

Bentonitgebundene Formstoffe

Umlaufverhalten von Bentoniten unter besonderer Betrachtung des Kreislaufsystems und der Nasszugfestigkeit

VON CORNELIS GREFHORST, OLEG PODOBED, SANDRA BÖHNKE, MARL

Bei bentonitgebundenen Formstoff-Systemen sind mehr als 90 % des Altformstoffes nach der mechanischen Reinigung und einer anschließenden Befeuchtung direkt wieder einsetzbar. Die erneute Verwendbarkeit des Bentonites beruht auf seiner reversiblen Bindung, sie führt zu einer optimalen Nutzung des Bentonites. Als Folge dessen werden bentonitgebundene Formstoffe im Kreislauf gefahren. Das Verhalten des Formstoffes im Umlauf ist dabei von größter Bedeutung. So wird der bei jedem Abguss austrocknende Formstoff bis zu seinem Gleichgewichtszustand mit Abbrand-

resten, Kondensaten und Salzen aus dem Kühl- und Befeuchtungswasser belastet.

Ein erfahrener Gießer mit Einsicht in das Kreislaufsystem und Kenntnissen über dessen Abläufe kann den Prozess besser steuern und Folgen von Änderungen im System quantitativ und zeitlich besser einschätzen. Wie sich ein Formstoff im Kreislauf verhält, hängt hierbei im Wesentlichen von der Qualität des eingesetzten Bentonites ab.

Wichtige Hinweise zur Bewertung verschiedener Bentonitqualitäten und Formstoffeigenschaften sind in der P-Serie der VDG-Prüfvorschriften zusammengefasst. Sie bieten zudem einen ersten Einblick in die Prüfmethode.

In Bezug auf Umlaufsysteme ist hier besonders das VDG-Merkblatt R 95 „Formstoffkreislauf“ [1] für den Gießer von Bedeutung. Diese Vorschrift ermöglicht komplexe Analysen und bietet praktische Hinweise zur Überwachung des vorhandenen Formstoffkreislaufsystems. In verschiedenen Fachbeiträgen wurde bereits über Kreislaufsysteme berichtet [2, 3, 4, 5].

Für Umlaufsysteme gilt allgemein:

- > Die Zusammensetzung des Systems ist, über einen langen Zeitraum betrachtet, eine genaue Wiedergabe der einströmenden Stoffe, solange diese im System nicht geändert werden.
- > Der Inhalt des Systems ist konstant, damit ist die Einlaufmenge gleich der Auslaufmenge.
- > Die Geschwindigkeit von Konzentrationsänderungen im System ist eine Funktion der Größe des Systems und der Menge, die diese Änderungen verursacht.

Beispiele für Umlaufsysteme sind zirkulierende Kühlwasser, der Blutkreislauf im Körper, die Regenerierung von Furan-sandsystemen und bentonitgebundener Umlaufformsand. Über das Aufbereitungsverhalten von Bentoniten und die Möglichkeiten zur Optimierung, u. a. mit Prozesskohlenstoff, wurde oft publiziert [6, 7, 8]. Eine generell anwendbare mathematische Darstellung zeigt Bild 1.

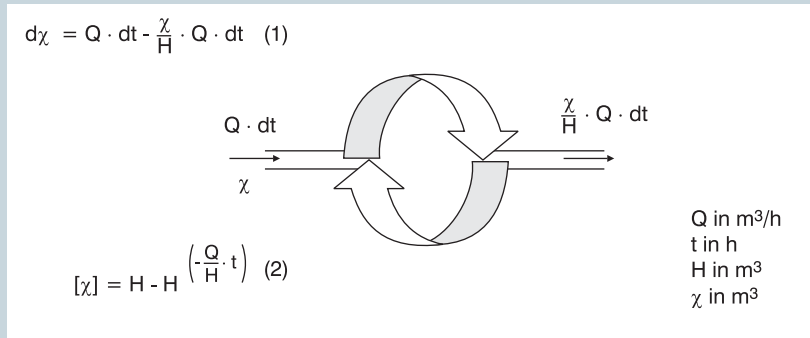


Bild 1: Aufbau eines neuen Stoffes (x) im Umlaufsystem H mit der Geschwindigkeit Q

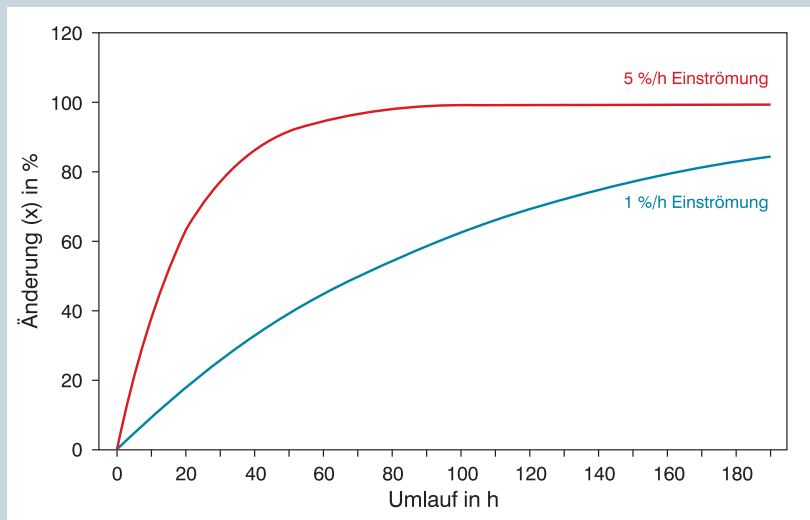


Bild 2: Aufbau von neuem Material in einem Umlaufsystem

Beispiel 1:

Das System umfasst $100 m^3$, Stoff x strömt mit $1 m^3/h$ und $5 m^3/h$ in das System ein. Nach Formel 2 (Bild 1) ergibt sich in Bild 2 der Aufbau des Stoffes als Funktion der Zeit.

Es kann eine Stoffbilanz erstellt werden, um eventuell auftretende Änderungen wie Verbrauch und Bedarf mit Zahlen zu belegen. Massen- oder Stoffbilanzen können zudem verwendet werden, um die Anreicherung von Spurenelementen wie z. B. Schwermetallen zu berechnen. Auch die Versalzung des Formsandsystems kann über eine Formsandbilanz berechnet werden.

Beispiel 2:

Eine Gießerei gießt pro Tag 30 t Schmelze in 280 t bentonitgebundenen Formsand, der im Kreislauf gefahren wird. Es wer-

den pro Tag 2000 kg Neusand, 3600 kg Kernsand, 1500 kg Bentonit und 600 kg Glanzkohlenstoffbildner verwendet. Die Menge an Kühl- und Befeuchtungswasser für den Formsand beträgt 7800 l und das Wasser hat einen Chloridgehalt von 130 mg/l. Nach Regel 1 ist die Zusammensetzung dieses Systems eine genaue Wiedergabe der einströmenden Stoffe, wenn diese im System nicht geändert werden. **Tabelle 1** zeigt den Verbrauch.

Nach einem sehr langen Zeitraum würde der Bentonitgehalt auf 19,4 % ansteigen (1350/6950 x 100 %). Die Menge an Aktivbentonit beträgt gleichzeitig aber nur 8,5 %. Dies bedeutet, dass der Rest des Bentonites totgebrannt ist und als Schamottestaub oder Schamottehülle auf dem Quarzsand vorliegt. Ebenfalls kann ein Teil des Bentonites über die Absaugung verloren gehen.

Das Chlorid bleibt aber im Formsand und verändert sich kaum. Der Gehalt an Chlorid im Formsand wird 0,0145 % oder 145 mg/kg sein. (1,01/6950 x 100 %). Für den Bentonit ergibt sich demzufolge ein Chloridgehalt von 0,0748 % oder 748 mg/kg. Da die Menge an Aktivbentonit aber ungefähr 43 % der Dosiermenge beträgt, so ist der eigentliche Chloridgehalt, auf den Aktivbentonit bezogen, ca. 1740 mg/kg. Es tritt also eine erhebliche Versalzung des Bentonites durch Kühl- und Befeuchtungswasser auf. Bekannt ist zudem die Tatsache, dass es zwischen den Elektrolyten im Wasser und dem Bentonit zu Interaktionen kommt.

Die Nasszugfestigkeit

Durch die Wärmeeinwirkung (Strahlung und Kontakt) entsteht ein Temperaturgradient in der Formwand, der sich mit zunehmender Einwirkdauer, Gieß- und teilweise Erstarrungszeit verändert. Es folgt die Verdampfung und Zersetzung von Wasser und anderen flüchtigen Formstoffbestandteilen und anschließend deren Kondensation in den kälteren Zonen der Form - es entsteht die so genannte Kondensationszone. Sie ist durch einen deutlich höheren Wassergehalt als im ursprünglichen Formsand (im Normalfall ein- bis zweifacher formgerechter Wassergehalt) sowie durch Temperaturen nahe der Siedetemperatur des Wassers (ca. 100 °C) gekennzeichnet. Die Festigkeit dieser Zone ist somit erheblich geringer als die Grünfestigkeit und wird in erster Linie durch die strukturellen und chemisch-physikalischen Merkmale des verwendeten Bentonites bestimmt (**Bild 3**).

Nach Untersuchungen von Patterson und Boenisch und den darauf basierenden Arbeitshypothesen [9, 10] unterscheidet man zwischen der „Oberflächenbindung“ und der „Brückenbindung“ durch Was-

Tabelle 1: Verbrauch				
Stoff (kg)	Menge (kg)	Feuchtigkeit (%)	Trocken (kg)	Zugabe
Formsand	280 000	3	272 000	
Neusand	2000	0	2000	2000
Kernsand	3600	0	3600	3060**
Bentonit	1500	10	1350	1350
GK-Bildner	600	5	570	570
Wasser	7800	100	–	
Chlorid	1,01*	0	1,01	
				6950

* 7800 kg Wasser x 130 mg Cl/kg, ** 15 % des Kernsandes verbleiben im Gussteil

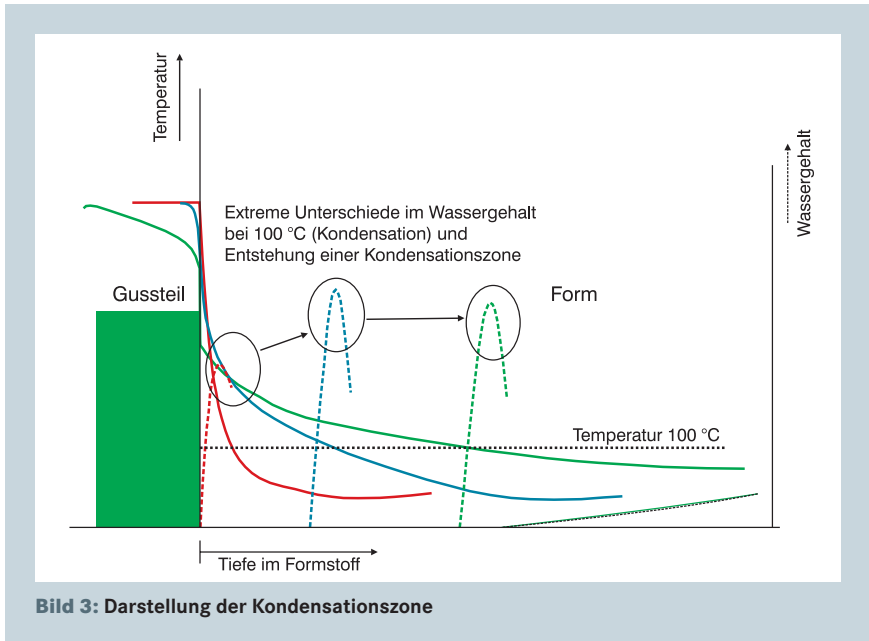


Bild 3: Darstellung der Kondensationszone

sermoleküle. Die erste Größe wird durch die Güte des Bentonites (Größe der Oberflächen seiner Teilchen) gesteuert und ist für den Komplex der Grünfestigkeitseigenschaften bei Raumtemperatur verantwortlich. Die „Oberflächenbindung“ vollzieht sich direkt zwischen benachbarten Teilchenoberflächen über stark und schwach geordnete Netze aus Wasserdipolen. Die „Brückenbindung“ ist dagegen vor allem eine Funktion der Ionenbelegung des Bindetons und macht sich erst bei höheren Wassergehalten und Temperaturen bemerkbar. Die Brückenbindung tritt ein, wenn benachbarte Tonteilchen durch dazwischenliegendes Wasser bereits voneinander getrennt sind. Diese Annahme erklärt die stark unterschiedlichen Was-

sergehalte für beide Bindungsarten und die Tatsache, dass bentonitgebundene Formstoffe auch in sehr nassem Zustand noch Bindekraft aufweisen.

In Gießereien werden zwar die Formstoffe im Bereich des formgerechten Zustandes verwendet und deren Festigkeit ist somit allein durch die Oberflächenbindung bestimmt, die Festigkeit durch Brückenbindungen hat jedoch eine besondere Bedeutung. Sie ist für das Verhalten des Formstoffes beim Gießen und für das Auftreten bestimmter Gussfehler, so genannter „Schülpen“ [11], maßgebend.

Die Festigkeit eines nassen Formsandes steigt als Folge eines Ionenaustausches - allgemein als Aktivierung bekannt - an. Dabei nimmt in der Regel als



Bild 4: Prinzip der Nasszugfestigkeitsmessung

erstes die Formfestigkeit in der Kondensationszone, die Nasszugfestigkeit zu. Im Allgemeinen zeigen gut aufbereitete Formsande (Quarzsande mit 7 % Bentonit; unter Laborbedingungen) Nasszugfestigkeiten von 0,40 bis 0,50 N/cm². Betriebsformsande zeigen Nasszugfestigkeitswerte von 0,20 bis 0,35 N/cm², wobei vor allem Werte von ca. 0,20 N/cm² auffällig sind. **Bild 4** zeigt das Prinzip der Messung.

Die Nasszugfestigkeitswerte eines Betriebsformandes werden stark durch den Bentonittyp, seine Aktivierung [12], die Aufbereitung und die „Verschmutzung“ des Formandes, wie z. B. durch Salze und den Anstieg von Kondensaten, beeinflusst. Auch größere Mengen von Feinanteilen verringern die Nasszugfestigkeit (**Bild 5**).

Bild 6 zeigt die Untersuchungsergebnisse eines Laborversuches (Aufbereitung nach VDG-Merkblatt P 69 [13]); Quarzsand wurde mit 7 % Bentonit in einem Kollergang 5 min normal aufbereitet. Nachdem die Mischung 24 h der Umgebungsluft ausgesetzt war und es zu einer Austrocknung gekommen ist, wurde erneut aufbereitet. Bei dieser Aufbereitung verwendete man mit Natriumchlorid versetztes Wasser. Die Wasserzugabe für den zweiten Zyklus betrug 80 ml mit 1600 mg NaCl, bezogen auf 6 kg Formstoff (420 g Bentonit). Somit entsprach die Chloridzugabe 965 mg auf 420 g Bentonit oder umgerechnet 2300 mg/kg Bentonit. Diese Zugabe von Natriumchlorid entspricht ungefähr einer möglichen Versalzung durch Kühl- und Befeuchtungswasser in einem Kreislauf-System.

Ein Bentonit-Lieferant hat die Möglichkeit Bentonite zu empfehlen, die weniger anfällig für den Abfall der Nasszugfestigkeiten sind. Ob ein Bentonit, oder besser gesagt, sein Hauptbestandteil Montmorillonit, heftig auf die Anwesenheit von Elektrolyten reagiert, wird mit labortechnischen Sandaufbereitungen geprüft. Auch eine starke Reaktion auf Über-

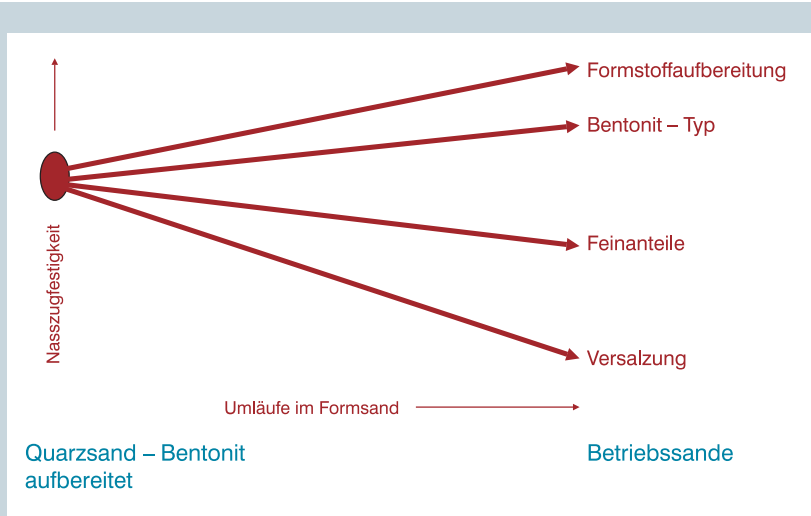


Bild 5: Faktoren, die einen Einfluss auf die Nasszugfestigkeit in einem Betriebsformsand ausüben.

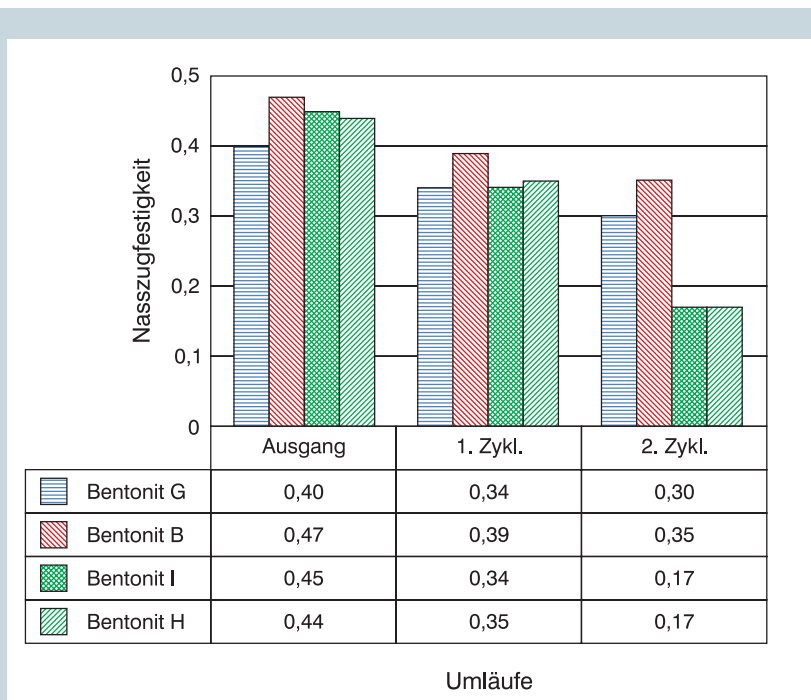


Bild 6: Bentonite reagieren unterschiedlich auf Versalzung, jenseits einer bestimmten Schwelle fällt scheinbar die Nasszugfestigkeit drastisch ab.

aktivierung mit Soda deutet auf einen geringen Widerstand gegen Versalzung hin. Die Ergebnisse in Bild 6 zeigen große Unterschiede in der Nasszugfestigkeit nach Zugabe von Elektrolyten. Scheinbar wird eine bestimmte Schwelle überschritten, jenseits davon fällt die Nasszugfestigkeit stark ab (Niveau von 0,30 bis 0,36 auf 0,17 N/cm²).

Schülpen, Schülpentest

Schalenbildung in der feuchten Gießform tritt als Folge hoher Druckspannungen und zu geringer Nasszugfestigkeiten entlang einer festigkeitsschwachen Schicht in der Kondensationszone auf. Die Fehler, die an der Gussoberfläche entstehen, nennt man Schülpen. Weitere mögliche Fehlerbildun-

gen werden in der Fachsprache als Riefen, Blattrippen, Hohlkehlen, Rattenschwänze und Formbruch bezeichnet.

Eine qualitative Erfassung und ein Vergleich der Fehlerneigung von Formstoffen mit verschiedenen Bentoniten kann mit Hilfe von Schülpentests erfolgen. Die Durchführung dieses Tests wurde mehrfach in der Literatur ausführlich erläutert und bedarf keiner weiteren Erklärung. Einige Ergebnisse von Schülpentests sind in Bild 7 und die Tabelle 2 zu sehen.

Die gemessenen Werte zeigen eine hervorragende Übereinstimmung mit dem bekanntesten Schülpendiagramm [12] – Bild 8 – und „bestätigen“ bzw. begrenzen die Anwendung einzelner Bentonite in Bezug auf:

- > steigenden Wassergehalt; steigende Verdichtung,
- > steigenden Bindergehalt,
- > Aktivierung,
- > steigende Olithisierung,
- > Desaktivierung.

Mit der Schülpenzeit wird die höchstzulässige Gießzeit angegeben, in der die Form gefüllt sein muss, bevor es zur Schülpenbildung kommt. Sie sollte unter Umständen („schülpenschwache“ Bentonite) auch in die Berechnung des Gieß- und Speisesystems hineinfließen.

Durch Formstoffzusätze, zulaufende Kernaltsande, Betriebswasser und wiederholten Sandumlauf wird die Lage des Betriebspunktes eines Nassgussandes verändert. Auch hier soll dem Gießer ermöglicht werden, Änderungen mit hoher Genauigkeit abzuschätzen und bei der Kreislaufberechnung zu berücksichtigen. Eine Verkürzung der Schülpenzeit findet demzufolge aufgrund der Des- oder Überaktivierung des Bentonites statt und ist von der thermischen Beständigkeit, dem Versalzungswiderstand und dem Umlaufzustand eines Formstoffes abhängig (Bild 8b).

Die goldene Regel lautet: „Eine hohe Nasszugfestigkeit und eine daraus folgende geringe Fehlerneigung lassen sich nur durch gute, vollaktivierte Bentonite erreichen und einhalten“.

Kennzeichnend für vollaktivierte Bentonite ist der nach geringem Sodazusatz unveränderte oder nur schwach verminderte Nasszugfestigkeitswert, der erst bei weiterem Zusatz von Soda stark abfällt. Die Nasszugfestigkeitswerte überaktivierter Sande sinken dagegen sofort nach dem Zusatz kleinerer Sodamengen.

Unteraktivierte Ca-Bentonite bzw. unbehandelte (natürliche) Mischbentonite zeigen immer geringere Werte. In der Literatur wird oftmals darauf hingewiesen, dass sich beim Einsatz solcher Bentonite ein gewünschtes Niveau der Nasszugfestigkeit nur durch eine direkte Sodazugabe in das Kreislaufsystem einstellen lässt. Diese Arbeitsweise wird sogar als wirtschaftlich empfohlen, da dabei auf den Aktivierungsvorgang beim Lieferanten verzichtet werden kann (Beispiel: Mischbentonite). Das Soda muss dabei in einem Kollergang intensiv in den Formsand eingeknetet werden, damit es mit allen Tonpartikeln in direkte Berührung kommt.

Nach unseren Erfahrungen ist ein solches Verfahren sowohl weniger wirtschaftlich (Beschaffung von Soda, Dosieren etc.), als auch mit einem hohen Risiko verbunden. Moderne Sandaufbereitungssysteme arbeiten zwar immer schneller, können jedoch im besten Fall gerade den notwendigen Aufbereitungsgrad des Form-

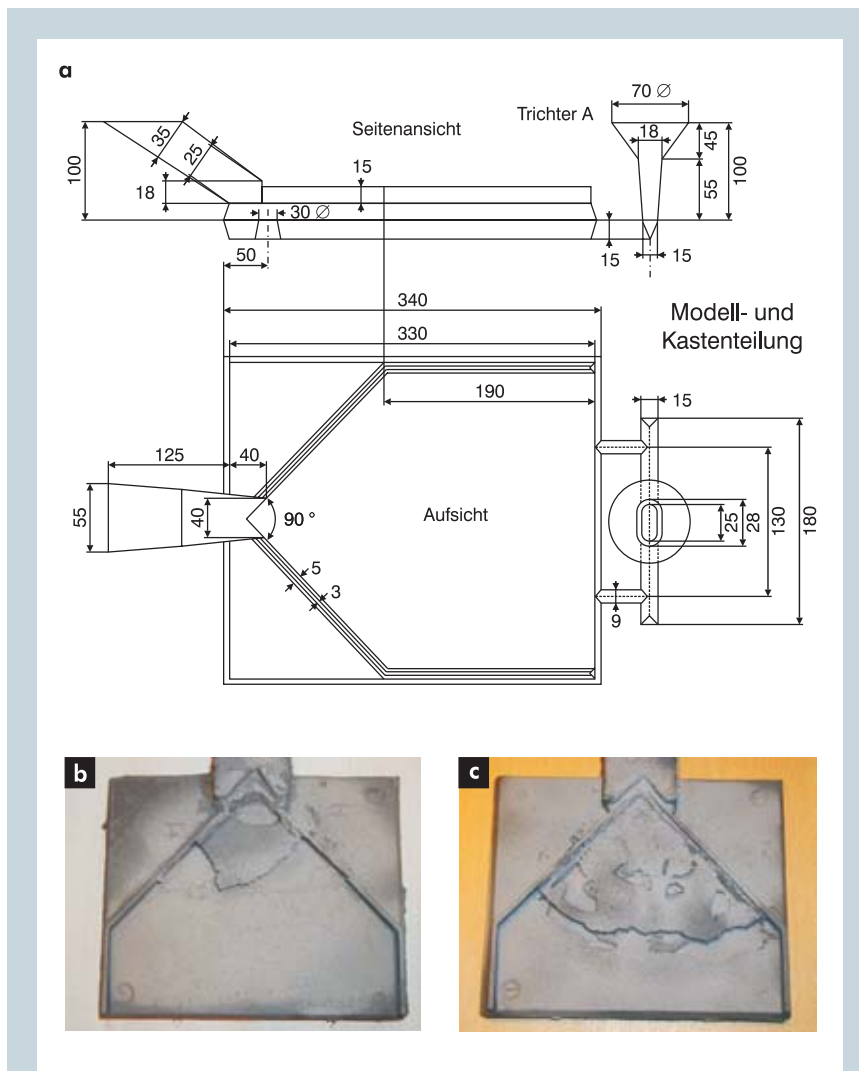


Bild 7: Schematische Darstellung des Schülpentests: a) Prinzip der Schülpenproben, b) geringe und c) mittlere bis starke Fehlerneigung

Tabelle 2: Schülpenbildungszeit verschiedener aktivierter Bentonite (frische Labormischungen).				
Bentonit	B	G	H	I
Schülpenbildungszeit	21	40	22	23

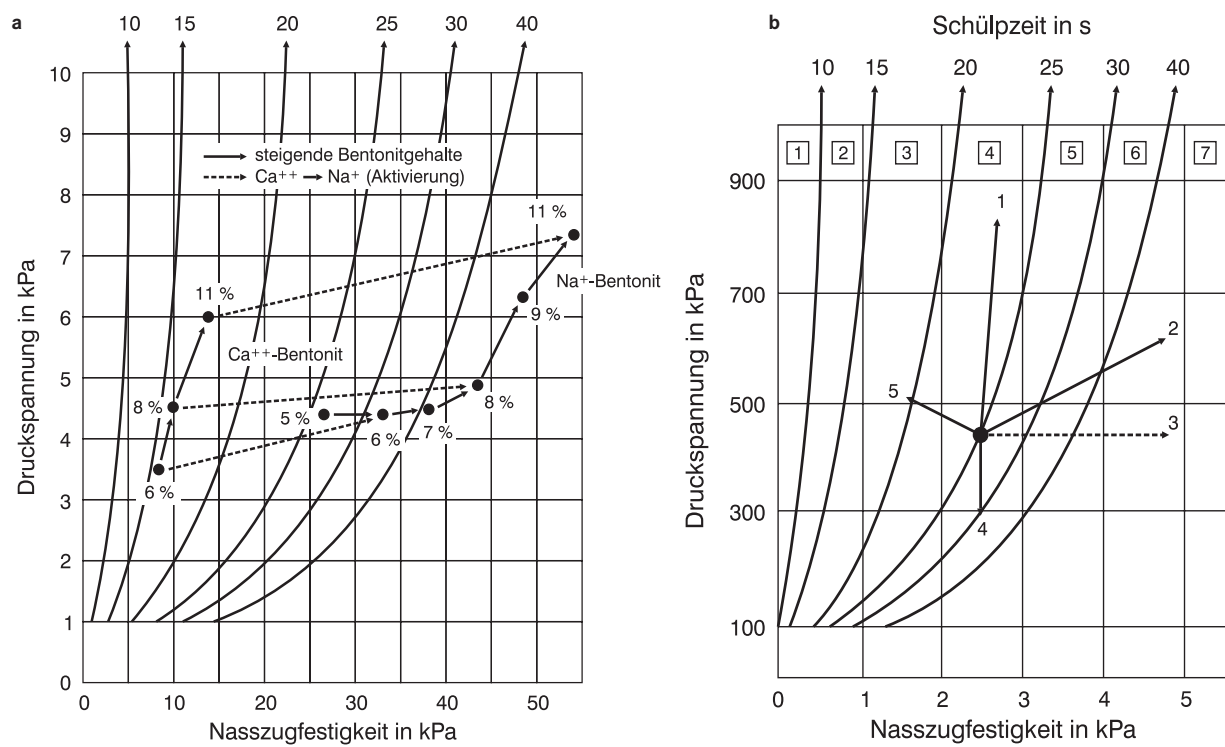


Bild 8: a) Schülpendiagramm; b) Einfluss auf die Schülpenneigung

stoffes erreichen und sind von den Taktzeiten der Formanlage stark abhängig. Die Mischzeiten sind für eine gleichmäßige Sodaaufnahme und Aktivierung nicht ausreichend und somit liegt die Soda frei im Kreislaufsystem vor, was unter Umständen zu schlechteren Werten bei der Bestimmung der Nasszugfestigkeit führt.

Zusammenfassung

Es wurde erläutert, dass die Zusammensetzung eines bentonitgebundenen Formstoffes in einem Kreislaufsystem, bezogen auf einen großen Zeitraum, eine genaue Wiedergabe der einströmenden Stoffe ist, wenn diese im System nicht geändert werden. Basierend darauf ist es möglich, Berechnungen durchzuführen und die Folgen von Änderungen bei der Zugabe von Rohstoffen oder Wasser ins Kreislaufsystem abzuschätzen.

Anhand von Beispielen wurde gezeigt, dass der Formstoff mit Elektrolyten aus dem Kühl- und Befeuchtungswasser schwer belastet wird und dass verschiedene Bentonit-Typen unterschiedlich hinsichtlich der Festigkeiten im Bereich der Kondensationszone (Nasszugfestigkeit) reagieren. Abschließend wurde die Beziehung zwischen der Nasszugfestigkeit und dem Entstehen von „Schülpen“ besprochen.

Dipl.-Ing. Cornelis Grefhorst, Dr. Oleg Podobed, Dipl.-Geologin Sandra Böhnke, Marl

Literatur:

- [1] VDG-Merkblatt R 95 „Formstoffkreislauf“ (1989).
- [2] Giesserei 71 (1984) Nr. 8, S. 319-325.
- [3] Giesserei 71 (1984) Nr. 9, S. 358-361.

- [4] Gietwerk Perspectief Jrg. 9 (1989) Nr. 1, S. 8-11.
- [5] Trans. Amer. Foundrym. Soc. 82 (1974), S. 593-598.
- [6] Giesserei-Praxis (2003) Nr. 2, S. 61-69
- [7] Giesserei-Praxis (2000) Nr. 6, S. 241-244.
- [8] Giesserei 86 (1999) Nr. 6, S. 145-149.
- [9] Boenisch, D.: TIZ-Zbl. 86 (1962) H. 10, S. 237-250.
- [10] Giesserei Tech.-Wiss. Beihefte 13 (1961) Nr. 3, S. 157-193.
- [11] Baier, J. & Köppen, M.: Handbuch der Gussfehler, IKO-Erbslöh (1994).
- [12] Giesserei 45 (1958) Nr. 19, S. 565-567.
- [13] VDG-Merkblatt P 69 „Bindemittelprüfung - Prüfung von Bindetonen“ (1999).
- [14] Giesserei 51 (1964) Nr. 21, S. 634-641.