speziell für die Regenerierung von bentonitgebundenen Altsanden, die auch Anteile an Kunstharzbinder enthalten, existiert für Großanlagen ein dreistufiges Behandlungskonzept (siehe Abbildung 4-2).

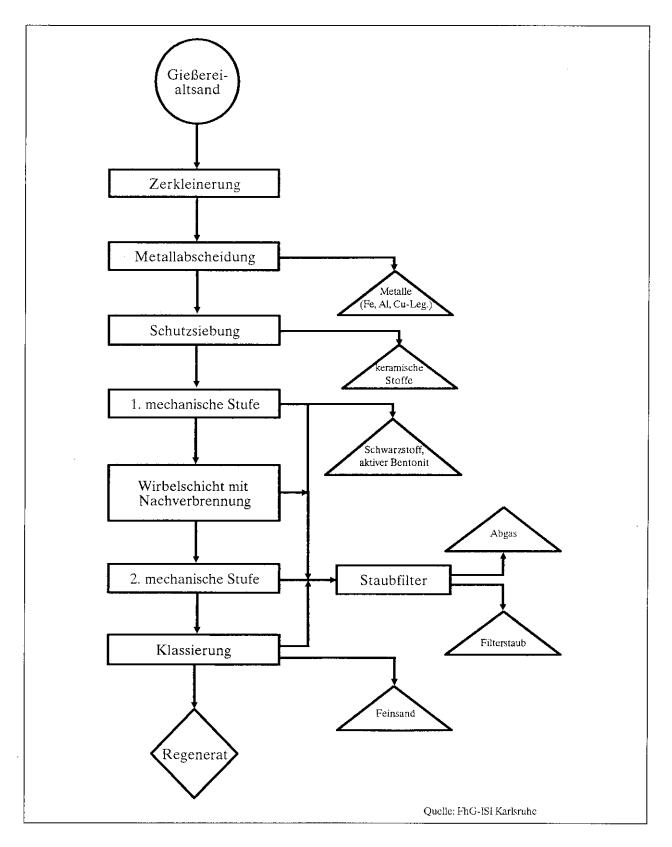


Abb. 4-2: Dreistufige Regenerierung

Danach wird der Altsand zunächst mechanisch behandelt, um den aktiven Bentonit und gegebenenfalls die Glanzkohlenstoffbinder mit dem Ziel einer Wiederverwendung im Gießprozeß möglichst vollständig abzutrennen. In der thermischen Stufe werden die organischen Binderbestandteile zerstört. Auf die Sandkörner aufgebrannter Bentonit wird in einer zweiten mechanischen Stufe entfernt.

Zur Aufbereitung von Mischaltsanden werden auch zweistufige Anlagen angeboten, die aus einer thermischen und einer mechanischen Stufe bestehen. Es existieren sowohl Anlagen, in denen der thermisch behandelte Sand anschließend mechanisch aufbereitet wird, als auch Anlagen, bei denen die mechanische Regenerierung der thermischen Stufe vorgeschaltet ist. Ein neues Verfahrenskonzept sieht die Befeuchtung des Altsandes vor der thermischen und mechanischen Behandlung vor (vgl. Kapitel 4.1.1.3.1).

Anlagen zur Naßregenerierung werden in Kombination mit thermischen und pneumatischen Verfahren betrieben, um vorhandene organische Bindemittel und Sinterprodukte von den Sandkörnern zu entfernen sowie den Sand zu trocknen.

Vorteilhaft ist der hohe Reinigungseffekt komplexer Anlagen und die damit gegebene Einsatzbreite des Regenerates. Wegen der hohen Investitions- und Betriebskosten ist ein wirtschaftlicher Betrieb solcher Anlagen erst bei relativ hohem Durchsatz möglich.

Diese Verfahren haben spezifische Vor- und Nachteile (Wirkungsgrad, Eignung für bestimmte Bindersysteme, Emissionen, Kosten). Die Auswahl der Verfahren erfolgt im Einzelfall unter Berücksichtigung des zu regenerierenden Altsandes (Ursprungssysteme), der beabsichtigten Regeneratverwendung (Zielsysteme) sowie nach ökonomischen Kriterien.

Nach dem Abtrennen der Binderhüllen wird der Sand durch weitere Verfahrensschritte so behandelt, daß er der Formstoffaufbereitung zugeführt werden kann. Dazu gehören das Kühlen oder Trocknen der Sande sowie die Entfernung des Feinanteils durch Entstauben und Klassieren.

4.1.1.1 Knollenzerkleinerung

Vor der Regenerierung müssen die Altsandknollen zerkleinert und die Sandkörner vereinzelt werden, wobei die Einzelkörner möglichst nicht zerstört werden dürfen. Für diese Aufgabe werden bevorzugt Brecher, daneben aber auch Mühlen in verschiedenen Ausführungen eingesetzt. Gebräuchliche Apparate sind Backenbrecher, Rotationsfeinbrecher, Schwingrostbrecher, Schwingmuldenbrecher oder Wendelbrecher sowie Prall- und Kugelmühlen.

Wendelbrecher (siehe Abbildung 4-3a) werden zum Zerkleinern von Knollen und zur Abscheidung von Fremdkörpern aus dem Sand eingesetzt. In einem mit Altsand gefüllten, schwingenden, runden Behälter, dessen Boden als Sieb ausgebildet ist, werden infolge der Bewegung die Knollen zerstört. Der rieselfähige Sand passiert das Sieb. Noch nicht zerkleinerte Knollen und große Fremdbestandteile werden zurückgehalten. Über eine außen am Behälter angebrachte Wendel mit Siebbodenbereichen wird der Sand feingesiebt und transportiert.

In **Backenbrechern** (siehe Abbildung 4-3b) werden die Knollen zwischen einer festen und einer beweglichen Brecherplatte zerdrückt. Die bewegliche Platte wird durch einen Motor über einen Exzenter angetrieben. Unbrechbare Teile zwischen den Brecherbacken lösen eine Hydraulik aus, die durch Zurückweichen der festen Platte den Störkörper freigibt.

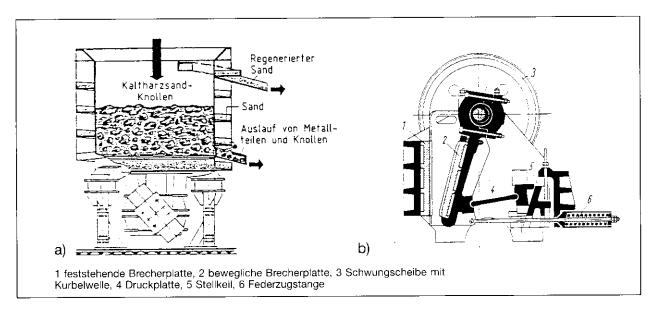


Abb. 4-3: a) Wendelbrecher (Weller, 1989), b) Backenbrecher (Vauck, Müller, 1988)

Abbildung 4-4a zeigt die Wirkungsweise einer **Kugelmühle**. In einer rotierenden, grobgelochten, massiven Mahltrommel wird das Mahlgut durch die Einwirkung von Mahlkörpern (z. B. Stahlkugeln) zerkleinert. Die Geschwindigkeit der Mahltrommel kann so eingestellt sein, daß das Mahlgut und die Mahlkörper überwiegend Fall- oder Rollbewegungen ausführen. Die Rollbewegung verursacht Reibung zwischen den Mahlkörpern und den Sandkörnern bzw. den Sandkörnern untereinander. Deshalb könnte die Kugelmühle vom Prinzip auch zur Abtrennung der Binderhüllen von den Sandkörnern geeignet sein (Winterhalter, 1991 a). Siebtrommeln unterschiedlicher Maschenweite, die die Mahltrommel umgeben, verhindern das Austreten ungenügend zerkleinerten Mahlgutes.

In einer **Prallmühle** (auch Prallbrecher; siehe Abbildung 4-4b) wird das Aufgabegut durch die Wirkung von Schlag und Prall zerkleinert. Auf einem Rotor angebrachte Schlagleisten erfassen das Aufgabegut und schleudern es so lange gegen Prallplatten, bis es durch den Spalt zwischen Schlagleiste und Prallplatte ausgetragen wird.

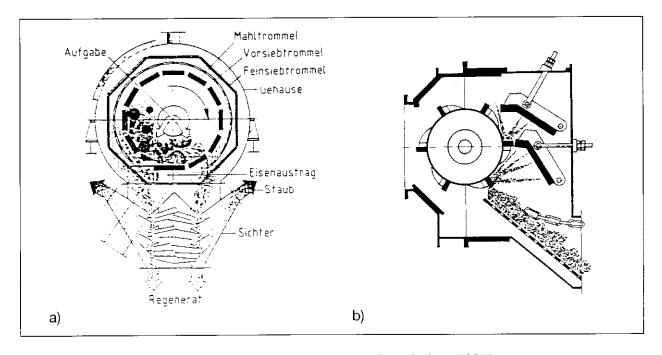


Abb. 4-4: a) Kugelmühle (Weller, 1989), b) Prallmühle (Brunhuber, 1991)

4.1.1.1.2 Mechanische Verfahrensstufen

Bei den mechanischen Regenerierungsverfahren werden die Binderhüllen durch Schlagen oder Reiben von den Sandkörnern getrennt. Es wird zwischen rein mechanischen Anlagen (z. B. Schleuderrädern, Scheuertrommeln) und mechanisch-pneumatischen Anlagen (z. B. Prallanlagen) unterschieden. Die mechanische Behandlung der Sande ist oft mit einer erheblichen Staubentwicklung verbunden. Der Energieverbrauch ist im Vergleich zu thermischen Verfahren gering.

Mechanische Regenerierungsverfahren werden zur Behandlung von ton- und organischgebundenen Sanden eingesetzt. Der Reinigungserfolg mechanischer Verfahren hängt wesentlich vom Zustand der Binderhülle ab. Thermisch hoch belastete organische Bindemittel (Harzkoks) lassen sich leicht, Hartbentonit dagegen schwerer abtrennen. Zum Entfernen von Bindemittelresten, die noch eine gewisse Plastizität aufweisen, sind mechanische Verfahren wenig geeignet. Plastische Bindemittelreste treten bei feuchten Altsanden, die aktiven Bentonit enthalten, bei thermisch gering belasteten oder nicht vollständig ausgehärteten organischen Bindern und bei gelförmigem Wasserglas auf.

Bei pneumatischen **Prallanlagen** werden die vereinzelten Sandkörner durch einen Luftstrom beschleunigt. Die Reibung der Körner untereinander oder an Anlagenteilen sowie der Aufprall auf ein festes Hindernis (z. B. Prallblech, -scheibe) führen zum Abreiben oder Absprengen der Binderhülle vom Korn. Weitere Effekte der intensiven Sandbewegung sind die Verbesserung der Fließfähigkeit (Vorteil), die Staubbildung und die Erwärmung des Sandes (Nachteile). Abgetrennte Binderhüllen und Feinkorn fördert der Abluftstrom aus dem System. Das Auftreffen der Sandkörner auf einen Prallkörper kann zum Zersplittern der Körner führen. Dadurch erhöht sich der abzutrennende Feinanteil und der Binderverbrauch. Prallanlagen werden kontinuierlich betrieben. In der Praxis werden oft mehrstufige Prallanlagen unterschiedlicher Bauart eingesetzt (z. B. Simpson-Prallanlage, Abbildung 4-5a, Jacob-Prallanlage, Pneu-reclaim-Prallanlage).

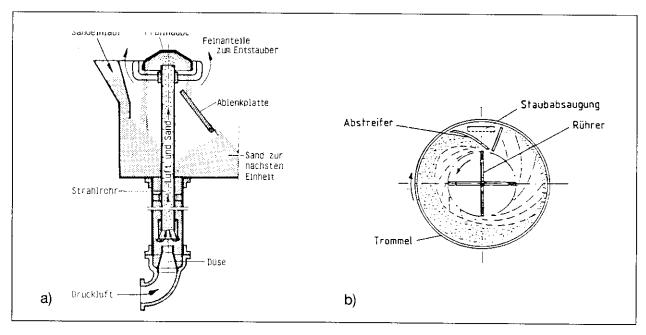


Abb. 4-5: a) Prallanlage Simpson (Brunhuber, 1991), b) Scheuertrommel (Roes, Wilhelm, 1990)

In diskontinuierlich arbeitenden **Scheuertrommeln** (Abbildung 4-5b) werden die Binderhüllen im wesentlichen durch ein Aneinanderscheuern der Sandkörner entfernt. Auch kleine Knollen werden zerstört. In der horizontal gelagerten Trommel sind oben ein Abstreifer und eine Staubabsaugung angebracht. Während sich die Trommel dreht, bewirkt die Fliehkraft den Transport

des Sandes an der Trommelwand bis zum Abstreifer, der den Sand so von der Trommelwand trennt, daß er auf den Rührer trifft. Der Rührer befindet sich in der Mitte der Trommel und rotiert entgegengesetzt mit variabel einstellbarer Geschwindigkeit. Der Sand wird beim Auftreffen auf den Rührer schlagartig beschleunigt und wieder gegen die Trommelwand geschleudert. Der Aufprall und die intensiven tangentialen Bewegungen des Sandes in der Trommel führen zum Abscheuern der Binderhüllen. Durch den diskontinuierlichen Chargenbetrieb besteht die Möglichkeit, durch gezieltes Scheuern und Absaugen eine Staubfraktion abzutrennen, die hohe Gehalte an aktivem Bentonit und gegebenenfalls Glanzkohlenstoffbildnern enthält. Dieser Schwarzstoff stellt einen Wertstoff dar, der in den Gießereiprozeß zurückgeführt werden kann. Von Vorteil sind die vielfältigen Möglichkeiten, den Ablauf der Regenerierung in der Scheuertrommel zu beeinflussen (z. B. Scheuerdauer, Absaugzeitpunkt und -intensität, Rotationsgeschwindigkeit von Trommel und Rührer).

Im **Schleuderradreiniger** (siehe Abbildung 4-6a) werden die Sandkörner von einem waagerechten, rotierenden Teller mit radialen Leiteinrichtungen, auf den sie von oben fallen, beschleunigt und in einen Prallring geschleudert. Durch Reibung der Körner untereinander und den Aufprall im Prallring werden Binderhüllen abgetrennt. Der entstehende Staub wird abgesaugt. Nach Bedarf kann der Sand chargenweise im Umlauf oder kontinuierlich regeneriert werden.

Der mechanisch-pneumatische **Fließbettreiniger** (siehe Abbildung 4-6b) reinigt trockenen Altsand diskontinuierlich. Ein Luftstrom durch den Boden des Apparates erzeugt das Fließbett, in dem die Reinigung des Altsandes einerseits durch die Reibung der Sandkörner untereinander und andererseits durch Reibung an einem rotierenden Rührer erfolgt. Mit dem Luftstrom wird Staub aus dem System gefördert. Durch Variation der Sandbehandlungszeit kann die Regeneratqualität beeinflußt werden. Der Fließbettreiniger kann neben der mechanischen Reinigung durch Einblasen heißer Luft auch Altsande trocknen, zur thermischen Regenerierung vorheizen oder Bindemittel (z. B. Wasserglas) verspröden.

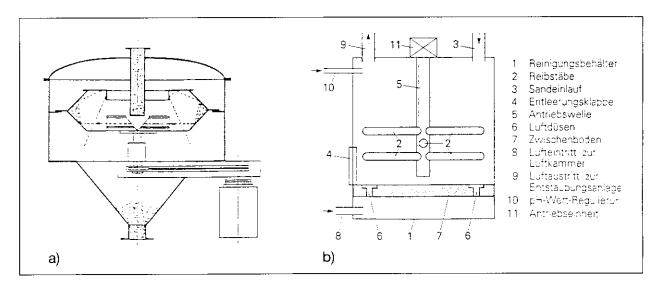


Abb. 4-6: a) Schleuderradreiniger (Stutzmann, Godderige, 1992) b) Mechanisch-pneumatischer Fließbettreiniger (Pohl, 1990)

4.1.1.3 Thermische Verfahrensstufen

Thermische Verfahren sind insbesondere zur Regenerierung rein organisch gebundener Sande geeignet. Bei Temperaturen zwischen 700 und 900 °C verbrennen unter Sauerstoffeinfluß die organischen Bestandteile vollständig. Liegen im Altsand zusätzlich anorganische Bindemittel vor (aktiver Bentonit, Wasserglas), brennen diese auf die Sandkörner auf und lassen sich anschließend nur schwer abtrennen (Spur, 1981; Boenisch, 1990; Weller, 1991). Der Sand wird

vor Eintritt in die Brennkammer in der Regel vorgewärmt. Die Zerstörung der organischen Bestandteile erfolgt entweder indirekt durch die Einwirkung der Rauchgase oder heißer Luft (beheizte Schwingrinnen, Drehrohr) oder direkt in der Flamme. Die indirekte Erhitzung verringert im allgemeinen die thermische Belastung des Sandes. Alle bei der Prozeßtemperatur flüchtigen Bestandteile (z. B. Wasser, Pyrolysegase, CO, CO₂, SO₂, NO_x) und entstehender Staub werden mit den Rauchgasen abgeführt. Um den Sand nicht unnötig thermisch zu belasten und Energie zu sparen, sind möglichst niedrige Sandtemperaturen anzustreben. Ein vollständiger Ausbrand des Sandes läßt sich durch ausreichende Verweilzeiten, der Ausbrand der Rauchgase durch eine Nachverbrennung gewährleisten. Thermische Verfahren sind energieintensiv (Wärmerückgewinnung ist sinnvoll) und erfordern eine Abgasreinigung (Staub).

Die thermische Sandbehandlung weist eine Reihe von Nachteilen auf. Allgemein führt die starke thermische Belastung des Sandes zum Zerplatzen der Körner (Feinanteil steigt, spezifische Oberfläche steigt). In Naßgußsanden (auch mit Kernsandzulauf) vernichtet die Heißregenerierung Wertstoffe (z. B. aktiven Bentonit, Glanzkohlenstoffbildner), wenn diese vorher nicht abgetrennt wurden (vgl. Kapitel 4.1.1.2.1). Das chemische Störpotential von Altsanden der Wasserglas- und Coldbox-Methylformiat-Verfahren läßt sich durch thermische Behandlung nicht vermindern (Boenisch, 1991).

Zur thermischen Altsandregenerierung werden überwiegend **Wirbelschichtapparate** eingesetzt. Ein von unten eintretender, heißer Gasstrom fluidisiert den Sand. In der heißen Atmosphäre direkt beheizter Apparate verbrennen die organischen Bestandteile. Auf den Sandkörnern verbleibende Verbrennungsrückstände werden durch die Reibung der Partikel untereinander entfernt. Die Vorteile der Wirbelschicht liegen in der großen, aktiven Oberfläche des Gutes, den hohen Relativgeschwindigkeiten der Sandkörner und den sehr günstigen Bedingungen für den Wärme- und Stoffaustausch. Die Sandtemperaturen in Wirbelschichtanlagen liegen in der Größenordnung von 700 °C, die Rauchgastemperaturen bei ca. 800 °C. Die niedrigen Rauchgastemperaturen führen zu relativ geringen Emissionen thermisch gebildeter Stickoxide (NO_x). Indirekt beheizte Wirbelschichtanlagen werden mit in der Wirbelschicht liegenden Wärmeaustauschern, die die Wärmeenergie der Rauchgase an den Sand übertragen, betrieben. Dadurch können niedrigere Sandtemperaturen eingehalten werden, bei denen organische Bestandteile verschwelen. Die Verschwelung erfordert aber eine Nachverbrennung der Abgase.

Das Wirbelschichtprinzip findet in Wirbelschichtöfen (siehe Abbildung 4-7), Wirbelbettöfen und Wirbelbettrinnen Anwendung. Bei Wirbelbetten ist die Höhe der fluidisierten Sandschicht geringer als bei Wirbelschichten (Spur, 1981).

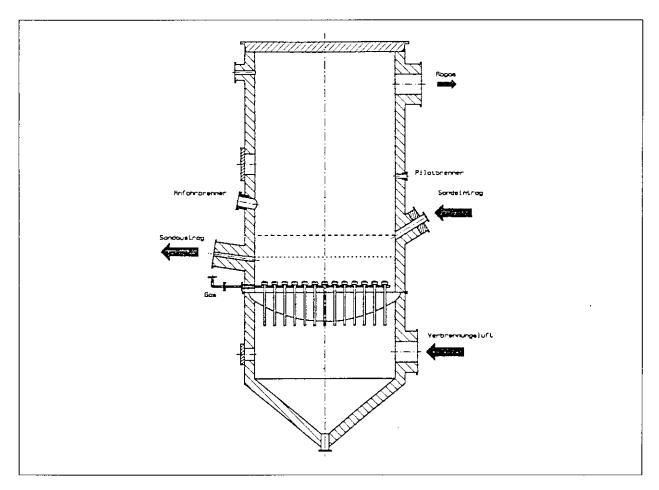


Abb. 4-7: Wirbelschichtofen (Bauch u. a., 1988)

Drehrohröfen sind lange, geneigte Rohre von großem Durchmesser. Infolge der Drehung des mit Rieseleinbauten versehenen Rohres wird der Sand gefördert und aufgelockert, wobei er mit dem heißen Gas in Kontakt kommt. Drehrohröfen können mit Rauchgasen oder mit indirekt erhitzter Luft als Prozeßgas betrieben werden. Unterschiedliche Temperaturzonen (z. B. Vorwärmzone, Regenerierzone) lassen sich durch Anordnung mehrerer Brenner entlang des Rohres einstellen (siehe Abbildung 4-8). Durch entsprechende Steuerung der Brenner lassen sich Schwankungen im Temperaturprofil infolge ungleichmäßiger Durchsatzmengen ausgleichen (-.-, 1988).

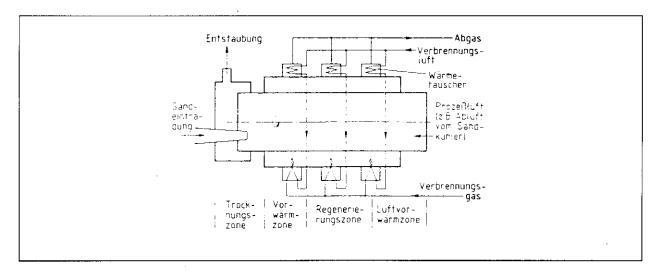


Abb. 4-8: Indirekt beheizter Drehrohrofen (-.-, 1988)

Schachtöfen verarbeiten stückiges Aufgabegut. Auf das im Schacht des Ofens befindliche Gut wirken von unten Flammen und heiße Gase ein. Dadurch oxidiert das Bindemittel, infolgedessen sich die Bindung zwischen den Sandkörnern löst und die Brocken in rieselfähigen Sand zerfallen.

4.1.1.1.4 Naßregenerierung

Die Naßregenerierung ist prinzipiell nur zur Aufarbeitung bentonit- und wasserglasgebundener Altsande geeignet. Naß lassen sich wasserlösliche oder suspendierbare Bestandteile und durch zusätzliche Attrition Sinterprodukte von den Sandkörnern entfernen.

Der zerkleinerte, metallfreie Altsand wird mit Wasser aufgeschlämmt. In einer Vorstufe wird leicht entfernbares Bindemittel abgetrennt. Das Entfernen von an den Sandkörnern anhaftenden Bindemittelresten erfolgt in der Hauptstufe durch intensive Reibung der Sandpartikel untereinander (Reibwäsche). Dabei gehen die Bindemittel in das Waschwasser über. Im Anschluß wird der sedimentierte Sand gespült und gegebenenfalls getrocknet. Nachfolgend werden die Bindemittelreste aus der Suspension abgeschieden. Der entstehende Schlamm muß deponierfähig aufgearbeitet werden.

Da Bentonit nur durch Fällungsmittel aus dem Abwasser entfernt werden kann, wird die Naßregenerierung fast ausschließlich für wasserglasgebundene Altsande eingesetzt. Abwässer aus der Regenerierung von Wasserglassanden müssen neben der Feststoffabtrennung neutralisiert werden (Döpp, 1991). Die Naßregenerierung wird in den alten Ländern der Bundesrepublik Deutschland nicht eingesetzt, was nicht zuletzt mit dem Abwasserproblem zusammenhängt.

4.1.1.2 Regenerierung reiner Ursprungssysteme

4.1.1.2.1 Bentonitgebundene Altsande

In der bundesdeutschen Gießerei-Industrie fallen bentonitgebundene Sande in großen Mengen an. Da Regenerate aus bentonitgebundenen Altsanden nicht nur im Formsandkreislauf genutzt werden, sondern auch bei der Kernherstellung Neusande ersetzen sollen, ist bei der Regenerierung auf eine möglichst vollständige Entfernung des Bentonits, der für viele Kunstharzbinder ein Störstoff darstellt, zu achten (vgl. Tabelle 4-1).

Bentonit verliert durch Hitzeeinwirkung seine Bindefähigkeit, indem er sein Kristallwasser irreversibel abgibt (vgl. Tabelle 4-2). Dabei brennt er als harte Schicht auf das Sandkorn. Der totgebrannte oder Hartbentonit ist fest mit den Sandkörnern verbunden und muß bei der Regenerierung aufwendig entfernt werden.

	bentonitgebundener Formsand	Wasserglas-Kernsand 4% Wasserglas
Entzug des Kristallwassers	250 bis 500 °C (irreversibel)	200 °C
Sintern mit Quarzsand	850 °C	670 °C
Schmelzen, Kohäsivver- bindung mit dem Sandkorn	> 900 °C	800 bis 875 °C

Tab. 4-2: Einfluß der thermischen Belastung auf anorganisch gebundene Formstoffe (Spur, 1981)

Abbildung 4-10 A zeigt, daß die Hartbentonitschicht von einer Staubschicht (Schlämmstoff) umgeben ist. Der Gewichtsanteil von Staub- und Hartbentonitschicht beträgt zusammen im Durchschnitt mehr als 20% der gesamten Altsandmenge (vgl. Abbildung 4-9; Boenisch, 1990).

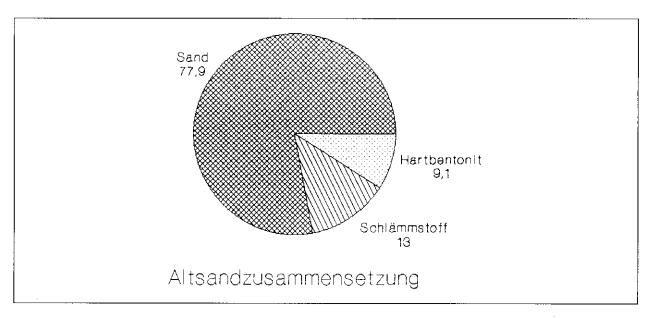


Abb. 4-9: Zusammensetzung bentonithaltiger Altsande (Boenisch, 1990)

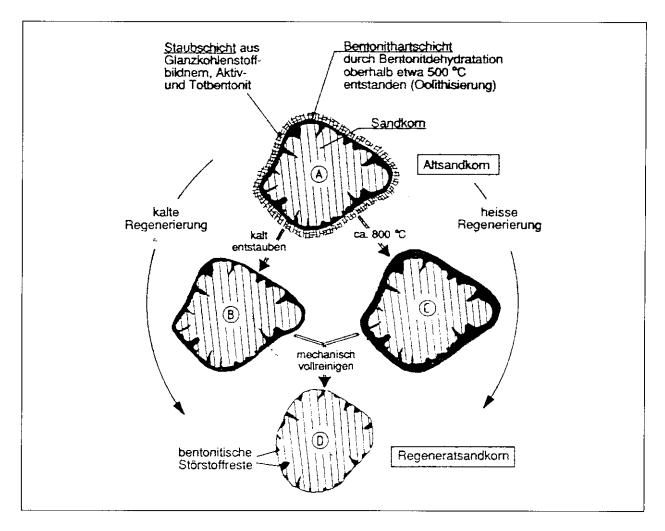


Abb. 4-10: Reinigen bentonithaltiger Altsande (A-B-D → mechanisches Verfahren; A-C-D → thermisches Verfahren; Boenisch, 1990)

Der Staub übt mit seiner großen spezifischen Oberfläche eine negative Wirkung auf die Bindefähigkeit anderer Bindemittel, insbesondere von Kunstharzen, aus. Die Störintensität des Staubes beträgt das zwei- bis dreifache derjenigen der Hartbentonitschicht (Gärtner, Boenisch, 1991). Die Staub- oder Schlämmstoffschicht enthält größere Mengen an Wertstoffen (aktiver Bentonit, Glanzkohlenstoffbildner) und totgebranntem Bentonit. Durch eine separate Entstaubung des Altsandes vor der Hartbentonitabtrennung können diese Wertstoffe zurückgewonnen und bei der Formherstellung nutzbar gemacht werden (vgl. Abbildung 4-10 A-B). Dabei muß vermieden werden, daß Hartberitonitmehl, das bei der mechanischen Regenerierung entsteht, die Wertstoffe zu stark verdünnt. Bei einer thermischen Behandlung des Sandes werden diese Wertstoffe hingegen zerstört. Die Glanzkohlenstoffbildner verbrennen, der ursprünglich aktive Bentonit aus der Staubschicht wird auf dem Sandkorn totgebrannt und verstärkt zusätzlich die das Korn umgebende Hartbentonithülle (vgl. Abbildung 4-10 C). Um hohe Regeneratqualitäten zu erreichen, ist es notwendig, die Hartbentonitschicht mechanisch abzuschleifen und den Sand anschließend so zu entstauben, daß die feine Sandkornfraktion im Regenerat enthalten bleibt. Die unregelmäßigen Kornformen und der in die Poren der Körner eingedrungene Bentonit machen eine vollständige Entfernung des Bentonits fast unmöglich (vgl. Abbildung 4-10 D). Werden sehr hohe Reinheitsanforderungen an das Regenerat gestellt, wie sie für die Verwendung von Regeneraten zur Herstellung kunstharzgebundener Sande erforderlich sind. können die durch das Abschleifen der Sandkörner hervorgerufenen Masseverluste bis zu 50% betragen (Boenisch, 1990). In Abbildung 4-11 wird aus Laborversuchen gezeigt, daß sich mechanisch regenerierter Naßgußformsand für die Kernherstellung nach unterschiedlichen Verfahren eignet (Boenisch, 1991).

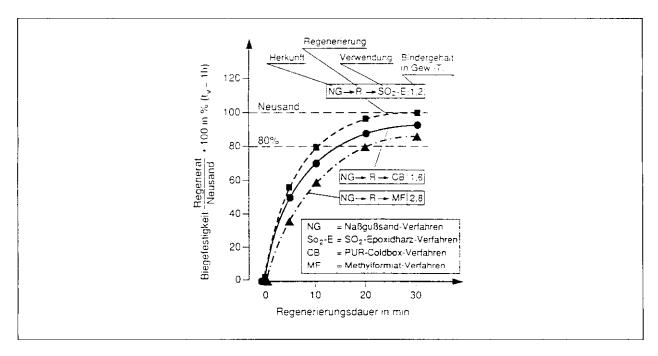


Abb. 4-11: Feinregenerate aus Naßgußformsand (8% Bentonit nach 750°C) für die Kernherstellung; die Kernfestigkeit in Abhängigkeit der Regenerierungsdauer (Boenisch, 1991)

Ein Fließbettreiniger wird in der Praxis zur Regenerierung von Naßgußsand eingesetzt. Die Abbildung 4-12 zeigt den Verlauf wichtiger Sandkennwerte in Abhängigkeit der Sandbehandlungsdauer. Das Regenerat ersetzt Neusand zur Naßgußformherstellung.

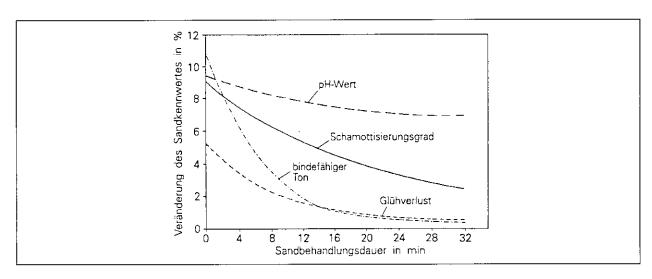


Abb. 4-12: Änderung der Sandkennwerte in Abhängigkeit der Sandbehandlungsdauer im Fließbettreiniger (Pohl, 1990)

Pilotversuche mit einem Fließbettreiniger, tongebundene trockene Altsande einer Eisengießerei zur Coldbox-Kernherstellung zu regenerieren, ergaben positive Ergebnisse. Das gewonnene Regenerat kann mit 20 bis 25 % Neusandzusatz bei Festigkeitsverlusten bis etwa 20% (nach 1 h Sandlagerung) gegenüber Neusand zur Herstellung von Coldbox-Kernen verwendet werden (Pohl, 1990). Die Wertstoffe (aktiver Bentonit, Glanzkohlenstoffbildner) des zu Beginn der Regenerierung abgezogenen Staubes lassen sich in der Formstoffaufbereitung wieder einsetzen.

4.1.1.2.2 Wasserglasgebundene Altsande

Mit zunehmender Temperaturbelastung wird die gelförmige Kieselsäure wasserglasgebundener Form- und Kernsande zunächst entwässert, versintert ab 670 °C und verschmilzt ab etwa 800 °C mit den Sandkörnern (vgl. Tabelle 4-2). Die Wasserlöslichkeit der Kieselsäure verschlechtert sich mit zunehmendem Grad der Entwässerung (Neumüller, 1983). Des weiteren steigt der Wasserglasmodul bei thermischer Belastung über 670 °C beträchtlich an, so daß thermisch stark belastetem Regenerat aus wasserglasgebundenen Sanden beim Einsatz im Wasserglasverfahren zum Ausgleich Wasserglasbinder mit niedrigem Modul zugegeben wird (Spur, 1981). Neben thermisch stark belasteter Kieselsäure befindet sich auch thermisch schwach belastetes, elastisches Bindemittel im Altsand, das relativ gut in Wasser löslich ist.

Von großer Bedeutung für die Regenerierung wasserglasgebundener Sande ist das Zielsystem. So wirkt sich das Regenerat aus wasserglasgebundenen Sanden wegen seiner hohen Alkaligehalte negativ auf alle mit anderen Bindersystemen gefertigten Formteile und Kerne aus. Ist das Zielsystem bentonitgebundener Sand, wird die Festigkeit gemindert (Gärtner, Boenisch, 1991). In sauer aushärtenden Bindersystemen (z. B. Kaltharz-, Hotbox-Verfahren) werden die Säuren neutralisiert, was zu einem erheblichen Mehrverbrauch von Bindemittel führt (Weller, 1989).

Wegen der Wasserlöslichkeit der thermisch weniger belasteten Kieselsäure werden durch Naßreinigung gute Reinigungseffekte erzielt. Wasserlösliche und abschlämmbare Bestandteile sowie feste Binderhüllen werden gleichzeitig aus dem Altsand entfernt. Wegen ungelöster Abwasserprobleme wird die Naßreinigung wasserglasgebundener Gießereialtsande in den alten Bundesländern bisher nicht praktiziert.

Bei mechanisch oder mechanisch-pneumatisch arbeitenden Regenerierungsanlagen kann es leicht zum Verschmieren durch noch elastische Bindemittelanteile kommen. Abhilfe läßt sich

mit Verfahren schaffen, bei denen der elastische Wasserglasbinder durch eine maßvolle Temperaturerhöhung (z. B. durch Heißluft oder Reibungswärme in mechanischen Apparaten) versprödet (-.-, 1985, Pohl, 1992). Der versprödete Binder läßt sich nun mechanisch von den Sandkörnern entfernen. Die Verfahren sind durch die geringe Temperaturerhöhung energiesparend und sandschonend.

Die Angaben zum Einsatz der Regenerate aus wasserglasgebundenen Altsanden in Form- und Kernsandmischungen schwanken zwischen 40 und 90% (Pohl, 1990; Scholich, 1991). Derzeit werden Forschungsarbeiten auf dem Gebiet der Wasserglasbinder (modifizierte Binder, Regenerierung) durchgeführt, um deren Vorteile in der Umweltverträglichkeit und im Arbeitsschutz nutzen zu können (Döpp, 1991). Dazu zählen mechanische Regenerierversuche, bei denen auch die hohen Alkaligehalte entfernt werden sollen. Zum warmen, im Fließbettreiniger befindlichen Altsand wird eine Flüssigkeit (z. B. Wasser, Säure) gegeben, die die alkalischen Bestandteile neutralisiert bzw. abwäscht und dann verdampft. Die entstandenen Salzkristalle werden mechanisch zerrieben und mit dem Staub aus dem Regenerat gefördert. Versuchsergebnisse liegen noch nicht vor (Pohl, 1992).

4.1.1.2.3 Organisch gebundene Altsande

Organische Bindemittel härten irreversibel aus. Kunstharzgebundene Sande werden nach ihrem Zustand vor der Regenerierung in thermisch belastet und thermisch unbelastet (z. B. nichtabgegossene Formen und Kerne sowie Form- und Kernbruch aus kalthärtenden Verfahren, Überfallsande) unterschieden. Die Kunstharzhüllen thermisch unbelasteter Sande sind sehr glatt und können Lösungsmittelanteile enthalten. Mechanisch lassen sich von thermisch unbelasteten Sanden nur ca. 25 % des Bindemittels abtrennen (Boenisch, 1991). Auch bei thermisch schwach belasteten Sanden, wie sie im Leichtmetallguß anzutreffen sind, lassen sich die Binderhüllen mechanisch nur schwer entfernen (vgl. Kapitel 4.1.1.1.2).

Thermisch belastete Altsande entstehen z. B. im heißen Formwerkzeug oder beim Abguß. Duroplastische Kunstharze (Kondensationsharze wie z. B. Phenol- u. Furanharz) verspröden schon bei relativ geringer Temperatur ab etwa 250 °C (z. B. Hotbox-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.

Bereits Temperaturen von 350 bis 400 °C reichen in sauerstoffreichen Zonen beim Abgießen aus, um die organischen Bestandteile des Formstoffes zu verbrennen (Spur, 1981). Ein hohes Verhältnis Masse Gußwerkstoff zu Masse Formsand fördert den Prozeß der selbständigen Regenerierung bzw. Versprödung. Die nicht abgebrannten organischen Binderbestandteile liegen nach dem Zerkleinern der Knollen lose im Altsand vor oder haften an der Sandkornoberfläche.

Zum Regenerieren organisch gebundener Monosande eignen sich je nach Ursprungs- und Zielsystem mechanische (Kaltregenerierung) oder thermische Verfahren. Sollen die Regenerate wieder im Ursprungssystem eingesetzt werden, kann die Anwendung mechanischer Aufbereitungsverfahren ausreichen. Dabei darf der Sand durch die Reibung nicht zu heiß werden, da die Bindemittelreste sonst schmelzen und verschmieren. Die auftretenden Festigkeitsverluste der Formen und Kerne gegenüber Neusand werden bis zu 20% angegeben, und sind, sofern sie nicht durch höhere Bindemittelzugaben ausgeglichen werden, in der Produktion meist ohne Schwierigkeiten zu verkraften (Scholich, 1991). Thermische und mechanisch-thermische Regenerierverfahren haben geringere Festigkeitsverluste zur Folge.

Reine Kaltharzsande (Phenol- und Furanharze) lassen sich für den Einsatz im gleichen System ausreichend mechanisch regenerieren (Scholich, 1991; Löblich u. a., 1989; Wittwer, 1988). Der Staubgehalt im Regenerat steht in engem Zusammenhang zu den Schwefel-, Phosphat- und

Stickstoffgehalten. Während der Schwefel- und Phosphatgehalt metallurgische Probleme bereitet, beeinflußt der Staub die Formstoffestigkeit negativ. Eine Entstaubung der regenerierten Sande ist deshalb unbedingt erforderlich. Umfangreiche Untersuchungen an mechanisch regenerierten Kaltharzaltsanden aus Eisengießereien ergaben die in Tabelle 4-3 zusammengestellten Richtwerte (Löblich u. a., 1989). Die bei Wittwer (1988) angegebenen Daten bestätigen, daß beim Einsatz von 95–100 % eines mit Wendelbrecher und Sichter behandelten Kaltharzregenerates unter Einhaltung dieser Richtwerte qualitätsgerecht produziert werden kann.

Ž	Zugabe zur Mischung		Rohstoffverbrauch bezogen auf flüssiges Eisen
	in %		in %
Neusand	1 bis 10		5 bis 40
Härter	0,3 bis 0,5		0,8 bis 1,2
Harz	0,6 bis 1		2 bis 3
Regenerierter Altsand	gut	obere Grenze	Gußfehler bei zu hohen Gehalten
Glühverlust	2 bis 3 %	rd. 4 %	Löcher, Penetratio- nen, Anbrennungen
Schwefelgehalt	0,05 bis 0,1 %	rd. 0,15 %	Graphitentartungen, Penetrationen, Blattrippen
Stickstoffgehalt	0,05 bis 0,1 %	rd. 0,15 %	Löcher
Phosphorgehalt	0,2 bis 0,3 %	rd. 0,6 %	Löcher, Anbrennungen Oxidniederschläge
Schlämmstoffe	0 %	rd. 0,5 %	Einschlüsse, Anbrennungen
pH-Wert	rd. 4	rd. 3	zu schnelle Abbindung
Biegefestigkeit im Fe	rtigsand für Formen: ca	. 200 N/cm²	
Biegefestigkeit im Fe	rtigsand für Kerne: ca.	300 N/cm ²	
Mindest-Prüfungen:			
Glühverlust		ein- bis zwein	nal pro Woche
pH-Wert		ein- bis zwein	nal pro Woche
Biegefestigkeit		ein- bis zwein	gal pro Woche

Tab. 4-3: Richtwerte für mechanische Regenerierung (Löblich u. a., 1989)

Aus den Untersuchungen von Löblich und Wittwer geht weiter hervor, daß die Wirkungsgrade der eingesetzten mechanischen Regeneriergeräte (Raspeltopf + Prallmühle, Raspeltopf, Prallmühle, Sieb, Backenbrecher, Wendelbrecher) relativ gering sind. Die Hälfte des Gesamtregenerierungsgrades wurde durch die thermische Belastung des Form- bzw. Kernsandes beim Abgießen erzielt (vgl. Abbildung 4-13). Als günstig wird das Masseverhältnis Sand zu Eisen von 3:1 und kleiner angegeben (Löblich u. a., 1989).

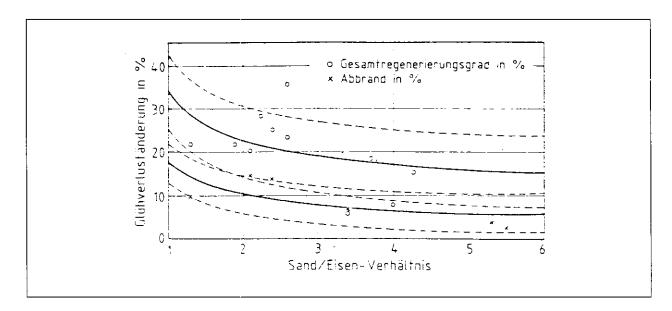


Abb. 4-13: Glühverlust und Regenerierungsgrad in Abhängigkeit vom Sand-Eisen-Verhältnis (Löblich u. a., 1989)

Für reine Croning-, Coldbox-Amin- und Hotbox-Sande werden sowohl thermische als auch mechanisch-pneumatische Verfahren eingesetzt (Scholich, 1991). Bei 820 °C thermisch regenerierter Coldbox-Amin-Kernsand aus einer Aluminium-Kokillengießerei wird in der Praxis vollständig zur Kernherstellung nach dem Amin-Verfahren wiederverwendet. Die nach 2 Stunden Sandlagerzeit mit dem Regenerat (pH-Wert = 7,5) hergestellten Probekörper weisen einen Festigkeitsverlust von etwa 10% auf (Scholich, 1991). Thermisch regenerierter Croning-Sand, der wieder im Croningverfahren eingesetzt wird, verbesserte sogar die Kalt- und Heißfestigkeit bei unterschiedlichen Sandlagerzeiten. Als Ursache wird das Entfernen von im Neusand vorhandenen Feinanteilen durch die Regenerierung vermutet (Scholich, 1991).

Ein weiteres Konzept zur thermischen Behandlung kunstharzgebundener Sande ist die Verschwelung der Binderhüllen in der indirekt beheizten Wirbelschicht mit anschließender Nachverbrennung der Abgase. Der vorbereitete Sand (knollenfrei, metallfrei) wird über die im Wirbelschichtofen befindlichen Wärmeaustauscher auf 600 bis 700 °C erhitzt. Dabei verschwelen die Binderhüllen. Das Kohlenmonoxid und Kohlenwasserstoffe enthaltende Abgas der Wirbelschicht wird der Nachverbrennung zugeführt. Die Rauchgase der Nachverbrennung beheizen die Wärmeaustauscher im Wirbelschichtofen.

Daß die Regenerierung von Altsanden des Methylformiat-Verfahrens wegen der hohen Elektrolytgehalte, die sich kaum mechanisch oder thermisch entfernen lassen, große Probleme bereitet, zeigen Laborversuche. Selbst der Einsatz der Regenerate im Methylformiat-Verfahren liefert, zusätzlich bedingt durch das schwache Binderpotential, keine befriedigenden Ergebnisse. Zusätze von Naßguß-Regenerat verbessern die Eigenschaften des Methylformiat-Regenerates durch die Verdünnung der Störstoffe, die aber dadurch nicht entfernt werden (Boenisch, 1991).

4.1.1.3 Regenerierung von Mischaltsanden

Etwa 80% der in den alten Bundesländern anfallenden Altsande sind Mischsande, die sich aus einem hohem Anteil bentonitgebundener Sande aus der Formherstellung und einer dem Kernanteil entsprechenden Menge organisch- oder wasserglasgebundener Sande zusammensetzen. Gemäß Abbildung 4-14 führt die betriebsinterne oder -externe Mischsandregenerierung zu einem verringerten Einsatz von Neusanden, die im günstigsten Fall die als Feinanteil abgetrennte Sandmenge ersetzen.

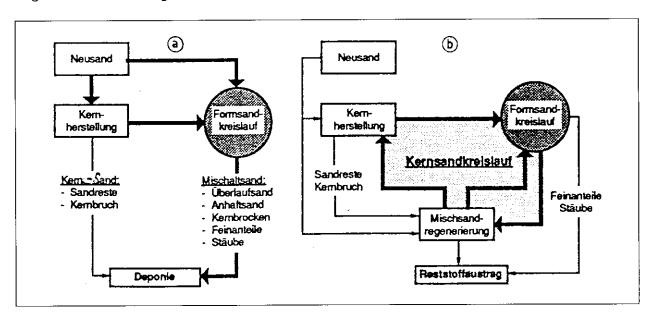


Abb. 4-14: Sandkreislauf (Boenisch, 1990)

Für die Regenerierung von Mischaltsanden ist die Kenntnis der Ursprungs- und Zielsysteme von besonderer Bedeutung (vgl. Tabelle 4-1). In Abhängigkeit der Störeinflüsse der im Altsand enthaltenen Bindemittelreste auf die Zielsysteme müssen deshalb oft kombinierte Regenerierverfahren angewendet werden.

4.1.1.3.1 Organisch-bentonitgebundene Mischaltsande

Bei organisch-bentonitgebundenen Mischsanden befinden sich Hartbentonit und organische Bindemittel auf den Sandkörnen. Der Staub (Schlämmstoff) im Sand setzt sich aus aktivem und totgebranntem Bentonit, Glanzkohlenstoffbildnern (nur bei Altsand aus Eisengießereien), Quarzabrieb sowie organischen Binderhüllen zusammen. Die Staubschicht, die zu ²/₃ Glanzkohlenstoffbildner und aktiven Bentonit enthält (Boenisch, 1990), ist mechanisch abtrennbar und kann im Naßgußverfahren als Rohstoff wieder eingesetzt werden. Die Regenerierung erfolgt wie in den Kapiteln 4.1.1.2.1 und 4.1.1.2.3 beschrieben mechanisch, mechanisch-pneumatisch, thermisch oder kombiniert.

Ein universeller Einsatz eines mit hohem apparativem Aufwand hergestellten Mischsandregenerates ist derzeit kaum möglich (Weller, 1991). Verschiedene Einflußfaktoren, wie z. B. ungeeignete Ursprungs- und Zielsysteme, ungenügend gereinigte Körner und zu hoher Schlämmstoffgehalt des Regenerates, führen in bestimmten Fällen zu relativ großen Festigkeitsverlusten der Formen und Kerne und zu einem erhöhten Bindemittelverbrauch. Gute Ergebnisse wurden mit dem Zielsystem Croning-Sand erzielt. Probleme treten dagegen bei sauren Zielsystemen (z. B. Kaltharz-, Hotbox-, SO₂-Sande) auf.

Mit der in Abbildung 4-15 dargestellten Großanlage (Durchsatz 5 t/h) werden Mischaltsande dreistufig (mechanisch, thermisch, mechanisch) regeneriert (Schwarzel, 1987).

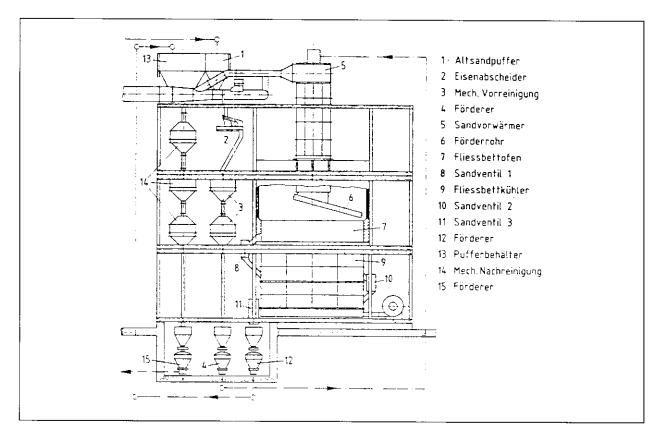


Abb. 4-15: Regenerierungseinheit einer dreistufigen mechanisch-thermischen Regenerierungsanlage (Schwarzel, 1987)

Nach der Eisenabscheidung erfolgt die mechanische Vorreinigung des vorzerkleinerten Altsandes im Schleuderradreiniger und die Sandvorwärmung durch Abluft des Fließbettofens. Im gasbeheizten Fließbettofen werden die Bentonitanteile schamottisiert und organische Bestandteile verbrannt. Die Verweilzeit im Fließbettofen beträgt etwa 60 Minuten bei 700 bis 750 °C. Anschließend wird der Sand mit Luft, die dann zur Erzeugung des Fließbettes genutzt wird, auf 120 °C abgekühlt. Der gekühlte und im Schleuderradreiniger mechanisch nachgereinigte Sand gelangt dann in einen Zweikammersilo. In der zweiten Kammer befindet sich Neusand. Regenerat und Neusand werden im Verhältnis von 80:20 in einen Fließbettsichter dosiert, intensiv gemischt und von Feinanteilen befreit. Das Gemisch dient der Herstellung von Coldbox-, Hotbox- und Furanharz-Kernen. Tabelle 4-4 faßt einige Kennwerte der Anlage zusammen.

Ausbringung, bezogen auf den SiO ₂ -Anteil des Altsandes: – bei thermischer Regenerierung – bei mechanisch-thermischer Regenerierung	95 % 75–80 %
Feinanteil: < 125 lm	max. 2%
Schlämmstoffgehalt des Regenerates	0,2-0,4%
Glühverlust des Regenerates	0-0,5 %
Strombedarf – bei thermischer Regenerierung – bei mechanisch-thermische Regenerierung	10 kWh/t _{Regenerat} 35–40 kWh/t _{Regenerat}
Gasbedarf	10-16 m _N ³ /t _{Regenerat}

Tab. 4-4: Kennwerte einer dreistufigen (mechanisch-thermisch-mechanisch) Anlage zur Mischaltsand-Regenerierung, Durchsatz: 5 t/h (Schwarzel, 1987)

In einer mechanisch-thermisch-pneumatisch arbeitenden Anlage einer Großserieneisengießerei wird organisch gebundener Mischaltsand aus dem Croning-Verfahren (Phenol-Formaldehyd-Novolakharz) und dem Coldbox-Verfahren (Polyurethan), der 15 bis 20 % Naßgußaltsand enthält, regeneriert. Nachdem grobe Metallteile aus dem Altsand abgeschieden wurden, werden im Wendelbrecher die Knollen zerkleinert und Fremdkörper entfernt. Eine nachgeschaltete Magnettrommel scheidet feine Eisenteile ab, bevor der Sand in den Wirbelbettofen gefördert wird. Die Reaktionstemperatur beträgt 750 °C bei einer mittleren Verweilzeit des Sandes von 60 Minuten im Ofen (Bauch, Dieterle, 1992). Als Brennstoff dient Kokereigas. Als Verbrennungsluft wird Abluft aus der Sandaufbereitungsanlage genutzt. Nach dem Verlassen des Ofens wird der Sand im Rieselkühler auf etwa 150 °C abgekühlt und anschließend in einer Prallanlage pneumatisch gereinigt. Dabei werden die schamottisierten Bentonithüllen von den Sandkörnern entfernt und abgesaugt. Abschließend erfolgt im Windsichter die Trennung des Regenerates in zwei Klassen (Grob-, Feinregenerat). Das Ausbringen, das auch von den Altsandeigenschaften (z. B. Körnung) abhängt, beträgt im Mittel etwa 72 %. Für die Regenerate wurden folgende Durchschnittsdaten ermittelt (Bauch, Dieterle, 1992):

Wassergehalt
Glühverlust
Schlämmstoffe
pH-Wert
Oolithisierungsgrad
0,1%
0,1%
3-4,5%

Das Grobregenerat wird sowohl zu Croning-Sand als auch zu Coldbox-Sand verarbeitet. Für die beiden Einsatzzwecke wurden folgende Beobachtungen gemacht:

- Cronig-Sand:
 - Keine Festigkeitsverluste,
 - längere Thermoschockzeiten,
 - keine Nachteile bei der Kernherstellung und beim Abgießen.
- Coldbox-Sand:
 - Keine Nachteile bei der Begasung, Kernherstellung und beim Abgießen,
 - etwas geringere Kantenfestigkeit der Kerne,
 - vertretbare Festigkeitsverluste von etwa 15%,
 - bei Einsatz angepaßter Harze eine Verarbeitbarkeit von 3 Stunden,
 - unveränderte Mengen an Bindemittel.

Das Grobregenerat läßt sich augezeichnet für das Croning-Verfahren und problemlos für das Coldbox-Verfahren einsetzen. Auch die Verwendung von Feinregenerat als Maskensand im Croning-Verfahren führte zu positiven Ergebnissen (Bauch u. a., 1988).

In einer Scheuertrommel (Pilotanlage) wird Mischaltsand einer Eisengießerei aus bentonitgebundenem Formsand und etwa 10% Kernsanden aller Herstellungsverfahren 20 Minuten chargenweise (je 360 kg) rein mechanisch regeneriert (Roes, Wilhelm, 1990). Der Altsand enthält noch Knollen bis zu einer Korngröße von 8 mm, der Wassergehalt liegt unter 1%. Der entstehende Feinanteil wird in zwei Zeitintervallen (0–9 Minuten, 9–20 Minuten) abgsaugt und über Zyklon und Filter aus der Luft abgetrennt (siehe Abbildung 4-16a). Dabei ändert sich der Feinanteil im Regenerat wie in Abbildung 4-16b dargestellt.

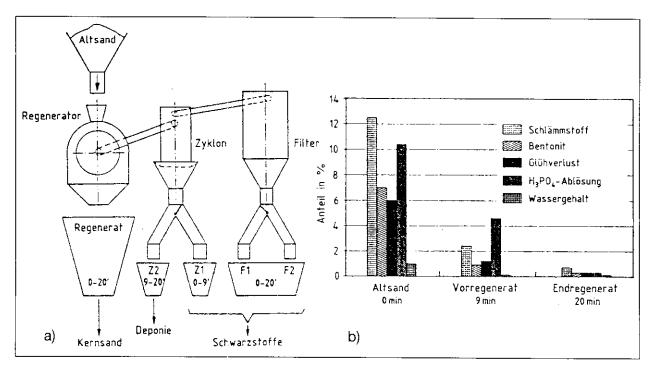


Abb. 4-16: a) Schema der zeitlich unterteilten Erfassung der anfallenden Feinanteile bei der Regenerierung,

b) Abnahme der Feinanteile im Regenerat (Roes, Wilhelm, 1990)

Die erste Zyklonfraktion (Z1) bildet gemeinsam mit den beiden, im nachgeschalteten Filter gewonnenen Fraktionen (F1, F2), die Schwarzstoffe (20 bis 25% der Altsandmenge) und enthält u. a. aktiven Bentonit und Glanzkohlenstoffbildner. Als Reststoffe (12 bis 15% der Altsandmenge) wird die zweite Zyklonfraktion (Z2) bezeichnet. In der Abbildung 4-17a sind die Zusammensetzungen von Altsand, Regenerat, Schwarzstoff und Reststoff dargestellt. Nach der Regenerierung sind die Körner abgerundet und bis in die Vertiefungen frei von Schamotten. Die mechanische Beanspruchung des Sandes führt zur Verschiebung der Korngrößenverteilungskurve, die mittlere Korngröße im Regenerat nimmt beim einmaligen Durchgang ab (vgl. Abbildung 4-17 b).

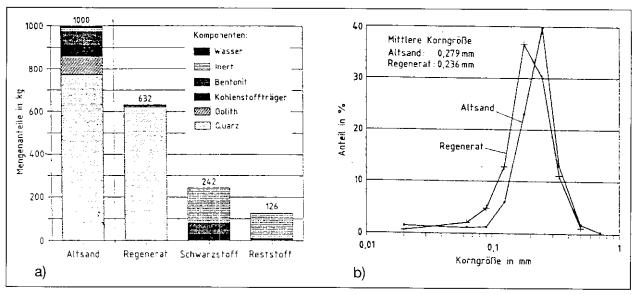


Abb. 4-17: a) Mengenanteile der beteiligten Stoffe im betrieblichen Altsand einer Eisengießerei sowie in den Fraktionen Regenerat, Schwarzstoff und Reststoff nach dem Regenerieren; Durchschnittswerte aus einer dreimonatigen Versuchsserie b) Änderung der Korngrößenverteilung des Quarzsandes während eines Durchganges (Roes, Wilhelm, 1990)

Das Regenerat wird betriebsintern anstelle von Neusand zur Herstellung von Coldbox- und Croning-Kernen verwendet. Durch den Einsatz des Regenerates treten nur geringe (bis 10%) Festigkeitsverluste auf. Das Schwarzstoffgemisch ersetzt bei der Formherstellung die entsprechenden Mengen an Neubentonit und Kohlenstoffträgern. Der Reststoff muß aus dem Kreislauf ausgeschleust und einer entsprechenden Verwertung zugeführt werden.

Eine weitere, im Pilotmaßstab betriebene Anlage arbeitet nach dem Konzept der Vortrocknung mit anschließender mechanisch-pneumatischer Regenerierung. Der Altsand wird in einem Wirbelbett (1. Stufe) mittels eines Luft-Gas-Gemisches bei etwa 250 °C behandelt, wodurch die Bentonithülle trocknet, jedoch keine irreversiblen Veränderungen erfährt. Während der Trocknung und in einer zweiten, mit Luft betriebenen Wirbelschicht (2. Stufe) erfolgt die mechanische Reinigung des Altsandes durch Reibung und die Entstaubung. Der aus der 1. Stufe gewonnene Staub enthält Wertstoffe (Bentonit, Glanzkohlenstoffbildner), die in der Formstoffaufbereitung wieder eingesetzt werden. Der 2. Stufe folgt die Sandkühlung mit nachgeschalteter Entstaubung. Das Regenerat (Glühverlust 0,3%, Schlämmstoff bis 0,3%, Oolithisierung bis 3%) kann bei einer Neusandzugabe von ca. 25% im Coldbox-Verfahren mit Festigkeitsverlusten um 20% gegenüber Neusand eingesetzt werden.

In einer Versuchsanlage wird ein thermisch-mechanisch-pneumatisches Verfahren, die Dampfdruckregenerierung, erprobt, die mit befeuchtetem Altsand arbeitet (Weller, 1991; Schneider, Wolff, 1991). Der vorzerkleinerte und befeuchtete Altsand wird einem Wirbelschichtofen zugeführt. Dabei verbrennen die organischen Bestandteile, und aus dem in die Poren der Sandkörner eingedrungenen Wasser bildet sich schlagartig Wasserdampf, der die anorganischen Binderhüllen absprengt bzw. so weit ablöst, daß sie sich in der nachfolgenden mechanisch-pneumatischen Reinigung (z. B. im Wirbelschichtkühler) leicht entfernen lasssen. Versuchsergebnisse zeigen, daß das Regenerat (Schlämmstoff < 0,3 %, Glühverlust < 0,05 %, Oolithisierung < 2 %) als Neusandersatz bei der Kernherstellung verwendet werden kann (Weller, 1991).

4.1.1.3.2 Organisch gebundene Mischaltsande

Bei der Regenerierung organisch gebundener Mischaltsande müssen die alten Binderhüllen abgetrennt, der Staub entfernt und mögliche chemische Wirkungen auf das Zielsystem ausgeschlossen werden. Die Binderhüllen lassen sich sowohl mechanisch als auch thermisch abtrennen. Elektrolyte (z. B. in Methylformiat-Sanden), die chemische Wirkungen auf das Zielsystem ausüben, können weder mechanisch noch thermisch abgetrennt werden (vgl. Kapitel 4.1.1.2.3).

In vielen Fällen sind die mechanisch hergestellten Regenerate zwischen 80 und 100% in einem der Ursprungssysteme wieder einsetzbar (Scholich, 1991). Inwieweit die dabei auftretenden Festigkeitsverluste im Gießprozeß verkraftet werden können, hängt vom jeweiligen Einzelfall ab. In Tabelle 4-5 sind Ergebnisse angegeben, die für unterschiedliche Regenerate beim Einsatz in verschiedenen Zielsystemen ermittelt wurden.

Negative chemische Einflüsse (z. B. basischer Sand neutralisiert als Härter eingesetzte Säuren) können durch Auswahl eines günstigen Zielsystems verhindert werden. Thermische Verfahren verbessern den Regenerierungsgrad und damit auch die Einsatzmöglichkeiten der Regenerate. Geringe Bentonit-Sand-Anteile in chemisch gebundenen Altsanden haben bei der Auswahl des richtigen Regenerierverfahrens und Zielsystems keine besonders negative Wirkung auf das Formstoffgemisch.

Ursprungs- system	Regenerierungs- verfahren	Ziel- system	Festigkeitsverlust gegenüber Neusand
90% Croning-Sand 10% Hotbox-Sand	therrnisch	100% Hotbox- Sand	kein Festigkeitsverlust
85-90% Coldbox-Sand Bentonit-Sand	mechanisch- pneumatisch	100% Coldbox- Sand	30%
Coldbox-Sand Hotbox-Sand Croning-Sand geringer Anteil Bentonit-Sand	mechanisch- pneumatisch	100% Coldbox	25%
Laborversuch 50% Coldbox-Sand 20% Hotbox-Sand 20% Kaltharz-Sand 10% Bentonit-Sand	mechanisch	Coldbox-Sand Furanharz-Verfahren Croning- oder Hotbox-Verfahren	20% Einsatz nicht möglich 30%

Tab. 4-5: Beispiele für Einsatzmöglichkeiten chemisch gebundener Mischaltsande (nach Scholich, 1991)

4.1.1.3.3 Bentonit-wasserglasgebundene Mischaltsande

Da die Naßregenerierung von bentonit- und wasserglasgebundenen Altsanden aufgrund der Abwasserproblematik derzeit nicht praktikabel ist, erfolgt die Aufbereitung bentonit-wasserglasgebundener Mischsande durch mechanische Verfahren. Der Wiedereinsatz des Regenerates im Naßgußverfahren wirkt sich bei erhöhtem Gehalt an Wasserglassand ungünstig auf die Festigkeit aus (Gärtner, Boenisch, 1991). Wird das Regenerat dagegen im Wasserglasverfahren eingesetzt, so muß der Schlämmstoff möglichst vollständig entfernt werden. Im Coldbox-Verfahren ist mechanisch regenerierter Naßgußsand auch mit geringem Wasserglasanteil nicht verwendbar. Versuche ergaben, daß bei Herstellung von Coldbox-Kernen aus einem Gemisch aus 90% Bentonitaltsand und 10% Wasserglas-Kernaltsand auch nach intensiver mechanischer Regenerierung nur 40% der Neusandfestigkeit erreicht werden (Gärtner, Boenisch, 1991).

4.1.1.3.4 Organisch-bentonit-wasserglasgebundene Mischaltsande

Bei einem Mischsytem aus organisch-bentonit-wasserglasgebundenem Altsand handelt es sich in den meisten Fällen um bentonitgebundenen Formsand mit verschiedenstem Kernsandzulauf (etwa 10%). Auch hier gilt es, entsprechend den Zielsystemen zu regenerieren. Es müssen kombinierte Regenerierverfahren angewendet werden, womit es trotz hoher Aufwendungen derzeit nicht möglich ist, ein universell einsetzbares Regenerat zu erzeugen (Weller, 1989). Hauptgrund dafür ist der störende Einfluß des Wasserglassandes auf die organischgebundenen Zielsysteme. Dabei reagieren Bestandteile des Wasserglassandes mit Komponenten der organischen Bindersysteme (z. B. Neutralisationsreaktionen). Des weiteren spielen auch Unverträglichkeiten organischer Bindersysteme untereinander (z. B. Methylformiat-Sande) und das Störpotential des Bentonits eine Rolle. Insbesondere bei komplexen Mischaltsanden ist zu

prüfen, ob nicht durch die Reduzierung der Anzahl der verwendeten Bindemittelsysteme ein leichter regenerierbarer Altsand erzeugt werden kann.

4.1.2 Außerbetriebliche Verwertung von Gießereialtsanden

Neben der Regenerierung und anschließenden Wiederverwendung der Gießereialtsande im Gießprozeß werden auch branchenfremde Einsatzmöglichkeiten der Altsande diskutiert. Bei allen externen Maßnahmen zur Verwertung ist zu beachten, daß Schadstoffe (z. B. Schwermetalle, Phenole, PAK), die in den Altsanden enthalten sein können, die Umwelt nicht schädigen (Prinzip der schadlosen Verwertung des BlmSchG). Ferner ist das Minimierungsgebot der TA Luft (Verwaltungsvorschrift zum BlmSchG, Fassung vom 27. Februar 1986, Ziffer 2.3) für die Emission krebserzeugender Substanzen (z. B. PAK) zu beachten. Die Kosten für die branchenfremde Verwertung von Gießereireststoffen orientieren sich im allgemeinen an den Deponiekosten

4.1.2.1 Verwertung als Baustoff

Die Verwertung von Gießereialtsanden als Schüttmaterial im Erd- und Straßenbau oder für Dammschüttungen wurde in der Vergangenheit bereits praktiziert. Bisher liegen jedoch keine bundesweit gültigen Grenzwerte für die Altsandinhaltsstoffe in der Originalprobe und im Eluat vor (Weiss, 1991), die eine einheitliche Beurteilung der Zulässigkeit dieser Verwertungsmöglichkeit erlauben. Sofern im Altsand Schadstoffe enthalten sind, werden diese nicht beseitigt, sondern vergleichsweise weiträumig in der Umwelt verteilt. Daher wird die Umweltverträglichkeit der Verwertung von Gießereialtsanden als Schüttmaterial von verschiedenen Behörden auf Grund unterschiedlicher Argumente in Frage gestellt (mögliche Gefährdungen des Grundwassers durch Verwendung schadstoffhaltiger Altsande, Abfallentsorgung außerhalb dafür vorgesehener Anlagen, keine schadlose Verwertung). Der Arbeitskreis "Vereinheitlichung der Untersuchung und Bewertung von Reststoffen" der Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA) erarbeitet derzeit Richtlinien für die Verwendung von Gießereialtsanden als Schüttmaterial im Erd- und Straßenbau und in Asphaltmischungen sowie für den Einsatz als Verfüllmaterial für ausgelassene Gruben im Bergbau. In Nordrhein-Westfalen werden derzeit Untersuchungen durchgeführt, um festzulegen, unter welchen Bedingungen (z. B. Grenzwerte, sonstige Ausschlußkriterien) die Verwendung von Gießereialtsanden als Schüttmaterial im Straßenbau u. ä. als umweltverträglich angesehen werden kann. Eine entsprechende Richtlinie zur Verwertung güteüberwachter Reststoffe steht kurz vor der Verabschiedung.

4.1.2.2 Verwertung in Asphaltmischungen

In Nordrhein-Westfalen wird derzeit die Eignung von Gießereialtsanden als Zuschlagstoff in Asphaltmischungen untersucht. Danach ist der Einsatz organisch gebundener Gießereialtsande unter technischen Gesichtspunkten möglich. Hingegen sind bentonitgebundene Altsande aus bauphysikalischer Sicht (Quellverhalten) und wegen des hohen Wasseraufnahmevermögens bei der Lagerung im Freien (Niederschläge) zum Einsatz in Asphaltmischungen weniger gut geeignet (Weiss, 1991).

Aus der Sicht des Umweltbundesamtes wird ein breiter Einsatz von Gießereialtsanden in Asphaltmischungen nicht angestrebt, da in der Vergangenheit Straßenbaumaterialien, die polyzyklische Aromaten in großen Mengen enthalten (Teer: 150 000–180 000 mg/kg, 13 PAK untersucht; Krass, 1987), durch Bitumen, das PAK-Konzentrationen nur noch im mg/kg-Bereich enthält, substituiert wurden (Schönfeld, 1991). In einer von Krass (1987) zitierten amerikanischen Untersuchung werden die PAK-Gehalte von Bitumen mit 2,5 bis 212 mg/kg (13 PAK untersucht) angegeben. In anderen Untersuchungen werden die PAK-Gehalte marktüblicher Bitumen in der Bundesrepublik Deutschland mit 7 bis 28 mg/kg (15 PAK untersucht) angegeben (Neumann, Kaschani 1977). Zur überschlägigen Abschätzung des PAK-Eintrags in Asphaltmischanlagen durch Gießereialtsande (vgl. Kapitel 3.1), sind in Tabelle 4-6 beispielhaft die Zu-

sammensetzungen von Asphaltmischungen für zwei extreme Anwendungsfälle angegeben. Zu welchem Anteil sich die PAK in der fertigen Asphaltmischung wiederfinden und zu welchem Anteil die in die Mischanlage eingetragenen PAK in die Atmosphäre emittiert werden, ist nicht bekannt.

grobe Tragschicht		feine Deckschicht	
Kies/Schotter (bis 45 mm)	ca. 76,5%		
Sand	ca. 20%	Steinmehl/Sand (bis 2 mm)	ca. 90%
Bitumen	ca. 3,5%	Bitumen	ca. 10%

Tab. 4-6: Zusammensetzung von Asphaltmischungen (Erhardt, 1992)

Der TA Luft-Wert von 20 mg/m³ für staubförmige Emissionen, der für Anlagen zur Herstellung oder zum Schmelzen von Mischungen aus Bitumen oder Teer mit Mineralstoffen gilt, läßt sich bei Verwendung organisch gebundener Altsande zu unterschreiten. Die Emissionen der als kanzerogen eingestuften polyzyklischen Aromaten (TA Luft; Klasse I: Benzo(a)pyren, Dibenz(a,h)antracen) liegen ebenfalls unterhalb des TA Luft-Wertes von in der Summe 0,1 mg/m³, erreichen jedoch höhere Werte als bei der Verwendung von Neusand (Wittenbrink, 1992). Auch die Emissionen von Benzol (TA Luft; Klasse III) sind bei der Verarbeitung organisch gebundener Altsande etwas höher, erreichen jedoch nicht den TA Luft-Wert von 5 mg/m³. Bei der Beurteilung der Verwertung von Gießereialtsanden in Asphaltmischungen ist das Minimierungsgebot der TA Luft für die Emission kanzerogener Stoffe zu beachten.

Daten über das Auslaugverhalten von Asphaltmischungen (Schwermetalle, organische Spurenstoffe), die Altsande enthalten, werden im Rahmen einer in Nordrhein-Westfalen durchgeführten Untersuchung zur Verwertung von Altsanden erhoben, liegen jedoch noch nicht vor (Wittenbrink, 1992). Eine abschließende Beurteilung des Einsatzes von Gießereialtsanden kann deshalb derzeit noch nicht erfolgen.

4.1.2.3 Verwertung bei der Zementherstellung

Bei der Zementherstellung werden als Korrekturstoff SiO₂-Träger benötigt. Gießereialtsande, die aus Quarzsand bestehen und nicht mit Wasserglas gebunden sind, kommen prinzipiell als SiO₂-Träger in Betracht und können Gruben- oder Flußsande ersetzen. Wird mit organischen Stoffen belasteter Gießereialtsand im herkömmlichen Herstellungsprozeß eingesetzt, können Schadstoffemissionen, die bei bei pyrolytischen Prozessen im Mahltrockner bei Temperaturen zwischen 250 und 300 °C entstehen, auftreten (Wolff, Haensel, 1991; Weiss, 1991). Nach dem Mahlen werden die Rohstoffe vorgewärmt, wobei eine teilweise Vorcalcinierung stattfindet. Aus energiewirtschaftlichen und technologischen Gründen erfolgt hierbei eine schrittweise Temperaturerhöhung der Materialien auf rund 850 °C. Dies führt beim Einsatz von Altsanden ebenfalls zum Ausgasen und teilweisen Vercracken der organischen Altsandbestandteile, die dann unverbrannt in die freie Atmosphäre gelangen können (Weiss, 1991).

Unter Beachtung des Minimierungsgebotes der TA Luft für kanzerogene Stoffe sind unterschiedliche Verfahrensmodifikationen bei der Zementherstellung denkbar, um derartige Emissionen zu vermeiden und einen vollständigen Ausbrand der organischen Altsandinhaltsstoffe oder der Pyrolyseprodukte zu gewährleisten. Hierunter zählen Maßnahmen wie die thermische Vorbehandlung des Altsandes mit kontrollierter Nachverbrennung der Abgase oder das Einblasen des gegebenenfalls separat gemahlenen Sandes unmittelbar am Ofeneinlauf. Derartige Verfahrensumstellungen werden zur Zeit großtechnisch erprobt (Winterhalter, 1991 a).

4.1.2.4 Verwertung in der Ziegelindustrie

In der Ziegelindustrie sind Gießereialtsande als Magerungsmittel bei zu fetten Tonen einsetzbar, sofern die maximale Korngröße 1 mm nicht übersteigt und der Altsand frei von Metallstücken ist. Damit beim Brennen der Ziegel keine erhöhten Emissionswerte auftreten, ist eine Rückführung der Abgase aus den Tunnelöfen mit anschließender Nachverbrennung erforderlich. Für die großtechnische Erprobung dieser Verwertungsmöglichkeit läuft derzeit im Raum Nürnberg ein Genehmigungsverfahren (Weiss, 1991).

4.1.2.5 Verwertung bei der Kalksandsteinherstellung

Detaillierte Untersuchungen der Kalksandstein-Industrie belegen, daß bentonit- und kunstharzgebundene Altsande als Zuschlagstoff bei der Herstellung von Kalksandsteinen nur wenig geeignet sind (Weiss, 1991). So ist bei mit tongebundenen Altsanden hergestellten Kalksandsteinen eine Erniedrigung der Druckfestigkeit sowie eine erhöhte Schwindung und Graufärbung der Steine zu verzeichnen. Mit harzgebundenen Altsanden hergestellte Kalksandsteine weisen eine verminderte Druckfestigkeit, geringere Frostbeständigkeit sowie eine deutliche Neigung zum Verfärben und Ausblühen auf. Sowohl bentonit- als auch kunstharzgebundene Altsande verschlechtern die Qualität der Abwässer des Hydrothermalprozesses deutlich (Weiss, 1991). Die Verwertung von Altsanden in Kalksandsteinen ist nicht praktikabel und wird nicht weiter verfolgt.

4.1.2.6 Verwertung als Verfüllmaterial für Schachtanlagen im Steinkohlebergbau

In Nordrhein-Westfalen werden, nach entsprechender Prüfung des Landesamtes für Wasser und Abfall, derzeit Gießereialtsande zur Verfüllung alter Schachtanlagen eingesetzt. Aus gebirgsmechanischen und bergtechnischen Gründen kann die Verfüllung von stillgelegten oder noch in Betrieb befindlichen Schachtanlagen des Steinkohlebergbaus erforderlich sein. Gießereialtsande sollen – neben anderen Abfall- und Reststoffen – die derzeit verwendeten Materialien ergänzen und ersetzen. Bei einer Untertageverbringung von Abfall- und Reststoffen sind der Schutz der Umwelt, der Lagerstätte, des Betriebes und der Belegschaft zu gewährleisten.

4.2 Verwertung der Stäube, Schlämme und des Feinanteils aus dem Formstoffumlauf und der Altsandregenerieung

Die betriebsinterne Verwertung der Stäube und Feinanteile erfordert eine separate Erfassung der verschiedenen Staubarten. Der Feinanteil wird mit Sichtern (z. B. Kaskadensichter, Fließbettsichter) während der Regenerierung aus dem Altsand entfernt. Aufgrund der nicht idealen Trennschärfe der Sichter und Entstaubungsanlagen gelangt immer wiederverwertbares Quarzkorn in die Stäube und den Feinanteil. Durch trennschärfere Verfahren kann der Quarzkornanteil gesenkt, jedoch nicht vollständig vermieden werden.

Erst durch eine gezielte Auftrennung des Feinanteils bzw. der Stäube in Stoffe, die in Gießereien wieder einsetzbar sind (z. B. aktiven Bentonit, guter Quarzsand) und sonstige Reststoffe läßt sich das Abfallaufkommen weiter reduzieren. Limitierend wirkt sich auf die Wiederverwendung der Wertstoffe im Formstoffkreislauf der Schadstoffgehalt (z. B. Schwefelgehalt) aus, durch den die geforderte Gußqualität und Produktionssicherheit nicht reduziert werden darf. Um die sehr feinkörnigen Partikelkollektive zu klassieren, sind Technologien mit geringer Trennkorngröße und hoher Trennschärfe erforderlich. Entsprechende Entwicklungsarbeiten sind derzeit in Gange.

Stäube und Feinanteile aus tongebundenen Formstoffkreisläufen, die hohe Anteile an aktivem Bentonit und nicht zerstörten Glanzkohlenstoffbildnern enthalten, können zum Teil der Formstoffaufbereitung wieder zugeführt werden. Kohlenstoffreiche Stäube aus der Regenerierung harzgebundener Altsande sind, unter Beachtung des Schwefelgehaltes, als Aufkohlungsmittel in Schmelzöfen (Eisen) einsetzbar (Wörmann, Winterhalter, Orths, 1983).

Ebenso wie bei der branchenfremden Verwertung von Gießereialtsanden ist bei den Stäuben/Schlämmen und dem Feinanteil, die im Gießereiprozeß nicht mehr einsetzbar sind, zu beachten, daß möglicherweise enthaltene Schadstoffe bei der Verwertung oder Deponierung nicht mit der Umwelt in Kontakt kommen oder im Zuge der Verwertung umweltverträglich beseitigt werden. Unter Beachtung dieser Grundsätze sind die in Kapitel 4.1.2 genannten außerbetrieblichen Verwertungsmöglichkeiten für Gießereialtsande auch für den Feinanteil und die Stäube geeignet, sofern die Anforderungen an die stoffliche Zusammensetzung und die Korngrößenverteilung erfüllt sind. Prinzipiell ist auch eine separate Inertisierung des Feinanteils und der Stäube denkbar, wodurch eine umweltverträgliche Verwertung erleichtert wird (z. B. Schüttmaterial, Zementherstellung). Erfolgt eine thermische Regenerierung der Altsande vor der Abtrennung des Feinanteils, ist dieser bereits ausreichend inertisiert und enthält keine organischen Bestandteile mehr.

In einem Betriebsversuch wurden brennbare Stäube aus einer Sandregenerierungsanlage für organisch gebundene Altsande als Brennstoff in die Düsen eines Kaltwindkupolofens eingeblasen. Neben einem erhöhten Schlackeanfall stiegen der Schwefeldioxid- und Stickstoffdioxidgehalt im Abgas nur geringfügig an (Winterhalter, 1991 b).

Zitierte und berücksichtigte Literatur

- -.-: Thermische Regenerierung zur umweltgerechten, wirtschaftlichen Behandlung von Gießerei-Altformstoffen und Schuttsanden. Giesserei 75 (1988) Nr. 13, S. 420
- -.-: Wendelbrecher zum Regenerieren auch von wasserglasgebundenem Formstoff. Giesserei 72 (1985) Nr. 3, S. 75ff.
- Ambos, E.: Urformtechnik metallischer Werkstoffe. 1. Aufl. Leipzig: VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie 1981
- Baier, J.: Stand der Entwicklungsarbeiten zur Vermeidung der PAH-Bildung in bentonitgebundenen Formstoffen. Giesserei 78 (1991) Nr. 11, S. 369ff.
- Bauch, G. u. a.: Einrichtung einer überbetrieblichen Wiederaufbereitungsanlage für Gießereialtsand. Im Auftrag des Bundesumweltamts. 1988
- 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.
- BaWü: Verwaltungsvorschrift des Umweltministeriums Baden-Württemberg zur Vermeidung, Verwertung und Beseitigung von Reststoffen nach § 5 Abs. 1 Nr. 3 des Bundesimmissionsschutzgesetzes (GABR 1989 Nr. 40 S. 1315ff.)
- Bindernagel, I.: VDG Taschenbücher 12: Formstoffe und Formverfahren in der Gießereitechnik. Düsseldorf: Giesserei-Verlag 1983
- Bode, E.; Bode, I.: Gussprodukte '91. Jahreshandbuch für Gußanwender mit Zulieferern und Ausstattern. Darmstadt: Verlag Hoppenstedt & Co. 1991
- 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.: Regenerierung bentonithaltiger Gießereialtsande Leitlinien einer wirtschaftlichen und reststoffreduzierten Prozeßführung. Giesserei 77 (1990) Nr. 19, S. 602ff.
- Brümmer, E.: Jahresübersicht Formstoffe (27. Folge) Teile 1 bis 3. Giesserei 77 (1990) Nr. 21, S. 670ff.
- Brunhuber, E.: Giesserei Lexikon Ausgabe 1991. 15. Aufl. Berlin: Schieler & Sohn 1991
- Casper, T.: Umweltschutz zwischen Nachsorge und Zukunftsmarkt. Giesserei 78 (1991) Nr. 2, S. 49ff.
- Dihlmann: Umweltministerium Baden-Württemberg, Stuttgart, persönliche Mitteilung, 1992
- Döpp, R.: Institut für Eisenhüttenkunde und Giessereiwesen der Technischen Universität Clausthal, persönliche Mitteilung, 1991
- Döpp, R.; Schneider, H.: Chemische und strukturelle Untersuchungen zum Wasserglas-CO₂-Verfahren. Giesserei 78 (1991) Nr. 21, S. 755ff.
- Engels, G.; Kucharcik, L.: Giessereikalender 1991. Düsseldorf: Giesserei-Verlag 1990
- Erhardt: Deutscher Asphaltverband (DAV), Offenbach/Main, persönliche Mitteilung, 1992
- Fiebeck: Fa. B.U.S., Lage, persönliche Mitteilung, 1992
- Fritz, A. H.; Schulze, G.: Fertigungstechnik. 2. Aufl. Düsseldorf: VDI-Verlag 1990
- Gärtner, C.; Boenisch, D.: Regenerierung bentonithaltiger Mischaltsande. Vortrag auf der VDG-Weiterbildung "Gießereialtsande und andere Reststoffe Vermeiden, Verwerten, Deponieren". Seminar Nr. 564. Düsseldorf 1991
- GefAst: Merkblätter Gefährliche Arbeitsstoffe. Hrsg. Kühn, Birett. Blatt-Nr. M 26, S 09
- Grandt, H.: Herstellung von Gußstücken nach dem Maskenformverfahren in einer schweizerischen Eisen-Gießerei. Giesserei 61 (1974) Nr. 10, S. 294ff.
- Hamann, H.J.; Kaschani, D.T.: Bestimmung und Gehalt von polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffen in Bitumen. Wasser-Luft-Betrieb, 12/1977.

- Hemsen, H. J.; Fuchs, K.: Einsatz von Trimethylamin bei der Kernherstellung nach dem Urethan-Cold-Box-Verfahren. Giesserei 78 (1991) Nr. 11, S. 372ff.
- Herrmann, U.; Koppe, L.; Steinert, U.: Sicherung der Formstoffqualität durch Prüfung spezifischer Altsandkenngrößen und betrieblicher Erfahrungen bei der Altregenerierung. Giesserei 78 (1991) Nr. 1, S. 15ff.
- Johnen, H.; Wenk, L.: Druckguß aus NE-Metallen. Technische Richtlinien. Verband Deutscher Druckgiessereien (Hrsg.). 3. Aufl. Düsseldorf: 1989
- Kirchner, F.: Kernsandzulauf zum Umlaufsand ein Kriterium für die Prozeßstabilität in der Formstoffaufbereitung. Giesserei 78 (1991) Nr. 1, S. 24ff.
- Klingenstein, W.: Wirtschaftliche Gesichtspunkte bei der Behandlung von Reststoffen in der Giesserei. Vortrag auf der VDG-Weiterbildung "Gießereialtsande und andere Reststoffe Vermeiden, Verwerten, Deponieren". Seminar Nr. 564. Düsseldorf 1991
- Krass, K.: Umweltvertäglichkeit von Asphalt. Deutscher Asphaltverband (DAV) (Hrsg.), Offenbach/Main, 1987
- LAGA: LAGA-Informationsschrift Abfallarten. Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (Hrsg.). 3. Aufl. Berlin: Erich Schmidt Verlag GmbH & Co. 1991
- Löblich, H. u.a.: Wirkungsgrad mechanischer Regenerieranlagen für kaltharzgebundene Umlaufformstoffe. Giessereiforschung 41 (1989) Nr. 3, S. 87ff.
- LWA: Studie zur Eignung von Steinkohlebergwerken im rechtsrheinischen Ruhrkohlebezirk zur Untertageverbringung von Abfall und Reststoffen. Landesamt für Wasser und Abfall Nordrhein-Westfalen. Düsseldorf 1991
- Mauersberger, G.: Institut für Gießereitechnik, Leipzig, persönliche Mitteilung, 1992
- Neumüller, O.-A.: Römps Chemie-Lexikon. 8. Aufl. Stuttgart: Franckh'sche Verlagshandlung 1983
- Parr, T.: BMD Badische Maschinenfabrik Durlach GmbH, persönliche Mitteilung, 1991
- Parr, T.; Wilhelmi, R.: Beitrag zum Vollformgießen von Eisen- und Stahlguß. Giesserei 78 (1991) Nr. 21, S. 750ff.
- Pohl, P.: Beispiele zur Regenerierung von Gießereialtsanden. Giesserei 77 (1990) Nr. 21, S. 659ff.
- Pohl, P.: Croning & Co. GmbH & Co. KG, persönliche Mitteilung, 1992
- Roes, H. L.; Wilhelm, L.: Mechanische Regenerierung von tongebundenen Gießerei-Mischaltsanden. Giesserei 77 (1990) Nr. 13, S. 443ff.
- Rosenthal, H.: Reststofferfassung, -verwertung und -entsorgung am Beispiel einer Eisengießerei Vortrag auf der VDG-Weiterbildung "Gießereialtsande und andere Reststoffe Vermeiden, Verwerten, Deponieren". Seminar Nr. 564. Düsseldorf 1991
- Rötters, H.: Thermische Regenerierung von kunstharzgebundenen Sanden auch in kleineren und mittleren Gießereien. Giesserei 74 (1987) Nr. 21, S. 653ff.
- Ruzbehi, M.: Thermomechanische Regenerierung von tongebundenem Altsand als Auffrischungssand für die Formstoffaufbereitung. Giesserei 74 (1987) Nr. 4, S. 85ff.
- Sachs: Heidelberger Druckmaschinen AG, Amstetten, persönliche Mitteilung, 1992
- Schneider, G. Wolff, H.: Chemisch gebundene Formstoffe und bentonithaltige Mischaltsande: Regeneriermaschinen und -anlagen. Vortrag auf der VDG-Weiterbildung "Gießereialtsande und andere Reststoffe Vermeiden, Verwerten, Deponieren". Seminar Nr. 564. Düsseldorf 1991
- Scholich, K.: Regenerierung chemisch gebundener Formstoffe. Vortrag auf der VDG-Weiterbildung "Gießereialtsande und andere Reststoffe Vermeiden, Verwerten, Deponieren". Seminar Nr. 564. Düsseldorf 1991
- Schönfeld: Umweltbundesamt (UBA), Berlin, persönliche Mitteilung, 1991
- Schwarzel, H.: Gießereialtsand dreistufig regenerieren. Giesserei 74 (1987) Nr. 21, S. 655ff.
- Spur, G.: Handbuch der Fertigungstechnik. Bd. 1 Urformen. München, Wien: Carl Hanser 1981
- StaBa: Abfallstatistik des Produzierenden Gewerbes. Fachserie 19, Reihe 1.2. Statistisches Bundesamt, Wiesbaden 1991
- StaLa: Statistisches Landesamt Baden-Württemberg, Stuttgart, persönliche Mitteilung, Mai 1991

- Stutzmann, W.; Godderige, V.: Ein- und mehrstufige Sandregenerieranlagen im Modulsystem Anlagenkonzeption und Betriebsergebnisse. Giesserei 79 (1992) Nr. 3, S. 110ff.
- Vauck, W.; Müller, H.: Grundoperationen der chemischen Verfahrenstechnik. 8. Aufl. Leipzig: VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, 1990
- VDG: Merkblatt R 400: Entsorgung von Gießereiabfällen. Verein Deutscher Gießereifachleute, Düsseldorf, 1987
- Weiss, R.; Kleinheyer, U.: Aktuelle Anwendungstrends der Form- und Kernherstellungsverfahren; Altsandregenerierung und Reststoffentsorgung (Teil 1). Giesserei 74 (1987) Nr. 21, S. 629ff. (a)
- Weiss, R.; Kleinheyer, U.: Aktuelle Anwendungstrends der Form- und Kernherstellungsverfahren; Altsandregenerierung und Reststoffentsorgung (Teil 2). Giesserei 74 (1987) Nr. 23, S. 691ff. (b)
- Weiss, R.: Ausserbetriebliche Verwertung von Giessereialtsanden. Vortrag auf der VDG-Weiterbildung "Gießereialtsande und andere Reststoffe Vermeiden, Verwerten, Deponieren". Seminar Nr. 564. Düsseldorf 1991
- Weiss, R.: VDG-Taschenbuch 11: Formgrundstoffe Vorkommen Eigenschaften Prüfung Einsatzmöglichkeiten. Düsseldorf: Giesserei-Verlag 1984
- Weller, E.: Möglichkeiten und Grenzen bei der Regenerierung von Gießereialtsanden. Giesserei 76 (1989) Nr. 10/11, S. 350ff.
- Weller, E.: Wirkungsweise unterschiedlicher Regenerierungsverfahren, untersucht anhand relevanter Eigenschaftswerte der verschiedenen Regenerate. Giesserei-Erfahrungsaustausch (1991) Nr. 5. S. 193ff.
- Wesp, S.; Enelhardt, W.: Thermische Kernsandregenerierung ein Beitrag zum Umweltschutz. Giesserei 77 (1990) Nr. 4, S. 103ff.
- Winterhalter, J.: Institut für Gießereitechnik, Düsseldorf. Persönliche Mitteilung, 1991 (a)
- Winterhalter, J.: Jahresübersicht Umweltschutz (17. Folge). Giesserei 78 (1991) Nr. 23, S. 859ff. (b)
- WiRu: Wirtschaftliche Rundschau: Eisen-, Stahl- und Temperguß- sowie Nichteisenmetallguß-Erzeugung in der Bundesrepublik Deutschland (alte Bundesländer). Giesserei 78 (1991) Nr. 5, S. 175ff.
- WiRu: Wirtschaftliche Rundschau: Westeuropäische Gießereiindustrie in 1989 und Anfang 1990. Giesserei 77 (1990) Nr. 15, S. 527ff.
- Wittenbrink: Umweltministerium Nordrhein-Westfalen, persönliche Mitteilung, 1992
- Wittwer, U.: Reduzierung von zu deponierendem Altsand durch Optimierung der Sandaufbereitung. Im Auftrag des Bundesministers für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. 1988
- Wolff, H.: Verein Deutscher Giessereifachleute, Düsseldorf, persönliche Mitteilung, 1991
- Wolff, H.; Haensel, P.: Verwertung von Gießereialtsanden Gießereifachleute und Behördenvertreter erörtern Lösungswege. Giesserei 78 (1991) Nr. 4, S. 119ff.
- Wörmann, H.; Winterhalter, J.; Orths, K.: Untersuchungen zur wirtschaftlichen Verwertung von Schlamm und Staub aus Entstaubungsanlagen von Gießereien. Teil 1. Staub und Schlamm aus Schmelzanlagen. Giesserei 69 (1982) Nr. 24, S. 687ff.
- Wörmann, H.; Winterhalter, J.; Orths, K.: Untersuchungen zur wirtschaftlichen Verwertung von Schlamm und Staub aus Entstaubungsanlagen von Gießereien. Teil 2. Staub und Schlamm aus Formstoff-umlauf und Putzerei. Giesserei 70 (1983) Nr. 3, S. 77ff.

Teil B – Untersuchung von vier Nichteisenmetall-Gießereien

Betriebs-Nr.	Eingesetzte Verfahren
000	Mechanisierte und automatisierte Naßgußfertigung ohne Kerne (Kupferlegierungen)
106	Automatisierte Großserienfertigung im Naßgußverfahren und in Kokillen mit Coldbox-Amin-Kernen (Aluminium)
178	Mechanisierte Naßgußfertigung mit Wasserglas- und Coldbox- Methylformiat-Kernen (Aluminium)
397	Einzelfertigung im Kaltharzverfahren, mechanisierte Naßgußfertigung mit Kaltharz- und Coldbox-Amin-Kernen sowie Kokillenguß mit Coldbox-Amin-, Hotbox- und Croning- Kernen (Aluminium)

IST-Analyse und Vermeidungs- und Verwertungskonzept

Betrieb Nr. 000:

Mechanisierte und automatische Naßgußfertigung ohne Kerne (Kupferlegierungen)

Inhaltsverzeichnis

1	Gußproduktion und Verfahren der Form- und Kernherstellung
2	Formstoffkreislauf
3	Mengenbilanz der Einsatzstoffe, Reststoffe und Produkte
4	Anforderungen an die Qualität der Einsatzstoffe
5	Analysen von Sanden und Stäuben
5.1	Probenahme und Analysenverfahren
5.2	Analysenergebnisse und Beurteilung
6	Vermeidungs- und Verwertungskonzept
6.1	Vermeidung von Strahlsand (R5) durch Verminderung des
	Sandeintrags in die Strahlmaschine
6.2	Verwertung des Strahlsandes (R5)
6.2.1	Trennung von Altsand und Edelstahl-Strahlmittel
6.2.1.1	Magnetabscheidung
6.2.1.2	Wirbelfeldscheider
6.2.1.3	Elektronische Allmetallabscheidung
6.2.1.4	Naß-mechanische Trennung
6.2.2	Wirtschaftliche Bewertung der Strahlsandaufbereitung
6.3	Verwertung des Strahlstaubes (R4)
6.4	Verwertung von Staub vom Ausleeren (R2)
6.5	Verwertung von Staub aus dem Schmelzbetrieb und den Gießplätzen (R6) 114
Anlage '	1
	<u>2</u>

1 Gußproduktion und Verfahren der Formund Kernherstellung

In der untersuchten Gießerei werden Kupfer- und Aluminiumlegierungen in Sandformen gegossen. Die Produktpalette umfaßt Kunstguß in Einzel- und Serienfertigung wie Plastiken, Reliefs, Schrifttafeln, Schriftzeichen u. a. Die Gesamtgußproduktion beträgt etwa 1000 t/a.

Das Erschmelzen der metallischen Einsatzstoffe (Blockmaterial, Kreislaufmaterial, fehlerhafte Abgüsse) erfolgt in mehreren Schmelz- und Warmhalteöfen. Durch Behandlung mit speziellen Schmelzbehandlungsmitteln wird das flüssige Metall gereinigt und entgast. Auf der Badoberfläche bildet sich eine körnige Schlacke, die in einem Fremdbetrieb weiterverarbeitet wird.

Der Flüssigmetalltransport und das Gießen werden mit Hängebahnen und Handpfannen durchgeführt.

Der größte Anteil der Gußproduktion wird im Naßgußformverfahren gefertigt. Weitere angewendete Formverfahren (Keramikguß, Gipsguß) werden auf Grund ihres mengenmäßig geringen Produktionsanteils nicht berücksichtigt. Auch die nach dem Wasserglas-CO₂-Formverfahren hergestellte Kernmenge ist so gering, daß sich eine gesonderte Betrachtung der Einsatzstoffe und Reststoffe erübrigt.

Nach dem Naßgußsand-Formverfahren wird in 3 Fertigungsbereichen gearbeitet:

- Gießerei I: In der Handformerei werden größere und kleinere Gußstücke in Einzelfertigung gegossen. An das Modell wird eine Schicht Modellsand angelegt und anschließend mit Kreislaufaltsand hinterfüllt. Der Formstoff wird durch Stampfen von Hand verdichtet. Der Modellsand ein mit Bindemittel und Zusatzstoffen stärker angereicherter Formstoff wird in Transportkübeln aus der Gießerei II bezogen. Der Kreislaufaltsand wird durch Schleudern (Auflockern, Homogenisieren) und Befeuchten gebrauchsfähig gemacht.
- Gießerei II: In diesem Bereich wird auf 3 Formmaschinen mit Rüttel-Preß-Verdichtung geformt. Es werden Gußstücke mittlerer bis kleiner Abmessungen in kleinen bis mittleren Stückzahlen gegossen. Als Formstoff wird Modellanlegeformstoff und Kreislaufhinterfüllformstoff verwendet. Der Modellsand wird in einem Kollermischer gemäß folgender Zusammensetzung aufbereitet:

Neusand	140	kg	19,1	%
Altsand	560	kg	76,4	%
Bentonit	18	kg	2,5	%
Glykol	18	kg	0,7	%
Glanzkohlenstoffbildner	0,23	kg	0,03	%
Wasser	10	kg	1,3	%

Der als Hinterfüllformstoff eingesetzte Ausleeraltsand wird durch Schleudern und Befeuchten aufbereitet.

Gießerei III: Formen zum Abgießen kleiner Gußteile in größeren Stückzahlen werden auf einer kastenlosen Vakuum-Preß-Formanlage gefertigt. Die Aufbereitung des Einheitsformstoffes erfolgt in einem Seitenwandmischer gemäß folgender Rezeptur:

Neusand	5 kg
Altsand	1250 kg
Bentonit	0,5 kg
Staub	8,5 kg
Glanzkohlenstoffbildner	60 g
Wasserzugabe bis zur Fertigsandfeuchte	Ŭ
von 3.0–3.5 %.	

Von dem in der Formerei abgesaugten Staub wird ein großer Teil in den Mischer zugegeben.

Die abgegossenen und abgekühlten Formballen werden auf einer Palettenbahn zur Ausleerschwingrinne transportiert. Wegen der relativ hohen Temperatur der flüssigen Bronze haften nach dem Ausleeren der Gußformen größere Mengen Formsand an den heißen Gußstücken an. In der Putzerei, die an die Gießerei III angegliedert ist, wird der anhaftende Formsand durch Strahlen von den Gußstücken entfernt. Als Strahlmittel wird ein sehr korrosionsbeständiges Edelstahlgranulat verwendet, da die fertigen Gußstücke häufig im Freien aufgestellt werden und unter Witterungseinfluß keine Korrosionserscheinungen durch am Gußstück anhaftende Strahlmittelrückstände auftreten dürfen.

In der Strahlanlage wird das Strahlmittel durch ein zweistufiges Sichtungsverfahren zurückgewonnen. Der Formsand, staubförmige Bestandteile, Strahlmittelunterkorn und Materialabrieb der Gußstücke werden mit dem Luftstrom ausgetragen. Durch eine Querschnittserweiterung wird die Luftgeschwindigkeit reduziert, so daß sich die relativ schweren und großen Partikel (R5; Formsand, Strahlmittelunterkorn, Materialabrieb) absetzen können. Der im Luftstrom verbleibende Strahlstaub (R4) wird in einer Abluftfilteranlage abgeschieden.

Abgesehen von kleinen, nicht genau bekannten Mengen Kehrrichtsand aus allen drei Naßgußlinien, ist die Strahlanlage (R5: Strahlsand, 250 t/a; R4: Stahlstaub, 33 t/a) die einzige Altsandanfallstelle im untersuchten Betrieb. Der Strahlsand (R5) und der Strahlstaub (R4) aus der Entstaubungsanlage werden zur Deponie entsorgt. Nach dem Strahlen folgt das eigentliche Putzen, d. h., das Abtrennen des Kreislaufmaterials (Gieß- und Speisesystem) und Entgraten.

Weitere Einzelheiten der Verfahren und der Fertigungstechnik sind in Tabelle 1 angegeben.

Prozeß	Verfahren / Technik	Produkt	
Schmelzen und Schmelzbehandlung	Schmelz- und Warmhalteöfen	Flüssigmetall: ca. 1800 t/a ca. 200 t/a	Cu-Legierungen (Bronze, Rotguß) Al-Legierungen
Formherstellung	Gießerei III: 1 Vakuum-Preß-Formanlage (Fa. DISA, Typ: "Disa-Forma 3030") Ballenabmessungen: 720 x 560 x 125/125 - 250/250 mm Formleistung (theor.): 130 F/h Ballenabkühldauer: 6uß-Sand-Trennung: Formstoffmischer: Formstoffmisch	Gußproduktion: ca. 900 t/a ca. 100 t/a Stückzahlen:	Cu-Legierungen Al-Legierungen Einzelfertigung bis mittelgroße Serien
	Gießerei II: 3 Rüttel-Preß-Formmaschinen Altsandaufbereitung: Schleudern, Sieben, Befeuchten Modellsandaufbereitung: Mischer: Kollermischer (Fa. Fischer, 700 kg Inhalt) Feuchtesteuerung: nach Wasseruhr Sandtransport: Kübel Gießerei I: Handformerei Altsandaufbereitung: Schleudern, Befeuchten Modellsand von Gießerei II		
	Gipsformverfahren Keramikformverfahren (Ceramcastverfahren)	Kunstguß	

Tab 1: Übersicht angewendeter Verfahren und Fertigungstechniken

2 Formstoffkreislauf

In den drei Fertigungsbereichen Handformerei, Maschinenformerei und Formanlage wird der beim Ausleeren anfallende Altsand nach dem Sieben und der Zwischenlagerung in Altsandbunkern zur Wiederverwendung den Mischern zugeführt.

In der Handformerei und in der Maschinenformerei (Gießerei I und II) werden die unvermeidlichen Formstoffverluste infolge Austrag mit dem Guß u. a. durch den im Modellsand enthaltenen Neusand ergänzt. Der als Hinterfüllformstoff eingesetzte Ausleersand wird durch Schleudern und Befeuchten verarbeitungsgerecht aufbereitet.

In der Formstoffaufbereitung der Gießerei III wird der Neusandanteil in den Mischer zugegeben. Außerdem wird zur Aufrechterhaltung des erforderlichen Schlämmstoffanteils der in der Formerei abgesaugte Staub dem Formstoff wieder zugegeben. Der rücklaufende Altsand wird durch Sieben gereinigt.

Der **Recyclinggrad** – das Verhältnis von Altsand zur Summe von Altsand (einschl. Staub) und Neusand – beträgt in der Gießerei III (Formautomat) **98,9** %.

In Abbildung 1 sind die Formstoffkreisläufe und Reststoffanfallstellen der drei Naßgußsand-Fertigungsbereiche schematisch dargestellt.

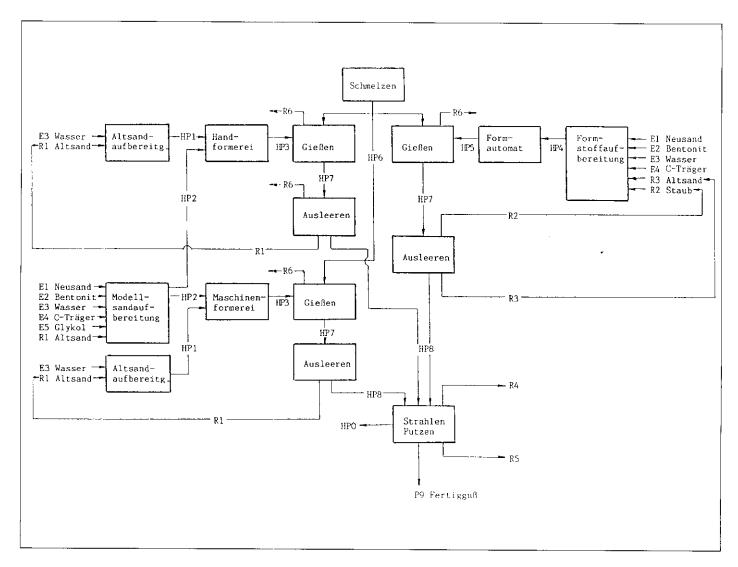


Abb. 1: Naßgußformerei

Erläuterungen zu Abbildung 1:

E1 Quarzsand (MK 0,13 mm)E4 Glanzkohlenstoffbildner

E5 Glykol

HP0 metallisches Kreislaufmaterial (Gieß- und Speisesystem am Gußstück)

HP1 aufbereiteter Naßgußaltsand
HP2 aufbereiteter Modellsand
HP3 gießfertige Naßgußformen
HP4 aufbereiteter Einheitsformstoff
HP5 gießfertige Naßgußformen

HP6 Flüssigmetall

HP7 abgegossene Formen

HP8 Rohguß

P9 versandfertiger Guß

R1 Ausleeraltsand (Hand- und Maschinenformerei)R2 abgesaugter Staub an der automat. Formanlage

R3 Ausleersand (automat. Formanlage)

R4 StrahlstaubR5 StrahlsandabfallR6 zinkhaltiger Staub

3 Mengenbilanz der Einsatzstoffe, Reststoffe und Produkte

In Tabelle 2 werden die Mengen und Anteile der Einsatzstoffe, Reststoffe und Produkte der drei Fertigungsbereiche zusammengefaßt angegeben.

Eins	Einsatzstoffe	Menge t/a	Anteil %	Reststoffe / Produkte	Menge t/a
Mode: E1 E2 E3 E4 E5 R1 HP2 Einhc E2 E3 R2 R3 R3	Modellsand El Neusand E2 Bentonit E3 Wasser E4 Glanzkohlenstoffbildner E5 Glykol R1 Altsand HP2 Aufbereiteter Modellsand E1 Neusand E2 Bentonit E4 Glanzkohlenstoffbildner E5 Glanzkohlenstoffbildner E6 Glanzkohlenstoffbildner E7 Staub E8 Kasser	112 14,4 8,4 0,2 4,15 421 560 560 138 18,1 1,3 31725 488 130	20 2,6 1,5 0,04 0,7 75,2 100 0,4 0,06 97,6 1,5	Zur Deponie: - von Hand und Maschinenformerei R5 Altsand R6 Zinkhaltiger Staub - von automat. Formanlage R5 Altsand R4 Staub R6 Zinkhaltiger Staub	112 15 15 138 18 10.b.
НР4	Aufbereiteter Formstoff	32500	100	Deponiemenge	283

Tab. 2: Einsatzstoffe, Reststoffe und Produkte der Naßgußformerei

Erläuterungen zu Tabelle 2:

Die angegebenen Mengen an Einsatzstoffen basieren auf den Rezepturen am Mischer für den Modellsand (700 kg) und am Mischer für den Einheitssand (1300 kg).

Zur Berechnung der aufbereiteten Menge an Einheitsformstoff wurden folgende Werte HP4 zugrunde gelegt:

Formmaschinenleistung:

92 Ballen/h bei 0,2 t Formstoff/Ballen

Mischerleistung:

1,3 t/3,7 min bzw. 21,08 t/h

Betriebszeit Formautomat: 8 h/d; 220 d/a

Betriebszeit Mischer:

7 h/d; 220 d/a

Bei der angegebenen Wassermenge von 1,5 % wurde eine Altsandrestfeuchte von **E**3 1,5-2,0 % angenommen, so daß die Feuchte des aufbereiteten Formstoffes 3,0-3,5 % beträgt.

Einsatzstoff	Menge in kg/100 kg		
	Flüssigmetall	guter Guß	
leusand gesamt	12,5	25,0	
Bentonit	1,6	3,2	
Metall : Sand-Verhältnis	1 : 16,5	1:33,0	

Tab. 3: Spezifischer Verbrauch an Einsatzstoffen

4 Anforderungen an die Qualität der Einsatzstoffe

Die Anforderungen an die Qualität der Einsatzstoffe werden maßgeblich bestimmt durch:

- Formstoffsystem
- Formverfahren
- thermische und mechanische Belastung (Verschleiß)
- Gußstückqualität

In Tabelle 4 sind die wesentlichen Kennwerte bzw. Richtwerte für die Einsatzstoffe der Formbzw. Kernherstellung angegeben. Diese Werte sollten regelmäßig überprüft werden.

insatzstoff	Richtwert		Prüfvorschrift
Quarzsand	Chem. Zusammensetzung		· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·
	SiO ₂	>99%)
	Fe ₂ O ₃	< 0,1 %) VDG-P 26
	Al_2O_3	< 0,5 %)
	Glühverlust	0,1-0,2%	VDG-P 33
	Schlämmstoffgehalt	0,1%	VDG-P 27
	Körnung (MK)		VDG-P 27
	Sinterbeg nn	>1500 °C	VDG-P 26
	Säureverbrauch		VDG-P 26
	Wassergehalt	< 0,1 %	VDG-P 26
Bentonit	Methylenblauwert	. (%))
	Naßzugfestigkeit	(N/cm²)) VDG-P 69
	Druckfestigkeit	(N/cm ²))
Altsand	Glühverlust	%	VDG-P 33
	C-Gehalt	%	VDG-P 33
	Körnungsanalyse		VDG-P 34
	Aktivbentonit	%	VDG-P 35
	Schlämmstoff		VDG-P 36
	Oolithisierungsgrad	%	VDG-P 43

Tab. 4: Kenn- und Richtwerte für die Einsatzstoffe zur Form- und Kernherstellung

5 Analysen von Sanden und Stäuben

5.1 Probenahme und Analysenverfahren

Von Reststoffen und Formsanden wurden am 6. 6. 1991 Proben entnommen und im IfG Düsseldorf analysiert. Die in Tabelle 5 genannten Proben wurden untersucht:

Proben- bezeichnung	beprobter Stoff	Probenahmeort Sammelbehälter der Sichteranlage	
St1	Strahlsand (R5)		
St2	Strahlstaub (R4)	Sammelbehälter der Sichteranlage	
St3	Formsand (HP4)	vor Formmaschine Gießerei III	
St4	Formsand (HP1)	vor Formmaschine Gießerei II	

Tab. 5: Untersuchte Sandproben

Die zur Untersuchung der Proben angewendeten Verfahren und Methoden sind in Anlage 1 angegeben.

5.2 Analysenergebnisse und Beurteilung

Die Einzelwerte der Untersuchungen sind in Anlage 2 tabellarisch zusammengestellt.

- Strahlsand (R5)

Der Wiedereinsatz des Strahlsandes setzt eine Separation des verschlissenen Edelstahlgranulates voraus. Andere Störstoffe sind nur in geringen Konzentrationen vorhanden.

- Strahlstaub (R4)

Die theoret. spez. Oberfläche von 310 cm²/g und ein Körnungsanteil der Korngröße > 0,12 mm von ca. 19 % zeigt eine recht gute Sichtungswirkung und damit wenig Sandverluste. Der Staub enthält nur geringe Mengen an Aktivstoffen (ca. 2 % Aktivbentonit) und kann in der Gießerei nicht mehr verwendet werden.

- Formsand (HP1 - Formanlage und HP4 - Maschinenformerei)

Die beiden Formstoffproben zeigen nahezu gleiche Analysenwerte und Gehalte an Aktivstoffen, obwohl die Anforderungen an den Formstoff beim Rüttel-Pressen niedriger sind als an der Vakuum-Preß-Formanlage. Die Aktivbentonitgehalte sind mit ca. 10 % für beide Verdichtungsverfahren sehr hoch.

6 Vermeidungs- und Verwertungskonzept

6.1 Vermeidung von Strahlsand (R5) durch Verminderung des Sandeintrags in die Strahlmaschine

Die Gußstücke werden nach dem Ausleeren an speziellen Gestellen aufgehängt und zur Strahlmaschine transportiert. Die Menge des Formsandes, der nach dem Ausleeren der Formen an den Gußstücken anhaftet (vgl. Abschnitt 1), hängt von der Temperatur der Gußteile ab. Sind die Gußstücke erkaltet, löst sich der Großteil des Sandes relativ leicht ab. Ausgehend von dieser Beobachtung ist es denkbar, die Gußstücke nach dem Ausformen erkalten zu lassen und den Sand durch Rütteln oder andere geeignete Maßnahmen bereits vor dem Strahlen soweit als möglich zu entfernen und in den Sandkreislauf zurückzuführen. Dadurch ließe sich die in die Strahlmaschine eingetragene Sandmenge und somit auch der mit Strahlmittel verunreinigte Strahlsandanfall reduzieren.

Im untersuchten Betrieb sollte daher überprüft werden, ob und auf welche Weise sich nennenswerte Sandmengen von den erkalteten Gußstücken ablösen lassen. Eine Abschätzung der vermeidbaren Strahlsandmenge ist erst nach entsprechenden Versuchen möglich. Nach erfolgreicher Erprobung ist für die Umsetzung der Entsandung zu prüfen, ob in der Gießerei ausreichend Raum zum Abkühlen der ausgepackten Gußstücke zur Verfügung gestellt werden kann.

Mit Hilfe eines dynamischen Kostenvergleichs läßt sich abschätzen, welcher ökonomische Nutzen sich für den Betrieb aus der Verminderung des Altsandeintrags in die Strahlmaschine ergibt.

Für die Kostenvergleichsrechnung werden folgende Annahmen getroffen:

- 1. Der vor der Strahlmaschine entfernte Altsand läuft direkt in den Formsandkreislauf ein. Diese Altsandmenge braucht nicht entsorgt zu werden.
- 2. Aus der Analyse der Formsande (HP1, HP4) läßt sich abschätzen, daß der Quarzkornanteil im Altsand ca. 85 % beträgt (15 % Bentonit und Quarzstaub). Die Neusandeinsparung durch die Abtrennung und Rückführung des Altsandes vor dem Strahlen liegt also bei 0,85 Tonnen pro Tonne Altsand.
- Der an den Gußstücken anhaftende Altsand ist thermisch stark belastet und enthält nur noch geringe Mengen an aktivem Bentonit. Der Bentonit, der bei der Rückführung des entfernten Altsandes in den Formsandkreislauf eingetragen wird, führt deshalb nicht zu einem reduzierten Bentonitverbrauch.

Bei der Wirtschaftlichkeitsrechnung wurden folgende Erlöse in Ansatz gebracht:

- eingesparter Neusand (inkl. Transport):

76,90 DM/t

- eingesparte Deponiekosten (inkl. Transport):

260,00 DM/t

Mit der dynamischen Kostenvergleichsrechnung wurde untersucht, welche Investitionen und Betriebskosten die Vermeidungsmaßnahmen verursachen dürfen, um die Erlöse aus eingesparten Deponiekosten und reduziertem Neusandbedarf nicht zu überschreiten. Da die mittelfristige Preisentwicklung der verschiedenen Erlös- und Kostenarten nur geschätzt werden kann, wurden bei der Wirtschaftlichkeitsrechnung zwei Preisszenarien berücksichtigt (vgl. Anhang 2). In Szenario 1 wird angenommen, daß für keine der berücksichtigten Kosten und Erlöse Preissteigerungen auftreten, die oberhalb der Inflationsrate liegen (0 % p.a. real). Szenario 2 beinhaltet moderate Preissteigerungen für die Neusandbeschaffung und Transportvorgänge von 2 % p.a. real. Für die Entsorgung wird in Szenario 2 eine Verdoppelung der realen Deponiekosten in 10 Jahren angenommen (7 % p.a. real).

Das Ergebnis der Wirtschaftlichkeitsrechnung ist in Abbildung 2 dargestellt. In Abhängigkeit von der Amortisationszeit, die der untersuchte Betrieb für die die Umsetzung der o.g. Maßnahme fordert, ist für eine Bandbreite des Kalkulationszinssatzes zwischen 3 und 9 % p.a. real angegeben, welcher Betrag pro vermiedener Tonne Altsand für Investition und Betrieb der Maßnahmen zur Sandentfernung zur Verfügung steht. Soll sich die Maßnahme beispielsweise in 5 Jahren amortisieren, so dürfen bei Szenario 1 für Beschaffung und Betrieb der Sandentfernung nicht mehr als ca. 325 DM/t vermiedenem Altsand aufgewendet werden. Bei steigenden Deponiekosten (Szenario 2) stehen rund 387 DM/t vermiedenem Altsand zur Verfügung.

Ein Vergleich des Betrags, der für die Umsetzung der Vermeidungsmaßnahmen zur Verfügung steht, mit den Beträgen für die Aufbereitung des Strahlsandes (vgl. Abschnitte 6.2.2 und 6.3) zeigt, daß die Vermeidung des Eintrags von Altsand in die Strahlmaschine unter ökonomischen Gesichtspunkten günstiger ist.

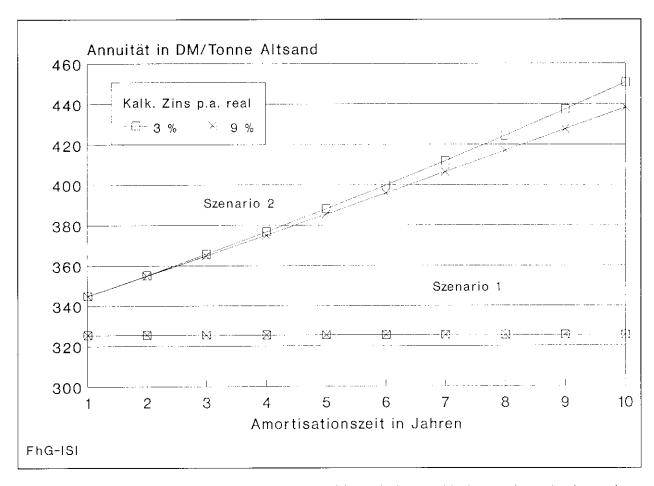


Abb. 2: Zulässige Kosten der Strahlsandvermeidung bei verschiedenen Amortisationszeiten, angegeben als Annuität, bezogen auf die vermiedene Strahlsandmenge

6.2 Verwertung des Strahlsandes (R5)

Der Strahlsand, der die Strahlanlage verläßt, setzt sich aus Formsand, Quarzstaub und Bentonit (überwiegend totgebrannt), Strahlmittelunterkorn und Materialabrieb der Gußstücke zusammen. Die Analysewerte für den Strahlsand weisen einen geringen Störstoffgehalt auf, so daß ein Wiedereinsatz zur Formherstellung möglich ist, sofern die Edelstahl-Strahlmittelreste aus dem Strahlsand entfernt werden können.

Eine Abschätzung der Analyseergebnisse läßt im Strahlsand einen Quarzkornanteil von ca. 90 % (225 t/a) erwarten. Der Eisenanteil (Strahlmittel) liegt bei 2 %, der Bronzeanteil beträgt

ebenfalls bei rund 2 %. Der verbleibende Anteil setzt sich aus Schlämmstoffen (Bentonit, Quarzstaub, Schamotte) zusammen.

Derzeit werden mit der Strahlanlage auch Gußstücke aus dem Keramik- und dem Gipsguß gestrahlt. Dadurch gelangen Keramik- und Gipsreste in den Strahlsand. Soll der aufbereitete Strahlsand in den Formstoffkreislauf zurückgeführt werden, dürfen keine Gipsbestandteile enthalten sein, da diese beim Abgießen der Formen mit Kupferlegierungen zu Gußfehlern führen. Der Strahlsand läßt sich nur gipsfrei halten, wenn die entsprechenden Gußstücke in einer separaten Anlage gestrahlt werden. Es ist zu überprüfen, ob die im untersuchten Betrieb vorhandenen Schlacken-Strahlmaschinen im bezug auf die Strahlleistung und die Kapazität ausreichen, um die Gipsgußproduktion bearbeiten zu können.

6.2.1 Trennung von Altsand und Edelstahl-Strahlmittel

Wie bereits in Abschnitt 1 erläutert, ist es nicht möglich, auf ein korrosionsfestes Strahlmittel zu verzichten. Versuche im untersuchten Betrieb haben gezeigt, daß magnetische Ferrolegierungen, die sich mit Magnetabscheidern vom Sand leicht abtrennen ließen, den gestellten Anforderungen an die Korrosionsbeständigkeit nicht genügen. Der Einsatz nicht-metallischer Strahlmittel (z. B. Schlacke) als Ersatz für das Edelstahl-Strahlmittel ist aus abfallwirtschaftlicher Sicht nicht sinnvoll, eine Trennung von nicht-metallischem Strahlmittelunterkorn und Formsand, wie sie für den Wiedereinsatz des Strahlsandes im Gießprozeß erforderlich ist, wegen des geringen Dichteunterschieds zwischen Stahl und Schlacke nicht erfolgen kann.

Dem Einsatz von nicht-metallischem Strahlmittel stehen auch wirtschaftliche Überlegungen entgegen. Die Dichte von nicht-metallischem Strahlmittel ist relativ gering, so daß die kinetische Energie der beschleunigten Strahlmittelkörner in der Strahlmaschine geringer ist als bei metallischem Strahlmittel. Dies hat zur Folge, daß Reinigungseffekt und Durchsatz an zu strahlendem Gut so niedrig sind, daß für den untersuchten Betrieb bei Verwendung von nicht-metallischem Strahlmittel mehrere Strahlmaschinen des derzeit eingesetzten Typs erforderlich wären.

Erfahrungen zur Abtrennung der Edelstahl-Strahlmittelreste aus dem Strahlsand liegen im untersuchten Betrieb derzeit nicht vor. Im folgenden werden eine Reihe technischer Maßnahmen dargestellt, die das vorliegende Trennproblem eventuell lösen können und eine Rückgewinnung des Quarzsandes aus dem Strahlsand ermöglichen. Ein weiteres Ziel ist es, die im Strahlsand enthaltenen Metalle soweit anzureichern, daß eine Verwertung erfolgen kann. Ob die beschriebenen Verfahren erfolgreich betrieben werden können, sollte in systematischen Versuchen ermittelt werden.

Zur Aufbereitung des Strahlsandes lassen sich prinzipiell der Massenunterschied, der Dichteunterschied, die Magnetisierbarkeit oder das unterschiedliche elektrische Verhalten elektrisch leitender und nicht-leitender Partikel im elektro-magnetischen Feld nutzen.

6.2.1.1 Magnetabscheidung

In einigen Gießereien wird für spezielle Anwendungen Chromitsand als Modellsand eingesetzt. Da Chromitsand im Vergleich zu normalem Quarzsand um den Faktor 20 teurer ist, wird er unter Ausnutzung seiner schwachen magnetischen Eigenschaften aus dem Altsand abgetrennt. Hierzu werden Magnetabscheider eingesetzt, die mit sehr hohen Feldstärken arbeiten. Ob diese Technik zur Entfernung der Strahlmittelreste aus dem Strahlsand mit Erfolg eingesetzt werden kann, hängt davon ab, ob der verwendete Edelstahl (V4) eine geringe Restmagnetisierbarkeit aufweist, die zur Trennung ausgenutzt werden kann.

6.2.1.2 Wirbelfeldscheider

Das unterschiedliche Verhalten leitender und nicht-leitender Partikel im magnetischen oder elektro-magnetischen Wirbelfeld läßt sich mit Nichteisen-Scheidern zur Trennung von Partikel-kollektiven, die NE-Metalle enthalten, nutzen. Voraussetzung ist, daß die abzuscheidenden Metalle gute elektrische Leiter sind und keine Magnetisierbarkeit aufweisen (paramagnetisch). Wirbelfeldscheider werden mit Erfolg zur Abtrennung von Kupferwerkstoffen und Aluminium aus gemischten Abfallfraktionen eingesetzt. Wegen seiner schlechten elektrischen Leitfähigkeit läßt sich Blei nicht mit Wirbelfeldscheidern separieren. Als untere Grenze der abtrennbaren Partikelgröße werden derzeit ca. 1 mm angegeben. Ob die Trennung von Sand und Strahlmittelunterkorn mit Wirbelfeldscheidern bewältigt werden kann, ist von den magnetischen Eigenschaften des Strahlmittels und von der Leistungsfähigkeit der Abscheider bei kleinen Korngrößen abhängig.

6.2.1.3 Elektronische Allmetallabscheidung

Mit der elektronischen Allmetallabscheidung lassen sich alle Metalle bis zu Korngrößen unterhalb 1 mm aus einem Partikelkollektiv entfernen. Die Partikel werden in dünnen Schichten über ein Sensorfeld zur Erkennung metallischer Teilchen transportiert. Das Sensorfeld steuert kleine Druckluftdüsen (analog zu Tintenstrahldruckern) an, die metallische Partikel durch einen gezielten, pneumatischen Luftstoß aus dem Partikelkollektiv entfernen. Die elektronische Allmetallabscheidung wird derzeit großtechnisch beim Altglasrecycling zur Entfernung von Aluminium- und Bleiteilchen aus Altglasbruch eingesetzt.

6.2.1.4 Naß-mechanische Trennung

Zur Trennung relativ kleiner Partikel mit unterschiedlicher Masse und/oder Dichte werden in der Aufbereitungstechnik naß-mechanische Verfahren eingesetzt. Für die vorliegende Trennaufgabe ist vermutliche ein zweistufiges Vorgehen geeignet. Aus dem mit Wasser aufgeschlämmten Strahlsand werden zunächst die Schlämmstoffe (z. B. Bentonit) mit Hydrozyklonen abgetrennt. Das grobe Material wird im Unterlauf des Hydrozyklons ausgetragen und kann mit Wendelscheidern nach der Dichte getrennt werden. Derartige naß-mechanische Trennverfahren werden großtechnisch zur Erzaufbereitung, zur Entaschung von Kohle, zur Enteisenung von Glassand oder zur Kaolinaufbereitung eingesetzt. Die Aufbereitung des Strahlsandes mit naß-mechanischen Methoden ist sicherlich durchführbar. Es ist jedoch zu beachten, daß hierbei Abwasser anfällt, das mit Bestandteilen des Strahlsandes verunreinigt ist.

6.2.2 Wirtschaftliche Bewertung der Strahlsandaufbereitung

Im folgenden wird untersucht, welcher ökonomische Nutzen aus der Verringerung der zu entsorgenden Strahlsandmenge durch eine der in den Abschnitten 6.2.1.1 bis 6.2.1.4 genannten Maßnahmen gezogen werden kann. Damit läßt sich abschätzen, welche Finanzmittel dem untersuchten Betrieb zur technischen Realisierung zur Verfügung stehen. Zur Wirtschaftlichkeitsuntersuchung werden folgende Annahmen getroffen:

- Die Strahlleistung und die Kapazität der vorhandenen Schlacken-Strahlanlagen reicht aus, um die im Gipsguß hergestellten Gußstücke zu strahlen, so daß der aufbereitete Quarzsand gipsfrei gehalten werden kann. Der aufbereitete Quarzsandanteil im Strahlsand (R5) ist somit vollständig zur Formherstellung in den drei Naßgußlinien einsetzbar.
- 2. Aus der Mengenbilanz und der Strahlsandanalyse läßt sich abschätzen, daß im Strahlsand (250 t/a) ca. 90 % Quarzsand (225 t/a) enthalten sind. Legt man einen Wirkungsgrad der vorgeschlagenen Maßnahmen von 90 % (bezogen auf den Quarzsand) zugrunde, beträgt die aufbereitete Quarzsandmenge und damit die eingesparte Neusandmenge rund 203 t/a.

- 3. Der Altsand, der an den Gußstücken anhaftet, ist thermisch hoch belastet. Im Strahlsand sind deshalb nur geringe Mengen an aktivem Bentonit enthalten. In der Wirtschaftlichkeitsberechnung wird deshalb auch für die naß-mechanische Aufbereitung, bei der eine Separation des Bentonits von den anderen Bestandteilen des Strahlsandes möglich ist, keine mit der Rückführung von Bentonit in den Formsand verbundene Einsparung berücksichtigt.
- 4. Es wird unterstellt, daß sich der abgeschiedene metallhaltige Anteil des Strahlsandes (47 t/a) wegen des störenden Einflusses von Kupfer beim Stahlrecycling nicht verwerten läßt, sondern deponiert werden muß. Die derzeit zu deponierende Strahlsandmenge von 250 t/a reduziert sich somit insgesamt um 203 t/a.

Ausgehend von diesen Annahmen werden bei der Wirtschaftlichkeitsberechnung folgende Erlöse berücksichtigt:

- eingesparter Neusand (inkl. Transport):

203 t/a zu 76,90 DM/t

- eingesparte Deponiekosten (inkl. Transport):

203 t/a zu 260 DM/t

Entsprechend der Vorgehensweise in Abschnitt 6.1 wurde bei der Wirtschaftlichkeitsrechnung für zwei Preisszenarien untersucht, welche Kosten die Anschaffung und der Betrieb einer Aufbereitungsanlage verursachen darf, um die Erlöse aus eingesparten Deponie- und Neusandbeschaffungskosten nicht zu überschreiten. Die Höhe der Aufwendungen für die Aufbereitungsanlage (inkl. Betrieb) ist von der vom untersuchten Betrieb geforderten Amortisationszeit und dem Kalkulationszinsfuß abhängig. In Abbildung 3 sind deshalb die Aufbereitungskosten in Abhängigkeit von der geforderten Amortisationszeit der Aufbereitungsanlage für zwei Kalkulationszinsfüße dargestellt. Wird eine Amortisationszeit der Anlage von 5 Jahren gefordert, so darf die Aufbereitung für Szenario 1 (keine realen Preissteigerungen) höchstens etwa 273 DM/t Altsand kosten. Bei einem Altsandaufkommen von 250 t/a entspricht dies einem Betrag von rund 68 000 DM/a. Bei steigenden Entsorgungskosten (Szenario 2) stehen zur Deckung der Anschaffungs- und Betriebskosten rund 324 DM/t Altsand zur Verfügung (81 000 DM/a).

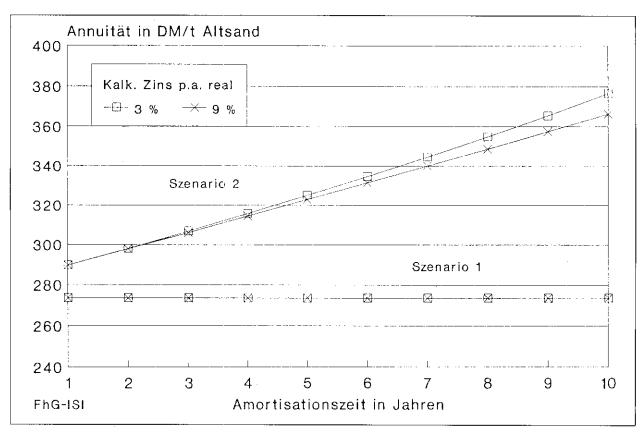


Abb.3: Zulässige Kosten der Strahlsandaufbereitung bei verschiedenen Amortisationszeiten, angegeben als Annuität, bezogen auf die aufzubereitende Strahlsandmenge

6.3 Verwertung des Strahlstaubes (R4)

Die granulometrische Analyse des Strahlstaubs zeigt, daß die Wirbelbettsichtung, die der Strahlanlage nachgeschaltet ist, eine recht gute Trennschärfe aufweist. Der Körnungsanteil >0,120 mm liegt bei ca. 19 %. Der Strahlstaub weist eine theoretische spezifische Oberfläche von 310 cm²/g auf. Aus der Staubanalyse läßt sich ableiten, daß trotz der Trennung durch Querschnittserweiterung (vgl. Abschnitt 6.2) vermutlich 40 % (13 t/a) Quarzkorn im Strahlstaub enthalten ist. Bei der Erprobung der in Abschnitt 6.2.1 aufgeführten Aufbereitungsverfahren sollte deshalb überprüft werden, ob der Sandanteil aus Strahlstaub (R4) und Strahlsand (R5) gemeinsam zurückgewonnen werden kann.

Der Strahlstaub enthält nur geringe Mengen an Aktivbentonit (2,1 %) und Edelstahl (2,3 %). Der Anteil an Kupferwerkstoffen liegt bei 10 % (Cu: 4,6 %; Zn 4,8 %; Pb: 0,7 %). Wegen des geringen Aktivbentonitgehalts ist der Einsatz des Strahlstaubs in der Gießerei nicht sinnvoll. Eine externe Verwertung des Strahlstaubes ist wegen des geringen Metallgehalts nur nach vorgeschalteten Schritten zur Aufkonzentrierung (vgl. Abschnitt 6.2.1.1 bis 6.2.1.4) denkbar.

Eine Rückgewinnung des Sandanteils aus dem Strahlstaub ist nur im Zusammenhang mit der Aufbereitung des Strahlsandes sinnvoll. In der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung wird deshalb die gemeinsame Aufbereitung von Strahlsand und Strahlstaub untersucht. Hierbei werden folgende Annahmen getroffen:

- Die Strahlleistung und die Kapazität der vorhandenen Schlacken-Strahlanlagen reicht aus, um die im Gipsguß hergestellten Gußstücke zu strahlen, so daß der aufbereitete Quarzsand gipsfrei gehalten werden kann (vgl. Abschnitt 6.2). Der aufbereitete Quarzsandanteil aus Strahlsand (R5) und Strahlstaub (R4) ist somit vollständig zur Formherstellung in den drei Naßgußlinien einsetzbar.
- 2. Aus der Strahlsandanalyse ergibt sich, daß im Strahlsand (250 t/a) ca. 225 t/a Quarzsand enthalten sind (vgl. Abschnitt 6.2.2). Im Strahlstaub (33 t/a) sind rund 13 t/a Quarzsand enthalten. Legt man einen Wirkungsgrad der vorgeschlagenen Maßnahmen von 90 % (bezogen auf den Quarzsand) zugrunde, beträgt die aufbereitete Quarzsandmenge und damit die eingesparte Neusandmenge rund 214 t/a.
- 3. Der Altsand, der an den Gußstücken anhaftet, ist thermisch hoch belastet. Im Strahlsand und im Strahlstaub sind deshalb nur geringe Mengen an aktivem Bentonit enthalten. In der Wirtschaftlichkeitsberechnung wird deshalb auch für die naß-mechanische Aufbereitung, bei der eine Separation des Bentonits von den anderen Bestandteilen des Strahlsandes und -staubes möglich ist, keine mit der Rückführung von Bentonit verbundene Einsparung berücksichtigt.
- 4. Es wird unterstellt, daß sich die abgeschiedene, metallhaltige Fraktion aus Strahlstaub und Strahlsand (69 t/a) wegen des störenden Einflusses von Kupfer beim Stahlrecycling nicht verwerten läßt, sondern deponiert werden muß. Die bisher zu deponierende Strahlsandund Strahlstaubmenge von 283 t/a reduziert sich somit insgesamt um 214 t/a.

Ausgehend von diesen Annahmen werden bei der Wirtschaftlichkeitsberechnung folgende Erlöse berücksichtigt:

- eingesparter Neusand (inkl. Transport): 214 t/a zu 76,90 DM/t

- eingesparte Deponiekosten (inkl. Transport): 214 t/a zu 260 DM/t

Die Wirtschaftlichkeitsrechnung wurde analog der Berechnung in Abschnitt 6.2.2 für zwei Preisszenarien und für zwei Kalkulationszinssätze durchgeführt. In Abbildung 4 sind die Aufbereitungskosten in Abhänigkeit von der geforderten Amortisationszeit der Aufbereitungsanlage

für den Strahlstaub und den Strahlsand dargestellt. Wird eine Amortisationszeit der Anlage von 5 Jahren gefordert, so darf die Aufbereitung bei real unveränderten Preisen (Szenario 1) ungefähr 255 DM/t aufzubereitendem Strahlsand und -staub kosten. Bei einem Altsandaufkommen von insgesamt 283 t/a entspricht dies einem Betrag von 72 000 DM/a. Bei steigenden Deponiekosten erhöht sich der zulässige Aufwand auf rund 302 DM/t Altsand (85 000 DM/t). Wegen des geringeren Anteils von zurückgewinnbarem Quarzsand an der aufbereiteten Abfallmenge durch die Mitbehandlung des Strahlstaubes reduziert sich der zur Verfügung stehende Betrag gegenüber der alleinigen Aufbereitung des Strahlsandes (vgl. Abschnitt 6.2.2).

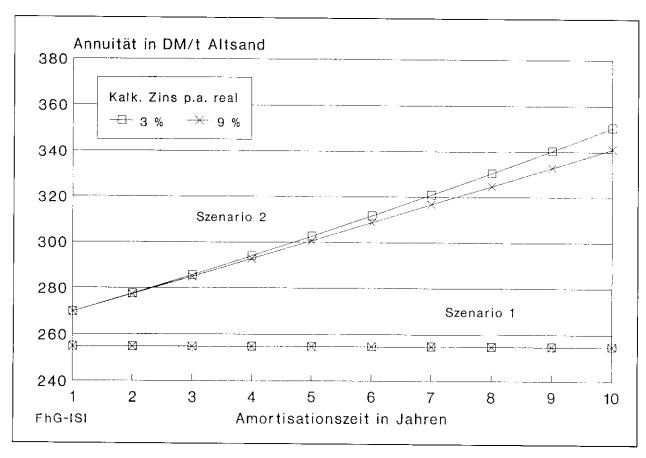


Abb. 4: Zulässige Kosten der gemeinsamen Strahlsand- und Strahlstaubaufbereitung bei verschiedenen Amortisationszeiten, angegeben als Annuität, bezogen auf die aufzubereitende Strahlsand- und Strahlstaubmenge

6.4 Verwertung von Staub vom Ausleeren (R2)

Beim Ausleeren der Gußformen, die mit den automatischen Formanlagen hergestellt werden, wird der entstehende Staub abgesaugt. Dieser Staub enthält neben Quarzsand, Quarzstaub und totgebranntem Bentonit größere Mengen an aktivem Bentonit. Dieser Staub wird vollständig verwertet, indem er der Formstoffaufbereitung der automatischen Formanlagen zugeführt wird.

In der Hand- und in der Maschinenformerei erfolgt, abgesehen von den Gießplätzen (vgl. Abschnitt 6.5) keine Entstaubung.

6.5 Verwertung von Staub aus dem Schmelzbetrieb und den Gießplätzen (R6)

Über den Schmelzöfen und den Gießplätzen wird aus Arbeitsschutzgründen zinkoxidhaltiger Staub abgesaugt. Dieser Staub wird wegen des Zinkgehaltes zur Verwertung abgegeben.

Anlage 1
Verfahren und Methoden der Probenuntersuchungen

Prüfgröße		Prüfverfahren
C	%	je nach C-Gehalt: Verbrennungs- verfahren - Infrarot/Coulometrisch
S	%	<pre>je nach S-Gehalt: Verbrennungs- verfahren - Infrarot/Coulometrisch</pre>
N	%	Kjelldahl
P	%	ICP
Fe ges.	%	RFA
Al2 03	%	RFA
TV (H2O)	%	P 32
GV ges.	%	P 33
GV Sand	%	P 36
flüchtige Bestandteile	%	F 8/9 VDG-Vorlage 1975
Aktivton	%	IfG-Handblatt 3
Schlämmstoffe	%	P 34
Schamotte	%	IfG-Handblatt 54
MK	mm	P 34
рH		IfG-Handblatt 187
Säureverbrauch	ml	P 26
Laugenverbrauch	mg	IfG-Handblatt 186
Eisenpartikel	%	wiegen
Kornverteilung		P 34

Anlage 2
Ergebnisse der Probenuntersuchungen

Probenbezeich	nung	St 1	St 2	St 3	St 4
С	8	0,23	0,41	0,42	0,40
S	ક	0,019	0,188	0,029	0,023
N	8	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
P	8	0,004	0,062	<0,001	<0,001
Fe ges.	8	2,1	2,3	0,5	0,6
Al ₂ 0 ₃	8	1,6	2,1	2,0	1,6
TV (H ₂ O)	ક	0,15	6,15	2,70	2,40
GV ges.	8	0,4	0,3	1,4	1,9
GV Sand	8	0,3	0,4	0,2	0,1
fl. Best.	8	0,4	1,2	1,3	1,4
MBd	8	0,4	0,7	3,4.	3,4
Schlämm.	8	2,1	21,0	12,0	12,0
Schamotte	8	5,4	7,8	2,4	1,6
mm MK		0,12	0,09	0,12	0,13
Cu	8	0,60	4,56	0,26	0,24
Zn	8	1,06	4,81	0,40	0,34
Pb	ક	0,14	0,65	0,058	0,061

St 1 - Altsand aus Sichter (Strahlsand)

St 2 - Strahlstaub

St 3 - Formsand Anlage 3

St 4 - Formsand Anlage 2

IST-Analyse und Vermeidungs- und Verwertungskonzept

Betrieb Nr. 106:

Automatisierte Großserienfertigung im Naßgußverfahren und in Kokillen mit Coldbox-Amin-Kernen (Aluminium)

Inhaltsverzeichnis

1	Gußproduktion und Verfahren der Form- und Kernherstellung
2	Formstoffkreislauf
3	Mengenbilanz der Einsatzstoffe, Reststoffe und Produkte
4	Anforderungen an die Qualität der Einsatzstoffe
5 5.1 5.2	Analysen von Sanden und Stäuben
6 6.1 6.1.1 6.1.2 6.1.3 6.1.4 6.2 6.2.1 6.2.2 6.3	Vermeidungs- und Verwertungskonzept13°Maßnahmen zur Erleichterung einer Altsand-Regenerierung13°Vereinheitlichung der Bindersysteme13°Vereinheitlichung der verwendeten Sande13°Getrennte Erfassung von Kernaltsand aus dem Naßguß13°Verbesserung der Prozeßstabilität bei der Kernherstellung13°Regenerierung des Kernaltsandes (R4) und des Polygonsiebüberlaufs (R2)13°Auswahl des Regenerierungssystems13°Wirtschaftliche Bewertung13°Verwertung der Stäube verschiedener Absaugstellen im Sandkreislauf (R3)13°
Anlage 1	

1 Gußproduktion und Verfahren der Formund Kernherstellung

In der untersuchten Gießerei werden Gußstücke aus Aluminium in Sandformen nach dem Naßgußsand-Formverfahren und in metallische Dauerformen nach dem Druckguß- und Schwerkraftkokillenguß-Verfahren gegossen. Es werden Gußteile für den Fahrzeugbau und Maschinenbau als Einzelstücke oder in Großserien hergestellt und zum Teil spanend fertig bearbeitet.
Die in Sandformen gefertigte Gußproduktion beträgt über 2000 t/a.

Das Erschmelzen der metallischen Einsatzstoffe und das Speichern der Schmelze erfolgt in mehreren elektrisch oder mit Gas beheizten Schmelz- und Warmhalteöfen. Die Sandformen werden mit einer automatischen Vergießeinrichtung abgegossen.

Die Sandformen werden auf zwei Formanlagen gefertigt. Auf einem Formautomaten (Formanlage I) erfolgt die Verdichtung des Naßgußformstoffes nach dem Vakuum-Schieß-Preß-Verfahren. Die kastenlosen Formballen werden auf einer rollengetriebenen Palettenbahn zum Abgießen und Abkühlen bis zum Ausleerrüttelrost transportiert. Auf Formanlage II werden größere Gußstücke abgeformt. Die Formmaschine arbeitet nach dem Rüttel-Preß-Verfahren. Der Formen- und Formkastentransport erfolgt auf Rollenbahnen.

Der im Wirbelmischer aufbereitete Formstoff besitzt folgende Kennwerte (Formanlage I):

Verdichtbarkeit	33	%
Wassergehalt	4,3	%
Druckfestigkeit	24,2	N/cm ²
Spaltfestigkeit	5,35	N/cm ²
Gasdurchlässigkeit	75	
Glühverlust	2,5	%
Schlämmstoffgehalt	16,2	%
Aktivbentonitgehalt	11,7	%
mittlere Korngröße	0,22	mm

In die Naßgußsandformen beider Formanlagen werden Cold-Box-Amin-Kerne und in geringerem Umfang Pep-Set-Kerne eingelegt. Auch in die metallischen Dauerformen (Kokillen) werden Cold-Box-Kerne eingelegt. Die Cold-Box-Kernfertigung erfolgt durchweg in gekapselten Kernschießmaschinen bzw. Kernschießautomaten mit Absaugung und Neutralisation des Katalysatorgases im Gaswäscher.

Weitere Einzelheiten der Verfahren und Fertigungstechnik werden in Tabelle 1 angegeben.

Prozeß	Verfahren / Technik	Produkt	
Druckguß-Verfahren			
Schmelzen	1 Kippofen 0,5 t 1 Wannenofen 4,0 t 1 Wannenofen 4,5 t 1 Wannenofen 5,5 t 1 Wannenofen 16,0 t für Flüssigmetall- einsatz	A1-Schmelze	
Schmelzbehandlung	1 Rotations-Entgasungsanlage, verfahr- bar für Tiegel- und Schöpfofenent- gasung		
Gießen	17 Horizontal-Kaltkammer-Druckgieß-maschinen mit Schließkräften von 200 - 2800 t Alle Maschinen mit automatischen Dosiervorrichtungen.	Gußproduktion: 3.80 Gußstückmassen: 0,1 Stückzahlen: Groß	3.800 t/a guter Guß 0,1 40 kg Großserien

Tab. 1: Übersicht angewendeter Verfahren und Fertigungstechniken (Blatt 1)

Prozeß	Verfahren / Technik	Produkt	
Kokillenguß-Verfahren			
Schmelzen	8 Kippöfen 0,5 t 1 Induktionsofen 0,8 t	Al-Schmelze	
Schmelzbehandlung	l Rotations-Entgasungsanlage, verfahrbar für Tiegel- und Schöpfofenent- gasung		
Gießen	Universal— und Spezialgießmaschinen, horizontal und vertikal:	n: en:	900 t/a guter Guß 0,1 85 kg
,	16 Mehrzweckmaschinen 9 Einzweckmaschinen 2 Kippgießmaschinen mit MC-gesteuer- ter Vergießeinheit 1 Automat. Gießkarussell mit 8 aus- tauschbaren Mehrzweckböcken und automat. Schöpfeinrichtung	Stuckzahlen: mittel	Mittelgroße bis große Serien

Tab. 1: Übersicht angewendeter Verfahren und Fertigungstechniken (Blatt 2)

Prozeß	Verfahren / Technik	Produkt	
Sandguß-Verfahren			
Schmelzen	2 Tiegelöfen 0,5 t 6 Kippöfen 0,5 t 1 Wannenofen 5,0 t	Flüssigmetall: 4	4.800 t/a Al~Legierungen
Schmelzbehandlung	<pre>2 vakuumentgasbare Schmelzbehandlungs- pfannen 1 Rotations-Entgasungsanlage für Fahr- tiegel</pre>		
Formherstellung und Gießen an Formanlage I	Naßgußsand-Formverfahren 1 Vakuum-Schieß-Preß-Formautomat (Typ "Formatic") Abmessungen der kastenlosen Formballen: 720 x 520 x 250/250 mm Leistung: 100 Formen/h Formentransport: Palettenbahn mit Rollenantrieb Gießen: Automat. MC-Prozessor-gesteu- erte Vergießeinheit ("Westomat" 300, 3.000 kg Al)	Produktpalette: G Gußproduktion: 2 Gußstückmassen: b Stückzahlen: E	Guß für Fahrzeugbau, Maschinenbau, Elektro- technik u. a. 2.400 t/a guter Guß bis 200 kg Einzelgußstücke bis kleine Serien

Tab. 1: Übersicht angewendeter Verfahren und Fertigungstechniken (Blatt 3)

Prozeß	Verfahren / Technik	Produkt
Formherstellung und Gießen an Formanlage II	1 Rüttel-Preß-Formmaschine (Fa. Künkel & Wagner) Formkastenabmessung: 1250 x 800 x 300/300 mm Leistung: 14 Formen/h Formentransport: Rollenbahn Gießen: Vergießeinheit für elektrisch beheizte Tiegelpfannen (Fa. Hindelang)	
Kernherstellung	Begasungs-Cold-Box-Kernformverfahren (Cold-Box-Verfahren) Formstoffaufbereitung: 1 Flügelmischer (Fa. Vogel & Schemmann, 100 kg) 1 Kugelmischer (Fa. Michel, 100 kg) Kernherstellung: 6 gekapselte und abgesaugte Kern- schießmaschinen (5 x Fa. Röper H5 - H25 und 1 x Fa. Lämpe 25) 1 vollautomatische Kernschießmaschine ("Peterle") 1 Rundtaktkernschießautomat 1 Bunchlaufmischer ("Turbomix") für große Kaltharzkerne (Pep-Set-Verf.)	Kerneinsatz: Naßgußform-Verfahren Kokillenguß-Verfahren

Tab. 1: Übersicht angewendeter Verfahren und Fertigungstechniken (Blatt 4)

2 Formstoffkreislauf

Zur Kernherstellung wird ausschließlich Neusand verwendet (5 500 t/a). Die Auffrischung des Formsandkreislaufs und der Ausgleich von Formsandverlusten (z. B. Entstaubung, Polygonsiebüberlauf, am Gußstück anhaftender Formsand) erfolgt durch den Zulauf von Kernsand. Der in den Formsand einlaufende Kernsand wird auf rund 10 % der eingesetzten Kernsandmenge geschätzt (550 t/a). Eine Neusandzugabe in den Formsandkreislauf erfolgt nicht.

Der beim Ausleeren der Formen anfallende Altsand wird nach dem Sieben (Polygonsieb) und Entstauben (Absaugung beim Sieben) der Formstoffaufbereitung zugeführt und erneut eingesetzt. Die beim Sieben anfallende Abfallmenge an Formstoff- und Kernknollen (R2) entspricht der Kernaltsandmenge, die infolge des Kernzerfalls durch thermische und mechanische Belastung der Kerne beim Gießen und Ausleeren in den Formstoff gelangt.

Die während des Ausrüttelns nicht aus den Gußstücken ausfallenden Kernreste (R4) werden in einem Kernausschlagraum entfernt und mit dem dabei abgesaugten Staub (R3) zur Deponie gebracht.

Der **Recyclinggrad** – das prozentuale Verhältnis von Altsand zur Summe von Altsand und Neusand für Formen und Kerne – beträgt **92,3** %.

Im Abbildung 1 sind der Kreislauf des Naßgußsandes und die Reststoffanfallstellen schematisch dargestellt.

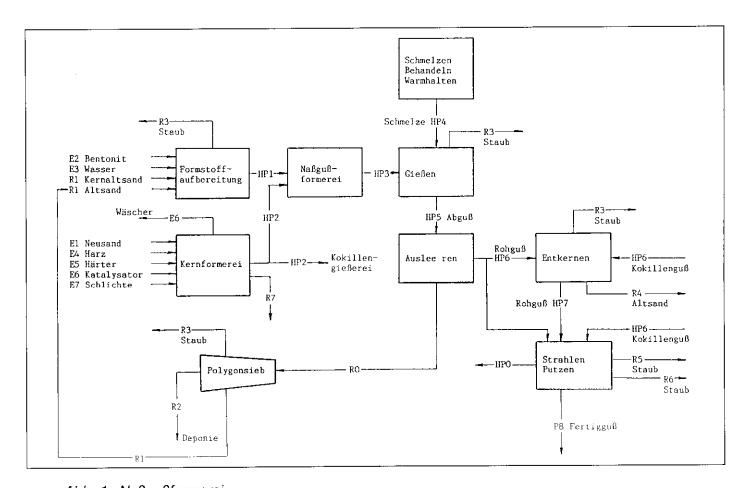


Abb. 1: Naßgußformerei

Erläuterungen zu Abbildung 1:

3 Mengenbilanz der Einsatzstoffe, Reststoffe und Produkte

In Tabelle 2 werden die Mengen und Anteile der Einsatzstoffe und der anfallenden Reststoffe angegeben.

t/a	Anteil %	Rests	Reststoffe / Produkte	Menge t/a
308 141 1392 65743	0,50 0,2 2,0 2,0 97,3	Zur D R2 R4 R3 R7	Zur Deponie: R2 Siebabfälle (50 % Kerne, 50 % NG-Knollen) R4 Kernaltsand R3 Staub R7 Kernbruch. (Derfall-, Restsand	308 3601 132 1600
67584	100	R6	Schleifstaub Strahlstaub	5641 n.b.
(Harz) 33 (Härter) 33 16,8 7,08	98,8 0,6 0,6 	HP2	Kerne für Naßgußformerei (80 %) und für Kokillengießerei (20 %)	3173
5566	100			<u>-</u>
	16, 7, 7, 5566			

Tab. 2: Einsatzstoffe, Reststoffe und Produkte der Naßgußformerei und der Kernformerei

Erläuterungen zu Tabelle 2:

- E1 Die im Jahre 1989 ausgewiesene Neusandmenge wurde auch für 1990 zum Ansatz gebracht.
- Die Bentonitmenge wurde aus der je Mischung und Formanlage angegebenen Bentonitzugabemenge von 2 kg errechnet (siehe HP1).
- Wasser: Bei der angegebenen Wassermenge von 2 % wurde eine Altsandrestfeuchte von 2 % angenommen, so daß die Feuchte des aufbereiteten Formstoffes ca. 4 % beträgt.
- **E4, E5** Die Binderkomponenten in t/a wurden aus der Neusandmenge und dem mittleren Rezepturanteil von 0,6/0,6 % errechnet.
- HP1 Aufbereiteter Formstoff: Wurde auf Basis folgender Firmen-Angaben errechnet:

Formstoffbedarf:

Formanlage I

26,5 t/h

Betriebszeit:

Formanlage II 11,9 t/h 8 h/d entspricht 220 d/a

- R1, R2 Zulaufender Kernaltsand: Entspricht dem Polygonsiebaustrag von 1,4 t/Schicht.
- R3 Staub (am Naßabscheider anfallende Schlammenge)

insatzstoff	Menge in kg/100 kg	
	Flüssigmetall	guter Guß
leusand	91,7	183,3
Bentonit	2,9	5,9
/letall : Sand-Verhältnis	1:15,0	1:30,0

Tab. 3: Spezifischer Verbrauch an Einsatzstoffen im Naßguß

4 Anforderungen an die Qualität der Einsatzstoffe

Die Anforderungen an die Qualität der Einsatzstoffe werden maßgeblich bestimmt durch:

- Formstoffsystem
- Formverfahren
- thermische und mechanische Belastung (Verschleiß)
- Gußstückqualität

in Tabelle 4 sind die wesentlichen Kennwerte bzw. Richtwerte für die Einsatzstoffe der Formbzw. Kernherstellung angegeben. Diese Werte sollten regelmäßig überprüft werden.

Einsatzstoff	Richtwert		Prüfvorschrift
Quarzsand	Chem. Zusammensetzung		
	SiO ₂	>99 %)
	Fe_2O_3	< 0,1 %) VDG-P 26
	Al_2O_3	< 0,5 %)
	Glühverlust	0,1-0,2 %	VDG-P 33
	Schlämmstoffgehalt	0,1 %	VDG-P 27
	Körnung (MK)		VDG-P 27
	Sinterbeginn	< 1500 °C	VDG-P 26
	Säureverbrauch		VDG-P 26
	Wassergehalt	< 0,1 %	VDG-P 26
Bentonit	Methylenblauwert	(%))
	Naßzugfestigkeit	(N/cm²)) VDG-P 69
	Druckfestigkeit	(N/cm²))
Altsand	Glühverlust	%	VDG-P 33
	C-Gehalt	%	VDG-P 33
	Körnungsanalyse		VDG-P 34
	Aktivbentonit	%	VDG-P 35
	Schlämmstoff	%	VDG-P 36
	Oolithisierungsgrad	%	VDG-P 43
Harzbinder	Dichte)
	Viskosität) VDG-P 70
	Stickstoffgehalt)
Schlichte	Viskosität)
	Feststoffgehalt) VDG-P 79
	Sinterbeginn)

Tab. 4: Kenn- und Richtwerte für die Einsatzstoffe zur Form- und Kernherstellung

5 Analysen von Sanden und Stäuben

5.1 Probenahme und Analysenverfahren

Vom Naßgußformsand und vom Schlamm aus der Naßentstaubung wurden am 5. 4. 1991 Proben entnommen und diese im IfG Düsseldorf analysiert. Die untersuchten Proben sind in Tabelle 5 zusammengestellt.

Proben- bezeichnung	beprobter Stoff	Probenahmeort
Ha 1	Naßgußformsand (R1)	Formanlage I
Ha 2	Schlamm (R3)	Schlammsammelbehälter am Naßabscheideraustrag

Tab. 5: Untersuchte Sandproben

Die zur Untersuchung der Proben angewendeten Analysenverfahren sind in Anlage 1 angegeben.

5.2 Analysenergebnisse und Beurteilung

Die Einzelergebnisse der Untersuchungen sind in Anlage 2 tabellarisch angegeben.

Naßgußaltsand (R1)

Der Anteil an Aktivbentonit ist mit <11 % (MBd: 3,9 %) sehr hoch und in solch hohem Anteil nicht notwendig. Sollte ein Schlämmstoffgehalt von ca. 15 % erforderlich sein, so ist eine mögliche Staubrückführung zu prüfen.

- Schlamm (R3)

Eine hohe theoret. spez. Oberfläche des Staubes (325 cm²/g) und ein geringer Anteil an Körnungsmaterial >0,18 mm (23,4 %) zeigen eine wirksame Absaugung. Auf Grund des hohen Anteils an Aktivbentonit (ca. 30 %) sollte ein Wiedereinsatz des Staubes (Schlamm) geprüft werden.

6 Vermeidungs- und Verwertungskonzept

6.1 Maßnahmen zur Erleichterung einer Altsand-Regenerierung

Im folgenden werden eine Reihe von Maßnahmen dargestellt, die im untersuchten Betrieb im Hinblick auf eine Regenerierung des Altsandes und auf den Einsatz des Regenerats in der Kernherstellung getroffen wurden. Hierbei sind die Erfahrungen des Betriebs, der bereits eine Vielzahl von Versuchen zur Regenerierung und zum Einsatz von Regenerat in der Kernherstellung durchgeführt hat, eingeflossen.

6.1.1 Vereinheitlichung der Bindersysteme

Vor der Vereinheitlichung der Bindersysteme in der Kernherstellung wurde im untersuchten Betrieb eine Reihe verschiedener Bindersysteme eingesetzt (Wasserglas, Coldbox-Methylformiat, Croning, Furanharz), die mit Bentonit aus dem Formsandkreislauf und zum Teil untereinander schlecht verträglich sind (vgl. Teil A, Tabelle 4-1). Um eine gegenseitige Störung der verschiedenen Bindersysteme beim Einsatz von Regenerat für die Form- und Kernherstellung zu verhindern, wurden die Bindersysteme durch ein einheitliches System ersetzt. Für die Serienherstellung von kleineren Kernen wird nun das Coldbox-Amin-Verfahren und für die Herstellung von großen Kernen das Pep-Set-Verfahren eingesetzt. Beide Verfahren sind chemisch eng verwandt (PUR-Harze) und tolerieren wegen ihrer starken Bindewirkung die Anwesenheit von geringen Bentonitmengen (vgl. Teil A, Abschnitt 4.1.1.3.1).

6.1.2 Vereinheitlichung der verwendeten Sande

Im Hinblick auf eine Regenerierung des Altsandes wird für die Form- und Kernherstellung im Sandguß und für die im Kokillenguß eingesetzten Kerne mittlerweile ein Sand mit einheitlicher Körnung verwendet. So ist bei variierenden Anteilen von Form- und Kernsand im Altsand ein von der unterschiedlichen Korngrößenverteilung herrührender Einfluß auf die Qualität Kerne ausgeschlossen.

6.1.3 Getrennte Erfassung von Kernaltsand aus dem Naßguß

Beim Ausleeren der abgegossenen Formen wird darauf geachtet, daß möglichst wenig Kern-knollen in den Formsandkreislauf gelangen (schonendes Ausleeren, manuelles Aussortieren). Die getrennt gesammelten, organisch gebundenen Kernknollen lassen sich thermisch zu einem qualitativ hochwertigen Regenerat aufarbeiten und stellen deshalb für den Betrieb einen "Wertstoff" dar. Auch der Überlauf des Polygonsiebs (Formsandaufbereitung) enthält noch Kernknollen, die ebenfalls getrennt erfaßt werden. Die bentonitgebundenen Formsandknollen aus dem Polygonsiebüberlauf, die in der Regel thermisch gering belastet sind und große Mengen aktiven Bentonit enthalten, werden in den Formsandkreislauf gegeben.

Darüber hinaus wird Wert darauf gelegt, daß mit den ausgeleerten Gußstücken möglichst wenig bentonitgebundener Formsand in die Entkernstation eingeschleppt wird, da Bentonitreste bei der Regenerierung relativ schwer zu entfernen sind und im Regenerat zu verringerten Kernfestigkeiten und höherem Binderverbrauch führen. Neben dem sorgfältigen Ausleeren der Formen und dem manuellen Aussortieren der Formsandknollen trägt der Einsatz von Legierungselementen, die zu einer geringen Haftung des Formsandes am Gußstück führen, zu einer geringen Verschleppung von Formsand in die Entkernstation und die Strahlanlagen bei.

6.1.4 Verbesserung der Prozeßstabilität bei der Kernherstellung

Aus der Literatur und aus betriebseigenen Erfahrungen mit dem Einsatz von Regenerat zur Kernherstellung ist bekannt, daß mit Regenerat Neusandfestigkeiten in der Regel nicht ganz erreicht werden. Andererseits weisen auch aus Neusand gefertigte Kerne unterschiedliche Festigkeitswerte auf, die durch unkontrollierte Schwankungen verschiedener Prozeßparameter hervorgerufen werden. Beispielhaft zu nennen sind eine ungenaue Harzdosierung, eine unvollständige Homogenisierung des Sand-Harz-Gemisches im Mischer, unterschiedliche Lagerzeiten der fertigen Formstoffmischung (Topfzeit) sowie das unterschiedliche Alter der Harze (Überlagerungen insbesondere bei vielen unterschiedlichen Bindersystemen) sein. Mit dem Ziel einer verbesserten Kontrolle der genannten Prozeßparameter wurden im untersuchten Betrieb bereits folgende Maßnahmen durchgeführt:

- Anschaffung neuer Mischer mit konstantem Mischergebnis
- Einbau einer zentralen Harzversorgung
- Vermeidung der Überlagerung von Binderharzen durch Reduktion der Typenvielfalt von Kernsandbindern (vgl. Abschnitt 6.1.1)
- Bedarfsgerechte Herstellung der Sand-Harz-Mischungen zur Vermeidung langer Lagerzeiten der Sandmischung
- Bedarfsgerechte Kernherstellung zur Vermeidung langer Lagerzeiten der Kerne
- Ständige Kontrolle der Kernqualität in einem kleinen eigenen Labor

Mit diesen Maßnahmen und unter kontrollierten Bedingungen können nach den Erfahrungen des untersuchten Betriebs aus einem qualitativ hochwertigen Regenerat ohne Neusandzugabe Kerne mit ausreichenden Festigkeiten hergestellt werden.

6.2 Regenerierung des Kernaltsandes (R4) und des Polygonsiebüberlaufs (R2)

Der in der Entkernstation anfallende Altsand besteht aus kunstharzgebundenem Altsand mit geringen Verunreinigungen an bentonithaltigem Formsand. Neben den Kernen aus der Naßguß- und der Kokillengußproduktion werden dem Altsand Kernknollen, die beim Ausleeren der Naßgußformen und am Polygonsiebüberlauf aussortiert werden, sowie der Kernbruch und der Überfallsand aus der Kernmacherei zugegeben. Formsandknollen aus dem Polygonsiebüberlauf werden in der Formsandaufbereitung zerkleinert und verbleiben im Formsandkreislauf.

6.2.1 Auswahl des Regenerierungssystems

Der organisch gebundene Kernaltsand ist thermisch relativ gering belastet. Dadurch sind die Binderhüllen nur in den äußeren Kernbereichen abgebrannt oder versprödet. Thermisch gering belastete, organisch gebundene Altsande lassen sich nur mit unbefriedigendem Ergebnis mechanisch regenerieren (vgl. Teil A, Abschnitt 4.1.1.2.3). Dies wird auch durch die Ergebnisse von Versuchen bestätigt, die vom untersuchten Betrieb bei verschiedenen Anbietern von Regenerierungsanlagen durchgeführt wurden.

Für die Regenerierung des Altsandes ist daher eine thermische Stufe notwendig. Da der Altsand in gewissem Umfang mit Bentonit umhüllten Formsand enthält, wird empfohlen, die thermische Behandlung bei relativ niedrigen Temperaturen durchzuführen. Darüberhinaus sollte während der thermischen Behandlung eine schonende mechanische Beanspruchung erfolgen (z. B. indirekt beheizte Wirbelschicht). So kann erreicht werden, daß der Bentonit in möglichst geringem Umfang auf die Sandkkornoberfläche aufbrennt. Für die vollständige Verbrennung der organischen Bestandteile der Pyrolysegase ist eine Nachverbrennung erforderlich.

Der thermisch behandelte Altsand durchläuft im Anschluß eine mechanischen Stufe, um den teils aufgebrannten, teils anhaftenden Bentonit sowie den Quarzstaub (Abrieb, Kornzerstö-

rung) aus dem Sand zu entfernen. Hierzu wird der Einsatz eines schonenden Reibverfahrens mit möglichst geringer Kornzerstörung empfohlen.

6.2.2 Wirtschaftliche Bewertung

Mit der im folgenden durchgeführten Wirtschaftlichkeitsuntersuchung soll überprüft werden, wie hoch der ökonomische Nutzen einer Altsandregenerierung für den untersuchten Betrieb ist. Damit läßt sich abschätzen, welche Finanzmittel dem Betrieb zur Anschaffung und zum Betrieb einer Regenerierungsanlage zur Verfügung stehen, ohne daß die Produktionskosten insgesamt steigen. Bei der Berechnung werden die Kosten für die bereits durchgeführten Maßnahmen zur Erleichterung der Regenerierung (vgl. Abschnitt 6.1) nicht berücksichtigt, da es sich um technische Maßnahmen, die auch ohne den Betrieb einer Altsandregenerierung der Qualitätssicherung dienen, oder um organisatorische Maßnahmen handelt, deren Kosten oder ökonomischer Nutzen im Rahmen dieser Untersuchung nicht ermittelt werden können. Der Wirtschaftlichkeitsuntersuchung werden folgende Annahmen zugrunde gelegt:

- 1. Der regenerierte Altsand läßt sich vollständig zur Kernherstellung nutzen. Diese Annahme ist durch Versuche des Betriebs belegt.
- 2. Der zu regenerierende Altsandanfall beträgt insgesamt 5.357 t/a (Entkernstation: 3.401 t/a; Kernbruch und Überfallsand: 1.800 t/a; Kernknollen aus Polygonsiebüberlauf, geschätzt: 156 t/a).
- 3. Die vom Betrieb durchgeführten Versuche zur Altsandregenerierung lassen erwarten, daß der Wirkungsgrad (bezogen auf die regenerierte Altsandmenge) in der thermischen Stufe 95 % und in der mechanischen Stufe 85 % beträgt (Gesamtwirkungsgrad: ca. 81%). Ausgehend von einem Altsandanfall von 5.357 t/a stehen dem Betrieb nach der Regenerierung 4.326 t/a Regenerat zur Verfügung. Der Neusandverbrauch von 5.500 t/a reduziert sich um 4.326 t/a auf 1.031 t/a.
- 4. Die Formsandknollen aus dem Polygonsiebüberlauf (geschätzt: 156 t/a) werden in den Formstoffkreislauf zurückgeführt.
- 5. In Folge der Regenerierung kann der abgesaugte Staub (R3; 132 t/a) betriebsintern verwertet werden und wird nicht mehr deponiert. Die Rückführung des Staubes in den Formstoffkreislauf führt zu Bentoniteinsparungen von ca. 40 t/a (vgl. Abschnitt 3).
- 6. Der Feinanteil aus der Regenerierung ist inertisiert und kann kostenneutral extern verwertet werden.
- 7. Insgesamt wird die derzeit deponierte Altsandmenge von 5.641 t/a (R2, R4, R7 und R3) vollständig verwertet.
- 8. Bei der Kernherstellung aus Regenerat tritt in Folge der kontrollierten Prozeßbedingungen kein Bindermehrverbrauch auf. Diese Annahme wird durch Versuchsergebnisse des Betriebs gestützt.

Ausgehend von diesen Annahmen werden bei der Wirtschaftlichkeitsberechnung folgende Erlöse berücksichtigt:

- eingesparter Neusand inkl. Transport: 4.326 t/a zu 90 DM/t
- eingesparter Bentonit: 40 t/a zu 295 DM/t
- eingesparte Deponiekosten inkl. Transport: 5.641 t/a zu 145 DM/t
- eingesparte Abfallabgabe (Kategorie II): 1.800 t/a zu 100 DM/t (bis Ende 1992) bzw. 200 DM/t (ab 1993)

Bei der Wirtschaftlichkeitsrechnung wurde untersucht, welche Kosten die Anschaffung und der Betrieb der Regenerierungsanlage (inkl. Nebenanlagen) verursachen darf, um die Erlöse aus eingesparten Deponiekosten sowie Neusand- und Bentonitbeschaffungskosten nicht zu überschreiten. Da die mittelfristige Preisentwicklung der verschiedenen Erlös- und Kostenarten nur geschätzt werden kann, wurden bei der Wirtschaftlichkeitsrechnung zwei Preisszenarien berücksichtigt (vgl. Anhang 2). In Szenario 1 wird angenommen, daß für keine der berücksich-

tigten Kosten und Erlöse Preissteigerungen auftreten, die oberhalb der Inflationsrate liegen (0 % p.a. real). Szenario 2 beinhaltet moderate Preissteigerungen für die Neusandbeschaffung und Transportvorgänge von 2 % p.a. real. Für die Entsorgung wird in Szenario 2 eine Verdoppelung der realen Deponiekosten in 10 Jahren angenommen (7 % p.a. real).

Die Höhe der Aufwendungen für die Regenerierungsanlage (inkl. Betrieb) ist von der vom untersuchten Betrieb geforderten Amortisationszeit und dem Kalkulationszinsfuß abhängig. In Abbildung 2 sind deshalb die zulässigen Aufbereitungskosten in Abhängigkeit von der geforderten Amortisationszeit der Aufbereitungsanlage für eine Bandbreite des Kalkulationszinssatzes von 3 bis 9 % p.a. real dargestellt. Wird beispielsweise eine Amortisationszeit der Anlage von 5 Jahren gefordert, so darf die Aufbereitung (Investition und Betrieb) für Szenario 1 rund 287 DM/t Altsand kosten, um wirtschaftlich zu arbeiten. Dies entspricht bei einem Altsandaufkommen von 5.357 t/a einer Annuität von über 1,5 Mio. DM/a. Für Szenario 2 liegen die zulässigen Aufbereitungskosten bei rund 325 DM/t, entsprechend einer Annuität von knapp 1,75 Mio. DM/a.

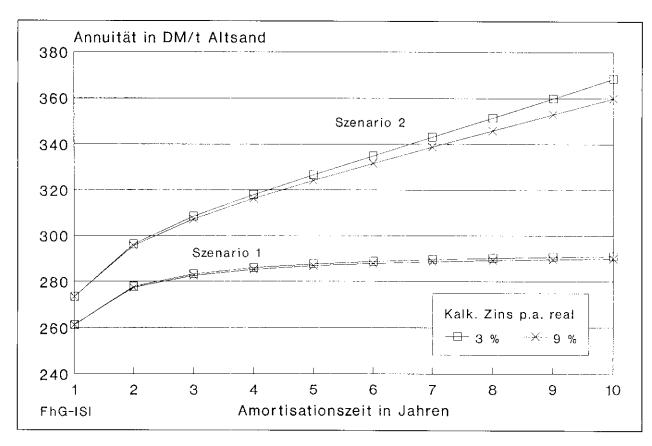


Abb. 2: Zulässige Kosten der Altsandregenerierung bei verschiedenen Amortisationszeiten, angegeben als Annuität (bezogen auf die zu regenerierende Altsandmenge) für zwei Preisszenarien

6.3 Verwertung der Stäube verschiedener Absaugstellen im Sandkreislauf (R3)

Aus Arbeitsschutzgründen wird bei der Formstoffaufbereitung, beim Gießen, in der Entkernstation und bei der Aufbereitung des Formaltsandes mit dem Polygonsieb der entstehende Staub von einer zentralen Anlage abgesaugt. Der Staub (132 t/a) wird in einem Naßabscheider aus der Abluft entfernt. Wie die Analyseergebnisse zeigen, enthält der Staub rund 30 % aktiven Bentonit (40 t/a), der als Wertstoff in der Gießerei eingesetzt werden kann. Es wird daher vorgeschlagen, den naß abgeschiedenen Staub in die Formstoffaufbereitung zurückzuführen. Damit sich im Formsandkreislauf keine störenden Schlämmstoffe anreichern, ist diese Rückführung nur unter der Voraussetzung möglich, daß im Zuge der Altsandregenerierung (Sichtung) der Feinanteil aus dem System ausgetragen wird.

Anlage 1
Verfahren und Methoden der Probenuntersuchungen

Prüfgröße		Prüfverfahren
С	%	je nach C-Gehalt: Verbrennungs- verfahren - Infrarot/Coulometrisch
S	%	<pre>je nach S-Gehalt: Verbrennungs- verfahren - Infrarot/Coulometrisch</pre>
N	%	Kjelldahl
p	%	ICP
Fe ges.	%	RFA
Al ₂ 0 ₃	%	RFA
TV (H2O)	%	P 32
GV ges.	%	P 33
GV Sand	%	P 36
flüchtige Bestandteile	*	F 8/9 VDG-Vorlage 1975
Aktivton	%	IfG-Handblatt 3
Schlämmstoffe	%	P 34
Schamotte	%	IfG-Handblatt 54
MK	mm	P 34
рH		IfG-Handblatt 187
Säureverbrauch	ml	P 26
Laugenverbrauch	mg	IfG-Handblatt 186
Eisenpartikel	%	wiegen
Kornverteilung		P 34

Anlage 2 Ergebnisse der Probenuntersuchungen

Probenbezeichnung			Ha 1	Ha 2
С	%		1,02	3,72
S	%		0,017	0,054
N	%		0,052	0,25
P	%		<0,005	0,029
Fe ges.	%		0,8	2,4
Eisen-Partikel	%		0	ca. 1
Al ₂ O ₃	%		2,9	11,9
TV (H ₂ 0)	%		4,20	ca. 47,1
GV ges.	%		2,5	10,8
GV Sand	%		0,4	3,2
fl. Best.	%		1,6	8,1
MBd	%		3,9	10,2
Schlämm.	%		16,0	ca. 43,3
Schamotte	%		0,9	ca. 10
theor. spez. Oberfl.	cm²/g		121	325
theor. spez. Kornzahl x 10 ⁴	Stck/g		30,0	392,7
repräs. Durchmesser	mm		0,11	0,05
AFS-Kornf.—Nr.			69	185
mittl. Körmung (MK)	mm		0,21	0,08
mittl. Körnung (MKcalc)	mm	· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	0,22	0,09

Ha 1 - NG-Formsand Ha 2 - Staub (Schlamm) v. Naßentstaubung

IST-Analyse und Vermeidungs- und Verwertungskonzept

Betrieb Nr. 178:

Mechanisierte Naßgußfertigung mit Wasserglasund Coldbox-Methylformiat-Kernen (Aluminium)

Inhaltsverzeichnis

1	Gußproduktion und Verfahren der Form- und Kernherstellung
2	Formstoffkreislauf
3	Mengenbilanz der Einsatzstoffe, Reststoffe und Produkte
4	Anforderungen an die Qualität der Einsatzstoffe
5 5.1 5.2	Analysen von Sanden148Probenahme und Analysenverfahren148Analysenergebnisse und Beurteilung148
6 6.1 6.1.1 6.1.1.1 6.1.1.2 6.1.1.3	Vermeidungs- und Verwertungskonzept149Regenerierung des Altsandes (R2, R6)149Vereinheitlichung der Bindemittelsysteme149Ersatz des Wasserglas-CO2-Verfahrens durch das Coldbox-Methylformiat-Verfahren149Ersatz des Wasserglas-CO2-Verfahrens durch das Coldbox-Amin-Verfahren150Ersatz des Wasserglas-CO2-Verfahrens durch das Hotbox- oder das150
6.1.2 6.1.2.1 6.1.2.2 6.1.3 6.1.4 6.1.4.1 6.1.4.2 6.2	Croning-Verfahren150Auswahl des Regenerierungsverfahrens150Innerbetriebliche Regenerierung150Externe Regenerierung151Einsatz von Regenerat zur Formherstellung151Wirtschaftliche Bewertung151Umstellung auf das Coldbox-Methylformiat-Verfahren152Umstellung auf das Coldbox-Amin-Verfahren152Branchenfremde Verwertung des Altsandes (R2)156
Anlage 1 Anlage 2	

1 Gußproduktion und Verfahren der Formund Kernherstellung

In der untersuchten kleinen Kundengießerei werden Gußstücke aus Aluminium für den allgemeinen Maschinen- und Anlagenbau, die Elektroindustrie und den Fahrzeugbau in Sandformen gegossen. Es werden Einzelstücke und kleine Serien hergestellt. Die Gußproduktion beträgt etwa 140 t/a. Das Alumunium wird in ölbeheizten Tiegelöfen erschmolzen.

Die Naßgußsandformen werden auf Einzelformmaschinen nach dem Rüttel-Preß-Verfahren und auch durch Verdichten von Hand hergestellt. Als Formgrundstoff wird Naturformsand (MK: 0,08 mm) verwendet. Bei einigen komplizierten Formen wird Wasserglasformstoff als Modellformstoff angelegt und mit Naßgußsand hinterfüllt.

In die Formen werden Wasserglas- und Methylformiat-Kerne eingelegt. Größere Wasserglaskerne werden von Hand geformt, während kleinere Wasserglaskerne auf Schießmaschinen und die Methylformiat-Kerne auf einem Kernschießautomaten geformt werden. Alle Kerne werden durch Auftragen einer Schlichte oberflächenbehandelt. Zum Trocknen der alkoholischen Schlichte werden die Kerne abgeflammt.

Der größte Teil der Gußstücke wird beim Ausleeren auf dem Rüttelrost und beim manuellen Entkernen so weit von anhaftendem Sand gereinigt, daß ein Strahlen nicht mehr notwendig ist. Bei einigen Sortimenten ist jedoch ein nachträgliches Strahlen erforderlich. Nach dem Strahlen folgt das eigentliche Putzen, d. h., das Abtrennen des Kreislaufmaterials (Gieß- und Speisesystem), das Entgraten und Entfernen unerwünschter Anhaftungen am Gußstück. Der dabei anfallende Schleifstaub wird als Schlamm (Naßentstaubung) zur Deponie gebracht, während die anfallenden Al-Späne in einem Fremdbetrieb wieder aufgearbeitet werden. Der Guß ist damit versandfertig oder wird auf Kundenwunsch bis zum einbaufertigen Teil weiterbearbeitet.

Weitere Einzelheiten zur Fertigung sind in Tabelle 1 angegeben.

	•	
Prozeß	Verfahren / Technik	Produkt
Schmelzen	2 Tiegelöfen, ölbeheizt, 150 bzw. 125 kg Inhalt	
Schmelzbehandlung	Reinigen und Entgasen durch Salze	Flüssigmetall: 280 t/a Al-Legierungen
Formherstellung	Naßgußformverfahren 2 Rüttel-Preß-Formmaschinen (Wendeform- und Abhebeformmaschine) Formkastenabmessung: 450 x 300 x 100/100 bis 600 x 500 x 200/200 mm Handformen: Formkastenabmessung: 450 x 450 bis 1500 x 1500 x 400/400 mm	Gußproduktion: 140 t/a Gußstückmassen: - MaschFormguß: bis 7 kg, Ø 1,5 kg - Handformguß: bis 100 kg, Ø 10 kg Stückzahlen: Einzelstückfertigung bis kleine Serien (100 Stück)
Kernherstellung	Formstoffmischer: 1 Flügelmischer "Mischka" (Fa. Vogel & Schemmann, 75 kg) 2 Kernschießmaschinen (Fa. Röper) 1 Kernschießautomat "Imafont" mit Begasungseinrichtung	Kerne: Wasserglaskerne: 213,5 t/a Cold-Box-MF-Kerne: 37,7 t/a

Tab. 1: Übersicht angewendeter Verfahren und Fertigungstechnik

2 Formstoffkreislauf

Der Formstoffkreislauf sowie die Einsatzstoffe und Anfallstellen der Reststoffe sind schematisch in Abbildung 1 dargestellt.

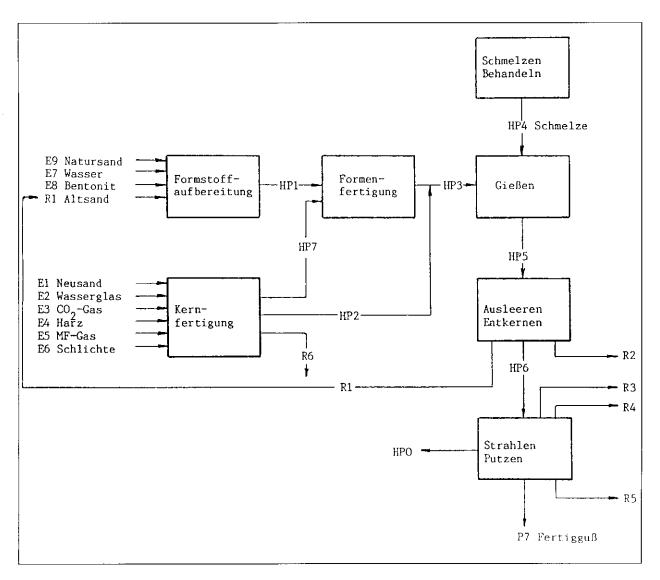


Abb.1: Naßgußformerei

Erläuterungen zu Abbildung 1:

HP0 metallisches Kreislaufmaterial (Gieß- und Speisesystem am Gußstück)

HP1 aufbereiteter Naßgußformstoff

HP2 Wasserglas- und Methylformiat-Kerne

HP3 gießfertige Formen

HP4 Flüssigmetall

HP5 abgegossene FormenHP6 entkernter Rohauß

HP7 Modellformstoff (Wasserglasformstoff)

P7 versandfertiger Guß

R1 Ausleeraltsand

R2 Kernknollen mit Resten von Speiserisoliermaterial

R3 Strahlstaub (Trockenentstaubung)R4 Schleifstaub (Naßentstaubung)

R5 Aluminiumspäne

R6 Kernbruch, Überfallsand

Für die Kernproduktion wird ausschließlich Neusand eingesetzt (Wasserglas-CO₂-Verfahren: 206 t/a; Methylformiatverfahren: 37 t/a). Der Formsandkreislauf wird mit ca. 22 t/a Natursand ergänzt. Insgesamt werden in der untersuchten Gießerei derzeit rund 265 t/a Neusand (ohne Bindemittel) zugeführt.

Der beim manuellen Ausleeren der Formen auf einem Rüttelrost anfallende Altsand wird auf einem Transportband zur Lagerstelle (Haufen) gefördert. Die Formstoffaufbereitung erfolgt durch Sieben und Schleudern. Dabei werden auch die Neustoffe Naturformsand, Bentonit und Wasser zugegeben. Die Zugabe von Natursand und Bentonit geschieht diskontinuierlich. Der durch das Schleudern homogenisierte und abgekühlte Fertigsand wird in Haufenform frei gelagert. Der aufbereitete Sand wird manuell zu den Formerplätzen transportiert.

Beim Entleeren der abgegossenen Formen auf dem Rüttelrost wird darauf geachtet, daß die Kern- und Modellsandknollen nicht in den Formsand gelangen sondern im Gußstück verbleiben und beim Entkernen separat erfaßt werden. Die Kernsandmenge, die beim Ausformen in den Formsandkreislauf einläuft, wird vom Betreiber auf maximal 5 % der abgegossenen Kern- und Modellsandmenge geschätzt (12 t/a). Nach dem Ausformen werden die Gußstücke, an denen noch geringe Formsandreste anhaften, entkernt. Die zusammen mit dem Kernsand ausgetragene Formsandmenge beläuft sich auf rund 34 t/a. Da dieser Verlust durch den einlaufenden Kernsand nicht gedeckt ist, wird der Formsandkreislauf mit rund 22 t/a neuem Natursand aufgefrischt.

Außer dem ausgeschleusten Altsand R2 (268 t/a; inkl. Binder) und dem Kernbruch und Überfallsand aus der Kernherstellung R6 (6 t/a) entstehen im untersuchten Betrieb keine Reststoffe, die nennenswerte Anteile an verwertbarem Quarzkorn enthalten.

Der **Recyclinggrad** – das Verhältnis von Altsand zur Summe von Altsand und Neusand für Formen und Kerne – beträgt **96** %.

3 Mengenbilanz der Einsatzstoffe, Reststoffe und Produkte

In Tabelle 2 werden die 1990 verbrauchten Mengen an Einsatzstoffen und die angefallenen Reststoffmengen angegeben.

Eins	Einsatzstoffe	Menge t/a	Anteil %	Reststoffe / Produkte	Menge L/a
Form	Formherstellung		-	5	
E8 E7 R1	Neusand (Natursand) Bentonit Wasser Altsand	22,5 34,5 130 6303	0,35 0,54 2,0 97,12	R2 Altsand (vorwiegend WG/CO ₂ - Kernreste und MF-Kernrestë) R6 Kernbruch, Überfallsand	268 6
	Umlaufmenge	6490	100		274
Kern Wass	Kernherstellung Wasserglas-CO ₂ -Kernfertigung				
E1 E2	Neusand Wasserglas	205,6	96,3		
E3	Zerfallsforderer CO ₂ -Gas Schlichte	0,5	0,2		
нР2	Kerne	213,5	100		
Co1d	Cold-Box-MF-Kernfertigung				
E1 E4 E6	Neusand Harz Katalysator Schlichte	37,02 0,68 0,44 0,3	98,2 1,8 -		
HP2	Kerne (incl. Kernbruch)	37,7	100		
* inc.	incl. Kernbruch und Modellformstoff (HP7)	P7)			

Tab. 2: Einsatzstoffe, Reststoffe und Produkte

Erläuterungen zu Tabelle 2:

- Die eingesetzte Quarzsandmenge wird zur Fertigung der Kerne und in geringem Umfang bei Modellformstoff verwendet.
- Bei der angegebenen Wassermenge von 2 % wurde eine Altsandrestfeuchte von 3 bis 4 % angenommen, so daß die Fertigsandfeuchte 5 bis 6 % beträgt.
- E9 Bindetonhaltiger Naturformsand
- HP1 Die Menge des aufbereiteten Formstoffes wurde an Hand der Formkastengrößen, Formenleistung und Gußmasse pro Form überschlägig errechnet.

Einsatzstoff	Menge in kg/100 kg		
	Flüssigmetall	guter Guß	
Neusand (Quarzsand und Formsand)	93,9	187,8	
Bentonit	13,1	26,3	
Wasserglas	2,6	5,3	
MF-Harz	0,24	0,49	
Kernanteil	(ca. 70)	(ca. 143)	
Al : Sand-Verhältnis (Formsand und Kerne)	1:24,1	1 : 48,2	

Tab. 3: Spezifischer Verbrauch an Einsatzstoffen

4 Anforderungen an die Qualität der Einsatzstoffe

Die Anforderungen an die Qualität der Einsatzstoffe werden maßgeblich bestimmt durch:

- Formstoffsystem
- Formverfahren
- thermische und mechanische Belastung (Verschleiß)
- Gußstückqualität

Die in Tabelle 4 aufgeführten Kennwerte bzw. Richtwerte sollten regelmäßig überprüft werden.

Einsatzstoff	Richtwert		Prüfvorschrift
Quarzsand	Chem. Zusammensetzung		
	SiO ₂	>99 %)
	Fe ₂ O ₃	< 0,1 %) VDG-P 26
	Al_2O_3	< 0,5 %)
	Glühverlust	0,1-0,2	VDG-P 33
	Schlämmstoffgehalt	0,1 %	VDG-P 27
	Körnung (MK)		VDG-P 27
	Sinterbeginn	>1500 °C	VDG-P 26
	Säureverbrauch		VDG-P 26
	Wassergehalt	< 0,1 %	VDG-P 26
Bentonit	Methylenblauwert	(%))
	Naßzugfestigkeit	(N/cm²)) VDG-P 69
	Druckfestigkeit	(N/cm ²))
Altsand	Glühverlust	%	VDG-P 33
	C-Gehalt	%	VDG-P 33
	Körnungsanalyse		VDG-P 34
	Aktivbentonit	%	VDG-P 35
	Schlämmstoff	%	VDG-P 36
	Oolithisierungsgrad	%	VDG-P 43
Harzbinder	Dichte)
	Viskosität) VDG-P 70
	Stickstoffgehalt)
Schlichte	Viskosität)
	Feststoffgehalt) VDG-P 79
	Sinterbeginn)

Tab. 4: Kenn- und Richtwerte für die Einsatzstoffe zur Form- und Kernherstellung

5 Analysen von Sanden

5.1 Probenahme und Analysenverfahren

Vom Ausleersand (Deponieabfall) und vom aufbereiteten Formsand wurden am 07. 06. 1991 Proben entnommen und im IfG Düsseldorf analysiert. Die untersuchten Proben sind in Tabelle 5 angegeben.

Proben- bezeichnung	beprobter Stoff	Probenahmeort
GA1 GA2	Kernaltsand (R2) Fertigformsand (HP1)	Sammelbehälter für Deponieabfälle Formsandhaufen

Tab. 5: Untersuchte Sandproben

Die zur Untersuchung der Proben angewendeten Analysenverfahren sind in Anlage 1 angegeben.

5.2 Analysenergebnisse und Beurteilung

Die Ergebnisse der Untersuchungen sind in Anlage 2 tabellarisch dargestellt.

Kernaltsand (R2)

Bis auf die für Al-Guß relativ grobe Körnung (46% > 0,18 mm) ist dieser Altsand recht gut wiedereinsetzbar. Da der Formsandverlust sehr gering ist, könnte dieser Sand nach entsprechender Behandlung nur für die Kernfertigung wieder eingesetzt werden, sofern geeignete Bindersysteme verwendet werden.

- Formsand (HP1)

Der eingesetzte Naturformsand (Grube Grefrath) ist sehr feinkörnig und besitzt einen relativ hohen Schlämmstoffanteil. Der Wassergehalt von 7,5 % ist selbst bei einem Schlämmstoffgehalt von 18 % sehr hoch. Auch der Aktivbentonit von ca. 10 % ist für das angewendete Rüttel-Preß-Formverfahren zu hoch, d. h. nicht notwendig.

6 Vermeidungs- und Verwertungskonzept

6.1 Regenerierung des Altsandes (R2, R6)

6.1.1 Vereinheitlichung der Bindemittelsysteme

Im Altsand (R2 und R6), der sich im wesentlichen aus Kernaltsand und geringen Mengen Modell- und Formsand zusammensetzt, liegen nebeneinander drei Bindemittelsysteme vor.

Binder	Einsatzzweck	Altsandmenge (in	kl. Binder)
Wasserglas	Kerne + Formen	ca. 204 t/a	ca. 74 %
Methylformiat	Kerne	ca. 35,5 t/a	ca. 13 %
Bentonit	Formen	ca. 34,5 t/a	ca. 13 %
	Summe	265 t/a	100 %

Tab. 1: Anteile der verwendeten Bindersysteme im Altsand

Mit den heute verfügbaren und erprobten Regenerierungsverfahren ist es nicht möglich, einen Mischaltsand mit so hohem Wasserglasanteil mit zufriedenstellendem Ergebnis zu regenerieren (vgl. Teil A, Abschnitte 4.1.3.3 und 4.1.3.4). Wegen des hohen Störpotentials von Wasserglas im bezug auf alle gebräuchlichen Kernsandbindemittel wird es als unwahrscheinlich angesehen, daß der Betreiber einer externen Regenerierungsanlage den Altsand zur Aufbereitung annimmt.

Aus den genannten Gründen ist zu prüfen, welche Folgen ein Verzicht auf das Wasserglas-CO₂-Verfahren, das aus Umwelt- und Arbeitsschutzgründen sowie unter ökonomischen Gesichtspunkten große Vorteile aufweist (vgl. Teil A, Abschnitt 2.1.2.5), für den Betrieb hat.

6.1.1.1 Ersatz des Wasserglas-CO₂-Verfahrens durch das Coldbox-Methylformiat-Verfahren

Da im untersuchten Betrieb bereits Kerne mit dem Coldbox-Methylformiat-Verfahren hergestellt werden, liegt es nahe, auch die bisher mit dem Wasserglas-CO₂-Verfahren hergestellten Kerne mittels Methylformiat herzustellen. Für das Coldbox-Methylformiat-Verfahren sind gekapselte Kernschießmaschinen mit Begasungseinrichtung erforderlich. Der technische Aufwand anderer Verfahren (z. B. Coldbox-Aminverfahren, Coldbox-SO₂-Verfahren, Croning-Verfahren, Hotbox-Verfahren) ist gegenüber dem Methylformiatverfahren höher (z. B. Abluftreinigung, beheizte bzw. hitzebeständige Kernformen). Die Verträglichkeit von regeneriertem Methylformiatsand (Ursprungsystem) mit allen organischen Bindersystemen (Zielsystem) ist jedoch wegen der auftretenden Festigkeitsverluste problematisch (vgl. Teil A, Tabelle 4-1). Eine betriebsinterne Regenerierung scheidet aus, da regenerierter Methylformiatsand, der im Methylformiat-Verfahren wiederverwendet wird, ebenfalls zu stark verringerten Kernfestigkeiten führt (Selbsthemmung; vgl. Teil A, Abschnitt 4.1.1.2.3). Nur unter Ausnutzung von Verdünnungseffekten ist eine externe Regenerierung der Methylformiat-Altsande zusammen mit bentonitgebundenen Altsanden denkbar (Fiebeck, 1992).

Um die erforderliche Kernmenge herzustellen, ist für den untersuchten Betrieb der Ersatz der Wasserglas-Kernschießmaschine durch eine zweite, gekapselte Kernschießmaschine mit Gas-

versorgung erforderlich. Die Kosten einer geeigneten Kernschießmaschine (25 I Sandvolumen) liegen bei 250 000 DM (inkl. Nebenaggregate). Für die Herstellung komplizierter Formen, die bisher mit Wasserglassand hergestellt werden, eignet sich das Alpha-Set-Verfahren, ein dem Methylformiat-Verfahren verwandtes, kalthärtendes Verfahren mit flüssigem Katalysator.

6.1.1.2 Ersatz des Wasserglas-CO₂-Verfahrens durch das Coldbox-Amin-Verfahren

Regenerierte Amin- bzw. SO₂-Sande lassen sich gut im gleichen Bindersystem einsetzen. Auch die Verträglichkeit mit anderen organischen Bindersystemen ist positiv zu bewerten (vgl. Teil A, Tabelle 4-1). Amin- und SO₂-Altsande sind daher mit gutem Ergebnis sowohl betriebsintern als auch extern regenerierbar. Im folgenden wird stellvertretend der Umstellungsaufwand für das weit verbreitete Coldbox-Amin-Verfahren dargestellt.

Bei der Umstellung auf das Coldbox-Amin-Verfahren ist ebenfalls die Anschaffung einer zweiten gekapselten Kernschießmaschine (250 000 DM) erforderlich. Darüberhinaus ist die Installation einer Katalysatorgaserfassung und eines Abgaswäschers mit Neutralisation notwendig. Die Kosten für die Anschaffung des Wäschers belaufen sich auf rund 200 000 DM. Neben dem erhöhten Aufwand für die Bindemittel entstehen zusätzliche Kosten durch die Entsorgung des Aminsulfat-Konzentrats (Neutralisationsprodukt der Abgaswäsche), das, sofern es nicht verwertet wird, als besonders überwachungsbedürftiger Abfall zu entsorgen ist. Die Kosten für die Verwertung des Konzentrats belaufen sich auf rund 1200 DM/t (ohne Transport).

In der Formherstellung kann das Wasserglas-CO₂-Verfahren durch das Pep-Set-Verfahren, ein kalthärtendes Bindemittelsystem auf PUR-Basis, das chemisch eng mit dem Coldbox-Amin-Verfahren verwandt ist, ersetzt werden. Auch hier sind die Bindemittelkosten gegenüber dem Wasserglas-CO₂-Verfahren deutlich höher.

6.1.1.3 Ersatz des Wasserglas-CO₂-Verfahrens durch das Hotbox- oder das Croning-Verfahren

Regenerierte Hotbox- und Croning-Altsande lassen sich nach entsprechender Regenerierung sowohl im eigenen System, als auch im Coldbox-Amin-Verfahren einsetzen (vgl. Teil A, Tab. 4-1). Sie sind daher zur internen und externen Regenerierung geeignet. Die Umstellung auf das Hotbox- oder das Croning-Verfahren setzt neben zwei neuen Kernschießmaschinen hitzebeständige Kernformen aus Metall voraus, die in der Herstellung sehr kostenintensiv sind. Da der Umstellungsaufwand für heißhärtende Verfahren ähnlich hoch ist, wie für das Coldbox-Amin-Verfahren, erfolgt keine quantitative Abschätzung der Kosten.

6.1.2 Auswahl des Regenerierungsverfahrens

6.1.2.1 Innerbetriebliche Regenerierung

Die im untersuchten Betrieb anfallende Altsandmenge von rund 274 t/a ist relativ gering. Legt man die Betriebsdauer einer Regenerierungsanlage von 6 bis 8 h/d zu Grunde und nimmt an, daß sie an 250 d/a betrieben wird, ergibt sich eine Durchsatzleistung der Anlage von 140 bis 180 kg Altsand pro Stunde. Regenerierungsanlagen dieser Größenordung sind auf dem Markt derzeit nicht erhältlich. Die kleinsten verfügbaren Anlagen weisen Kapazitäten um 0,5 t/h auf. Eine betriebsinterne Regenerierung des Altsandes scheidet daher für den untersuchten Betrieb aus.

6.1.2.2 Externe Regenerierung

Wie bereits in Abschnitt 6.1.1 dargestellt wurde, ist eine externe Regenerierung des derzeit anfallenden Wasserglas-Mischaltsandes in mechanisch und/oder thermisch arbeitenden Regenerierungsanlagen technisch nicht durchführbar. Voraussetzung für die externe Regenerierbarkeit ist der Ersatz des Wasserglas-CO₂-Verfahrens in der Kern- und Formherstellung durch organische Bindemittelsysteme. Unter dem Aspekt der Qualität des Regenerats sind hierbei das Coldbox-Amin- oder das Coldbox-SO₂-Verfahren zu bevorzugen. Die externe Regenerierung von Coldbox-Amin-Altsanden mit geringen Bentonitbeimengungen erfolgt in der Regel thermisch. Bezogen auf den Altsand (inkl. Binder) wird der Wirkungsgrad der externen thermischen Regenerierung mit 80 % angenommen (konservative Schätzung). Die Regenerierungskosten belaufen sich auf etwa 90 DM/t Altsand (ohne Transport). Die Kosten für den Rückkauf des klassierten Regenerats liegen bei 20 DM/t. Die Beurteilung der Wirtschaftlichkeit der Umstellung auf das Coldbox-Amin-Verfahren bei externer Regenerierung des Altsandes erfolgt in Abschnitt 6.1.4.2.

Die Umstellung auf das Methylformiat-Verfahren ist von den in Abschnitt 6.1.1 genannten Bindemittel-Alternativen für den Betrieb mit geringeren Investitionen verbunden. Die externe Regenerierung von Methylformiat-Altsanden ist jedoch relativ aufwendig (mechanisch-thermischmechanisch) und nach den bisher vorliegenden Erfahrungen nur zusammen mit Bentonitaltsanden (Verdünnungseffekt) mit befriedigendem Ergebnis möglich. Hierzu werden derzeit großtechnische Versuche durchgeführt. Bezogen auf den Altsand (inkl. Binder) wird der Wirkungsgrad der externen mechanisch-thermisch-mechanischen Regenerierung mit 65 % angenommen (konservative Schätzung). Die Regenerierungskosten werden mit ca. 100 DM/t angegeben (ohne Transport). Trotz der technologischen Einschränkungen soll auch die Umstellung auf das Methylformiat-Verfahren bei externer Regenerierung des Altsandes wirtschaftlich bewertet werden (vgl. Abschnitt 6.1.4.1).

6.1.3 Einsatz von Regenerat zur Formherstellung

Wie bereits in Abschnitt 6.1.1 dargelegt, ist eine Regenerierung des anfallenden Altsandes mit dem Ziel einer Substitution von Neusand zur Kernherstellung technisch nur bei der Umstellung auf ein Kernverfahren mit organischem Bindersystem möglich. Unabhängig davon, ob die Regenerierung betriebsintern oder in einer externen Anlage durchgeführt wird, hat der Ersatz des feinkörnigen Natursandes, der derzeit zum Ausgleich des Formsandaustrags verwendet wird, durch regenerierten Kernaltsand eine Verschiebung des Korngrößenspektrums hin zu größeren Korngrößen zur Folge (Verschlechterung der Oberflächenqualität der Gußstücke). Darüberhinaus ist eine leistungsfähige Mischeinrichtung zur Mischung von Regenerat und Bentonit erforderlich. Zusätzlich sind die Kosten für die Bentonitbeschaffung zu berücksichtigen.

Da bei der Altsandregenerierung Sandverluste auftreten (Abrieb, Kornzerstörung), steht in Abhängigkeit vom Wirkungsgrad der Regenerierung weniger Regenerat zur Verfügung, als zur Konstanthaltung der Sandmenge des Betriebs erforderlich ist. Wie die Bilanzierung in den Abschnitten 6.1.4.1 und 6.1.4.2 zeigt, ist zur Ergänzung des Sandkreislaufs eine Neusandmenge notwendig, die über dem Natursandbedarf von derzeit 22 t/a liegt. Es ist daher zu empfehlen, im Fall einer externen Altsandregenerierung den Formsandkreislauf wie bisher mit Natursand zu ergänzen und das Regenerat ausschließlich zur Kernherstellung zu verwenden.

6.1.4 Wirtschaftliche Bewertung

Um den Kostenaufwand, der bei der Umstellung des Bindemittelsystems für die Kernherstellung und bei externer Regenerierung des Altsandes auf den untersuchten Betrieb zukommt, abschätzen zu können, werden von den in Abschnitt 6.1.1 dargestellten Lösungsmöglichkeiten die externe Regenerierung des Altsandes bei gleichzeitiger Umstellung auf das Coldbox-

Amin- und auf das Methylformiat-Verfahren untersucht. Die wirtschaftliche Bewertung erfolgt durch einen Kostenvergleich zwischen der bestehenden Verfahrensweise und den beiden Umstellungsvarianten auf der Basis der Annuitätenmethode (vgl. Anhang 1, Abschnitt A1-3.2).

6.1.4.1 Umstellung auf das Coldbox-Methylformiat-Verfahren

Der Wirtschaftlichkeitsrechnung sind folgende Annahmen zugrunde gelegt:

- Ersatz des Wasserglas-CO₂-Verfahrens durch das Methylformiat-Verfahren bei der Kernherstellung (ca. 171 t/a Kernsand) und durch das Alpha-Set-Verfahren bei der Herstellung komplizierter Formen (ca. 35 t/a Modellsand). Der Mischer, der bisher zur Herstellung des Wasserglas-Sandes verwendet wird, kann für das Alpha-Set-Verfahren weiterverwendet werden.
- 2. Externe Regenerierung des Altsandes. Da die externe Regenerierung der Methylformiat-Altsande mechanisch-thermisch-mechanisch erfolgen muß (vgl. Abschnitt 6.1.1), wird unterstellt, daß rund 65 % des Altsandes als Regenerat einsetzbar anfallen. Der Feinanteil (ca. 35 %) enthält keine Wertstoffe, die für Gießereizwecke einsetzbar sind. Die Entfernung zwischen Gießerei und externer Regenerierungsanlage wird mit 100 km angesetzt.
- 3. Einsatz des Regenerats bei der Kernherstellung. Der Kernsandbedarf (inkl. Modellsand) liegt nach der Ist-Analyse bei 243 t/a. Von der Altsandmenge von 270 t/a (ca. 2 % Binder) sind 65 % entsprechend 175 t/a als Regenerat verfügbar. Um den Sandbedarf der untersuchten Gießerei von 265 t/a zu decken, müssen etwa 90 t/a Quarzkorn als Neusand zugeführt werden.
- 4. Wegen des ungünstigen Einflusses auf das Kornspektrum und um die Anschaffung einer Mischeinrichtung für die Herstellung von Naßgußformsand zu vermeiden, erfolgt die Ergänzung des Formstoffkreislaufs wie bisher mit neuem Natursand (22 t/a).
- 5. Zur Kernherstellung (inkl. Modellsand) stehen aus der Regenerierung 175 t/a Regenerat zur Verfügung. Insgesamt werden zur Kernherstellung (inkl. Modellsand) 243 t/a Sand benötigt, so daß zusätzlich 68 t/a Neusand erforderlich sind. Der Neusandanteil bei der Kernherstellung liegt somit bei rund 28 %. Sofern erforderlich, kann dieser Neusand gezielt zur Herstellung komplizierter Kerne, die hohe Festigkeiten erfordern, verwendet werden.
- 6. Als Abfall/Reststoff verbleiben nach der externen Regenerierung ca 94 t/a inertisierter Feinanteil, der branchenfremd verwertet oder deponiert wird.

Bei der wirtschaftlichen Bewertung des o.g. Konzepts sind folgende Kosten und Erlöse zu berücksichtigen:

Erlöse:

- eingesparter Neusand (Quarzsand zur Kernherstellung) inkl. Transport: 175 t/a zu 106,85
 DM/t
- eingespartes Wasserglas: 7,4 t/a zu 940 DM/t
- eingespartes CO₂: 3,8 t/a zu 3 180 DM/t
- eingesparte Deponiekosten inkl. Transport: 274 t/a zu 75 DM/t
- eingesparte Abfallabgabe für Kernbruch (Abgabenkategorie II): 6 t/a zu 100 DM/t (bis Ende 1992) bzw. 200 DM/t (ab 1993)

Kosten:

- Anschaffung einer Kernschießmaschine (25 I Sandvolumen) mit Gaserzeugung: 250 000 DM
- zusätzlicher Harzverbrauch für 171 t/a Kernsand pro Jahr (2 % Harzanteil): 3,42 t/a zu 4 080 DM/t

- zusätzlicher Methylformiat-Verbrauch für 171 t Kernsand pro Jahr (0,72 % Gasbedarf): 1,23
 t/a zu 5 200 DM/t
- Alpha-Set-Harz für 35 t Modellsand pro Jahr (2 % Harzanteil): 0,7 t/a zu 4.080 DM/t
- Alpha-Set-Katalysator für 35 t Modellsand pro Jahr (0,72 % Kat.-Anteil): 0,25 t/a zu 5 200 DM/t
- externe Regenerierung des Altsandes (mechanisch-thermisch-mechanisch): 270 t/a zu 100 DM/t
- Transport des Altsandes über 100 km: 270 t/a zu 18 DM/t
- Ankauf des klassierten Regenerats: 175 t/a zu 20 DM/t
- Rücktransport des Regenerats über 100 km: 175 t/a zu 18 DM/t

Da die mittelfristige Preisentwicklung der verschiedenen Erlös- und Kostenarten nur geschätzt werden kann, wurden bei der Wirtschaftlichkeitsrechnung zwei Preisszenarien berücksichtigt (vgl. Anhang 2). In Szenario 1 wird angenommen, daß für keine der berücksichtigten Kosten und Erlöse Preissteigerungen auftreten, die oberhalb der Inflationsrate liegen (0 % p.a. real). Szenario 2 beinhaltet moderate Preissteigerungen für die Neusandbeschaffung, die externe Altsandregenerierung und Transportvorgänge von 2 % p.a. real. Für die Entsorgung wird in Szenario 2 eine Verdoppelung der realen Deponiekosten in 10 Jahren angenommen (7 % p.a. real).

Als Ergebnis der Kostenvergleichsrechnung (Ist-Zustand versus Umstellung) ist in Abbildung 2 für unterschiedliche Betrachtungszeiträume (Laufzeit) die Kostendifferenzen zwischen bestehender Verfahrensweise und der Umstellung auf das Methylformiat-Verfahren bei externer Regenerierung als Annuitäten dargestellt. Unter Berücksichtigung einer Bandbreite für den Kalkulationszinssatz von 3 bis 9 % p.a. real (vgl. Anhang 1) ergibt sich, daß für den untersuchten Betrieb mittelfristig eine Umstellung des derzeit eingesetzten Wasserglasverfahrens auch bei real unveränderten Preisen (Szenario 1) nicht wirtschaftlich ist. Bei der Umstellung auf das Methylformiat-Verfahren und einer externen Regenerierung des Altsandes sind bei einem Betrachtungszeitraum von 5 Jahren Mehrkosten in Höhe von etwa 233 DM/t Altsand zu erwarten. Bei einem zu regenerierenden Altsandanfall von 270 t/a belaufen sich die Kosten der Umstellung für den untersuchten Betrieb somit auf rund 63 000 DM/a. Der Einfluß der Entsorgungskosten auf den Kostenvergleich ist sehr gering. Bei einem Betrachtungszeitraum von 5 Jahren belaufen sich die Mehrkosten für Szenario 2 auf ca. 221 DM/t Altsand entsprechend ca. 60 000 DM/a.

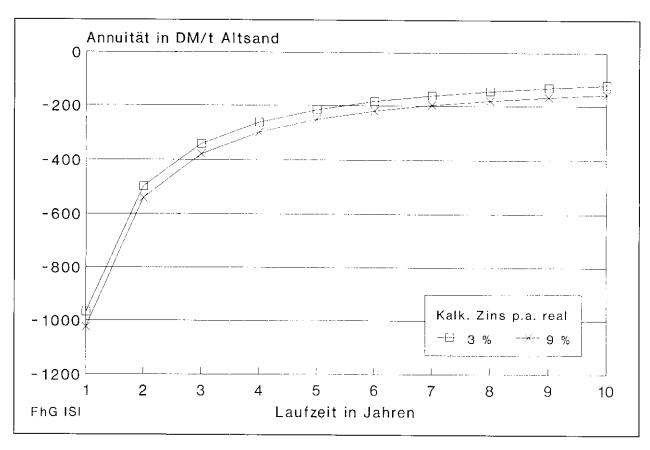


Abb. 2: Kostenvergleich zwischen bestehender Verfahrensweise und der Umstellung auf das Methylformit-Verfahren bei externer Regenerierung, dargestellt als Annuität pro t Altsand für unterschiedliche Betrachtungszeiträume (Szenario 1)

6.1.4.2 Umstellung auf das Coldbox-Amin-Verfahren

Der Wirtschaftlichkeitsrechnung sind folgende Annahmen zugrundegelegt:

- Ersatz des Wasserglas-CO₂-Verfahrens und des Methylformiat-Verfahrens durch das Coldbox-Amin-Verfahren bei der Kernherstellung (ca. 208 t/a Kernsand) und durch das Pep-Set-Verfahren bei der Herstellung komplizierter Formen (ca. 35 t/a Modellsand). Der Mischer, der bisher zur Herstellung des Wasserglas-Sandes verwendet wird, kann für das Pep-Set-Verfahren weiterverwendet werden.
- 2. Externe Regenerierung des Altsandes. Da die externe Regenerierung der Coldbox-Altsande thermisch-mechanisch erfolgen kann (vgl. Abschnitt 6.1.1), wird unterstellt, daß rund 80 % des Altsandes als Regenerat anfallen. Der Feinanteil (ca. 20 %) enthält keine Wertstoffe, die für Gießereizwecke einsetzbar sind. Die Entfernung zwischen Gießerei und externer Regenerierungsanlage wird mit 100 km angesetzt.
- 3. Einsatz des Regenerats bei der Kernherstellung. Der Kernsandbedarf (inkl. Modellsand) liegt nach der Ist-Analyse bei 243 t/a. Von der Altsandmenge von 269 t/a (ca. 1,5 % Binder) sind 80 % entsprechend 215 t/a als Regenerat verfügbar. Um den Sandbedarf für die Kernherstellung zu decken, müssen etwa 28 t/a Quarzkorn als Neusand zugeführt werden. Für die Kernherstellung stehen somit 12 % Neusand zur Verfügung.
- 4. Wegen des ungünstigen Einflusses auf das Kornspektrum und um die Anschaffung einer Mischeinrichtung für die Herstellung von Naßgußformsand zu vermeiden, erfolgt die Ergänzung des Formstoffkreislaufs wie bisher mit neuem Natursand (22 t/a).

5. Als Abfall/Reststoff verbleiben nach der externen Regenerierung ca. 53 t/a inertisierter Feinanteil, der branchenfremd verwertet oder deponiert wird.

Bei der wirtschaftlichen Bewertung des o.g. Konzepts sind folgende Kosten und Erlöse zu berücksichtigen:

Erlöse:

- eingesparter Neusand (Quarzsand zur Kernherstellung) inkl. Transport: 215 t/a zu 106,85
 DM/t
- eingespartes Wasserglas: 7,4 t/a zu 940 DM/t
- eingespartes CO₂: 3,8 t/a zu 3 180 DM/t
- eingespartes Harz: 0,68 t/a zu 4.080 DM/t
- eingespartes Methylformiat: 0,27 t/a zu 5.200 DM/t
- eingesparte Deponiekosten für Altsand inkl. Transport: 274 t/a zu 75 DM/t
- eingesparte Abfallabgabe für Kernbruch (Abgabenkategorie II): 6 t/a zu 100 DM/t (bis Ende 1992) bzw. 200 DM/t (ab 1993)

Kosten:

- Anschaffung einer Kernschießmaschine (25 | Sandvolumen) mit Gaserzeugung: 250 000 DM
- Harzverbrauch (Komponente 1 und 2) für 208 t Kerne pro Jahr (1,6 % Harzanteil): 3,33 t/a zu 5 000 DM/t
- Amin-Verbrauch für 208 t Kerne pro Jahr (0,2 % Gasbedarf): 0,42 t/a zu 9000 DM/t
- Pep-Set-Harz für 35 t Sand pro Jahr (0,9 % Harzanteil): 0,32 t/a zu 4950 DM/t
- Pep-Set-Aktivator für 35 t Sand pro Jahr (0,45 % Kat.-Anteil): 0,16 t/a zu 5 450 DM/t
- Anschaffung eines Abgaswäschers inkl. Nebenanlagen: 200 000 DM/t
- Verwertung des Wäscherkonzentrats (Aminsulfat): ca. 8 t/a zu 1190 DM/t
- Abfallabgabe Wäscherkonzentrat entfällt, da Verwertung erfolgt.
- Transport des Wäscherkonzentrats in 1 m³-Containern über 150 km inkl. Rückfracht des Leer-Containers: ca. 8 m³/a zu 165 DM/m³
- externe Regenerierung des Altsandes (thermisch-mechanisch): 269 t/a zu 90 DM/t
- Transport des Altsandes über 100 km; 269 t/a zu 18 DM/t
- Ankauf des klassierten Regenerats: 215 t/a zu 20 DM/t
- Rücktransport des Regenerats über 100 km: 215 t/a zu 18 DM/t

Entsprechend der Verfahrensweise in Abschnitt 6.1.4.1 ergeben sich aus dem Kostenvergleich für die Umstellung auf das Amin-Verfahren bei externer Regenerierung die in Abbildung 3 wiedergegebenen Annuitäten. Für einen Betrachtungszeitraum von 5 Jahren belaufen sich die Mehrkosten auf ca. 409 DM/t Altsand (Szenario 1). Bei einem zu regenerierenden Altsandanfall von 269 t/a ist mit einem Mehraufwand von rund 110 000 DM/a zu rechnen. Die Umstellung auf das Amin-Verfahren ist für den untersuchten Betrieb um den Faktor 1,75 teurer als die Umstellung auf das Methylformiat-Verfahren (vgl. Abschnitt 6.1.4.1). Auch bei der Umstellung auf das Amin-Verfahren spielt die Entwicklung der Entsorgungskosten eine untergeordnete Rolle. Bei gleichem Betrachtungszeitraum beläuft sich der Mehraufwand für Szenario 2 auf rund 397 DM/t entsprechend ca. 107 000 DM/a.

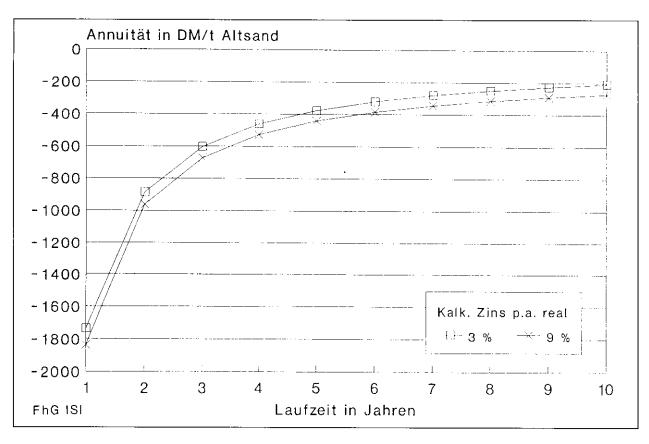


Abb. 3: Kostenvergleich zwischen bestehender Verfahrensweise und der Umstellung auf das Amin-Verfahren bei externer Regenerierung, dargestellt als Annuität pro t Altsand für unterschiedliche Betrachtungszeiträume (Szenario 1)

6.2 Branchenfremde Verwertung des Altsandes (R2)

Wegen der hohen wirtschaftlichen Belastung, der der untersuchte Betrieb bei der Umstellung des Kernherstellungsverfahrens für eine externe Regenerierung ausgesetzt wäre, wird im folgenden auf die Möglichkeit der branchenfremden Verwertung des anfallenden Altsandes (R2) eingegangen.

Über die Eignung von wasserglasgebundenem Altsand zur branchenfremden Verwertung ist wenig bekannt. Aus der Eigenschaft von Wasserglas, den Sinterpunkt von Quarzsand herabzusetzen, läßt sich ableiten, daß die branchenfremden thermischen Verwertungsmöglichkeiten (Zement-, Ziegelherstellung) für Altsande mit hohem Wasserglasanteil ungeeignet sind. Das Verhalten von Wasserglassanden in Asphaltmischungen wurde bisher nicht untersucht.

Ohne einer genaueren Untersuchung vorzugreifen, erscheint eine Verwertung wasserglasgebundener Altsande im Bausektor (Schüttmaterial) und die Verfüllung von Schächten im Bergbau unter Umweltaspekten vertretbar. Das Eluat reiner Wasserglas-Altsande ist wegen des Gehalts an Na-Silikaten und Na-Carbonat (Soda) leicht alkalisch. Angesichts der Acidität von Regenwasser (Neutralisation) ist im Baubereich keine Beeinträchtigung der Umwelt (Oberflächen-, Grundwasser) zu erwarten.

Der Altsand des untersuchten Betriebs enthält neben wasserglasgebundenem Altsand auch in geringem Umfang Methylformiat-Kerne (13 %). Da die Methylformiat-Kerne ausgehärtet und durch das Abgießen thermisch belastet sind, werden aller Voraussicht nach im Eluat des Altsandes nur geringe Phenol-Konzentrationen zu finden sein. In den Formstoffmischungen von Aluminiumgießereien werden keine Glanzkohlenstoffbildner eingesetzt. Weder im Eluat noch in

der Originalprobe ist deshalb mit polizyklischen Aromaten (PAK) zu rechnen. Auch die Beimengungen von bentonitgebundenem Formsand (13 %) stellen kein Umweltrisiko dar. Sofern Zerfallsförderer (Zucker, Stärke) eingesetzt werden, ist mit erhöhten BSB- bzw. CSB-Konzentrationen zu rechnen.

Unter Berücksichtigung der wirtschaftlichen Probleme bei der Substitution des Wasserglas-CO₂-Verfahrens durch ein organisches Bindersystem einerseits und des relativ geringen Umweltgefährdungspotentials des derzeitigen Altsandes andererseits ist im Fall des untersuchten Betriebs eine Prüfung der branchenfremden Verwertung des Altsandes im Baubereich anzuraten.

Anlage 1
Verfahren und Methoden der Probenuntersuchungen

Prüfgröße		Prüfverfahren
С	%	je nach C-Gehalt: Verbrennungs- verfahren - Infrarot/Coulometrisch
S	%	<pre>je nach S-Gehalt: Verbrennungs- verfahren - Infrarot/Coulometrisch</pre>
N	%	Kjelldahl
P	%	ICP
Fe ges.	%	RFA
Al ₂ 0 ₃	%	RFA
TV (H2O)	%	P 32
GV ges.	%	P 33
GV Sand	%	P 36
flüchtige Bestandteile	%	F 8/9 VDG-Vorlage 1975
Aktivton	· %	IfG-Handblatt 3
Schlämmstoffe	%	P 34
Schamotte	%	IfG-Handblatt 54
MK	mm	P 34
рН		IfG-Handblatt 187
Säureverbrauch	ml	P 26
Laugenverbrauch	mg	IfG-Handblatt 186
Eisenpartikel	%	wiegen
Kornverteilung		P 34

Anlage 2

Ergebnisse der Probenuntersuchungen

Probenbezeichr	ung	GA 1	GA 2
С	8	0,32	0,31
S	*	0,017	0,034
N	8	∠0,02	<0,02
P	8	< 0,001	0,013
Fe ges.	8	0,9	2,5
Al ₂ 0 ₃	8	1,,6	5,6
TV (H ₂ O)	ક	1,0	7,5
GV ges.	8	1,4	2,4
GV Sand	8	0,6	0,8
fl. Best.	8	1,4	3,2
MBd	윰	1,2	3,5
Schläm.	8	8,1	18,1
Schamotte	8	10,1	17,6
mm MK		0,17	0,08

GA 1 - Altsand / Kernknollen

GA 2 - Formsand

IST-Analyse und Vermeidungs- und Verwertungskonzept

Betrieb Nr. 397:

Einzelfertigung im Kaltharzverfahren, mechanisierte Naßgußfertigung mit Kaltharz- und Coldbox-Amin- Kernen sowie Kokillenguß mit Coldbox-Amin-, Hotbox- und Croning-Kernen (Aluminium)

Inhaltsverzeichnis

1	Gußproduktion und Verfahren der Form- und Kernherstellung	165
1.1	Kaltharzsand-Formverfahren	165
1.2	Naßgußsand-Formverfahren	165
1.3	Maschinentechnische Ausstattung	166
2	Formstoffkreislauf	168
2.1	Kreislauf des Kaltharzformsandes	169
2.2	Kreislauf des Naßgußsandes	169
3	Mengenbilanz der Einsatzstoffe, Reststoffe und Produkte	170
3.1	Kaltharzformerei und -kernformerei	170
3.2	Naßgußformerei	171
3.3	Kokillengußfertigung	172
3.4	Magnesium-Sandgießerei	173
4	Anforderungen an die Qualität der Einsatzstoffe	174
5	Analysen von Sanden und Stäuben	175
5.1	Probenahme und Analysenverfahren	
5.2	Analysenergebnisse und Beurteilung	
6	Vermeidungs- und Verwertungskonzept	176
6.1	Berücksichtigte Abfall-/Reststoffströme der Kaltharzgießerei	
6.1.1	Überkorn aus der mechanischen Kreislaufsandaufbereitung (R4)	
6.1.2	Staub aus der mechanischen Kreislaufsandaufbereitung (R7)	
6.2	Berücksichtigte Abfall-/Reststoffströme aus dem Naßguß	
6.2.1	Kernknollen (R6)	
6.2.2	Kernbruch und Restsand (R12)	
6.2.3	Polygonsiebüberlauf (R5)	
6.2.4	Staub aus der Naßguß-Kreislaufsandaufbereitung (R8)	
6.3	Maßnahmen zur Verringerung des Altsandaufkommens	
6.3.1	Rückführung von Wertstoffen aus dem Naßguß	
6.3.1.1	Rückführung des Polygonsiebüberlaufs (R5)	
6.3.1.2	Rückführung des Staubs aus der Naßgußsandsiebung (R8)	
6.3.2		178
6.3.2.1	Kernherstellung	178
6.3.2.2	Modellsand im Naßguß	178
6.3.3	Verträglichkeit der Bindersysteme	178
6.3.3.1		179
6.3.3.2	Ersatz der Hotbox-Kernfertigung in der Kokillengießerei	179
6.3.4	Thermische Regenerierung der Altsande und Stäube	179
6.4	<u> </u>	181
6.5		182
Anlaga	1	101
Anlage 1	1	
Alliage 4	<u> </u>	100

1 Gußproduktion und Verfahren der Formund Kernherstellung

In der untersuchten Kundengießerei werden Gußstücke aus Aluminium und in geringen Mengen aus Magnesium als Einzelgußstücke und in Großserien (Automobilindustrie) gegossen. Große Gußserien und Gußstücke mit höheren Anforderungen an die Maßgenauigkeit und Oberflächengüte werden in metallische Dauerformen nach Druckguß-, Niederdruck- und Schwerkraftkokillenguß-Verfahren gegossen. Kleinserien und Einzelstücke bzw. Gußteile mit geringeren Qualitätsanforderungen werden in Sandformen nach dem Naßguß- und dem Kaltharz-Verfahren gegossen. Die in Sandformen gegossene Al-Gußproduktion beträgt über 1000 t/a. In die metallischen Dauerformen (Kokillen) werden teilweise auch Sandkerne eingelegt. Die metallischen Einsatzstoffe werden in gasbeheizten Schmelzöfen erschmolzen und in Warmhalteöfen bzw. Warmhaltetiegeln gespeichert.

1.1 Kaltharzsand-Formverfahren

Die Formstoffkomponenten werden in kontinuierlich arbeitenden Durchlaufmischern gemischt. Die beim Mischen zu dosierende Härtermenge wird in Anteilen von 0,3 bis 0,8 % je nach Temperaturverhältnissen (Sandtemperatur, Raumtemperatur, Formwerkzeugtemperatur) und nach der zur Verfügung stehenden Aushärtedauer bis zum Modelltrennen (Ausschalzeit) geregelt.

Der Neusandanteil bei der Kaltharzkernfertigung wird entsprechend dem Kernschwierigkeitsgrad festgelegt:

schwierige Kerne: 100 % Neusand

einfache Kerne: 70–50 % Altsand (Regenerat)

Der Formstoff wird bei der Fertigung der Formen und großen Kerne durch Andrücken an das Modell von Hand verdichtet. Die Verdichtung des Formstoffes mittelgroßer bis kleinerer Kaltharzkerne erfolgt mechanisch durch Vibration auf einer Vibrationseinrichtung.

Zur Formherstellung werden Formkästen unterschiedlicher Form (rund, rechteckig, quadratisch) und Größe verwendet. Auf die ausgehärteten Formhälften und Kerne wird eine Alkoholschlichte (Al-Silikat) durch Spritzen (Formen), Streichen (Formen, Kerne) oder Tauchen (Kerne) aufgetragen und durch Abflammen getrocknet. Die Kaltharzformen werden mittels Hallenkran transportiert und mittels Kranpfanne abgegossen. Das Ausleeren der Formen erfolgt auf einem Ausleerrüttelrost. Die nicht zerfallenen und im Gußstück verbleibenden Kerne bzw. Kernreste werden zusätzlich mittels Hochfrequenzhammer entkernt.

Ein geringer Anteil der Kaltharzkerne wird in der Magnesium-Sandgießerei und in der Al-Sandgießerei eingesetzt.

1.2 Naßgußsand-Formverfahren

Über 80 % der Sandgußproduktion werden auf einer Naßgußsand-Formanlage (Rüttel-Preß-Verdichtung) gefertigt. In die Naßgußformen werden ca. 90 % Cold-Box-Kerne und etwa 10 % Kaltharz-Kerne eingelegt. In der von der Al-Formerei räumlich getrennten Mg-Naßsandgießerei werden ebenfalls Cold-Box-Kerne verwendet.

Nach dem Ausleeren und Entkernen wird an ca. 80 % der Gußstücke das Kreislaufmaterial (Gieß- und Speisesystem) mittels Bandsäge abgetrennt. Anschließend werden die Gußstücke

gestrahlt. Nach dem Strahlen werden die Gußteile durch spanende Bearbeitung wie Sägen, Schleifen, Meißeln fertiggeputzt.

Der Guß ist damit versandfertig oder wird auf Kundenwunsch bis zum einbaufertigen Maschinenteil weiterbearbeitet.

1.3 Maschinentechnische Ausstattung

In Tabelle 1 sind die Verfahren und Fertigungstechniken, die in der untersuchten Gießerei eingesetzt werden, zusammengestellt.

Prozeß	Verfahren / Technik	Produkt
Schmelzen/Warmhalten	elektrisch und gasbeheizte Schmelz- und Warmhalteöfen bzw. Warmhaltetiegel (Heizdeckel)	
Schmelzbehandlung	Entgasung (Vakuumentgasung), Kornfeinung, Veredelung	Flüssigaluminium: 2.307 t/a Flüssigmagnesium
Form- und Gießverfahren: Druckguß	elektronisch gesteuerte Kaltkammer-	Al-Gußteile in großen Serien mit Stück-
	maschinen mit Schließkräften von 400 - 2000 t	massen bis ca. 10 kg bzw. bis Projek- tionsflächen bis zu 5000 cm²
Kokillenguß	Form- und Gießeinrichtungen für Niederdruck-Kokillenguß und Schwerkraft-Kokillenguß	Gußstückmassen bis 50 kg Gußstückmassen bis 100 kg
Sandguß Formherstellung	Kaltharz-Formverfahren 1 Durchlaufmischer "Supermix" (Fa. Axmann), Leistung: 12 t/h Formkastenabmessung: variabel Formstoffverdichtung: Andrücken von Hand Schlichten: Spritzen und/oder Streichen von Alkoholschlichte und Abflammen	Gußproduktion: 156 t/a Al-Guß Gußstückmassen: bis 4,5 t Stückzahlen: Einzelfertigung Produktpalette: Gehäuse für Getriebe, Elt-Schaltanlagen, Laufräder u. a.
	Naßguß-Formverfahren 1 Rüttel-Preß-Formanlage (Fa. Zimmermann) Formkastenabmessungen: 1650 x 1200 mm 3 Rüttel-Preß-Formmaschinen Formkastenabmessungen: bis 2300 x 1400 mm	Gußproduktion: 1.143 t/a A1-Guß Gußstückmassen: bis 250 kg

Tab. 1: Übersicht angewendeter Verfahren und Fertigungstechniken (Blatt 1)

Prozeß	Verfahren / Technik	Produkt
Kernherstellung Großkerne	Kaltharz-Formverfahren 1 Durchlaufmischer "Turbomischer" (Fa. Wöhr), Leistung: 7 t/h Formstoffverdichtung: 7 b/h Formstoffverdichtung: Vibrationstisch Schlichten: Spritzen und/oder Streichen von Alkoholschlichte Schlichtetrocknen: Abflammen	Kernnasse z. B.: 3 t Stückzahlen: Einzelkerne
Kleinkerne	Cold-Box-Kernformverfahren (Cold-Box-Amin-Verfahren) Formstoffmischer: Chargenschwingmischer Kernherstellung: Kernschießmaschinen mit Begasungseinrichtungen ohne Katalysator-Neutralisationswäscher	Kerneinsatz: ca. 93 % Al-Sandguß ca. 7 % Mg-Sandguß
Kaltharzsand- Rückgewinnung	Mechanische Kaltharzsand-Rückgewinnung Ausleerrüttelroste mit Entkernen (Hoch- frequenzkammer) - Knollenzerkleinerung (Raspeltopf) - Entstaubung (Wirbelbett- sichter) - Warmsandsilo - Staukühler - Kaltsandsilo - pneumat. Transport mit Sanderwärmung	
Naßgußsand- Riickgewinnung	Ausleerrüttelrost-Siebeinrichtung-Silos	

Tab. 1: Übersicht angewendeter Verfahren und Fertigungstechniken (Blatt 2)

2 Formstoffkreislauf

Entsprechend den beiden unterschiedlichen Formstoffarten existieren in der Sandgießerei zwei getrennte Formstoffkreisläufe:

- Kreislauf des organisch gebundenen Kaltharzformsandes
- Kreislauf des anorganisch bentonitgebundenen Naßgußformstoffes

In Abbildung 1 sind die beiden Formsandkreisläufe, die Zwischenprodukte und die anfallenden Abfälle/Reststoffe angegeben.

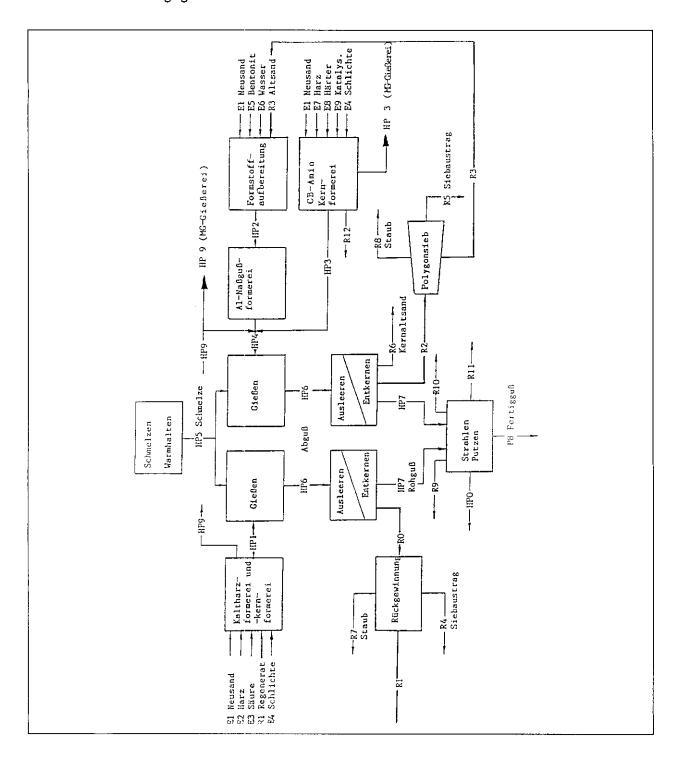


Abb. 1: Sandgußformerei

Erläuterungen zu Abbildung 1:

2.1 Kreislauf des Kaltharzformsandes

Nach dem Ausleeren der abgegossenen Formen werden die Kaltharzform- und -kernsandknollen mechanisch in einem Raspeltopf zerkleinert (Kornvereinzelung). Die thermisch belasteten und versprödeten Binderhüllen werden zusammen mit dem Quarzunterkorn in einem Wirbelbettsichter vom Furanharz-Kreislaufsand abgetrennt. Hierbei fallen in geringem Umfang Überkorn und abgesaugter Staub an, die zur Deponie entsorgt werden.

In einem Silo wird der noch warme Altsand zwischengelagert. Am Siloaustrag wird der Altsand beim Durchströmen eines Staukühlers abgekühlt und pneumatisch zum Kaltsandsilo gefördert. Beim pneumatischen Transport des Altsandes von dem im Freien stehenden Altsandsilo zum Durchlaufmischer kann der Sand nach Bedarf erwärmt werden.

Der **Recyclinggrad** in der Kaltharzformerei – das Verhältnis von Kaltharzkreislaufsand zur Summe von Kaltharzkreislaufsand und Neusand für Formen und Kerne – beträgt **88** %.

2.2 Kreislauf des Naßgußsandes

Der am Ausleerrüttelrost anfallende Altsand mit Cold-Box-Kern- bzw. -sandresten wird in einem Polygonsieb gereinigt, indem Kern- und Formstoffknollen abgesiebt werden und Staub abgesaugt wird. Der gereinigte Ausleersand wird nach Zwischenlagerung im Altsandbunker zur erneuten Verwendung dem Formstoffmischer zugeführt, während Siebabfälle und Staub zur Deponie gebracht werden.

Der Recyclinggrad des Formstoffes in der Naßgußformerei beträgt 93 %.

3 Mengenbilanz der Einsatzstoffe, Reststoffe und Produkte

3.1 Kaltharzformerei und -kernformerei

In der Furanharzgießerei des untersuchten Betriebs werden Formen und Kerne hergestellt. Die Menge der gefertigten Kaltharzkerne, von denen ein Teil in der Aluminium-Naßgußproduktion (244 t/a) und in der Magnesiumgießerei (120 t/a) eingesetzt wird, ist nicht bekannt. Zur Herstellung der Kerne werden 350 t/a Neusand eingesetzt, der mit einer unbekannten Menge Kaltharzkreislaufsand ergänzt wird.

Durch den Neusandanteil der einlaufenden Kerne wird der Kaltharzkreislauf aufgefrischt und der Sandverlust (Staub, Überkorn, exportierte Kerne) ausgeglichen. Abgesehen von geringen Staub- und Überkornmengen, arbeitet die Kaltharzgießerei abfall-/reststofffrei.

Die im betrachteten Zeitraum verbrauchten Einsatzstoff- und angefallenen Reststoffmengen sind in Tabelle 2 angegeben.

Einsa	tzstoffe	Menge t/a	Anteil %	Reststoffe / Produkte	Menge t/a
E1 E2 E3 E4 R1	Neusand Furanharz (S 607, S 204) Säure (PTS, F 60/61) Schlichte Kaltharz-Kreislaufsand	350 26,8 11,2 6,4 2304	13,0 1,0 0,4 - 85,6	Zur Deponie: R4 Siebaustrag (Überkorn) R7 Staub Kerne zum Mg-Naßsandguß Kerne zum Al-Naßsandguß	10 20 120 244
HP1	aufbereiteter Formstoff	2692	100	Deponiemenge	30
HP5	Flüssigmetall	250	- - -	P8 guter Guß	156

Tab. 2: Einsatzstoffe, Reststoffe und Produkte der Kaltharzform- und -kernfertigung

Erläuterungen zu Tabelle 2:

E1, E2, E3

Die Neusandmenge (13 %) beinhaltet den Form- und Kernsand der Kaltharzfertigung sowie Neusand für in Mg-Naßsandguß und in Al-Naßsandguß eingesetzte Kaltharzkerne.

R1, HP1 Die Kreislaufsandmenge wurde aus dem Neusandanteil (13 %) hochgerechnet.

Einsatzstoff	Menge in kg/100 kg		
	Flüssigmetall	guter Guß	
Neusand	43,2	69,2	
Harz	10,7	17,2	
Säure	4,5	7,2	
Al : Sand-Verhältnis	1:9,8	1 : 15,8	

Tab. 3: Spezifischer Verbrauch an Einsatzstoffen in der Kaltharzform- und -kernherstellung

In den angegebenen spezifischen Verbrauchszahlen ist berücksichtigt, daß ein Teil der Kaltharzkerne zum Al- und Mg-Naßguß abgeführt werden.

3.2 Naßgußformerei

In der Naßgußlinie der untersuchten Gießerei werden überwiegend Coldbox-Amin-Kerne eingesetzt (1720 t/a), die aus Neusand hergestellt werden. Darüberhinaus werden 244 t/a Kaltharzkerne mit unbekanntem Neusandanteil verwendet. Auf Kundenwunsch wird zur Erzielung glatter Gußoberflächen Modellsand eingesetzt (325 t/a). Der Modellsand ist feinkörniger als der Neusand, der zur Form- und Kernherstellung verwendet wird.

Der Kernsandeinlauf in den Naßgußkreislauf wird vom Betreiber auf rund 5 % (98 t/a) der im Naßguß eingesetzten Kernmenge (1964 t/a) geschätzt. Da der einlaufende Kernsand im bezug auf das Störstoffpotential als unbelastet angesehen werden kann, stehen zur Auffrischung des Naßgußkreislaufs zusammen mit dem Modellsand ca. 423 t/a unbelasteter Sand zum Ausgleich der als Abfall ausgetragenen Altsandmenge zur Verfügung.

Die Mengenbilanzen der Einsatzstoffe, Reststoffe und Produkte sind in Tabelle 4 angegeben.

Einsat	.2stoffe	Menge t/a	Anteil %	Reststoffe / Produkte	Menge t/a
Naßgol	Bformerei			Zur Deponie:	
E1 E5 E6 R3	Neusand (F34) Bentonit Wasser Altsand	325 66 650 31459	1,0 0,2 2,0 96,8	R5 Siebaustrag / Überschußsand R8 Staub R6 Kernreste	255 100 2000
HP2	aufbereiteter Formstoff	32500	100	Deponiemenge	2355
HP3 HP9	Kerne (CB) Kerne (KH)	1720 244			
Kernf	ertigung			Kerne zu:	
E1 E7 E8 E9 E4	Neusand (H31/33) Komponente 1 Komponente II Katalysator Schlichte	2080 10,2 8,9 1,1	99,0 0,48 0,42 -	Al-Naßgußformerei Mg-Naßgußformerei R12 Kernbruch, Kernrestformstoff zur Deponie	1720 130 250
HP3	Kernformstoff (incl.Kernbruch und Kerne —restformstoff)	2100 1850	100		
IIP5	Flüssigmetall	2057		P8 guter Guß	1143

Tab. 4: Einsatzstoffe, Reststoffe und Produkte der Naßgußformerei

Erläuterungen zu Tabelle 4:

- Bei der angegebenen Wassermenge von 2 % wurde eine Altsandfeuchte von 2 % angenommen, so daß die Fertigsandfeuchte ca. 4 % beträgt.
- E1, E7, E8 In den Einsatzstoffen der Kernfertigung ist ein Kernanteil von ca. 130 t/a für die Mg-Sandgießerei enthalten.
- HP2 Die Menge aufbereiteter Formstoff wurde aus dem mit 0,2 % angenommenen Bentonitanteil hochgerechnet.

Einsatzstoff	Menge in kg/100 kg			
	Flüssigmetall	guter Guß		
Neusand ohne Kernsand	15,7	28,4		
Neusand einschl. Kernsand	115,7	208,3		
Bentonit	3,2	5,8		
Metall : Sand-Verhältnis	1:16,9	1:30,4		

Tab. 5: Spezifischer Verbrauch an Einsatzstoffen im Naßguß

3.3 Kokillengußfertigung

Die Kokillengießerei ist räumlich von der Furanharz- und der Naßgußgießerei getrennt. Zur Kernherstellung werden das Coldbox-Amin-, das Hotbox- und das Croning-Verfahren eingesetzt. Die Kerne werden aus Neusand hergestellt. Der Croningsand wird bereits als mit Bindemittel versetzter Formstoff bezogen (860 t/a). Für das Coldbox- und das Hotbox-Verfahren beläuft sich der Neusandbedarf auf 1300 t/a.

Beim Entkernen der Gußteile fallen in der Kokillengießerei rund 2160 t/a Kernsand an. Der Kernaltsand setzt sich aus 850 t/a Coldbox-Amin-Kernsand (Staub: 5 t/a), 450 t/a Hotbox-Kernsand (Staub: 3 t/a) und 860 t/a Croning-Kernsand (Staub: 5 t/a) zusammen. In den angegebenen Altsandmengen sind rund 150 t/a Kernbruch enthalten. Der Kernaltsand aus der Kokillengießerei enthält keine Verunreinigungen.

Die Bilanzen der Einsatzstoffe und Reststoffe der in der Kokillengießerei verwendeten Cold-Box-, Hot-Box- und Maskenkerne sind in Tabelle 6 angegeben. Die angegebenen Staubmengen sind Schätzwerte.

Einsatzstoffe	Menge t/a	Anteil %	Reststoffe	Menge t/a
Cold-Box-Kernfertigung Neusand Komponente I Komponente II Katalysator	850 6,5 6,5 1,4	98,5 0,75 0,75	Kernaltsand, Kernknollen Staub	845 5
Kerne	863	100	Deponiemenge inkl. Kernbruch	850
Not-Box-Kernfertigung Neusand Furanharz Härter Fließol	450 5,0 0,5 0,75	98,7 1,1 0,1 0,1	Kernaltsand, Kernknollen Staub	447 3
Kerne	456	100	Deponiemenge inkl. Kernbruch	450
Masken-Kernfertigung harzumhüllter Sand	860		Kernaltsand, Kernknollen Staub	855 5
Kerne	860		Deponiemenge inkl. Kernbruch	860
			Summe	2160

Tab. 6: Einsatzstoffe und Reststoffe des Sandkerneinsatzes in der Kokillengießerei

3.4 Magnesium-Sandgießerei

Die im Mg-Sandguß verbrauchten Neusandmengen und Kerne sowie die angefallenen Reststoffe sind in Tabelle 7 angegeben. Im Abfallvermeidungskonzept wird die Magnesiumgießerei nicht berücksichtigt.

Einsatzstoffe	Menge t/a	Reststoffe / Produkte	Menge t/a
Neusand: Formherstellung Cold-Box-Kerne Kaltharz-Kerne	210 130 120	Zur Deponie: Altsand Staub	457 3
	460	Deponiemenge	460
		guter Guß	75

Tab. 7: Einsatzstoffe und Reststoffe der Magnesium-Sandgußfertigung

4 Anforderungen an die Qualität der Einsatzstoffe

Die Anforderungen an die Qualität der Einsatzstoffe werden maßgeblich bestimmt durch:

- Formstoffsystem
- Formverfahren
- thermische und mechanische Belastung (Verschleiß)
- Gußstückqualität

Die in Tabelle 8 angegebenen Kenn- bzw. Richtwerte sollten regelmäßig überprüft werden.

Einsatzstoff	Richtwert		Prüfvorschrift
Quarzsand	Chem. Zusammensetzung		
	SiO ₂	>99 %)
	Fe ₂ O ₃	< 0,1 %)VDG-P 26
	Al_2O_3	< 0,5 %	j ,
	Glühverlust	0,1-0,2 %	VDG-P 33
	Schlämmstoffgehalt	0,1 %	VDG-P 27
	Körnung (MK)		VDG-P 27
	Sinterbeginn	>1500 °C	VDG-P 26
	Säureverbrauch		VDG-P 26
	Wassergehalt	< 0,1 %	VDG-P 26
Bentonit	Methylenblauwert	(%))
	Naßzugfestigkeit	(N/cm²)	, УDG-Р 69
	Druckfestigkeit	(N/cm²)	,)
Altsand	Glühverlust	%	VDG-P 33
	C-Gehalt	%	VDG-P 33
	Körnungsanalyse		VDG-P 34
	Aktivbentonitgehalt	%	VDG-P 35
	Schlämmstoff	%	VDG-P 36
	Oolithisierungsgrad	%	VDG-P 43
Harzbinder	Dichte)
	Viskosität)VDG-Р 70
	Stickstoffgehalt)
Harzformstoff	Verarbeitbarkeitsdauer)
mit Säurehärter	Biegefestigkeit)VDG-P 72
Regenerat	Glühverlust	< 4 %	VDG-P 33
	Schlämmstoffgeh.	0,3 %	VDG-P 27
	Schwefelgehalt	< 0,15 %	DIN 51724
	Stickstoffgehalt	< 0,15 %	
	Phosphatgehalt	< 0,6%	
	pH-Wert	>5	CIATF-Komm.1.5.
	Körnungsanalyse		VDG-P 34
	Säureverbrauch		VDG-P 26
	Wassergehalt	0,1 %	VDG-P 26
Schlichte	Viskosität)
	Feststoffgehalt) VDG-P 79
	Sinterbeginn		ĺ

Tab. 8: Kenn- und Richtwerte für die Einsatzstoffe zur Form- und Kernherstellung

5 Analysen von Sanden und Stäuben

5.1 Probenahme und Analysenverfahren

Von Altsanden und vom Regenerierstaub wurden am 15. 5. 1991 Proben entnommen und im IfG Düsseldorf analysiert. Die untersuchten Proben sind in Tabelle 9 zusammengestellt.

Proben- bezeichnung	beprobter Stoff	Probenahmeort
S1	Furanharzaltsand (Regenerat; R1)	
S2	Regenerierstaub (R7)	Sammelbehälter am Filteraustrag
S3	Naßgußaltsand (R3)	vor Mischer

Tab. 9: Untersuchte Sandproben

Die zur Untersuchung angewendeten Analysenverfahren und Methoden sind in Anlage 1 angegeben.

5.2 Analysenergebnisse und Beurteilung

Die Ergebnisse der analytischen Untersuchung der Proben sind in Anlage 2 dargestellt.

- Furanharzaltsand (Regenerat, R1)

Die Störstoffgehalte an Schwefel und Stickstoff überschreiten die empfohlenen Grenzwerte, was für Al-Guß jedoch weniger bedeutsam ist. Der Glühverlust ist zu hoch, d. h., der Regenerierungsgrad ist sehr niedrig.

- Regenerierstaub (R7)

Die relativ hohen Störstoffgehalte deuten auf eine wirksame Entstaubung beim Regenerieren. Allerdings werden auch erhebliche Anteile an Körnungsmaterial mit abgesaugt, wie die mittlere Korngröße von 0,15 mm und der Anteil von 39 % an Körnungsmaterial >0,18 mm zeigen.

- Naßgußaltsand (R3)

Im Altsand sind niedrige Störstoffanteile vorhanden mit einem für Al-Guß und das angewendete Rüttel-Preß-Formverfahren zu hohen (Ca. 9 %) Aktivbentonitgehalt.

6 Vermeidungs- und Verwertungskonzept

6.1 Berücksichtigte Abfall-/Reststoffströme der Kaltharzgießerei

6.1.1 Überkorn aus der mechanischen Kreislaufsandaufbereitung (R4)

Bei der mechanischen Zerkleinerung der Form- und Kernsandknollen im Raspeltopf und im Wirbelbettsichter können nicht alle Sand-Bindemittel-Agglomerate vollständig vereinzelt werden. Sie werden abgesiebt und als Überkorn (R4) ausgetragen. Die Menge des ausgetragenen Überkorns ist gering und liegt bei 10 t/a. Der Staubgehalt im Überkorn ist nicht bekannt und wird wegen der geringen Überkornmenge vernachlässigt. Ob sich die Überkornmenge reduzieren läßt, indem sie in den Raspeltopf zurückgeführt wird, sollte im praktischen Betrieb überprüft werden. Andernfalls kann das Überkorn durch eine thermische Regenerierung, bei der die organischen Binderhüllen zerstört werden, vereinzelt und für den Gießereiprozeß zurückgewonnen werden (vgl. Abschnitt 6.3.4).

6.1.2 Staub aus der mechanischen Kreislaufsandaufbereitung (R7)

Bei der Sichtung des Kaltharz-Kreislaufsands mit dem Wirbelbettsichter werden die Störstoffe (Binderhüllen, Quarzunterkorn) als Staub (R7) ausgetragen. Der Staubanfall ist mit 20 t/a gering und liegt nur bei 1 % der gesichteten Kreislaufsandmenge. Obwohl Wirbelbettsichter bei ordnungsgemäßem Betrieb gute Trennschärfen aufweisen, läßt es sich in der Praxis nicht vermeiden, daß neben dem Staub in gewissem Umfang auch Quarzkorn ausgetragen wird. Die durchgeführten Analysen lassen einen verwertbaren Quarzkorngehalt von rund 50 % (10 t/a) im Staub erwarten, der trocken-mechanisch aus dem vorliegenden Staub-Binder-Gemisch nicht entfernt werden kann (hoher Staubanteil, elektrostatische Effekte). Wird die Staubfraktion thermisch behandelt, werden die eine mechanische Trennung erschwerenden organischen Staubbestandteile verbrannt und der Quarzkornanteil kann zurückgewonnen werden.

6.2 Berücksichtigte Abfall-/Reststoffströme aus dem Naßguß

6.2.1 Kernknollen (R6)

Beim Aluminiumguß ist die thermische Belastung der Kerne wegen der geringen Gießtemperaturen relativ gering. Beim Ausleeren der abgegossenen Formen und beim Entkernen der Gußstücke zerfallen die Kerne kaum und lassen sich deshalb gut vom Formsand separieren. Im untersuchten Betrieb fallen rund 2.000 t/a Kernreste aus dem Naßguß an (R6), die mit etwa 15 % Formsandanteilen verunreinigt sind (rechnerisch aus Mengenbilanz ermittelt). Analysenwerte über den Staubanteil im Kernaltsand liegen nicht vor. Auf der Grundlage der Mengenbilanz läßt sich der Staubgehalt in den Kernresten zu ca. 100 t/a (5 %) und der Quarzkorngehalt zu 1.900 t/a ermitteln.

6.2.2 Kernbruch und Restsand (R12)

Bei der Kernfertigung entsteht ein gewisser Anteil unbrauchbarer Kerne, der nach der Abfallbestimmungs-Verordnung als besonders überwachungsbedürftiger Abfall zu entsorgen ist. Auch bei der Reinigung der Kernschießmaschinen und der Kernsandmischung und -bereitstellung fallen Restsande, die bereits mit Binder versetzt sind, an. Insgesamt beläuft sich das Kernbruch- und Restsandaufkommen (R12) auf rund 250t/a.

6.2.3 Polygonsiebüberlauf (R5)

Mit dem Polygonsieb werden grobe Form- und Kernsandknollen, die beim Ausleeren der Formen nicht aussortiert werden, aus dem Naßguß-Kreislaufsand ausgesiebt und als Siebüberlauf ausgetragen (R5). Insgesamt fallen rund 255 t/a Form- und Kernsandknollen aus dem Polygonsieb an. Der Anteil an Kernresten im Siebüberlauf wird vom untersuchten Betrieb auf ca. 10 t/a (4 %) geschätzt. Da die Formsandknollen aus thermisch gering belastetem, meist noch feuchtem Formsand bestehen, enthalten sie noch erhebliche Mengen an aktivem Bentonit. Der Quarzkorngehalt im Polygonsiebüberlauf liegt bei ca. 205 t/a (80%; vgl. Abschnitt 5; R5 entspricht in der Zusammensetzung R3).

6.2.4 Staub aus der Naßguß-Kreislaufsandaufbereitung (R8)

Bei der Siebung des Naßguß-Kreislaufsandes im Polygonsieb werden 100 t/a Staub (R8) abgezogen. Die Zusammensetzung des Staubes (z.B. Quarzkorn-, Staub-, Aktivbentonitgehalt) ist derzeit nicht bekannt (vgl. Abschnitt 6.3.3.2).

6.3 Maßnahmen zur Verringerung des Altsandaufkommens

6.3.1 Rückführung von Wertstoffen aus dem Naßguß

6.3.1.1 Rückführung des Polygonsiebüberlaufs (R5)

Wie bereits in Abschnitt 6.2.1.2 erläutert, enthalten die thermisch gering belasteten Formsand-knollen des Polygonsiebüberlaufs (% von 255 t/a = 204 t/a) noch erhebliche Mengen an aktivem Bentonit. Die Sandanalysen lassen einen Aktivbentonitgehalt von 9 % erwarten. Um diesen Bentonit für die Formherstellung zu nutzen, wird vorgeschlagen, den Siebüberlauf durch ein geeignetes Aggregat (z.B. Backenbrecher), mit dem die noch plastischen Formsandknollen vereinzelt werden können, zu zerkleinern und direkt in den Naßguß-Kreislaufsand zurückzuführen. Der Coldbox-Amin-Kersand, der hierbei in den Naßgußsand gelangt, hat einen positiven Einfluß auf den Naßgußformsand (Boenisch 1990). Durch die Rückführung des Siebüberlaufs lassen sich rund 22 t/a Bentonit einsparen. Um die Sandbilanz im Naßgußkreislauf im Gleichgewicht zu halten, ist es erforderlich, die Neusandzugabe (Modellsand) auf rund 115 t/a zu reduzieren. Es wird dem untersuchten Betrieb empfohlen, die Notwendigkeit der Modellsandverwendung zu überprüfen (vgl. Abschnitt 6.3.2.2).

6.3.1.2 Rückführung des Staubs aus der Naßgußsandsiebung (R8)

Die Zusammensetzung des Staubs, der bei der Siebung des Naßguß-Kreislaufsandes im Polygonsieb abgesaugt wird, ist derzeit nicht bekannt (vgl. Abschnitt 6.2.3). Es wird empfohlen, den Aktivbentonitgehalt im Staub zu bestimmen. Weist der Staub größere Aktivbentonitmengen auf, kann er unter Beachtung der Feinanteilbilanz des Sandsystems direkt dem Formsandmischer zugeführt werden. Die Sichtung im Anschluß an eine Altsandregenerierungsanlage stellt die notwendige "Senke" für den Feinanteil dar. Der Betrieb einer Regenerierungsanlage ist somit Voraussetzung für die Rückführung des Staubs in Mischer. Welche Staubmenge zurückgeführt werden kann, ohne den Feinanteil im Naßgußsand unzulässig zu erhöhen, läßt sich nur in der betrieblichen Praxis überprüfen.

Durch die Staubrückführung läßt sich der Bentonitverbrauch reduzieren. Auch der Quarzkornanteil im Staub wird für den Gießprozeß zurückgewonnen. Zur Aufrechterhaltung der Quarzbilanz muß der Neusandzulauf (Modellsand) um die im Staub enthaltene Quarzkornmenge verringert werden (vgl. Abschnitt 6.3.2.2). Bei der wirtschaftlichen Bewertung der vorgeschlagenen Verwertungsmaßnahmen in Abschnitt 6.5 wird wegen der unbekannten Staubzusammen-

setzung eine Bentonit- und Neusandeinsparung durch die Staubrückführung nicht berücksichtigt.

6.3.2 Vereinheitlichung der verwendeten Sandsorten

6.3.2.1 Kernherstellung

Bei der Kernherstellung für den Naßguß wird ein feinerer Sand eingesetzt als in der Kernfertigung der Kokillengießerei. Aus Betrieben mit vergleichbarem Gußprogramm ist bekannt, daß in der Regel eine Vereinheitlichung des Kern- und Formsandes durch die Wahl eines Sandes mit einem einheitlichen Kornspektrum, das den Anforderungen des Naß- und des Kokillengusses in befriedigender Weise genügt, erfolgen kann. Für die wirtschaftliche Bewertung der Verwertungsmaßnahmen in Abschnitt 6.5 wird davon ausgegangen, daß für die Kernherstellung ein einheitlicher Sand einsetzbar ist.

6.3.2.2 Modellsand im Naßguß

Durch die Forderungen der Kunden nach glatten Gußoberflächen hat sich der Modellsandeinsatz im Naßguß in der Vergangenheit stetig erhöht. Modellsand läßt sich nur als Neusand einsetzen, da er aus dem abgegossenen Formsand nicht separiert werden kann. Sollen Naßgußaltsande und -stäube zur Rückgewinnung des darin enthaltenen Quarzkorns und Aktivbentonits in den Formsandkreislauf zurückgeführt werden (vgl. Abschnitt 6.3.1), ist es erforderlich, den Modellsandverbrauch von derzeit 350 t/a auf 145 t/a (vgl. Abschnitt 6.3.1.1) oder weniger zu reduzieren (vgl. Abschnitt 6.3.1.2). Kann der Modellsandeinsatz nicht verringert werden, sind die Reststoffe R5 und R8 zusammen mit den Kernsanden zu regenerieren (Störstoffeintrag; vgl. Abschnitt 6.3.3.1) oder getrennt zu halten und zu deponieren. Für die wirtschaftliche Bewertung der Regenerierungsanlage in Abschnitt 6.5 wird angenommen, daß eine Verringerung des Modellsandeinsatzes nicht erfolgen kann und die Reststoffe R5 und R8 wegen des Störpotentials von Bentonit für den Regenerateinsatz in der Kernherstellung nicht regeneriert (vgl. Abschnitt 6.3.3.1), sondern deponiert werden müssen.

6.3.3 Verträglichkeit der Bindersysteme

In der untersuchten Gießerei werden eine Reihe unterschiedlicher Bindersysteme zur Formund Kernherstellung eingesetzt (vgl. Tabelle 10).

	Bentonit	Furanharz	Coldbox- Amin	Hotbox	Croning
Furanharzgießerei	х				
Naßguß	X	Х	Х		
Kokillenguß			X	x	x

Tab. 10: Bindersysteme der untersuchten Gießerei

Bei der Altsandregenerierung in kleineren Betrieben ist eine separate Behandlung unterschiedlich zusammengesetzter Altsande in der Regel nicht praktikabel. Um ein möglichst hochwertiges Regenerat, das auch für die Herstellung anspruchsvoller geeignet ist, zu erzeugen, ist es unumgänglich, unverträgliche Bindersysteme zu ersetzen oder die entsprechenden Altsandströme konsequent voneinander zu trennen.

6.3.3.1 Minimierung des Naßgußsand-Eintrags in den zu regenerierenden Kernaltsand

Regenerat, das aus bentonithaltigem Mischaltsand hergestellt wurde, wirkt sich in der Regel ungünstig auf die Festigkeit von Kernen aus (vgl. Teil A; Tabelle 4-1 und Abschnitt 4.1.1.3.1). Die gemeinsame Regenerierung von Reststoffen mit hohem Bentonitgehalt (R5, R8) und organisch gebundenen Kernaltsanden kann wegen des Störpotentials von Bentonit für organische Kernbinder zu Festigkeitsverlusten der Kerne führen, die bei anspruchsvollen Kernen möglicherweise zu Schwierigkeiten führen. Welche Anteile an bentonithaltigen Abfällen/Reststoffen im Hinblick auf die Regeneratqualität möglich sind, muß im praktischen Betrieb erprobt werden. Für die Bewertung der Wirtschaftlichkeit der Verwertungsmaßnahmen in Abschnitt 6.5 wird eine gemeinsame thermische Regenerierung der bentonithaltigen Altsande und Stäube (R5, R8) mit den organisch gebundenen Kernaltsanden nicht angenommen.

Die Einschleppung von Naßgußformsand in den Kernaltsand (R6) beim Ausleeren und Entkernen der Formen bzw. Gußstücke ist aus o.g. Gründen soweit als möglich zu begrenzen.

6.3.3.2 Ersatz der Hotbox-Kernfertigung in der Kokillengießerei

Von den im untersuchten Betrieb eingesetzten Kernherstellungsverfahren sind Hotbox-Kernsande als Ursprungssystem bei der Fertigung von Coldbox-Kernen aus Regenerat nur bedingt verträglich (vgl. Teil A, Tabelle 10). Für die Beibehaltung des Hotbox-Verfahrens liegen keine technisch zwingenden Gründe vor. Es wird daher empfohlen, das Hotbox-Verfahren durch das Coldbox-Amin-Verfahren, das bereits in der Naßguß- und Kokillengußproduktion eingesetzt wird. zu ersetzen.

Die Kernschießmaschine der Hotbox-Fertigung kann nach der Umstellung weiterverwendet werden. Die Abgaswäscher der bestehenden Coldbox-Kernfertigung sind ausreichend dimensioniert, um die zusätzlichen Amin-Mengen sicher aus der Abluft zu entfernen. Das Wäscherkonzentrat wird zusammen mit den bisher anfallenden Mengen extern verwertet.

6.3.4 Thermische Regenerierung der Altsande und Stäube

Bei den in den vorangegangenen Abschnitten beschriebenen Altsanden handelt es sich fast ausschließlich um organisch gebundene Kernsandreste, die in reiner (Kokillenguß) oder leicht verunreinigter Form (Naßguß) vorliegen. Organisch gebundener Kernaltsand aus dem Leichtmetallguß sind wegen der geringen Gußtemperatur thermisch relativ gering belastet. Dadurch sind die Binderhüllen noch plastisch und nur in den äußeren Kernbereichen abgebrannt oder versprödet. Thermisch gering belastete, organisch gebundene Altsande lassen sich nur mit unbefriedigendem Ergebnis mechanisch regenerieren (vgl. Teil A, Abschnitt 4.1.1.2.3).

Für die Regenerierung des Altsandes ist daher eine thermische Behandlung zu empfehlen. Hierzu sind zwei Verfahrensalternativen denkbar:

Thermische Regenerierung:

Bei den klassischen thermischen Verfahren werden die Binderhüllen bei hohen Temperaturen direkt verbrannt oder pyrolysiert (vgl. Teil A, Abschnitt 4.1.1.1.3). Da der Altsand in gewissem Umfang mit Bentonit umhüllten Formsand enthält, wird empfohlen, die thermische Behandlung bei relativ niedrigen Temperaturen durchzuführen. Darüberhinaus sollte während der thermischen Behandlung eine schonende mechanische Beanspruchung erfolgen (z.B. indirekt beheizte Wirbelschicht). So kann erreicht werden, daß der Bentonit in möglichst geringem Umfang auf die Sandkkornoberfläche aufbrennt. Für die vollständige Verbrennung der organischen Bestandteile ist bei der indirekt beheizten Wirbelschicht eine Nachverbrennung der Pyrolysegase erforderlich.

Sofern größere Mengen Bentonit im Kernaltsand vorliegen, kann eine mechanische Nachbehandlung des Regenerats erforderlich werden, um den teils aufgebrannten, teils anhaftenden Bentonit sowie den Quarzstaub (Abrieb, Kornzerstörung) aus dem Sand zu entfernen. Hierzu sind systematische Versuche mit den Anbietern von Regenerierungsanlagen zu empfehlen. Zur mechanischen Nachreinigung wird der Einsatz eines schonenden Verfahrens mit möglichst geringer Kornzerstörung empfohlen.

Thermische Versprödung der Binderhüllen:

Die Binderhüllen verspröden bei Temperaturen zwischen 250 °C (duroplastische Binder) und 350 °C (thermoplastische Binder) und lassen sich anschließend leicht mechanisch vom Quarzkorn entfernen (vgl. Teil A, Abschnitt 4.1.1.2.3). Der entstehende Feinanteil setzt sich im wesentlichen aus den organischen Binderhüllen und Bentonitstaub sowie geringen Mengen Quarzstaub zusammen. Vorteilhaft ist, daß bei den Behandlungstemperaturen der Bentonit nicht auf die Quarzkornoberfläche aufbrennen kann. Es ist jedoch damit zu rechnen, daß der Bentonit sein Kristallwasser irreversibel abgibt und seine Bindefähigkeit verliert (vgl. Teil A, Abschnitt 4.1.1.2.1). Die hohe organische Belastung des Feinanteils wirkt sich im Hinblick auf die sich verschärfenden abfallrechtlichen Vorschriften nachteilig auf die Entsorgbarkeit aus. Mit Inkrafttreten der TA Siedlungsabfall wird eine Deponierung des organisch belasteten Feinanteils ohne vorherige thermische Behandlung vermutlich nicht mehr möglich sein. Die beschriebene Verfahrensweise ist bisher nicht großtechnisch erprobt worden.

Im folgenden wird angenommeri, daß die in Tabelle 11 angegebenen Reststoffe (4.400 t/a) einer thermischen Regenerierung mit nachgeschalteter mechanischer Nachreinigung unterzogen werden. Die hochbentonithaltigen Abfälle/Reststoffe R5 und R8 werden nicht mitbehandelt, um ein den Regenerateinsatz auch für anspruchsvolle Kerne zu ermöglichen (vgl. Abschnitt 6.3.3.1). Legt man eine Betriebsdauer der Regenerierungsanlage von 6 bis 8 h/d zu Grunde und nimmt an, daß sie an 250 d/a betrieben wird, ergibt sich eine Durchsatzleistungen der Anlage von 2,2 bis 2,9 t Altsand pro Stunde. Anlagen mit derartigen Durchsatzleistung sind am Markt erhältlich.

Die Quarzkorngehalte der Reststoffe in Tabelle 11 wurden aus Mengenbilanzen errechnet oder anhand von Analysedaten und Erfahrungswerten abgeschätzt. Setzt man den Ausbringungsgrad der Regenerierungsanlage mit insgesamt 80 % bezogen auf den Quarzkorngehalt an, so verbleiben nach der Regenerierung 3 460 t/a Regenerat. Der organische Anteil in den Altsanden wird anhand der Mengenbilanz auf ca. 80 t/a geschätzt. Nach der thermischen Regenerierung verbleiben dann rund 900 t/a inertisierter Feinanteil, der schadlos deponiert oder extern verwertet werden kann (vgl. Teil A, Abschnitte 3.2 und 4.2).

	Reststoff	Staub t/a	Quarzkorn t/a	Gesamtmenge t/a
R4	Kaltharz-Überkorn aus Wirbelbettsichtung		10	10
R7	Kaltharz-Staub aus Wirbelbettsichtung	10	10	20
R6	Coldbox-Kernknollen aus Naßguß	100	1 900	2 000
R12	Coldbox-Kernbruch aus Naßguß	2	242	250
	Kernaltsand und Kern- bruch Kokillenguß	13	2 095	2160
	Summe	115	4 325	4 440

Tab. 11: Zusammensetzung der thermisch-mechanisch zu regenerierenden Altsande

Der Neusandbedarf des untersuchten Betriebs zur Kernherstellung für alle Gießereibereiche liegt derzeit bei 3730 t/a (ohne Fertigsand für Croning-Kerne). Sofern die Hotbox-Kernfertigung durch das Coldbox-Amin-Verfahren ersetzt wird, kann das Regenerat bei einer optimierten Kernfertigung (effiziente Mischer, Vermeidung langer Lagerzeiten für Harz, Formstoffmischung und Kerne, Kontrolle der Regeneratqualität) in allen Kernherstellungsverfahren Neusand ersetzen. Für einige Gußteile werden filigrane Kerne benötigt. Da das Regenerat nicht den gesamten Neusandbedarf der Kernherstellung decken kann, stehen 270 t/a Neusand für die Herstellung besonders anspruchsvoller Kerne zur Verfügung. Das Regenerat ist besonders gut zum Einsatz in störstofftoleranten Bindemittelsystemen geeignet (Furanharz-, Croning-Verfahren). Reicht die Neusandmenge von 270 t/a zur Herstellung anspruchsvoller Kerne nicht aus, kann durch die betriebsinterne Herstellung des Croning-Kernformstoffs, der derzeit als fertige Mischung (Neusand) bezogen wird, ein zusätzliches Neusandpotential von ca. 855 t/a erschlossen werden. Insgesamt stehen dann 1125 t/a Neusand für die Fertigung anspruchsvoller Kerne zur Verfügung.

6.4 Vermeidungspotentiale

Sofern der organisch gebundene Kernaltsand thermisch regeneriert wird, eine Reduzierung des Modellsandeinsatzes mit der Folge der Verwertbarkeit der Reststoffe R5 und R8 jedoch nicht erfolgen kann (vgl. Abschnitt 6.3), lassen sich 3 460 t/a Neusand einsparen. Wird für den inertisierten Feinanteil keine externe Verwertungsmöglichkeit gefunden werden, reduziert sich das Abfallaufkommen von derzeit 4 795 t/a um 74 % auf 1255 t/a. Durch die Umstellung der Hotbox-Kernfertigung auf das Coldbox-Amin-Verfahren steigt das Aufkommen an zu verwertender Waschflüssigkeit um ca. 16 t/a an.

Bei einer Verringerung des Modellsandeinsatzes im Naßguß auf 145 t/a (vgl. Abschnitt 6.3.1) ließen sich durch die Rückführung des Polygonsiebüberlaufs zusätzlich 205 t/a Neusand sowie 22 t/a Aktivbentonit einsparen. Das Altsandaufkommen könnte dann von 4795 t/a um 79 % auf 1000 t/a verringert werden.

6.5 Wirtschaftliche Bewertung

Mit der im folgenden durchgeführten Wirtschaftlichkeitsuntersuchung soll überprüft werden, wie hoch der ökonomische Nutzen einer Altsandregenerierung für den untersuchten Betrieb ist. Damit läßt sich abschätzen, welche Finanzmittel dem Betrieb zur Anschaffung und zum Betrieb einer Regenerierungsanlage zur Verfügung stehen, ohne daß die Produktionskosten insgesamt steigen. Der Wirtschaftlichkeitsuntersuchung werden folgende Annahmen zugrunde gelegt:

- 1. Das Hotbox-Verfahren wird durch das Coldbox-Amin-Verfahren ersetzt. Die Hotbox-Kernschießmaschine wird zur Coldbox-Kernfertigung genutzt. Die vorhandenen Wäscherkapazitäten sind ausreichend groß, um die zusätzlich entstehenden Abgase zu reinigen.
- 2. Der Altsand wird thermisch regeneriert. Der regenerierte Altsand läßt sich vollständig zur Kernherstellung nutzen (vgl. Abschnitt 6.4.4)
- 3. Der zu regenerierende Altsandanfall beträgt insgesamt 4400 t/a. Durch die thermische Regenerierung (Ausbringungsgrad 80 %) werden 3460 t/a Regenerat erzeugt.
- 4. Die Formsandknollen aus dem Polygonsiebüberlauf R5 werden wegen des notwendigen Modellsandeinsatzes nicht in den Formstoffkreislauf zurückgeführt.
- 5. Eine Rückführung des am Polygonsieb abgesaugten Staubs (R8) in den Formstoffmischer erfolgt nicht, da derzeit keine Anhaltspunkte über den Aktivbentonitgehalt vorliegen (vgl. Abschnitt 6.4.1.2).

- 6. Der Polygonsiebüberlauf (R5) und der abgesaugte Staub (R8) werden nicht thermisch regeneriert, sondern wie bisher deponiert.
- 7. Der Feinanteil aus der Regenerierung (900 t/a) ist inertisiert und wird deponiert (vgl. Abschnitt 6.4.3.1).
- 8. Die derzeit deponierte Altsandmenge von 4795 t/a (R4, R5, R6, R7, R8, R12, Kernaltsand aus der Kokillengießerei) reduziert sich um 3540 t/a auf 1.255 t/a (R5, R8, Feinanteil der thermischen Regenerierung).
- 9. Bei der Kernherstellung aus Regenerat tritt in Folge der hohen Regeneratqualität und kontrollierter Prozeßbedingungen (vgl. Abschnitt 6.4.4) kein Bindermehrverbrauch auf.

Ausgehend von diesen Annahmen werden bei der Wirtschaftlichkeitsberechnung folgende Zahlungen berücksichtigt:

Erlöse:

- eingesparter Neusand inkl. Transport: 3 460 t/a zu 75 DM/t
- eingesparte Deponiekosten ohne Transport: 3 540 t/a zu 100 DM/t
- eingesparte Transportkosten Deponie: 3540 t/a zu 10 DM/t
- eingesparte Abfallabgabe (Kategorie II): 400 t/a zu 100 DM/t (bis Ende 1992) bzw. 200 DM/t (ab 1993)
- eingespartes Hotbox-Harz für 450 t/a Kernsand: 5 t/a zu 4275 DM/t
- eingesparter Hotbox-Härter für 450 t/a Kernsand: 0,5 t/a zu 1350 DM/t

Kosten:

- Beschaffungskosten thermische Regenerierungsanlage inkl. Nebenaggregate: nicht bekannt
- Betriebskosten der Regenerierungsanlage: nicht bekannt
- Verwertung für zusätzliches Wäscherkonzentrat: 16 t/a zu 1000 DM/t
- Transport Wäscherkonzentrat im Tanklastzug (100 km): 16 t/a zu 40 DM/t
- zusätzlicher Harzverbrauch (Komponente 1 und 2) Coldbox-Amin-Verfahren für 450 t/a Kernsand (1,5 % Harzanteil): 6,75 t/a zu 5 300 DM/t
- zusätzlicher Aminverbrauch für 450 t/a Kernsand (0,2 % Gasbedarf): 0,9 t/a zu 12 560 DM/t

Die wirtschaftliche Bewertung der thermischen Regenerierung gegenüber der Ist-Situation (technischer Stand: 1990) erfolgt als dynamische Kostenvergleichsrechnung nach der Annuitätenmethode. Die Beschaffungs- und Betriebskosten der thermischen Regenerierungsanlage (Zusatzinvestition; vgl. Anhang 1) sind nicht bekannt. Als Ergebnis der Kostenvergleichsrechnung wird deshalb in Abhängigkeit einer geforderten Amortisationszeit angegeben, welcher Betrag jährlich zur Verfügung steht (Annuität), um die unbekannten Beschaffungs- und Betriebskosten der Regenerierung zu decken. Die Annuität ist auf das Mengenaufkommen der zu regenerierenden Altsande bezogen.

Da die mittelfristige Preisentwicklung der verschiedenen Erlös- und Kostenarten nur geschätzt werden kann, wurden bei der Wirtschaftlichkeitsrechnung zwei Preisszenarien berücksichtigt (vgl. Anhang 2). In Szenario 1 wird angenommen, daß für keine der berücksichtigten Kosten und Erlöse Preissteigerungen auftreten, die oberhalb der Inflationsrate liegen (0 % p.a. real). Szenario 2 beinhaltet moderate Preissteigerungen für die Neusandbeschaffung und Transportvorgänge von 2 % p.a. real. Für die Entsorgung wird in Szenario 2 eine Verdoppelung der realen Deponiekosten in 10 Jahren angenommen (7 % p.a. real).

Bei der dynamischen Investitionsrechnung geht der Marktzins als Kalkulationszinssatz in die Berechnungen ein (vgl. Anhang 1). Da die Zinsentwicklung nur geschätzt werden kann, wird

der Kostenvergleich für zwei inflationsbereinigte Kalkulationszinssätze von 3 % p.a real und 9 % p.a. real durchgeführt.

Das Ergebnis der Kostenvergleichsrechnung zwischen Ist-Zustand und der thermischen Altsandregenerierung der organisch gebundenen Kernaltsande ist in Abbildung 2 für beide Preisszenarien dargestellt. Mit geringer werdenden Anforderungen an die Amortisationszeit steigt die Annuität, die zur Deckung der unbekannten Beschaffungs- und Betriebskosten der Regenerierungsanlage genutzt werden kann, an. Bei einer Amortisationszeit von beispielsweise 5 Jahren darf der Aufwand für die Regenerierung bei stagnierenden Preisen (Szenario 1) rund 154 DM/t zu regenerierendem Altsand nicht überschreiten. Die zu regenerierende Altsandmenge im untersuchten Betrieb beläuft sich auf 4 400 t/a. Dem Betrieb stehen demnach knapp 680 000 DM/a zur Finanzierung der Beschaffungs- und Betriebskosten zur Verfügung. Werden real steigende Preise angenommen (Szenario 2), liegt der zulässige Regenerierungsaufwand unter sonst gleichen Bedingungen bei ca. 176 DM/t zu regenerierendem Altsand. Dem Betrieb steht dann ein Betrag von etwa 775 000 DM/a zur Verfügung.

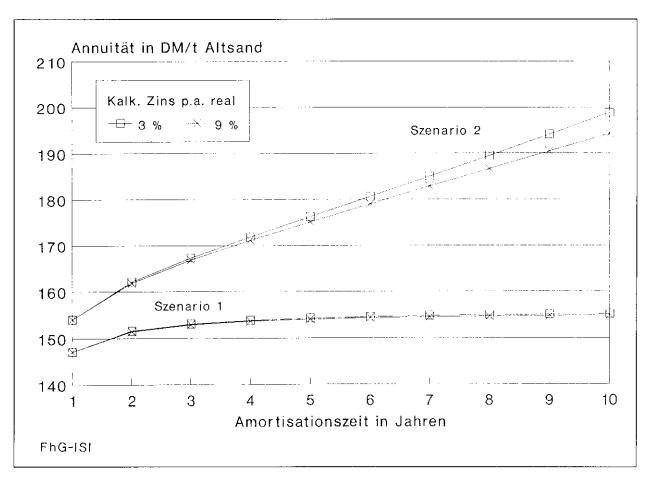


Abb. 2: Zulässige Kosten der Altsandregenerierung bei verschiedenen Amortisationszeiten, angegeben als Annuität (bezogen auf die zu regenerierende Altsandmenge) für zwei Preisszenarien

Anlage 1
Verfahren und Methoden der Probenuntersuchungen

Prüfgröße		Prüfverfahren
С	%	je nach C-Gehalt: Verbrennungs- verfahren - Infrarot/Coulometrisch
S	%	je nach S-Gehalt: Verbrennungs- verfahren - Infrarot/Coulometrisch
N	%	Kjelldahl
P	%	ICP
Fe ges.	%	RFA
Al ₂ 0 ₃	%	RFA
TV (H2O)	%	P 32
GV ges.	%	P 33
GV Sand	%	P 36
flüchtige Bestandteile	%	F 8/9 VDG-Vorlage 1975
Aktivton	%	IfG-Handblatt 3
Schlämmstoffe	%	P 34
Schamotte	%	IfG-Handblatt 54
MK	mm	P 34
рН		IfG-Handblatt 187
Säureverbrauch	ml	P 26
Laugenverbrauch	mg	IfG-Handblatt 186
Eisenpartikel	%	wiegen
Kornverteilung		P 34

Anlage 2 Ergebnisse der Probenuntersuchungen

Probenbezeichn	ung	S1	S2	S3
С	%	2,72	18,24	1,09
S	%	0,27	1,79	0,064
N	%	0,18	1,24	0,031
p	97 /6	0,001	0,008	0,001
Fe ges.	%	0,1	0,8	0,3
Eisen-Partikel	%	0	20	0
A1 ₂ 0 ₃	%	-	-	1,4
TV (H ₂ O)	%	0,55	10,1	3,4
GV ges.	%	4,3	24,9	1,9
GV Sand	%	3,7	-	0,2
fl. Best.	%	2,0	ca. 16,6	1,5
MBd	%	-	-	3,0
Schlämm.	%	0,6	ca. 31,3	13,4
Schamotte	%	-	-	0,8
рН				
mittlere Körnung (MK)	mm	0,24	0,15	0,21
theor. spez. Oberfläche	cm²/g	108	259	129

KaltharzregeneratsandRegenerierstaubNaßgußaltsand

S1 S2 S3

Anhang 1: Entscheidungskriterien zur Durchführung von Maßnahmen zur Vermeidung und Verwertung von Abfällen/Reststoffen

Inhaltsverzeichnis

A1-1	Vermeidungs- und Verwertungspotentiale
A1-2	Technische Realisierbarkeit und Zumutbarkeit
A1-3	Bewertung der Wirtschaftlichkeit
A1-3.1	Wirtschaftlichkeit von Zusatzinvestitionen bei bekannten Kosten und Erlösen (Fall 1)
A1-3.1.1 A1-3.1.2 A1-3.1.3	KapitalwertmethodeAmortisationszeitAnnuität des Kapitalwerts
A1-3.2	Wirtschaftlichkeit von Ersatzinvestitionen bei bekannten Kosten und Erlösen (Fall 2 und Fall 3)
A1-3.2.1 A1-3.2.2	Kostenvergleich mit der Annuitätenmethode
A1-3.3	Wirtschaftlichkeit bei teilweise unbekannten Kosten und Erlösen (Fall 4)
A1-3.3.1 A1-3.3.2	Kostenvergleich bei Zusatzinvestitionen
A1-4	Organisatorische Integration und Akzeptanz

A1-1 Vermeidungs- und Verwertungspotentiale

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

A1-2 Technische Realisierbarkeit und Zumutbarkeit

Nach § 5 Abs. 1 Nr. 3 Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG) ist der Betreiber einer genehmigungsbedürftigen Anlage verpflichtet, diese so zu errichten und zu betreiben, daß Reststoffe vermieden werden, es sei denn, sie werden ordnungsgemäß und schadlos verwertet oder – soweit Vermeidung und Verwertung technisch nicht möglich oder unzumutbar sind – als Abfälle ohne Beeinträchtigung des Wohls der Allgemeinheit beseitigt. Reststoffvermeidung und -verwertung haben Vorrang vor der Pflicht zur Beseitigung. Nur wenn die Vermeidung oder Verwertung von Reststoffen technisch nicht möglich oder unzumutbar ist, sind diese als Abfälle ordnungsgemäß zu beseitigen. Die wesentlichen Kriterien, anhand derer zu beurteilen ist, ob Maßnahmen zur Vermeidung und Verwertung von Reststoffen durchgeführt werden müssen, sind die technische Realisierbarkeit und ihre Zumutbarkeit. In der Verwaltungsvorschrift des Landes Baden-Württemberg zur Vermeidung, Verwertung und Beseitigung von Reststoffen nach § 5 Abs. 1 Nr. 3 BImSchG werden die unbestimmten Rechtsbegriffe der technischen Realisierbarkeit und Zumutbarkeit erläutert.

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

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

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

A1-3 Bewertung der Wirtschaftlichkeit

Da die Entsorgungskosten in Baden-Württemberg in den nächsten Jahren deutlich ansteigen werden (Abfallabgabe, Kapazitätsengpässe bei Entsorgungsanlagen, Zuordnung von Abfallarten zu kostenintensiven Entsorgungsanlagen (z. B. TA Abfall, TA Siedlungsabfall) verschärfte Vorschriften für Entsorgungsanlagen), erfolgt die wirtschaftliche Beurteilung der Vermeidungsund Verwertungsmaßnahmen sinnvollerweise mit den Methoden der dynamischen Investitionsrechnung. Bei der dynamischen Investitionsrechnung lassen sich Preissteigerungen, die für verschiedene Kosten- und Erlösarten in unterschiedlichem Ausmaß zu erwarten sind, berücksichtigen.

Bei der Bewertung von betrieblichen Maßnahmen zur Abfallvermeidung und -verwertung sind aus ökonomischer Sicht mehrere Fälle zu unterscheiden:

- Fall 1: Zusätzlich zur eigentlichen Produktionsanlage wird eine Anlage zur Verwertung oder Behandlung von Abfällen/Reststoffen beschafft, um diese im eigenen Betrieb wieder einzusetzen, um sie für eine externe Verwertung vorzubehandeln oder um sie als Sekundärrohstoff zu verkaufen. An der eigentlichen Produktionsanlage erfolgt keine Änderung im Sinn einer Ersatzinvestition (vgl. Fall 2). Prozeßänderungen, die sich infolge des Betriebs der Verwertungsanlage ergeben (z. B. Änderungen von Art und Menge der eingesetzten Roh- und Hilfsstoffe), sind zulässig. Der beschriebene Fall wird im folgenden als Zusatzinvestition bezeichnet. Für die wirtschaftliche Beurteilung von Zusatzinvestitionen ist die Kapitalwertmethode (vgl. Abschnitt A1-3.1.1) und die Berechnung der Amortisationszeit (vgl. Abschnitt A1-3.1.2) möglich und gebräuchlich, sofern alle Kosten und Erlöse bekannt sind. Darüber hinaus ist die Umrechnung des Kapitalwerts in jährliche Durchschnittszahlungen (Annuitäten) möglich (vgl. Abschnitt A1-3.1.3).
- Fall 2: Mit dem Ziel, Abfälle/Reststoffe zu vermeiden, sie zu vermindern oder sie in ihrer Zusammensetzung für eine externe Verwertung zugänglich zu machen, wird ein Teil einer bestehenden Produktionsanlage entweder nach oder vor Ablauf ihrer Nutzungsdauer ersetzt (Ersatzinvestition). Zur wirtschaftlichen Bewertung von Ersatzinvestitionen wird mit Hilfe der Annuitätenmethode ein Kostenvergleich zwischen den verschiedenen Anlagenalternativen durchgeführt (vgl. Abschnitt A1-3.2.1). Für den Kostenvergleich ist die Kenntnis all derjenigen Kosten und Erlöse erforderlich, in denen sich die Anlagenalternativen unterscheiden. Zeigt der Kostenvergleich, daß der Ersatz einer noch funktionsfähigen Altanlage vor Ablauf ihrer technischen Nutzungsdauer durch eine Neuanlage wirtschaftlich ist, läßt sich auf der Grundlage der Annuitätenmethode der optimale Ersatzzeitpunkt ermitteln (vgl. Abschnitt A1-3.2.2).
- Fall 3: Als Maßnahme zur Abfallvermeidung oder -verwertung wird ein Anlagenteil der bestehenden Produktionsanlage ersetzt. Zusätzlich wird die Produktionsanlage um eine Anlage zur Aufbereitung der Abfälle ergänzt. Es sind also eine Zusatz- und eine Ersatz- investition erforderlich. Sind alle Kosten und Erlöse der Zusatzinvestition und alle Kosten und Erlöse, in der sich die Ersatzinvestition von der zu ersetzenden Teilanlage unterscheiden, bekannt, erfolgt die Bewertung der Wirtschaftlichkeit durch Kostenvergleich nach der Annuitätenmethode (analog Fall 2). Auch die Ermittlung des optimalen Ersatzzeitpunktes ist möglich. Der unter Fall 3 geschilderte Sachverhalt ist eine Variante zur reinen Ersatzinvestition (Fall 2).
- Fall 4: Bei der Bewertung von abfallarmen Produktionsverfahren oder Verfahren zur betriebsinternen Verwertung oder Vorbehandlung von Abfällen/Reststoffen tritt auch der Fall ein, daß Angaben über die Höhe des Investitionsbedarfs und der Betriebskosten der erforderlichen Anlagen nicht ermittelt werden können. Die Ursache hierfür liegt häufig darin, daß wegen des großen Problemdrucks eine Vielzahl von Entwicklungen von Abfall-/ Reststoffvermeidungs- und -verwertungsverfahren durchgeführt werden, die jedoch erst im Technikums- oder Pilotmaßstab betrieben werden. Die technische Daten erlauben in der Regel eine Abschätzung der Auswirkungen auf den Produktionsprozeß (z. B. Abfallvermeidungspotential, Rohstoffeinsparungen), es liegen jedoch keine Daten zur Höhe der Beschaffungs- oder Betriebskosten der Verfahren vor. In diesem Fall läßt sich mit Hilfe der Annuitätenmethode eine Kostenvergleichsrechnung durchführen, bei der alle bekannten Kosten der betrachteten Zusatz- und/oder Ersatzinvestitionen berücksichtigt werden. Ist die Annuität der Kosten der Altanlage höher als die Annuität der Kosten der Zusatz- und/oder Ersatzinvestition, läßt sich aus der Differenz die maximal zulässige Annuität der unbekannten Kosten der Zusatz- und/oder Ersatzinvestition abschätzen (vgl. Abschnitt A1-3.3). Ein optimaler Ersatzzeitpunkt für Ersatzinvestitionen oder eine Amortisationszeit für Zusatzinvestitionen kann in diesem Fall nicht bestimmt werden.

A1-3.1 Wirtschaftlichkeit von Zusatzinvestitionen bei bekannten Kosten und Erlösen (Fall 1)

A1-3.1.1 Kapitalwertmethode

Die Kapitalwertmethode geht von der Grundüberlegung aus, daß ein Unternehmer

- Kapital zur Verfügung hat und vor der Entscheidung steht, dieses Kapital entweder zu einem bestimmten Zinssatz auf dem Kapitalmarkt anzulegen oder selbst zu investieren (z. B. in Produktionsanlagen), und wissen möchte, welche Anlageform für ihn vorteilhafter ist, oder
- für eine notwendige Investition Kapital zu einem bestimmten Zinssatz auf dem Kapitalmarkt aufnehmen muß und wissen möchte, ob die Rendite der Investition ausreicht, um die Kapitalmarktzinsen zu decken.

Eine Investition ist dann vorteilhaft, wenn nach einer vom Investor festzulegenden Laufzeit die Rendite der Investition höher ist als die Rendite der Kapitalanlage oder die Verzinsung des Kredits zum sogenannten Kalkulationszinssatz. Die Höhe des Kalkulationzinssatzes orientiert sich am Marktzins und wird meist mit Werten zwischen 3 und 9% p. a. real (= inflationsbereinigt) angenommen. Die Laufzeit der Investition ist frei wählbar. Sie gibt den Planungshorizont an und richtet sich häufig nach der Länge des Abschreibungszeitraums oder der technischen Lebensdauer der Investition.

Der Kapitalwert ist die Summe der mit dem Kapitalmarktzins (Kalkulationszinssatz) auf den Zeitpunkt der Investition (t=0) diskontierten Zahlungen (Göppl 1987) und wird nach Gleichung \oplus berechnet. Die diskontierten Zahlungen werden als Barwerte der Zahlungen bezeichnet. Unter Zahlungen sind neben der Investition und eventuell notwendigen Reinvestitionen die Kosten und Erlöse, die sich im Zusammenhang mit dem Betrieb der Produktionsanlage ergeben, und ggf. Restverkaufserlöse zu verstehen. Hierbei sind die Zahlungen mit dem Betrag zum Zeitpunkt der Zahlung zu berücksichtigen (z. B. Entsorgungskosten zum Zeitpunkt t=0: 100 DM/t; zum Zeitpunkt t=5 Jahre: 250 DM/t).

C (T)
$$= \sum_{t=0}^{T} q^{-t} (e (t) - k (t));$$
C (T) = Kapitalwert im Jahr T; t = Anzahl der Jahre (0, 1, 2, 3 . . . T); e (t) = Summe aller Erlöse, die im Jahr t anfallen; k (t) = Summe aller Kosten, die im Jahr t anfallen; i = Kalkulationszinssatz; q = 1 + i

Die Nutzung des Kapitalwerts zur Investitionsentscheidung ist unter folgenden Bedingungen möglich:

- Die Zusatzinvestition läßt sich betreiben, ohne daß im vorgeschalteten Prozeß Anlagenteile ersetzt oder umgerüstet werden müssen (Ersatzinvestitionen).
- Zur Ermittlung des Kapitalwerts werden alle Zahlungen, die mit der Investition in Zusammenhang stehen, berücksichtigt. Neben der Investition und erforderlichen Ersatzinvestitionen werden alle durch den Betrieb der Zusatzanlage entstehenden laufenden Kosten (z. B. für Personal, Energie, Wartung, Rohstoffe, Hilfsstoffe, Entsorgung eventuell anfallender Abfälle) berücksichtigt. Als Erlöse sind alle durch den Betrieb der Zusatzanlage eingesparten Kosten der vorgeschalteten Produktionsanlage zu berücksichtigen. Hierunter zählen insbe-

sondere eingesparte Entsorgungskosten und, sofern der aufbereitete Reststoff in der eigenen Produktionsanlage eingesetzt wird, eingesparte Materialkosten. Weiter ist denkbar, daß durch den Betrieb der Zusatzanlage auch Personal- oder Energiekosten eingespart werden oder Erlöse aus dem Verkauf der aufbereiteten Reststoffe entstehen. Sofern ein Restverkaufserlös der Investition angegeben werden kann, ist auch dieser in die Ermittlung des Kapitalwerts einzubeziehen (vgl. Wöhe 1990).

Sind diese Bedingungen erfüllt, ist eine Investition vorteilhaft, wenn der Kapitalwert am Ende des zu Grunde gelegten Betrachtungszeitraums positive Werte annimmt.

Beispiel: Berechnung von Kapitalwert und Annuitäten aus Investition und laufenden Ein- und Auszahlungen

Betrachtungszeitraum: 5 Jahre

Kalkulationszinssatz: 10% p. a.

Investition: 10 000 DM

Restverkaufserlöse werden nicht berücksichtigt

Periode	0	1	2	3	4	5
Investition	-10 000,00					
lfd. Auszahlungen		-1 500,00	-1 000,00	-1 000,00	-2 000,00	-3 000,00
lfd. Einzahlungen		6 000,00	7 000,00	7 000,00	6 000,00	2 000,00
Einzahlungsüberschuß	-10 000,00	4 500,00	6 000,00	6 000,00	4 000,00	-1 000,00
Barwertfaktor	1,0000	,9091	,8264	,7513	,6830	,6209
Barwert	-10 000,00	4 090,91	4 958,68	4 507,89	2 732,05	-620,92
Kapitalwert	-10 000,00	5 909,09	-950,41	3 557,48	6 289,53	5 668,61

Im Beispiel wird am Ende des Betrachtungszeitraums ein positiver Kapitalwert von 5668,61 DM erzielt. Die Investition ist wirtschaftlich vorteilhaft.

A1-3.1.2 Amortisationszeit

Der Zeitpunkt, zu dem der nach Gleichung ① berechnete Kapitalwert erstmals positive Werte annimmt, wird als break-even-point bezeichnet. Der Zeitraum zwischen Investitionszeitpunkt und break-even-point entspricht der Amortisationszeit. Die Amortisationszeit einer Zusatzinvestition kann nur dann angegeben werden, wenn ebenso, wie bei der Nutzung des Kapitalwerts für Investitionsentscheidungen, alle Zahlungen, die im Zusammenhang mit der betrachteten Investition stehen, bekannt sind und berücksichtigt werden.

Im Beispiel nimmt der Kapitalwert erstmals in der dritten Periode positive Werte an. Die Amortisationszeit liegt somit zwischen 2 und 3 Jahren.

A1-3.1.3 Annuität des Kapitalwerts

Als Annuität des Kapitalwerts wird die Umrechnung des Kapitalwerts in jährliche Durchschnittszahlungen bezeichnet. Sie wird nach Gleichung 2 für eine beliebige Nutzungsdauer

berechnet. Der Umrechnungsfaktor wird als Annuitätenfaktor oder Wiedergewinnungsfaktor bezeichnet.

A (T) = i · q^T / (q^T - 1) · C (T) = i · q^T / (q^T - 1) ·
$$\Sigma$$
 q^{-t} (e (t) - k (t))

A (T) = Annuität Kapitalwert C (T)

C (T) = Kapitalwert im Jahr T

t = Anzahl der Jahre (0, 1, 2, 3 ... T)

e (t) = Summe aller Erlöse, die im Jahr t anfallen

k (t) = Summe aller Kosten, die im Jahr t anfallen

i = Kalkulationszinssatz

q = h1 + i

Beispiel: (Fortsetzung)

Periode	0	1	2	3	4	5
Kapitalwert	-	-5 909,09	-950,41	3 557,48	6 289,53	5 668,61
Annuitätenfaktor	_	1,1000	,5762	,4021	,3155	,2638
Annuität	_	-6 500,00	-547,62	1 430,51	1 984,16	1 495,36

Im Beispiel sind die Annuitäten in Abhängigkeit von der Laufzeit der Investition angegeben. Die Annuität mit dem höchsten Wert wird als optimale Annuität, die zugehörige Nutzungsdauer wird als wirtschaftliche Nutzungsdauer bezeichnet (vgl. Abschnitt A1-3.2.1). Im Beispiel wird die optimale Annuität von 1984,16 DM in der vierten Periode erreicht. Die wirtschaftliche Nutzungsdauer der Investition beträgt somit vier Jahre.

Sofern die in Abschnitt A1-3.1.1 genannten Bedingungen für die Nutzung des Kapitalwerts zur Investitionsentscheidung erfüllt sind, ist eine Investition vorteilhaft, wenn die Annuität positive Werte annimmt.

A1-3.2 Wirtschaftlichkeit von Ersatzinvestitionen bei bekannten Kosten und Erlösen (Fall 2 und Fall 3)

A1-3.2.1 Annuitätenmethode

Mit einem Kostenvergleich auf der Basis von Annuitäten läßt sich die Wirtschaftlichkeit von Ersatzinvestitionen beurteilen. Soll eine Altanlage nach Ablauf ihrer technischen Nutzungsdauer ersetzt werden, so sind die in Frage kommenden Ersatzanlagen einander gegenüberzustellen. Kosten, die bei den zu vergleichenden Anlagen in gleicher Höhe und zeitlicher Verteilung anfallen, brauchen nicht berücksichtigt zu werden. Wird beispielsweise mit den zu vergleichenden Anlagen das gleiche Produkt in gleicher Menge hergestellt, brauchen die Erlöse aus dem Produktverkauf nicht berücksichtigt zu werden. Dies ist bei zu ersetzenden Teilanlagen, die Glied einer Prozeßkette sind, von besonderem Vorteil, da der Erlös, der beispielsweise durch die Herstellung eines Zwischenproduktes entsteht, oft nur ungenau abgeschätzt werden kann. Fällt jedoch bei einer der Anlagen im Gegensatz zu den anderen Vergleichsanlagen anstelle eines Abfalls ein verkaufsfähiges Nebenprodukt an, so sind diese Erlöse in die Berechnung einzubeziehen.

Aus den Barwerten der zu berücksichtigenden Zahlungen (Investition, laufende Zahlungen, Restwert) wird analog Gleichung ① für eine gewählte Laufzeit der Kapitalwert ermittelt. Die

Annuität wird analog Gleichung ② aus dem Annuitätenfaktor und dem ermittelten Kapitalwert der zu berücksichtigenden Zahlungen ermittelt. Da die Laufzeit der Investition in die Bestimmung der Annuität eingeht, lassen sich auch Anlagen mit unterschiedlicher Nutzungsdauer vergleichen. Bei der Investitionsentscheidung werden die optimalen Annuitäten (vgl. Abschnitt A1-3.1.3) der zur Auswahl stehenden Anlagen verglichen. Die Altanlage wird durch diejenige Neuanlage mit der höchsten optimalen Annuität ersetzt.

Häufig stellt sich die Frage, ob eine bereits abgeschriebene, aber noch funktionstüchtige Altanlage bereits vor Ablauf ihrer technischen Nutzungsdauer ersetzt werden soll, da mit zunehmendem Alter der Anlage der Wartungs- und Reparaturaufwand steigt. Bei der Untersuchung abfallwirtschaftlicher Fragestellungen können auch die steigenden Entsorgungskosten gegenüber einer abfallarmen Neuanlage eine entscheidende Rolle spielen. Zur Lösung dieser Problemstellung wird mit Hilfe der Annuitätenmethode ein Kostenvergleich zwischen der Altanlage und verschiedenen Ersatzanlagen durchgeführt. Hierbei wird angenommen, daß die Altanlage zum gleichen Zeitpunkt wie die Ersatzalternativen beschafft werden. Ist die optimale Annuität einer Ersatzanlage höher als diejenige der bestehenden Anlage, wird die Altanlage in der Regel sofort ersetzt.

A1-3.2.2 Optimaler Ersatzzeitpunkt

Manche Unternehmen prüfen darüber hinaus, zu welchem Zeitpunkt eine bereits abgeschriebene, aber noch funktionstüchtige Altanlage vor Ablauf ihrer technischen Nutzungsdauer ersetzt werden soll.

Zunächst wird für die geschätzte Restnutzungsdauer der zu ersetzenden Altanlage die zeitliche Entwicklung der zu berücksichtigenden Zahlungen bestimmt. Nun wird für jede Periode innerhalb der Restnutzungsdauer die optimale Annuität der zu berücksichtigenden Zahlungen der Neuanlage ermittelt und der Summe der Zahlungen der Altanlage gegenübergestellt. Der optimale Zeitpunkt für den Ersatz der Altanlage liegt dann vor, wenn die optimale Annuität der Neuanlage die Summe der Zahlungen der Altanlage erstmals überschreitet.

A1-3.3 Kostenvergleich bei teilweise unbekannten Kosten (Fall 4)

A1-3.3.1 Kostenvergleich bei Zusatzinvestitionen

Sind nicht alle Kosten und Erlöse einer Zusatzinvestition bekannt (z. B. Beschaffungskosten, Betriebskosten), so wird gemäß Abschnitt A1-3.1.3 für eine gewählte Laufzeit die Annuität aus dem Barwert der bekannten Kosten und Erlöse berechnet. Ist die Annuität der bekannten Zahlungen größer als null, gibt sie die maximal zulässige Annuität der unbekannten Kosten für einen wirtschaftlichen Einsatz der Zusatzinvestition an. Würde die Zusatzinvestition höhere Kosten verursachen, wäre ihr Einsatz nicht wirtschaftlich. Verursacht die Zusatzinvestition die maximal zulässige Annuität der unbekannten Kosten, entspricht die der Annuitätenberechnung zugrunde gelegte Laufzeit der Amortisationszeit der Zusatzinvestition. Ist die Annuität der bekannten Zahlungen hingegen kleiner als null, ist die Zusatzinvestition nicht wirtschaftlich.

A1-3.3.2 Kostenvergleich bei Ersatzinvestitionen

Sind nicht alle zu berücksichtigenden Kosten einer Ersatzinvestition bekannt, ist ein Kostenvergleich zwischen der zu ersetzenden Teilanlage und der Ersatzinvestition gemäß Abschnitt A1-3.2.1 durchzuführen. Ist die Annuität der bekannten Zahlungen der Ersatzinvestition größer als die Annuität der zu berücksichtigenden Zahlungen der zu ersetzenden Teilanlage, ist der Einsatz der Ersatzinvestition wirtschaftlich, sofern die Annuität der unbekannten Kosten der Ersatzinvestition die Differenz zwischen Annuität der Ersatzinvestition und der Annuität der zu

ersetzenden Teilanlage nicht überschreitet. Analog Abschnitt A1-3.2.2 (optimale Annuität) kann eine Laufzeit bestimmt werden, bei der die für die Ersatzinvestition zur Verfügung stehenden finanziellen Mittel die höchste Annuität aufweisen. Ist die Annuität der bekannten Zahlungen der Ersatzinvestition kleiner als die Annuität der zu berücksichtigenden Zahlungen der zu ersetzenden Altanlage, ist die Ersatzinvestition nicht wirtschaftlich.

A1-4 Organisatorische Integration und Akzeptanz

Werden Arbeitsschritte durch die Maßnahme behindert oder erschwert, sinkt die Akzeptanz durch die Angestellten. Dies führt in der Regel zu Verschlechterungen des Betriebsklimas und der Produktqualität. Die Akzeptanz neuer Verfahren bei den Mitarbeitern ist häufig auch dann schlecht, wenn vertraute und bisher bewährte Arbeitsmethoden in Frage gestellt werden. Für die Einführung neuer Verfahren zur Abfallvermeidung und -verwertung sind deshalb begleitende Maßnahmen zur Förderung der innerbetrieblichen Akzeptanz unbedingt erforderlich (z. B. Schulungen, Aufklärung über den Zweck der Verfahrensumstellung).

Anhang 2: Entwicklung der in der Wirtschaftlichkeitsuntersuchung berücksichtigten Kostenarten

Inhaltsverzeichnis

A2-1	Allgemeines
A2-2	Abschätzung der Preisentwicklung verschiedener Kostenarten (Preisszenario 2)
A2-2.1	Deponierung von Gießereialtsanden
A2-2.2	Entsorgung organisch belasteter Stäube und Feinanteile
A2-2.3	Externe Regenerierung von Gießereialtsanden
2-2.4	Verwertung von Wäscherkonzentrat aus der Abgaswäsche der Coldbox-Amin-Kernherstellung
A2-2.5	Neusandbeschaffung
A2-2.6	Lkw-Transport

A2-1 Allgemeines

Die wirtschaftliche Bewertung der Verfahren zur Vermeidung und Verwertung von Gießereialtsanden erfolgt für einen Betrachtungszeitraum von 10 Jahren. In dieser Zeitspanne ist mit unterschiedlichen Preisentwicklungen für die berücksichtigten Kostenarten zu rechnen, die jedoch nur abgeschätzt werden können. Um den Berechnungsaufwand zu begrenzen, werden, aufbauend auf den Abschätzungen der Preisentwicklung, zwei Preisszenarien gebildet, mit denen die Wirtschaftlichkeitsberechnungen durchgeführt werden.

In Preisszenario 1 wird unterstellt, daß eine reale Steigerung aller betrachteten Kostenarten nicht erfolgt. Die Preise steigen also nur um die jährliche Inflationsrate, d. h., sie steigen nicht über das allgemeine Preissteigerungsniveau hinaus.

In Preisszenario 2 werden für einige Kostenarten (Entsorgung, Neusandbeschaffung, Lkw-Transport, Verwertung) Preissteigerungen, die über die Inflationsrate hinausgehen, angenommen (vgl. Abschnitte A2-2).

A2-2 Abschätzung der Preisentwicklung verschiedener Kostenarten (Preisszenario 2)

A2-2.1 Deponierung von Gießereialtsanden

In Baden-Württemberg werden in 26 von 44 Stadt- und Landkreisen Gießereialtsande auf öffentlichen Hausmülldeponien abgelagert. Die Deponiegebühren reichen von 2 DM/t (wird in Kürze auf ca. 50 DM/t angehoben) bis zu 334 DM/t. Der Mittelwert der Gebühren liegt bei 126,67 DM/t. (Der Mittelwert ist nicht nach der abgelagerten Altsandmenge gewichtet!). In Abbildung A2-1 ist die Verteilung der Deponiegebühren dargestellt.

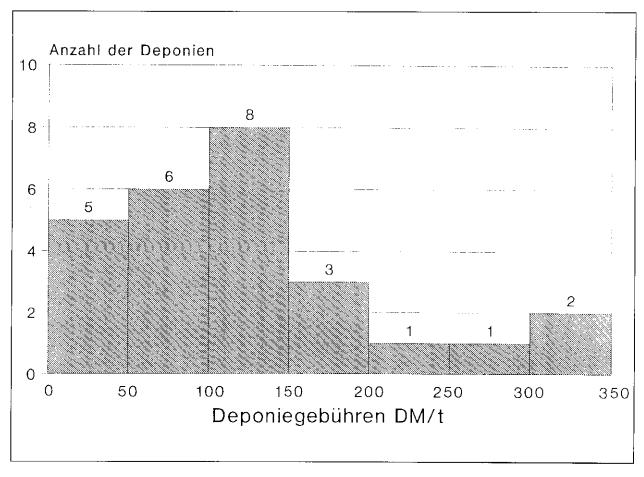


Abb. A2-1: Deponiegebühren für Gießereialtsande in Baden-Württemberg – Stand 1991 (Dihlmann 1992)

Kernaltsande (Abfallschlüssel 314 26) sind nach der Abfallbestimmungsverordnung als besonders überwachungsbedürftige Abfälle eingestuft. Nach dem Landesabfallabgaben-Gesetz Baden-Württemberg sind Kernsande in Kategorie II eingestuft. Die Abfallabgabe beläuft sich derzeit auf 100 DM/t Kernsand. Ab dem 1. Januar 1993 wird die Abfallabgabe auf 200 DM/t Altsand angehoben.

Die Restlaufzeiten der Deponien enden zwischen 1994 und 2022. Im Mittel ist die Kapazität der Deponien im Jahr 2003 erschöpft (Dihlmann 1991).

In den vergangenen Jahren sind die Deponiegebühren für Gießereialtsande zum Teil drastisch angestiegen. Dies zeigt sich auch an der erheblichen Bandbreite der in Abbildung A2-1 angegebenen Gebühren. Da eine Vielzahl der Deponien Restlaufzeiten unter 10 Jahren aufweisen und da wegen der Widerstände in der Bevölkerung nur mit einer verzögerten Ausweisung neuer Deponieflächen gerechnet werden kann, ist zu erwarten, daß die Deponiekosten auch zukünftig deutlich ansteigen werden. Für Preisszenario 2 wird eine Erhöhung der Deponiegebühren um 7% p. a. real angesetzt. Dies entspricht ungefähr einer Verdopplung der realen Deponiekosten innerhalb von 10 Jahren.

Ausgehend vom Mittelwert der Deponiegebühren in Baden-Württemberg von 126,67 DM/t ist in Abbildung A2-2 die Entwicklung der Deponiekosten für die beiden Preisszenarien bei einer Inflationsrate von 3% p. a. dargestellt.

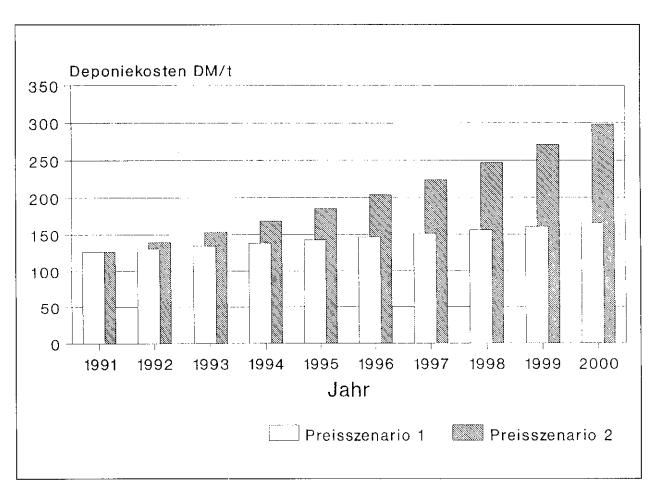


Abb. A2-2: Abschätzung der Entwicklung der mittleren Entsorgungskosten für Gießereialtsande in Baden-Württemberg (Inflationsrate 3 % p. a.)

A2-2.2 Entsorgung organisch belasteter Stäube und Feinanteile

Derzeit befindet sich eine allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Abfallgesetz in Vorbereitung, in der die Rahmenbedingungen für die Entsorgung von Siedlungsabfällen geregelt werden (TA Siedlungsabfall). Hierbei werden auch Kriterien für die Deponierbarkeit von Abfällen in oberirdischen Deponien festgelegt werden. Nach dem derzeitigen Stand der Diskussion wird als wichtiges Kriterium der Gehalt an organischem Material in Abfällen auf 5 bis 10% (gemessen als Glühverlust) begrenzt werden.

In einer Reihe von Gießereien fallen bereits heute Stäube an, deren Gehalt an organischen Substanzen diesen Grenzwert überschreitet. Auch der Feinanteil, der bei der mechanischen Regenerierung von bentonitgebundenen Altsanden, die Glanzkohlenstoffbildner enthalten, und von organisch gebundenen Altsanden entsteht, weist in der Regel höhere Glühverluste auf. Nach Inkrafttreten der TA Siedlungsabfall ist deshalb zu erwarten, daß diese Stäube vor der Deponierung thermisch vorbehandelt werden müssen. In Abbildung A2-3 ist die Entwicklung der Entsorgungskosten für organisch belastete Gießereistäube bei einer Inflationsrate von 3% p. a. unter der Annahme dargestellt, daß ab dem Jahr 1996 eine thermische Vorbehandlung erforderlich wird. Die Kosten der thermischen Vorbehandlung werden mit den Gebühren von Hausmüllverbrennungsanlagen (350 DM/t; Stand 1991) angesetzt. Die Steigerung der Kosten der thermischen Vorbehandlung wird auf 2% p. a. real geschätzt.

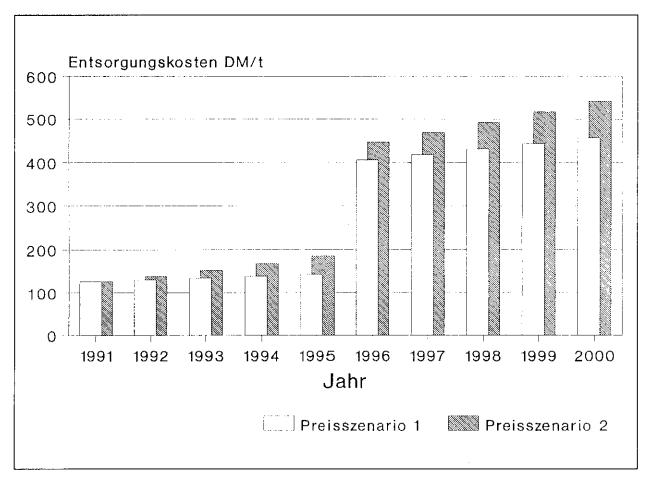


Abb. A2-3: Abschätzung der Entwicklung der mittleren Entsorgungskosten für organisch belastete Gießereistäube (Inflationsrate 3% p. a.)

A2-2.3 Externe Regenerierung von Gießereialtsanden

In der Regel orientieren sich die Betreiber von Verwertungsbetrieben an den Kosten, die für die Beseitigung der Abfälle aufzuwenden sind. Für das Preisszenario 2 wird unterstellt, daß die Kosten für die Deponierung von Gießereialtsanden auch in Zukunft deutlich ansteigen werden (vgl. Abschnitt A2-2.1). Um den Trend zur externen Regenerierung zu fördern, wird erwartetet, daß die Betreiber zentraler Regenerierungsanlagen die Preise weniger stark als die Deponiebetreiber anheben werden. Es wird deshalb in Szenario 2 von einer Preissteigerung von 2 % p. a. real für die externe Regenerierung ausgegangen. Auch für den Verkauf des regenerierten Altsandes werden Preissteigerungen von 2 % p. a. real angenommen.

A2-2.4 Verwertung des Wäscherkonzentrats aus der Abgaswäsche bei der Coldbox-Amin-Kernherstellung

Bei der Herstellung von Kernen nach dem Coldbox-Amin-Verfahren ist es erforderlich, die als Katalysator wirkenden Amine in einem Abgaswäscher aus der Abluft zu entfernen. Das salzhaltige Wäscherkonzentrat, das einen besonders überwachungsbedürftigen Abfall darstellt, läßt sich in Spezialfirmen aufarbeiten. Im Zuge allgemein steigender Kosten für die Verwertung von Abfällen wird in Preisszenario 2 von einer Preissteigerung von 2% p. a. real für die Aufarbeitung des Wäscherkonzentrats ausgegangen.

A2-2.5 Neusandbeschaffung

Mit dem zunehmenden Einsatz von Altsand-Regenerierungsanlagen verringert sich der Neusandbedarf der Gießereiindustrie. Es ist deshalb zu erwarten, daß die Neusandpreise mittelfristig ansteigen werden, um den Nachfragerückgang teilweise aufzufangen. Für das Preisszenario 2 wird deshalb eine Steigerung der Neusandpreise von 2 % p. a. real angenommen.

A2-2.6 Lkw-Transport

Ein zentrales Thema der gegenwärtigen umweltpolitischen Diskussion ist die Umweltbelastung, die durch den Verkehr hervorgerufen wird (CO₂, CO, NO_X, bodennahes Ozon, organische Schadstoffe, Ruß, Lärm). Zur Reduzierung des Verkehrsaufkommens und zur Verminderung der Emissionen wird in Zukunft auch der Straßentransport von Gütern mit zusätzlichen Steuern und Abgaben belastet werden. Die daraus resultierende Steigerung der Transportpreise wird für Preisszenario 2 auf 2 % p. a. real geschätzt.

Anhang 3: Zusammenstellung von Regenerierungsanlagen für bentonitgebundene Mischsande

Der Anhang 3 stellt eine vergleichende Zusammenstellung der Regenerierungsanlagen für bentonitgebundene Mischsande dar. Ein Anspruch auf Vollständigkeit besteht nicht. Diese Zusammenstellung ist nicht mit einer Bewertung verbunden und erfolgt in Eigenverantwortung des Ifg.

Nicht berücksichtigte Firmen werden gebeten, ihre Unterlagen dem Ifg einzureichen.

Inhaltsverzeichnis

Croning & Co. KG, Wedel/Holst
Domnick, Neunkirchen
Eco Engineering, Kaarst
Fa. Gähler, Schweiz
GF, Schweiz
KGT, Düsseldorf
Fa. Klein, Niederfischbach
Künkel-Wagner, Alfeld
Fa. Küttner GmbH & Co. KG, Essen
National Engineering Company, Schweiz
Fa W Strickfeld & Koch GmbH Wiehl 219

Regenerierungsanlagen für bentonithaltige Mischsande mit organisch gebundenen Kernsanden

Maschinenhersteller:

CRONING & CO. KG,

Wedel/Holst.

Regenerierungsverfahren:

Mechanisch-pneumatisch:

Fließbettreiniger, System Pohl - zur Vor- und Nachreinigung in

thermischen Anlagen

- Einzelgerät

Altsand:

bentonithaltige Altsande, organisch gebundene Sande

Regenerat:

- Ausbringen:

tongeb. Sande: 70 - 75 % harzgeb. Sande: 85 - 95 %

- Kennwerte:

 GV^{1} , SG^{2} = f(Behandlungsdauer)

- Verwendung:

Sande für Formen und Kerne

Anlagen:

Kapazität lt. Prospektangabe:

0,5 - 1,0 t/h 1,0 - 2,0 t/h2,0 - 4,0 t/h

Produktionsanlage (1991): Fa. Columbus (Neunkirchen)

Naßgußsand

1) GV: Glühverlust im Regenerat

2) SG: Staubgehalt im Regenerat

Maschinenhersteller:

DOMNICK, Neunkirchen

Regenerierungs-

verfahren:

Thermisch-mechanisch:

- Vibrobrecher

- Wirbelschichtofen

- pneumat. Nachreinigung (Prallreiniger)

- Wirbelschichtkühler

Altsand:

Bentonithaltiger Mischsand

Regenerat:

Ausbringen:

70 - 85 %

Kennwerte:

Verwendung:

Sand für CB-Kerne

Anlagen:

Produktionsanlage 1991:

Fa. Handtmann,
1 t/h, 24 h/d,

nachgeschalteter Fließbettreiniger

(System: Pohl)

Regenerierungs-

verfahren:

Thermisch:

- Vibrobrecher

WirbelschichtofenWirbelschichtkühler

Altsand:

Organisch gebundene Sande

Regenerat:

- Ausbringen:

95 %

- Kennwerte:

GV: < 0,1 %

- Verwendung:

Sand für CB-Kerne

Anlagen:

Produktionsanlage, Fa. Handtmann,

1 t/h, 24 hd,

nachgeschalteter Fließbettreiniger

(System: Pohl)

Maschinenhersteller:

ECO ENGINEERING,

Kaarst

Regenerierungsverfahren:

Mechanisch:

- Vibrobrecher

Mehrstufen-PrallreinigerFluid-Sichter-Kühler

Altsand:

Organisch gebundene Sande

außer MF-Sande

Regenerat:

- Ausbringen:

- Kennwerte:

- Verwendung:

Anlagen:

Prospektangabe:

 $3 - 70 \text{ t/h}^{-1}$

Regenerierungsverfahren:

Thermisch-mechanisch:

- Sandtrockner

- (Wirbelschichtofen)

- Fluidkühler

- Mehrstufen-Prallreiniger

- Fluid-Sichter-Kühler

Altsand:

Bentonithaltige Mischsande,

außer Wasserglas- und MF-Sande

Regenerat:

- Ausbringen:

70 - 90 %

- Kennwerte:

GV: 0,3 % SG: 0,3 %

- Verwendung:

Sand für CB, Croning, Pep-Set

Anlagen:

Versuchswerte:

1,25 ... 5,0 t/h (Modulbauweise)

Tabelle 9.4

Maschinenhersteller:

Fa. GÄHLER,

Schweiz

Regenerierungs-

verfahren:

Ultraschall-thermisch:

- Ultraschallbad

- Trockner - Ofen ·

- Kühler-Sichter

Altsand:

- Organisch gebundene Sande - Bentonithaltige Sande

Regenerat:

Ausbringen:

Kennwerte:

Verwendung:

Anlagen:

Versuchsanlage 1991

Maschinenhersteller:

GF,

Schweiz

Regenerierungsverfahren:

Mechanisch-pneumatisch:

System "Jacob":

- Knollenzerkleinerer

- Wendelförderer

(Trocknung, Entstaubung)

- Mehrzellenprallreiniger mit Überkorn- und Unterkornabscheidung

- Stahlwollesichter

Altsand:

- Organisch gebundene Sande

- Bentonithaltige Mischsande

Regenerat:

- Ausbringen:

75 - 80 %

- Kennwerte:

Aktivbentonit- und C-Träger-

Rückgewinnung GV: 0,4 - 0,8 SG: 0,2 - 0,4

- Verwendung:

Sande für Form- und Kernherstellung

Anlagen:

Produktionsanlage 1978:

Fa. Hundhausen, Schwerte

CB- und Bentonit-Sandanteile, 3 t/h,

1 x 6 Zellen

Produktionsanlage 1980:

Mercedes, Mannheim

CB- und Bentonitsand, Kernbruch,

10 t/h,

4 x 6 Zellen

Produktionsanlage 1980:

Halbergerhütte, Ludwigshafen

CB- und Bentonit-Sandanteile, 3 t/h,

1 x 6 Zellen

Produktionsanlage 1983:

Harlaß, Chemnitz

WG-Esthersand, 16 t/h,

4 x 6 Zellen

Produktionsanlage 1990:

Bode & Co., Kassel WG-CO₂-Sand, 1 t/h, 1 x 2 Zellen

Produktionsanlage 1990: Liudpoldhütte, Amberg

CB- und Bentonit-Sandanteile, 3 t/h,

1 x 6 Zellen

Regenerierungsverfahren:

Mechanisch:

"GF"-Scheuertrommel:

- Trockner (max. 1 % Wasser)

- Scheuertrommel

Altsand: Bentonithaltige Mischsande außer

WG-CO₂-Sande

Regenerat:

- Ausbringen: von Pilotanlage:

63 % (85 - 90 % SiO₂) 24 % Bentonit-C-Träger 12 - 15 % Staub/Unterkorn

- Kennwerte:

- Verwendung: Form- und Kernsand

(CB: 100 %)

Anlagen: Prospektangabe:

1,2 / 4,0 / 7,2 t/h

Maschinenhersteller: KGT,

Düsseldorf

Regenerierungsverfahren:

Mechanisch-thermisch-mechanisch:

- mechanisch (I)

(Schleuderradreiniger, SRR)

- thermisch (II)

(Wirbelschichtofen, FBO)

- mechanisch (III)

(Schleuderradreiniger, SRR)

- Entstauben

(Fließbettsichter)

Durchläufe in Stufen I und III

mehrfach möglich

Altsand: Bentonithaltige Altsande mit Kernresten,

> z. B.: SG: 12,0 %

GV: 5,0 % 00: 5,1 %

Regenerat:

- Ausbringen: > 80 % SiO₂-Anteil

- Kennwerte: nach 2 Durchläufen in Stufe I

und 4 Durchläufen in Stufe III:

0,4 % SG: GV: 0,1 % Oo: 1) 1,9 %

- Verwendung: Sande für Cold-Box-Kerne,

Rückführung von Bentonit- und

C-Träger-Stäuben

Anlagen: Leistung (Prospektangabe):

0,75 / 1,5 / 2,5 / 5,0 t/h

Produktionsanlage 1986:

Fa. Steyr-Daimler-Puch, Österreich

5 t/h

Pilotanlage 1989:

Deponie Volmarstein,

0,5 t/h, Kundenversuche

Produktionsanlage 1990:

Fa. Gießerei SLR GmbH, St. Leon-Rot

2,5 t/h, Werkstoffrückführung

1) Oo = Oolithisierungsgrad im Regernat

Regenerierungsverfahren:

Mechanisch:

- Knollenzerkleinerung

- Trocknung

- Prall-Reibreinigung ("Jet-Reclaimer")

mit Sichtung

Altsand:

Bentonithaltige Altsande mit organisch

gebundenen Kernresten:

SG: 8 - 12 % GV: 3 - 5 %

Regenerat:

- Ausbringen:

70 - 80 % SiO_2 -Anteil

- Kennwerte:

SG: < 2 % GV: < 0,5 %

SG, GV = f(Behandlungsdauer)

- Verwendung:

Neusand für Naßgußsand und Kerne

Anlagen:

Leistung (Prospektangabe):

0.8 - 1.2 t/h

Pilotanlage 1991: KGT GmbH, Volmarstein 0,5 t/h, Kundenversuche

Produktionsanlage 1992: Columbus, Neunkirchen

1,0 t/h, Naßgußaltsand zu Naßgußneusand

Regenerierungsverfahren:

Mechanisch-thermisch-mechanisch:

- Knollenzerkleinerung
- Trocknung
- mechanische Vorreinigung
 ("Jet-Reclaimer") mit Sichung
- thermisch
- thermisch (Wirbelschichtofen)
- Kühler
- mechanische Nachreinigung
 ("Jet-Reclaimer") mit Sichtung

Altsand:

Bentonithaltige Altsande mit organisch gebundenen Kernresten

SG: 11 % GV: 2,45 % Schamotte: 4,0 %

Regenerat:

- Ausbringen: 80 % SiO₂-Anteil

- Kennwerte: nach 80 min Vorreinigung und 30 min Nachreinigung:

SG: 0,2 % GV: 0,1 % Schamotte: 2,0 %

- Verwendung: Neusand für Kerne,

anteilig zum Naßgußformsand

Anlagen:

Leistung (Prospektangabe): 0,75 / 1,5 / 2,5 / 5,0 t/h

Pilotanlage 1991: KGT GmbH Volmarstein 0,5 t/h, Kundenversuche

Produktionsanlage 1992/93:

B.U.S. Gießereisand Steyr GmbH,

Steyr, Österreich

5 t/h, Lohnregenerierung

Maschinenhersteller:

Fa. KLEIN,

Niederfischbach

Regenerierungsverfahren:

Mechanisch-thermisch-pneumatisch:

- mechanische Vorbehandlung

(Wendelbrecher)

- thermische Regenerierung

(Wirbelschichtofen)

- pneumatische Nachbehandlung

(Prallreiniger)

- Entstaubung

(Fließbettsichter)

Altsand:

Bentonithaltige Altsande mit organisch gebundenen Kernresten, nicht geeignet für Wasserglas- und Zementsand, Kaltharz mit

Phosphorsäurehärter, MF-Formstoff

Regenerat:

- Ausbringen:

70 - 85 % (2 Sandfraktionen)

- Kennwerte:

nach mechanischer Vorbehandlung:

SG: 1,2 - 3,0 % GV: 1,3 - 1,8 %

0o: n.b.

Aktivton: 1 - 1,2 %

nach pneumatischer Nachbehandlung:

SG: < 0,1 % GV: < 0,1 % Oo: 3,0 - 4,5 %

Aktivton: 0 %

- Verwendung:

Sande für Croning- und Cold-Box-Kerne

Anlagen:

Leistung: 5 - 12,5 t/h

(0,5 - 5 t/h in Vorbereitung)

Produktionsanlage 1986: Fa. Halberg-Guss GmbH, Saarbrücken-Brebach Leistung: 11 t/h

(2 Wendelbrecher je 12,5 t/h, 1 Wirbelschichtofen 10 - 12 t/h,

2 Prallreiniger je 6 t/h) Ausbringen: 72 % Regenerat Maschinenhersteller: KÜNKEL-WAGNER,

Alfeld

Regenerierungs-

verfahren: Mechanisch-pneumatisch:

- Trocknung mit Vorreinigung

- mechanisch-pneumatische Reinigung

("Turbodry-Regenerierung")

- Kühlung

Altsand: Bentonithaltige Mischsande mit

organisch gebundenen Kernresten:

SG: ca. 15 % GV: 4 - 7 % Oo: bis 20 %

Regenerat:

- Ausbringen: 60 - 85 % Regenerat (> 90 % SiO₂)

Rückgewinnung von Aktivstaub (Bentonit,

C-Träger) aus der Vorreinigung

- Kennwerte: von Pilotanlage:

SG: bis 0,3 % GV: 0,3 % Oo: bis 3 %

- Verwendung: Sand für Kerne

Anlagen: Leistung: ab 1,0 t/h (15 t/d)

Pilotanlage 1990:

Fa. Künkel-Wagner, Alfeld Leistung: mind. 200 kg/h

Maschinenhersteller: Fa. KÜTTNER GmbH & CO. KG,

Essen

Regenerierungsverfahren:

Feucht-thermisch:

- Altsandvorbereitung
 - (Zerkleinerung, Sichtung)
- Befeuchtung (Mischer)
- thermische Behandlung (Wirbelschichtofen)
- Kühlung mit Nachreinigung

(Wirbelschichtkühler mit pneumat.

Nachreinigung)

- Sichtung

Altsand:

Bentonithaltige Altsande und Kernreste

mit organischen oder anorganischen Bin-

dersystemen

Mischsand aus 70 % Bentonitsand und

30 % Staub aus mechan. Kaltharzregene-

rierung:

SG: 11,8 % 5,4 % GV: 00: 6,3 % Aktivton: 7,0 %

Regenerat:

- Ausbringen:

- Kennwerte:

von Pilotanlage:

lt Prospekt:
< 0,3 %</pre>

SG: 0,9 %

< 0,05 %

GV: 00:

1,9 %

Aktivton: -

Neusand für Kerne

Anlagen:

Verwendung:

Leistung: 0,5 bis 3 t/h

Pilotanlage 1991: Fa. Küttner, Essen

mind. 250 kg/h

Maschinenhersteller: NATIONAL ENGINEERING COMPANY,

Schweiz

Regenerierungsverfahren:

Mechanisch-pneumatisch:

- Zerkleinerung (Knollenbrecher)

- Trocknung

(Drehtrommelofen)

- mechanisch-pneumat. Reinigung

("Pro-Claim"-Mehrzellen-Prallreiniger)

- Entstaubung und Klassierung

(Kaskadensichter, Klassierschwingsieb)

- Kühlung

Altsand: Bentonithaltige Altsande, organisch und

anorganisch gebundene Sande (einschl. Wasserglas-, Alpha- und Beta-Set-Sande)

Bentonitgebundene Sande:

SG: 11,9 % 10,1 % GV: 7,5 % -

 SiO_2 -Anteil: - 82,9 % MK: 0,20 mm 0,16 mm

Regenerat:

- Ausbringen: 70 - 85 %

- Kennwerte: SG: 2,0 % 3,9 %

GV: 1,7 % -SiO₂-Anteil: - 94,2 %

SiO₂-Anteil: - 94,2 % MK: 0,19 mm 0,16 mm

- Verwendung: Sande für Wiedereinsatz im Ausgangs-

system: Naßgußsand - Naßgußsand,

Beta-Set - Beta-Set usw.

Anlagen: Leistung: ab 0,9 t/h

über 100 Produktionsanlagen bis 1991

Regenerierungsverfahren:

Thermisch-pneumatisch:

- Zerkleinerung
- thermische Behandlung
 ("GMD Thermo-Scrubber I"-Wirbel schichtofen)
- Kühlung
- pneumatische Nachreinigung ("Pro-Claim"-Prallreiniger)

Altsand:

Bentonitgebundener Altsand und bentonithaltige Mischsande mit harzgebundenen Sandanteilen

Regenerat:

- Ausbringen: 75 - 85 %

- Kennwerte:

- Verwendung: Neusand für Formen und Kerne

Anlagen: Leistung: 0,25 bis 15 t/h

Maschinenhersteller: Fa. W. STRICKFELD & KOCH GmbH,

Wiehl

Regenerierungsverfahren:

Thermisch-mechanisch:
- Altsandvorbehandlung

(Zerkleinerung)

- Trocknung

(Trommelofen, 200 °C) - thermische Behandlung

(Trommelofen, 750 °C)

- Kühlung mit mechan. Nachreinigung (Wirbelschicht-Kühler/Sichter)

Altsand: Tongebundener Altsand und organisch

gebundene Sande (ausschließlich Was-

serglas- und Beta-Set-Sand

Regenerat:

- Ausbringen: 93 - 95 %

(Altsand abzüglich Schlämmstoff = 100 %)

- Kennwerte: SG: < 0,3 %

GV: < 0,5 %

- Verwendung: Neusandähnlicher Sand für Formen

und Kerne

Anlagen: Leistung: 0,8 - 2,5/10 t/h

