

Staubmengenerfassung in der Kühlerabluft – Ein Schritt hin zur Steuerung der Feinanteile am Kühler

In den allermeisten Sandaufbereitungsanlagen wird der Kühler als technische Einrichtung zur Kühlung des Altsandes genutzt. Im Laufe der Jahre kam als zweite Eigenschaft eine Steuerung zur definierten Wasserzugabe, welche die Ausgangsfeuchte auf einen konstanten Sollwert fährt, hinzu. Aufgrund steigender Qualitätsanforderungen der Gussstücke und um ein früheres Eingreifen in die Sandhaushaltssteuerung zu ermöglichen, müssen neue Verfahren entwickelt werden, die diesem Anspruch gerecht werden.

Measuring the quantity of dust in the exhaust Air from the Cooler

In most sand conditioning plants, a cooler is used for cooling the hot return sand. A second property, which controls the exact quantity of water dosage during the cooling process to level the moisture target after the cooler to a constant value has been added over the years. Steadily increasing quality requirements of castings and allowing an earlier intervention in the controlling process of sand composition made it necessary, to develop new technological processes, which will meet this demand.

Eine Idee nimmt seinen Lauf

Bislang wurde in der täglichen Praxis der Sandaufbereitung der Staubaustrag am Kühler nicht beachtet. Eine grobe Kontrolle über die entnommene Staubmenge besteht durch die Abtransportmenge des gesamten Filterstaubes. Diese Gesamtmenge stammt aber nicht nur vom Kühler, sondern setzt sich aus den diversen Absaugpunkten innerhalb der Sandaufbereitung zusammen.

So begann im Jahr 2014 ein Kooperationsprojekt zwischen der Eisengießerei Baumgarte GmbH mit Sitz in Bielefeld und der Datec Dosier- und Automationstechnik GmbH aus Braunschweig, um den Staubaustrag am Kühler systematisch zu erfassen und auszuwerten. Diese Kooperation wird vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie im Rahmen eines ZIM-Projekt gefördert.

Im Rahmen dieses Projekts wird nun der Frage nachgegangen, ob der Entzug der Feinanteile am Kühler überhaupt messbar ist.

Ist-Zustand am Altsand-Kühler und die Auswirkung auf den Entzug der Feinanteile

Damit der Leser ein Gefühl für die Zahlenwerte bekommt werden in Tabelle 1 kurz die Produktionsanlagen vorgestellt.

In der Sandaufbereitung ist ein Durchlaufkühler mit 120 t/h Kühlleistung aufgestellt. Diese Giesserei fertigt auf 3 Formanlagen 38.000 t Bruttoguss pro Jahr. Bei einer täglichen Leistung von 150–200 t Flüssig-Eisen und einem durchschnittlichen Kasten/Ballengewicht von 1–1000 kg werden in 2 Speed-Moellern der Firma WEBAC ca. 1.100 t Form-

sand aufbereitet. Die jährlich aufbereitete Sandmenge liegt bei ca. 250.000–300.000 t. Die Kernmacherei besitzt 14 Kernschießmaschinen von 2,5–100 l Schussvolumen mit einem Quarzsandverbrauch von ca. 6000 t/Jahr. Bedingt durch die Fertigungsbreite wird der Formsand punktuell mehr oder minder stark durch Kernsandaufrischungen von 5–37 % im Umlauf belastet.

Während der Altsandkühlung durchströmt eine große Luftmenge das Sandbett, um das verdunstete Wasser abzutransportieren. Dabei wird nicht nur das verdunstete Wasser mitgerissen, sondern auch Anteile, die dann im Formsand fehlen. Im Wesentlichen sind es Feinanteile, die in die Abluft gelangen. Dieser sogenannte Altsand-Staub enthält wertvolle, nützliche Bestandteile wie Bentonit und Glanzkohle, die für die Qualität der Gussstücke eine große Rolle spielen und aus ökonomischer Sicht als frische Zuschläge nachgeführt werden müssen.

Bedingt durch die Arbeitsweise der Formanlagen ist der Altsand in seiner Zusammensetzung am Kühlerinlauf völlig inhomogen. Als Beispiel soll hier einmal der Kernsandanteil erwähnt werden: Ist der Kernsandanteil hoch, so ist der prozentuale Anteil der Feinteile viel niedriger als bei einem kernlosen Altsand. Zusätzlich spielt die thermische Belastung des Altsandes eine große Rolle, da die Formanlagen ein unterschiedliches Sand/Eisenverhältnis besitzen. Der Temperaturbereich am Sandeintritt hat eine sehr hohe Bandbreite (Bereich von ca. 20–130 °C), ähnlich verhält es sich mit der Sandfeuchte, die einen Bereich von 0,5–2,8 % abdeckt.

Der zweite große Einflussfaktor auf den Staubaustrag ist die Arbeitsweise des Altsandkühlers direkt. Hier spielen vor allem die Parameter Motorstrom, Sanddurchsatz und die Austragsfeuchte eine große Rolle.

Eine große Unbekannte ist das Verhältnis von Zu- und Abluftmenge am, bzw. die Arbeitsweise der Absaugung im Allgemeinen. Hier spielen vor allem konstruktive Gegebenheiten eine Rolle sowie die Arbeitsweise der Entstaubungsanlage an sich usw.

Tabelle 1: Produktionsanlagen Eisengießerei Baumgarte GmbH

	DISAMATIC 230 A	Horizontale Formanlage I	Horizontale Formanlage II
Flüssiges Eisen [t/Jahr]	17.000	11.000	10.000
Mittlere Serien	Ab 100 Ballen	Ab 50 Kasten	Ab 20 Kasten
Stückgewichte [kg]	0,50–25,00	1,00–120,00	35,00–1.000,00
Sand/Eisen Verhältnis	4,6:1	7,5:1	8,8:1
Schichtbetrieb	3-schichtig	2-schichtig	2-schichtig

Autor:
Dipl.-Ing. **Alexander Pätow**
datec GmbH
(nach einem Vortrag auf dem Formstoffforum 2016)
Mitarbeiter am Projekt:
Wilfried Wanski, Eisengießerei Baumgarte GmbH und **Wolfgang Ernst**, datec GmbH

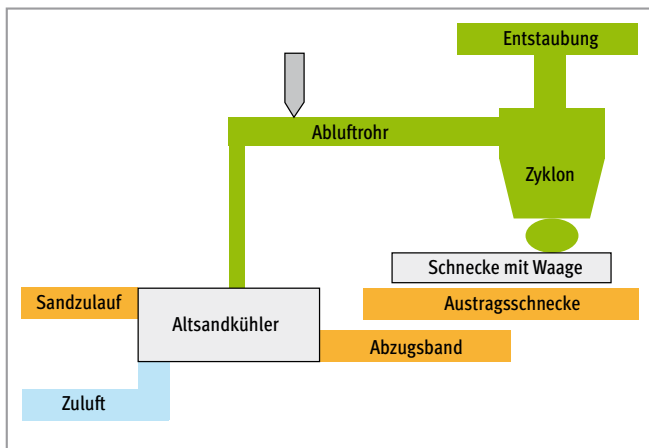


Bild 1: Altsandstreck am Kühler

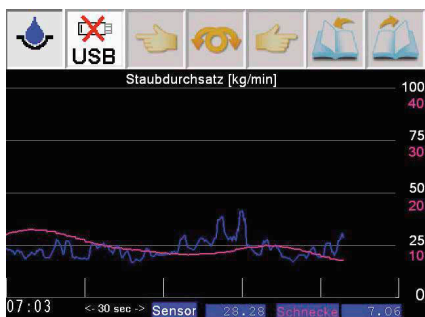


Bild 2: Visualisierung des Staubaustrags



Bild 3: Förderschnecke mit Waage

Erfassung der Staubmenge als neue Messeinrichtung

Bei der Auswahl der zu verwendenden Messtechnik stellte sich die Frage, wo die Staubmenge erfasst werden soll. Einerseits ist es von elementarer Bedeutung, die ausgetragene Staubmenge direkt im Abluftrohr hinter dem Kühler zu erfassen, andererseits ist es notwendig, die durch den Zyklon zurückgeführte Menge zu messen, um Rückschlüsse über den tatsächlichen Entzug der Feinanteile zu erhalten.

Zur kontinuierlichen Erfassung der, während des Kühlzyklus, ausgetragenen Staub-

menge wird ein Mikrowellensensor im Abluftrohr installiert. Die einzelnen Staubpartikel reflektieren ein Impulsspektrum beim Durchlaufen des erzeugten Messfeldes. Beim Ein- und Austreten entstehen Impulsflanken, die über einen speziellen Algorithmus ausgewertet werden. Als Ergebnis liefert der Staubsensor den Durchfluss pro Zeit.

Als zweite Messeinheit, wurde zwischen dem Zyklon und der Staubaustragsschnecke, die den Staub auf das Band hinter dem Kühler zurückführt, eine weitere Förderschnecke eingebaut, die gleichzeitig als Waage aufgebaut ist, um den durchfließenden Staub kontinuierlich zu wiegen. Die Förderschnecke

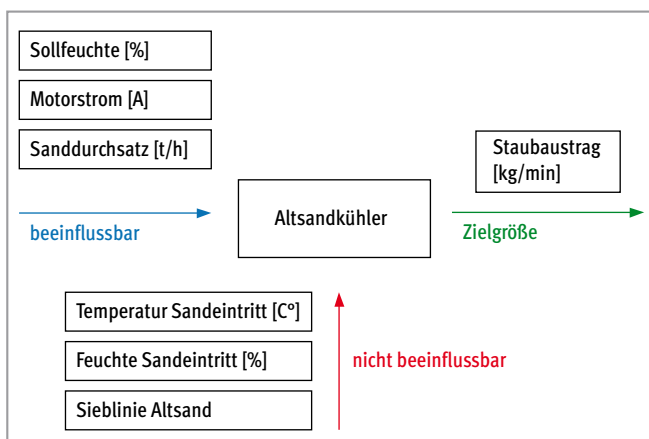


Bild 4: Einflussgrößen am Altsandkühler

wird über ein Frequenzumformer angetrieben und mit Hilfe der Schneckengeometrie und dem empirisch ermittelten Füllgrad dieser, wird aus dem aktuellen Gewicht der Durchfluss pro Zeit ermittelt.

Die gewonnenen Messdaten werden in den Betriebsdaten erfasst und können somit später ausgewertet werden. Gleichzeitig wird der aktuelle Durchfluss sowohl vom Mikrowellensensor als auch von der Waage unter dem Zyklon auf dem Touchpanel visualisiert.

Die Forschung beginnt

Als Erstes stellte sich die Frage, was am Kühler beeinflusst werden kann, um einen unterschiedlichen Staubaustrag zu provozieren und wie diese Größen dann ausgewertet werden sollen (Bild 4).

Versuchsplan

Die Versuche wurden nach dem DoE-Prinzip aufgebaut. DoE, das bedeutet Design of Experiment und ist ein Verfahren zur Analyse von technischen Systemen. Wie aus Bild 4 ersichtlich, gibt es drei beeinflussbare Parameter, die im Versuch jeweils auf einer hohen Stufe und einer niedrigen Stufe eingestellt wurden. Diese sind so gewählt worden, dass die Produktion nicht gefährdet wird, da dieses Projekt im laufenden Betrieb durchgeführt wird; liegen aber so weit auseinander, um aussagekräftige Ergebnisse zu bekommen. Die Parameter konnten durch den Bediener geändert werden; die Sollfeuchtenänderung durch die Regelung der Wasserzugabe, der Motorstrom durch die Austragsklappe am Kühler (je höher das Sandbett im Kühler, umso höher ist der Motorstrom und gleichzeitig die Verweilzeit) und der Sanddurchsatz durch die Geschwindigkeitsänderung des Zuführbandes (gesteuert über einen Frequenzrichter).

Aus den in Tabelle 2 genannten Parametern entsteht ein vollfaktorieller Versuchsplan. Der Vorteil hierbei ist, auch die Wechselwirkungen untereinander auswerten zu können, da alle Möglichkeiten der Kombination durchlaufen werden.

Tabelle 2: Versuchseinstellungen

Eingangsgröße	Einstellung	
	-	+
Sollfeuchte XS1, Soll [%]	1,9	2,6
Motorstrom ISoll [A]	164	220
Sanddurchsatz XS2, Soll [t/h]	100	112

Tabelle 3: Vollfaktorieller Versuchsplan

yi	Haupteffekte			2-fach Wechselwirkung			3-fach Wirkung
	A	B	C	AB	AC	BC	ABC
	$X_{S2,soll}$	I_{soll}	$X_{S1,soll}$	$X_{S2,soll} \times I_{soll}$	$X_{S2,soll} \times X_{S1,soll}$	$I_{soll} \times X_{S1,soll}$	$X_{S2,soll} \times I_{soll} \times X_{S1,soll}$
y1	-	-	-	+	+	+	-
y2	+	-	-	-	-	+	+
y3	-	+	-	-	+	-	+
y4	+	+	-	+	-	-	-
y5	-	-	+	+	-	-	+
y6	+	-	+	-	+	-	-
y7	-	+	+	-	-	+	-
y8	+	+	+	+	+	+	+

Tabelle 4

yi	Haupteffekte			2-fach Wechselwirkung			3-fach Wirkung	Staubaustrag	
	A	B	C	AB	AC	BC	ABC	Kühlerstaub [kg/min]	Zyklonstaub [kg/min]
	$X_{S2,soll}$	I_{soll}	$X_{S1,soll}$	$X_{S2,soll} \times I_{soll}$	$X_{S2,soll} \times X_{S1,soll}$	$I_{soll} \times X_{S1,soll}$	$X_{S2,soll} \times I_{soll} \times X_{S1,soll}$		
y1	-	-	-	+	+	+	-	24,28	16,00
y2	+	-	-	-	-	+	+	26,56	17,37
y3	-	+	-	-	+	-	+	31,16	19,63
y4	+	+	-	+	-	-	-	31,99	20,13
y5	-	-	+	+	-	-	+	24,12	15,51
y6	+	-	+	-	+	-	-	25,86	15,80
y7	-	+	+	-	-	+	-	31,24	18,95
y8	+	+	+	+	+	+	+	28,84	18,57

Versuchsdauer

Um aussagekräftige Ergebnisse zu bekommen, wurden die einzelnen Einstellungen über einen längeren Zeitraum laufen gelassen und es wurden 2 Versuchsreihen durchgeführt. Im ersten Versuch ging es darum, nachzuweisen, ob sich der Staubaustrag überhaupt signifikant ändert. Hier wurde ein Parameter nach 3 Schichten bzw. 24 Stunden geändert [Yi]. Im zweiten Versuch wurde ein Parameter nach 6 Schichten bzw. 48 Stunden geändert. Hier ging es darum, die Ergebnisse von Versuch Nr. 1 zu verifizieren und festzustellen ob sich die Werte über einen längeren Zeitraum anderweitig ändern.

Insgesamt wurden 878 Kühlzyklen aufgezeichnet und ausgewertet. Der Beginn eines Kühlzyklus ist der Einschaltzeitpunkt des Gebläses und dauert bis zum Ausschalten des Gebläses, da die Vorversuche gezeigt haben, dass vor dem Einschalten des Gebläses der Staubaustrag sehr gering ist. Dabei wurden 354 t Kühlerstaub ausgetragen, wovon 242 t durch den Zyklon wieder zurückgeführt wurden.

Erste Ergebnisse

Der Vergleich der Versuchsergebnisse ergab keine signifikanten Unterschiede im Staubaustrag bei einer längeren Einstellung eines Parameters, so dass hier nur die Ergebnisse des Versuchs Nr. 2 gezeigt werden. Tabelle 3 ist der Durchfluss pro Versuchseinstellung zu entnehmen, wobei dieser Wert ein Mittelwert aus allen Kühlzyklen der jeweiligen Einstellung ist.

Tabelle 5

	$X_{S2,soll}$	I_{soll}	$X_{S1,soll}$	$X_{S2,soll} \times I_{soll}$	$X_{S2,soll} \times X_{S1,soll}$	$I_{soll} \times X_{S1,soll}$	$X_{S2,soll} \times I_{soll} \times X_{S1,soll}$	Kühlerstaub Durchfluss
MW +	28,31	30,81	27,52	27,31	27,54	27,73	27,67	
MW -	27,70	25,21	28,50	28,71	28,48	28,28	28,34	
Effekt	0,61	5,60	-0,98	-1,40	-0,94	-0,55	-0,67	

Tabelle 6

	$X_{S2,soll}$	I_{soll}	$X_{S1,soll}$	$X_{S2,soll} \times I_{soll}$	$X_{S2,soll} \times X_{S1,soll}$	$I_{soll} \times X_{S1,soll}$	$X_{S2,soll} \times I_{soll} \times X_{S1,soll}$	Zyklonstaub Durchfluss
MW +	17,97	19,32	17,21	17,55	17,50	17,72	17,77	
MW -	17,52	16,17	18,28	17,94	17,99	17,77	17,72	
Effekt	0,45	3,15	-1,08	-0,39	-0,49	-0,04	0,05	

Die Tabellen 5 und 6 liefern eine Aussage zu dem Einfluss des jeweiligen Effekts auf den Durchfluss. Diesen Tabellen kann zusätzlich entnommen werden, dass die Zwei-, bzw. Dreifachwechselwirkung so gering sind, dass diese zu vernachlässigen sind.

Hervorgehoben ist der Effekt des Motorstroms des Kühlerantriebs auf den Staubaustrag. Es ist eindeutig zu erkennen, dass dieser den größten Anteil am Staubaustrag besitzt. Das könnte daran liegen, dass das Sandbett höher ist und an der Oberfläche stärker „gesaugt“ wird, soll heißen, der Druckunterschied zwischen Zuluft und Abluft ist hier

deutlich höher als bei einem niedrigeren Sandbett. Desgleichen ist bei einem höheren Motorstrom die Verweilzeit im Kühler länger, was zur Folge hat, das länger „gesaugt“ wird. Zur Veranschaulichung der erhaltenen Ergebnisse dienen folgende Diagramme, die sich stark ähneln (Bild 5 und 6). Der signifikante Unterschied ist die Durchflussmenge, die beim Zyklonstaub eine niedriger Rate besitzt, was im Umkehrschluss bedeutet, dass ein Teil des Staubes nicht durch den Zyklon zurückgeführt wird, sondern unwiderruflich in der Filterstaubanlage landet und die wichtigen Feinanteil verloren sind. Zusätzlich kann diesen Diagrammen entnommen werden, dass trockener Sand erheblich mehr Staub „aufwirbelt“ als nasser Sand, wohingegen die Änderung des Durchsatzes den geringsten Einfluss aufweist.

Erste Erkenntnis:

Es konnte messtechnisch nachgewiesen werden, dass unterschiedliche Einstellungen am

Kühler einen unterschiedlichen Staubaustrag nach sich ziehen; nun galt es nach nachzuweisen, ob sich auch die Zusammensetzung des Staubs ändert.

Sandprobenauswertung im Labor

Pro Versuchseinstellung wurden dem Sand mehrere Proben entnommen, diese anhand der Siebanalyse untersucht und miteinander verglichen. Die Sandproben wurden am Kühlerinlauf, am Kühlerauslauf (direkt hinter dem Kühler, bevor der Sand aus dem Zyklon auf das Band trifft) und vom zurückgeführten Staub gezogen. Exemplarisch werden drei Diagramme gezeigt, wobei darauf hingewiesen werden soll, dass die zu untersuchenden Feinanteile eine Größe von 0,02–0,125 mm besitzen.

Da die prozentualen Anteile der Feinanteile aus dem Einlauf- und Auslauf Diagramm

schwer zu erkennen sind, hier einmal die Zahlenwerte:

Ort der Probennahme	Feinanteile [%]
Kühlerinlauf	6,22
Kühlerauslauf	5,78
Zyklonstaub	51,86

Schon hier, in der ersten Auswertung, lässt sich erkennen, dass dem Kühler in der Realität Feinanteile entzogen werden, die nur teilweise zurückgeführt werden.

Siebanalyse vs unterschiedlicher Staubaustragsmenge

Als letztes Ziel dieser Untersuchungsreihe soll ein Zusammenhang zwischen der Durchflussmenge des Staubes und der dazugehörigen Siebanalyse aufgezeigt werden. In der

Tabelle 6 befinden sich in der ersten Spalte die eingestellten Kühlerparameter, in den folgenden Spalten befinden sich die Ergebnisse der Siebanalysen und diese werden den Durchflussmengen des Zyklon- und Kühlerstaub entgegengestellt.

Die Ergebnisse der Vergleiche liefern interessante Aussagen bezüglich des Entzugs der Feinanteile. Hierbei spielen die Austragsfeuchte und der Sanddurchsatz eine viel größere Rolle als bei der „reinen“ Erfassung der Staubaustragsmenge. Zur Veranschaulichung dient das nun folgende Diagramm. Auf der Abszisse sind die Kühler-Parameter mit dem jeweils kleinsten und größten Wert aufgetragen. Auf der Ordinate ist die Differenz der Feinanteile zwischen Kühlerinlauf und Kühlerauslauf aufgetragen.

Auf Anhieb ist zu erkennen; je nasser der Sand im Kühler ist umso weniger werden diesem Feinanteile entzogen, ist dazu noch der Motorstrom und der Sanddurchsatz nied-

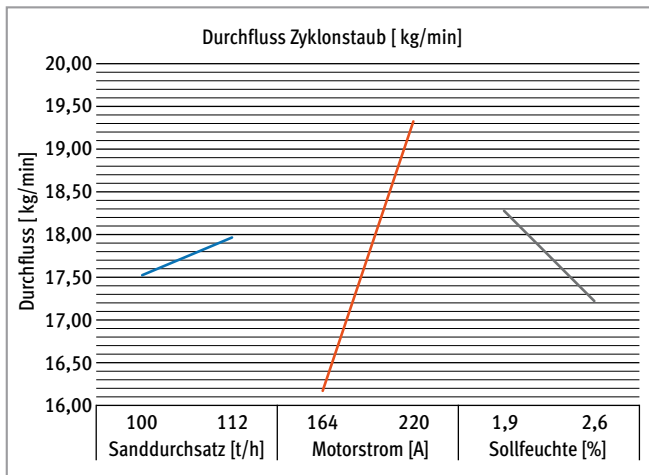


Bild 5: Durchfluss Zyklonstaub

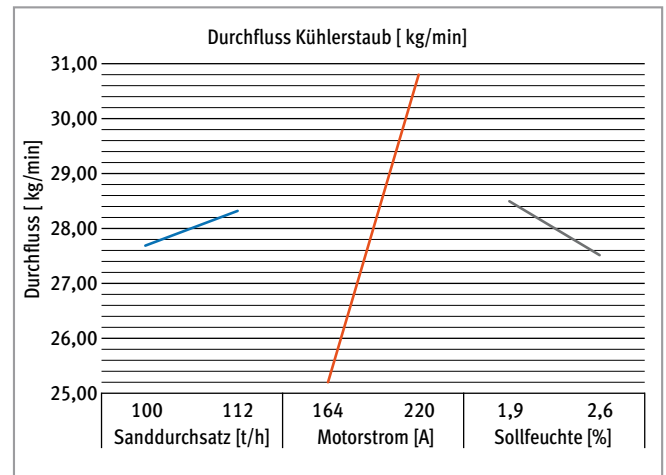


Bild 6: Durchfluss Kühlerstaub

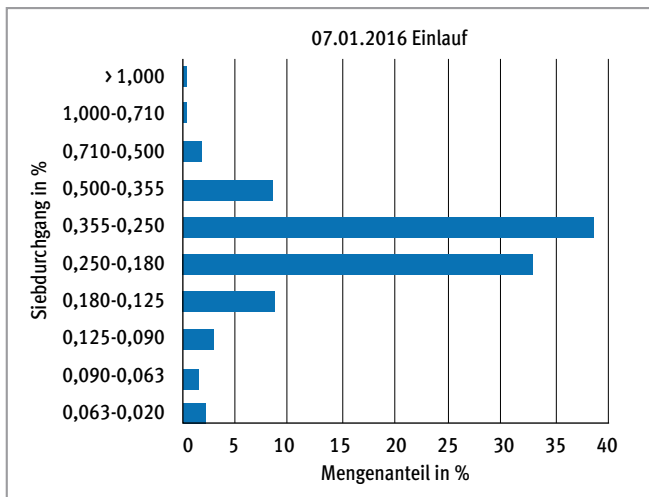


Bild 7: Siebanalyse Kühlerinlauf

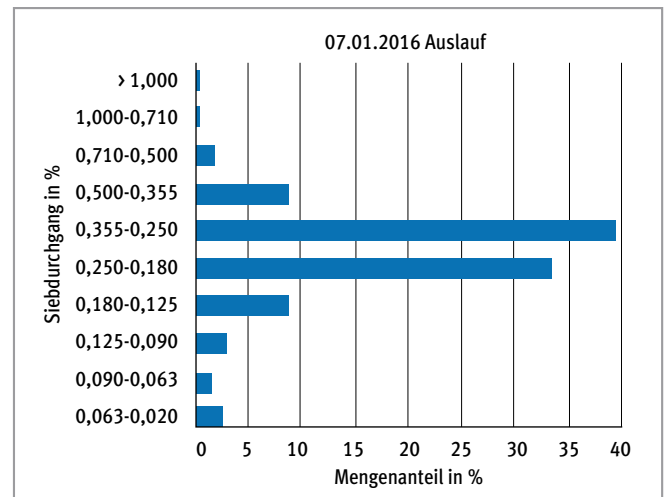


Bild 8: Siebanalyse Kühlerauslauf

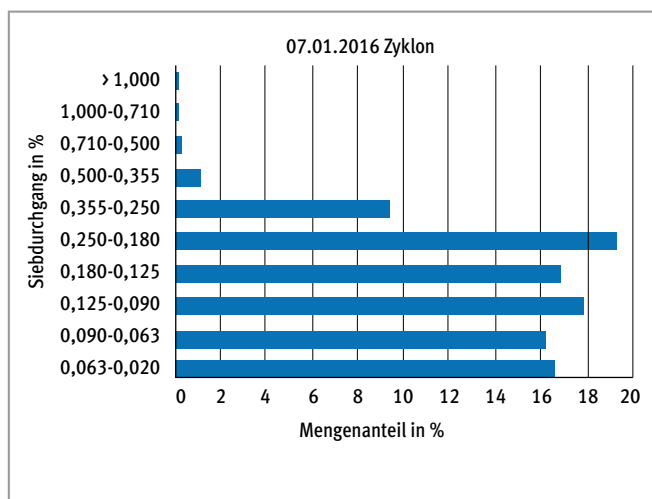


Bild 9: Siebanalyse Zyklonstaub

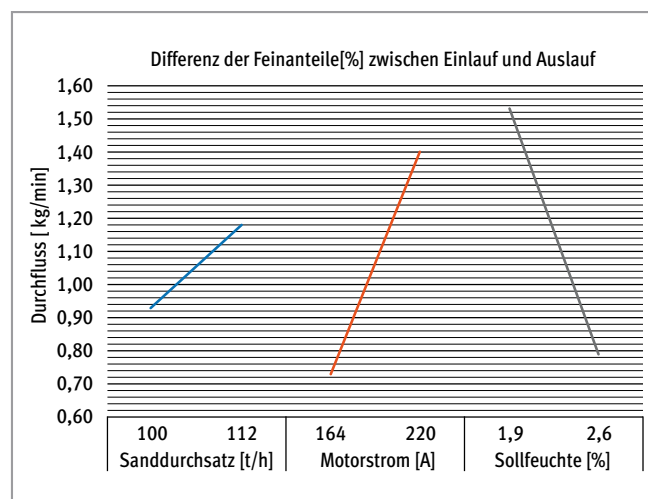


Bild 10: Feinanteilenzug in Abhängigkeit der Kühlerparameter

Tabelle 7: Vergleich Siebanalyse und Durchflussmenge

Parameter	Probennahme	Feinanteil [%]	Differenz [%]	Zyklonstaub [kg/min]	Kühlerstaub [kg/min]
1,9 %, 164 A, 100 t/h	Einlauf	6,53			
	Auslauf	5,44	1,09	16,00	24,28
	Zyklon	49,37			
1,9 %, 220 A, 100 t/h	Einlauf	6,51			
	Auslauf	5,07	1,44	19,63	31,16
	Zyklon	53,78			
1,9 %, 220 A, 112 t/h	Einlauf	6,85			
	Auslauf	4,79	2,06	20,13	31,99
	Zyklon	50,86			
2,6 %, 164 A, 100 t/h	Einlauf	6,22			
	Auslauf	5,78	0,44	15,51	24,12
	Zyklon	51,86			
2,6 %, 164 A, 112 t/h	Einlauf	6,26			
	Auslauf	5,61	0,65	15,80	25,86
	Zyklon	37,42			
2,6 %, 220 A, 100 t/h	Einlauf	7,52			
	Auslauf	6,27	1,25	18,95	31,24
	Zyklon	32,27			
2,6 %, 220 A, 112 t/h	Einlauf	7,80			
	Auslauf	6,97	0,83	18,57	28,84
	Zyklon	45,98			

rig sinkt auch der Entzug der Feinanteile. Im Umkehrschluss bedeutet dies: Trockener Sand + hoher Motorstrom bewirken den größtmöglichen Entzug der Feinanteile.

Fazit und Ausblick

In diesem Versuch konnte nachgewiesen werden, dass

1. Staub messbar ist.
2. Verschiedene Kühlereinstellungen einen unterschiedlichen Staubaustrag und einen unterschiedlichen Entzug der Feinanteile nach sich ziehen.

Im nächsten Schritt dieses Projektes soll versucht werden, einen Regelkreis aufzubauen der den Staubaustrag und somit den Entzug der Feinanteile steuert ohne, und dies ist ganz wichtig, die Austragsfeuchte und die Kühlleistung zu beeinträchtigen. ◀



AAGM Aalener Gießereimaschinen GmbH

Gewerbehof 28 · D-73441 Bopfingen
 Tel. + 49 (0) 73 62 / 95 60 37-0
 Fax. + 49 (0) 73 62 / 95 60 37-10
 E-Mail: info@aagm.de · Web: www.aagm.de