

Bentonite als Formstoffbinder – eine praxisnahe Bewertung der Eigenschaften

Teil 2

W. Tilch, C. Grefhorst, W. Kleimann

Einführung

Im 1. Teil der Arbeit [1] wurden die Vorteile der Anwendung bentonitgebundener Formstoffe bei der Fertigung von Gußteilen sowie die Anforderungen an Bentonite in den verschiedenen Prozeßstufen dargestellt. Neben dem Formgrundstoff bestimmt der eingesetzte Binder (Bentonite) die erreichbaren Formstoffeigenschaften im Kontext mit den Bedingungen bei der Formstoffaufbereitung. Die Erfassung und Be-

vorgestellt werden, um die verfahrens- und sortimentspezifischen Anforderungen in Wechselwirkung zu einer umfassenden Eigenschaftscharakterisierung darzustellen. Dies ist eine Grundlage für eine optimale, ganzheitlich begründete Rohstoffauswahl.

Formtechnologische Eigenschaften

Der Formbildungsprozeß zur Ausbildung des gestaltsgebenden Form-

- Trennen der verdichteten Form vom Modell (Ausformen) – Konturerhaltung

Um Aussagen zum formtechnologischen Verhalten tongebundener Formstoffmischungen bzw. verschiedener Binder (Bentonite) zu ermöglichen, sind entsprechende Prüfverfahren zur Charakterisierung der o.g. Prozeßstufen einzusetzen.

Folgende Eigenschaften wurden ermittelt (s. Tafel 1):

Tafel 1. Einflußnahme der Bentonitart und von Prozeßkohlenstoffzusatz auf das Verdichtungsverhalten (Fließbarkeit, Abformverhalten)

Bentonitart	Fließbarkeit nach Orlov, F_{OR} [%]			Bodendruck [N/cm ²]	Abformung Kammodell								
	bei Preßdruck [MPa]				Formhärte bei FS				Formfestigkeit bei FS				FS max.
	0,5	1,0	1,5		1,1	2,5	3,3	5,0	1,1	2,5	3,3	5,0	
T	72	78	89	33,3	91,5	84,5	75,5	65,5	16,8	11,7	7,3	<4	2,9
E	74	82	86	37,5	92,5	86,5	78	67,5	18,4	12,9	8,3	4,7	3,1
S	70	77	81	28,5	90,5	82,5	73	54	16,1	10,3	6,5	<4	2,7
TQ	80	88	94	40,7	93	87,5	81,5	74,5	18,8	13,7	10,2	6,8	3,75
EQ	82	90	95	45,5	94	91,5	85	80	19,8	15,3	12,1	9,3	4,8
SQ	80	87	93	38,9	92	80,5	80,5	72,5	17,3	12,8	9,4	6,3	3,3
S + 4% Antrapur	82	87	93	40,5	93,5	89	82,5	77,5	19,4	15,1	11,5	8,2	4,2

wertung des aufbereitungstechnologischen Verhaltens und des Umlaufverhaltens wurden im 1. Teil der Arbeit ausführlich erörtert.

Im 2. Teil werden die formtechnologischen Eigenschaften, das Verhalten bentonitgebundener Formstoffe beim Gießen und die Regenerierbarkeit näher betrachtet.

Abschließend soll eine Methodik

hohlraumes verläuft in drei Prozeßstufen:

- Einbringen des Formstoffes in den Formkasten bzw. die Formkammer – Konturenvorbildung
- Verdichtung (Verfestigung) des losen bzw. vorverdichteten Formstoffes durch verschiedene Verdichtungsprinzipien – Konturen Ausbildung

1. Fließbarkeit nach Orlov (für die Verdichtungsverfahren Rammen/Impuls, Hochdruckpressen). Die Fließbarkeit eines Formstoffes beschreibt die Fähigkeit, unter der Einwirkung einer Verdich-

Prof. Dr.-Ing. habil. W. Tilch, Giesserei-Institut der Technischen Universität Bergakademie Freiberg, Freiberg/Sa., C. Grefhorst und W. Kleimann, IKO-Erbslöh, Marl

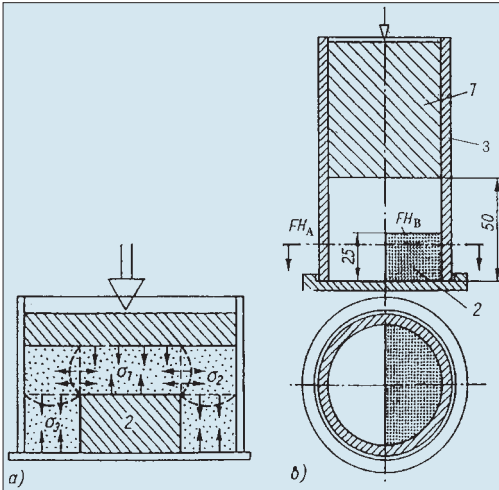


Bild 1. Fließbarkeit nach Orlov

a) auftretende Spannungen bei der Verdichtung
 $\sigma_{1,2,3}$ - Verdichtungsspannungen; σ_3/σ_1 - Fließbarkeit nach Orlov;

b) Prüfmethode

1 - Preßkolben

2 - Prüfeinsatz (Modell)

3 - Prüfhülse

$$F_{OR} = \frac{FH_A}{FH_B} \cdot 100\%$$

FH - Formhärte (GF)

tungskraft sich so umlagern (fließen) zu können, daß nach der Verdichtung in allen Formbereichen eine möglichst gleiche Dichte und damit gleiche Formeigenschaften vorhanden sind. Orlov [2] bezeichnet als Fließbarkeit des Formstoffes dessen Fähigkeit

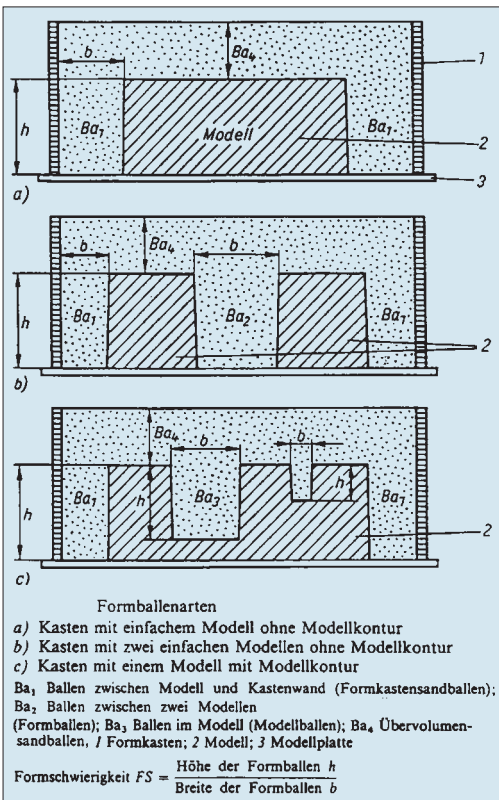


Bild 2: Formballenarten und Formschwierigkeit

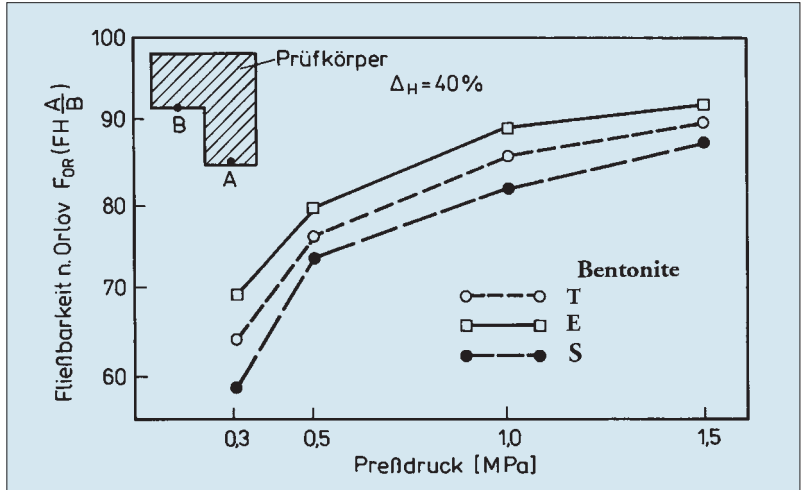


Bild 3: Einfluß der Bindeart auf die Fließbarkeit

zum Ausgleich von Druckspannungsunterschieden in der Form durch seitliches Fließen. Er verwendet das Verhältnis der Verdichtungsspannungen neben dem Modell (σ_3) zu den Spannungen oberhalb des Modells (höchste Spannungen) als Maß der Fließbarkeit. Ermittelt wird der Wert der Fließbarkeit aus dem Verhältnis der Formhärten an einem speziellen Prüfkörper (s. Bild 1).

$$F_{OR} = \frac{\text{Formhärte A}}{\text{Formhärte B}} \cdot 100\%$$

2. Ermittlung des Bodendruckes (Wirkdruck) als Kennwert für das Verdichtungsverhalten beim Impulsformverfahren. Ein großer Bodendruck zeigt an, daß der Formstoff unter der Wirkung der Verdichtungsfront (des Impulses) und beim Aufschlagen auf die Modellplatte eine hohe und gleichmäßige Verdichtung auch in schwierigen Ballen erreicht.
3. Erreichbare Formhärte und Festigkeit bei der Verdichtung von Formballen mit unterschiedlichem Formschwierigkeitsgrad (FS) durch Pressen und Impulsverdichtung eines Testmodells (s. Bild 2).

$$FS = \frac{\text{Höhe der Ballen}(h)}{\text{Breite der Ballen}(b)}$$

Damit kann das Abformverhalten unterschiedlicher Formmischungen unter Berücksichtigung der Form- bzw. Modellgeometrie ermittelt werden.

Als Maßstab für das Verdichtungsverhalten gilt die erreichbare Formqualität (Formhärte-/Formfestigkeit) an Formballen unterschiedlicher geometrischer Abmessungen (Höhe bzw. Breite der Ballen).

4. Grünzugfestigkeit, Formstoffplastizität (Shatter-Index), Ausstoßkraft, elastische Rückfederung und Verformbarkeit nehmen Einfluß auf das Ausformverhalten.

Formstoff-Fließbarkeit

Den Einfluß unterschiedlicher Binder auf die Fließbarkeit nach Orlov zeigt Bild 3. Die Höhe der Formstoff-Fließbarkeit wird erheblich durch die Bentonitart beeinflusst. Die günstigsten Eigenschaften erreichen Formstoffmischungen bzw. Bentonite, die eine hohe Grünfestigkeit und eine geringe innere Zähigkeit (Plastizität) aufweisen. Dies ist auch der Grund dafür, warum trocken aufbereitete Formstoffe (geringe Verdichtbarkeit) ein günstiges Fließverhalten zeigen.

Der plastische, hoch bindefähige Bentonit S hat bei gleicher Befeuchtung (Verdichtbarkeit) die geringsten Fließbarkeitswerte. Günstige Eigenschaften erreicht der Bentonit E.

Der Zusatz von Prozeßkohlenstoff direkt in den Bentonit bzw. zur Formstoffmischung verbessert die Fließbarkeit erheblich (s. Bild 4). Die verschiedenen Bentonite werden unterschiedlich beeinflusst. Die stärkste Verbesserung erfahren die S-Bentonite (S \rightarrow SQ).

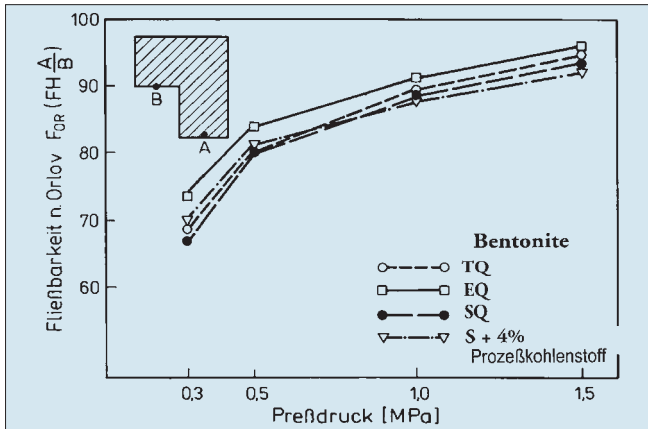


Bild 4: Einfluß von Prozeßkohlenstoff- und Antrapurzusatz auf die Fließbarkeit

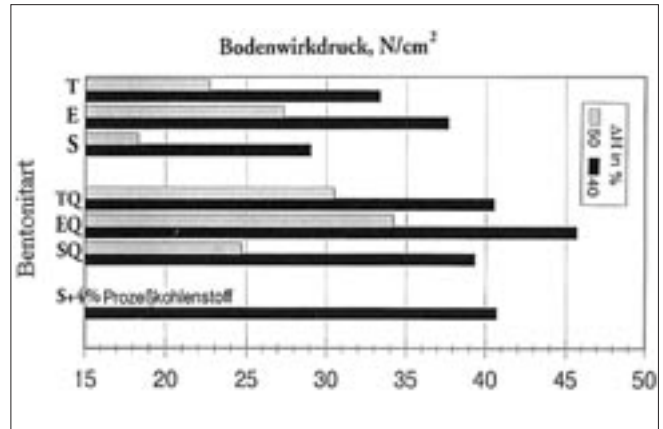


Bild 5: Einfluß von Bindeart und Verdichtbarkeit ΔH auf den Bodenwirkdruck

Bodendruck (Wirkdruck)

Die Bestimmung des Bodendruckes ermöglicht Aussagen zum Verdichtungs- und Fließverhalten von Formstoffen unter der Wirkung einer impulsartigen Verdichtung. Die Bestimmung des Bodendruckes erfolgte mit den Prüfgeräten der Fa. Georg Fischer [3]. Die Höhe des Bodendruckes ist besonders für moderne Verdichtungsprinzipien (Impulsverdichtung) im Hinblick auf die Einflußnahme der Formstoffqualität von Bedeutung. Im Bild 5 ist der erreichte Bodendruck für verschiedene Bentonite dargestellt.

Hochplastische Bentonite erreichen trotz hoher Bindefähigkeit geringere Fließbarkeitswerte, da infolge der höheren Formstoffzähigkeit („Formstoffgängigkeit“) ein höherer Verdichtungswiderstand auftritt. Das wird am Beispiel des Bentonits S deutlich.

Der positive Einfluß des Zusatzes von Prozeßkohlenstoff (Quick-Varianten) auf das Verdichtungsverhalten

(Impulsverdichtung) ist deutlich erkennbar. Das gilt für alle Varietäten, d. h., auch beim gut fließbaren Bentonit E ist eine Erhöhung des Bodendruckes signifikant feststellbar.

Der Einfluß des Wassergehaltes (Verdichtbarkeit) ist ebenfalls von erheblicher Bedeutung. Die Erhöhung der Verdichtbarkeit von z. B. 40 % auf 50 % vermindert den Bodendruck um 40 % bis 60 %.

Abformverhalten

Das Verdichtungsverhalten und die erreichbaren Formeigenschaften bentonitgebundener Formstoffe lassen sich praktisch durch Abformversuche an einem Testmodell (Kamm-Modell) ermitteln (s. Bild 2) [4]. Trägt man die erreichte Formqualität (z. B. als Formfestigkeit oder als Formhärte) über dem Schwierigkeitsgrad der abzuförmenden Ballen ($FS = h/b$) auf, kann man bei vorgegebenen Eigenschaften der Form die Grenzschwierigkeit ermitteln, die noch gut abform-

bar ist und zu keinen signifikanten Formfehlern führt. Andererseits ist es auch möglich, bei einer vorgegebenen Schwierigkeit des abzuförmenden Ballens (z. B. $FS = 2,5$), die dann erreichbaren Formfestigkeiten in Abhängigkeit von der Formstoffzusammensetzung (z. B. Bentonitart und -menge) zu ermitteln (s. Bild 6a). Die Untersuchungsergebnisse belegen eindeutig den Einfluß der Bentonitart und die positive Wirkung von Zusätzen an Prozeßkohlenstoff auf das Abformverhalten.

Die Bentonitarten (Bentonite S, E, T) wirken über ihre Plastizität („Formstoffgängigkeit“) auf das Abformverhalten. Die Unterschiede zwischen den S- und E-Bentoniten sind dadurch erklärbar. Die Formfestigkeit steigt bei vorgegebenem Schwierigkeitsgrad $FS = 2,5$ von $10,5 \text{ N/cm}^2$ beim Bentonit S auf

»Der positive Einfluß von Prozeßkohlenstoff ist deutlich erkennbar«

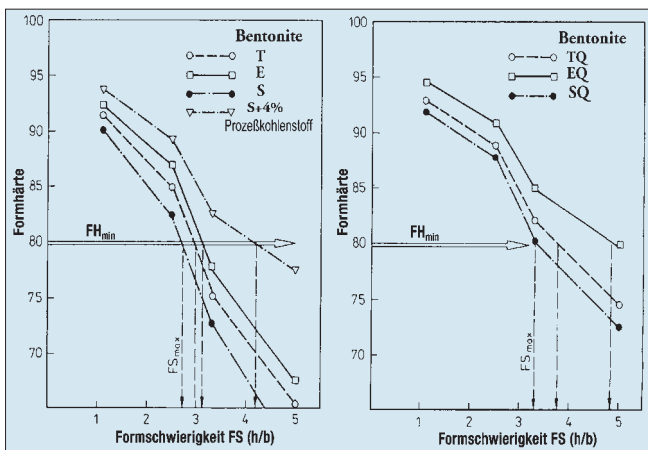


Bild 6a : Einfluß der Bentonitart auf die erreichbaren Formstoffeigenschaften (Formhärte) und die maximale Formschwierigkeit FS_{max} .

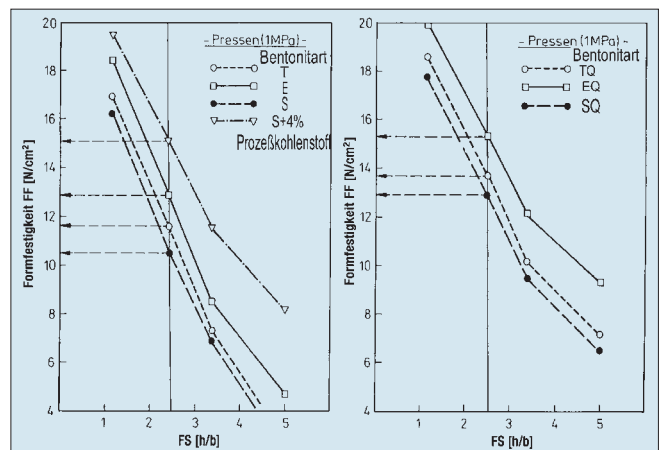


Bild 6b : Einfluß der Bentonitart auf die erreichbaren Formstoffeigenschaften (Formfestigkeit).

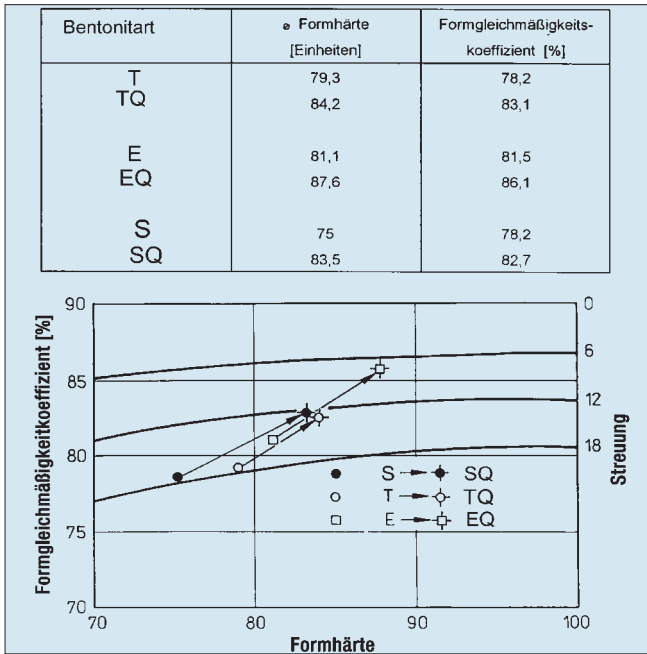


Bild 7: Einordnung der untersuchten Bentonite in das Formhärte -Formgleichmäßigkeitsdiagramm

13 N/cm² beim Bentonit E. Durch den Zusatz von Antrapur werden sogar Festigkeiten von 15 N/cm² erreicht. Andererseits können so bei vorgegebener Formhärte bzw. Formfestigkeit (z. B. Formhärte ≥ 80) höhere Formschwierigkeiten abgeformt werden.

Die überaus günstige Wirkung des Zusatzes von Prozeßkohlenstoff geht aus Bild 6b hervor. Bei gleicher Formschwierigkeit *FS* erhöht sich die erreichte Formfestigkeit um 2 N/cm² bis 3 N/cm². Das führt zu positiven Auswirkungen auf die Formstabilität beim Gießen und damit auf die Maßgenauigkeit der Gußteile.

Zusammenfassend läßt sich die positive Wirkung des Zusatzes von Prozeßkohlenstoff mit Hilfe des Formhärte-Formgleichmäßigkeitsdiagramms (s. Bild 7) belegen. Der Formgleichmäßigkeitskoeffizient K_{FGG} errechnet sich nach [5]:

$$K_{FGG} = \left(1 - \frac{S_{FH}}{FH} \right) \cdot 100\%$$

S_{FH} Standardabweichung der Formhärte

FH Mittelwert aller gemessenen Formhärtewerte (der Testform)

Dieser Koeffizient spiegelt die Zielstellung der modernen Formherstellung sehr gut wider:

– hohe Formfestigkeit/Formhärte

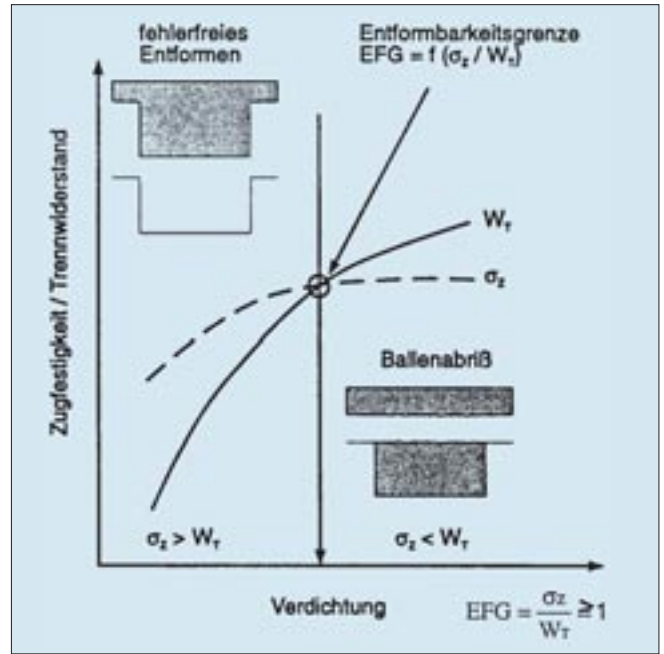


Bild 8: Das Ausformverhalten wird entscheidend durch den Trennwiderstand W_t (elastische Rückfederung) und Grünzugfestigkeit σ_z (Binderart, Bindergehalt) bestimmt. EFG - Entformbarkeitsgrenze

– geringe Streuung der Formeigenschaften über den Formquerschnitt mit verschiedenen Formballen.

Die Vielzahl der Härtemeßpunkte der Form werden so zu einem einzigen Wert zusammengefaßt. Der Einfluß der Bentonit- bzw. Formstoffqualität kann gut ermittelt werden, wenn die Verdichtungsparameter (z. B. Preßdruck, Impulsgradient dp/dt) konstantgehalten werden.

Wie aus Bild 7 hervorgeht, führt der Zusatz von Prozeßkohlenstoff zu deutlichen Verbesserungen im Verdichtungsverhalten der Formstoffe.

Sowohl die mittlere Formhärte als auch die Formgleichmäßigkeit steigen an. Besonders hohe Werte erreicht der Bentonit E. Prozeßkohlenstoffzusätze verbessern bei allen Bentoniten das Verdichtungsverhalten

Ausformverhalten

Beim Trennen des verdichteten Formteils vom Modell – dem Ausformen – muß gewährleistet werden, daß die mit der Verdichtung erzielte Konturenausbildung und Formstoffverfestigung erhalten bleiben.

Das Ausformverhalten beschreibt das Vermögen tongebundener Formstoffe, den beim Trennen von Modell und Form auftretenden stati-

schen und dynamischen Belastungen standzuhalten, ohne daß es zu Formschäden kommt. Beim Einsatz der modernen Verdichtungstechnik (höhere Verdichtungsintensität, höhere Seitendrücke, geringere Formstoff-Feuchtigkeit) ist das Ausformverhalten von entscheidender Bedeutung, da durch die höhere Formstoffverdichtung und die damit verbundene Zunahme der elastischen Eigenschaften des Formstoffes (Rückfederung, „spring back“) beträchtliche Spannungen in der Form auftreten.

Die Ausformigenschaften sind eng mit dem Deformationsvermögen (Verformbarkeitsvermögen) der verdichteten Formstoffe verbunden. Unter der Verformbarkeit wird das Vermögen der Form verstanden, ihre Gestalt unter Einwirkung von Spannungen zerstörungsfrei zu ändern. Eine geringe Verformbarkeit kann zu verschiedenartigen Fehlererscheinungen führen. Beispielfhaft seien unterschiedliche Ballen in Formkasten, Ballenabrisse beim Modellziehen, Abrieb und abgedrückte Formkanten beim Kerneinlegen und Zulegen der Form sowie Formbruch beim Manipulieren und Gießen erwähnt. Die Belastungen beim Ausformen beruhen in besonderem Maße auf verspannten Formballen zwischen Modellpartien infolge der elastischen Rückfederung. Die Rück-

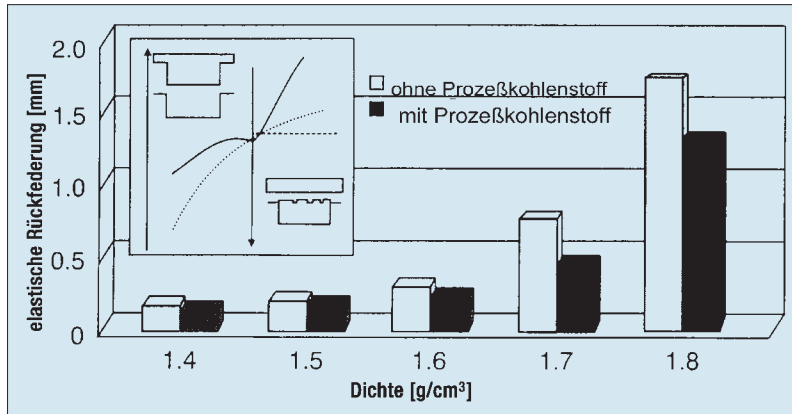


Bild 9: Einfluß der Verdichtungsintensität auf die elastische Rückfederung

federung kann außerdem zum Aufreißen von Binderbrücken und damit zur Verminderung der Zugfestigkeit in Ausformrichtung führen. Die Ausformigenschaften tongebundener Formstoffe werden vorwiegend von der Formstoffzusammensetzung, der Formstoffaufbereitung und der Verdichtungsintensität bestimmt.

Zur Charakterisierung des Ausformverhaltens können folgende Kennwerte verwendet werden:

- die Grünzugfestigkeit bzw. das Verhältnis von Grünzugfestigkeit zu Grunddruckfestigkeit (Festigkeitsdiagramm)
- die Formstoffplastizität (z. B. Shatter-Index)
- die Verformbarkeit (Verformbarkeitsgrenze) in Beziehung zur Scherfestigkeit (Formstoffmikrometer) [6]
- die elastische Rückfederung
- der Trennwiderstand W_T beim Modellziehen und die damit verbun-

dene Entformbarkeitsgrenze (EFG). Bestimmt man an einem verdichteten Formballen mit vorgegebener geometrischer Gestalt Grünzugfestigkeit und Trennwiderstand, gilt die im Bild 8 abgeleitete Beziehung für ein fehlerfreies Modellziehen.

In Tafel 2 sind ausgewählte Eigenschaften zur Charakterisierung des Ausformverhaltens zusammengefaßt. Daraus können folgende Schlußfolgerungen im Hinblick auf die Einflußnahme der Bentonitart bzw. -qualität gezogen werden:

- Die höchsten Grünzugfestigkeitswerte in den kumulativ aufbereiteten Formstoffen erreichen die S-Bentonite. Der Zusatz von Prozeßkohlenstoff zeigt keinen signifikanten Einfluß.
- Die gleiche Einflußnahme zeigt sich hinsichtlich der erreichbaren Formstoffplastizität und Verformbarkeit. Auch hier werden bei den

S-Bentoniten die höchsten Werte erreicht. Die hohe Plastizität ist eng mit der hohen Quellfähigkeit dieser Bentonite verbunden. Die hohe Plastizität ist hinsichtlich des Ausformverhaltens günstig, führt jedoch, wie bereits dargestellt, zu einem ungünstigeren Fließverhalten.

Die Ausformprobleme werden erheblich durch die Intensität der Verdichtung bestimmt. Mit steigender Verdichtung kommt es zu einem erheblichen Anstieg der elastischen Rückfederung (Tafel 2, Bild 9).

Das ist die Ursache für starke Klemm- bzw. Haftkräfte zwischen Formballen und Modell. Die notwendigen Ausstoßkräfte steigen erheblich an. Im Gegensatz dazu erreicht die Grünzugfestigkeit in diesem

Dichtebereich ihren maximalen Wert und fällt oberhalb dieses Bereiches ab. Daraus wird erklärbar, warum trotz steigender Verdichtung und Grün(druck)festigkeit das Ausformen erschwert ist.

Aus diesem Bild wird auch der Einfluß des Zusatzes von Prozeß-

kohlenstoff deutlich, wenn man die Ausformigenschaften auf die erreichte Dichte bezieht (s. Bild 10):

- Der Zusatz führt bei gleichen Verdichtungsbedingungen (steigender Preßdruck) stets zu einer höheren Dichte im Formstoff.
- Der Einfluß auf die Grünzugfestigkeit ist nicht signifikant nachweisbar.
- Die notwendige Ausstoßkraft ist beim Einsatz von Bentoniten mit Prozeßkohlenstoff geringer als bei reinen Bentoniten.
- Ursache für dieses Verhalten ist die geringere elastische Rückfederung.

Zusammenfassend kann gesagt werden, daß bei gleicher Zusammensetzung die Formstoffmischungen mit Prozeßkohlenstoffzusatz im Bentonit ein günstigeres Ausformverhalten im Bereich der üblichen Verdichtungsintensitäten (Dichte zwischen 1,65 g/cm³ und 1,75 g/cm³) aufweisen, d. h., das Trennen des verdichteten Formstoffes vom Modell wird erleichtert.

»Die Ausformprobleme werden erheblich durch die Intensität der Verdichtung bestimmt«

Tafel 2. Ausformverhalten der untersuchten Bentonite: a) Einfluß der Bentonitart; b) Einfluß der Verdichtungsintensität und von Prozeßkohlenstoffzusatz

a)							
Bentonitart	T	E	S	TQ	EQ	SQ	S + Antrapur
Grünzugfestigkeit σ_{zB} N/cm ²	2,45	2,58	2,82	2,48	2,68	2,86	2,71
Shatter-Index %	66	66	74	62	61	70	68
Verformbarkeit mm	0,34	0,34	0,4	0,32	0,32	0,36	0,37
Scherfestigkeit N/cm ²	4,78	4,55	4,92	5,1	5,1	5,32	5,21

b)											
Bentonitart		S					SQ				
Preßdruck	MPa	0,3	0,5	1,0	1,5	3,0	0,3	0,5	1,0	1,5	3,0
Grünzugfestigkeit σ_{zB}	N/cm ²	2,17	2,83	3,17	3,3	3,21	2,31	2,88	3,31	3,35	3,28
Ausstoßkraft	N	103	123	147	196	251	85	99	118	155	224
Elastische Rückfederung	mm	0,191	0,218	0,398	0,873	1,403	0,177	0,210	0,375	0,681	1,213
Dichte	g/cm ³	1,48	1,55	1,64	1,72	1,76	1,5	1,57	1,67	1,73	1,79

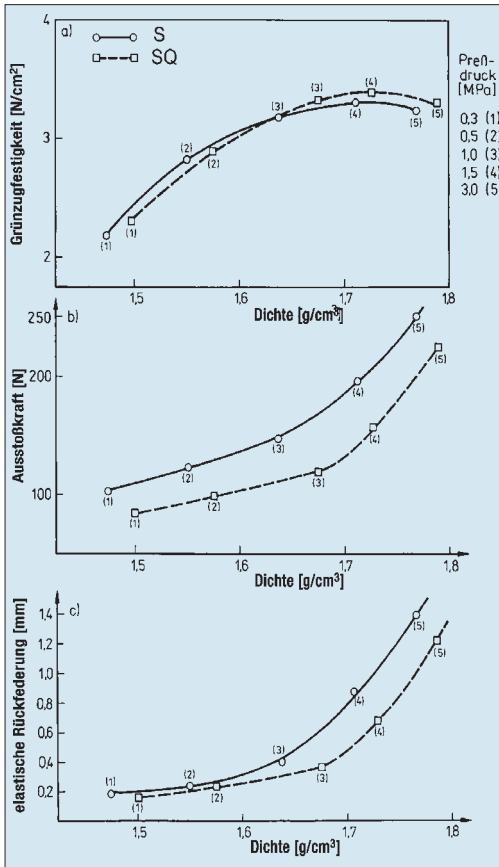


Bild 10: Ausformverhalten von Bentoniten mit und ohne Zusatz von Prozeßkohlenstoff
a) Grünzugfestigkeit; b) Ausstoßkraft; c) elastische Rückfederung

Einflußnahme auf die gieß-technologischen Eigenschaften

Die Maßgenauigkeit eines Gußteils wird im entscheidenden Maße von der auftretenden Formwandbewegung unter der Wirkung des metallostatischen Druckes (bei der Formfüllung) und des Kristallisationsdruckes (beim Erstarren) bestimmt.

Die Formwandbewegung wird beeinflusst durch

- das Ausdehnungsverhalten der Formstoffe
- die Höhe der auftretenden Druckspannungen
- die Nachverdichtbarkeit des Formstoffes unter den auftretenden Druckbeanspruchungen.

Bei annähernd konstanter Formstoffzusammensetzung ist ein signifikanter Einfluß der Bentonitart auf die Ausdehnung und die Höhe der Druckspannungen nicht nachweisbar. Dagegen ist jedoch der erreichte Verdichtungszustand in Höhe und Gleichmäßigkeit von signifikanter Bedeutung. Niedrig und un-

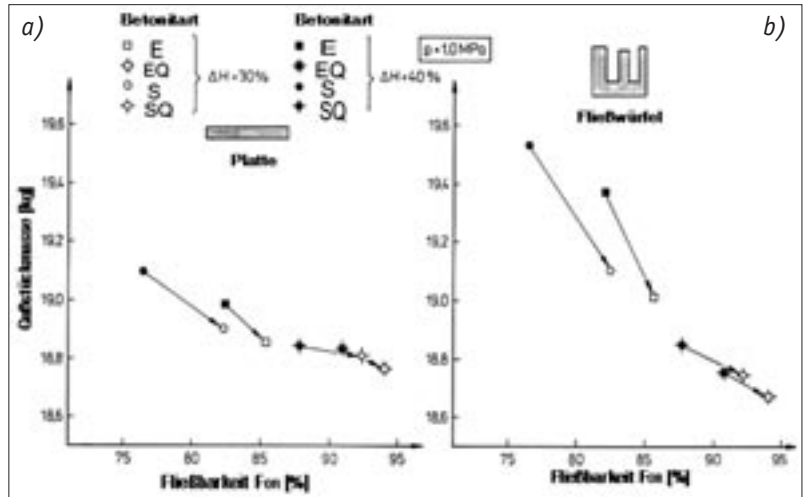


Bild 11: Einfluß von Binderart und Verdichtbarkeit ($\Delta H=30\%$, 40%) auf die Maßhaltigkeit/Fließbarkeit; a) plattenförmiges Gußteil; b) Fließwürfel

gleichmäßig verdichtete Formen werden unter den auftretenden Belastungen zu einer höheren Formwandbewegung führen als hohe, gleichmäßig verdichtete Formen. Im Abschnitt „Abformverhalten“ wurde der Einfluß der Bentonitart auf Höhe und Gleichmäßigkeit der Formqualität dargestellt. In den nachfolgenden Versuchen wurde analog die Einflußnahme auf die erreichbare Maßgenauigkeit untersucht. Der Einfluß der Gestalt des Gußteiles wurde durch den Abguß einer Platte (leicht verdichtbar, geringe Beeinflussung) bzw. eines „Fließwürfels“ (schwierig verdichtbar, der Einfluß der Verdichtungseigenschaften des Formstoffes ist hoch) nachgewiesen.

Die theoretisch ermittelte Masse beträgt für beide Gußteile 19 kg. Nach der Formherstellung jeder Formhälfte wurde die verdichtete Formstoffmenge ermittelt und damit die Formdichte (in g/cm^3) ermittelt.

Die Ergebnisse lassen sich wie folgt zusammenfassen (s. Bild 11):

- Die erreichbare Maßgenauigkeit (Massegenauigkeit) wird von der Formstoffausdehnung, der Heißverformung und der Fließbarkeit beeinflusst.
- Das Verdichtungsverhalten (Fließbarkeit) wird besonders bei komplizierten Gußteilen (Fließwürfel) zur entscheidenden Einflußgröße.

- Bei einfachen Gußteilen (Platte) wirkt sich das Ausdehnungsverhalten stärker auf die erreichbare Maßgenauigkeit aus.
- Die Einflußnahme der Formstoffzusammensetzung hinsichtlich Verdichtbarkeit und Fließbarkeit ist deutlich erkennbar.
- Beim plattenförmigen Gußteil wird die Massegenauigkeit geringfügig durch eine Verringerung der Verdichtbarkeit ($40 \rightarrow 30\%$) und durch die Verwendung von Prozeßkohlenstoffzusätzen (S-Bentonit \rightarrow SQ-Bentonit) verbessert.
- Beim kompliziert gestalteten Fließwürfel ist dagegen eine erhebliche Verbesserung der Massegenauigkeit erreichbar.

Die Verringerung der Verdichtbarkeit führt zu Masseinsparungen um 400 g bis 500 g (2 % bis 2,5 %). Der Einsatz der Quickbond-Binder führt im Vergleich zu einer nochmaligen Massereduzierung um 300 g bis 400 g. Das verringert auch die Streumaße der Gußteilmassen bzw. Abmessungen.

Aus diesen Ergebnissen geht hervor, daß durch den Zusatz von Prozeßkohlenstoff, vor allem über die Einflußnahme auf das Verdichtungsverhalten, eine deutliche Verbesserung der Maßgenauigkeit erreicht werden kann. Das gilt besonders bei der Fertigung von geometrisch schwierigen Gußteilen, die aufgrund ihrer Gestalt schwer verdichtbar sind (Fließwürfel). Mit steigender Fließbarkeit des Formstoffes wird durch die höhere Verdichtungs-

Tafel 3. Regenerierbarkeit bentonitgebundener Umlaufformstoffe

Kennwerte	Regenerierungszeit t_r [min]			
	30 min		50 min	
Bentonit	E	EQ	E	EQ
Elektrische Leitfähigkeit [$\mu\text{S}/\text{cm}$]	42	67	29	35
Regenerierungsgrad α_R	90,1	86,1	96,1	93,3
Biegefestigkeit ¹⁾ σ_{dB} [N/cm^2]	497	501	732	702
Biegefestigkeit ²⁾ $\sigma_{dB\text{-relativ}}$ [%]	67	67,5	98,5	96,1
Ausbringen [%]	85,5	84,0	75,5	74,5

¹⁾ absolute Scheibenbiegefestigkeit ($t_v = 1 \text{ h}$, $t_h = 1 \text{ h}$)
²⁾ relative Festigkeit, bezogen auf Ausgangszustand

gleichmäßigkeit auch eine deutliche Verbesserung der Maßgenauigkeit erreicht.

Regenerierungsverhalten – Regenerierbarkeit

Bentonitart, Aktivton- und Schlammstoffgehalt, Glühverlust, Oolitierungsgrad und elektrische Leitfähigkeit des Alt- bzw. Restandes sind diejenigen stofflichen Einflußgrößen, die entscheidend die Regenerierbarkeit und die Wiedereinsatzbarkeit der Regenerate bestimmen.

Schon geringe Mengen dieser „Störstoffe“ führen beim Wiedereinsatz in Cold-box- Kernformstoffen zu erheblichen Festigkeitseinbußen. Besonders die Prüfgröße „elektrische Leitfähigkeit“ ermöglicht Schlußfolgerungen auf die zu erwartende Härtungscharakteristik von Cold-box-Formstoffen.

Auch bei diesen Untersuchungen ist zu berücksichtigen, daß in das Regenerierungsverhalten der verschiedenen bentonitgebundenen Formstoffmischungen das Umlaufverhalten (s. Teil 1) einbezogen werden muß. Aus diesem Grunde wurden die Regenerierungsversuche mit den angefallenen Altsanden aus

den Umlaufversuchen durchgeführt. Entsprechend den benötigten Zugabern an Bentonit im Formstoffumlauf stellt sich ein Ausgangsniveau im Schlammstoff- und Aktivtongehalt sowie in der elektrischen Leitfähigkeit ein. Die Ergebnisse der Regenerierungsversuche zeigen Tafel 3 und Bild 12.

Die Problematik der Regenerierung bentonithaltiger Altsande ergibt sich aus der komplexen Zusammensetzung. Mannigfaltige „Störstoffe“ unterschiedlicher Art und Schädlichkeit sind in den Altsanden vorhanden.

Der Großteil der „Störstoffe“ ist in relativ kurzer Zeit aus dem Altsand abgetrennt. Nach 30 min Regenerierungszeit wird, bezogen auf die Störstoffe, ein Regenerierungsgrad von >90 % erreicht. Trotzdem werden in bezug auf das erreichbare Festigkeitsniveau der Cold-box-Formstoffe mit Regenerateinsatz nur Werte um ca. 70 % erreicht (Tafel 3). Erst die weitere Verringerung der Störstoffe mit Regenerierungsgraden von mehr als 95 % und die Reduzierung der elektrischen Leitfähigkeit auf Werte unter 40 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ergibt vergleichbare Festigkeitswerte (zum Quarzsand) der Cold-box-Formstoffe bei 100 % Regenerateinsatz. Das

führt allerdings zu einem deutlich niedrigeren Regeneratausbringen.

Hinsichtlich der Einflußnahme der Bentonitqualität ist, im Gegensatz zu mancher Expertenansicht, kein signifikanter Einfluß feststellbar (Bild 12). So gleicht z. B. der Bentonit S seine höhere Leitfähigkeit hinsichtlich des Regenerierungsverhaltens im Vergleich zum Bentonit E dadurch aus, daß er infolge seiner höheren thermischen Stabilität ein geringeres Ausgangsniveau an Störstoffen einbringt. Das führt letztlich zu ausgeglichenen Festigkeitseigenschaften der Cold-box-Formstoffe mit Regeneratverwendung.

Verfahrens- und sortimentspezifische Anforderungen

Um eine günstige Rohstoffauswahl treffen zu können und um eine ganzheitliche Optimierung der Eigenschaften bentonitgebundener Formstoffe zu ermöglichen, ist es zwingend notwendig, die Anforderungen zu ermitteln, die diese Formstoffe im gesamten Prozeß der Gußteilfertigung erfüllen müssen. Sie lassen sich in solche untergliedern, die vom zu fertigenden Gußteilsortiment geprägt sind (sortimentspezifische Anforderungen) und andere, die auf die verfahrensbedingten Einflüsse zurückzuführen sind (verfahrensspezifische Anforderungen). Diese Anforderungen wurden bereits im 1. Teil der Arbeit ausführlich vorgestellt und beziehen sich auf die Aufbereitungsbedingungen, die erforderliche Form(stoff)festigkeit, die Anforderungen aus dem Formbildungsprozeß und aus der Formschwierigkeit, die Sicherung der Gußstückqualität und das Vermeiden spezifischer Gußfehler, die

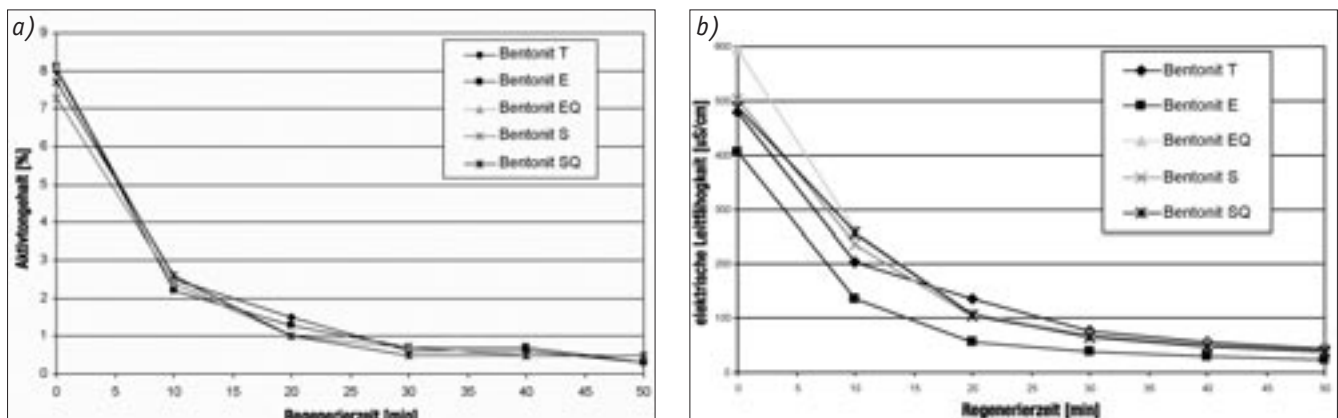


Bild 12: Regenerierungsverhalten bentonitgebundener Umlaufformstoffe; a) Aktivtongehalt im Regenerat; b) elektrische Leitfähigkeit des Regenerates

Beanspruchungen und Bedingungen der Formstoffrückgewinnung und der Abfallbeseitigung bzw. die Abfallverwertung von Prozeßrückständen (Altsande, Stäube). Diese Anforderungen können sich von Gießerei zu Gießerei erheblich unterscheiden. Die Kenntnis dieser speziellen Anforderungen ist die erste Grundlage für eine ganzheitliche Formstoffoptimierung. Beispielhaft zeigt das Tafel 4.

Die im Bild 13 gewählte Darstellung in Form sogenannter Radardiagramme ermöglicht einen guten Überblick über diese Anforderungsmerkmale.

Die Charakterisierung der Rohstoffeigenschaften (Bentonit) und der Formstoffqualität erfolgt entsprechend den Prozessschritten der Grünsandformverfahrens (s. Bild 14).

Um eine Einordnung der unterschiedlichen Eigenschaften zu ermöglichen, wurde auf der Basis umfangreicher Untersuchungen an Bentoniten mit unterschiedlicher Herkunft ein Bewertungsschema erarbeitet. Einen Auszug aus diesem Bewertungsschema

» **Bentonitart und Formstoffzusammensetzung bestimmen die formtechnologischen Eigenschaften** «

für die Eigenschaften – spezifische Festigkeit, spezifische Naßzugfestigkeit, Formbarkeit und thermische Stabilität – zeigt Tafel 5. Die Punkte charakterisieren die Eigenschaften:
 1 ungenügend
 2 ausreichend
 3 mittel
 4 gut
 5 sehr gut

Um eine differenzierte Einordnung zu ermöglichen, wurden auch Zwischenbewertungen (3,5/4,5 ... Punkte) zugelassen. Bei einigen Eigenschaften (z. B. Auspackverhalten) wurden zur Bewertung mehrere Prüfmerkmale herangezogen, und der Durchschnittswert wurde verwendet.

Die wichtigsten Eigenschaften der unterschiedlichen Bentonite S, E und T sowie die Einflußnahme von Prozeßkohlenstoff (Bentonite SQ, EQ, TQ) wurden zuvor eingehend dargestellt. Einen Überblick über die entsprechenden Form(stoff)eigenschaften gibt Bild 15. Darin wird der

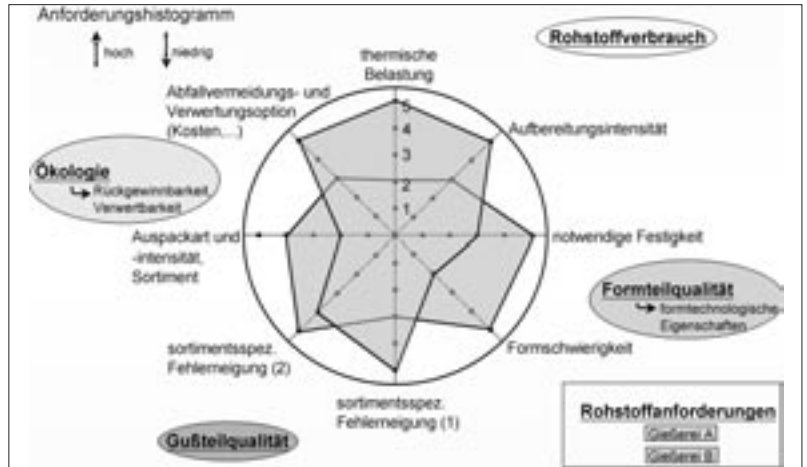


Bild 13: Verfahrens- und sortimentspezifische sowie sonstige Anforderungen

positive Einfluß des Zusatzes von Prozeßkohlenstoff auf den Bentonit S deutlich.

Vergleicht man nun die verfahrens- und sortimentspezifischen Anforderungen (s. Bild 13) der verschiedenen Gießereien (A, B) mit den technologischen Eigenschaften

der bentonitgebundenen Formstoffe (s. Bild 15), kann eine optimale, ganzheitlich begründete Rohstoffauswahl getroffen werden. Andererseits ermöglichen diese Darstellungen auch die Entwicklung von Mischbentoniten (Mixbond), die zu Synergieeffekten führen (s. Bild 16).

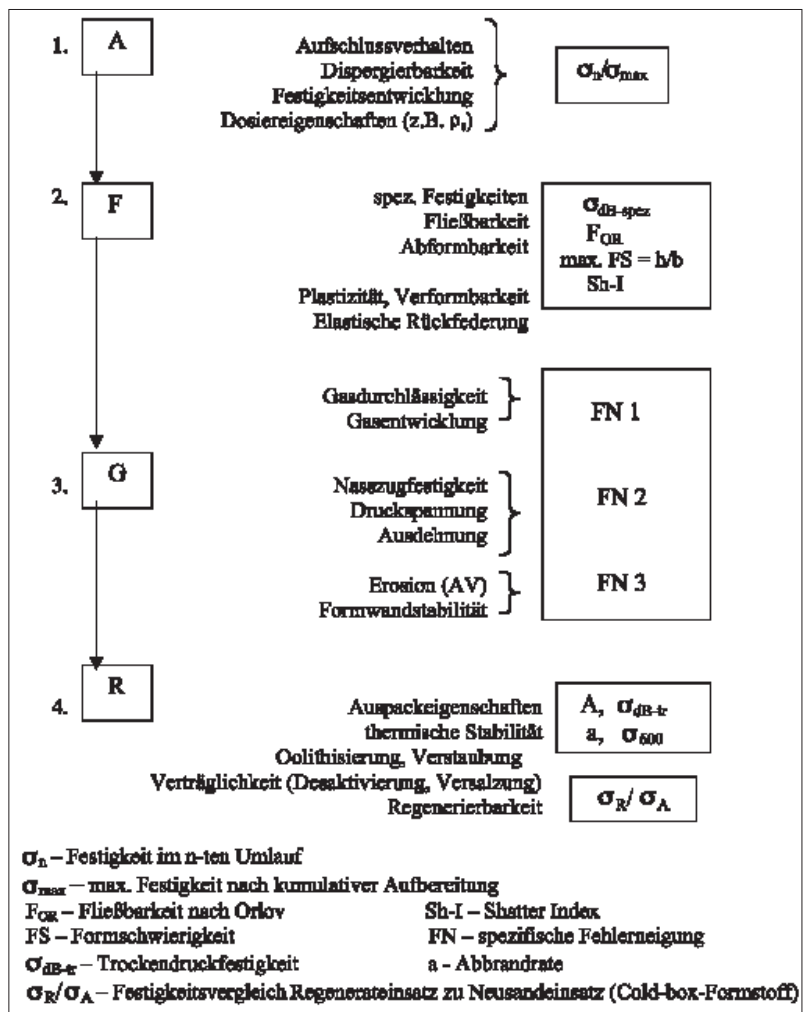


Bild 14: Prozeßbestimmende Eigenschaften von Bentoniten (Bewertungsschaubild)
 A - Aufbereitung, F - Formherstellung, G - Gießen/Gußkörperbildung, R - Rückgewinnung

Tafel 4. Beispiele für Anforderungen an bentonitgebundene Formstoffe

(1) Gießerei A: Sortimentspezifische Anforderungen	(2) Gießerei B: Sortimentspezifische Anforderungen
<ul style="list-style-type: none"> • kompakte, masseintensive, relativ einfache Gußteile GS, GG ⇒ - hohe thermische Belastung - mittlere Form(stoff)festigkeit - mittlere Formschwierigkeit • Fehlerneigung <ul style="list-style-type: none"> - hohe Neigung zu Ausdehnungsfehlern - hohe Erosions- und Penetrationsneigung 	<ul style="list-style-type: none"> • dünnwandige, komplizierte Gußteile, G-NE höchste Qualitätsanforderungen ⇒ - geringe thermische Belastung - hohe Form(stoff)festigkeit (hohe Formflächenauslastung, Disamatic) - höchste Formschwierigkeit • Fehlerneigung <ul style="list-style-type: none"> - geringe Neigung zu Ausdehnungsfehlern - hohe Neigung zu Gasfehlern - sonstige Oberflächenfehler (G-Mg)
Verfahrensspezifische Anforderungen	Verfahrensspezifische Anforderungen
<ul style="list-style-type: none"> • geringe Aufbereitungsintensität, kurze verfügbare Mischzeiten, hoher Neusandzusatz • Auspacken: relativ einfache Teile, kompakter Ausleerrüttler • hohe Abfallkosten → Minimierung des Restsandes (relativ hohe Abfallmengen) 	<ul style="list-style-type: none"> • mittlere Aufbereitungsintensität des Mischaggregates, geringer Neusandzusatz <ul style="list-style-type: none"> - Rißgefahr - Auspackeinrichtungen mit geringer Intensität • geringer Restsandanteil; an Verwertungsoptionen werden nur geringe Anforderungen gestellt

Tafel 5: Bewertungsschema für Bentonite (bentonitgebundene Formstoffe) - Auszug

	Punktbewertung	Punktbewertung				
		1	2	3	4	5
$\sigma_{dB-spez}^{1)}$ [N/cm ² · %]		0-0,5	0,5-1,0	1,0-1,5	1,5-2,0	>2,0
$\sigma_{NB-spez}^{1)}$ [N/cm ² · %]		<0,01	0,01-0,02	0,02-0,03	0,03-0,04	>0,04
Formbarkeit ²⁾ FS = h/b		<2	2-2,5	2,5-3	3-3,5	>3,5
Thermische Stabilität ³⁾ a [%]		>12	10-12	8,5-10,0	7-8,5	< 7

¹⁾ nach kumulativer Aufbereitung
²⁾ maximale Formschwierigkeit (Kammodell, Preßdruck 1 MPa)
³⁾ Abbrandrate a

Ein solcher Mischbentonit ist z. B. hervorragend geeignet, die Anforderungen der Gießerei B zu realisieren.

Zusammenfassung und Schlußfolgerungen:

Im 2. Teil der Arbeit werden Ergebnisse zum formtechnologischen Verhalten bentonitgebundener Formstoffe und zur Einflußnahme der

Bentonitart und der Formstoffzusammensetzung auf das Verhalten beim Gießen und zur Regenerierbarkeit vorgestellt. Die Ergebnisse lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Bentonitart und Formstoffzusammensetzung (Bentonitgehalt, Verdichtbarkeit) bestimmen die formtechnologischen Eigenschaften.
- Der Zusatz von Prozeßkohlenstoff

führt zu signifikanten Verbesserungen der Formstoff-Fließbarkeit und des Abformverhaltens. Schwierige Formballen können so mit hoher Qualität abgeformt werden.

- Durch die Erhöhung der Fließbarkeit und Verdichtungsgleichmäßigkeit wird auch die Maßgenauigkeit, besonders bei schwierigen Gußteilen verbessert.
- Eine optimale, ganzheitlich begründete Stoffauswahl wird durch Vergleich der speziellen verfahrens- und sortimentspezifischen Anforderungen mit den technologischen Eigenschaften bentonitgebundener Formstoffe in den wichtigsten Prozeßstufen der Gußteilmontage ermöglicht.

Abschließend werden die unterschiedlichen verfahrens- und sortimentspezifischen Anforderungen an bentonitgebundene Formstoffe in Zusammenhang zu den erreichbaren Formstoffeigenschaften gegenübergestellt. Diese Darstellungen ermöglichen eine umfassende Bewertung der Naßgußformstoffe und die optimale Auswahl von Rohstoffen (Bentoniten). ◀

Schrifttum

- [1] Tilch, W.; Grefhorst, C.; Kleimann, W.: GIESSEREI PRAXIS 2 (2002), S. 53/62.
- [2] Orlov, M.: Izvestija Wus. Mashinostrojenija 1964, Bd. 1.
- [3] Boenisch, D.: Gießerei 69 (1982) 21; S. 593/598.
- [4] Tilch, W., Stölzel, K.: Vortrag zum Internationalen Gießereikongreß, Lüttich 1974.
- [5] Bast, J.; Wruck, G.: Gießereitechnik 34 (1988) 8, S. 251/254.
- [6] Boenisch, D.: Gießerei 74 (1987) 6, S. 190/194.

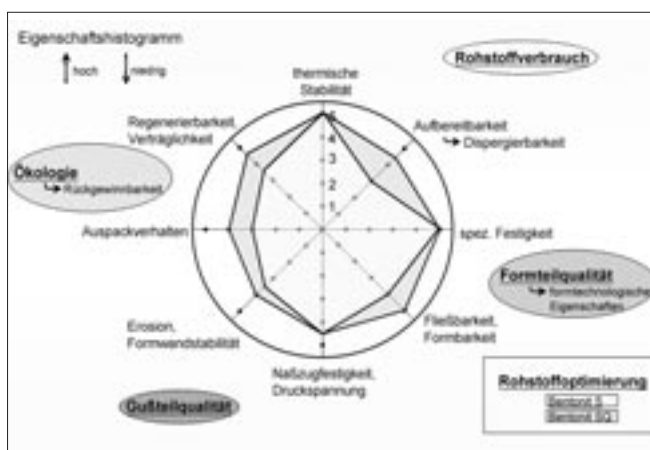


Bild 15: Eigenschaftscharakterisierung von Rohstoffen / Formstoffen

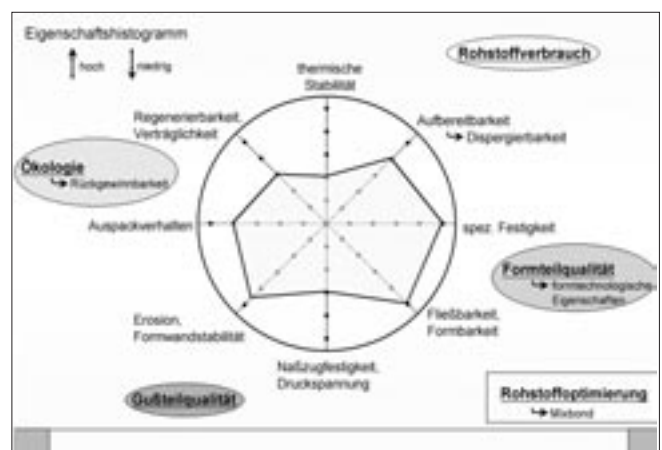


Bild 16: Eigenschaftscharakterisierung von Mischbentonit