

RÜCKGEWINNUNG VON ENTSTAUBUNGSTÄBEN AUS DEN ANLAGEN FÜR DIE VERARBEITUNG DER BENTONITFORMSANDE

Mariusz Holtzer¹, Artur Bobrowski², Dariusz Drożyński³ – TU AGH in Kraków, Fakultät für das Giessereiwesen.

Antoni Bigaj⁴, Daniel Kirchner⁵, Robert Żuchliński⁶ - EISENGIESSEREI BYDGOSZCZ in Bydgoszcz.

1. Einleitung

Die wachsenden Rohstoffpreise sowie Deponierungskosten von Abfällen zwingen die Werke, darin die Giessereien, einerseits, zur immer mehr intensiven Suche nach dem Weg der Begrenzung des Stoffverbrauches und, andererseits, zur effektiven Ausnutzung der zu generierenden Prozessabfälle. Die Produktion von 1 Tonne der guten Abgüsse wird von der Entstehung von beinahe 1 Tonne der Abfälle begleitet; diese müssen dem Rezykling (der Rückgewinnung) untergeben oder auf den speziellen Lagerplätzen deponiert werden. Es sind hauptsächlich die verbrauchten Form- und Kernsande, die metallurgischen Schlacken sowie die verbrauchte feuerfeste Auskleidung der Öfen und Pfannen. Immer grösseren Anteil haben hier die in den Entstaubungsanlagen der Schmelzöfen, der den Formsand aufbereitenden und die Gussteile aus den Formen beseitigenden Anlagen sowie die in den Putzereien und Anlagen für Regenerierung des Altsandes aufzufangenen Stäube.

Mit den Anweisungen den Besten Zugänglichen Techniken [1] soll man zur breitesten Ausnutzung der zu generierenden Abfälle ebenso in Giessereien als auch in anderen Industrierwerken streben. Solche Abfälle enthalten oft mehrere wertvolle Komponenten, die bei der Deponierung unrückzahlbar verloren werden.

Die in den Entstaubungsanlagen aufgefangenen Stäube unterscheiden sich in Hinsicht auf ihre Zusammensetzung, Körnigkeit und den Bedrohungsgrad für die Umwelt.

Zur Entstaubung der mit der Vorbereitung der Formsande verbundenen Einrichtungen werden zwei Type der Installationen verwendet:

» Installationen der nassen Entstaubung – Entstaubungsprodukte bilden in diesem Fall: der Schlamm und das verunreinigte Wasser (Abfluss), das im geschlossenem Umlauf fließt. Im Fall der Entstaubung von Anlagen zur Vorbereitung der Bentonitformsande enthält der Abfluss die kolloidalen Tonteilchen, meistens des Montmorillonits, sowie die sehr langsam sedimentierenden, den Kohlenstoff enthaltenden Substanzen. Der Schlamm enthält die grössere und schwerere Kohlen- Sand und Metallteilchen, die sehr schnell ablagern.

» Installationen der trockenen Entstaubung – in diesem Fall werden die entstehenden Stäube periodisch in die Behälter beseitigt. Die Zusammensetzung dieser Stäube ist der Zusammensetzung des dem Entstauben untergegebenen Staubes nahe und hängt stark von der Intensität des Entstaubungsprozesses ab.

¹ Prof. Dr.-Ing. habil. E-mail: holtzer@agh.edu.pl

² Dipl. Ing., Assistent

³ Dr.-Ing., Oberassistent

⁴ Dip. Ing. Verwaltungspresident

⁵ Dipl.-Ing., Leiter der Abteilung für die Qualitaet und Umweltschutz

⁶ Dipl.-Ing., Produktionsmanager

Die Entstaubungsinstallation kann nur eine den Staub generierende Einrichtung bedienen, kann aber auch Stäube aus mehreren Ständen sammeln. In diesem zweiten Fall werden Stäube mit verschiedenen Eigenschaften gemischt und deswegen werden sie schwieriger bewirtschaftet.

2. Einleitungsuntersuchungen

Die neugebaute Installation der trockenen Entstaubung für die Vorbereitung der Bentonitformsande in der Eisengiesserei „Bydgoszcz“ hat eine bedeutende Verbesserung des Umweltstandes und der Arbeitsbedingungen gebracht. Gleichzeitig aber erschien das Problem der Bewirtschaftung der zu generierenden Abfälle.

Die dieses Problem betreffenden Arbeiten wurden in drei Richtungen geführt [2]:

- » der Rückführung der Stäube in den Produktionsprozess durch deren Zugabe zu den Formsanden im Laufe ihrer Erfrischung,
- » der Ausnutzung der Stäube im Prozess der Vorbereitung der Bentonitmischungen für die Formsande,
- » der Granulierung der Stäube mit dem Ziel der Erleichterung ihres Transports und Deponierung.

Die Giesserei verwendet die Bentonitsande auf der Basis des Quarzsandes „Szczakowa“ mit der Zugabe der von ZGH „Zębiec“ zu herstellenden Mischung „Kormix 75“, die 75 % Bentonit und 25 % Kohlenstoffträger enthält. Als erste Aufgabe wurde die Bestimmung der optimalen Entstaubungsbedingungen für die Anlage der Vorbereitung von Formsanden gestellt. Eine zu grosse Entstaubungsintensität konnte die übermässige Verluste der wertvollen Komponenten (Bentonit und Kohlenstoffträger) des Sandes verursachen. Demgegenüber, ungenügende Entstaubung könnte zum übermässigen Gehalt an Staub im Formsand führen, was seine technologische Eigenschaften (z. B. Durchlässigkeit) verschlechtern und dadurch negativ auf die Gussqualität einwirken könnte. In Tafel 1 wurden die in der Entstaubungsinstallation bei verschiedenen Werten der Ventilatorleistung Mengen der aufgefangenen Stäube gegeben.

Tafel 1. Mengen der aufgenommenen Stäube bei verschiedener Leistung des Ventilators der Entstaubungsinstallation in der Anlage für die Vorbereitung der Bentonitformsande.

Staub- prüfling	Leistung der Entstaubungs- -installation, %	Menge der aufgenommenen Staeube, Mg	Gussproduktion, Mg	Index Staubmenge/ /Gussteilmenge kg/Mg
P 1	70	12,31	426,6	29,1
P 2	80	8,65	346,3	25,0
P 3	90	8,38	299,7	28,0
P 4	90 (Drosselung der Kühler)	12,11	340,3	35,6
P 5	100	9,13	378,0	24,2

3. Charakteristik der Stäube

Die aufgefangenen Stäube wurden der chemischen und physical-chemischen Analyse untergeben. Ihre Ergebnisse stellt die Tafel 2 dar. In Tafel 3 wurden die granulometrischen Daten der Stäube und der Mischung „Kormix 75“ gesammelt.

Tafel 2. Charakteristik der Entstaubungsstäube und der Kormix- Mischung

Der zu untersuchende Parameter	Die Probe					
	P 1	P 2	P 3	P 4	P 5	K ¹
Relative Feuchtigkeit, [%]	5,07	4,95	3,78	3,16	1,68	6,38
Karbonatengehalt, CO ₃ ²⁻ [%]	1,94	1,96	1,87	1,50	1,71	2,09
Gehalt des Montmorillonits, [%]	27,64	20,16	20,81	21,46	21,46	51,22
Verbrauch des Methylblaus [mg/g]	127,16	92,76	-	98,74	-	-
Glüverluster, [%]	27,28	23,46	24,87	22,06	23,90	31,24
Siliciumdioxidgehalt, [%]	52,5	56,5	55,9	62,0	57,1	48,4
pH	9,35	9,30	9,48	9,47	9,33	9,43
Elektrische Leitfähigkeit, [mS/cm]	1,09	1,08	0,75	1,03	1,11	0,63
Quellungsindex, [cm ³]	-	-	-	-	-	8,5
Neigung zur Bildung der Glanzkohle, [%]	0,41	0,28	0,30	0,42	0,42	2,43

¹Kormix – Mischung - 75

Tafel 3. Siebanalyse der Stäube und der Kormix-Mischung

Siebnummer	Kormix 75		Staub P1-Einstellung 70%		Staub P2-Einstellung 80%		Staub P3-Einstellung 90%		Staub P4-Einstellung 90%-Drosselung der Kühler		Staub P5-Einstellung 100%	
	Sieb-überlauf	%	Sieb-überlauf	%	Sieb-überlauf	%	Sieb-überlauf	%	Sieb-überlauf	%	Sieb-überlauf	%
0,040	7,205	72,05	7,505	75,05	5,51	55,1	6,025	60,25	5,62	56,2	6,785	67,85
0,056	1,86	18,6	1,27	12,7	1,80	18,0	2,015	20,15	1,77	17,7	1,735	17,35
0,063	0,21	2,10	0,30	3,00	0,45	4,50	0,530	5,30	0,445	4,45	0,385	3,85
0,071	0,225	2,25	0,24	2,40	0,475	4,75	0,445	4,45	0,505	5,05	0,420	4,20
0,10	0,305	3,05	0,36	3,60	0,61	6,10	0,575	5,75	0,71	7,10	0,365	3,65
0,16	0,155	1,55	0,20	2,00	0,63	6,30	0,330	3,30	0,66	6,60	0,235	2,35
0,20	0,03	0,30	0,125	1,25	0,335	3,35	0,075	0,75	0,295	2,95	0,07	0,70

4. Zugabe der Stäube mit dem Ziel der Erfrischung von Bentonitsanden - Laboruntersuchungen

Zur Schätzung des Einflusses der Staubzugabe auf die technologischen Eigenschaften der Formsande wurden ausführliche Laboruntersuchungen in diesem Bereich durchgeführt. Die ausgewählten Eigenschaften der Sande wurden in Bildern 1, 2 und 3 dargestellt.

Bild 1. Druckfestigkeit der Formsande

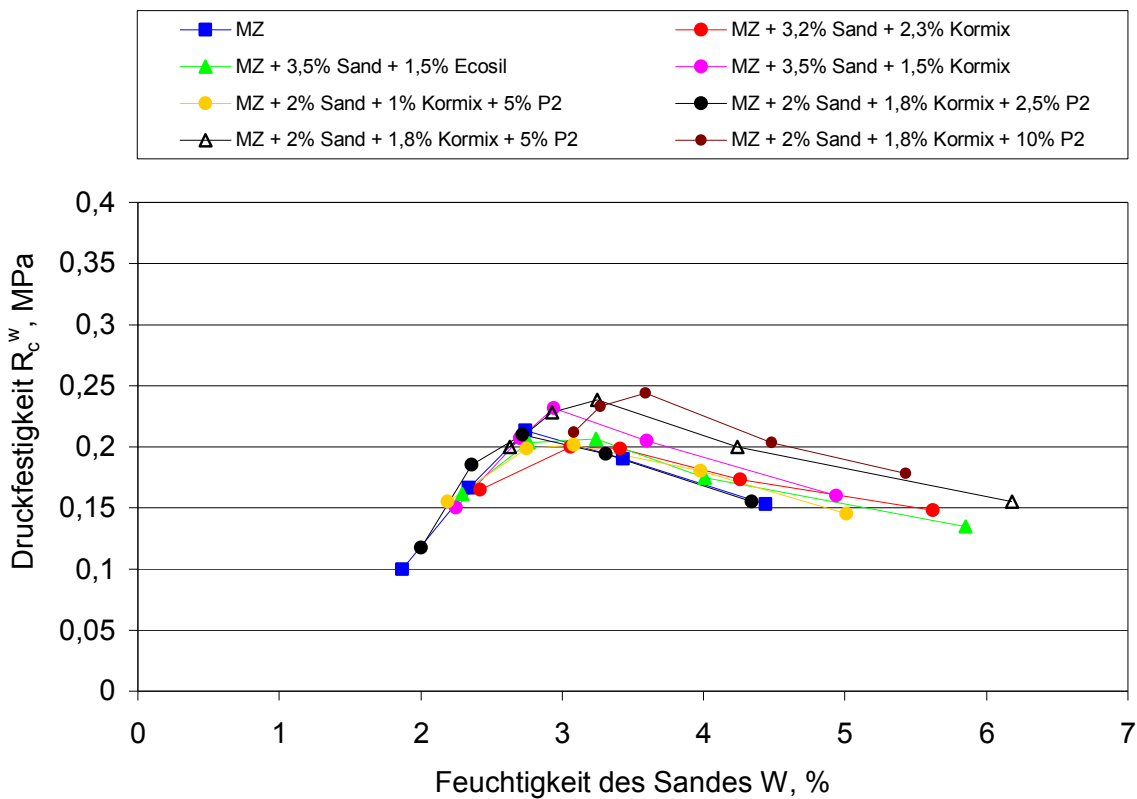


Bild 2. Verdichtbarkeit der Formsande

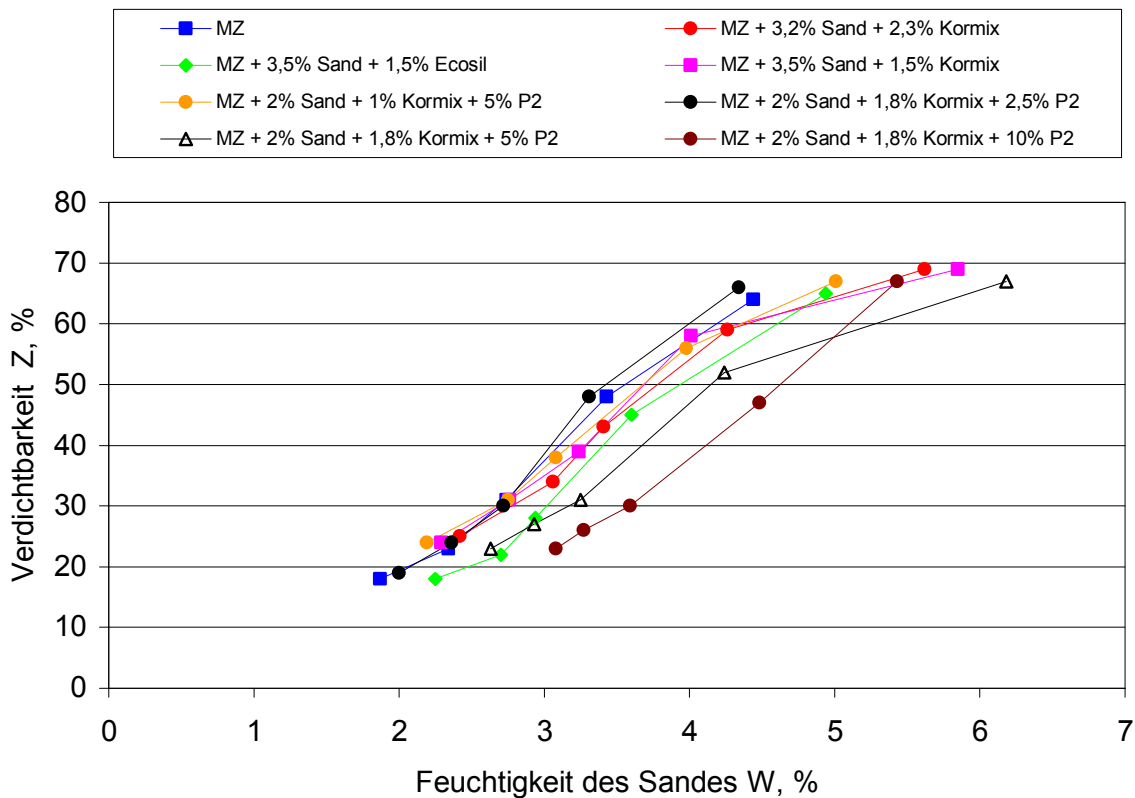
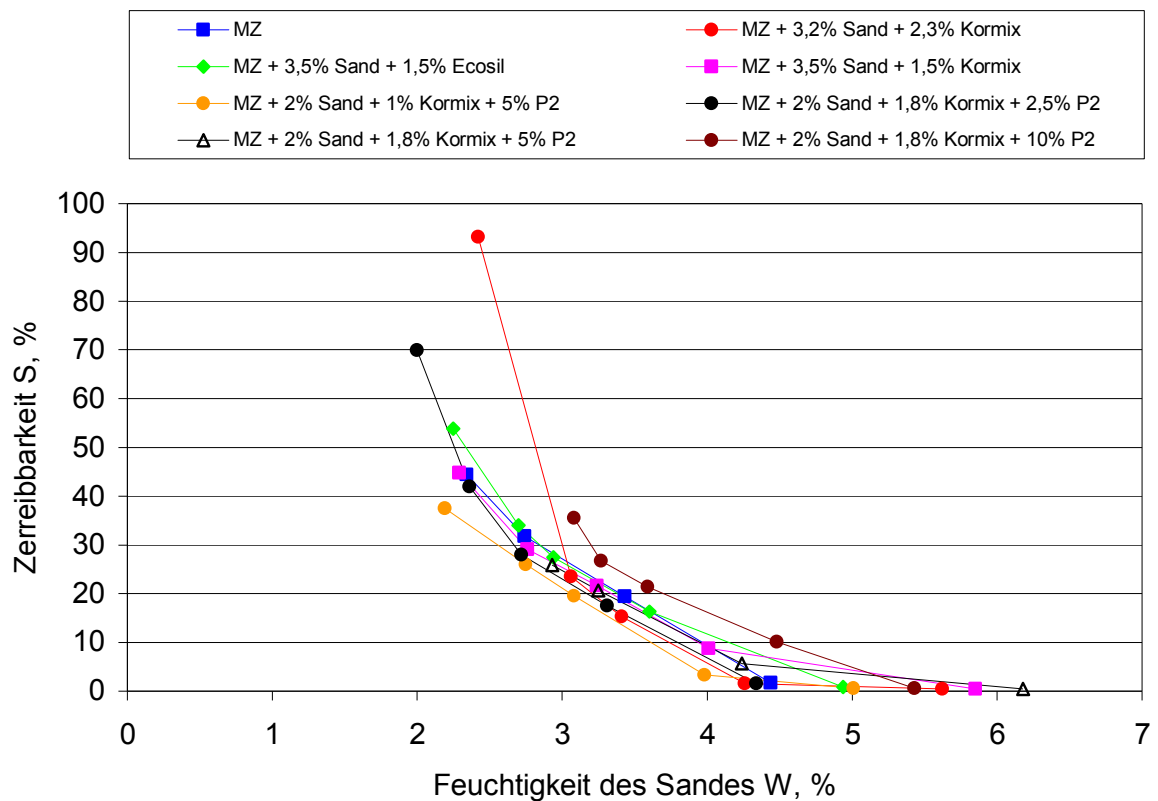


Bild 3. Zerreibbarkeit des Formsandes



Sich auf die untersuchte physical-chemische Eigenschaften der Stäube sowie auf die Laboruntersuchungen der diese Stäube enthaltenen Formsande stutzend, wurden Testgussteile (Treppenmodelle) sowie die Bremsklötze für das Eisenbahnwesen in den Modellformsanden (Bild 4) gefertigt. Diese Untersuchungen haben die frühere Laboruntersuchungen bestätigt. Dies liess den Beschluss zu fassen, die Stäube in den Formsand im normalen Produktionszyklus einzuführen. Ihre Zugabe betrug 0,5 bis 1,0 %. Dank dieser Operation konnte man die Zugabe der Bentonit-Kohlestoffmischung um rund 20 % reduzieren.



Bild 4. Testgussteile (Treppengestalt) und Abguss des Bremsklotzes (Phosphorgusseisen).

5. Vorbereitung der Bentonitmischungen für die Formsande.

Dank bedeutendem Gehalt an Montmorillonit in den Stäuben können diese bei der Herstellung der Bentonit-Kohlenstoffmischungen und diese letzten als Zugabe zu den Bentonitformsanden ausgenutzt werden. Zu diesem Zweck wurden die Untersuchungen der chemischen und granulometrischen Zusammensetzung der Entstaubungsstäube enthaltenen Bentonit-Kohlenstoffmischungen sowie die Untersuchungen der Beeinflussung der technologischen Eigenschaften der Formsande von diesen Mischungen durchgeführt.

In Tafel 4 wurden die Ergebnisse der chemischen Analyse der Kormix-Mischung mit dem durch P2 bezeichneten Staub und in der Tafel 5 – die Siebanalyse dieser Mischungen gegeben.

Tafel 4. Charakteristik der Mischung Kormix 75 + Staub P2

Der zu untersuchende Parameter	90% Kormix 10% Staub P2	80% Kormix 20% Staub P2	70% Kormix 30% Staub P2	60% Kormix 40% Staub P2
Totale Feuchtigkeit, [%]	7,60	6,82	6,64	6,45
Karbonatengehalt, CO ₃ ²⁻ , [%]	2,38	2,31	2,33	2,31
Gehalt des Montmorillonits, [%]	47,97	47,16	44,72	43,09
Verbrauch des Methylblaus, [mg/g]	220,66	216,92	205,70	198,22
Glüeverluste, [%]	29,72	28,68	28,06	26,90
Quellungsindex, [cm ³]	5,41	4,29	4,28	3,21

Tabela 5. Siebanalyse der Mischung Kormix 75 + Staub P2

Sieb- num- mer	90% Kormix+ 10% P2		80% Kormix+ 20% P2		70% Kormix+ 30% P2		60% Kormix+ 40% P2	
	odsiew	%	odsiew	%	odsiew	%	odsiew	%
0,040	8,19	81,9	8,18	81,8	7,75	77,5	7,65	76,5
0,056	0,90	9,0	0,89	8,9	1,06	10,6	1,00	10,0
0,063	0,26	2,6	0,26	2,6	0,25	2,5	0,33	3,3
0,071	0,19	1,9	0,18	1,8	0,26	2,6	0,26	2,6
0,10	0,26	2,6	0,29	2,9	0,33	3,3	0,36	3,6
0,16	0,15	1,5	0,16	1,6	0,24	2,4	0,26	2,6
0,20	0,04	0,4	0,04	0,4	0,11	1,1	0,13	1,3

6. Granulierung der aus der Entstaubung stammenden Stäube

Die in der Enstaubungsinstallation aufgefangenen Stäube schaffen bedeutende Schwierigkeiten bei ihrem Transport auf die Deponien und während der Deponierung selbst. Deswegen, im Rahmen einer der Richtungen der Bewirtschaftung dieser Stäube wurden Versuche ihrer Granulierung durchgeführt. In Bild 5 wurde das infolge der Granulierung im Tellergranulator erhaltene Produkt gezeigt.



Bild 5. Granulate aus den dem Entstaubungsprozess von Bentonitsanden entnommenen Stäuben

7. Einfluss der Staubzugabe zu den Bentonitformsanden auf die Umwelt

Die aus dem Entstaubungsprozess stammenden Stäube können in dem Rezykling ausgenutzt werden unter der Bedingung, dass sie, ausser der Sicherung dem Formsand entsprechender technologischer Eigenschaften, sie auch keinesfalls die schädliche Wirkung auf die Umwelt ausüben werden. Die Beurteilung der Schädlichkeit von den zur Herstellung der Formen und Kernen zu verwendenden Sanden umfasst zwei grundsätzliche Probleme:

- die Emission der schädlichen Gase während der Prozesse der Vorbereitung des Form- und Kernsand, des Formens, des Abgiessens von flüssigem Metall in die Form und des Ausleerens der Form;
- die Möglichkeit des Auswaschens von schädlichen Substanzen aus dem Altsand in die Umwelt.

Es wurde der aktuell in der Giesserei zu verwendende Formsand mit der Zugabe des ausgewählten, aus dem vorstehend beschriebenen Entstaubungsprozess stammenden Staub untersucht, indem ein Teil von Bentonit durch den Staub vertreten worden ist.

Die Zusammensetzung des Ausgangssandes (ohne Staub, Sand M1): Altsand, Bentonit-Koklenstoffmischung Kormix - 2,3 Gewichtsteile, neuer Quarzsand - 3,2 Gewichtsteile, Feuchtigkeit - 3,32 Gewichtsteile.

Die Zusammensetzung des den Staub P2 enthaltenen Sandes (Sand M2): Altsand, Bentonit-Koklenstoffmischung Kormix - 1,8 Gewichtsteile, Staub P2 - 5 Gewichtsteile, neuer Quarzsand - 2 Gewichtsteile, Feuchtigkeit - 3,58 Gewichtsteile.

Untersuchung der Emission von Gasen (Benzen, Toluol, Ethylbenzen, Xylene - BTEX) während des Füllens der Form mit dem flüssigen Metal [3] sowie des Auswaschensgrades der Komponenten aus dem Altsand [4] wurden nach der in AGH Kraków, Fakultät für Giessereiwesen entwickelten Methode durchgeführt.

7.1. Untersuchung der Emission der schädlichen Gase

Es wurden Prüflinge des Sandes mit dem Bentonit und dem Kohlenstaub (Kormix - Mischung) und mit der Zugabe von Staub aus dem in der Anlage der Formsandvorbereitung zu realisierenden Entstaubungsprozess durchgeführt. Vor dem Mischen wurde in diese Mischung die aus den technologischen Gründen erforderte, die nötige Feuchtigkeit sichernde Wassermenge eingeführt. Aus diesem Sand wurden Formlinge Φ 50x50 mm gefertigt; diese wurden bei der Temperatur 110 °C während 2 Stunden getrocknet. Die auf diese Weise vorbereiteten Prüflinge wurden in entsprechender Giessform unterbracht und mit dem flüssigen Gusseisen (Temperatur 1350 °C) vergossen. Die sich ausscheidenden Gase wurden auf der Aktivkohle adsorbiert und mit Hilfe des Gaschromatographes mit der Verwendung des Flammenionisationsdetektors (FID) analysiert.

In Tafel 6 wurden Ergebnisse der Emission von Gasen aus der mit dem flüssigen Gusseisen zu vergiessenden Sandes gegeben.

Tafel 6. Emission der Gase aus den zu untersuchenden Sanden

Parameter	Emission der Gase aus der Prüfling		Emission der Gase aus 1 kg des Sandes	
	Sand M1	Sand M2	Sand M1	Sand M2
Gasvolumen, [dm ³]	4,25	6,4	22,15	32,64
Benzen, [mg]	10,2	25,6	53,17	130,55
Toluen, [mg]	1,3	1,93	6,78	9,84
Ethylbenzen, [mg]	<0,01	0,03	<0,05	0,153
o-,m-,p-ksylen, [mg]	0,09	0,11	0,47	0,561

Die Menge und Zusammensetzung der sich ausscheidenden Gase aus dem Sand ohne Staub Zugabe (Sand M1) und aus dem Sand mit der Zugabe von diesem Staub (Sand M2) erwiesen keine wesentliche Unterschiede. In dieser Hinsicht ist der Einfluss beider Sande auf die Umwelt vergleichbar, was bedeutet, dass das Vertreten einiger Menge von Bentonit durch den aus dem Entstaubungsprozess stammenden Staub keine Vergrößerung der Schädlichkeit des Sandes verursacht. Die Unterschiede erscheinen erst bei grösserer Zugabe des Staubes, was aber in den Industriebedingungen nicht austritt..

7.2. Untersuchung der Auswaschensgrades der schädlichen Substanzen

Gegstände der Untersuchungen waren die oben beschriebenen Formsande M1 und M2. Jeder Sand wurde dem Prozess des Auswaschens mit dem ionisierten Wasser untergeben gemäss der empfohlenen Prozedur, bei der Einhaltung des Verhältnisses Flüssigkeit : Sand = 10 : 1. Die erhaltenen Filtrate wurden der chemischen Analyse (Kontrolle der Gehalte von schädlichen Substanzen, darinder Polycyclischen Aromatischen Kohlenwasserstoffe (PAK) und Metallen) untergeben. Ergebnisse wurden in Tafel 7 und 8 zusammengestellt.

Tafel 7. Ergebnisse der Bestimmung des Auswaschens der Verunreinigungen aus dem Sanden

Parameter	Einheit	Sand M1	Sand M2
pH	pH	7,1	5,3
Elektrolische Leitfähigkeit	µS/cm	25,6	9,25
TOC	mg C/l	1,59	<1,0
ChSB – Cr ¹	mgO ₂ /l	10,2	6,0
BSB-5 ²	mg O ₂ /l	0,9	3,1
Chloride	mg Cl/l	1,58	<5,0
Zn	mgZn/l	0,014	0,0115
Pb	mgPb/l	<0,005	<0,005
Cd	mgCd/l	<0,001	<0,001
Cu	mgCu/l	0,043	0,0023
Cr	mgCr/l	0,0037	<0,002
Ni	mgNi/l	<0,005	<0,005
As	mgAs/l	<0,005	<0,005
Flüchtige Phenole	mg/l	<0,002	<0,002
Formaldehyd	mg/l	0,034	0,002

¹ ChSB – Chemischer Sauerstoffbedarf

² BSB – Biologischer Sauerstoffbedarf

Tafel 8. Ergebnisse der Bestimmung des Auswaschensgrades von PAK aus den Sanden

Parameter	Einheit	Sand M1	Sand M2
Naphthalin	µg/l	0,033	0,080
Acenaphthylen	µg/l	0,007	0,016
Acenaphthen	µg/l	0,008	0,017
Fluoren	µg/l	0,023	0,034
Phenanthren	µg/l	0,069	0,068
Anthracen	µg/l	0,014	0,064
Fluorathen	µg/l	0,060	0,029
Pyren	µg/l	0,047	0,017
Benzo(a)anthracen	µg/l	0,009	<0,005
Chrysen	µg/l	0,003	0,007
Benzo(b)fluoranthen	µg/l	<0,002	<0,004
Benzo(k)fluoranthen	µg/l	<0,002	<0,003
Benzo(a)pyren	µg/l	<0,002	<0,005
Dibenzo(a,h)anthracen + Indeno(1,2,3cd)pyren	µg/l	<0,002	<0,012
Benzo(ghi)perylen	µg/l	<0,002	<0,010
SUMME	µg/l	<0,283	<0,371

Sowohl der staublose Sand (M1) als auch der Sand mit der Zugabe dieses Staubes (M2) schaffen keine Bedrohung für die Umwelt in Fällen ihrer Deponierung oder wirtschaftlicher Ausnutzung. Sie erfüllen alle Parameter die bei Lagerung solcher Stoffe auf den Deponien der neutralen Abfälle gefordert werden. Die Zugabe des aus dem in Entstaubungsprozessen, die in Anlagen für die Vorbereitung der Bentonitformsande realisiert werden, stammenden Staub, in den Bentonitsand verschlechtert die Umwelt nicht; in dieser Hinsicht kann solcher Sand in den Giessereien verwendet werden.

8. Zusammenfassung

Aufgrund der ausführlichen Untersuchungen im Bereich der Möglichkeit der Bewirtschaftung der aus dem trockenen Entstaubungsprozessen, die in den Anlagen für die Vorbereitung der Bentonitformsande realisiert werden, stammenden Stäuben, können folgende Schlüsse gezogen werden:

Die Zugabe der Stäube zur Erfrischung der Bentonitsande

» Die Zugabe der Stäube in der Menge von 0,5 bis 1,0 % in den Umlaufsand verursacht keine Änderungen der technologischen Eigenschaften des Formsandes und erlaubt die Gussteile mit den erforderlichen Parametern zu produzieren. Die Ausschussmenge bleibt auf dem bisherigen Niveau oder wird kleiner. Deshalb ist es möglich die „Kormix“ Mischung in 20 % durch den Staub zu vertreten. Diese Weise der Bewirtschaftung dieser Stäube ist am meisten ökonomisch und technologisch begründet.

» Fertigung der Bentonitmischungen für die Formsande

Die Stäube aus dem Entstaubungsprozess können von Produzenten zur Fertigung der Bentonit - Kohlenstoffmischungen für die Bentonitformsande um diese den anderen Giessereien zu verkaufen.

» Granulierung der aus dem Entstaubungsprozess stammenden Staubes

Die aus dem Entstaubungsprozess, der in der Anlage zur Vorbereitung der Bentonitformsande realisiert wird, stammenden Stäube können ohne Bindemittel (lediglich bei Verwendung von Wasser) granuliert werden; dies ist möglich dank der Ausnutzung der bindenden Eigenschaften des im Staub enthaltenen aktiven Bindemittel. Das erhaltene Granulat bleibt in ganzer Lagerperiode plastisch und erweist entsprechende Festigkeitseigenschaften. Direkt nach der Granulierung kann es transportiert werden ohne Bedrohung durch das Stäuben oder Zerfallen.

» Beeinflussung der Umwelt

Die Zugabe des aus der Anlage zur Fertigung der Bentonitformsande kommenden Staubes bringt keine Verschlechterung dieser Sande in Hinsicht ihrer negativen Beeinflussung der Umwelt. Die den Staub enthaltenden Sande können auf den Deponien für die neutralen Abfälle deponiert oder für andere Zwecke ausgenutzt (z. B. als mittlere Schicht auf den Deponien der Kommunalabfälle) werden.

Die vorstehend dargestellten Untersuchungsergebnisse und Schlüsse beziehen sich auf den konkreten Staub und auf die konkrete Giesserei. Im Fall der Einführung dieser Technologie in andere Giesserei ist es notwendig einige zusätzliche Untersuchungen durchzuführen, wobei die existierenden lokalen Bedingungen in Betracht genommen werden sollen.

Schrifttum

1. Intergrated Pollution Prevention and Control Reference Document on Best Available Techniques in the Smitheries and Foundries Industry. European Commission, May 2005.
2. Sprawozdanie merytoryczne z realizacji wykonanych zadań badawczych w ramach projektu celowego Nr ROW-II-089/2005. Kierownik Projektu: Prof. Mariusz Holtzer (Sachlicher Bericht aud der Realisation der Forschungsaufgaben im Rahmen des Zielprojektes Nr. ROW-II-089/2005. Projektsleiter: Prof. Mariusz Holtzer).
3. SolarSKI W., Zawada J., Lewandowski J.L.: Znaczenie wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych dla oceny toksyczności (Bedeutung der PAH für die Beurteilung der Toxizität). Przegląd Odlewnictwa t. 47 (1997), nr 7/8, s. 234.
4. Holtzer M., Lewandowski J.L., Bilska M., Grabowska B.: Characteristics of moulding sands and cores used in iron foundries – in terms of harmful substances. Przegląd Odlewnictwa t. 54 (2004), nr 6, s. 482

Die Arbeit wurde aus den Mitteln für die Wissenschaft in Jahren 2006-2007 im Rahmen des Zielprojektes ROW-II-089/2005 finanziert.