Cornelis Grefhorst, Walter Kleimann, D-Marl-Sinsen, Harry Gielissen, NL-Weert, Jan van Wijk, NL-Eindhoven

Einfluss von Regeneraten aus bentonitgebundenen Formstoffen auf die Aufbereitungseigenschaften von Nassgusssanden

Gegenstand des nachfolgenden Beitrags war es, Regenerate für die Verwendung als Kerngrundmasse beim Coldbox PUR-Verfahren zu untersuchen, zu charakterisieren und ihren Einfluß auf das Aufbereitungsverhalten von Naßgußsanden zu beurteilen.
Bei den Untersuchungen wurden Bentonite der Firma IKO - Erbslöh verwendet, und dabei ein besonderes Augenmerk auf die Qualität QUICKBOND® gelegt.

Allgemeines

Bentonitgebundene Formstoffe werden im allgemeinen in Gießereien in einem Kreislaufsystem eingesetzt. Abhängig vom Kernsandzulauf sind bei Zugabe von Hilfsstoffen wie Bentonit, Glanzkohlenstoffbildner und Quarzsand nach jedem Umlauf 95 bis 98 % des Formstoffes wieder zu verwenden und können erneut aufbereitet werden. Die Fertigung von Formen auf Hochleistungsformmaschinen in bentonitgebundenem Formstoff ergibt eine hohe Produktivität und dies bei einem relativ einfachen, umwelt- und energieschonenden Fertigungsverfahren. Ca. 70 % der Gußteile werden heute weltweit in bentonitgebundenen Formstoffen gegossen. Die Nutzung dieses Verfahrens hat aber zur Folge, daß die Menge der nicht mehr verwendbaren Altformstoffe (≈ 2 bis 5 % der aufbereiteten Formstoffmenge), absolut gesehen noch immer sehr hoch ist.

Grundlagen der Regenerierung von bentonitgebundenem Formstoff

Im Idealfall sollten bei der Regenerierung bentonitgebundener Formstoffe die Wertstoffe Quarzsand, Bentonit und Glanzkohlenstoffbildner von den Reststoffen totgebrannter Bentonit und inerter Staub vollständig getrennt werden, wobei zu beachten ist, daß ein Teil des totgebrannten Bentonits auf den Quarzkörnern haftet.
Die ideale Regenerierung ist aus wirtschaftlichen Gründen nicht realisierbar. In Regenerierungsanlagen werden Quarzsand, ein Teil des Bentonits sowie ein Teil des Glanzkohlenstoffbildners zurückgewonnen. Dabei unterscheidet man die thermische, mechanische und nasse Regenerierung oder Kombinationen aus den genannten Verfahren.

Aus wirtschaftlichen und ökologischen Gründen ist für die bentonitgebundenen Formstoffe die mechanische Regenerierung zu bevorzugen **(Bild 1)**.

Die mechanische Regenerierung - „Sand Cleaner"

Alle untersuchten Regenerate wurden mit dem GEMCO „Sand Cleaner" regeneriert. Die Regenerieranlage ist bestens für die Aufbereitung betonitgebundener Altsande geeignet und arbeitet mit hohem Wirkungsgrad. Das Prinzip des GEMCO SAND CLEANERS® basiert auf einem trockenen mechanischen Prozeß, der auf dem Schleifen der individuellen Sandkörner, kombiniert mit einer ständigen Entstaubung, beruht. Durch das Schleifen werden die Sandkörner von anhaftenden Bindemitteln und anderen Fremdkörpern gereinigt.
Ein sehr zweckmäßiges Entstaubungs- und Filterungssystem gewinnt

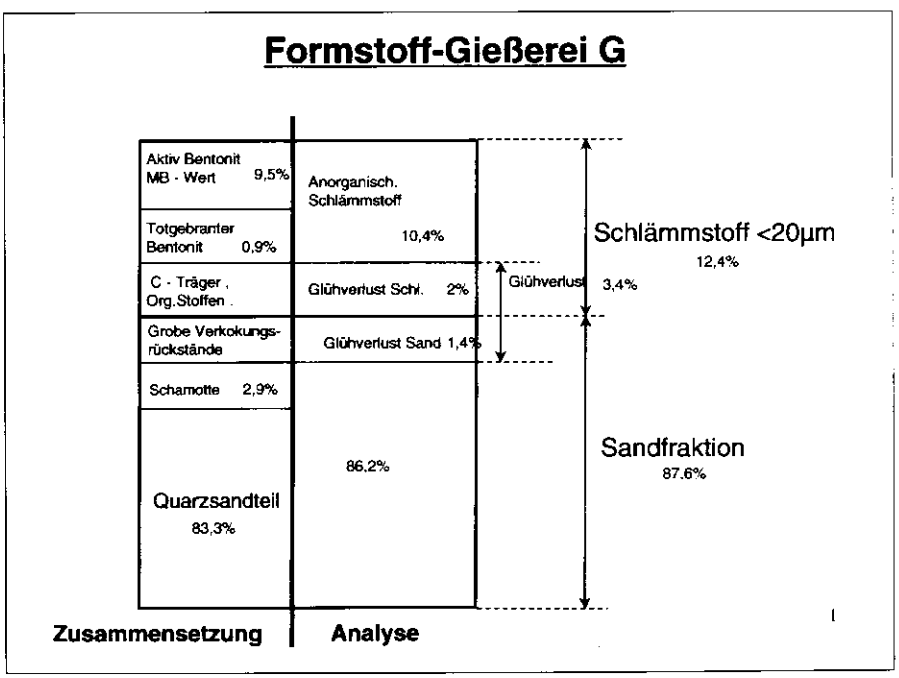


Bild 1: Die Zusammensetzung und Analyse von bentonitgebundenem Formstoff: Quarzsand, ein Teil des Bentonits und der Glanzkohlenstoffbildner sind wirtschaftlich regenerierbar.

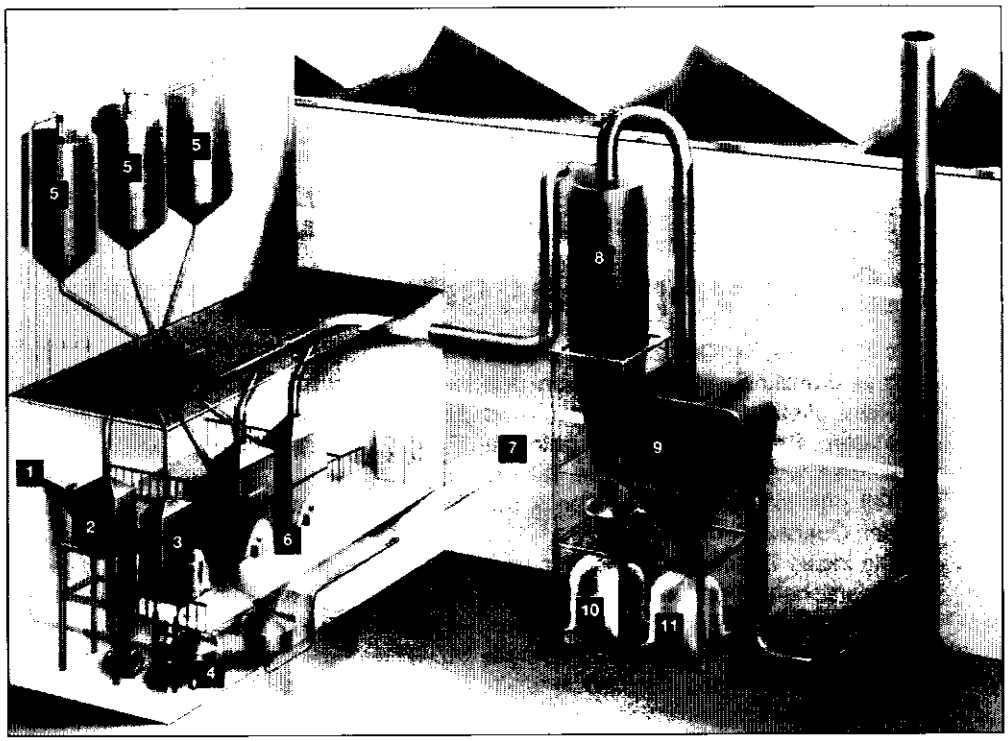


Bild 2:
„Sand Cleaner" Gesamtansicht

1 Sandeinlauf
2 Sandtrockner
3 Sandkühler
4 Pneumatischer Förderer
5 Trockensandsilo
6 SAND CLEANER®
7 Regenerierter Sand
8 Zyklon
9 Filter
10 Grobstaub
11 Feinstaub

die wertvollen Zusätze zurück und bewirkt gleichzeitig eine Eliminierung des Silicastaubs. Weiterhin wird die Form des Sandkornes abgerundet **(Bild 2)**.

Der getrocknete Formstoff wird in den „Sand Cleaner" befördert. Dieser ist mit einem Schaufelrad und einer horizontalen Schleifsteinwalze ausgerüstet **(Bild 2a)**.

Das sich langsam drehende Schaufelrad fördert den Formstoff nach oben, wobei dieser gegen den schnell rotierenden Schleifstein fällt. Durch Reibungskräfte zwischen Formstoff und Schleifstein sowie durch Reibung Korn an Korn wird die Binderhülle der Sandkörner entfernt. Es entsteht kein „Aufpralleffekt", die Sandkörner werden tangential angeschlagen. Das Regenerat wird während des Prozesses durchlaufend entstaubt. Grobe Staubpartikel werden durch einen Zyklon, der Feinstaub durch einen Trockenfilter abgetrennt. Ungefähr 25 % des Staubes ist Filterstaub mit hohem Bentonitgehalt.

Die untersuchten Regenerate

Die in der Arbeit untersuchten Regenerate wurden je nach ihrer Herkunft

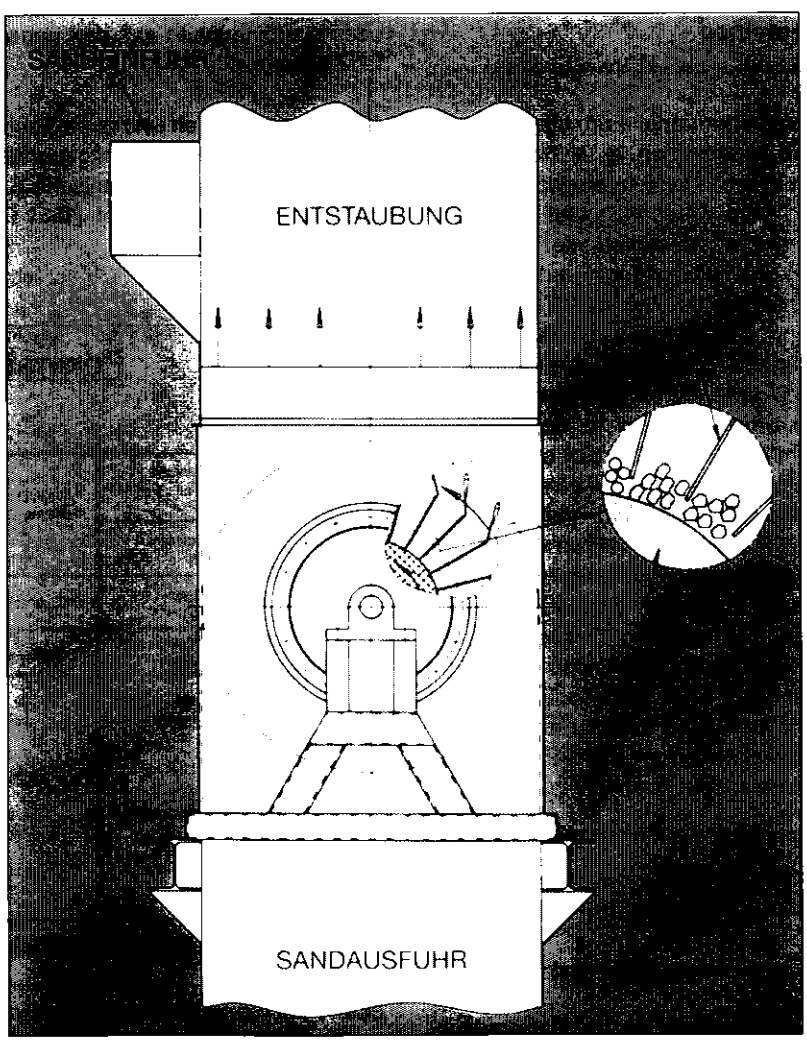


Bild 2a: Schema-Darstellung über Wirkungsweise des Sand Cleaners.

verschieden benannt.

Bei Reg. G handelt es sich um ein Regenerat aus 100 % bentonitgebundenem Formstoff aus dem Kreislaufsystem.

Bei Reg. B handelt es sich um ein Regenerat aus 50 % hoch belastetem, bentonitgebundenen Formstoff und 50 % Kernsand.

Reg. D entspricht Regenerat B, beinhaltet aber 20 bis 30 % hoch belasteten bentonitgebundenen Formstoff und 70 bis 80 % Kernsand.

4-jährige Praxis-Erfahrungen einer Gießerei

In die Untersuchung flossen Erfahrungen einer Gießerei ein, die seit 4 Jahren mit 2 Regenerieranlagen des Typs „Sand-Cleaner" arbeitet. 1990 wurde der erste, 1993 der zweite „Sand-Cleaner" installiert. Ab 1996 wird der Altsand vollständig regeneriert. Der so zurückgewonnene Quarzsand wird nach Zugabe von 20 % Neusand zur Kernherstellung eingesetzt. Die Neusandzugabe in das Formsandsystem erfolgt lediglich über die Kerne.

Folgende positiven Ergebnisse wurden erzielt:

- Die Kerne haben ausreichende Festigkeiten bei Erhöhung der Binderzugabe um 10 %.
- Die Blattrippenempfindlichkeit ist reduziert. Die Prozeßsicherheit hat zugenommen.
- Sowohl kernseitig als auch formsandseitig ist die Gußoberfläche ohne Verwendung von Schlichten vergleichbar.
- Der Verbrauch an Schlichte wurde reduziert.
- Eine größere Energieaufnahme im Mischer deutet auf eine höhere Aufbereitungsintensität und somit auf einen verbesserten Aufbereitungsgrad hin.
- Die Festigkeiten des Formstoffes, vor allem die Spaltfestigkeiten, wurden entscheidend verbessert.

Anforderungen an regenerierte Sande (Richtwerte)		
Glühverlust	0,30%	VDG - R93
Schlämmstoffe	0,30%	VDG - R93
Oolithisierungsgrad	3%	VDG - R93
pH-Wert	6 bis 8	
Biegefestigkeit (Kerne)	80% des Neusandes	
Leitfähigkeit 30 - 40 µS/cm	Literatur	

Tabelle 1: Wichtige Anforderungen an regenerierte Quarzsande.

Anforderungen und Beurteilungskriterien

Das VDG-Merkblatt R 93 beinhaltet Richtlinien zur Beurteilung von regenerierten Quarzsanden bei Verwendung als Formgrundstoff für Kernfertigungsverfahren. Entsprechende Richtwerte zeigt **Tabelle 1**.

Die zu beurteilenden Regenerate wurden auf die nachstehenden Eigenschaften untersucht:

- Grundeigenschaften
- Aussehen und Oberflächenstruktur der Körner
- Formgrundstoffe für Cold-Box Verfahren:
  - Biegefestigkeiten
  - Blattrippenbildung/Ausdehnungsverhalten
- Formgrundstoffe für bentonitgebundenen Formstoff:
  - Einwegaufbereitung: Festigkeitseigenschaften
  - Kumulative Aufbereitung: Festigkeitseigenschaften und die Ergebnisse der Grundeigenschaften sind in **Tabelle 2** dargestellt.

Regenerate aus der Produktion.	Gießerei		
Grundeigenschaften	Reg. G	Reg. B	Reg. D
Glühverlust (%)	0,72	0,25	0,43
Schlämmstoffgehalt (%)	0,96	0,97	0,39
Oolithisierungsgrad (%)	2,9	1,7	0,3
pH-Wert	9,9	9,2	9,1
elektr.Leitfähigkeit (µS/cm)	117	71	41
MB-Wert (ml)	3	3	2
Aktivtongehalt (%)	1,0	1,0	0,7
Mittlere Korngröße (mm)	0,22	0,28	0,31
AFS-Zahl	62	56	48
spez. Oberfläche (cm^2/g)	108	96	80

Tabelle 2: Grundeigenschaften von Regeneraten.

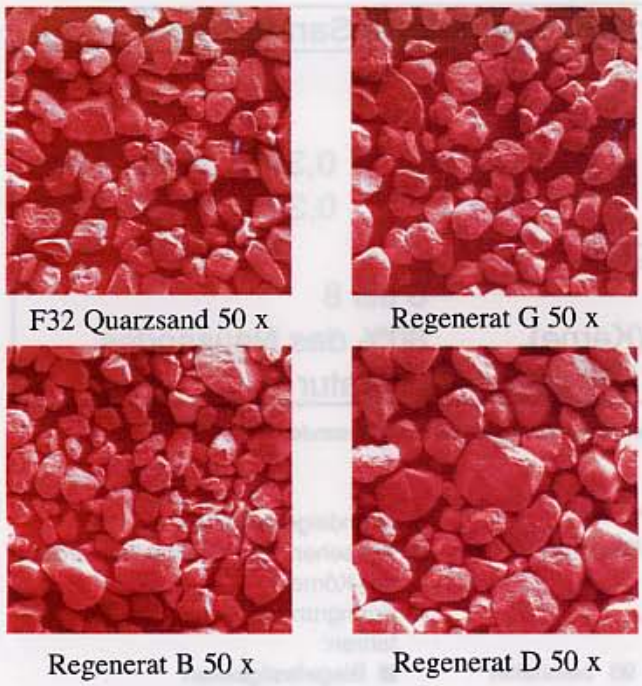


Bild 3a: Quarzsandkörner, 50-fach vergrößert.

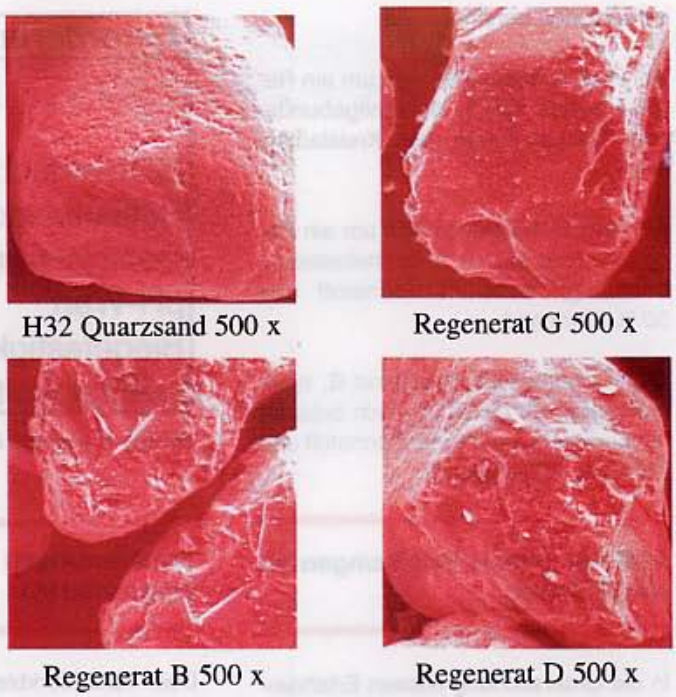


Bild 3b: Quarzsandkörner, 500-fach vergrößert.

Das beste Untersuchungsergebnis erzielte Regenerat D, weil es die Anforderungen der VDG-Richtlinie R 93 am besten erfüllt hat. Regenerate, die zum Teil aus Kernsand aufbereitet wurden, sind besser „gereinigt" als solche, die nur aus bentonitgebundenem Formstoff bestehen.
Ein feinkörniges Granulat ist schwieriger zu regenerieren als ein grobkörniges.

Aussehen und Oberflächenstruktur der Körner

Die Regenerate wurden auch mittels eines Raster-Elektronenmikroskopes untersucht. Als Vergleich diente ein Quarzsand H 32. In den Bildern 3a und 3b sind verschiedene Vergrößerungen der Quarzkörner zu erkennen.

Die Darstellungen zeigen, dass die Regenerierung im „Sand-Cleaner" schonend abläuft und splittrige Körner nicht nachweisbar sind.
Bei der 500-fachen Vergrößerung ist deutlich zu erkennen, dass die Kornoberfläche Reste der oolithischen Hülle aufweist.

Regenerate als Formgrundstoff für Cold-Box Verfahren

Eine Regenerierung ist nur dann sinnvoll, wenn man die Regenerate als Formgrundstoff bei der Kernherstellung einsetzen kann. Zusätzlich wurde ein Quarzsand (F 32) im „Sand-Cleaner" geschliffen und in die Untersuchung einbezogen.

Biegefestigkeiten

Probestäbe aus Reg. G und Reg. B ergaben fast identische Biegefestigkeiten. Die relative Biegefestigkeit von Reg. G lag bei 63 bis 74% bei einer Lagerzeit von 0 bis 24 h. Die Werte bei Reg. B lagen zwischen 61 und 71 %. Die Untersuchung ergab weiter, dass die Biegefestigkeit von Reg. D mit

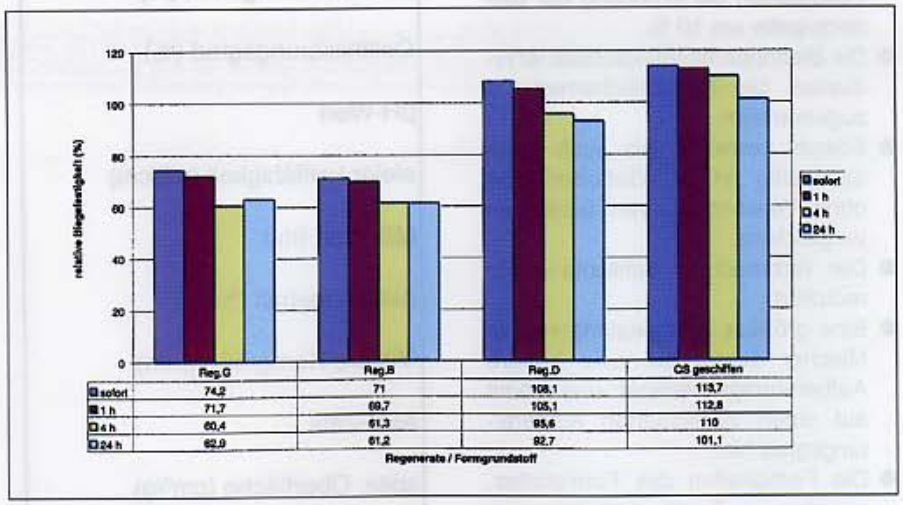


Diagramm 1a:
Relative Biegefestigkeiten von Probestäben, sofortige Verarbeitung, bezogen auf Quarzsand H 32.

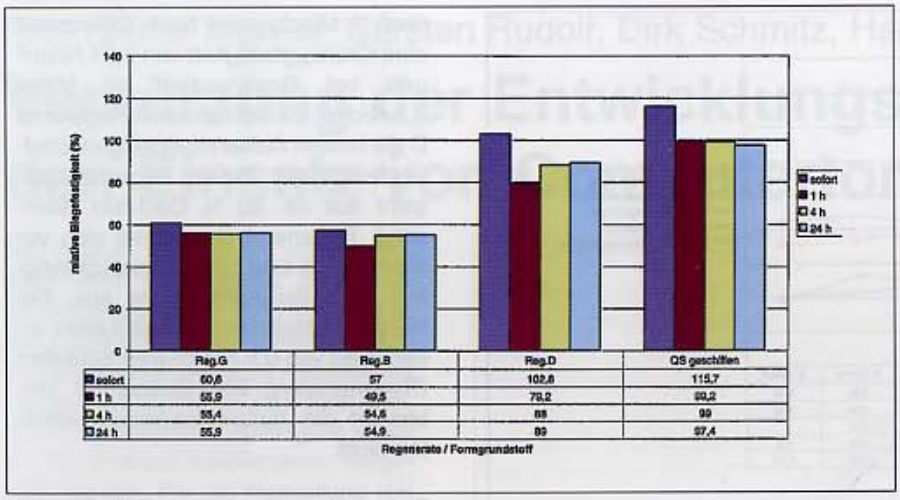


Diagramm 1b:
Relative Biegefestigkeiten von Probestäben, Verarbeitung nach einer Stunde, bezogen auf Quarzsand H 32.

Neusand H 32 (93 bis 108 %) vergleichbar ist. Dagegen brachte das Schleifen von Quarzsand nur eine leichte Erhöhung der Biegefestigkeit von 101 bis 114 % **(Diagramm 1a und 1b).**

Die Gießerei G gibt für die Kernfertigung 20 % Neusand zu.

Die Unterschiede bei den Biegefestigkeiten der mit Regenerat hergestellten Biegestäbe können durch die unterschiedlichen Grundeigenschaften der Regenerate vollständig erklärt werden. Zum Beispiel hat Regenerat D aufgrund seiner niedrigen Leitfähigkeit (41 μ S / cm) die höchste relative Biegefestigkeit und Regenerat G aufgrund seiner hohen Leitfähigkeit (117 μ S / cm) die geringste relative Biegefestigkeit.

Blattrippenbildung und Ausdehnungsverhalten

Die Gießerei G ist diejenige, die seit vier Jahren den „Sand-Cleaner" im Einsatz hat. Während des Betriebs wurde festgestellt, dass Kerne, die vollständig oder teilweise aus Regeneraten gefertigt werden, weniger Ausdehnungsfehler aufweisen. Dies ist durch den vorliegenden Staub, die Kohlenstaubreste sowie Reste der Binderhülle erklärbar. Um diesen Effekt zu quantifizieren, wurden Domkernprüfkörper aus Quarzsand (QS), geschliffenem Quarzsand (QS, geschliffen) und Regeneraten abgegossen. Vergossen wurde GGL 20 bei 1400° C.

Die Blattrippenbildung **(Tabelle 3)** wurde visuell beurteilt und in 5 Klassen eingeordnet:

Klasse 0 Keine Blattrippen
Klasse 2 Ansatz zur Blattrippenbildung
Klasse 3 Geringe Blattrippenbildung
Klasse 4 Deutliche Blattrippenbildung
Klasse 5 Starke Blattrippenbildung in Höhe und Tiefe

Durch die Versuche wurde bestätigt, dass bei Verwendung von Regeneraten bei der Kernfertigung nach dem Cold-Box-PUR-Verfahren die Blattrippenbildung stark reduziert wird. Dabei ist die Reduzierung sehr stark vom Reinheitsgrad des Regenerats abhängig. Auch wird die Blattrippenbildung durch das Schleifen von Quarzsand kaum verringert.

Verwendung von Regeneraten als Formgrundstoff für bentonitgebundenen Formstoff

Weitere Untersuchungen wurden mit Formstoffmischungen durchgeführt, bei denen jeweils 7 % IKO-BOND D, IKO-BOND E oder QUICKBOND® (bezogen auf Trockensubstanz) zur Aufbereitung eingesetzt wurden. Nach jedem Zyklus wurde der Formstoff auf eine Restfeuchte von ca. 1 % heruntergetrocknet.

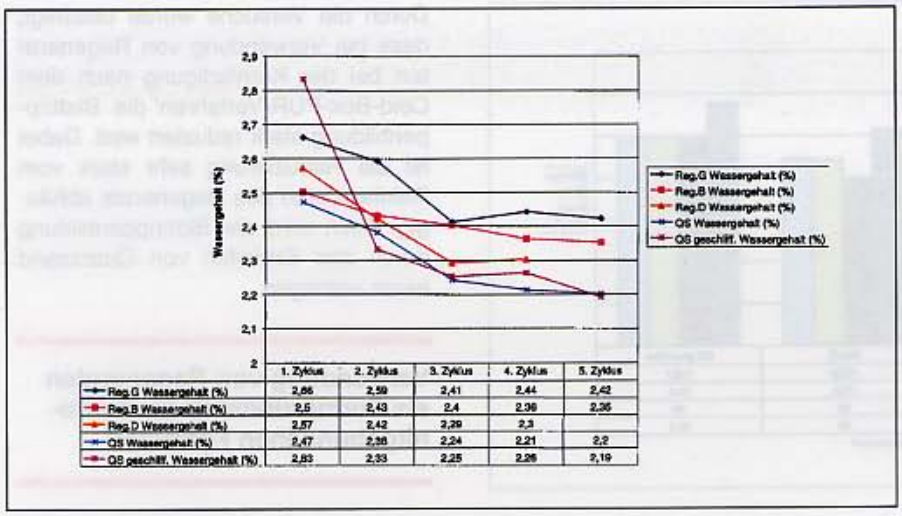
Die **Diagramme 2a bis 2d** zeigen die Ergebnisse der Messung des Wassergehaltes, Messung der Gründruckfestigkeit, Messung der Grünzugfestigkeit und Messung der Nasszugfestigkeit. Die Regenerate enthalten maximal 1% aktiven Bentonit. Dies erklärt aber nicht die Zunahme der Festigkeitswerte. Zum Beispiel findet man

Blattrippenbildung an Domkernprüfkörpern

Abguß GG 20 , 1400° C , QS g = Quarzsand geschliffen
Cold-Box-PUR 0,65 % / 0,65 % , 0 = keine Blattrippen

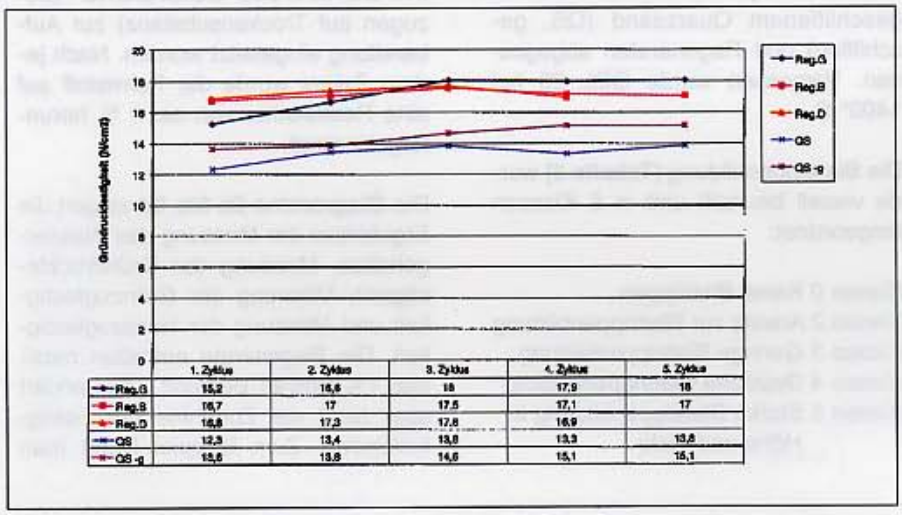
	Formgrundstoff		Regenerat		
	QS	QS g	G	B	D
Abguß 1	4	2	0	0	1
Abguß 2	3	1	0	0	
Abguß 3	4	3	1	1	1
Abguß 4		2	0	1	2
Mittelwert	**3,7**	**2**	**0,3**	**0,5**	**1,3**

Tabelle 3: Blattrippenbildung, 0 = keine Blattrippen → 5 = starke Blattrippenbildung.



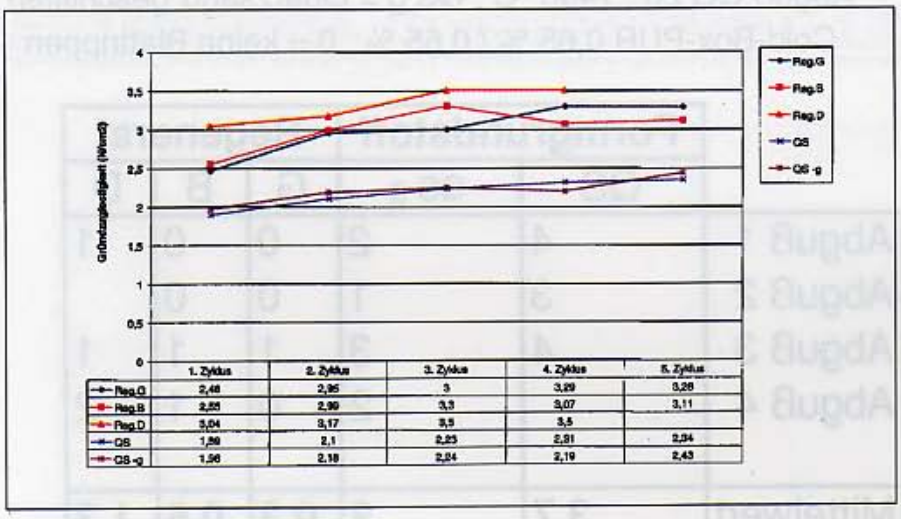
	1. Zyklus	2. Zyklus	3. Zyklus	4. Zyklus	5. Zyklus
Reg.G Wassergehalt (%)	2,66	2,59	2,41	2,44	2,42
Reg.B Wassergehalt (%)	2,5	2,43	2,4	2,36	2,35
Reg.D Wassergehalt (%)	2,57	2,42	2,29	2,3	
QS Wassergehalt (%)	2,47	2,36	2,24	2,21	2,2
QS geschliff. Wassergehalt (%)	2,83	2,33	2,25	2,26	2,19

Diagramm 2a:
Kumulative Aufbereitung von Regeneraten, Quarzsand und geschliffenem Quarzsand mit 7% IKO-BOND D bei einer Verdichtung von 40%, Messung des Wassergehaltes.



	1. Zyklus	2. Zyklus	3. Zyklus	4. Zyklus	5. Zyklus
Reg.G	15,2	16,6	18	17,9	18
Reg.B	16,7	17	17,5	17,1	17
Reg.D	16,8	17,3	17,8	16,9	
QS	12,3	13,4	13,8	13,3	13,8
QS -g	13,6	13,8	14,6	15,1	15,1

Diagramm 2b:
Kumulative Aufbereitung von Regeneraten, Quarzsand und geschliffenem Quarzsand mit 7% IKO-BOND D bei einer Verdichtung von 40%, Messung der Gründruckfestigkeit.



	1. Zyklus	2. Zyklus	3. Zyklus	4. Zyklus	5. Zyklus
Reg.G	2,48	2,95	3	3,29	3,28
Reg.B	2,55	2,99	3,3	3,07	3,11
Reg.D	3,04	3,17	3,5	3,5	
QS	1,99	2,1	2,23	2,31	2,34
QS -g	1,96	2,18	2,24	2,19	2,43

Diagramm 2c:
Kumulative Aufbereitung von Regeneraten, Quarzsand und geschliffenem Quarzsand mit 7% IKO-BOND D bei einer Verdichtung von 40%, Messung der Grünzugfestigkeit.

nach 3 Mischzyklen beim Quarzsand eine Grünzugfestigkeit von 2,24 N/cm² und bei Regeneraten im Mittel 3,3 N/cm². Es wurden beim Regenerat D die besten Aufbereitungseigenschaften festgestellt. Dieses Regenerat besteht aus ca. 80 % Cold-Box Kernsand. Regenerat D zeichnet sich vor allem durch eine hohe Nasszugfestigkeit nach der Aufbereitung aus. Die Nasszugfestigkeiten überschreiten einen Wert von 0,5 N/cm².Das Schleifen (Regenerieren) von Quarzsand verbessert die Aufbereitungseigenschaften nicht.

Die positiven Ergebnisse unter Einsatz des Regenerats G zeigen die **Diagramme 3a bis 3d**.

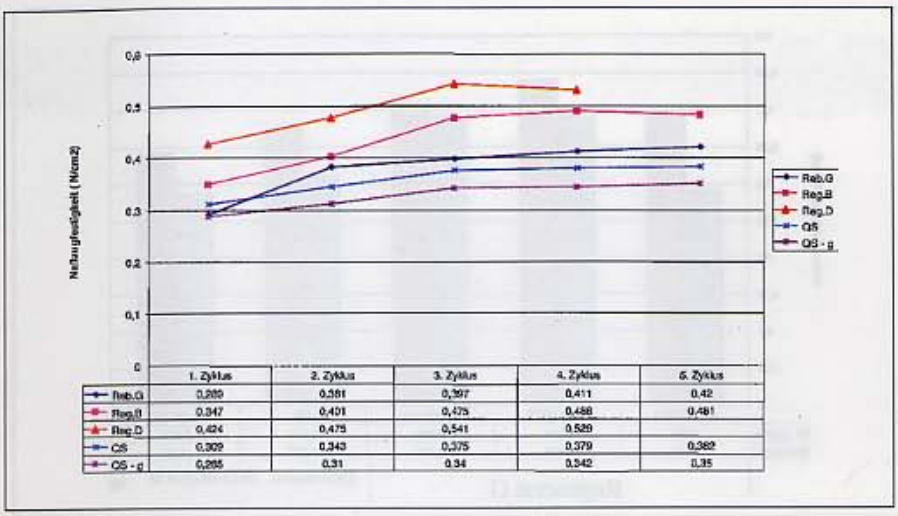
Alle verwendeten Bentonite (IKO-BOND D, IKO-BOND E und QUICKBOND®) erzielten bei einer Aufbereitung mit Regeneraten bessere Festigkeiten als mit dem Formgrundstoff Quarzsand. Die Fließbarkeit nach Orlov ist bei den mit Regeneraten hergestellten Formstoffen höher.

Das Ergebnis bei QUICKBOND®, einem nach patentiertem Verfahren mit Prozesskohlenstoff aufbereiteten Bentonit, zeigt eindeutig, daß beim ersten Aufbereitungszyklus bessere Festigkeiten als beim Basisbentonit IKO-BOND D erzielt werden.

Die Fließfähigkeit des Formstoffes wird durch den Einsatz von QUICKBOND® erheblich verbessert.

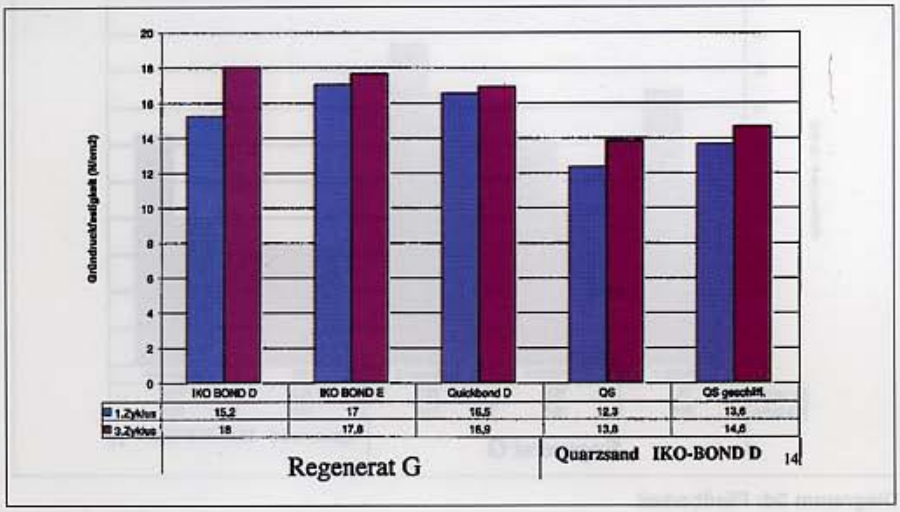
Zu erwähnen ist noch, dass IKO-BOND D und QUICKBOND® thermisch stabile Bentonite sind, die sich durch einen entsprechend niedrigen Verbrauch auszeichnen [1].

Letztendlich wurde die Einwegaufbereitung der Regenerate G, B und D untersucht. Die Ergebnisse weichen kaum von der kumulativen Aufbereitung ab. Auch hier wird festgestellt, daß Regenerat D mit 7 % IKO-BOND D die besten Festigkeiten erzielt. Im Vergleich mit dem Formgrundstoff Quarzsand liegen alle Werte auf höherem Niveau.



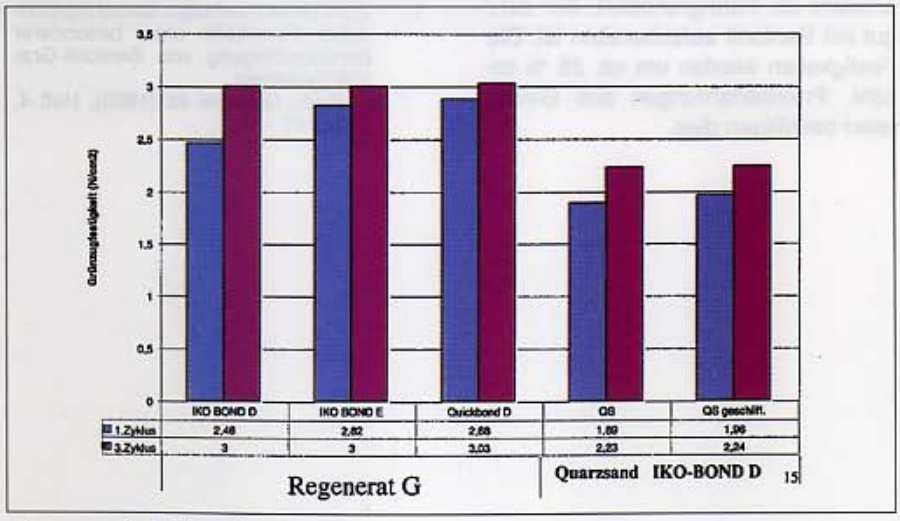
	1. Zyklus	2. Zyklus	3. Zyklus	4. Zyklus	5. Zyklus
Reb.G	0,289	0,381	0,397	0,411	0,42
Reg.B	0,347	0,401	0,475	0,488	0,481
Reg.D	0,424	0,475	0,541	0,529	
QS	0,309	0,343	0,375	0,379	0,382
QS - g	0,265	0,31	0,34	0,342	0,35

Diagramm 2d:
Kumulative Aufbereitung von Regeneraten, Quarzsand und geschliffenem Quarzsand mit 7% IKO-BOND D bei einer Verdichtung von 40%, Messung der Nasszugfestigkeit.



	IKO BOND D	IKO BOND E	Quickbond D	QS	QS geschliff.
1.Zyklus	15,2	17	16,5	12,3	13,6
3.Zyklus	18	17,8	16,9	13,8	14,6

Diagramm 3a:
Kumulative Aufbereitung beim 1. und 3. Zyklus. Der Formgrundstoff Regenerat G wurde mit 7% IKO-BOND D, IKO-BOND E und QUICKBOND® aufbereitet und mit dem Formgrundstoff Quarzsand sowie mit geschliffenem Quarzsand, aufbereitet mit IKO-BOND, verglichen.



	IKO BOND D	IKO BOND E	Quickbond D	QS	QS geschliff.
1.Zyklus	2,48	2,82	2,88	1,89	1,96
3.Zyklus	3	3	3,03	2,23	2,24

Diagramm 3b: Grünzugfestigkeit

Zusammenfassung

Die Regenerierung im „Sand-Cleaner" ist ein für das Quarzkorn schonendes Verfahren. Die Grundeigenschaften der Regenerate bestimmen die Einsatzfähigkeit beim Cold-Box-PUR Verfahren.

Das Regenerat von Gießerei D entstand aus 80 % Kernsand und 20% Formstoff. Dieses Regenerat zeichnet sich durch hervorragende Eigenschaften sowohl in der Kernfertigung als auch bei der Aufbereitung mit IKO-BOND D - Bentonit aus.

Die Gießereien G und B regenerieren bis zu einem Reinigungsgrad, der aus ökonomischen Gesichtspunkten sinnvoll ist, d. h. minimale Regenerierung, aber mit einer Qualität, die für die Kernfertigung ausreicht. Es werden Vorteile in Richtung geringerer Kernausdehnungsfehler und weniger Schlichteverbrauch erzielt.

Neue Erkenntnisse aus diesen Untersuchungen besagen, daß alle drei Regenerate mit IKO- BOND D Bentonit hervorragend aufzubereiten sind. Die Festigkeiten liegen weit über dem normalen Niveau des mit Quarzsand aufbereiteten Bentonits, d. h. Gründruckfestigkeiten + 26 %, Grünzugfestigkeiten + 45 % und Nasszugfestigkeiten + 5 % bis + 40 % **(Diagramme 2b, 2c und 2d)**. Eine Erklärung für dieses Phänomen ergibt sich aus der geänderten Oberflächenbeschaffenheit der Sandkörner, verursacht durch die Entstehung einer oolithischen Hülle, die bei der Regenerierung teilweise wieder abgeschliffen wird.

Auch bei Verwendung anderer Bentonite wie IKO-BOND E oder QUICKBOND® ist ein verbessertes Aufbereitungsverhalten bei Einsatz von Regeneraten als Formgrundstoff erkennbar. Bentonite des Typs QUICKBOND® schließen im Mischer schneller auf, ergeben die beste Fließfähigkeit des Formstoffes und sind im Vergleich zu anderen Bentoniten thermisch stabiler. QUICKBOND® erreicht seine maximalen Festigkeiten schon nach einem Aufbereitungszyklus.

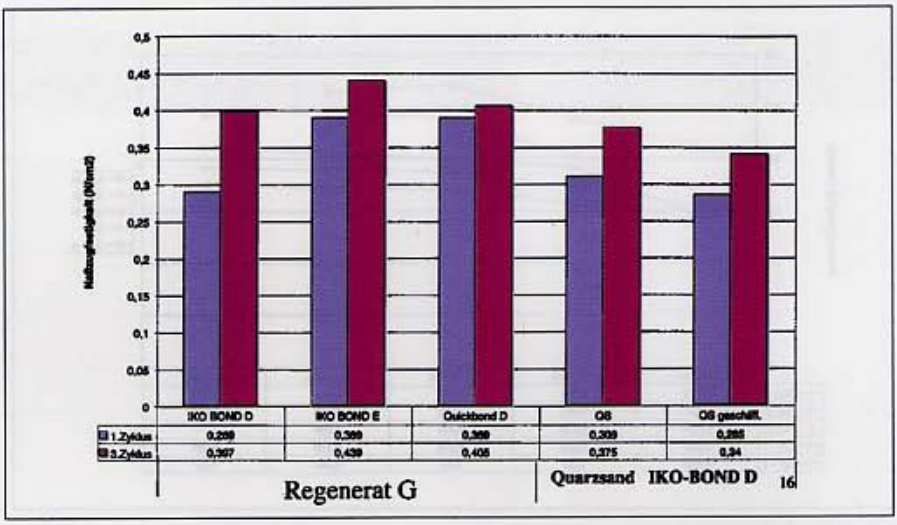


Diagramm 3c: Nasszugfestigkeit

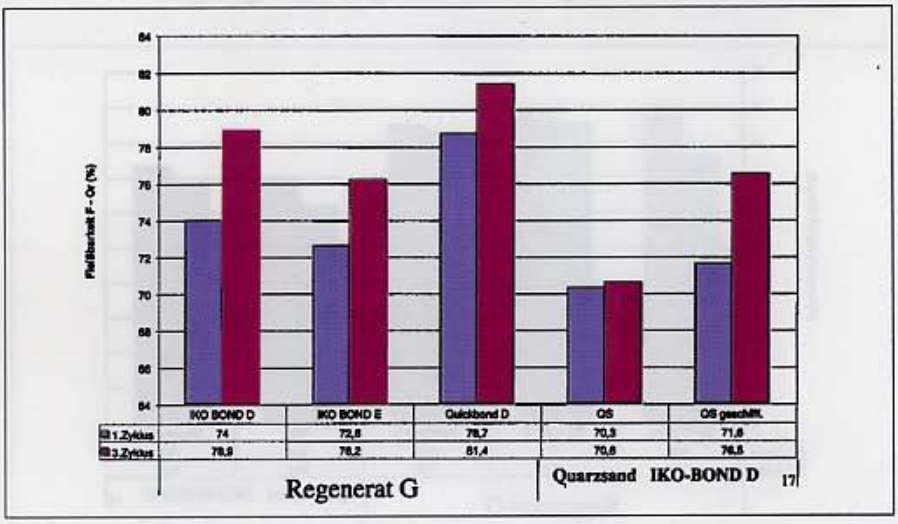


Diagramm 3d: Fließbarkeit

Bei der mechanischen Regenerierung von bentonitgebundenen Formstoffen entsteht ein Formgrundstoff, der sehr gut mit Bentonit aufzubereiten ist. Die Festigkeiten werden um ca. 25 % erhöht. Praxiserfahrungen aus Gießereien bestätigen dies.

Literatur

1. Zum Umlaufverhalten bentonitgebundener Formstoffe unter besonderer Berücksichtigung von Bentonit-Graphit-Systemen.
J. Baier: Gießerei 82 (1995), Heft 4, Seite 107 - 111.