

Wolfgang Ernst

Aufbereitungskühlung – ein Schritt zur optimalen Sandaufbereitung

Aufbereitungskühlung – ein Schritt zur optimalen Sandaufbereitung

W. Ernst

Einleitung

Bei jeder Sandaufbereitung ist ein Fokus auf die Aufgabenstellung der Dosierung der richtigen Bentonitmenge gerichtet. Mangels geeigneter verzögerungsfreier online Messungen des Bentonitgehaltes wie z. B. bei der Feuchtemessung müssen Ersatzverfahren für ein ausreichendes Formsandmanagement entwickelt werden.

Eine Idee nimmt Gestalt an

Zum Jahreswechsel 1996/97 wurde in der Gießerei Harzguss Zorge hinter dem Fließbettkühler ein zusätzlicher Mischer integriert. Nach dem Prinzip der Formstoffbilanzierung wurden die Kasteninformationen der Auspackstelle der Formanlage ausgewertet. Der Verschleißfaktor unter Berücksichtigung des Sand-Eisen-Verhältnisses und die Zulaufmenge des Kernsand es sind die Berechnungsgrundlagen für die Bentonitmenge. Kleine Serien mit radikalen Wechseln der Modellparameter erfordern eine unverzögerte Reaktion auf die Belastungen im Sand. Vor dieser Umstellung wurde klassisch wie in den meisten Sandaufbereitungen Bentonit und Gemisch vorbeugend im Endmischer zudosiert. Bei hohen Zugabewerten der Additive ab ca. 1 % vom Chargengesamtgewicht mit hohem Wassermengenbedarf verringerte sich sehr deutlich die Fließfähigkeit. Regelmäßige „Sandkatastrophen“ zwangen zu einer radikalen Umgestaltung. Der entscheidende Unterschied zwischen diesen beiden Ansätzen liegt

Wolfgang Ernst, datec GmbH Dosier und Automatisierungstechnik, Braunschweig; vortragen auf den 6. Formstofftagen in Duisburg

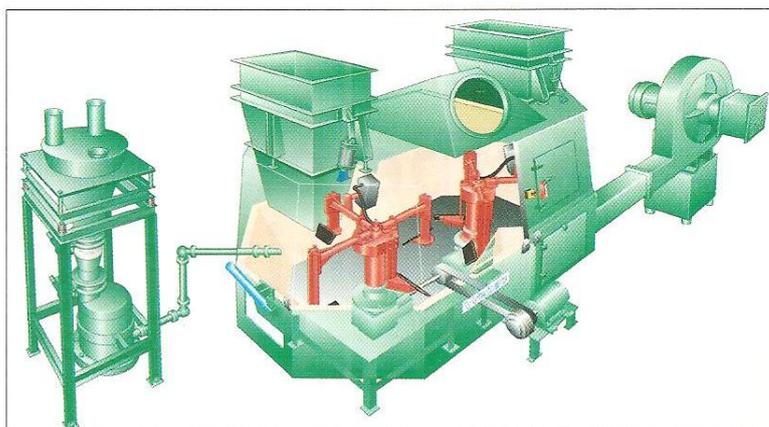


Bild 1. Schematischer Aufbau eines Chargenkühlers, Quelle: WEBAC GmbH

darin, dass bei dem vorbeugenden Verfahren die Bindemittelmenge dosiert wird, die in Abhängigkeit zum Modell als Verlust erwartet wird.

Der Formsand gelangt übersättigt zur Formanlage. In dem Verfahren der kastenbezogenen Rücklaufsandsteuerung wird der pro Kasten bezogene Verlust im Mischer hinter dem Kühler ausgeglichen. Für jede Charge wurde das Rezept immer wieder automatisch neu bestimmt und erlaubte einen mannslosen Betrieb. Seit der Umstellung waren von einem

Tag zum anderen die bisherigen Probleme verschwunden [1].

Dieser neue und erfolgreiche verfahrenstechnische Ansatz hatte den Schönheitsfehler des zu hohen apparativen Aufwandes. Neben dem bisherigen Mischer und dem Kühler wurde ein drittes Großaggregat aufgebaut. Überlegungen, die Bindemittel bereits im Durchlaufkühler zuzugeben, wurden mangels geringer Praktikabilität fallengelassen. Alternativ wurde die Idee entwickelt, den Mischkühler für einen Chargenbetrieb umzufunktionieren, indem die parallelen Prozesse Sandzufuhr, Wasserzugabe und Luftdurchleitung sequentiell ausgeführt werden. Im Chargenbetrieb wird in der zuerst ablaufenden Kühlphase nach der Zuführung der abgewogenen Sandmenge und aus der Feuchte- und Temperaturmessung bestimmten Wassermenge die Luft eingeschaltet. Nach 2 bis 3 Minuten wird die Luft abgeschaltet, und in einer kurzen Mischphase werden die Bindemittel zudosiert.

Bei der Konkretisierung dieses verfahrenstechnischen Ansatzes



Bild 2. Bindemittel-Injektor am Kühler

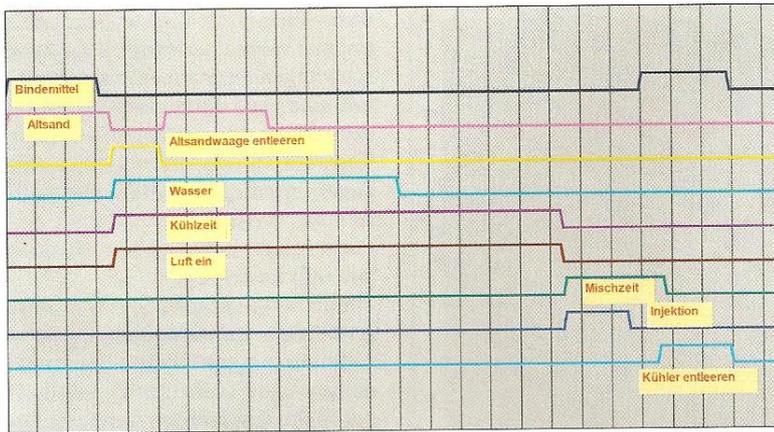


Bild 3. Zeitdiagramm eines kompletten Zyklus

war offen, ob ein Chargenkühlbetrieb gleichwertige Kühlergebnisse bringen kann. Bei seinem ersten Einsatz in der dänischen Gießerei Valdemar Birn [2] offenbarten sich deutlich bessere Kühleffekte als sie bislang im kontinuierlichen Durchlaufbetrieb erzielt werden.

Nach über acht Jahren erfolgreichem Einsatz des Mixers hinter dem Fließbettkühler wurden in Zorge kapazitive Grenzen offenbar. Das stetige Ansteigen des Kernsandgewichtes und die Vergrößerung der vergossenen Eisenmenge pro Kasten ließen den Bedarf der Bindemittelmenge pro Charge soweit steigen, dass die bestehenden Dosiereinrichtungen diese Mengen nicht bewältigen konnten. Gleichzeitig stiegen die Temperaturen im Altsand vor dem Kühler bis auf 180 °C an, sodass der Kühler nicht mehr ausreichend kühlen konnte. Ein Umbau wurde nötig, und auf Grund der positiven Erfahrungen mit dem Konzept, den Altsand bereits hinter der Auspendeckung aufzufrischen und den Endmischer nur noch für die Wasserzugabe zu nutzen, fiel die

Entscheidung leicht, den Fließbettkühler und den Mischer durch einen Chargenkühler zu ersetzen. Der folgende Zwischenbericht zeigt die ersten Erfahrungen mit dem Kühlmechanismus als auch mit der Bewältigung der erhöhten Bindemittelzugabe. Abschließend soll vergleichend das Verfahren eines Chargenkühlers dem eines Formstoffprüfautomaten gegenübergestellt werden, der die Wasserzugabe über die Verdichtbarkeit steuert und die Bentonitzugabe durch die Druckfestigkeit gezogener Proben aus dem laufenden Mischprozess.

Die Anforderungen in Zorge

Die Anforderungen für den Chargenkühler gaben einen Stundenumsatz von bis zu 130 t/h bei insgesamt 300 t im Umlauf vor. Maximal auftretende Temperaturen sollten von bis zu 180 °C auf 43 °C gekühlt werden. Bei einer Chargengröße von 7 t sollte eine angepasste Bindemitteldosierung bei schnell wechselndem Modellprogramm integriert werden.

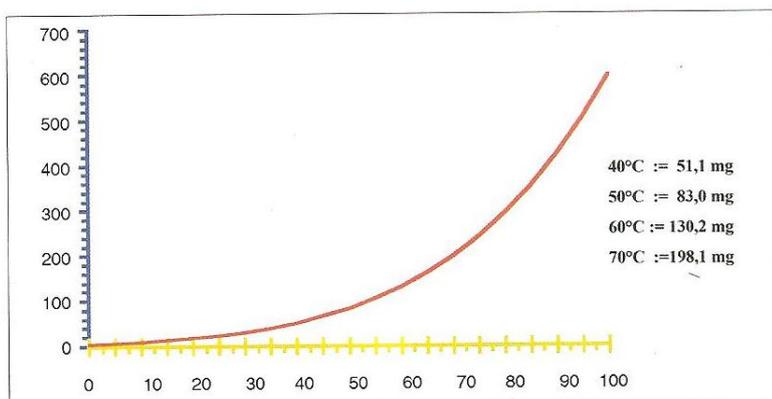


Bild 4. Das temperaturabhängige Wasseraufnahmevermögen der Luft

Das Zeitdiagramm (Bild 3) dokumentiert den Ablauf eines Zyklus. Fast gleichzeitig beginnen nach Ende der Altsand- und Bindemittelverwiegung die Altsandwaagen sich in den Kühler zu entleeren. Die Wasserzugabe startet und die Zu- und Abluftklappen werden geöffnet. In der knapp dreiminütigen Kühlphase wird die gesamte Abkühlung vollzogen. Nach dem Abschalten der Kühlluft werden in einer kurzen Mischphase die Bindemittel über 2 Injektoren in den Kühler verbracht.

Die Kühlung

Die Kühlung erfolgt über den intensiven Verbrauch der Wärmeenergie für die Verdunstung von Wasser. Eine vereinfachte aber ausreichende Bestimmung des Kühlwasserbedarfs ergibt folgende Faustformel: mit 1 % Wasseranteil der Altsandgesamtmenge wird um 30 °K abgekühlt. Bei einer Chargengröße von 7 t mit einer Einlaufstemperatur von 180 °C und einer Abkühlung auf 40 °C ist ein Wasserbedarf von 4,6 % erforderlich.

Es müssen somit für diese Charge in der angegebenen Kühlzeit 322 Liter Wasser verdunsten. Die sich anschließende bedeutende Frage ist, ob die durchströmende Luft in der Lage ist, diese Wassermenge in verdunsteter Form aufzunehmen. Das Wasseraufnahmevermögen der Luft ist temperaturabhängig, wenn man Luftdruckstabilität unterstellt. In Bild 4 ist der nichtlinear ansteigende Verlauf für die absolute Feuchte pro Nm³ dargestellt. Erkennbar ist der Zusammenhang, dass bei steigender Temperatur die Luft auch mehr Wasser aufnehmen kann [3].

Erfahrungen und Auswertungen des Kühlprozesses

Im Gegensatz zum kontinuierlichen Betrieb eines Durchlaufkühlers stellt sich kein eingeschwungener Zustand ein, indem die Ablufttemperatur nur in kleinen Bereichen variiert. Die Ablufttemperatur hat zu Beginn einen Spitzenwert, der über die Zeit abklingt. Der typische Verlauf wird deutlich in dem Diagramm in Bild 5, das 3 Zyklen darstellt, wobei die Messwerte im 0,5 Sekunden-Takt aufgenommen wurden.

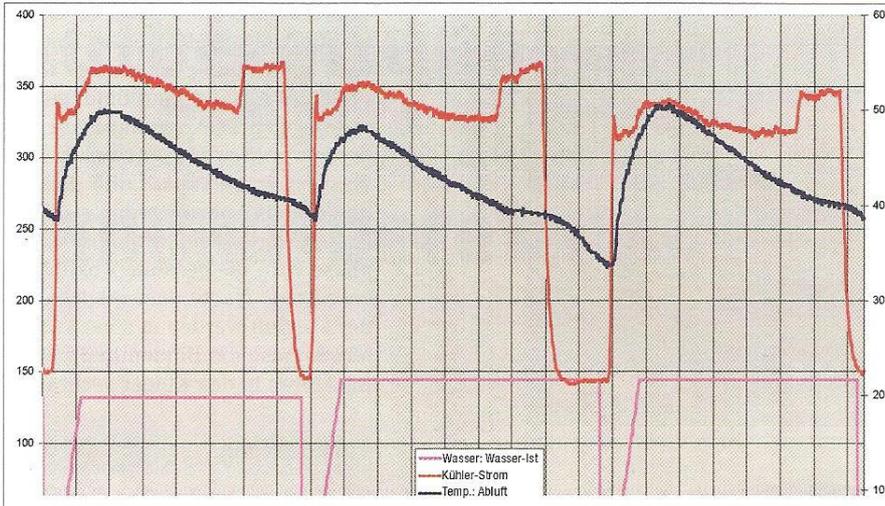


Bild 5. Zeitdiagramm über 3 Zyklen für den Motorstrom, Ablufttemperatur, Wasserzähler

Aufgetragen sind die 3 Verläufe des Motorstroms, der Ablufttemperatur und der Wasserzugabe von einem der beiden Wasserstränge. Nach der Inbetriebnahme wurden bei mittleren Temperaturen (bis zu 120 °C) die gewünschten Kühlwerte erreicht, jedoch bei deutlich höheren Temperaturen, kam der Sand zu nass und auch zu warm aus dem Kühler. Zur Verbesserung des Kühleffektes sind 2 Varianten denkbar, Erhöhung der Luftmenge sowie die Erhöhung der Ablufttemperatur zur erhöhten Wasseraufnahme der Abluft. Die Erhöhung der Luftmenge erbrachte keinen besonders verbesserten Kühleffekt, verdoppelte aber die Staubentnahme, was wiederum die Sandqualität deutlich verschlechterte.

Eine deutliche Verbesserung der Kühlleistung wurde durch Reduktion der Luftmenge erzielt, weil die Ablufttemperatur markant anstieg. Die Abluftmenge wurde um ca. 15 % von 43 000 Nm³ auf ca. 36 000 Nm³ reduziert, womit die Ablufttemperatur um 20 °K gesteigert und Spitzenwerte von 70 °C erreicht wurde. Gerade bei diesen hohen Temperaturen verdoppelt sich das Aufnahmevermögen der Luft, was die Kühlleistung deutlich verbessert.

Staubmanagement als Bestandteil der Qualitätssicherung für die Formsandqualität

Neben dem überraschenden Effekt der verbesserten Kühlwirkung, bewirkte die Luftminderung auch eine deutliche Reduktion des Staubaus-

trages. Die anfängliche zur Deponie verbrachte Tagesmenge von 4 t Staub, konnte fast auf Null heruntergefahren werden. Ausgehend von ca. 40 % Bentonit im Staub, wurden von nun ab pro Tag 1,6 t Bentonit im Formsand belassen. Bezogen auf 300 t Umlaufsand, ergab sich nach dieser Umstellung ein Anstieg des Aktivtongehaltes von 0,5 %, was über die Methylenblauprobe sich labortechnisch auch nachweisen ließ. Gerade bei den hohen Kernsandzuläufen war die verringerte Staubentnahme zur Wahrung der Feinanteile ein begünstigender Effekt.

Offenbar wird hierbei der Kopleffekt zur Auffindung eines optimalen Arbeitspunktes für das beste Kühlverhalten bei gleichzeitiger geringer Staubentnahme. Hier sind sicherlich noch bei vielen Kühlern deutliche Verbesserungspotentiale vorhanden, wenn durch geeignete Luftklappen die Luftzu- und -abfuhr eingestellt werden kann. Die Erfahrungen aus Zorge zeigten weiterhin,



Bild 6. 2 Staubsender unter dem Zyklon

dass eine kontrollierte Staubentnahme sehr sinnvoll ist, weil schwankender Staubzug sich unmittelbar auf die Sandqualität niederschlägt. Eine ständige einfache Kontrolle, wann wieviel Staub entzogen wird, gibt schon viel Aufschluss, warum der Sand an der Formanlage schwankende Qualitäten aufweisen kann.

Für das Konzept des Chargenkühlers wurde daher eine hohe Aufmerksamkeit für die Staubentnahme und Staubrückführung aufgebracht. Es wurden zwei Staubrückführungswege geschaffen. Ganz klassisch wird unmittelbar hinter dem Kühler die Abluft durch einen Zyklon geleitet, der den größten Teil des Staubes herausfiltert. Der Rest wird in der Filteranlage ausgeschieden.

Unter dem Zyklon befinden sich zwei Sender, die während des Zyklus den Staub wieder in die Charge zurückbringen. Die entzogenen Feinanteile werden der betroffenen Charge zurückgeführt und auch untergerührt. Der Filterstaub, der anfangs auf die Deponie gefahren wurde, wird nun zu einem Silo an der Bindemittelwaage transportiert und pro Charge in den Altsand zurückgeleitet.

Pro Charge werden 2 bis 3 Senderfüllungen in die Charge geschossen, vor der Luftreduktion war es fast die doppelte Anzahl.

Formstoffmanagement für die gezielte Steuerung der Bindemittelzugabe

Bereits vor dem Umbau wurde die Informationslage an der Auspackstelle der Formanlage für die Rezeptbestimmung der Bindemitteldosierung genutzt. Mit dem Verfahren der Formstoffbilanzierung (siehe VDG-Merkblatt R95) werden über eine 30-Tagesbilanz der Verbräuche die Verschleißfaktoren für Bentonit und Glanzkohle gebildet. Mit der Angabe des Sand-Eisen-Verhältnisses kann über die Verschleißfaktoren der anliegende Verlust durch die thermische Belastung ermittelt und somit die erforderliche Menge der Bindemittel pro Charge per Programm automatisch berechnet werden. Die zweite dominante Einflussgröße ist der Kernsandzulauf, der den Altsand quasi verdünnt und ad-

ditiv zu den beiden Dosierwerten von Bentonit und Gemisch hinzugefügt werden.

Beispielhaft sollen an einem Tagesablauf die unterschiedlichen Bedarfsmengen dargestellt werden. An diesem ausgewählten Tag wurden in 19 Stunden über 2.800 Kästen produziert. In den Bildern 7 bis 11 wird ersichtlich, in welchen Bereichen die Schwankungen sich ergeben. Für die beiden Haupteinflussfaktoren der vergossenen Eisenmenge und der einlaufenden Kernsandmenge sind über den Tag betrachtet folgende Extremwerte zu finden: maximale Eisenmenge von 112 kg, was einem Sand-Eisen-Verhältnis von 3,6 entspricht und minimal 18,8 kg entsprechend 30,2. Die maximale Kernsandmenge liegt bei 83 kg, was in Relation zur Formsandmenge im Kasten 21 % entspricht und minimal 0 kg. Werden beide Effekte überlagert und dargestellt in dem sich einstellenden Aktivtongehalt, so zeigt sich auch hier eine drastische Spreizung zwischen 7,9 % und 5,3 % bei einem Sollwert von 8,0 %. Insgesamt ergibt sich für den Bentonitbedarf pro 7 t Charge eine maximale Menge von 192 kg und minimal 8,1 kg. Deutlich reduziert in der Menge, aber ähnlich intensiv variierend, ist der GKB-Bedarf, der sich zwischen 5 und 50 kg pro Charge bewegt. Eine vorbeugende Steuerung am Mischer wäre hoffnungslos überfordert, bei diesen Extremwerten einen formfähigen Formsand der Formanlage zur Verfügung zu stellen. Speziell die großen Bentonitmengen und der damit verbundene hohe Wasserbedarf mindern beträchtlich seine Fließfähigkeit.

Resümee der Chargenkühlung

Der Chargenkühler, der bereits einige Male in Gießereien zum Einsatz gekommen ist, weist ein effektives Kühlverhalten auf, was ausschließlich mit konventionellem Verfahren der Verdunstungskühlung im Normaldruck erreicht wird. Selbst extrem hohe Temperaturen werden in Kühlzyklen unter drei Minuten gekühlt. In Kombination mit einer formstoffbilanzierten Rezeptbestimmung der Bindemittel unter Ausnutzung der Informationslage an der Auspackstelle können die Verluste

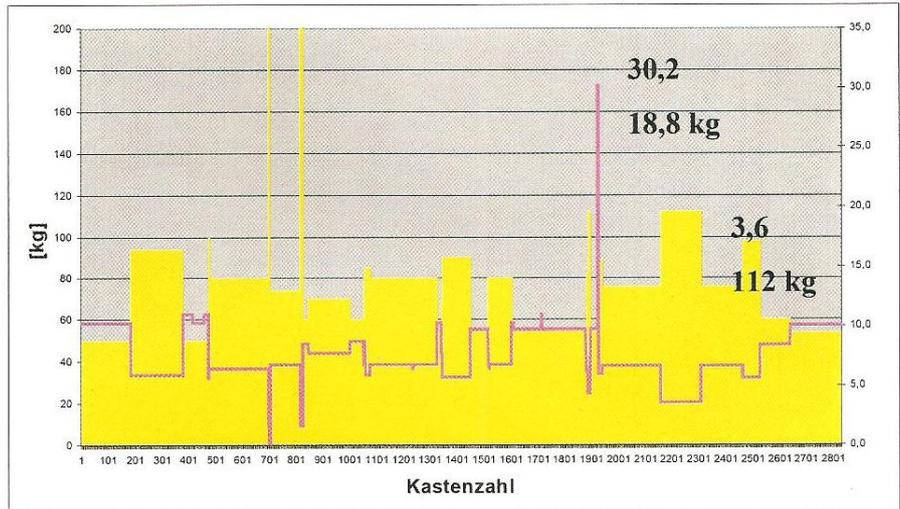


Bild 7. Tagesverlauf pro Kasten die Eisenmenge (kg) und das Sand-Eisenverhältnis

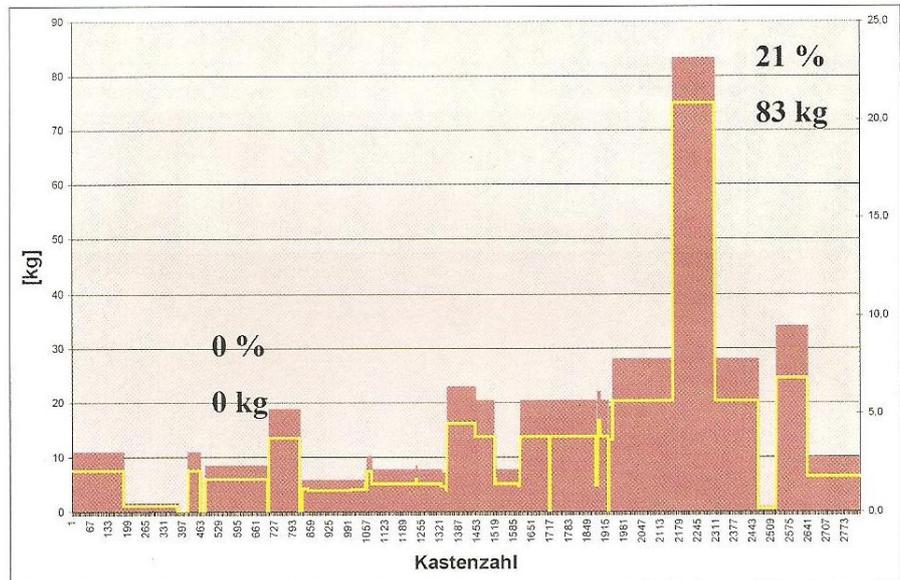


Bild 8. Tagesverlauf pro Kasten die Kernsandmenge (kg) und der Kernsandanteil

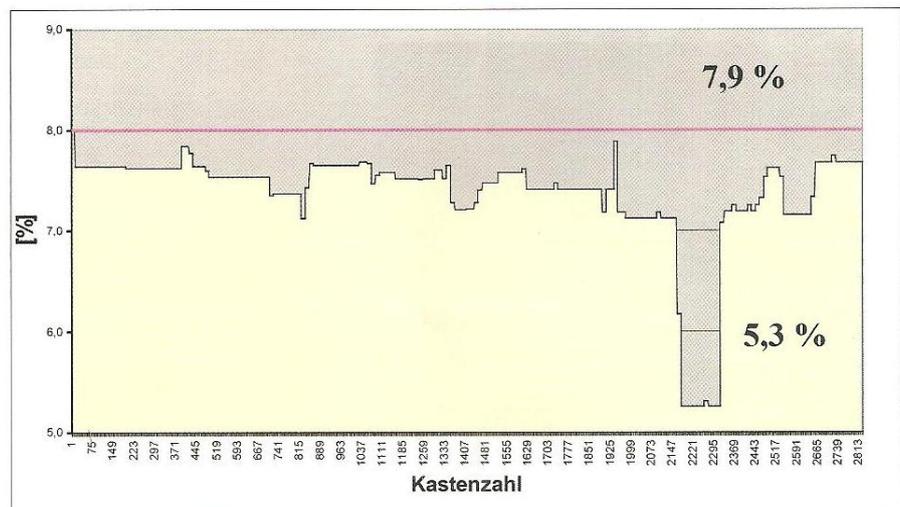


Bild 9. Tagesverlauf über den sich einstellenden Aktivtongehalt

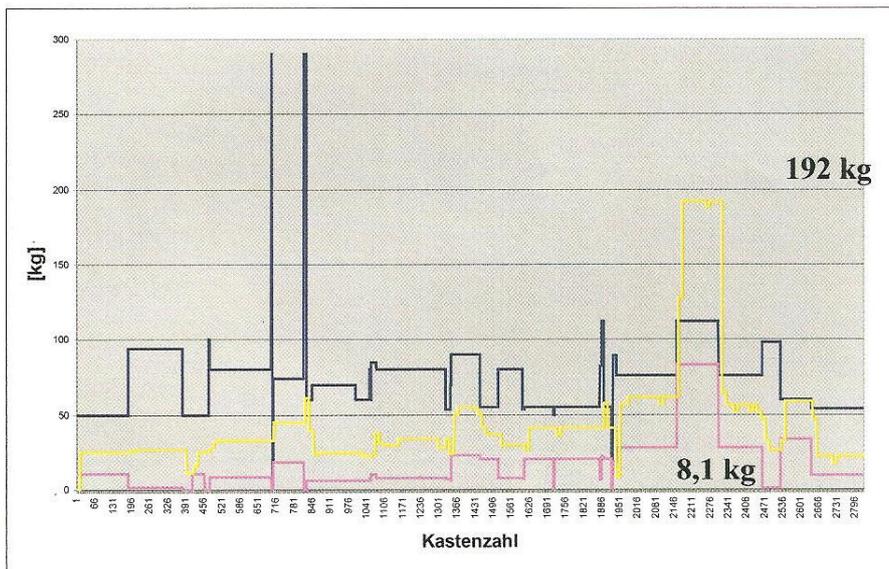


Bild 10. Dosierbedarf des Bentonits über die Kastenzahl sowie die Eisen- und Kernsandmenge

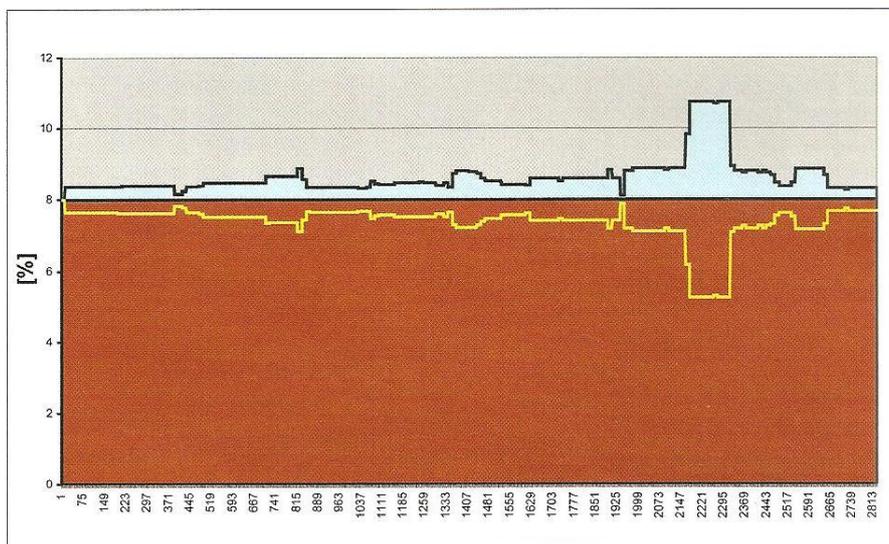


Bild 11. Entwicklung des Aktivtongehaltes in der vergleichenden Darstellung für die vorbeugende Steuerung

verzögerungsfrei ausgeglichen werden. Eine teure Messtechnik ist hierbei nicht erforderlich. Die gezielte Einstellung eines optimalen Arbeitspunktes bei der Luftzu- und -abfuhr ermöglicht zusätzlich die Steuerung des Staubastrages. Hier offenbarte sich bei genauerer Betrachtung, dass die Kontrolle über eine gleichmäßige Staubbentnahme, Schwankungen der Qualitätswerte auf der Formstoffseite hinter dem Mischer verkleinerten.

Formstoffprüfautomaten als weitere Variante für das Formstoffmanagement

Seit vielen Jahren werden Formstoffprüfautomaten zur Feuchte- und Bentonitsteuerung angeboten. Über die Messung von Sandproben werden wie in einem mechanisierten Labor die Verdichtbarkeit und spezielle Festigkeitswerte erfasst und daraus die Dosiervorgaben gewonnen. Der Rotocontrol von der französischen Firma Fondarc gehört zu den ältesten Systemen in Europa, die seit ca. 25 Jahren im Einsatz sind. Der RTC 106, Typ einer neuen Generation, wurde im letzten Jahr erfolgreich in zwei deutschen Gießereien eingebaut.

Die folgenden Ausführungen erörtern die Frage, inwieweit das Konzept der Formstoffbilanzierung konträr zu einem Formstoffprüfautomat steht bzw. welche Stärken von welchem System zu erkennen sind. Zuvor soll der funktionelle Ablauf eines RTC beschrieben werden.

Prinzipiell sind für derartige Systeme drei Einsatzorte denkbar, di-

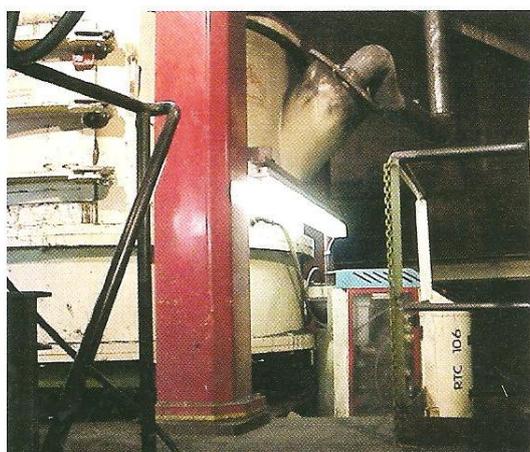


Bild 12. Am Mischer eingebauter RTC 106 zur direkten Sandentnahme

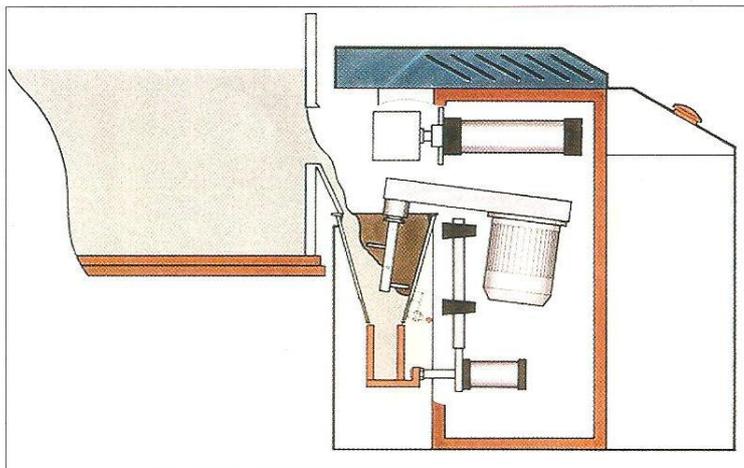


Bild 13. Schema der Probenentnahme aus dem Mischer

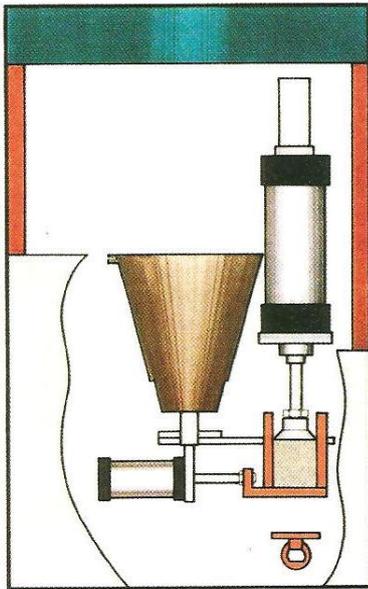


Bild 14. Schema der Verdichtbarkeitsmessung

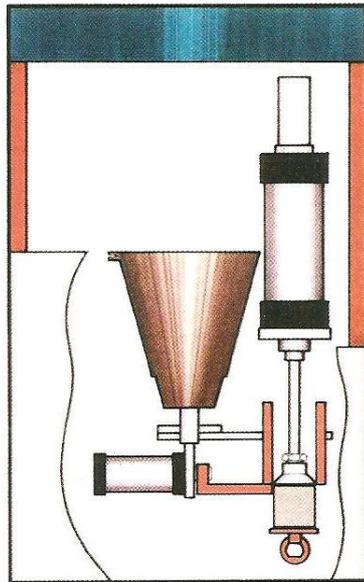


Bild 15. Schema der Druckfestigkeitsmessung

rekt am Mischer zur Probenentnahme aus dem laufenden Zyklus, hinter dem Mischer und an der Formanlage zur Erfassung des endgültigen Zustandes kurz vor der Abformung. Der RTC 106 holt über eine schnell verschließbare Öffnung in der Mischerwandung eine Probe nach Ablauf einer minimalen Mischzeit (Bild 13 und 17) und stellt die Verdichtbarkeit (Bild 14) fest. Bei Unterschreitung wird eine Restwassermenge ermittelt und zudosiert. Nach einer weiteren Zwischenzeit wird eine 2. Probe genommen und sobald der Verdichtbarkeitswert im einstellbaren Toleranzfeld liegt wird im 3. Schritt eine Druckfestigkeitsmessung (Bild 15) über eine kleine Wägezelle vorgenommen und gleichzeitig die Freigabe zur Mischerentleerung signalisiert.

Die direkte Regelkorrektur durch

eine unverzögerte Wasserzugabe in den Mischer erlaubt eine genaue Einhaltung der Verdichtbarkeitswerte. Die Diagramme in den Bildern 18 und 19 zeigen einen Ausschnitt über eine Aufzeichnung von 200 Chargen in einer süddeutschen Gießerei mit einem sehr feinen synthetischen Sand, ähnlich wie Natursand, der sehr empfindlich reagiert. Es werden sechs Maschinen mit unterschiedlichen Sollwerten für die Verdichtbarkeit bedient. Das erste Diagramm zeigt die Abweichung zwischen Soll- und Istwert. Fast 70 % der Chargen haben eine Abweichung unter 0,5 % Verdichtbarkeit, weitere 20 % unter 1,0 %. In dem zweiten Diagramm wird der Wechsel der Sollwerte von einer Charge zur anderen offenbar und auch die Fähigkeit, die Genauigkeit zu halten.

Druckfestigkeitsmessung zur Bentonitsteuerung

Die Druckfestigkeitsmessung erfolgt zum Zeitpunkt der Mischerentleerung, wenn der Sollwert der Verdichtbarkeit erreicht wurde. Der Druckfestigkeitswert wird markant durch den Feuchtegehalt beeinflusst, steigende Feuchte erhöht seinen Messwert. Somit kann ein unterschreitender Bentonitgehalt durch eine zusätzliche Ergänzungsdosierung von Bentonit im laufenden Zyklus nicht kompensiert werden. Zudem ist der Dosieraufbau für diese Funktion völlig ungeeignet, da nach Entleerung der Bentonitwaage bereits die nächste Charge vorbereitet wird.

Der verfahrenstechnische Kompromiss ist eine vorsichtige Trendkorrektur in der Bentonitzugabe. Bei Überschreiten des Sollwertetunnels wird die Zugabe für die übernächste Dosierung um 0,1 % abgesenkt bzw. umgekehrt um 0,1 % erhöht (andere Schrittgrößen sind möglich). Dieses vorsichtige Herantasten erlaubt eine Korrektur für die gesamte Sandumlaufmenge aber nicht für die einzelne Charge.

Ein Systemvergleich mit einer Extremsituation aus dem Tagesprogramm aus Sorge offenbart in Bild 20 deutlich die verzögerte langsame Reaktion des Formstoffprüfautomaten. Bei dem Wechsel von ca. 60 kg Bentonitbedarf auf fast 200 kg kann die Formstoffbilanzierung sofort reagieren.

Der Formstoffprüfautomat stellt in der ersten Charge eine heftige Abweichung zum Mischzyklusende fest, kann aber nicht mehr gegensteuern. Er reagiert in kleinen

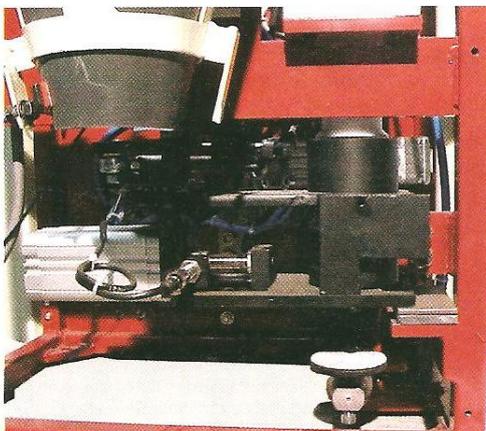
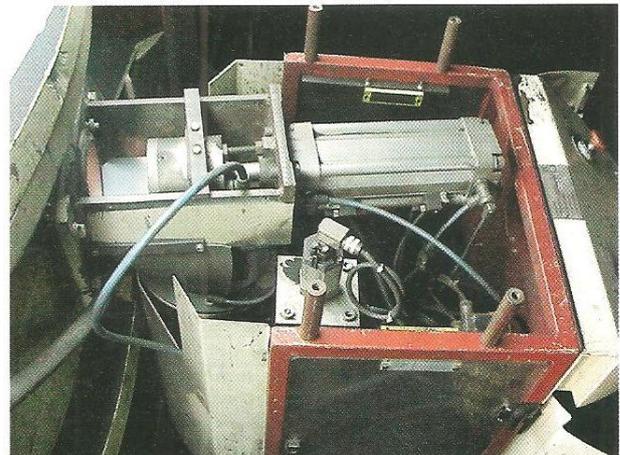


Bild 16. Innenaufbau des RTC 106

Bild 17. Sandentnahme aus dem Mischer



Schritten und kommt nicht mehr an den hohen Dosierwert heran. Beim nächsten Wechsel 10 Chargen später werden wieder nur

60 kg benötigt und der Formstoffprüfautomat kann nur sehr langsam auf die geringe Menge heruntersteuern.

Schlussfolgerungen

Die Formstoffbilanzierung steuert den Sandhaushalt über die Modellparameter. Zielgröße ist der Bentonit- und GKB-Gehalt als Teil der Zusammensetzung des Formstoffes. Die physikalischen Eigenschaften, wie sie über die diversen Festigkeitswerte bekannt sind, werden nicht beachtet. Die einzige Messung zur gelegentlichen Kontrolle ist die Methyleneblauprobe zur Erfassung des Aktivtongehaltes, mit der der Verschleißfaktor korrigiert wird.

Ein Formstoffprüfautomat misst Eigenschaften wie die Verdichtbarkeit und Druckfestigkeit und beeinflusst darüber die Dosierung für die Zusammensetzung des Formstoffes.

Extreme, schnelle Änderungen werden bei der Formstoffbilanzierung quasi unverzüglich nachvollzogen. Ungeprüft bleibt in diesem Verfahren, ob danach der Formstoff auch die gewünschten Eigenschaften erreicht. Der gleichmäßige Sandhaushalt ist die notwendige Grundlage zur Erreichung von Festigkeitswerten, aber sie werden nicht immer automatisch erreicht.

Formstoffprüfautomaten messen die Eigenschaften und korrigieren gerade bei der Bindemittelzugabe nur den Trend in kleinen Schritten. Daraus ergeben sich zwangsläufig Trägheiten bei wechselnden Belastungen.

Letztendlich scheinen sich beide Systeme optimal zu ergänzen, indem die Formstoffbilanzierung die schnell reagierende Grobdosierung übernimmt und der Formstoffprüfungsautomat über Eigenschaftsmessungen den Ausgleich über die Feindosierung vornimmt. Nicht zu vergessen ist der gewichtige Vorteil für die QM-Dokumentation einer lückenlosen Protokollierung der gemessenen Istwerte von jeder Charge. ◀

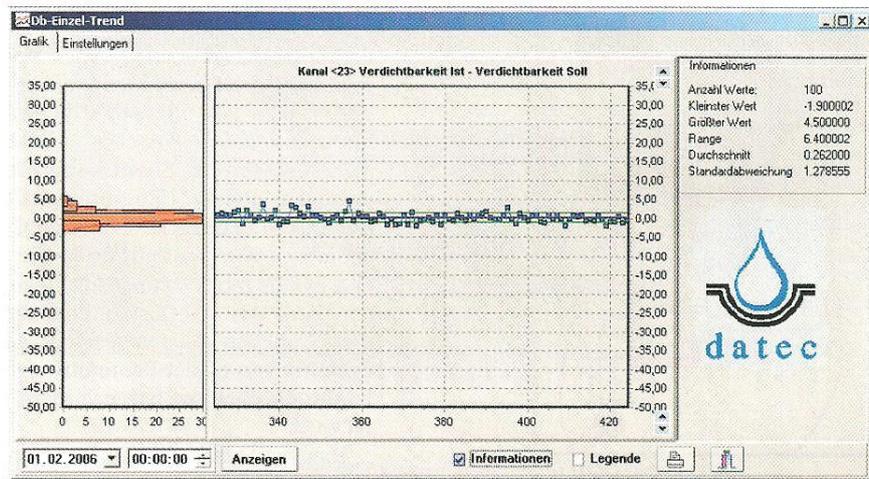


Bild 18. Verlauf der Soll- und Istabweichungen der Verdichtbarkeit für 200 Chargen

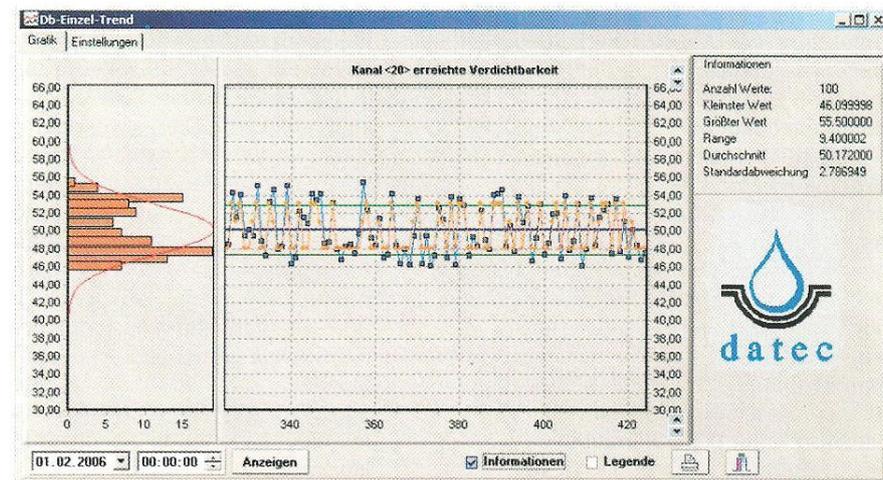


Bild 19. Verlauf der Soll- und Istwerte der Verdichtbarkeit für 200 Chargen

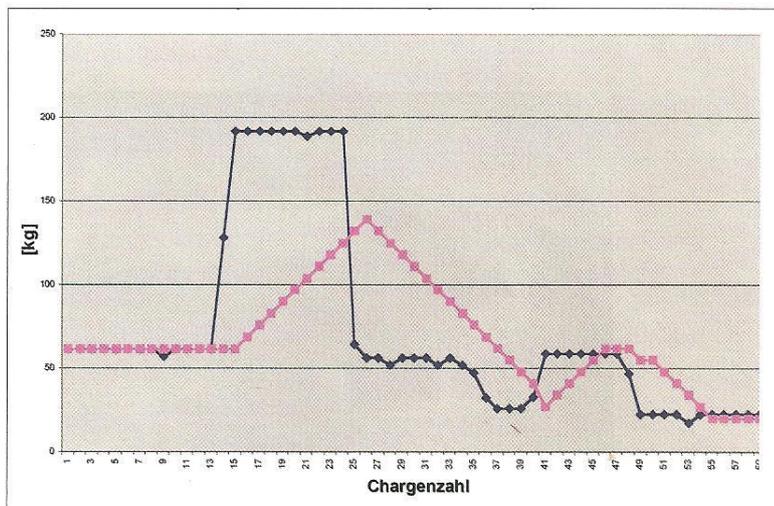


Bild 20. Systemvergleich der Dosiermengen von Formstoffbilanzierung und Formstoffprüfautomat

Schrifttum

- [1] Ohlmes, H.; Ernst, W.; Schmidt, W.; K. K.: Die kastenbezogene Rücklaufsteuerung bei der Firma Harzer Graugußwerke GmbH in Zorge, Giesserei 85 (1998), Nr. 6 S. 47–53
- [2] Ernst, W.; Biehl, L.; Rixen, J.: Chargenkühlung – ein optimiertes Kühlverfahren für Altsand, Giesserei 88 (2001) Nr. 8 S. 49–54
- [3] Ernst, W.: Effektive Kühlleistung von Altsandkühlern in der Sandaufbereitung durch die richtige Dimensionierung des Luftbedarfs, Giesserei-Erfahrungsaustausch 6/2004