ABAG
Die Abfallberatungsagentur

Verminderung von Kernsanden aus dem CO_2-Wasserglas-Verfahren durch mechanische Regenerierung

Projektbericht

im Auftrag der
ABAG-Abfallberatungsagentur
Baden-Württemberg
Stauferstr. 15
70736 Fellbach

Projektträger
Ernst Bröer GmbH
Scheffelstr. 4
D - 68723 Schwetzingen

Projektbegleiter
Dipl.-Ing. Ilona Notzon, Dipl.-Ing. Dietmar Heil
InUtec - Ingenieurbüro für
industrielle Umwelttechnik GmbH
Hindenburgstr. 6
88499 Riedlingen

April 1998

Erarbeitung:
Dipl.-Ing. (FH) Ilona Notzon, Dipl.-Ing. (BA) Dietmar Heil
InUtec - Ingenieure für industrielle Umwelttechnik GmbH

Für die kooperative Mitwirkung an diesem Projekt bedankt sich die ABAG bei allen Beteiligten des Hauses Ernst Bröer GmbH, insbesondere bei den Herren Ochs, Hänsch und Hillmann.

Die Durchführung dieses Modellprojekts sowie die wissenschaftliche Begleitung wurde mit Mitteln der Sonderabfallabgabe des Landes Baden-Württemberg unterstützt.

Herausgeber:
ABAG-Abfallberatungsagentur
Geschäftsbereich der
SAA-Sonderabfallagentur Baden-Württemberg GmbH
Stauferstr. 15
70736 Fellbach
Tel.: 0711 / 95 19 11 - 0
Fax: 0711 / 95 19 11 - 20
E-Mail: abag@saa.de

Projektleitung:
Dipl.-Ing. Axel Spillner

April 1998

Gedruckt auf: weiß mattgestrichen Offset chlorfrei gebleicht (Umschlag)

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

Inhaltsverzeichnis

0 KURZFASSUNG 7

1 ALLGEMEINES 9

1.1 Die Kernherstellung mit Wasserglasbindern 9
1.1.1 Grundlagen 9
1.1.2 Das CO_2-Wasserglas-Verfahren 10

1.2 Stand der Technik bei der Regenerierung wasserglasgebundener Formstoffe 11
1.2.1 Vorbemerkungen 11
1.2.2 Fließbettscheuern System *Pohl* 12
1.2.3 Heiße Wirbelbettregenerierung System *Hiery/Domnik* 14
1.2.2 Verwendung der Regenerate in Fremdsystemen 15

1.3 Weiterentwicklung des Standes der Technik durch das Projekt 16

2 KURZBESCHREIBUNG DES BETRIEBES 17

2.1 Allgemeines 17

2.2 Gießereitechnische Verfahren und Anlagen 17

2.3 Entsorgungsituation 18

2.4 Qualitätssicherung 18

3 KURZBESCHREIBUNG DER BESTEHENDEN ANLAGE 19

3.1 Vorbemerkungen 19

3.2 Kernmacherei 19

3.3 Stoffbilanz vor Inbetriebnahme der Regenerierungsanlage (Ist-Zustand) 20

3.4 Stoffflußbild 22

3.5 Personal 22

4 VERTRAGSGIEßEREIEN 23

4.1 Projektkonstellation 23

4.2 Kurzbeschreibung der Vertragsgießereien 25

5 BESCHREIBUNG DES PROJEKTES 26

5.1 Anlagen- und Verfahrensbeschreibung 26
5.1.1 Aufbau der Sandregenerierungsanlage 26
5.1.2 Sandbunker 26
5.1.3 Knollenbrecher 27
5.1.4 Regenerierungseinheit 28

5.1.5 Absaug- und Entstaubungsanlage 30
5.1.6 Regeneratversorgung 31
5.1.7 Technische Daten der Anlage 32

5.2 Erwartete Stoffbilanz bei Betrieb der Regenerierungsanlage 34
5.2.1 Stoffflußbild 34
5.2.2 Erwartete Stoffbilanz 35

5.3 Projektverlauf 36
5.3.1 Zeitplan 36
5.3.2 Beschreibung der aufgetretenen Probleme 37
5.3.2.1 Anlagentechnische Probleme 37
5.3.2.2 Verfahrenstechnische Probleme 37

6 UNTERSUCHUNGEN 39

6.1 Übersicht 39

6.2 Art und Umfang der Untersuchungen 40
6.2.1 Begleitende Laboruntersuchungen 40
6.2.1.1 Vorbemerkungen 40
6.2.1.2 Abreinigung des anorganischen Binderanteils (Elektrolyt) 40
6.2.1.3 Abreinigung des organischen Binderanteils (Glühverlust, TOC) 41
6.2.1.4 Mechanische Untersuchungen 41
6.2.1.5 Granulometrische Untersuchungen 42
6.2.1.6 Weitere orientierende Untersuchungen 42
6.2.2 Verarbeitbarkeit der Regenerate 43
6.2.3 Betriebsdaten 43

7 ERGEBNISSE 44

7.1 Ergebnisse der Laboruntersuchungen 44
7.1.1 Natriumabbau 44
7.1.2 TOC-Abbau 47
7.1.3 Mechanische Kennwerte 50
7.1.3 Granulometrische Untersuchungen 56

7.2 Verarbeitbarkeit der Regenerate 59

7.3 Betriebsdaten 61

8 BEURTEILUNG DES TECHNISCHEN VERFAHRENS 62

8.1 Verfahrenssicherheit 62

8.2 Abfallaufkommen 63

8.3 Sonstige Umweltauswirkungen 63

8.4 Personalbedarf 64

9 WIRTSCHAFTLICHKEITSBETRACHTUNG 65

9.1 Erläuterungen zu den Berechnungsszenarien 65

9.2 Investitionskosten 67

9.3 Betriebskostenvergleich 67

9.4 Wirtschaftlichkeitsberechnungen 68

10 BEURTEILUNG DER ÜBERTRAGBARKEIT 70

10.1 Neue Erkenntnisse 70

10.2 Einsatzbedingungen 71

10.3 Anwendungsgrenzen 72

11 ANHANG 73

12 LITERATUR 74

Tabellenverzeichnis

Tabelle 3-1: Stoffbilanz IST 20
Tabelle 4-1: Daten zu den Vertragsgießereien 25
Tabelle 5-1: Ablauf des Regenerierungsprozesses 30
Tabelle 5-2: Technische Daten der Sandregenerierungsanlage 32
Tabelle 5-3: Stoffbilanz SOLL 35
Tabelle 5-4: Übersicht zum Projektverlauf 36
Tabelle 6-1: Durchgeführte Untersuchungen - Übersicht 39
Tabelle 7-1: Natrium-Abbauraten bei verschiedenen Trocknungstemperaturen 45
Tabelle 7-2: Natrium-Abbauraten bei verschiedenen Reinigungszeiten 45
Tabelle 7-3: Natrium-Abbauraten bei mehreren Umläufen 46
Tabelle 7-5: Ergebnismatrix der Regeneratbeurteilung 60

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1-1: Fließbettreiniger nach dem System „Pohl" 13
Abbildung 3-1: Stoffflußbild IST 22
Abbildung 4-1: Projektkonstellation 23
Abbildung 5-1: Knollenbrecher (Bild: InUtec) 27
Abbildung 5-2: Jet-Reclaimer mit Sandabwurfschacht (Bild: InUtec) 29
Abbildung 5-3: Heißgasstrecke (Bild: InUtec) 29
Abbildung 5-4: Filterhaus (Bild: InUtec) 31
Abbildung 5-5: Prinzipskizze der Regenerierungseinheit (KGT-Jet-Reclaimer) (Bild: KGT) 33
Abbildung 5-6: Stoffflußbild SOLL 34
Abbildung 7-1: Einfluß der Trocknungstemperatur auf den Elektrolytgehalt 44
Abbildung 7-2: Natrium-Gehalt bei Mehrfach-Umläufen 46
Abbildung 7-3: Einfluß der Trocknungstemperatur auf den Organikabbau 48
Abbildung 7-4: Einfluß der Reinigungsdauer auf den TOC-Abbau 49
Abbildung 7-5: Entwicklung des TOC-Gehaltes bei Mehrfach-Umläufen 50
Abbildung 7-6: Einfluß der Trocknungstemperatur und Verarbeitungszeit auf Sofort- und Enddruckfestigkeit 51
Abbildung 7-7: Einfluß der Trocknungstemperatur auf die Restdruckfestigkeit 52
Abbildung 7-8: Einfluß der Trocknungstemperatur auf die Abriebfestigkeit 53
Abbildung 7-9: Entwicklung der Sofort- und Enddruckfestigkeit 54
Abbildung 7-10: Entwicklung der Restdruckfestigkeit 55
Abbildung 7-11: Entwicklung der Abriebfestigkeit 56
Abbildung 7-12: Siebanalysen von Neusand und Regenerat 57
Abbildung 7-13: Entwicklung des Schlammstoffgehaltes 58
Abbildung 7-14: Entwicklung der Gasdurchlässigkeit 59

0 Kurzfassung

In Gießereien, die zur Herstellung ihrer Formen Sandkerne verwenden, fallen erhebliche Mengen an Gießereialtsanden an, insbesondere dadurch bedingt, daß die Sandkerne nach dem Abguß nicht mehr verwendet werden können.

Im vorliegenden Modellprojekt wurde nun ein Regenerierungsverfahren zur Aufbereitung dieser Altsande mit dem Ziel einer Wiederverwendung im Herkunftsprozeß untersucht. Neuartig dabei war, daß ein mechanisch-pneumatisches Regenerierungsverfahren in einer Gießerei zum großtechnischen Einsatz kam, die ihre Kerne ausschließlich mit dem CO_2-Wasserglasverfahren herstellt. Das CO_2-Wasserglasverfahren gilt als äußerst umweltverträgliches Kernherstellungsverfahren. Jedoch lassen sich die Altsande daraus schwer regenerieren, so daß bisher praktisch keine großtechnischen Anlagen im Einsatz sind.

Der Projektträger, die Ernst Bröer GmbH in Schwetzingen, ist eine kleine Kundengießerei, die ausschließlich Aluminiumguß im Sandgußverfahren herstellt und für die Durchführung dieses Modellprojektes eine interessante Konstellation gewählt hat: Da beim Projektträger alleine nicht genügend Altsand zur wirtschaftlichen Auslastung auch nur einer kleinen Regenerierungsanlage anfällt, hat das Unternehmen drei andere kleinere Gießereien, die ebenfalls mit dem CO_2-Wasserglasverfahren arbeiten, als Vertragspartner in das Vorhaben einbezogen. Diese liefern ihre Altsande dort an und erhalten die Regenerate wieder zur Kernherstellung zurück.

Im Gießereibetrieb des Projektträgers wurde nun eine mechanisch-pneumatische Regenerierungsanlage vom Typ *KGT-Jet-Reclaimer* errichtet, die nach dem Prinzip des Fließbettscheuerns arbeitet. Neben der eigentlichen Regenerierungseinheit umfaßt die Ausrüstung eine Siloanlage für die Anbindung der Vertragsgießereien, einen Knollenbrecher für die Sandaufgabe sowie eine Absaug- und Entstaubungsanlage zur gesetzeskonformen Reinigung der Abluft.

Wie bei solchen Vorhaben üblich, konnte auch im vorliegenden Fall die Kernmacherei nicht sofort auf Regeneratverarbeitung umgestellt werden. Es mußten zunächst anhand von Einzelversuchen Randbedingungen ermittelt werden, unter denen die bezüglich ihrer Zusammensetzung vom Neusand erheblich abweichenden Regenerate prozeßsicher verarbeitet werden können. Erst im letzten Jahr der insgesamt dreijährigen Projektlaufzeit erfolgte dann die Anbindung der Kernmacherei sowie die Errichtung der Siloeinrichtungen für die Vertragsgießereien.

Das Vorhaben wurde durch ein Laboruntersuchungsprogramm begleitet, zum einen um Daten für die Verfahrensoptimierung zu gewinnen, zum anderen um Erkenntnisse über Veränderungen des Formstoffsystems im Verlauf mehrerer Umläufe zu erhalten.

Als Projektergebnis hat sich gezeigt, daß die erzeugten Regenerate zur Herstellung guter Kerne geeignet sind, wenngleich der Nachweis einer vollständigen Schließung des Formstoffkreislaufes nicht gelang.

Die im Projektverlauf aufgetretenen Probleme lassen erkennen, daß die Regenerierung von Wasserglasbindersystemen heute noch ungleich schwerer zu beherrschen ist, als beispielsweise die thermische Regenerierung organisch gebundener Kernsande. Gleichwohl kann mit dem Verfahren das Altsandaufkommen um mindestens 60 % vermindert werden, wobei zusätzliches Verbesserungspotential im Bereich der Binderrezepturen und Mischungsansätze erkennbar wurde. Dieses Verbesserungspotential zu nutzen ist eine anspruchsvolle Aufgabenstellung der künftigen Zusammenarbeit zwischen Gießereibetrieb und Binderlieferanten.

Trotz zwischenzeitlich dramatisch gefallener Entsorgungspreise für Gießereialtsande, kann eine voll ausgelastete Anlage sich in einem durchaus interessanten Zeitraum amortisieren und bietet zudem eine - wenngleich in Mark und Pfennig nicht bezifferbare - Kostensicherheit gegen steigende Entsorgungspreise.

1 Allgemeines

1.1 Die Kernherstellung mit Wasserglasbindern

1.1.1 Grundlagen

Wasserglas ist die Bezeichnung für aus dem Schmelzfluß erstarrte, glasige, wasserlösliche Kalium- und Natriumsilicate oder deren viskose wässrige Lösungen [1] und entsteht durch Verschmelzen von gemahlenem Quarzsand und Alkalicarbonat bei 1.300 – 1.500 °C unter Freisetzung von Kohlendioxid nach folgender Reaktionsgleichung (hier für Natriumsilicat):

$$2\,SiO_2 \;+\; 4\,Na_2CO_3 \;\Rightarrow\; 2\,Na_4SiO_4 \;+\; 4\,CO_2$$

Die als Kernbinder verwendeten wässrigen Lösungen werden durch Erhitzen unter erhöhtem Druck von Alkalisilicaten und Wasser erzeugt und lassen sich chemisch wie folgt beschreiben:

$$Na_2O \;*\; x\,SiO_2 \;*\; y\,H_2O$$

Wie die Formel zeigt, können die Bestandteile der Lösung in unterschiedlichen Massenverhältnissen vorliegen. Je nach dem liegt Wasserglas dann in dünnflüssiger, zähflüssig/pastöser oder fest erstarrter Form vor. Charakteristische Parameter für die Beschreibung, insbesondere der Viskosität der Lösung, sind die Trockensubstanz und der Wasserglasmodul.

Die *Trockensubstanz TS* wird in Masse-% der Lösung angegeben und beschreibt den Anteil (Summe) an SiO_2 und Na_2O in der Lösung.

Der *Wasserglasmodul M* beschreibt die Anteile von Natrium und Silizium in der Lösung als Quotient der Massenverhältnisse von SiO_2 zu Na_2O.

$$M \;=\; SiO_2 / Na_2O$$

Typische Einstellungen für Wasserglasbinder zur Kernherstellung mit dem CO_2-Wasserglasverfahren sind

Wasserglasmodul *M* .....2,3 - 3,0
Trockensubstanz *TS* .....30 - 40 Masse-%

1.1.2 Das CO_2-Wasserglas-Verfahren

Das CO_2-Wasserglas-Verfahren ist das älteste Gashärteverfahren zur Herstellung von Sandkernen. Industriell eingeführt wurde es in den 50er Jahren [2]. Im Vergleich mit den gängigen Kunstharzverfahren bietet es deutliche Kostenvorteile und ist weitaus umweltverträglicher. Auch hinsichtlich des Arbeitsschutzes sowie der Anlagensicherheit bestehen Vorzüge gegenüber Kernherstellungsverfahren mit organischen Bindern. Allerdings weist das CO_2-Wasserglas-Verfahren deutliche fertigungstechnische Schwächen auf und wird daher vorwiegend für die Fertigung von Kleinserien und preiswerten Kompaktkernen eingesetzt. Einschränkungen bei der Herstellung dünnwandiger Geometrien sowie bei der Automatisierbarkeit der Fertigungsabläufe haben mittlerweile zu einer zunehmenden Verdrängung durch organische Bindersysteme geführt.

Fertigungsverfahren

Zunächst wird eine Mischung von Quarzsand mit Wasserglasbinder erzeugt. Je nach den individuellen Anforderungen werden Natron oder Kaliwasserglas sowie auch Gemische beider Alkalisilicate eingesetzt. Durch Begasung dieser Quarzsand-Wasserglas-Mischung mit Kohlendioxid im Kernkasten erfolgt eine rasche Erstarrung des Wasserglasbinders. Es bilden sich ein Kieselsäuregel, das durch Wasserabspaltung härtet und Alkalicarbonat, das keine Bindewirkung ausübt. Die Gleichung für einen Natronwasserglasbinder – vergleichbar mit der für Kaliwasserglas – lautet:

$$Na_2O * x\,SiO_2 * y\,H_2O + CO_2 \rightarrow Na_2CO_3 + x\,SiO_2 * yH_2O$$

Durch die Abbindung des Natriums als Carbonat steigt der Wasserglasmodul und damit die Viskosität der Lösung spontan an; streng genommen verbleibt an Stelle des Kieselsäuregels ein Natriumsilicat mit nur sehr geringem Na_2O-Gehalt. Parallel dazu erfolgt die Bindung von Wasser aus der Lösung als Kristallwasser des Natriumcarbonats; dadurch nimmt auch der Gehalt an Trockensubstanz zu, wodurch die rasche Erstarrung ausgelöst wird.

Es tritt eine ausreichend hohe Sofortfestigkeit der Kerne ein, die es erlaubt, den Kern ohne Beschädigung aus dem Kernkasten zu entnehmen und zu transportieren. Die eigentliche Entwicklung der Endfestigkeit erfolgt dann bei der weiteren Trocknung im Zuge der Kernlagerung, meist unter atmosphärischen Bedingungen. Dieser verzögerte Eintritt der für den Abguß erforderlichen Endfestigkeit, der die automatische Großserienfertigung erschwert, ist eine der Schwachstellen des Verfahrens.

Aufgrund der o. g. Vorteile des CO_2- Wasserglasverfahrens war in den vergangenen Jahrzehnten eine beachtliche Weiterentwicklung zu verzeichnen, mit dem Ergebnis, daß trotz der systembedingten Nachteile zunehmend anspruchsvollere Aufgabenstellungen gelöst werden konnten [3]:

1960 – 1970

Entwicklung und Einsatz pulverförmiger Zerfallsförderer, die jedoch nur in einem bestimmten Temperaturbereich die Restfestigkeit (Sekundärfestigkeit) der heißstämmigen Kerne drastisch reduzieren und daher den sortimentsspezifischen Anforderungen anzupassen sind; Verwendung von Nickelwasserglaslösungen mit angepaßtem Modul.

1970 – 1980

Einbau verschiedener Alkalisilicate und physikalische Modifizierung zur Erhöhung der Sofortfestigkeit; Zusatz flüssiger Zerfallsförderer (vor allem für Grauguß); Hydrophobisierung zur Erhöhung der Lagerfähigkeit der Kerne; physikalische Modifizierung.

ab 1980

Chemische Modifizierung zur Erhöhung der Reaktivität und Sofortfestigkeit; Einbau organischer Strukturen in das Wasserglas (organosilikatische Wasserglaslösungen).

1.2 Stand der Technik bei der Regenerierung wasserglasgebundener Formstoffe

1.2.1 Vorbemerkungen

Die Verdrängung des Wasserglasverfahrens durch organische Bindersysteme hat - zumindest was den westlichen Wirtschaftsraum betrifft - dazu geführt, daß sich die Entwicklung von Sandregenerierungsverfahren naheliegenderweise auch an den Marktanteilen der Bindersysteme orientierte. Folglich sind eine Reihe großtechnischer Regenerierungsanlagen für organische Bindersysteme bekannt, wohingegen die Regenerierung von wasserglasgebundenen Kernen auf wenige Einzelfälle beschränkt blieb, ausgelöst meist durch die vorübergehend hohen Altsandentsorgungskosten Anfang der 90er Jahre.

Hinzu kommt, daß Wasserglasbindersysteme meist nur in kleineren Gießereien anzutreffen sind, bei denen nur schwer ein wirtschaftlich zumutbarer Einsatz teurer Regenerierungsanlagen realisierbar ist.

Weitere generelle Hindernisse bei der Einführung von Regenerierungsverfahren, wie insbesondere verfahrenstechnische Risiken, keine produktionstechnischen Vorteile und unverhältnismäßig hohe Investitionskosten für Kleinanlagen wirken sich hier verstärkt aus.

Ein aktuelles Branchengutachten über Untersuchungen von Eisen- und NE-Metallgießereien in Baden-Württemberg geht davon aus, daß Wasserglassande derzeit nicht regenerierbar sind[4]. Gleichwohl kann über einige Verfahren berichtet werden, die mit Einschränkungen den Stand der Technik bei der Regenerierung von wasserglasgebundenen Kernsanden definieren dürften.

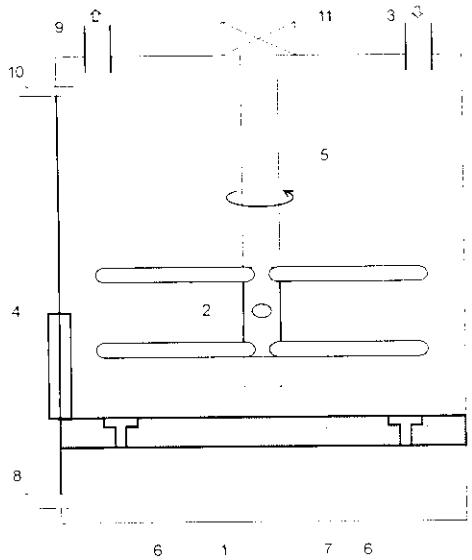
1.2.2 Fließbettscheuern System *Pohl*

Bei der Regenerierung nach *Pohl* kommt ein Fließbettreiniger zum Einsatz, mit dem wasserglasgebundener Gießereialtsand für einen Wiedereinsatz im Herkunftssystem aufbereitet werden kann.

Das Gerät besteht aus einem Reinigungsbehälter mit Düsenboden, in dessen Inneren sich eine oder mehrere rotierende Reibeinheiten befinden. Diese Reibeinheiten bestehen aus einer vertikalen Antriebswelle mit horizontal angebrachten metallischen Reibstäben. Der zerkleinerte Altsand wird von oben in das Gerät aufgegeben und bei rotierender Reibeinheit im fluidisierten Zustand von seinen Binderhüllen befreit. Der Abrieb wird mit der Fluidisierungsluft kontinuierlich oben aus dem Gerät ausgetragen. Nach Ablauf der Regenerierungsdauer wird die Sandfüllung seitlich abgelassen. Es sind Varianten bekannt, bei denen die Fluidisierungsluft zur Unterstützung des gewünschten Trockungseffektes vorgeheizt wird.

Das Verfahren wurde in einem Versuchsgerät detailliert für folgende Wasserglasbindersysteme untersucht [5]:

- Wasserglas-Ester-Verfahren
- Wasserglas- CO_2-Verfahren
- Wasserglas-Bentonit-Ester-Verfahren
- Wasserglas-Bentonit- CO_2-Verfahren



1 Reinigungsbehälter
2 Reibstabe
3 Sandeinlauf
4 Entleerungsklappe
5 Antriebswelle
6 Luftdüsen
7 Zwischenboden
8 Lufteintritt zur Luftkammer
9 Luftaustritt zur Entstaubungsanlage
10 pH-Wert-Regulierung
11 Antriebseinheit

Abbildung 1-1: Fließbettreiniger nach dem System „Pohl"

Von folgenden Ergebnissen für das Bindersystem Wasserglas-CO_2 bei acht Umläufen wird berichtet:

a) Die mittlere Korngröße nimmt in Folge der mechanischen Beanspruchung im Fließbett geringfügig ab (Abnahme um 0,003 - 0,015 mm).

b) Der Natriumsilikat-Gehalt der Regenerate aus dem Wasserglas CO_2-Verfahren lag zwischen 0,11 und 0,15 %.

c) Die Regeneratproben wiesen eine höhere Anfangsdruckfestigkeit (nach weniger als 30 s) auf, als die Neusandproben.

d) Die nach zwei Tagen Lagerzeit gemessene Enddruckfestigkeit des Regenerats war gleich hoch oder höher als die der Neusandproben.

e) Die Verarbeitbarkeitszeit der Regeneratproben schwankte; es wurden sowohl längere als auch kürze Verarbeitbarkeitszeiten als bei den Neusandproben gemessen.

f) Die Restdruckfestigkeit der Regenerate, gemessen nach einem Tag Lagerzeit bei Raumtemperatur und 30-minütiger Wärmebehandlung bei 800 °C im Ofen, schwankte ebenfalls erheblich um die ermittelten Restdruckfestigkeiten der Neusandproben.

Insgesamt lassen diese Untersuchungsergebnisse erkennen, daß sich mit dem mechanisch-pneumatischen Kaltregenerierungsverfahren nach *Pohl* Regenerate erzeugen lassen, die für die Herstellung wasserglasgebundener Kerne durchaus verwendbar sind. Der großtechnische Einsatz dieses Verfahrens ist jedoch nur bei organischen Bindersystemen bekannt.

1.2.3 Heiße Wirbelbettregenerierung System *Hiery/Domnick*

Das thermische Regenerierungsverfahren nach *Hiery/Domnick* wurde speziell für die Aufbereitung von wasserglasgebundenen Formstoffen entwickelt.

Die Regenerierungsanlage besteht aus einem heißluftbeheizten Wirbelschichtofen, einem Knollenbrecher zur Vorzerkleinerung sowie einem nachgeschalteten Fließbettkühler. Es ist ein kontinuierlicher oder chargenweiser Betrieb möglich. Die Behandlung erfolgt bei einer Wirbelbettemperatur von 300 °C, wobei die Binderhüllen durch Kristallwasserverlust verspröden , schrumpfen und abplatzen sollen. Der Abrieb wird mit der Fluidisierungsluft abgeführt.

Im Jahre 1992 wurde eine Anlage nach diesem Verfahren im Betrieb genommen. Der Betreiber hat damit sein gesamtes Altsandaufkommen vermieden und ein Regenerat in brauchbarer Qualität erzeugt. Die Anlage befand sich von 1992 - 1996 im großtechnischen Einsatz und wurde danach aufgrund veränderter Rahmenbedingungen stillgesetzt. Regeneriert wurden dabei CO_2- und esterhärtende Wasserglassysteme, wobei dort das esterhärtende Verfahren für die Herstellung von Sandformen eingesetzt wird. Von folgenden Einschränkungen gegenüber der Verwendung von Neusand wird berichtet[6]:

- Anstieg der Restdruckfestigkeit und Verschlechterung der damit verbundenen Entkernung.
- geringfügige Abnahme der Sofortfestigkeit,

Einbußen bei der Qualität der erzeugten Gußteile waren damit jedoch nicht verbunden.

Aufgrund der erfolgreichen großtechischen Anwendung kann das Verfahren durchaus als derzeitiger Stand der Technik bei der Regenerierung von wasserglasgebundenen Gießereialtsanden gelten, mit der Einschränkung, daß Anwendererfahrungen über die Brauchbarkeit der Regenerate von Altsandgemischen mit Grünsandanteilen aus Formsandkreisläufen nicht verfügbar sind.

1.2.2 Verwendung der Regenerate in Fremdsystemen

Die Verwendung von regenerierten Wasserglasformstoffen in Fremdsystemen, d. h. zur Herstellung von kunstharzgebundenen Kernen und Formen stellt sich insgesamt eher problematisch dar.

Insbesondere der erhöhte Elektrolytgehalt (Binderreste) von Wasserglasregeneraten, verbietet in den meisten Fällen dessen Wiedereinsatz in anderen Kernbindersystemen. (vgl. hierzu VDG-Merkblatt R 93 für die Beurteilung der Wiederverwendbarkeit von Altsandregeneraten in organischen Kernbindersystemen).

Die stark basischen Wasserglasreste wirken sich sowohl bei der Wiederverwendung in neutralnahen Bindersystemen, wie z. B. Croning- und Cold-Box-Verfahren, als auch bei dem sehr bindungsstarken, alkalisch reagierenden Methylformiat-Verfahren negativ aus und verschlechtern die Kernfestigkeit [7, 8].

Über die Möglichkeiten des Wiedereinsatzes von Wasserglasregeneraten in den Bentonitsandkreisläufen oder in tendenziell sauer reagierenden Kernsandsystemen, wie z. B. Hot-Box-Verfahren oder Acetalverfahren gibt es aus der Vergangenheit ebenfalls keine erfolgversprechenden Ansätze. Dies ist vermutlich auch darauf zurückzuführen, daß die Möglichkeit der Wiederverwendbarkeit von Wasserglasregeneraten aufgrund der starken Alkalität dieser Altsande nach ersten Versuchen ausgeschlossen wurde [7] und demzufolge keine breit angelegten Untersuchungsreihen erfolgten.

1.3 Weiterentwicklung des Standes der Technik durch das Projekt

Die vorbeschriebenen Verfahren zur Regenerierung von wasserglasgebundenen Gießereialtsanden nach dem Stand der Technik wurden bisher entweder großtechnisch nicht bzw. in nur wenig verbreiteten Formstoffsystemen umgesetzt. Das Modellprojekt schreibt dahingegen den Stand der Technik folgendermaßen fort:

Formstoffsysteme

Im hier untersuchten Modellprojekt erfolgt der Einsatz in Gießereien, die mit Grünsand-Formanlagen arbeiten. Der zur Regenerierung anstehende Altsand enthält somit Bentonitanteile aus dem Formsandkreislauf, die auf eine für die Kernherstellung unschädliche Konzentration abgereinigt werden müssen.

Anwendungsmaßstab

Mit Ausnahme des Verfahrens nach *Hiery/Domnick* wurden bisher in Deutschland nur labor- und halbtechnische Anwendungen bekannt. Im vorliegenden Modellprojekt kommt das Verfahren jedoch unter realen Bedingungen von Kundengießereien zum Einsatz, also in Betrieben, die hinsichtlich Qualität, Flexibilität und Kosten besondere Anforderungen stellen.

Konstellation

Durch die Beteiligung von drei weiteren Gießereien (Vertragsgießereien) wird aufgezeigt, wie sich eine Sandregenerierungsanlage der unteren Leistungsklasse, die dennoch für jeden der beteiligten Betriebe allein zur groß wäre, wirtschaftlich betreiben läßt, und zwar unter Vermeidung der bei zentralen Anlagen gefürchteten Ungewißheiten hinsichtlich der Regeneratqualität.

2 Kurzbeschreibung des Betriebes

2.1 Allgemeines

Der Projektträger, die Ernst Bröer GmbH, betreibt in ihrem Werk Schwetzingen eine Aluminiumgießerei und beschäftigt dort etwa 30 Mitarbeiter. Das Fertigungsprogramm besteht zum einen aus Zulieferteilen (Kundenguß) in kleinen und mittleren Serien für die Branchen

- Armaturenbau
- Maschinenbau
- Anlagenbau
- Elektrotechnik.

Zum anderen werden auch Armaturenteile für ein verbundenes Unternehmen hergestellt. Der Ausstoß beträgt rund 270 t/a "guter" Guß.

2.2 Gießereitechnische Verfahren und Anlagen

Für die Herstellung von Gußwerkstücken aus Aluminiumlegierungen wird ausschließlich das Sandgußverfahren angesetzt. Dabei finden folgende Formanlagen Verwendung:

- Automatische Kastenformanlage
- Rüttel-Preß-Abhebemaschinen
- Handformerei.

Für die Versorgung mit Flüssigmetall werden gasbeheizte Tiegelschmelzöfen und elektrisch-widerstandsbeheizte Warmhalte- und Schöpföfen eingesetzt. Die Sandkerne fertigt das Unternehmen in einer eigenen Kernmacherei, die in Abschnitt 3.2 näher beschrieben ist.

Die Grünsandaufbereitung erfolgt in einer zentralen Sandaufbereitungsanlage für alle Formanlagen des Betriebs. Die Absaugung staubhaltiger Abluft wird über eine zentrale Entstaubungsanlage geführt.

Für das Entkernen der Rohgußteile ist ein separater Entkernraum eingerichtet, aus dem der Kernaltsand in die Absetzmulden des Entsorgers/Transporteurs abgegeben wird.

Einrichtungen zur mechanischen Weiterbearbeitung der Gußteile betreibt der Projektträger, mit Ausnahme von Sägen zum Abtrennen der Gießläufe, nicht.

2.3 Entsorgungsituation

Die Gießereiabfälle und deren Mengen sind in Tabelle 3-1 genannt. Sonstige Abfälle, z. B. hausmüllähnliche Gewerbeabfälle, sind für den Betrieb nicht charakteristisch und finden hier keine Beachtung.

Die Entsorgung des Altsandes und der Filterstäube war zu Projektbeginn gesichert; die Beseitigung erfolgte aus der Kreisdeponie. Zuvor jedoch drohte ein massiver Entsorgungsnotstand, hervorgerufen durch Androhungen des beseitigungspflichtigen Landkreises, die Beseitigung auf der Kreisdeponie zu untersagen.

Die Krätze wird diversen Verwertern übergeben.

2.4 Qualitätssicherung

Hierzu sind keine besonderen Einrichtungen zu nennen. Die Überwachung des Grünsandkreislaufes erfolgt regelmäßig durch den Bentonit-Lieferanten.

3 Kurzbeschreibung der bestehenden Anlage

3.1 Vorbemerkungen

Im Mittelpunkt dieser Beschreibung steht die Betrachtung der Kernmacherei, also der vom Modellprojekt direkt betroffenen Abteilung, sowie wichtiger Stoffflußströme des Gießereibetriebes.

3.2 Kernmacherei

In der Kernmacherei betreibt das Unternehmen fünf Kernschießmaschinen der Fabrikate *Röper und Laempe* mit Kernkastengrößen zwischen 2,5 und 25 Liter.

Als Kernbindeverfahren für eigengefertigte Kerne kommt ausschließlich das CO_2-Wasserglasverfahren zum Einsatz. In wechselndem, jedoch meist geringem Umfang werden für spezielle Aufgabenstellungen auch zugekaufte Cold-Box-Kerne verwendet.

Für die Herstellung der Kernsandmischung steht ein automatischer Wasserglasmischer (Durchlaufmischer) zur Verfügung. Dieser wird über ein Tagessilo aus einem Kernsand-Vorratssilo versorgt. Der dort gemischte Kernsand wird in die Vorratsbehälter der automatisierten Kernschießmaschinen gefördert. Sondermischungen zur Verarbeitung an den nicht automatisierten Kernschießmaschinen werden in zwei Handmischern angesetzt.

In geringem Umfang werden Kerne beschichtet, dies erfolgt manuell im Tauchverfahren unter Verwendung alkoholgelöster Schlichten. Daneben befinden sich in der Kernmacherei noch Einrichtungen für die Zwischenlagerung fertiger Kerne.

Das Ausschlagen der Kerne wird in einem separaten Arbeitsraum über einer Abwurfgrube vorgenommen. Von dort aus wird der Altsand mittels eines Förderbandes in eine Absetzmulde gefördert.

3.3 Stoffbilanz vor Inbetriebnahme der Regenerierungsanlage (Ist-Zustand)

Die Mengenbilanzierung in Tabelle 3-1 zeigt die wichtigsten Stoffströme der Gießerei, wobei die Kurzzeichen entsprechend dem zugehörigen Stoffflußbild Abbildung 3-1 verwendet wurden.

Nr.	Bezeichnung	Herkunft	Menge/a
	Produkte		
P1	Guter Guß	Sandgießerei	270 t
	Einsatzstoffe		
E1	Aluminium-Masseln	Fremdbezug	278 t
E2	Neusand zur Kernherstellung	Fremdbezug	250 t
E3	Neusand zur Formanlage	Fremdbezug	20 t
E4	Bentonit	Fremdbezug	15 t
E5	Wasserglasbinder	Fremdbezug	7.2 t
E6	CO_2	Fremdbezug	10 t
E7	Schlichte	Fremdbezug	0.3 t
E8	Schmelzebehandlungsmittel	Fremdbezug	4.6 t
HP1	Formsandumlauf	Kreislauf	8.975 t
HP2	Al-Rücklaufmaterial	Kreislauf	200 t
	Abfälle		
R1	Kernaltsand	Kernmacherei und Entkernen	280 t
R2	Filterstaub	Entstaubung Formanlagen	6 t
R3	Krätze und Schlacke	Schmelz- und Warmhalteöfen	15 t

Tabelle 3-1: Stoffbilanz IST

Formsandkreislauf

In den Formanlagen des Projektträgers wird bentonitgebundener Quarzsand (Grünsand) eingesetzt. Dieser wird in einer zentralen Sandaufbereitungsanlage konditioniert.

Der Staub aus der Abluftentstaubungsanlage der Formanlagen sowie der Sandaufbereitung (bentonit- und unterkornhaltig) wird teilweise in den Formsandkreislauf zurückgegeben. Ein Anteil wird zusammen mit dem Kernsand verwertet. Die Sandverluste werden durch Neusand der Qualität H33 ersetzt.

Kernsand, Kernbinder

Zur Kernherstellung wird ausschließlich Quarzsand der Sorte H34 verwendet; eine Mischung verschiedener Sandsorten findet nicht statt. Als Bindemittel für eigengefertigte Kerne kommt ein handelsüblicher Wasserglasbinder zum Einsatz, der bereits einen organischen Zerfallsförderer (Polymergemisch) enthält:

Typ.....NUCLEPON 20

Ansatz.....3 Gew.-%

Trockensubstanz.....47,5 Gew.-%

Modul .....2,37 ... 2,42

organischer Anteil.....ca. 9 Gew.-%

3.4 Stoffflußbild

Das Stoffflußbild zum Prozeß enthält die Abbildung 3-1. Wenngleich später nur die von der Regenerierung betroffenen Stoffströme betrachtet werden, enthält das Stoffflußbild eine weitgehend vollständige Darstellung der qualitativen Anlagenverhältnisse.

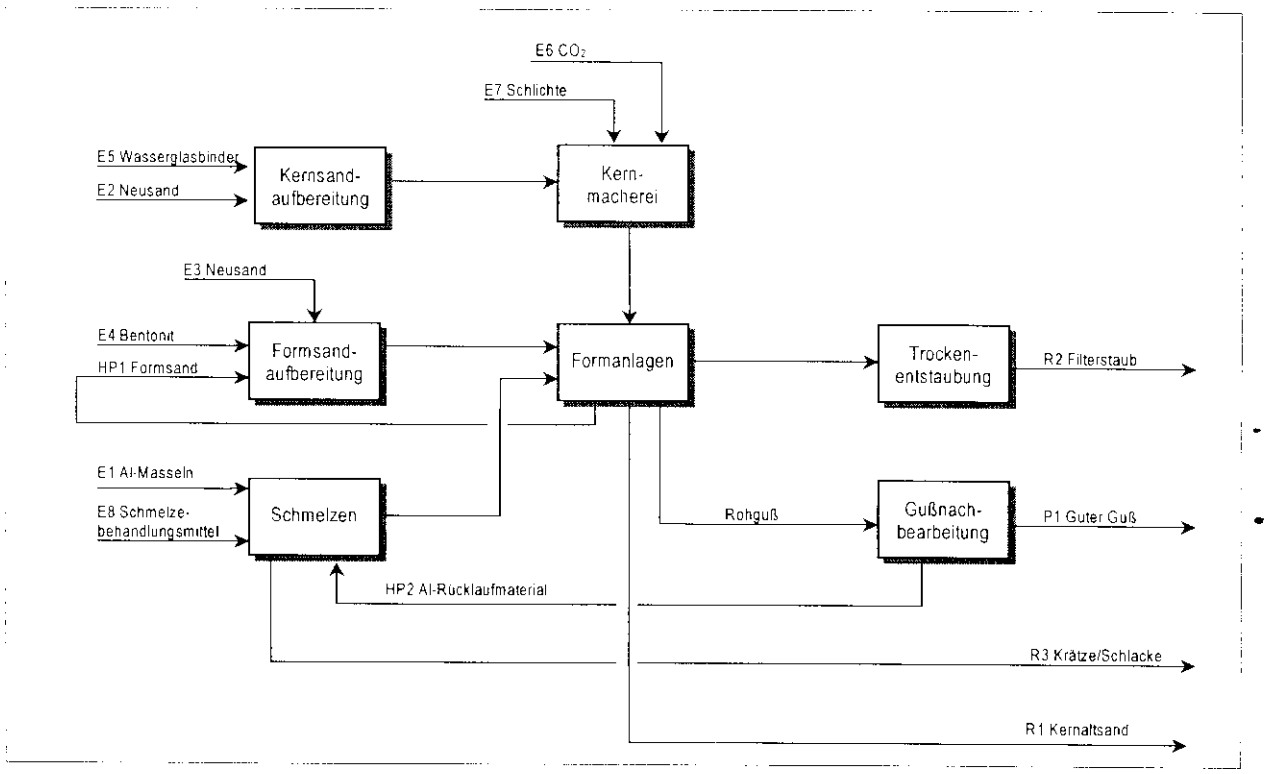


Abbildung 3-1: Stoffflußbild IST

3.5 Personal

In der Kernmacherei sind regelmäßig drei Personen beschäftigt, die alle erforderlichen Arbeiten bis zum Bereitstellen der Kerne an den Formanlagen durchführen.

4 Vertragsgießereien

4.1 Projektkonstellation

Der Projektträger könnte mit seinem Altsandaufkommen von etwa 280 t/a für sich allein eine Sandregenerierungsanlage auch des unteren Leistungsspektrums nicht wirtschaftlich betreiben. Um das Vorhaben dennoch zu realisieren, haben sich zu Beginn des Modellprojektes drei weitere, kleinere Aluminiumgießereien, die ebenfalls mit wasserglasgebundenen Kernen arbeiten, als Vertragspartner des Projektträgers dem Vorhaben angeschlossen. Insgesamt stand nun ein Altsandaufkommen von 1.500 t/a zur Verfügung, was etwa der Hälfte der bei Dauerbetrieb technisch möglichen Anlagenleistung entspricht.

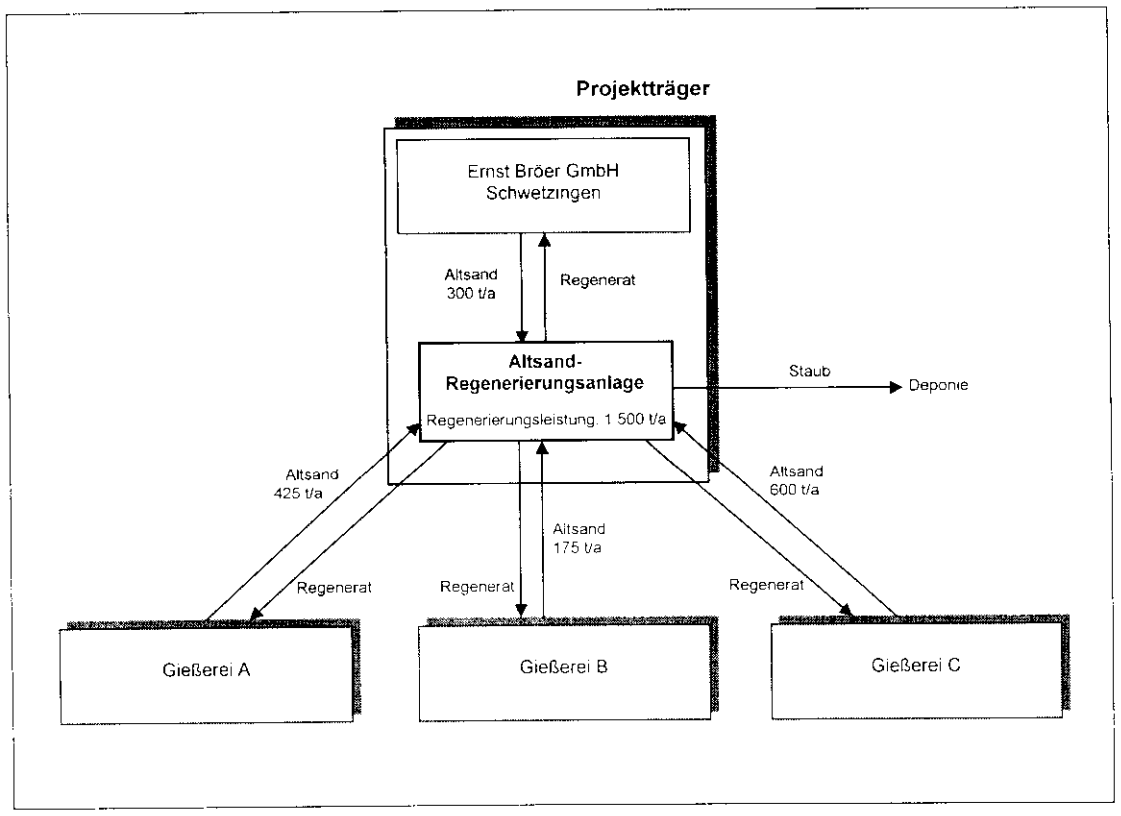


Abbildung 4-1: Projektkonstellation

Die mit dem Projektträger abgeschlossenen Verträge enthalten Regelungen bzgl. der Abschlagszahlungen, des jährlichen Abrechnungsverfahrens (zu tatsächlichen angefallenen Kosten), Mindestanliefermengen und Laufzeiten.

Das Eignungsrisiko für die Regenerate trägt jede Gießerei selbst. Die Voraussetzung dafür ist eine getrennte Lagerung der jeweiligen Altsande und Regenerate, desgleichen erfolgt die Regenerierung separat. Die Regenerate werden an den jeweils anliefernden Herkunftsbetrieb zurückgegeben.

Abbildung 4-1 sowie Tabelle 4-1 enthalten weitere Angaben zur Projektkonstellation und den Vertragsgießereien.

4.2 Kurzbeschreibung der Vertragsgießereien

Wie Tabelle 4-1 zeigt, sind die Vertragsgießereien Betriebe kleiner und mittlerer Größenordnung, die ausnahmslos Kundenguß herstellen, wobei in eher kleineren Serien mitunter anspruchsvolle Teile gefertigt werden.

	Vertragsgießerei A	Vertragsgießerei B	Vertragsgießerei C
Entfernung	50 km	150 km	260 km
Mitarbeiter	50	15	50
Abnehmerbranchen	Allgemeiner Maschinenbau, Automobilindustrie	Allgemeiner Maschinenbau, Meß- und Prüftechnik, Elektromaschinenbau	Apparate- und Maschinenbau, Elektroindustrie, Motorenbau
Gußausbringung	400 t/a	130 t/a	550 t/a
Form- und Gießverfahren	Sandguß, Kokillenguß	Sandguß	Sandguß
Form- und Gießanlagen	automat. Formanlage, div. halbautom. Formanlagen, Handformerei	Rüttel-Preß-Abhebemaschine, Wendemaschine, Handformerei	automat. Formanlage, div. halbautom. Formanlagen, Handformerei
Kernherstellung/ -binder	4 Kernschießmaschinen, 98 % CO_2-Wasserglas, 2 % Cold-Box (Cold-Box überwiegend aus Fremdbezug)	2 Kernschießmaschinen, 88 % CO_2-Wasserglas, 12 % Beta-Set	4 Kernschießmaschinen, 100 % CO_2-Wasserglas
Altsandentsorgung bei Projektstart	Verwertung über zentrale Altsand-Regenerierungs-anlage	Kreisdeponie	Kreisdeponie
Stoffströme [t/a]			
Neusand	550	190	800
Wasserglasbinder	27,9	5,7	21
CO_2	26,1	4,5	15
Kernaltsandaufkommen	580	228	600[1]

Tabelle 4-1: Daten zu den Vertragsgießereien

[1] verwertbarer Anteil

5 Beschreibung des Projektes

5.1 Anlagen- und Verfahrensbeschreibung

5.1.1 Aufbau der Sandregenerierungsanlage

Die Sandregenerierungsanlage gliedert sich in die fünf Betriebseinheiten

- Sandbunker
- Knollenbrecher
- Regenerierungseinheit
- Regeneratversorgung
- Absaug- und Entstaubungsanlage

deren Aufbau und Funktion im folgenden beschrieben sind. Der Knollenbrecher sowie die Regenerierungseinheit sind in einer Werkshalle, die drei anderen Einrichtungen auf angrenzenden Freiflächen aufgestellt.

Anhang A5-1 enthält ein Verfahrensschema der Regenerierungsanlage; die Anhänge A5-2 und A5-3 zeigen Aufstellungspläne der Anlage.

5.1.2 Sandbunker

Der Sandbunker besteht aus zwei Doppelkammer-Silos und dient der Lagerung von zerkleinertem Altsand und Regenerat der Vertragsgießereien. Die Siloanlage enthält Einrichtungen zur pneumatischen Altsand- und Regeneratförderung aus bzw. in Silofahrzeuge. Die Sandförderung zwischen der Regenerierungseinheit und der Sandbunkeranlage erfolgt ebenfalls pneumatisch, hier mittels eines ko[illegible]llen Pfropfenförderers.

5.1.3 Knollenbrecher

Zur Zerkleinerung der Altsandbrocken vor der eigentlichen Regenerierung dient ein Knollenbrecher, dessen Einwurftisch zur Vermeidung von Staubemissionen mit einer abgesaugten Haube geschützt ist.

In dieser Haube befindet sich eine mit einem Lamellenvorhang gesicherte Öffnung, in die mit Hilfe eines Gabelstaplers Altsandcontainer eingegeben werden können. In solchen Behältern wird der Sand des Projektträgers sowie der kleineren Vertragsgießerei B angeliefert. Letztere erhält darin auch ihr Regenerat zurück. Die Altsandcontainer sind mit einer Bodenklappe zum Ablassen des Sandinhaltes auf den Einwurftisch ausgerüstet.

Abb.5-1: Knollenbrecher (Bild: InUtec)

5.1.4 Regenerierungseinheit

Die Regenerierungseinheit vom Typ *KGT-Jet-Reclaimer* arbeitet nach dem Prinzip des Luftstrahlscheuerns und besteht im wesentlichen aus einer isolierten Stahlblechkammer mit Düsenboden, Förderrohr und einer darüber angeordneten Prallglocke. Hinzu kommt eine Blasleitung mit Ventilator und ein gasbeheizter Lufterhitzer, womit Heißluft bzw. unbeheizte Raumluft zur Fluidisierung sowie zur Erzeugung des Luftstrahls in das Gerät eingegeben werden.

Seitlich angebaut ist ein Altsandvorlagebehälter, dessen Fassungsvermögen dem einer Behandlungscharge entspricht und der parallel zum Betrieb der Regenerierungseinheit mit zerkleinertem Altsand aus dem Knollenbrecher oder aus einer der Altsandsilokammern befüllt wird. Seitlich unten ist ein Sandablaßstutzen angebracht, über den das Regenerat entweder direkt in einen Transportcontainer oder in den pneumatischen Förderer zur Sandbunkeranlage abgelassen wird. An der Oberseite befindet sich ein an die Absaug- und Entstaubungsanlage angeschlossener Entlüftungsstutzen.

Der Prozeß beginnt mit einem Trocknungsschritt, wobei die fluidisierte Sandcharge mit heißer Luft bis zum Erreichen der vorgegebenen Trocknungstemperatur getrocknet wird. Danach wird der pneumatische Reinigungsvorgang zunächst durch kurzzeitiges Einblasen von Druckluft bei Erhöhung der Blasluftmenge eingeleitet. Hierbei wird ein Teil des Sandes aus dem Wirbelbett in einem mittig angeordneten Förderrohr gegen die darüber befindliche Prallglocke gefördert und fällt von dort wieder in das Wirbelbett zurück. Durch eine intensive Korn-an-Korn-Reibung in der Prallglocke werden die vorgetrockneten Binderhüllen abgerieben und über den abgesaugten Entlüftungsstutzen aus dem Gerät ausgetragen. Durch entsprechende Einstellung des Blasluftstroms erfolgt die Reibung in einem sich in der Prallglocke aufbauenden Sandpolster auf schonende Art und Weise.

Nach Ablauf des zeitüberwachten Reinigungsschrittes schließt sich eine Entstaubungsphase an, bei der nur der für die Fluidisierung erforderliche Luftanteil eingegeben wird. Danach wird das Regenerat abgelassen.

Eine abschließende Kühlung ist nicht vorgesehen, da sich der zur Trocknung aufgeheizte Sand während der pneumatischen Reinigung und Entstaubung in der Regel auf eine verarbeitungsgerechte Temperatur abkühlt.

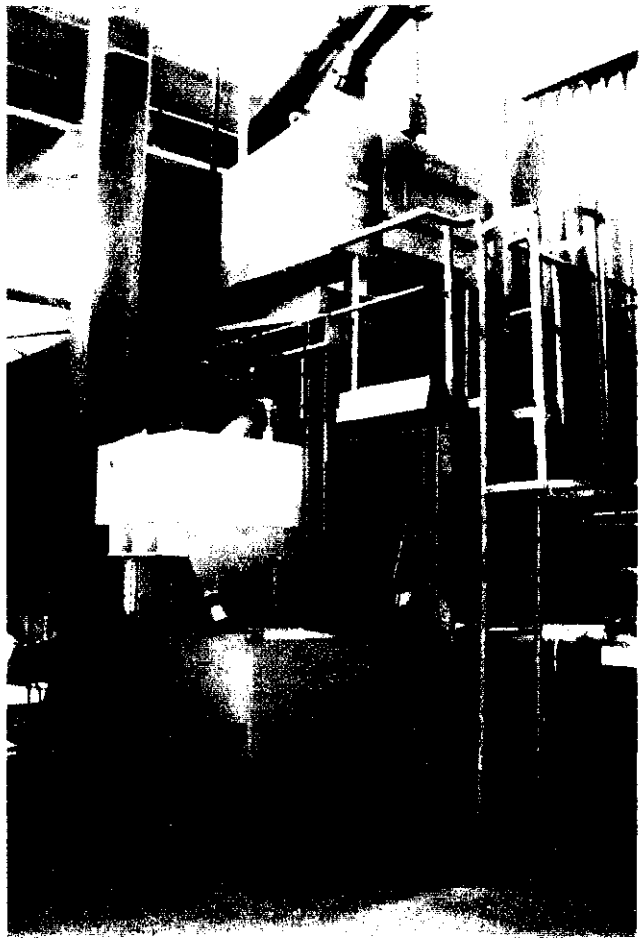


Abb. 5-2: Jet-Reclaimer mit Sandabwurfschacht (Bild: InUtec)

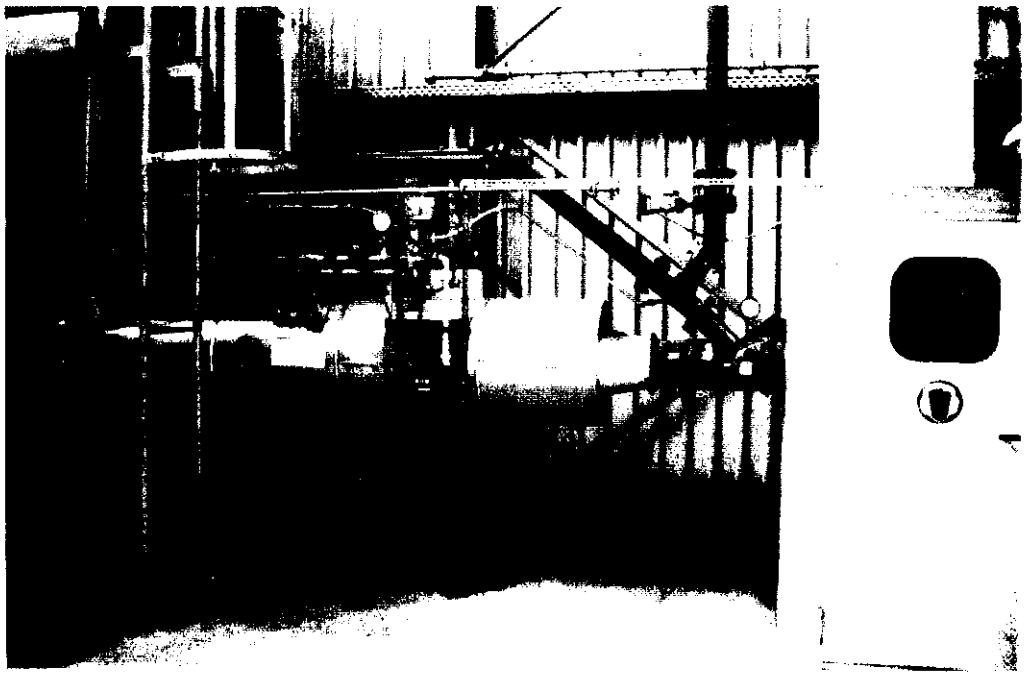


Abb. 5-3: Heißgasstrecke (Bild: InUtec)

Angaben zu dem im Zuge der Optimierung gewählten Prozeßablauf enthält Tabelle 5-1.

Schritt	Bezeichnung	Dauer/Temperatur	Bemerkungen
1	Befüllen	2 min	
2	Trocknen	5 min / 220 °C	abhängig von der Restwärme des Ofens sowie der Sandfeuchte
3	Pneumatisch Reinigen	40 min	
4	Sichten	2 min	
5	Entleeren	1 min	

Tabelle 5-1: Ablauf des Regenerierungsprozesses

5.1.5 Absaug- und Entstaubungsanlage

Beim gesamten Regenerierungsprozeß fällt staubhaltige Abluft an, die über eine zentrale Absaugeinrichtung abgeführt wird. Die Entstaubung erfolgt anschließend in einer Gewebefilteranlage, ausgeführt als druckluftabgereinigtes Schlauchfilteraggregat. Da bis auf die Stäube keine relevanten Luftschadstoffe entstehen, kann im Gegensatz zu Anlagen, in denen organisch gebundene Altsande regeneriert werden, auf zusätzliche Abluftreinigungseinrichtungen wie beispielsweise Nachverbrennungsanlagen verzichtet werden.

Die Größe der Absaug- und Entstaubungsanlage wurde im vorliegendem Fall im wesentlichen beeinflußt durch die Ablufterfassung im Knollenbrecher und hier, aufgrund behördlicher Hinweise zum Arbeitsschutz, vorsorglich mit hohen Reserven ausgelegt. Bei gekapselter Zuführung des Altsandes genügt etwa ein Drittel der Leistung, wodurch sich Investitions- und Betriebskosten in merklichem Umfang reduzieren ließen (vgl. Abschnitt 9).

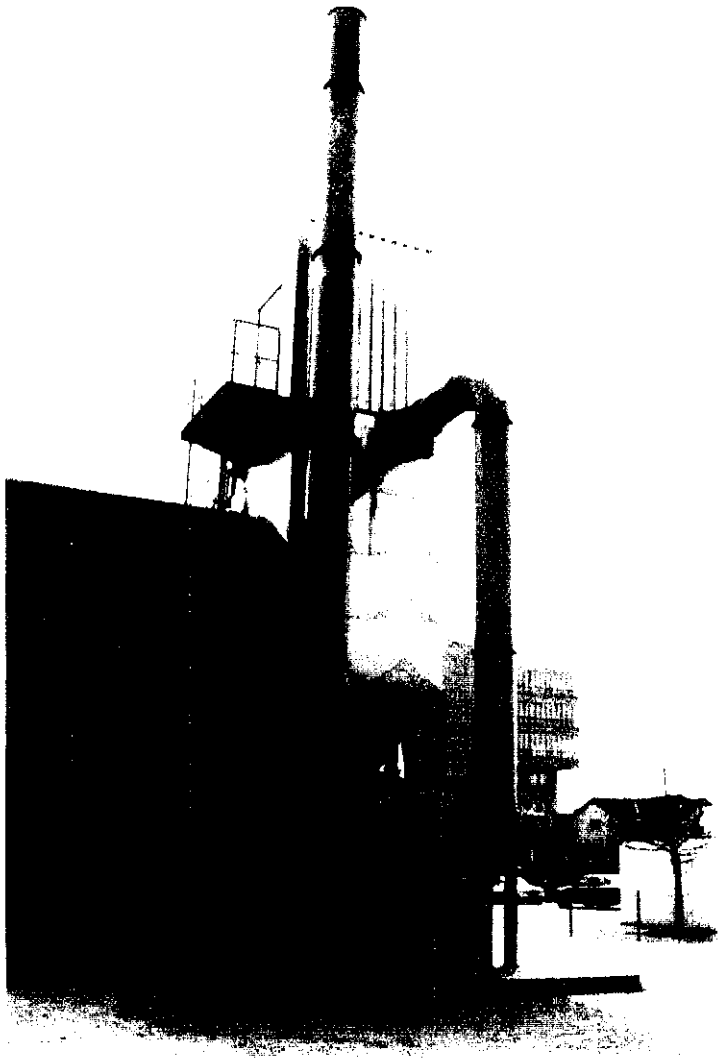


Abb. 5-4: Filterhaus (Bild: InUtec)

5.1.6 Regeneratversorgung

Angesichts der kurzen, wenige Minuten dauernden Anfahrzeit des Gerätes konnte der Projektträger die Regeneratversorgung der Kernmacherei mit einem Tagessilo realisieren, das mit Hilfe des pneumatischen Senders der Regenerierungseinheit befüllt wird. Aus diesem Tagessilo wird über eine getaktete Ablaßklappe das bestehende Vorsilo des Kernsandmischers in freiem Gefälle, gleichzeitig mit dem Zulauf aus dem Neusandsilo, befüllt. Mit Hilfe einer Taktsteuerung wird das jeweils gewünschte Mischungsverhältnis zwischen Neusand und Regenerat eingestellt.

5.1.7 Technische Daten der Anlage

Tabelle 5-2 enthält die technischen Daten der Anlage. Die Verknüpfung der Einzelaggregate ist im Verfahrensschema Anhang A5-1 dargestellt.

Allgemeines

Anlagenleistung	0,5 t/h bei den nachfolgend genannten Altsandkennwerten
Altsandkennwerte	CO_2-Wasserglas-Altsand mit max. 10 % Grünsandanteil, Feuchte max. 1,5 %

Regeneratkennwerte

Schlämmstoffgehalt	< 0,5 %
Feinanteile unter 0.63 mm	< 1 %
mittlere Korngröße	max 0,02 mm unter Neusandwert
Regeneratausbringung	> 85 % bezogen auf den SiO_2-Gehalt des Altsandes; das Regenerat ist zu 100 % in der Kernmacherei wieder einsetzbar, wobei ein Großteil der Wasserglaskerne ohne Neusandzusatz hergestellt werden kann.

Anschlußwerte

Elektrischer Anschlußwert	60 kW
Gasanschlußleistung	200 kW

Baugruppe 1 - Sandbunker

Zweikammersilo f. Altsand	1 x 40 t Sand
Zweikammersilo f. Regenerat	2 x 30 t Sand

Baugruppe 2 - Knollenbrecher

Knollenbrecher	1 m³/h Altsanddurchsatz
Absaugwand für Knollenbrecher	5.000 m³/h Abluftleistung

Baugruppe 3 - Regenerierungseinheit

Altsandzwischenbehälter	1 m³
Jet-Reclaimer	0,5 t/h
Reclaimer-Ventilator	3.000 m³/h, 12,5 kPa
Lufterhitzer, gasbeheizt	Austrittstemperatur ca. 500 °C Volumenstrom ca. 800 Nm³/h Wärmeleistung ca. 200 kW

Baugruppe 4 – Regeneratversorgung

Tagessilo	5 t
Neusandzugabe	taktgesteuert

Baugruppe 5 – Absaug- und Entstaubungsanlage

Filteranlage	8.500 m³/h Gesamtabluftmenge
Filterventilator	8.500 m³/h, 4.000 Pa
Staubaustrag	über Zellradschleuse in Big-Bags
Ausrüstung	Ausblasschalldämpfer, Notkühlluftklappe
Abluftqualtität	Reststaubgehalt < 10 mg/m³

Tabelle 5-2: Technische Daten der Sandregenerierungsanlage

Obige Daten entsprechen den Herstellerangaben. Dort, wo sich im Verlauf des Projektes andere Erkenntnisse ergeben haben, werden diese in Abschnitt 8 benannt.

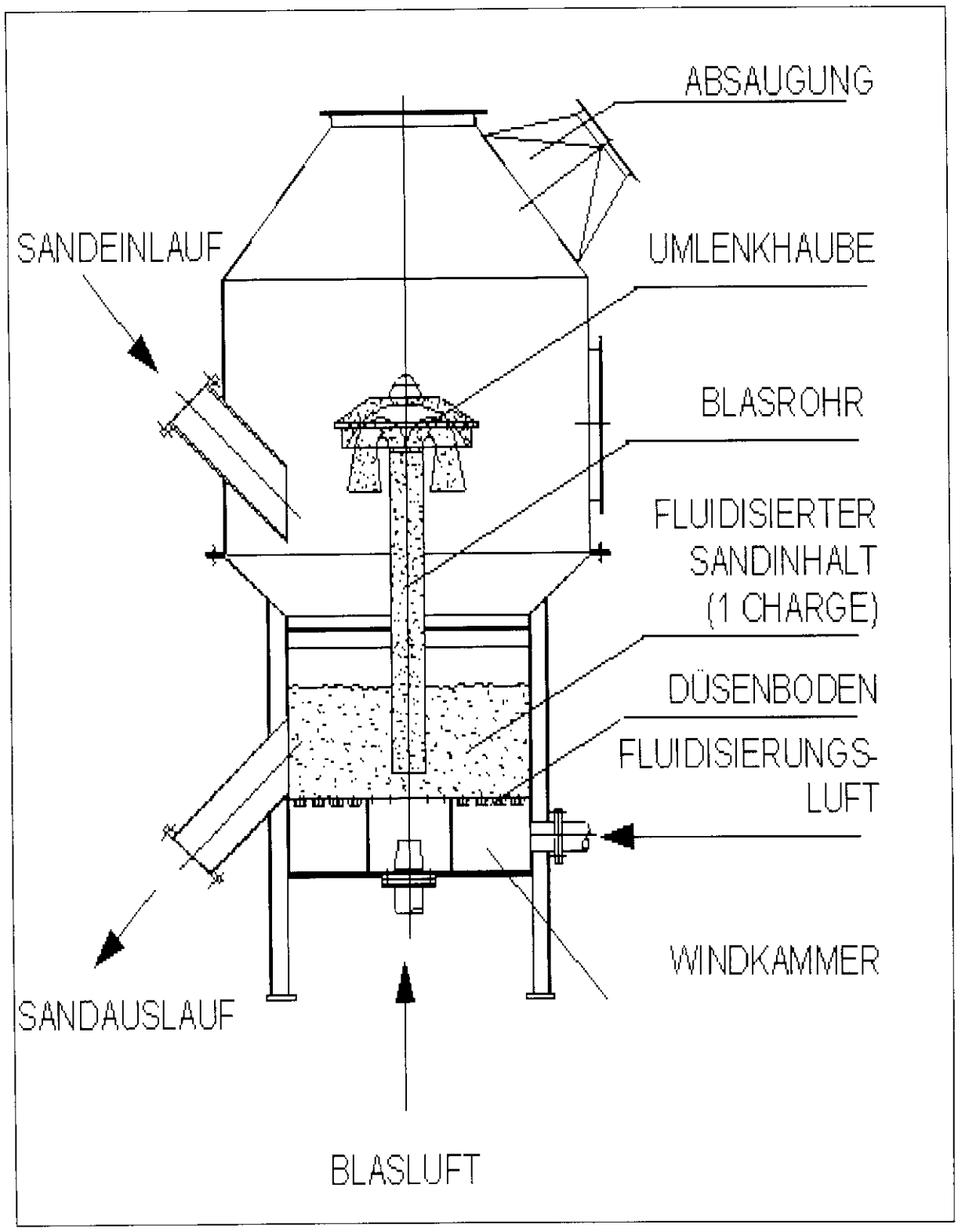


Abbildung 5-5: Prinzipskizze der Regenerierungseinheit (KGT-Jet-Reclaimer) (Bild: KGT)

5.2 Erwartete Stoffbilanz bei Betrieb der Regenerierungsanlage

5.2.1 Stoffflußbild

Unter der Voraussetzung eines vollständigen Wiedereinsatzes des Regenerates zur Kernherstellung ergibt sich nach Umsetzung der Maßnahmen nachfolgendes Stoffflußbild:

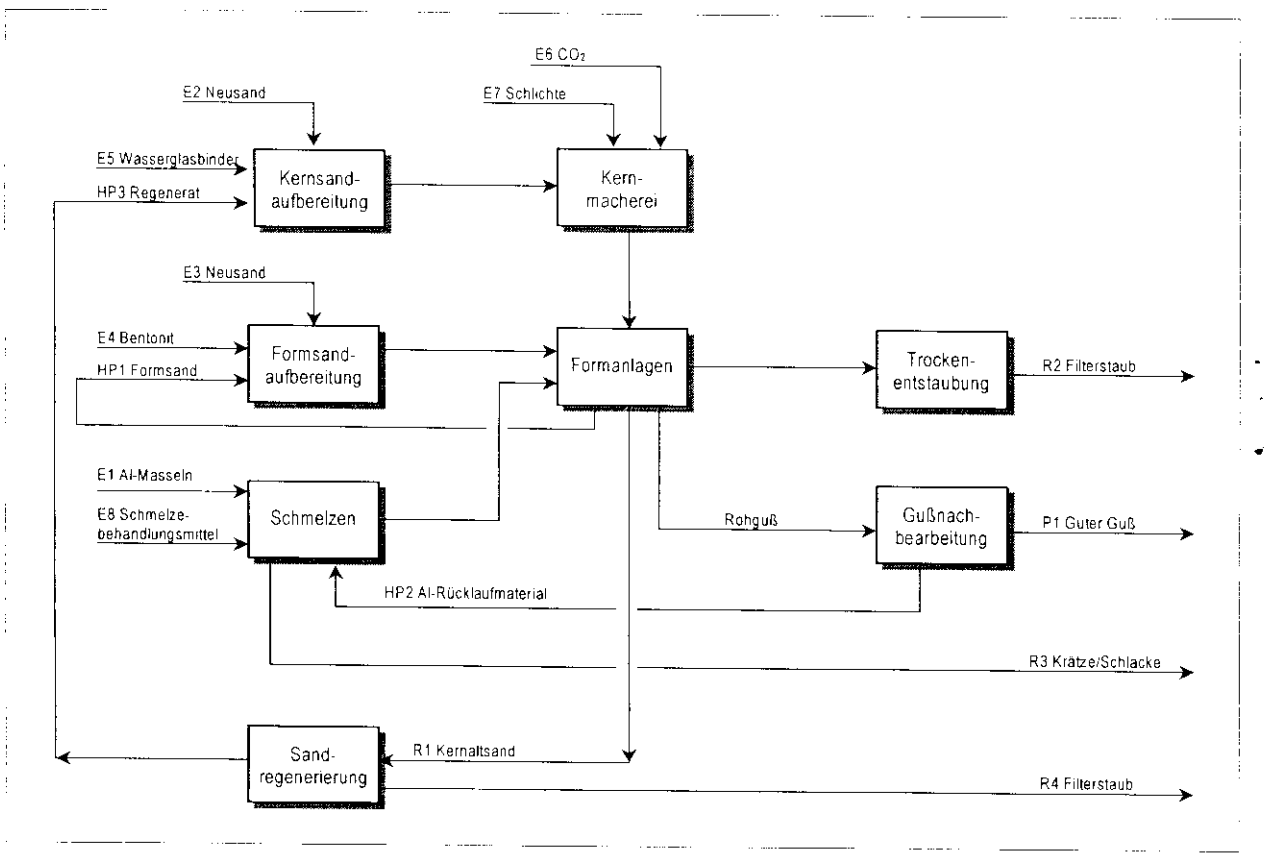


Abbildung 5-6: Stoffflußbild SOLL

Hier sind nur die Stoffströme der Gießerei des Projektträgers dargestellt. Für die Vertragsgießer ergibt sich, bei Vernachlässigung der Zwischenlagerung von Altsand und Regenerat, ein vergleichbares Bild.

5.2.2 Erwartete Stoffbilanz

In der unten dargestellten Stoffbilanz SOLL sind die Positionen, bei denen Unterschiede gegenüber dem Ist-Zustand erwartet werden, durch Unterstreichungen hervorgehoben. Die diffusen Formstoffverluste durch Gußteilanhaftungen u. ä. wurden nicht berücksichtigt.

Nr.	Bezeichnung	Herkunft	Menge/a
	Produkte		
P1	Guter Guß	Sandgießerei	270 t
	Einsatzstoffe		
E1	Aluminium-Masseln	Fremdbezug	270 t
E2	Neusand zur Kernherstellung	Fremdbezug	42 t
E3	Neusand zur Formanlage	Fremdbezug	20 t
E4	Bentonit	Fremdbezug	15 t
E5	Wasserglasbinder	Fremdbezug	7,2 t
E6	CO_2	Fremdbezug	10 t
E7	Schlichte	Fremdbezug	0,3 t
E8	Schmelzebehandlungsmittel	Fremdbezug	4,6 t
HP1	Formsandumlauf	Kreislauf	8.975 t
HP2	Al-Rücklaufmaterial	Kreislauf	200 t
HP3	Kernsandregenerat	Kreislauf	238 t
	Abfälle		
R1	Kernaltsand	Kernmacherei und Entkernen	0 t
R2	Filterstaub	Entstaubung Formanlagen	6 t
R3	Krätze und Schlacke	Schmelz- und Warmhalteöfen	15 t
R4	Filterstaub	Regenerierungsanlage	42 t

Tabelle 5-3: Stoffbilanz SOLL

5.3 Projektverlauf

5.3.1 Zeitplan

Bedingt durch die speziellen Gegebenheiten, denen die Projektbeteiligten als kleinere Kundengießereien unterliegen, konnte das Projekt nur unter erschwerten Bedingungen durchgeführt werden. Häufig lagen äußerst knappe Lieferzeiten für die Erzeugnisse vor, bei denen jedes Risiko eines durch Herstellung und Verwendung regeneratgefertigter Kerne verursachten Produktionsausfalls vermieden werden mußte. Trotz allem konnte das Modellprojekt gegen Ende der dreijährigen Projektlaufzeit durch Anbindung der Kernmachereien des Projektträgers sowie einer Vertragsgießerei abschließend umgesetzt werden.

Zeitraum	Vorgang
Projektvorbereitungen	
03/95 ... 08/95	Bestellung der Anlagentechnik Immissionsschutzrechtliches Genehmigungsverfahren Errichtung von Fundamenten und Gebäuden
Montage, Inbetriebnahme	
09/95 ... 12/95	Errichtung der Anlagentechnik, Inbetriebnahme. Anfahrphase
Einzelversuche	
01/96 ... 03/96	Durchführung der ersten Untersuchungsreihe mit regeneratgefertigten Kernen
04/96 ... 07/96	Beginn der Regenerierung von Fremdsanden der Vertragsgießereien und deren Erprobung im halbtechnischen Einsatz
08/96 ... 10/96	Durchführung weiterer Untersuchungsreihen des Projektträgers
Optimierung	
11/96 ... 02/97	Versuche zur Verbesserung des Abreinigungsgrades Ermittlung von Betriebskosten Weiterführung der Versuchsreihen für Vertragsgießereien
03/97 ... 08/97	Durchführung von Umbaumaßnahmen zur Reduzierung des Stromverbrauchs
großtechnische Umsetzung	
04/97 ... 02/98	Errichtung von Sandbunker- und Mischeinrichtungen zum großtechnischen Einsatz von Regenerat beim Projektträger sowie in einer Vertragsgießerei Errichtung der Sandbunkeranlage beim Projektträger zur großtechnischen Anbindung der Vertragsgießereien

Tabelle 5-4: Übersicht zum Projektverlauf

5.3.2 Beschreibung der aufgetretenen Probleme

5.3.2.1 Anlagentechnische Probleme

Die Regenerierungsanlage sowie deren Nebeneinrichtungen Knollenbrecher und Abluftanlage erwiesen sich als anlagentechnisch ausgereifte Lösungen. Mit Ausnahme einer Leckage in der Absaugleitung der Regenerierungseinheit traten keine wesentlichen Störungen auf, dies gilt auch für die zentrale Steuerungsanlage. Als Ursache der Leckage erwies sich eine falsch eingestellte Drosselklappe im Abluftstutzen, wodurch der mit der Abluft ausgetragene Feinsand und Staubanteil auf die Rohrinnenwand gelenkt wurde und diese nach kurzer Zeit durchscheuerte.

Auffällig war während der ersten Hälfte der Projektlaufzeit ein hoher Stromverbrauch, weit über dem Wert, der aufgrund des vom Hersteller angegebenen Gesamtanschlußwertes der Anlage zu erwarten war. Dieser hohe Stromverbrauch wurde durch eine zu große Auslegung des Abluftventilators verursacht. Das Problem konnte mit einer Umrüstung des Ventilatorantriebs und einer steuerungstechnischen Änderung nachhaltig beseitigt werden.

5.3.2.2 Verfahrenstechnische Probleme

Bei der Verarbeitung von Regeneraten traten erhebliche Probleme auf; die wesentlichen sind nachfolgend kurz beschrieben:

- Der erste Verarbeitungsversuch zur Herstellung von Kernen ausschließlich aus Regenerat mit einem bei Neusand üblichen Binderansatz mißlang: Die Kerne waren aufgrund niedriger Festigkeitswerte nicht handhabbar. Dieses Problem konnte mit einer zusätzlichen Wasserzugabe in Höhe von 10 % des Binderanteils sowie durch Beimischung eines Neusandanteils in Höhe von 20 % behoben werden.

- Bei der Bearbeitung von Regeneraten aus estergehärteten Kernen trat eine rasche Aushärtung der Kernsandmischung auf. Eine Verarbeitung in Kernschießmaschinen war nicht möglich. Diese Störung konnte bei Regeneraten, die mit Trocknungstemperaturen > 250 °C hergestellt wurden, nicht mehr beobachtet werden.

- Zweit- und Dritt-Regenerate wiesen eine zu geringe Restdruckfestigkeit auf. Dies trat dadurch in Erscheinung, daß erhebliche Anteile der abgegossenen Kerne, insbesondere bei schmalen, offenen Geometrien, bereits im Rüttelrost der Formanlage ausfielen und so in den Grünsand-Kreislauf

gelangten. Dieser Störung wurde gegen Ende der Projektlaufzeit durch Umstellung der Binderrezeptur bei Halbierung des Zerfallsfördereranteils begegnet.

- Mit zunehmendem Umfang der Regeneratverwendung in der Kernmacherei konnte eine eingeschränkte Lagerfähigkeit festgestellt werden. Insbesondere während der Lagerung in kalter Umgebung brachen biegebeanspruchte Geometrien bereits nach einer Lagerdauer von einigen wenigen Tagen (vgl. hierzu Abschnitt 10.2 b).

- Große, regeneratgefertigte Handkerne wiesen zu geringe Festigkeiten auf, wodurch eingebaute Aufhängungen (Kranösen) beim Anheben ausbrachen. Diesem Problem konnte durch die Erhöhung des Binderanteils begegnet werden.

- Während einer Untersuchungsphase, bei der mit Trocknungstemperaturen > 220 °C gearbeitet wurde, stieg die Sandauslaßtemperatur auf über 60 °C an. Ohne Zwischenkühlung wäre somit das Regenerat für eine Verwendung zur Kernherstellung auch nach mehrtägiger Silolagerung voraussichtlich nicht geeignet. Inwieweit nach den installierten Fördereinrichtungen und Siloanlagen eine Abkühlung auf ein geeignetes Temperaturniveau stattfand, wurde im Rahmen des Modellprojektes nicht mehr untersucht.

6 Untersuchungen

6.1 Übersicht

Tabelle 6-1 enthält eine zusammenfassende Übersicht über die Art der im Zuge der Projektbegleitung durchgeführten Untersuchungen.

Laboruntersuchungen

- Wirkungsgrade der Abreinigung von Binderbestandteilen bei der Regenenerierung
- Mechanische Kenngrößen regeneratgefertigter Kerne
- Granulometrische Kenngrößen regeneratgefertigter Kerne

Regeneratverarbeitung

- Beurteilungen der Eignung der Regenerate durch die Anwender
- Optimierung der Binderrezeptur

Betriebsdaten

- Daten zum Energieverbrauch
- Daten zur Ausbringung

Tabelle 6-1: Durchgeführte Untersuchungen - Übersicht

6.2 Art und Umfang der Untersuchungen

6.2.1 Begleitende Laboruntersuchungen

6.2.1.1 Vorbemerkungen

Die Herstellung der Proben für nachfolgend erläuterte Untersuchungen mußte unter den Bedingungen des betrieblichen Alltags vorgenommen werden. Im Vergleich mit Labor- oder Technikumsbedingungen ergeben sich dadurch einige Einschränkungen:

- längere Durchlaufzeiten bis zur Verfügbarkeit ausreichender Mengen an Probematerial, insbesondere für mehrere Durchläufe
- zeitliche Verzögerungen dadurch, daß bei der Verarbeitung der Regenerate in der Kernmacherei und Gießerei Produktionsausfälle vermieden werden müssen
- Risiko des Abbruchs von Versuchsreihen, wenn bei einem Durchlauf unbrauchbare Regenerate entstehen
- der Durchlauf einzelner Chargen von der Kernmacherei bis zur Getrenntsammlung beim Entkernen der Rohgußteile kann nicht immer lückenlos verfolgt werden

Neben den unten erläuterten Untersuchungen wurden zur Plausibilitätsprüfung sowie für die allgemeine chemische Charakterisierung weitere Laborbestimmungen durchgeführt, wie z. B. Säurekapazität, pH-Wert, Trockensubstanz, deren Ergebnisse jedoch für die Beurteilungen weniger von Bedeutung sind und daher hier nicht aufgenommen wurden.

Die Laboruntersuchungen wurden von dem einschlägig erfahrenen Sandlabor des IfG – Institut für Gießereitechnik, Düsseldorf, durchgeführt.

6.2.1.2 Abreinigung des anorganischen Binderanteils (Elektrolyt)

Der Anteil des Wasserglasbinders im Kernsand kann auch als dessen Elektrolytgehalt dargestellt werden. Zur Bestimmung des Wirkungsgrades der Regenerierung wurde als Leitparameter des Elektrolytanteils jeweils der Natriumgehalt von Altsand und Regeneraten bestimmt.

Einfluß der Trocknungstemperatur

Um den Einfluß der Trocknungstemperatur auf den Elektrolytabbau zu ermitteln, wurden Chargen aus ein und derselben Altsandprobe bei fünf verschiedenen Trocknungstemperaturen zwischen 175 und 290 °C regeneriert.

Einfluß der Reinigungsdauer

Eine weitere Untersuchungsreihe galt dem Elektrolytabbau bei Variation der Dauer des pneumatischen Reinigungszyklusses, wobei die Trocknungstemperatur konstant gehalten wurde: Es wurden fünf Regenerierungsdurchläufe mit Reinigungszyklen von einer Dauer zwischen 50 bis 80 Minuten untersucht.

Weitere Elektrolytparameter

Neben dem Natriumgehalt wurden Carbonatanteil und die elektrische Leitfähigkeit des Eluates untersucht. Letztere um Korrelationsdaten für das auch in der Gießerei einfach durchführbare Leitfähigkeits-Meßverfahren (elektrische Leitfähigkeit = Leitparameter für Elektrolytgehalt) zu gewinnen.

6.2.1.3 Abreinigung des organischen Binderanteils (Glühverlust, TOC)

Der vom Projektträger eingesetzte Wasserglasbinder enthält organische Zerfallsfördererzugaben, deren Anteile über den Summenparameter *TOC* (= gesamter organischer Kohlenstoff) bestimmt wurden. Die häufig zur Beurteilung von Regeneraten eingesetzte Glühverlustbestimmung (vgl. hierzu VDG-Merkblatt R 93) ist für die Beurteilung von Regeneraten aus Wasserglassystemen weniger hilfreich, da bei den angewandten Glühtemperaturen erhebliche Gewichtsdifferenzen durch Kristallwasserverluste der Elektrolytanteile entstehen, die die geringen Gewichtsveränderungen durch den Organikabbau überlagern. Auch hier wurde eine nach Trocknungstemperatur und Reinigungsdauer differenzierte Betrachtung vorgenommen.

6.2.1.4 Mechanische Untersuchungen

Um die für Handhabung und Verwendung von Kernen entscheidenden mechanischen Parameter zu erhalten, wurden Probekörper aus Regeneraten von insgesamt drei Durchläufen untersucht. Folgende mechanische Kenngrößen wurden ermittlet:

Sofortdruckfestigkeit ..... Druckfestigkeit der Kernsandprobe unmittelbar nach der Herstellung

Enddruckfestigkeit ..... Druckfestigkeit der Kernsandprobe nach 24 Stunden Lagerzeit

Restdruckfestigkeit ..... Druckfestigkeit der Kernsandprobe nach thermischer Belastung – entsprechend der Festigkeit nach dem Abguß

Diese Untersuchungen erfolgten zunächst unter Variation der Trocknungstemperatur, danach mit aus Regeneraten aufeinanderfolgender Umläufe gefertigten Kernen.

Von einer Bestimmung der Biegefestigkeit wurde abgesehen, da sich wasserglasgebundene Kerne deutlich spröder verhalten, als solche aus organischen Bindersystemen, wobei der erreichbare Festigkeitsbereich für eine zuverlässige Differenzierung von Veränderungen zu niedrig ist.

6.2.1.5 Granulometrische Untersuchungen

Naheliegend ist, daß beim Einsatz von mechanischen Regenerierungsverfahren Verschleißerscheinungen am Sandkorn auftreten. Des weiteren müssen Klassiereffekte beim Sichtungsvorgang erwartet werden. Zur Untersuchung dieser Auswirkungen wurden die Kornklassenverteilung sowie der Schlämmstoffgehalt von Neu-, Altsand und Regenerat sowie des Filterstaubes untersucht.

6.2.1.6 Weitere orientierende Untersuchungen

„Regenerierungsfreundlicher" Wasserglasbinder

Im Verlauf des Modellprojektes wurde ein nach Herstellerangaben speziell für die mechanische Regenerierung entwickeltes Bindersystem angeboten, jedoch ohne daß Informationen über die spezielle Wirkungsweise vorlagen. Untersuchungen der Abbauraten für Elektrolyt und Zerfallsförderer sollten zeigen, inwieweit sich dieses Bindersystem besser regenerieren läßt als der konventionelle Wasserglasbinder des Projektträgers.

Blasrohrverlängerung

Zur Verbesserung des mechanischen Abreinigungseffektes wurde eine vergleichende Untersuchung zwischen der Regenerierung mit Standard-Blasrohrlänge und einem um wenige Zentimeter näher an die Prallglocke herangeführten Blasrohr durchgeführt.

6.2.2 Verarbeitbarkeit der Regenerate

Neben dem Projektträger haben die Vertragsgießereien Beurteilungen der Verarbeitbarkeit von Regeneraten zu Kernen nach folgenden Kriterien vorgenommen:

- Oberflächengüte
- Sofortfestigkeit
- Endfestigkeit
- Verarbeitbarkeitszeit
- Restdruckfestigkeit

Die Beurteilungen erfolgten durch die jeweiligen Mitarbeiter in der Fertigung, wobei teilweise die Binderrezepturen variiert wurden.

6.2.3 Betriebsdaten

Während der Projektlaufzeit wurden umfangreiche Aufzeichnungen der Verbräuche von elektrischer Energie und Gas vorgenommen. Das Datenmaterial läßt eine genaue Berechnung der nach Abschluß aller verfahrens- und anlagentechnischen Optimierungsschritte vorliegenden Betriebsdaten zu.

Der Druckluftverbrauch für die Regenerierungseinheit wurde nicht gemessen, da ein Bedarf nur kurzzeitig beim Start des pneumatischen Reinigungsvorgangs ansteht. Ebenso wurde auf Angaben zum Druckluftbedarf für die pneumatische Fördereinrichtung verzichtet, da dieser von den jeweiligen örtlichen Verhältnissen abhängig und somit wenig repräsentativ ist.

7 Ergebnisse

7.1 Ergebnisse der Laboruntersuchungen

7.1.1 Natriumabbau

Die Ergebnisse über die Untersuchungen des Natriumabbaus bei Variation der Prozeßparameter Trocknungstemperatur und Reinigungsdauer stellen sich folgendermaßen dar:

Einfluß der Trocknungstemperatur

Hier wurde jeweils Altsand aus ein und derselben Charge bei verschiedenen Trocknungstemperaturen (Schritt 2 des Regenerierungsprozesses) regeneriert, die Reinigungsdauer betrug einheitlich 50 Minuten.

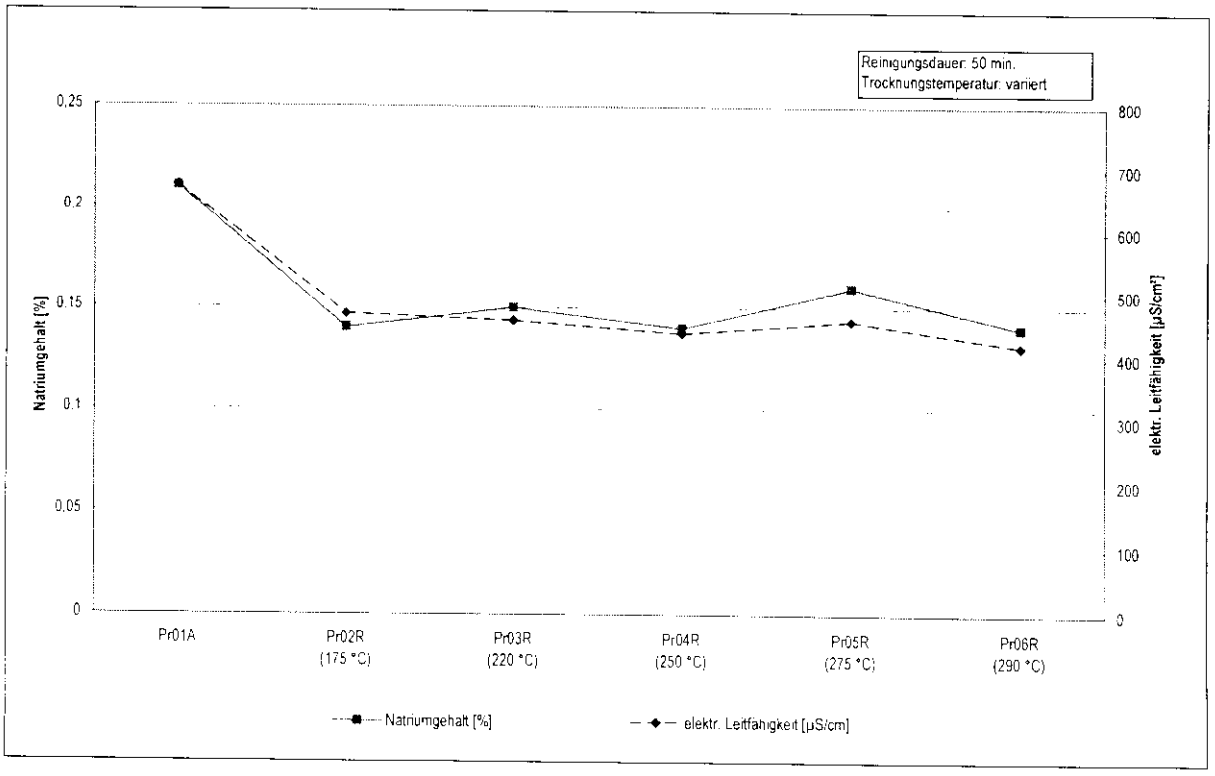


Abbildung 7-1: Einfluß der Trocknungstemperatur auf den Elektrolytgehalt

In Abbildung 7-1 wurde außerdem die jeweilige Eluat-Leitfähigkeit dargestellt, wobei die Korrelation zwischen beiden Werten gut erkennbar ist.

Umgerechnet ergeben sich nun folgende Abbauraten für Natrium, bezogen auf die Altsandkonzentration:

Trocknungstemperatur	175 °C	220 °C	250 °C	275 °C	290 °C
Abbaurate für Na	33 %	29 %	33 %	24 %	33 %

Tabelle 7-1: Natrium-Abbauraten bei verschiedenen Trocknungstemperaturen

Die Ergebnisse zeigen, daß die Trocknungstemperatur keinen signifikanten Einfluß auf die Elektrolyt-Abreinigungsleistung, hier dargestellt für den Leitparameter Natrium, ausübt.

Einfluß der Reinigungsdauer

Aus verschiedenen Altsandchargen neusandgefertigter Kerne wurden Regenerate bei unterschiedlicher Dauer des pneumatischen Reinigungsschrittes (Schritt 3) hergestellt. Angesichts leicht differierender Natriumkonzentrationen der einzelnen Altsandchargen werden hier lediglich die Abbauraten betrachtet:

Reinigungsdauer	50 Minuten	60 Minuten	70 Minuten	80 Minuten
Trocknungstemperatur	220 °C	220 °C	220 °C	220 °C
Abbaurate für Na	18 %	45 %	55 %	48 %

Tabelle 7-2: Natrium-Abbauraten bei verschiedenen Reinigungszeiten

Diese Ergebnisse lassen den Schluß zu, daß der Wirkungsgrad für die Elektrolytabreinigung bei etwa 70 Minuten ein Optimum erreicht, wobei die obige Reihe lediglich eine Tendenz aufzeigen dürfte (vgl. Ergebnisse in Tabelle 7-1).

Entwicklung des Natriumgehaltes bei Mehrfach-Umläufen

Hierzu wurde eine große Altsandcharge neusandgefertigter Kerne während drei Durchläufen im Betrieb getrennt verarbeitet und gesammelt. Die Herstellung von Kernen aus Regeneraten erfolgte jeweils wie in Abschnitt 7.1.3 beschrieben, die Reinigungsdauer betrug einheitlich 50 Minuten, wobei bis zu einer Temperatur von 290 °C getrocknet wurde:

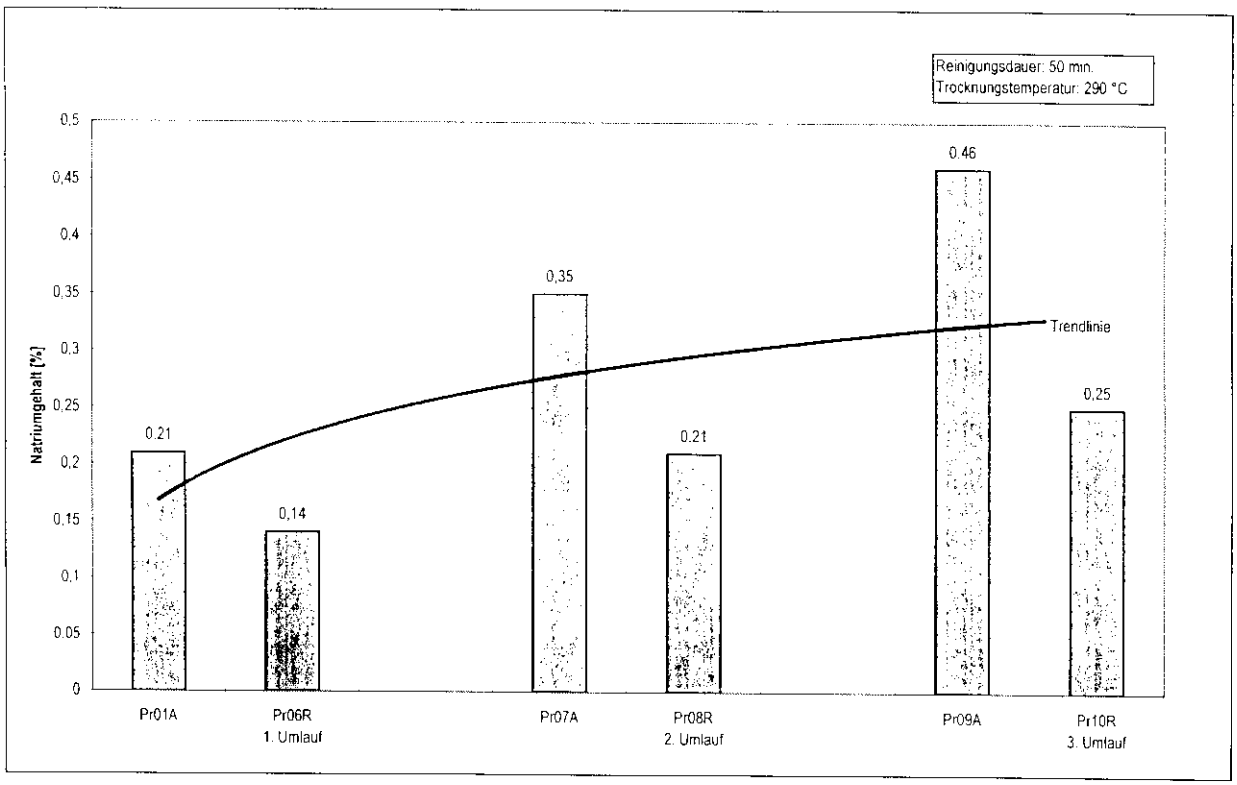


Abbildung 7-2: Natrium-Gehalt bei Mehrfach-Umläufen

Die zugehörigen Abbauraten enthält Tabelle 7-3:

Anzahl Umläufe	1	2	3
Abbaurate für Na	33 %	40 %	46 %

Tabelle 7-3: Natrium-Abbauraten bei mehreren Umläufen

Deutlich in Abbildung 7-2 erkennbar ist ein kontinuierlicher Anstieg des Elektrolytgehaltes, was bedeutet, daß die bei jeder erneuten Kernherstellung in das System eingebrachte Bindermenge nicht durch den Regenerierungsvorgang und die anschließende Neusandzugabe kompensiert wird. Da bei zunehmendem Elektrolygehalt des Altsandes die Abbaurate erkennbar ansteigt, ist nach weiteren, hier nicht mehr untersuchten Umläufen ein Gleichgewichtszustand zu erwarten.

7.1.2 TOC-Abbau

Beim CO_2-Wasserglasverfahren wird zwar mit anorganischen Binder- und Begasungsmedien gearbeitet, gleichwohl enthalten die Binderrezepturen organische Stoffe, insbesondere Zerfallsförderer, in je nach Aufgabenstellung unterschiedlichen Konzentrationen. Beim hier untersuchten Standard-Bindertyp des Projektträgers wurde ein TOC-Gehalt von 0,27 %, bezogen auf die verarbeitungsfertige Kernsandmischung, festgestellt. Die zuverlässige Abreinigung des Zerfallförderers ist eine wichtige Aufgabe des Regenerierungsverfahrens zur Sicherstellung der Restdruckfestigkeit heißstämmiger Kerne.

Einfluß der Trocknungstemperatur

Nach Aussage des Binderlieferanten beginnt die Zersetzung des organischen Binderanteils oberhalb einer Temperatur von 170 °C. Somit ist ein Einfluß der Trocknungstemperatur auf den Organikabbau zu erwarten.

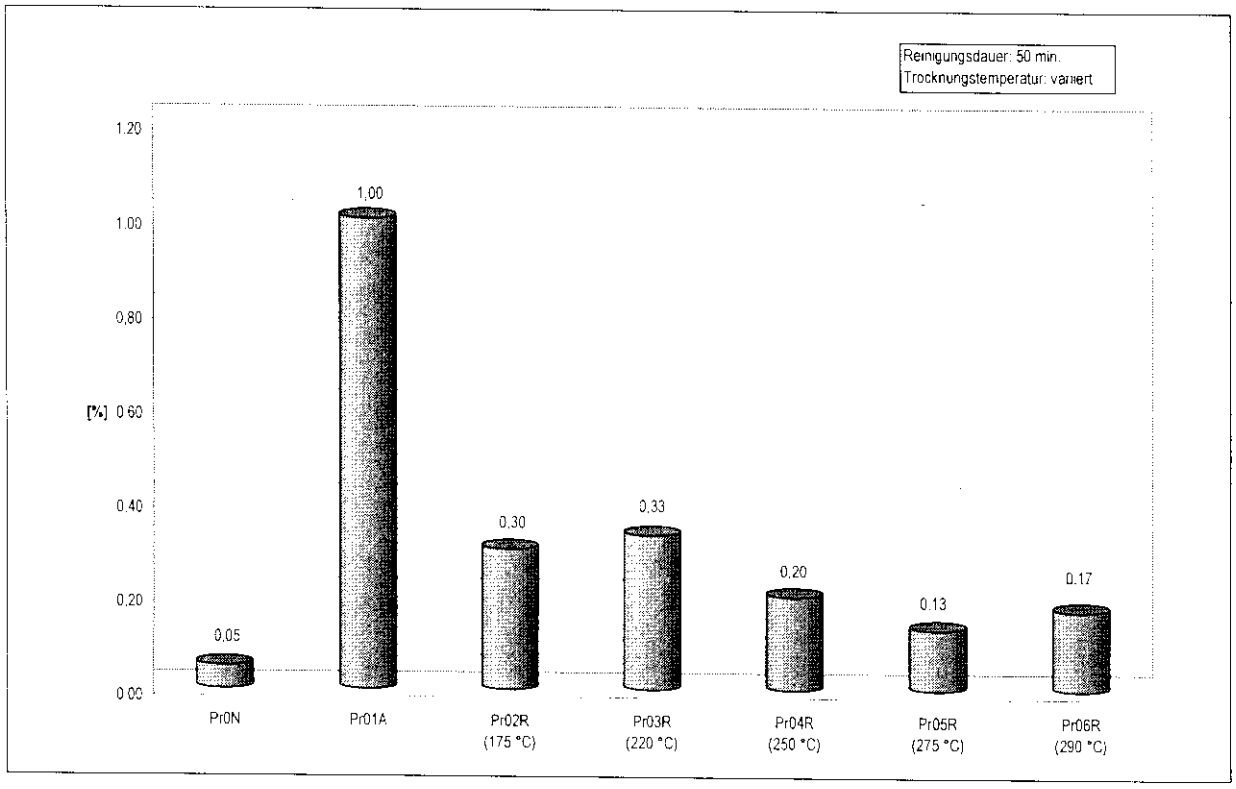


Abbildung 7-3: Einfluß der Trocknungstemperatur auf den Organikabbau

Die in Abbildung 7-3 dargestellten Ergebnisse für den Glühverlust zeigen erwartungsgemäß einen Zusammenhang zwischen Trocknungstemperatur und Restglühverlust, wobei der Abbau im wesentlichen bis zu einer Temperatur von 250 °C stattfindet. Obwohl bei dieser frühen Untersuchungsreihe noch der Glühverlust als Leitparameter gewählt wurde (vgl. Abschnitt 6.2.1.3), ist ein Rückschluß auf den TOC-Gehalt durchaus möglich, da im untersuchten Trocknungstemperaturbereich wesentliche Veränderungen der Kristallwassergehalte nicht zu erwarten sind: Zum einen ist das Kristallwasser des Sodaanteils bereits bei der niedrigsten Trocknungstemperatur vollständig abgebaut, zum anderen beginnt der Kristallwasserabbau des Wasserglases erst deutlich oberhalb der höchsten Trocknungstemperatur. Da beim Glühen auch der Kristallwasseranteil des Wasserglases verschwindet, sind Angaben über die Organik-Abbauraten hier nicht möglich.

Einfluß der Reinigungsdauer

In Abbildung 7-4 ist – nun für den Parameter TOC – der Abbau des Organikanteils abhängig von der Reinigungsdauer dargestellt.

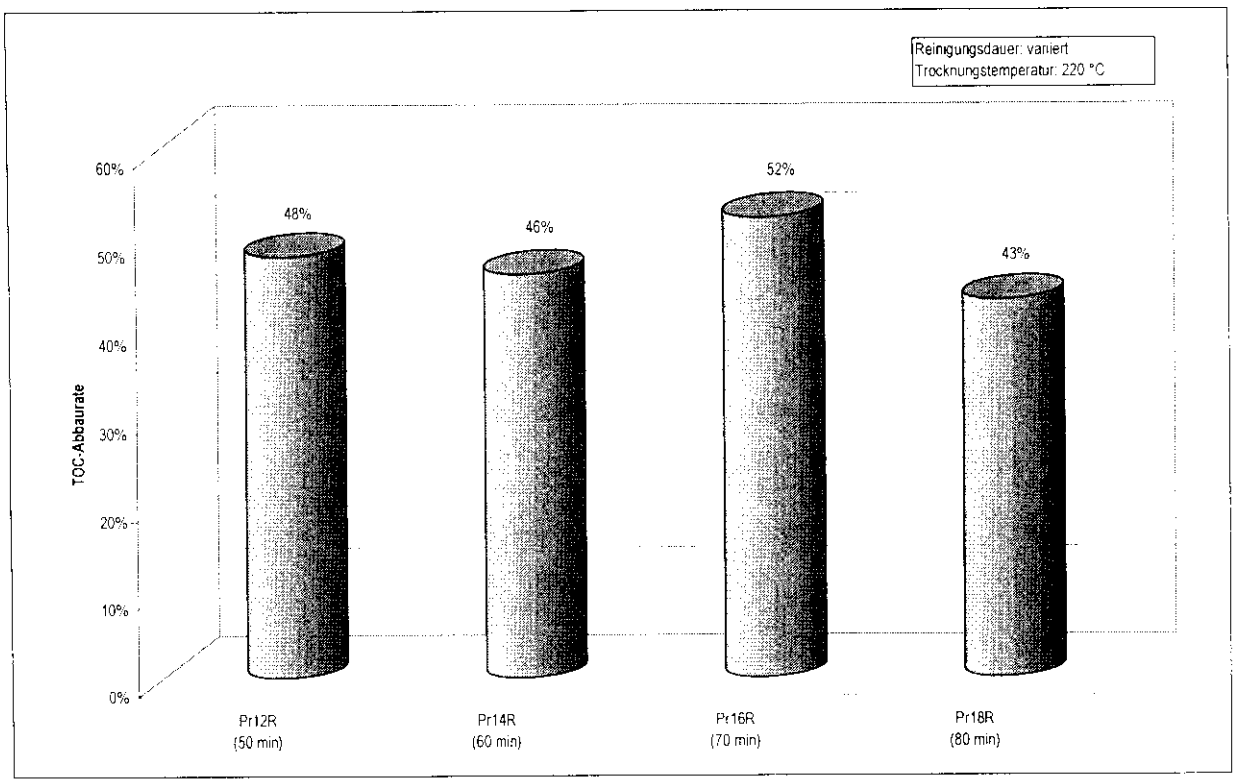


Abbildung 7-4: Einfluß der Reinigungsdauer auf den TOC-Abbau

Angesichts der ermittelten Rest-TOC-Gehalte der Regenerate kann festgestellt werden, daß die Dauer des pneumatischen Reinigungsvorgangs keinen signifikanten Einfluß auf den TOC-Abbau ausübt.

Entwicklung bei Mehrfachdurchläufen

Analog zur Untersuchung des Elektrolytanteils wurde die Entwicklung des TOC-Gehaltes im Regeneratsystem während dreier Durchläufe untersucht. Als Regenerierungsparameter wurde eine Trocknungstemperatur von 290 °C und eine Reinigungsdauer von 50 Minuten gewählt.

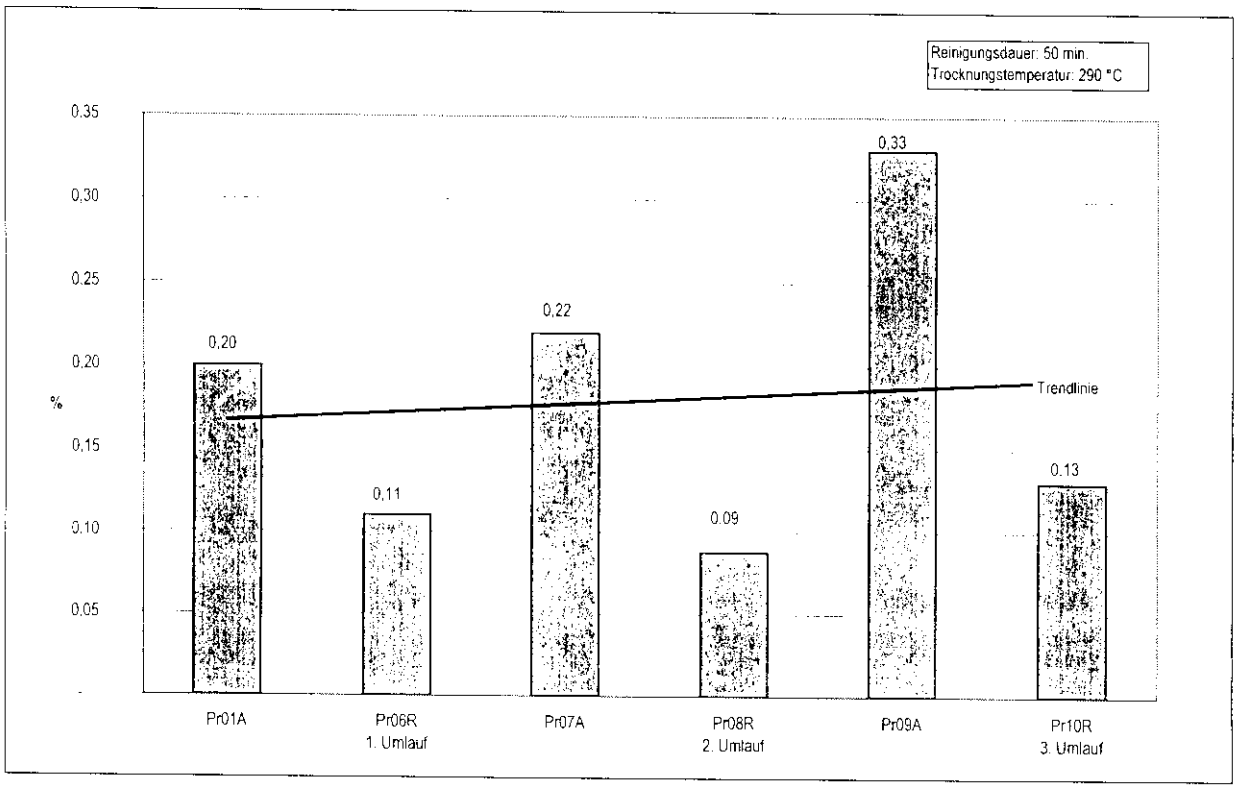


Abbildung 7-5: Entwicklung des TOC-Gehaltes bei Mehrfach-Umläufen

Die Ergebnisse lassen erkennen, daß der Organikanteil mit der Anzahl der Umläue ansteigt, wobei insgesamt ein hohes, durch den Einsatz eines Binders mit hohem Zerfallsfördereranteil bedingtes Niveau vorliegt.

7.1.3 Mechanische Kennwerte

Wenngleich die vorbeschriebenen chemischen Analysenergebnisse der Regenerate orientierende Prognosen über die Veränderung bei den mechanischen Kennwerten zulassen, so können diese keineswegs vergleichende Untersuchungen von Probekörpern ersetzen. Die hier dargestellten Ergebnisse wurden an im Labor hergestellten Probekernen ermittelt, wobei die Versuchsmischung entsprechend der vom Projektträger eingesetzten Rezeptur mit Originalmaterial hergestellt wurde:

- 80 % Regenerat
- 20 % Neusand
- 3 Gew.-% Binder (bezogen auf die Sandmasse)
- 10 Vol.-% Wasser (bezogen auf das Bindervolumen).

Die Meßgrenze lag bei allen nachfolgenden Untersuchungen bei 130 N/cm².

Einfluß der Trocknungstemperatur und Verarbeitungszeit

Die Entwicklung der Sofort- und Enddruckfestigkeit (nach 24 Stunden Lagerzeit) sowie der Enddruckfestigkeit bei verschiedenen Verarbeitungszeiten[2] ist in Abbildung 7-6 dargestellt.

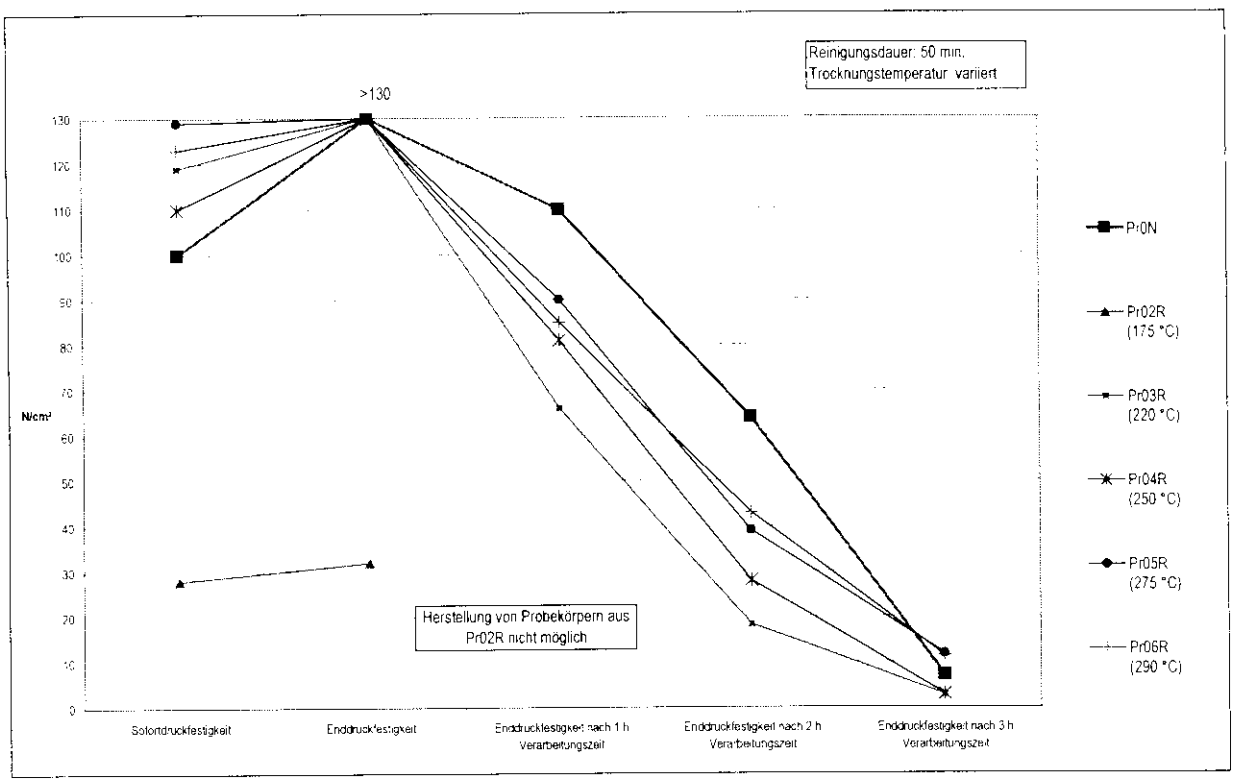


Abbildung 7-6: Einfluß der Trocknungstemperatur und Verarbeitungszeit auf Sofort- und Enddruckfestigkeit

Obwohl die Trocknungstemperatur keinen signifikanten Einfluß auf die Elektrolytgehalte erkennen läßt (vgl. Abschnitt 7.1.1), sind bzgl. der mechanischen Kenngrößen erhebliche Veränderungen festzustellen. Das mit einer Trocknungstemperatur von 175 °C hergestellte Regenerat Pr02R ist selbst bei sofortiger Verarbeitung der Kernsandmischung nicht mehr zur Fertigung ausreichend fester Kerne geeignet. Die mit höherer Trocknungstemperatur erzeugten Mischungen zeigen deutliche Einbrüche gegenüber dem neusandgefertigten Probekörper bei längeren Verarbeitungszeiten. Ein Ergebnis, das

[2] Lagerzeit der Kernsandmischung

sich im übrigen mit den Beobachtungen des Projektträgers bei der großtechnischen Kernherstellung deckt.

In Abbildung 7-7 sind die für das Ausformen und Entkernen wichtigen Restdruckfestigkeitswerte dargestellt.

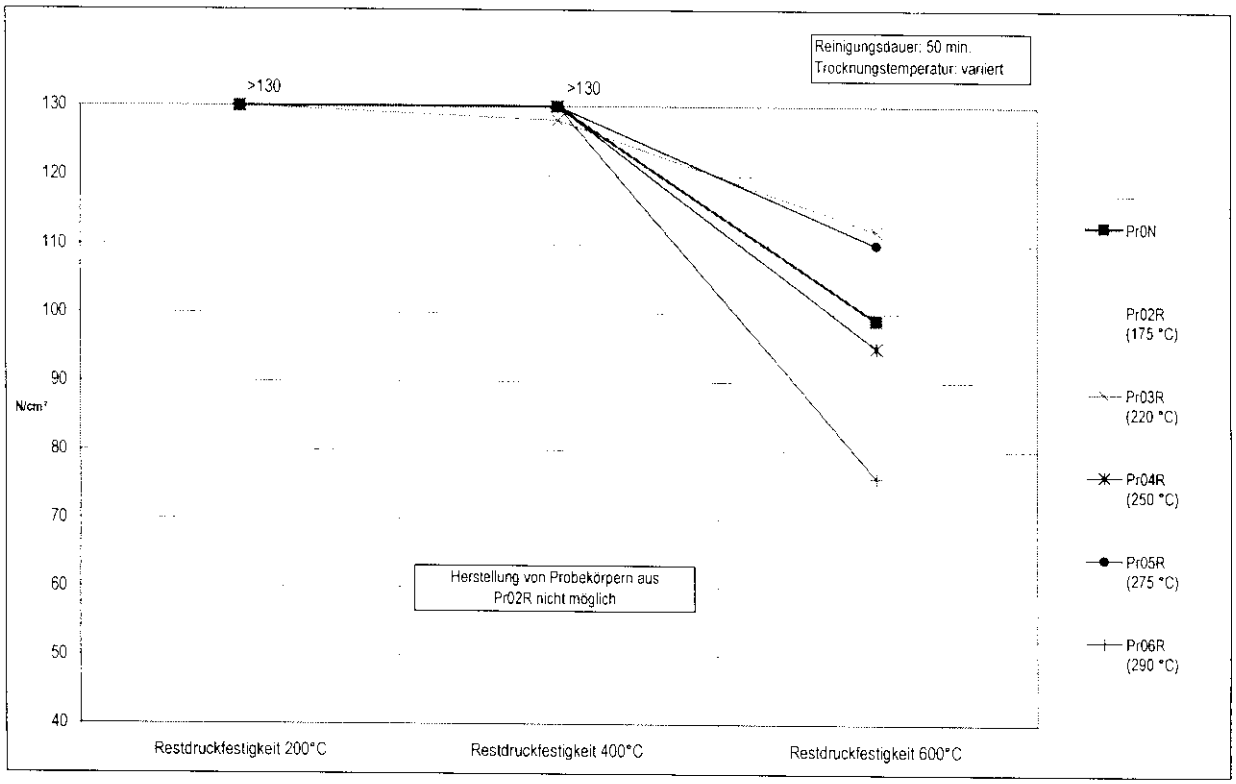


Abbildung 7-7: Einfluß der Trocknungstemperatur auf die Restdruckfestigkeit

Hierbei ist ein Zusammenhang zwischen der Trocknungstemperatur, als bestimmender Regenerierungsparameter für den TOC-Abbau, und der Restdruckfestigkeit nicht erkennbar. Auffällig jedoch ist, daß der Sand mit dem niedrigsten TOC-Gehalt im Regenerat (Pr06R) die niedrigste Restdruckfestigkeit aufweist.

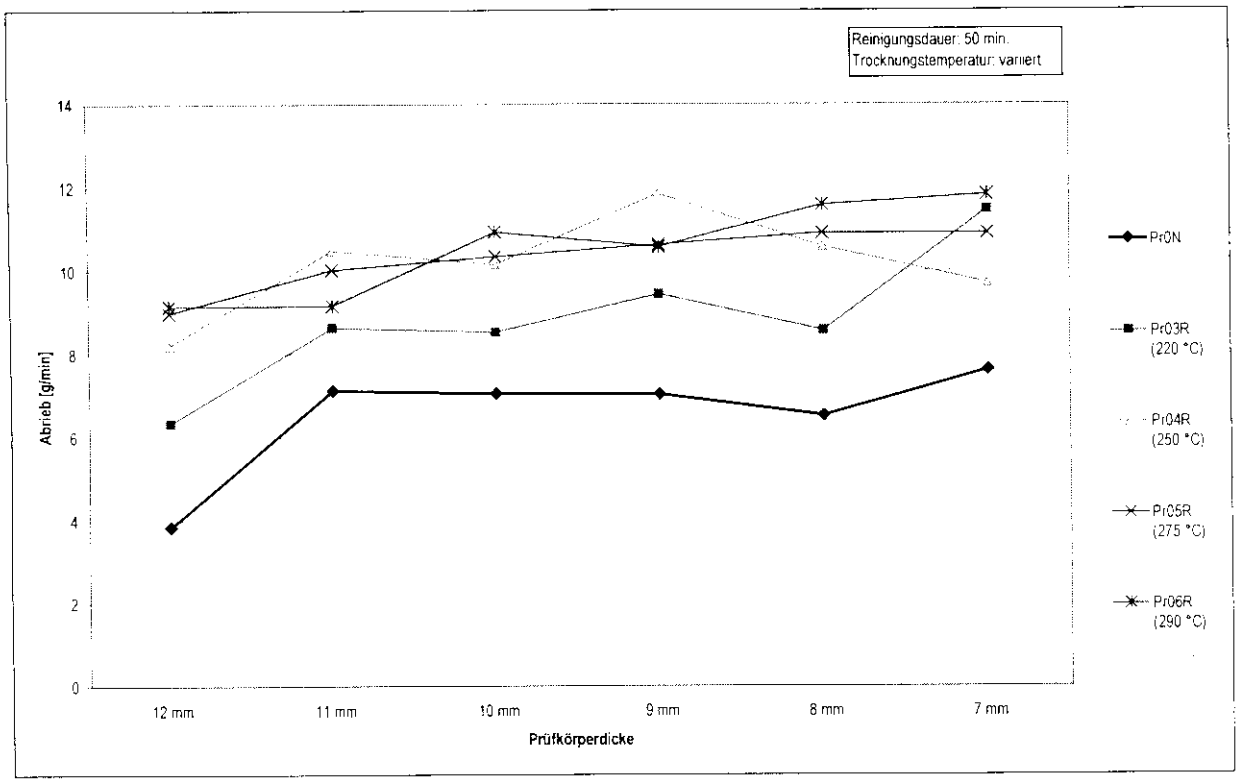


Abbildung 7-8: Einfluß der Trocknungstemperatur auf die Abriebfestigkeit

Die Abriebfestigkeit, ein wichtiger Parameter für die Handhabung der Kerne, zeigt deutlich geringere Werte bei regeneratgefertigten Kernen, wobei erhebliche Einbrüche bei den Festigkeitswerten für die Kernhaut erkennbar sind. Im weiteren Verlauf der Festigkeitsprofile lassen die regeneratfertigten Kerne zum Teil ausgeprägte Inhomogenitäten erkennen.

Entwicklung der mechanischen Kennwerte bei Mehrfachumläufen

Für die Schließung des Formstoffkreislaufes hat die Sicherstellung der notwendigen Festigkeitswerte regeneratgefertigter Kerne oberste Priorität. Daher wurde analog zu der Untersuchung des Einflusses der Trocknungstemperatur die Entwicklung der mechanischen Kennwerte während drei Umläufen untersucht.

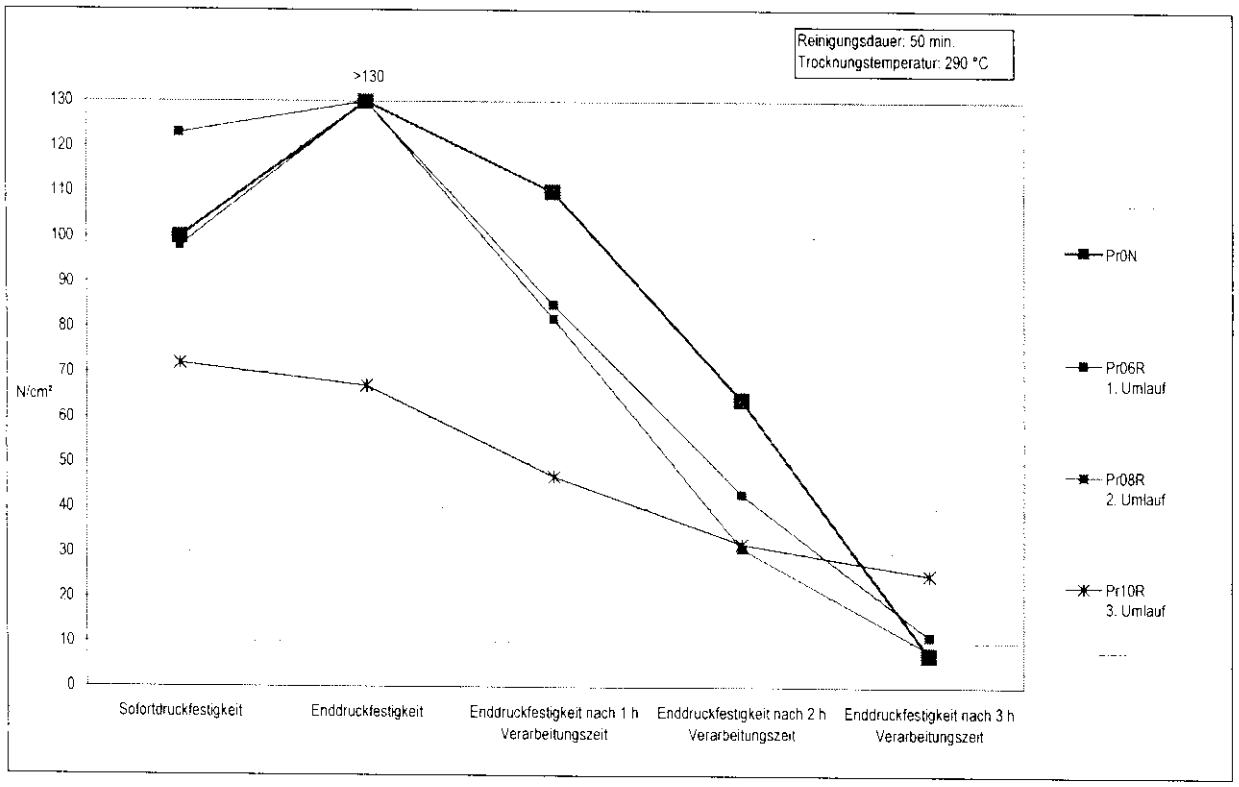


Abbildung 7-9: Entwicklung der Sofort- und Enddruckfestigkeit

Die Abbildung 7-9 zeigt deutlich, daß sich beim Einsatz von Erst- und Zweitregeneraten keine wesentlichen Unterschiede zu neusandgefertigten Kernen ergeben. Beim dritten Durchlauf tritt hier jedoch ein dramatischer Abfall der Festigkeitswerte ein, diese sinken auf ein ungenügendes Niveau ab. Das Ergebnis deckt sich mit den Beobachtungen in der Kernmacherei des Projektträgers.

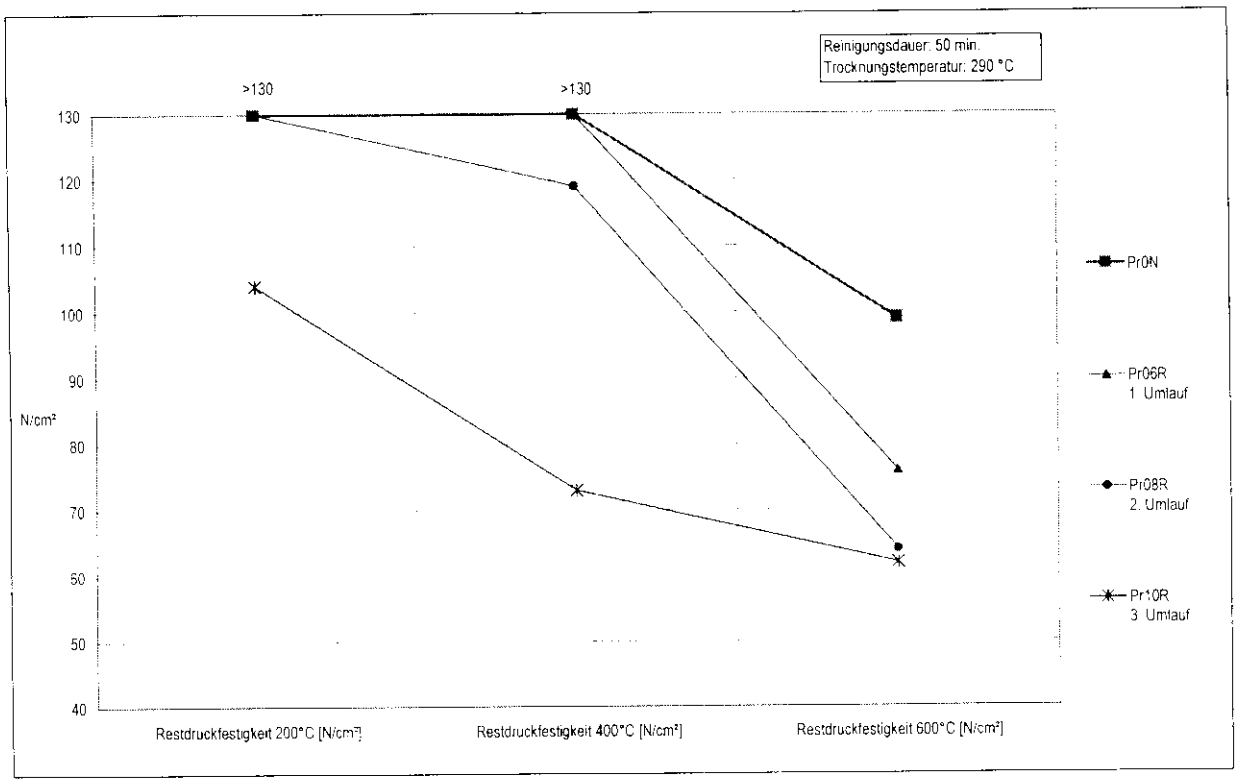


Abbildung 7-10: Entwicklung der Restdruckfestigkeit

Deutlich erkennbar ist, daß die Restdruckfestigkeit mit zunehmender Zahl von Umläufen geringer wird. Beim zweiten Umlauf wird bereits ein Niveau erreicht, bei dem vorzeitige Kernverluste beim Auspacken beobachtet wurden.

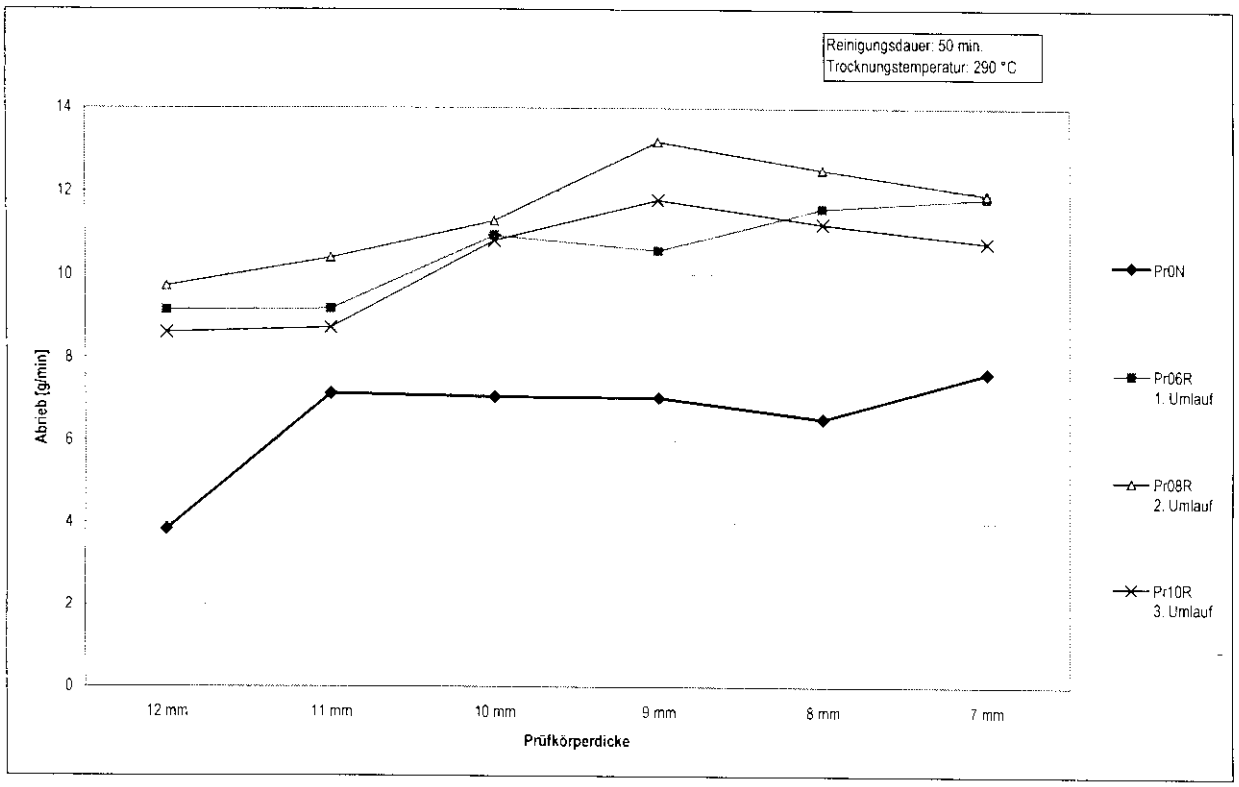


Abbildung 7-11: Entwicklung der Abriebfestigkeit

Für die Abriebfestigkeit gibt sich ein mit den Ergebnissen der Untersuchungen des Einflusses der Trocknungstemperatur vergleichbares Bild. Auf die dortigen Erläuterungen wird verwiesen.

7.1.3 Granulometrische Untersuchungen

Siebanalysen

Die Siebanalysen von Neusand sowie je einem Erst- und Zweitregenerat lassen auch nach dem zweiten Regenerierungsumlauf nur eine geringe Zunahme des Feinkornanteils erkennen, was auf eine wirksame Sichtung im Zuge der Regenerierung schließen läßt. Es ist zu erwarten, daß die obligatorischen Neusandzugaben eine ausreichende Kompensation bewirken.

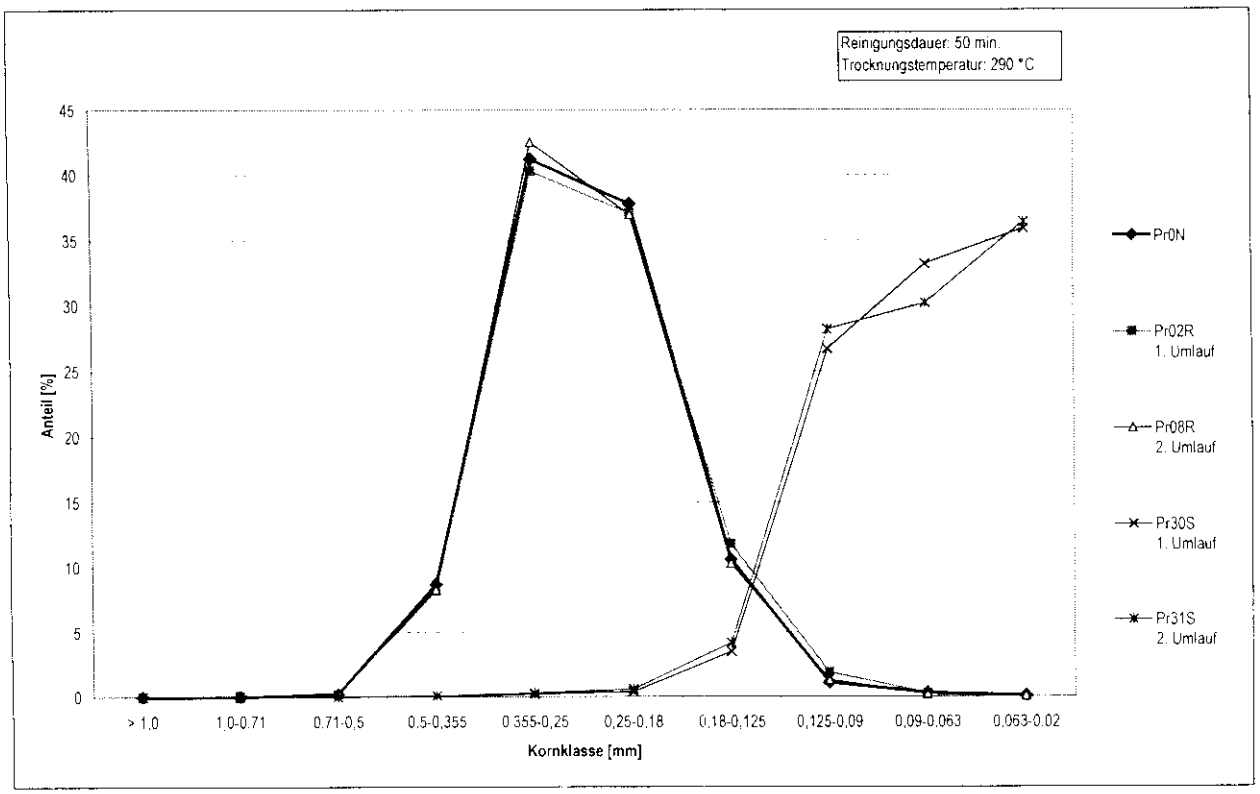


Abbildung 7-12: Siebanalysen von Neusand und Regenerat

Schlämmstoffgehalt

Die Ergebnisse der Untersuchungen von Schlämmstoffgehalten der Altsande und Regenerate aus mehreren Durchläufen zeigt Abbildung 7-13:

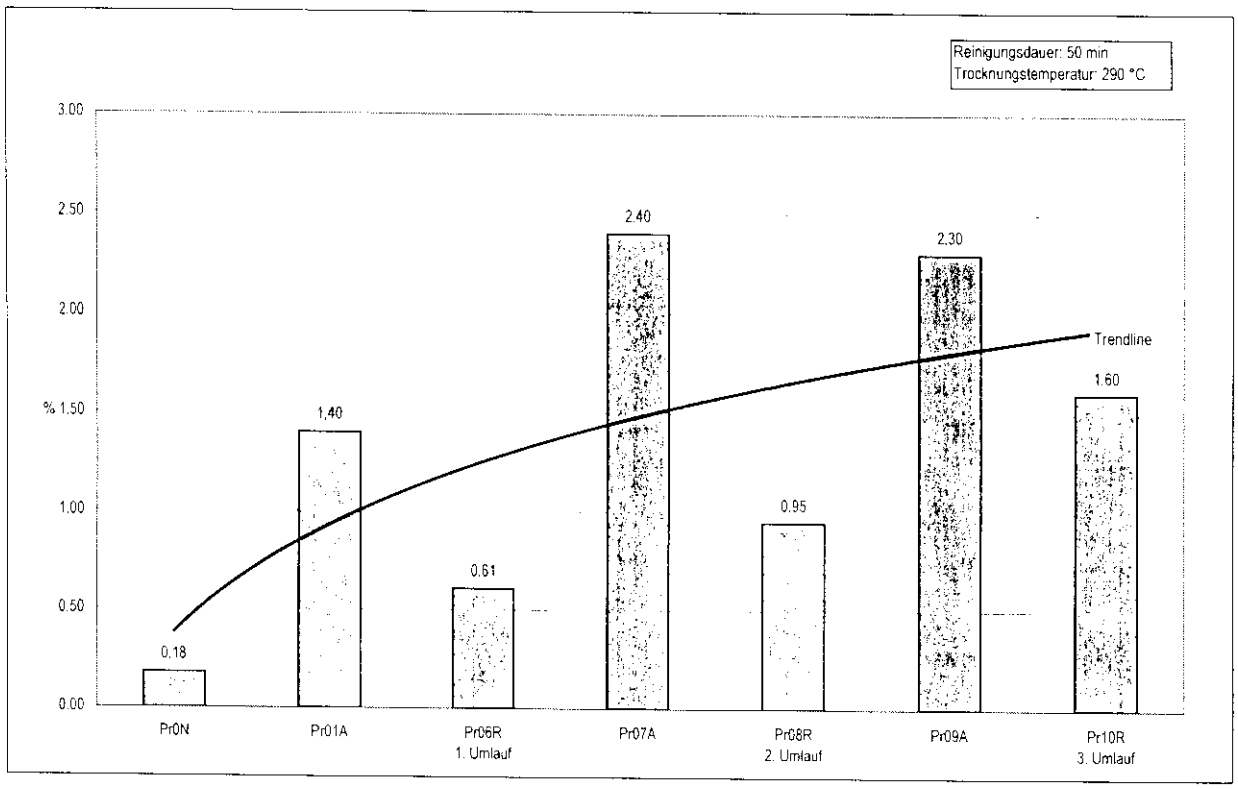


Abbildung 7-13: Entwicklung des Schlämmstoffgehaltes

Deutlich erkennbar ist eine mit der Anzahl der Umläufe ansteigende Tendenz. Da bei der Schlämmstoffbestimmung die wasserlöslichen Binderrückstände und der unlösliche Feinkornanteil (z. B. Kornabrieb) gleichermaßer erfaßt werden, dürften unter Berücksichtigung des zuvor dargestellten Natriumabbaus die Ursachen für den ansteigenden Trend in einer Zunahme des (wasserlöslichen) Elektrolytanteils zu suchen sein.

Gasdurchlässigkeit

Dieser für die Kernhärtung relevante granulometrische Parameter wird für die drei untersuchten Umläufe in Abbildung 7-14 dargestellt.

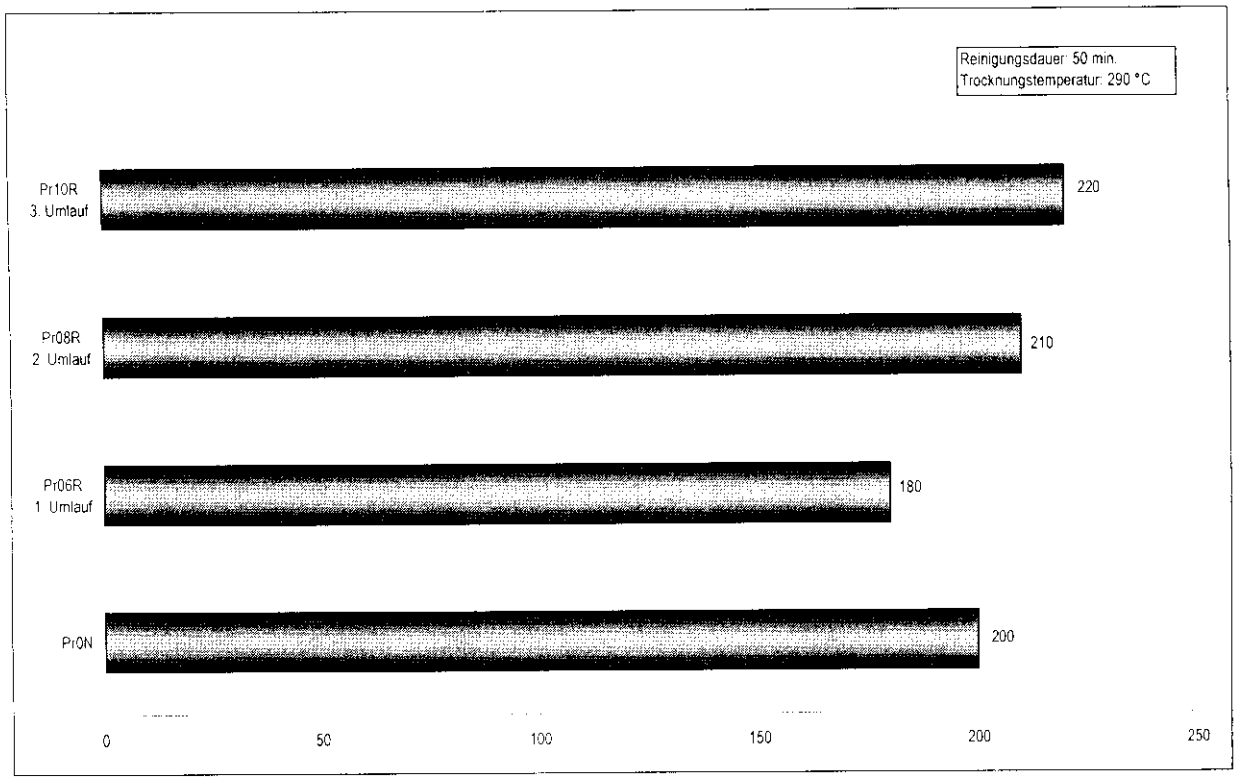


Abbildung 7-14: Entwicklung der Gasdurchlässigkeit

Die Werte für die Gasdurchlässigkeit entwickeln sich entsprechend der Verschiebung der Kornklassen-Anteile im feineren Kornklassenbereich (vgl. Abbildung 7-12). Mit zunehmenden Umläufen ist eine steigende Tendenz bzgl. der Gasdurchlässigkeit erkennbar, was sich auf den Begasungsprozeß positiv auswirken dürfte.

7.2 Verarbeitbarkeit der Regenerate

Die am Projekt beteiligten Vertragsgießereien haben diverse Verarbeitungsversuche durchgeführt und die Regenerate im Vergleich mit Neusandverwendung beurteilt. In der Ergebnismatrix in Tabelle 7-5 sind die Beurteilungen mit weiteren Anmerkungen dargestellt.

Beurteilungkriterien

Bewertung der Regeneratkerne im Vergleich zu Neusandkernen (Schlüssel nebenstehend)

Bewertungsschlüssel

++ besser

\+ gleich gut

\- schlechter

\- - unbefriedigend

	Oberflächengüte	Sofortfestigkeit	Endfestigkeit	Verarbeitbarkeitszeit	Zerfallsneigung nach Abguß	**Verarbeitungsparameter**				
						Neusandanteil %	Wasserzugabe Gew.-%, bezogen auf Binderansatz	Binderansatz %	Bindertyp	Bemerkungen
A01R	+	-	+	-	++	20	10	3	DIMA-A	
A02R	+	-	+	-	++	20	10	3	DIMA-A	
A03A	+	-	+	-	++	50	10	3	DIMA-A	
B01R	+	+	+	-	-	20	12	3.3	DIMA A	16 % Zerfallsförderer "Codur", Fließfähigkeit gut
B02R	+	+	++	-	-	20	10	4	DIMA A	13 % Zerfallsförderer "Codur", Fließfähigkeit gut
B03R	+	+	++	-	+	27	12	3.3		16 % Zerfallsförderer "Codur" Fließfähigkeit gut
C01R	- -	- -	- -	-	-	17	13.6	2.2	STEINEX-T	12.3 % Zerfallsförderer, Kern härtet nicht aus
C02R	++	++	++	+	+	17	33.3	3.0	STEINEX-T	schlechte Fließfähigkeit
C03R	+	-	-	-		17	33.3	3.0	STEINEX-T	10 % "Resin", keine Vorteile
C04R	+	+	+	+	+	17	41.7	3.0	STEINEX-T	schlechte Fließfähigkeit
C05R	+	+	++	+	+	17	28.6	5.3	STEINEX-T	
C06R	+	++	++	+	+	17	28.6	5.3	STEINEX-T	2.3 % "Resin", Düsen verharzen zu schnell
C07R	++	+	+	+	+	50	26.7	3.8	STEINEX-T	3.3 % "Resin", sehr gute Oberfläche, Sand fließfähig
C08R	+	+	+	+	-	30	16	3	STEINEX-T	4 % "Resin", bei kleinen/dünnwandigen Kernen Bruchgefahr sehr groß

Tabelle 7-5: Ergebnismatrix der Regeneratbeurteilung

Aufgenommen wurden hierbei Ergebnisse bis zum dritten Sandumlauf, danach war eine getrennte Verfolgung einzelner Chargen nicht mehr möglich.

Aus den Beurteilungen erkennbar ist, daß

- bzgl. der Oberflächengüte und Endfestigkeit keine wesentlichen Unterschiede gegenüber Neusand festgestellt wurden,
- die Verarbeitbarkeitszeit und die Zerfallsneigung nach dem Abguß (Restdruckfestigkeit) tendenziell schlechter beurteilt wurden,
- eine deutliche Verschlechterung der Sofortfestigkeit eintrat.

Mängel bei der Lagerung der Kerne wurde im Rahmen dieser Beurteilungsreihe noch nicht festgestellt (vgl. Abschnitt 5.3.2.2).

7.3 Betriebsdaten

Energieverbräuche

Die Auswertung von Aufzeichnungen des Gas- und Stromverbrauchs nach Abschluß der verfahrens- und anlagentechnischen Optimierung erbrachte folgende Ergebnisse:

Altsanddurchsatz im ausgewerteten Zeitraum:..... 182,5 t

spezifischer Erdgasverbrauch ..... 104,4 kWh/t Altsand
spezifischer Stromverbrauch ..... 74,5 kWh/t Altsand

Mit Ausnahme eines hier nicht ermittelten geringen Druckluftbedarfs, sind keine weiteren Medien für den Betrieb der Regenerierungsanlage erforderlich.

Ausbringung

Zur Berechnung der mittleren Ausbringung wurden die Wiegedaten eines repräsentativen Zeitraums ausgewertet:

Summe Altsandeinsatz ..... 217,3 t
Summe Regeneratausbringung..... 182,7 t
mittlere Ausbringung..... 84,1 % bezogen auf den Altsandeinsatz

Nach einer abschließenden Optimierung des Absaugvolumenstroms der Regenerierungseinheit konnte die Ausbringung leicht erhöht werden. Daher wird in der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung mit einem Wert von 85 %, resp. mit einem Staubanfall von 15 % gerechnet.

8 Beurteilung des technischen Verfahrens

8.1 Verfahrenssicherheit

Die untersuchte Regenerierungsanlage weist ein hohes Maß an Verfügbarkeit auf. Die entscheidenden Prozeßparameter sind sicher reproduzierbar, was auf eine anlagentechnisch ausgereifte Lösung schließen läßt.

Die Projektergebnisse hinsichtlich der Verarbeitbarkeit der Regenerate lassen erkennen, daß diese zur Kernfertigung im Herkunftsprozeß grundsätzlich verwendet werden können. Allerdings ist eine abschließende Aussage darüber nicht möglich, bis zu welchem Regeneratanteil ein dauerhaft stabiler Formstoffkreislauf erzielt werden kann. Dies ist nicht zuletzt auch vom Fertigungsspektrum der betroffenen Kernmacherei (Kerngeometrien) und von der Lagerdauer der Kerne abhängig.

Obwohl sich die ursprüngliche auf der Herstellergewährleistung basierende Annahme, daß ein Großteil der Kerne vollständig aus Regenerat gefertigt werden könne (vgl. Tabelle 5-1), nicht bestätigt hat – dies gilt im übrigen auch für den gewährleisteten Schlämmstoffgehalt der Regenerate – kann auf der Grundlage der Laboruntersuchungsergebnisse (vgl. Abschnitt 7.1.3) und der Beurteilungen der Vertragsgießereien (vgl. Abschnitt 7.2) festgestellt werden, daß bei einer Neusandzugabe von jeweils 20 – 25 % zum Ausgleich der Verarbeitungsverluste, die Regenerate des ersten und zweiten Umlaufs für die Herstellung praktisch aller Kerne geeignet sind.

Weitere, hier nicht untersuchte anlagenseitige Ansätze einer Verbesserung des Abreinigungsverhaltens sind nicht erkennbar, indes wurden die Möglichkeiten für die Anpassung der Binderrezepturen sowie des Kernsandansatzes im Zuge des Projektverlaufes nicht vollständig ausgeschöpft.

Insgesamt muß jedoch festgestellt werden, daß die Regenerierung von wasserglasgebundenen Kernen mit dem *KGT-Jet-Reclaimer* im Vergleich mit der verbreiteten thermischen Regenerierung organisch gebundener Kernsande, eine deutlich niedrigere Verfahrensicherheit aufweist, wobei mit folgenden Einschränkungen zu rechnen ist:

- geringere Sofortdruckfestigkeit
- kürzere Verarbeitbarkeitszeiten der Kernsandmischungen
- Festigkeitsverluste bei der Lagerung der Kerne
- Abnahme der Restdruckfestigkeit, insbesondere beim Einsatz von Bindertypen mit hohem Zerfallsfördereranteil.

Zur Kompensation dieser Einschränkungen sind innerbetriebliche Anpassungen der Fertigungsplanung und ggf. Modifikationen der Binderrezepturen erforderlich, wobei die Umstellungen auf der Seite der Fertigungsplanung gerade in kleineren Kundengießereien mitunter schwer zu verwirklichen sind.

8.2 Abfallaufkommen

Das verbleibende Abfallaufkommen ist naheliegenderweise abhängig vom jeweils möglichen Regenerierungsanteil bei der Kernherstellung. Ein prozeßbedingt unvermeidbarer Sockel bildet jeweils das Aufkommen an Filterstaub, das mit etwa 15 % der regenerierten Altsandmenge anzusetzen ist.

Wenn man nun den ungünstigen Fall annimmt, daß die Kerne nach dem zweiten Regenerierungsumlauf noch einmal abgegossen und dann als Altsand verworfen werden (vgl. Abschnitt 8.1), ergibt sich eine Verminderung des regenerierbaren Altsandaufkommens[3] um 62 %, für den Neusandbedarf immerhin noch um 46 %.

Mit Ausnahme der Filterstäube fallen beim Regenerierungsprozeß in der Regel keine weiteren Abfälle an. Eine Entsorgung dieser Abfälle ist nach Recherchen des Projektträgers auf Deponien der Deponieklasse II ohne Einschränkungen möglich.

8.3 Sonstige Umweltauswirkungen

Da für den Trocknungsprozeß im Heißlufterzeuger Gas verbrannt werden muß, entstehen zusätzliche CO_2-Emissionen, die mit 18 kg je Tonne Altsand abgeschätzt werden[4]. Andere umweltrelevante Inhaltsstoffe des entstaubten Abgases sind nicht zu erwarten.

Der Betrieb der Absaug- und Entstaubungsanlage ist mit Geräuschemissionen verbunden. Regenerierungsanlagen als Nebeneinrichtungen von Gießereien unterliegen jedoch regelmäßig einer immissionsschutzrechtlichen Genehmigungspflicht, wobei die erforderliche Genehmigung nur dann erteilt werden darf, wenn u. a. sichergestellt ist, daß durch den Betrieb der Anlage erhebliche Belästigungen (also auch Lärm) für die Allgemeinheit und Nachbarschaft nicht hervorgerufen werden können (Betreiberpflicht gemäß § 5 BImSchG).

---

[3] Altsand ohne Verarbeitungsverluste

[4] Stromerzeugung nicht berücksichtigt

8.4 Personalbedarf

Wenngleich im Zuge der Durchführung des Modellprojektes Personalzeiten detailliert erfaßt wurden, so sind diese Aufzeichnungen aufgrund häufiger Versuche und anderer, nicht mit dem Regelbetrieb vergleichbarer Projektarbeiten nicht direkt verwertbar.

Nach Angaben des Projektträgers beträgt der Personalaufwand beim vollautomatischen Regelbetrieb etwa eine Stunde je Schicht, wodurch sich folgender Kostenanteil an den Sandkosten ergibt:

Personaleinsatz ..... 1 h/Schicht

Betriebszeit ..... 8 h/Schicht

Leistung ..... 4 t Altsand/Schicht

Personalkostensatz ..... DM 50,--/h

Daraus errechnet sich ein Personalkostenanteil an den Sandkosten von DM 12,50/t Altsand.

9 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

9.1 Erläuterungen zu den Berechnungsszenarien

Die aus dem Modellprojekt gewonnen Erkenntnisse bilden eine ausreichende Basis für eine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung, die jedoch aus folgenden Gründen differenziert durchgeführt werden muß:

a) Der Nachweis, daß das erzeugte Regenerat vollständig wieder eingesetzt werden kann, konnte während der Projektlaufzeit nicht erbracht werden.

b) Die Entsorgungspreise für Altsand haben sich seit Beginn des Modellprojektes erheblich nach unten entwickelt.

c) Auch bei Berücksichtigung der zusätzlichen Sandmengen der Vertragsgießereien kann die Regenerierungsanlage nur etwa zur Hälfte ausgelastet werden.

Die in dieser Wirtschaftlichkeitsbetrachtung verwendeten Berechnungsansätze basieren auf unterschiedlichen Anlagenauslastungen und Entsorgungskosten. Zusätzlich wird für jeden Ansatz der mittlere Regeneratanteil bei der Kernherstellung variiert. Im einzelnen ergeben sich folgende Szenarien:

Kernherstellung Variante A

Diese Variante entspricht dem Ausgangszustand (Ist-Zustand). Die Kerne werden ausschließlich aus Neusand gefertigt.

Regeneratanteil 0 %

Kernherstellung Variante B

Hierbei wird die Kernsandmischung zur Hälfte mit Regenerat angesetzt. Dieser Fall entspricht dem in Abschnitt 8.2 beschriebenen Projektergebnis.

Regeneratanteil 50 %

Kernherstellung Variante C

Bei dieser Variante wird davon ausgegangen, daß das ausgebrachte Regenerat vollständig zur Kernherstellung wieder eingesetzt und nur die Verarbeitungsverluste *R2* sowie die Regenerierungsverluste *R4* durch Neusand ersetzt werden müssen. Dieser Fall entspricht dem ursprünglichen Projektansatz, der großtechnische Nachweis konnte hierfür allerdings nicht erbracht werden (vgl. Abschnitt 5.3.2).

Regeneratanteil 72 %

Berechnungsansatz 1

Hier werden die Rahmenbedingungen bei Projektbeginn, gleichermaßen die Basis der Investitionsentscheidung angesetzt, also das Altsandaufkommen aller beteiligten Gießereien und der damals vergleichsweise hohe Entsorgungspreis.

Altsandaufkommen 1.500 t/a

Entsorgungspreis DM 185,--/t

Berechnungsansatz 2

Dieser Berechnungsansatz berücksichtigt die Rahmenbedingungen bei Projektende und unterscheidet sich vom Berechnungsansatz 1 durch einen niedrigeren Entsorgungspreis, wobei ein mittlerer Preis für Baden-Württemberg angesetzt wurde.

Altsandaufkommen 1.500 t/a

Entsorgungspreis DM 90,--/t

Berechnungsansatz 3

Anhand des dritten Berechnungsansatzes soll die Wirtschaftlichkeit des Verfahrens bei voller Auslastung der Sandregenerierungsanlage und heutigen mittleren Entsorgungskosten dargestellt werden.

Altsandaufkommen 3.300 t/a

Entsorgungspreis DM 90,--/t

9.2 Investitionskosten

Wie bereits in Abschnitt 5.1.5 ausgeführt, wurde die Absaug- und Entstaubungsanlage wegen behördlicher Bedenken hinsichtlich der Staubentwicklung am Knollenbrecher äußerst großzügig dimensioniert.

Nach Inbetriebnahme der Anlage wurde jedoch festgestellt, daß auch bei einem weitaus geringeren Abluftvolumenstrom eine ausreichende Erfassung der beim Entleeren der Transportcontainer entstehenden Stäube sichergestellt ist.

Die großzügige Auslegung hat somit vermeidbare Investitionskostenanteile für Ablufterfassung, Ventilator, Schallschutzkabine und Staubfilter bewirkt, die hier mit DM 100.000,-- abgeschätzt werden. Dieser Anteil fand daher in der Investitionskostenposition I_1 (Abschnitt 9.4) keine Berücksichtigung. Des weiteren enthält die genannte Position nicht die Kosten für die Sandbunkeranlage zur Anbindung der Vertragsgießereien in Höhe von DM 163.000,--, da Preise für solche individuellen Einrichtungen wenig repräsentativ sind.

9.3 Betriebskostenvergleich

Für die in Anhang A9-1 dargestellten Regenerierungskosten (Altsand zur Regenerierung *R1*) wurden die im Zeitraum vom 01.07.1997 bis zum 31.12.1997 nach Optimierung des Verfahrens sowie einer vorgenommenen Leistungsreduzierung der Abluftanlage aufgezeichneten Energieverbrauchsdaten zugrundegelegt:

Personalkosten (DM 50,--/h) ..... DM 12,50 /t Altsand
Stromkosten (DM 0.25/kWh) ..... DM 18.63/t Altsand
Erdgas (DM 0.068/kWh) ..... DM 7,10/t Altsand
Summe der variablen Regenerierungskosten..... DM 38.23/t Altsand

9.4 Wirtschaftlichkeitsberechnungen

Investitionen I_G

I_1	Regenerierungsanlage komplett	DM	563.850,--
I_2	Anlagenfundamente, Stützkonstruktion	DM	42.745,--
I_3	elektrische und mechanische Montage	DM	98.292,--
I_4	Anbindung Kernmacherei	DM	20.000,--
I_G	*Summe aller Investitionen*	*DM*	*724.887,--*

Finanzierungskosten K_F

p = kalkulatorischer Zinssatz

p = 10 % p. a.

$K_F = 0{,}5 * I_G * p$

$K_F = 0{,}5 * 724.887{,}\text{-- DM} * 10\ \%\ \text{p. a.} = 36.244\ \text{DM/a}$

Die tatsächliche jährliche **Kostenersparnis** K_E ergibt sich aus der Differenz zwischen den Kosten für die Kernherstellung aus Neusand (IST, Variante A) und den Kosten für die Kernherstellung aus Regenerat (SOLL, Varianten B und C) abzüglich der Finanzierungkosten K_F:

Die **Amortisationsdauer A** der Investition I_G berechnet sich zu $A_i = I_G / K_{Ei}$. In Anhang A9-1 wird die Berechnung der Sandkosten im einzelnen dargelegt

Berechnungsansatz 1: *Anlagenleistung 1.500 t/a; Altsandentsorgungspreis 185 DM/t*

	Variante B		*Variante C*	
Summe Sandkosten mit Neusand (Variante A)	DM/a	480.080,--	DM/a	480.080,--
./. Kernherstellungskosten mit Regenerat	DM/a	279.119,--	DM/a	190.625,--
./. Finanzierungskosten K_F	DM/a	36.244,--	DM/a	36.244,--
Kostenersparnis K_{E1}	***DM/a***	***164.717,--***	***DM/a***	***253.211,--***
Amortisationsdauer $A_1 = I_G/K_{E1}$		***4,4 a***		***2,9 a***

Berechnungsansatz 2: *Anlagenleistung 1.500 t/a; Altsandentsorgungspreis 90 DM/t*

	Variante B		*Variante C*	
Summe Sandkosten mit Neusand (Variante A)	DM/a	312.405,--	DM/a	312.405,--
./. Kernherstellungskosten mit Regenerat	DM/a	195.519,--	DM/a	144.075,--
./. Finanzierungskosten K_F	DM/a	36.244,--	DM/a	36.244,--
Kostenersparnis K_{E2}	*DM/a*	*80.642,--*	*DM/a*	*132.086,--*
Amortisationsdauer $A_2 = I_G/K_{E2}$		***9,0 a***		***5,5 a***

Berechnungsansatz 3: *Anlagenleistung 3.300 t/a; Altsandentsorgungspreis 90 DM/t*

	Variante B		*Variante C*	
Summe Sandkosten mit Neusand (Variante A)	DM/a	686.760,--	DM	686.760,--
./. Kernherstellungskosten mit Regenerat (100 %)	DM	430.544,--	DM	316.434,--
./. Finanzierungskosten K_F	DM	36.244,--	DM	36.244,--
Kostenersparnis K_{E3}	*DM*	*219.972,--*	*DM*	*334.082,--*
Amortisationsdauer $A_3 = I_G/K_{E3}$		***3,3 a***		***2,2 a***

Diese Ergebnisse zeigen, daß sich der Einsatz der Regenerierungsanlage unter den hier betrachteten technischen und ökonomischen Bedingungen in einem betriebswirtschaftlich sinnvollen Zeitraum amortisieren kann. Voraussetzungen hierfür ist allerdings eine möglichst hohe Auslastung der Anlagenkapazität.

10 Beurteilung der Übertragbarkeit

10.1 Neue Erkenntnisse

Als Ergebnis des Modellprojektes kann festgehalten werden, daß das untersuchte Verfahren technisch geeignet ist, Regenerate zu erzeugen, mit denen ein breites Spektrum von Wasserglaskernen gefertigt werden kann. Die Verwendung der Regenerate ist mindestens bis zum zweiten Umlauf möglich.

Die großtechnische Umsetzung gelingt jedoch nur bei Anpassung der Kernherstellung, da bei den Kriterien Sofortfestigkeit, Lagerzeit und Restdruckfestigkeit deutliche Einschränkungen gegenüber der Kernherstellung aus Neusand vorliegen.

Des weiteren kann festgestellt werden, daß die Kernherstellung ausschließlich aus Regenerat, also ohne Neusandzugabe, nur in wenigen, praktisch unbedeutenden Einzelfällen möglich sein wird.

Unter den heutigen wirtschaftlichen Rahmenbedingungen, gekennzeichnet durch dramatisch gefallene Altsandentsorgungskosten, kann eine sinnvolle Amortisationszeit für eine Investition in eine Anlage der untersuchten Größenordnung nur bei Vollauslastung im 3-Schicht-Betrieb erreicht werden, unter der Voraussetzung, daß als mittlerer Regeneratanteil bei der Kernfertigung mindestens 50 % erreicht wird.

Im Unterschied zur verbreiteten thermischen Regenerierung kunstharzgebundener Kerne lassen sich mit dem untersuchten Verfahren keine sicher reproduzierbaren Ergebnisse hinsichtlich der Regeneratqualität gewinnen.

10.2 Einsatzbedingungen

Aufgrund der Projektergebnisse gelten für die Anwendung des Regenerierungsverfahrens folgende Einsatzbedingungen:

a) ***Kernsandversorgung***

Kernsandmischungen müssen entsprechend dem jeweils vorliegenden Fertigungsprogramm mit in jedem Verhältnis varierbaren Regeneratanteilen herstellbar sein.

b) ***Produktionssteuerung***

Zur Erzielung einer ausreichenden Enddruckfestigkeit sollte stets eine eintägige Lagerzeit der Kerne vor dem Abguß sichergestellt, jedoch mehrtägige Zwischenlagerung vermieden werden.

c) ***Binderrezeptur***

Die Binderrezeptur muß veränderliche Zerfallsfördereranteile zulassen. Zweckmäßig ist ein Binder mit niedrigem Zerfallsfördereranteil bei bedarfsweise separaten Sonderzugaben.

d) ***Altsandentsorgung***

Die Entsorgungsmöglichkeiten für verbleibende Altsandanteile müssen nach wie vor verfügbar sein.

e) ***Kernsandtrennung***

Der Kernaltsand muß beim Entkernen und Sammeln hinsichtlich seiner Regeneratherkunft (Anzahl der Umläufe) und seines Regeneratanteils identifizierbar bleiben.

10.3 Anwendungsgrenzen

Wenngleich die Projektergebnisse keine abschließende Beurteilung der Einsatzbedingungen des untersuchten Regenerierungsverfahrens zulassen, so sind jedoch folgende Anwendungsgrenzen erkennbar:

a) ***Fertigungsprogramm***

Herstellung von Kernen mit filigranen Geometrien

b) ***Kernhärtungsverfahren***

Verarbeitung von Regeneraten ester-gehärteter Kerne mit dem CO_2-Wasserglasverfahren.

c) ***Wirtschaftlichkeit***

Teilauslastung der Anlage, wobei bei derzeitigen Entsorgungskosten ein Altsandaufkommen < 2.500 t keine ausreichende Amortisation sicherstellt.

d) ***Fertigungsstuktur***

häufige, kurzfristige Wechsel im Fertigungsprogramm, die längere Lagerzeiten bereits gefertigter Kerne erfordern

Die genannten Anwendungsgrenzen sind dabei nicht endgültig und können zum einen bei weiterer Nutzung des noch nicht ausgeschöpften Optimierungspotentials für Binderrezepturen und Mischungsansätze bei der Kernherstellung, zum anderen durch Veränderungen auf dem Entsorgungsmarkt durchaus noch in Richtung einer erweiterten Anwendbarkeit des untersuchten Regenerierungsverfahrens verschoben werden.

11 Anhang

A5-1 Verfahrensschema der Regenerierungsanlage

A5-2 Aufstellungsplan der Regenerierungsanlage

A5-3 Ansichtszeichnung der Regenerierungsanlage

A6-1 Prüfvorschriften für Laboruntersuchungen

A6-2 Versuchsbeschreibungen des IfG, Düsseldorf

A9-1 Berechnung der Sandkosten (Betriebskostenvergleich)

12 Literatur

1 Falbe, J.; Regnitz, M. (Hrsg.): Römpp Chemielexikon. (1995), S. 5003

2 Schütt, K.-H.: Jahresübersicht Mechanisierung der Form- und Kernherstellung. Gießerei 82 (1995) 17, S. 618 - 625

3 Tilch, W.: Gießereitechnik 32 (1986) 4, S. 123 - 129

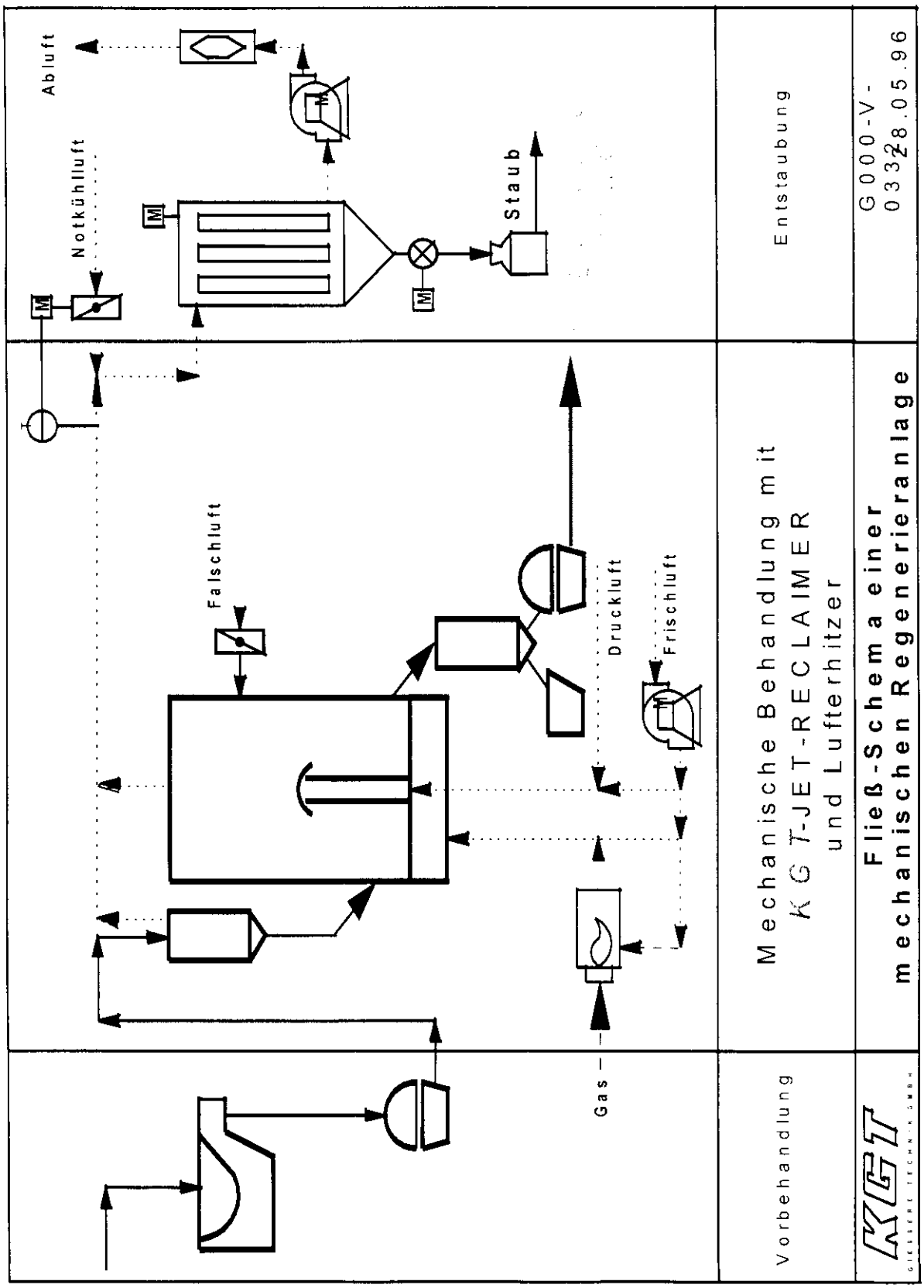
4 Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg (Hrsg.): Untersuchung von Eisen- und NE-Metallgießereien. Handbuch Abfall I (1996) S. A-112

5 Döpp, R.; Alekassir, A.; Xiao, B.: Beitrag zum mechanischen Regenerieren kaltharz- und wasserglasgebundener Formstoffe. Gießerei 82 (1995), S. 111 - 115

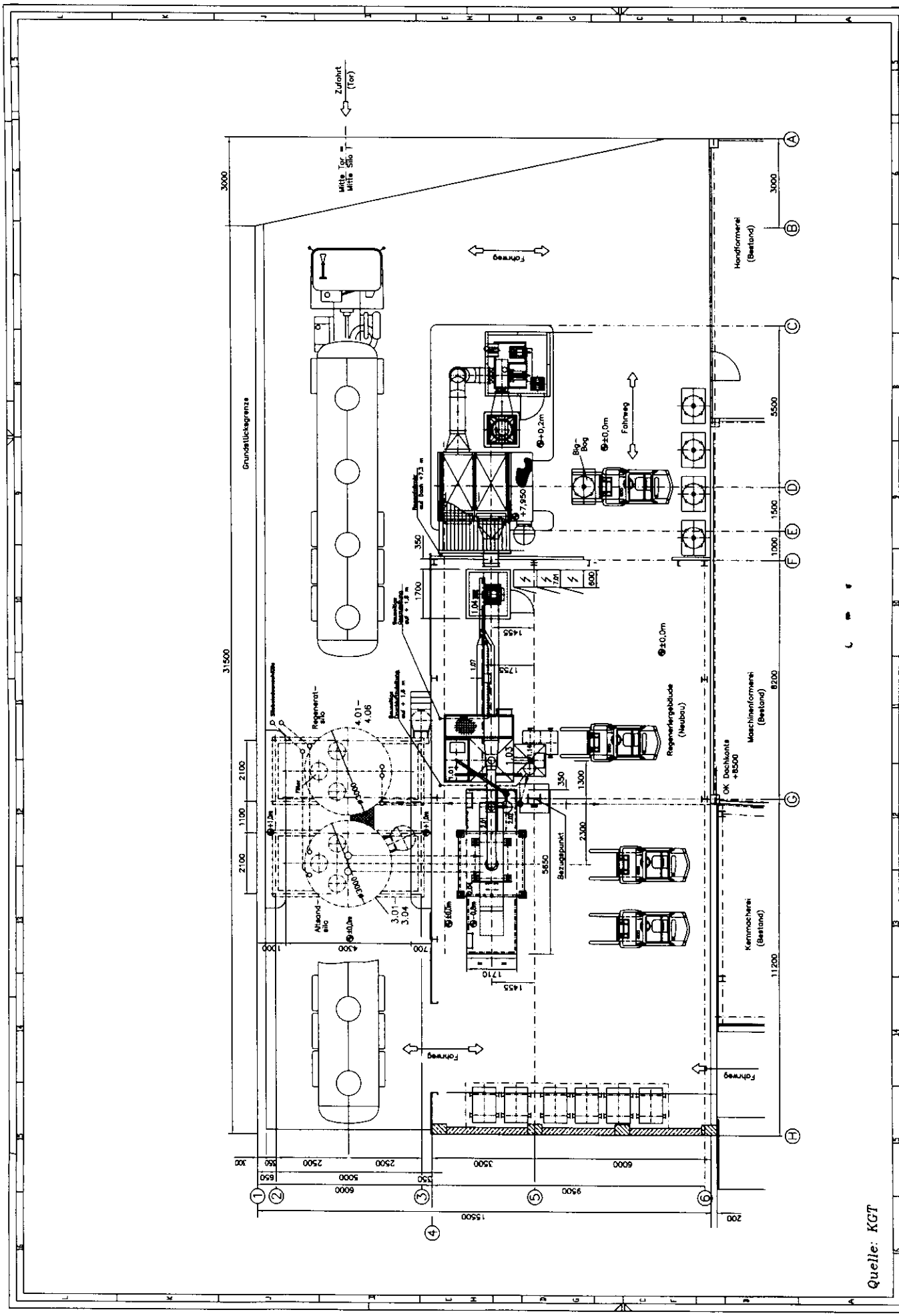
6 Achatz: Hiery GmbH, Waldkraiburg. Persönliche Mitteilung 1998

7 Boenisch, D.: Recycling von Kernaltstoffen. Gießerei 79 (1992) 11, S. 428 - 437

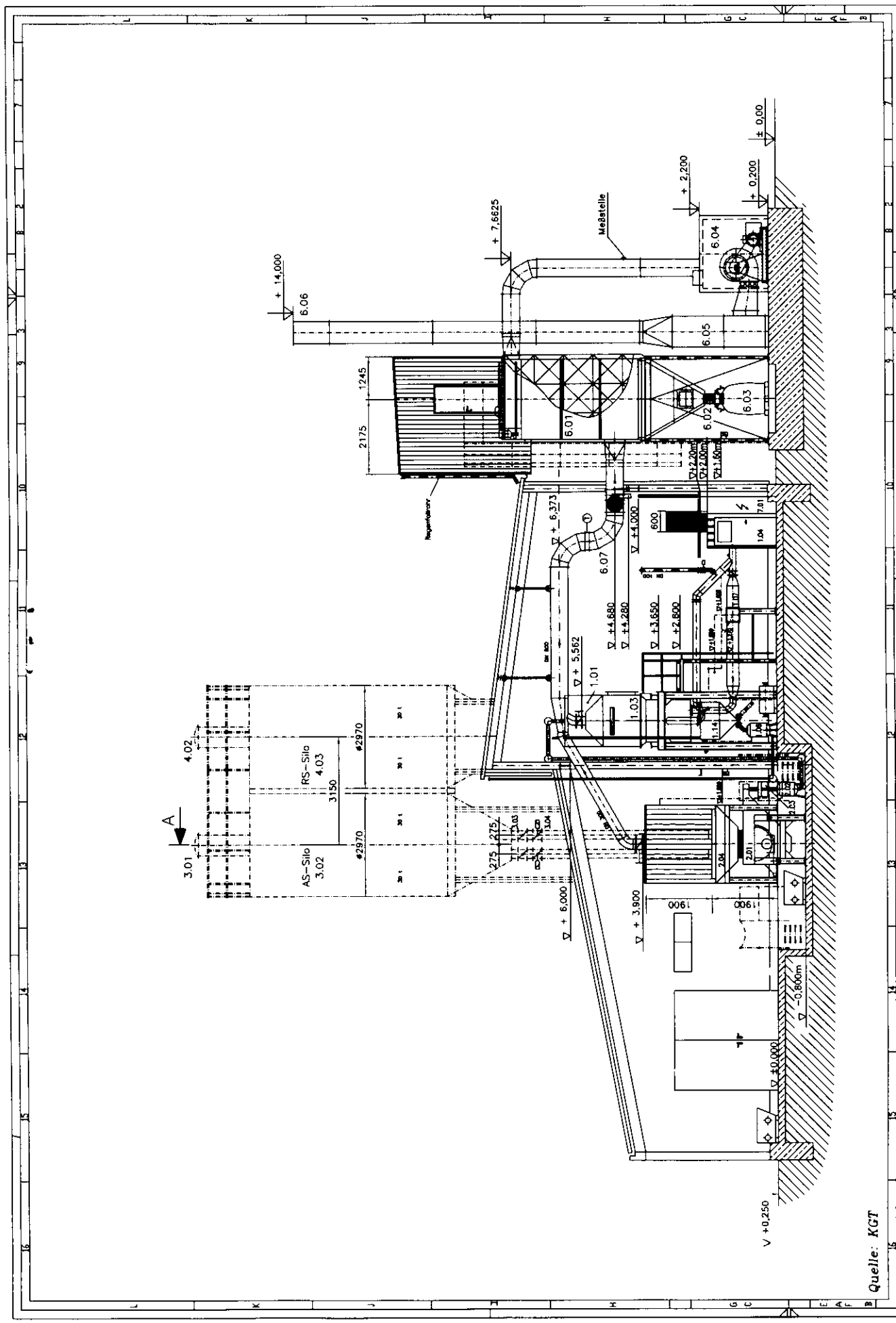
8 Boenisch, D.; Gärtner-Kaufmann, C.: Über die Zukunft der Altsandverwertung. Gießerei 79 (1992) 20, S. 826 - 838


Abluft
Notkühlluft
M
Staub
Falschluft
Druckluft
Frischluft
Gas
Entstaubung
G000-V-
03328.05.96
Mechanische Behandlung mit
KGT-JET-RECLAIMER
und Lufterhitzer
Fließ-Schema einer
mechanischen Regenerieranlage
Vorbehandlung
KGT

Quelle: KGT


Zufahrt (Tor)
Mitte Tor = Mitte Silo 1
Grundstücksgrenze
Fahrweg
Handformerei (Bestand)
Maschinenformerei (Bestand)
Kernmacherei (Bestand)
Regenerier-gebäude (Neubau)
Regenerat-silo
Altsand-silo
Bezugspunkt
OK Dachkante +8500
31500
15500
9500
6000
5500
8200
11200

Quelle: KGT


+ 14,000
6.06
+ 7,6625
Meßstelle
+ 2,200
+ 0,200
± 0,00
6.04
6.05
6.03
6.02
6.01
1245
2175
Regenerierwasser
+ 6,373
6.07
± 4,000
600
7.01
1.04
± 4,680
± 4,280
± 3,650
± 2,800
+ 5,562
1.01
1.03
1.14
1.06
4.02
RS-Silo
4.03
3150
Ø2970
Ø2970
AS-Silo
3.02
3.01
A
275
275
+ 6,000
+ 3,900
1900
1900
2.04
2.01
2.05
- 0,800m
± 0,000
V +0,250

Quelle: KGT

Lfd. Nr.	Parameter	Prüfvorschrift
1	Wassergehalt	VDG-Merkblatt P 32, Stand: November 1987
2	pH-Wert Säureverbrauch Auslaugung	DEV, DIN 38404, Teil 5, Stand: Januar 1984 DEV, DIN 38409, Teil 7, Stand Mai 1979 DEV, DIN 38414, Teil 4, Stand: April 1983
3	elektrische Leitfähigkeit	DEV, DIN 38404, Teil 8, Stand: September 1985
4	Schlämmstoffgehalt Siebanalyse Oolithisierungsgrad Methylenblauwert Glühverlust Natriumgehalt Kaliumgehalt TOC	VDG-Merkblatt P 27, Stand: März 1983 VDG-Merkblatt P 27, Stand: März 1983 VDG-Merkblatt P 34, Stand: Dezember 1987 VDG-Merkblatt P 35, Stand: August 1980 VDG-Merkblatt P 33, Stand: November 1987 Hausinterne Prüfvorschrift des IfG, Düsseldorf Hausinterne Prüfvorschrift des IfG, Düsseldorf Prüfanleitung des Geräteherstellers (Ströhlein)
5	Gasdurchlässigkeit	VDG-Merkblatt P 41, Stand: Februar 1996
6	Anfangs- und Enddruckfestigkeit	Hausinterne Prüfvorschrift des IfG, Düsseldorf (s. Versuchsbeschreibung)
7	Abriebfestigkeit	Hausinterne Prüfvorschrift des IfG, Düsseldorf (s. Versuchsbechreibung)
8	Restdruckfestigkeit	Hausinterne Prüfvorschrift des IfG, Düsseldorf (s. Versuchsbechreibung)
9	Verarbeitbarkeit	Hausinterne Prüfvorschrift des IfG, Düsseldorf

Mischungsherstellung

Es wurden 80 % Regenerat und 20 % Neusand H 33 homogenisiert, mit 10 % Wasser (bezogen auf die Binderzugabe) 30 sec. lang im Laborwirbelmischer vorgemischt und nach Zugabe von 3 Gew.-%. Nuclepon 20 weitere 2 min gemischt.

Prüfkörperherstellung für Gasdurchlässigkeit und Druckfestigkeit

Direkt nach Mischungsende wurden Normprüfkörper (50 mm Durchmesser, 50 mm Höhe für die Gasdurchlässigkeit und die Anfangs- und Enddruckfestigkeit durch Rammen mit 3 Rammschlägen hergestellt. Diese Prüfkörper wurden durch Begasen mit CO_2 ausgehärtet. Die Begasungszeit betrug 30 sec. Nach verschiedenen Sandlagerzeiten (Verarbeitungszeit) wurden Normprüfkörper hergestellt und nach 24stündiger Lagerung auf ihre Druckfestigkeit hin geprüft. Die Anfangsdruckfestigkeit wird am sofort nach Mischungsherstellung gefertigten Prüfkörper ermittelt. Die Enddruckfestigkeit wird nach 24-stündiger Lagerung der sofort nach Mischungsherstellung gefertigten Prüfkörper gemessen.

Abriebfestigkeit

Scheibenförmige Prüfkörper mit 50 mm Durchmesser und 12 mm Dicke dienten zur Bestimmung der Abriebfestigkeit. Die Prüfkörper wurden durch Schießen bei 4 bar verdichtet. Die Fertigung von Prüfkörpern erfolgte in kleeblattförmigen Ringsystemen in horizontaler Lage. Das Abriebfestigkeitsgerät ermöglicht die Darstellung von Festigkeitsprofilen über dem Gesamtquerschnitt eines Prüfkörpers. Jeweils zwei aus der gleichen Formstoffmischung hergestellte scheibenförmige Prüfkörper werden so weit wie möglich gegeneinander abgerieben. Zur Darstellung einer Abriebkurve wird der Prüfvorgang an zwei unverletzten Prüfkörpern begonnen. Mit jeweils gleichbleibender Drehzahl der Exzenterwelle, in diesem Fall 5 Umdrehungen, wird zunächst die Festigkeit der Kernhaut bestimmt. In aufeinanderfolgenden Stufen werden mit der gleichen Umdrehungszahl weitere Abriebwerte ermittelt.

Ein Satz "Dickenlehren" mit der Abstufung von jeweils einem Millimeter und eine Feilscheibe dienen zum "Egalisieren" der Prüfkörper sowie zur Einstellung einer genauen Probendicke. Diese Maßnahme ist notwendig, da zur Darstellung eines Festigkeitsgradienten innerhalb eines Prüfkörpers die jeweils genaue Meßtiefe bekannt sein muß. Die in den verschiedenen Teilen der Prüfkörper abgetragenen Sandmengen werden in g/min umgerechnet.

Restdruckfestigkeit

Aus der "frischen" Sandmischung werden Normprüfkörper (Durchmesser 50 mm, Höhe 50 mm) hergestellt, begast und 24 Stunden gelagert. Die Prüfkörper werden jeweils bei 200, 400 und 600 °C 2h im Ofen thermisch belastet. Nach dem Abkühlen auf Raumtemperatur wird die Druckfestigkeit ermittelt.

Berechnungsansatz 1 ***Anlagendurchsatz 1.500 t/a; Altsandentsorgungspreis 185 DM/t***

Bezeichnung	Einzelpreis	Kernherstellung Variante A		Kernherstellung Variante B			Kernherstellung Variante C		
		Mengen	Kosten	Mengen	Kosten	Einsparung	Mengen	Kosten	Einsparung
	DM/t	t/a	DM/a	t/a	DM/a	DM/a	t/a	DM/a	DM/a
Regenerat [ZP2]	n. b	0		885			1.275		
Neusand [E1]	87,--	1.765	153.555,--	880	76.560,--	76.995,--	490	42.630,--	110.925,--
Kerne [ZP1]	n. b.	1.765		1.765		0,--	1.765		
Verarbeitungsverluste [R2]	185,--	265	49.025,--	265	49.025,--	0,--	265	49.025,--	0,--
Altsand zur Entsorgung [R3]	185,--	1.500	277.500,--	460	85.100,--	192.400,--	0	0,--	277.500,--
Altsand zur Regenerierung [R1]	38,--	0	0,--	1.040	39.759,--	-39.759,--	1.500	57.345,--	-57.345,--
Filterstaub zur Entsorgung [R4]	185,--	0	0,--	155	28.675,--	-28.675,--	225	41.625,--	-41.625,--
Summe Sandkosten			**480.080,--**		**279.119,--**	**200.961,--**		**190.625,--**	**289.455,--**

Berechnungsansatz 2 ***Anlagendurchsatz 1.500 t/a; Altsandentsorgungspreis 164 DM/t***

Bezeichnung	Einzelpreis	Kernherstellung Variante A		Kernherstellung Variante B			Kernherstellung Variante C		
		Mengen	Kosten	Mengen	Kosten	Einsparung	Mengen	Kosten	Einsparung
	DM/t	t/a	DM/a	t/a	DM/a	DM/a	t/a	DM/a	DM/a
Regenerat [ZP2]	n. b.	0		885			1.275		
Neusand [E1]	87,--	1.765	153.555,--	880	76.560,--	76.995,--	490	42.630,--	110.925,--
Kerne [ZP1]	n. b.	1.765		1.765		0,--	1.765		
Verarbeitungsverluste [R2]	90,--	265	23.850,--	265	23.850,--	0,--	265	23.850,--	0,--
Altsand zur Entsorgung [R3]	90,--	1.500	135.000,--	460	41.400,--	93.600,--	0	0,--	135.000,--
Altsand zur Regenerierung [R1]	38,--	0	0,--	1.040	39.759,--	-39.759,--	1.500	57.345,--	-57.345,--
Filterstaub zur Entsorgung [R4]	90,--	0	0,--	155	13.950,--	-13.950,--	225	20.250,--	-20.250,--
Summe Sandkosten			**312.405,--**		**195.519,--**	**116.886,--**		**144.075,--**	**168.330,--**

Berechnungsansatz 3 ***Anlagendurchsatz 3.300 t/a; Altsandentsorgungspreis 164 DM/t***

Bezeichnung	Einzelpreis	Kernherstellung Variante A		Kernherstellung Variante B			Kernherstellung Variante C		
		Mengen	Kosten	Mengen	Kosten	Einsparung	Mengen	Kosten	Einsparung
<	DM/t	t/a	DM/a	t/a	DM/a	DM/a	t/a	DM/a	DM/a
Regenerat [ZP2]	n. b.	0		1.940			2.805		
Neusand [E1]	87,--	3.880	337.560,--	1.940	168.780,--	168.780,--	1.075	93.525,--	244.035,--
Kerne [ZP1]	n. b.	3.880		3.880		0,--	3.880		
Verarbeitungsverluste [R2]	90,--	580	52.200,--	580	52.200,--	0,--	580	52.200,--	0,--
Altsand zur Entsorgung [R3]	90,--	3.300	297.000,--	1.020	91.800,--	205.200,--	0	0,--	297.000,--
Altsand zur Regenerierung [R1]	38,--	0	0,--	2.280	87.164,--	-87.164,--	3.300	126.159,--	-126.159,--
Filterstaub zur Entsorgung [R4]	90,--	0	0,--	340	30.600,--	-30.600,--	495	44.550,--	-44.550,--
Summe Sandkosten			**686.760,--**		**430.544,--**	**256.216,--**		**316.434,--**	**370.326,--**