



**UMWELTSCHUTZ  
MIT GEWINN**

**ENVIRONMENTAL PROTECTION  
WITH PROFIT**





Dipl.-Ing. Jan Lampke  
HAVER ENGINEERING GmbH, Freiberg/Deutschland  
www.haverengineering.de

Jan Lampke ist Diplomingenieur für Maschinenbau mit Spezialisierung auf Spezialtiefbau-, Gewinnungs- und Aufbereitungsmaschinen. Er hat über 10 Jahre Erfahrung in Forschung und Entwicklung von Aufbereitungsmaschinen, deren Inbetriebnahme sowie im Anlagenbau von Agglomerationsanlagen. Bei HAVER ENGINEERING GmbH verantwortet er den Bereich Agglomerationstechnik.

Prof. Dr.-Ing. Holger Lieberwirth, Institutsdirektor  
TU Bergakademie Freiberg, Institut für Aufbereitungsmaschinen, Freiberg/Deutschland  
www.tu-freiberg.de/fakult4/iam

M.Sc. Cornelia Messerschmidt  
TU Bergakademie Freiberg, Institut für Aufbereitungsmaschinen, Freiberg/Deutschland  
www.tu-freiberg.de/fakult4/iam

Cornelia Messerschmidt studierte an der TU Bergakademie Freiberg Verfahrenstechnik mit der Vertiefung Aufbereitungstechnik. Seit 2013 ist sie wissenschaftliche Mitarbeiterin am Institut für Aufbereitungsmaschinen der TU Bergakademie Freiberg.



Quelle/Source: Cornelia Messerschmidt

Typischer Produktlebenszyklus von Steinkohle • Typical product life cycle of coal

## Umweltschutz mit Gewinn Environmental protection with profit

### Granulierung von Kohlestaub

**Zusammenfassung:** Der vorliegende Beitrag befasst sich mit Steinkohlenstaub. Dieser wird häufig durch Entstaubungsanlagen erfasst, um Emissionen und damit verbundene Beeinträchtigungen und Gefährdungen zu vermeiden. Untersuchungen der HAVER ENGINEERING GmbH haben gezeigt, dass eine Überführung dieser staubigen Steinkohlefraktion in nichtstaubende Partikelgrößen technisch einfach realisierbar ist.

### Granulation of powdered coal

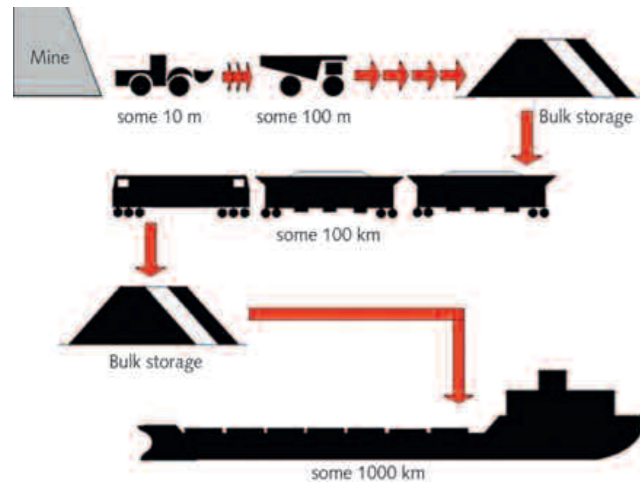
**Summary:** This paper addresses the subject of coal dust. This is often captured in dedusting systems to avoid emissions with the associated impairment and hazards. Studies at HAVER ENGINEERING GmbH have shown that processing of the powdered coal fraction to non-dusting particle sizes can be realized simply in technical terms.

Braun- und Steinkohlen sind wichtige Energieträger im Bereich der weltweiten Stromversorgung. Global werden ca. 30% des Primärenergiebedarfs durch Kohle gedeckt [1]. Der Energiebedarf und der damit korrespondierende Bedarf an Energierohstoffen wächst vor allem durch die stetig zunehmende Weltbevölkerungszahl und die industrielle Entwicklung von Schwellenländern. Weltweit beträgt die jährliche Steinkohlenförderung rund 8 Mrd. t [2, 3]. Bis die Kohle jedoch vom Gewinnungsort zur Verwertung gelangt, hat sie bereits einen mehrfachen Materialumschlag hinter sich. Die in Bild 1 skizzierte Transportkette verdeutlicht den Weg der Kohle von der Gewinnung bis zum Exporthafen. Der Transport vom Importhafen zum Verbraucher enthält eine vergleichbare Anzahl von Gliedern. Dabei wurden die mehrfachen Übergaben auf einem Lagerplatz noch gar nicht im Einzelnen berücksichtigt. Bei jeder Übergabe wird die Kohle erneut beansprucht. Dabei entstehen Kohlenstäube, welche schwierig handzuhaben sind.

Der Steinkohlenstaub wird häufig durch Entstaubungsanlagen erfasst, um Emissionen und damit verbundene Beeinträchtigungen und Gefährdungen zu vermeiden. Mit entsprechenden Filtern wird der Staub dabei üblicherweise mit relativ hohem

Lignite and coal are key fuels in global power supply. In global terms, around 30% of the primary energy demand is covered by coal [1]. Energy consumption and the corresponding demand for energy raw materials is growing, especially with the steady increase in the global population and the industrial development of emerging economies. Worldwide, around 8 bill. t coal is mined annually [2, 3]. But before the coal gets from where it is extracted to the place where it is used, it already has several material handling stations behind it. The transport chain sketched out in Fig. 1 illustrates the route of the coal from the point of extraction to the export port. The transport chain from the import port to the consumer consists of a comparable number of links. In this chain, the several handovers at the storage site are not even considered individually. Each time the coal is handled, the coal is subjected to new stresses. In this process, coal dust is formed, which is difficult to handle.

This paper addresses the subject of coal dust. This is often captured in dedusting systems to avoid emissions with the associated impairment and hazards. With corresponding filters, the dust is usually separated from the air stream, incurring a relatively high energy consumption. The filter cake formed is usu-



1 Typischer Förderweg der Steinkohle • Typical transport route for coal

Energieaufwand aus dem Luftstrom abgeschieden. Der entstandene Filterkuchen wird üblicherweise direkt in den Förderstrom zurückgeführt. Entstaubungsanlagen an den nachfolgenden Übergabestellen erfassen diesen Staub dann erneut und müssen wieder entsprechend groß dimensioniert werden. Die direkte, d.h. unbehandelte Rückführung des Staubes bedingt deshalb hohe Investitions- und Betriebskosten für die entsprechende Vielzahl von Filteranlagen. Eine Überführung der staubigen Steinkohlefraktion in nichtstaubende Partikelgrößen erscheint daher sinnvoll. Untersuchungen der HAVER ENGINEERING GmbH haben gezeigt, dass dies technisch einfach realisierbar ist. Die Steinkohlegranulate weisen verbesserte Transport- und Nutzungseigenschaften auf und führen zu einer deutlich minimierten Staubbelastung (Bild 2).

Die Gewinnung der Kohle kann sowohl im Tagebau als auch im Bergbau erfolgen. Die Kohle wird beispielsweise mit Hilfe von Baggern, Hobeln, Teil- oder Vollschnittmaschinen mechanisch abgebaut; anschließend erfolgt die Aufbereitung der Rohförderkohle mit Abtrennung der unbrauchbaren Materialien (Berge- und Feinmaterial). Die Nassaufbereitung der Kohle erfolgt mit Hilfe der Dichtesortierung oder durch Flotation. Um das zu transportierende Gewicht der nassen Kohle zu reduzieren, wird

ally fed direct back into the flow of coal. Dedusting systems at the downstream transfer points collect this dust again and have to be designed with a commensurately large size. The direct return of the untreated dust therefore incurs high investment and operating costs for a sufficiently high number of filter systems. Processing of the powdered coal fraction to non-dusting particle sizes therefore seems expedient. Studies at HAVER ENGINEERING GmbH have shown that this can be realized simply in technical terms. The coal granulates exhibit improved transport and use properties and minimize the dust load (Fig. 2).

Coal can be extracted in open and underground mining. The coal is mechanically extracted with the help of excavators, planing, selective cut heading or full thickness cutting machines; then the ROM coal is prepared based on the separation of the unusable materials (tailings and fines). The wet preparation of the coal is performed by means of density separation or flotation. To reduce the weight of the wet coal to be transported, it is dewatered before it is transported from the preparation plant. The coal is transported on trucks, in the case of longer transport distances and larger mass flows by means of rail, barge and/or sea transport. Before the coal gets to the power station or the refinery, occasionally further processing takes place (e.g. by means of comminution, sizing, mixing of different qualities). This can be necessary to produce a product that meets the demands of the different target markets. With all these transport and processing stations, fine and ultrafine coals are formed that can lead to emissions and hazards.

Handling materials in a dust state is often associated with technical challenges. Depending on the processes, active and passive measures are implemented to selectively combat the dust emissions. If one assumes that around 6.5% of the transported coal particles are smaller than 500  $\mu\text{m}$ , this results in an annual dust quantity of around 500 mill. t [4]. To reduce the formation of the fraction up to 500  $\mu\text{m}$ , the mechanical stress processes (e.g. on the basis of impact, compression and friction processes) are reduced or the extraction and transport rates of the coal are minimized. The encasing and sealing of plants and machinery are already proving successful in minimizing emissions. In addition, dedusting and filter equipment is used, the dusty material



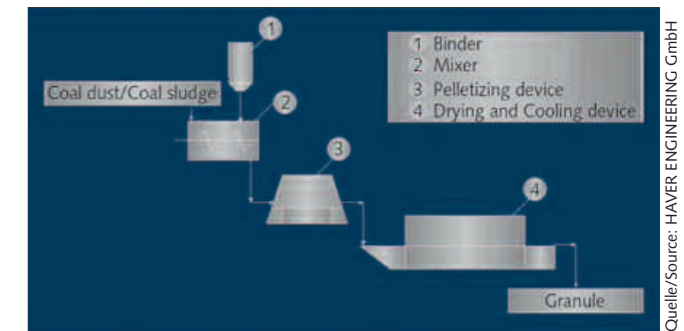
2 Kohlegranulation (v.l.n.r. Staub, kleine Granulate, große Granulate) Coal granulation (left to right: dust, small-size granulate, large-size granulate)

diese anschließend entwässert, bevor sie von der Aufbereitungsanlage abtransportiert wird. Der Abtransport geschieht mittels LKW, bei längeren Transportentfernungen und größeren Masseströmen über den Gleis-, Barge- und/oder Seetransport. Bevor die Kohle im Kraftwerk oder beim Veredler eintrifft, findet gelegentlich eine weitere Aufbereitung statt (z.B. durch Zerkleinerung, Klassierung, Mischung verschiedener Qualitäten). Dies kann notwendig sein, um ein den Ansprüchen der unterschiedlichen Zielmärkte gerecht werdendes Produkt zu erzeugen. Durch all diese Transport- und Verarbeitungsprozesse entstehen Fein- und Feinstkohlen, welche zu Emissionen und Gefährdungen führen können.

Der Umgang mit Materialien im staubförmigen Zustand ist häufig mit technischen Herausforderungen verbunden. Entsprechend der Prozesse, werden aktive oder passive Maßnahmen zur gezielten Bekämpfung der Staubemissionen getroffen. Geht man davon aus, dass ca. 6,5% der geförderten Kohlenpartikel kleiner als 500  $\mu\text{m}$  sind, ergibt sich weltweit eine jährliche Staubmenge von ca. 500 Mio. t [4]. Zur Verringerung der Entstehung der Fraktion bis 500  $\mu\text{m}$  werden u.a. die mechanischen Beanspruchungsvorgänge (z.B. durch Prall-, Druck- und Reibungsvorgänge) reduziert oder die Förder- und Transportgeschwindigkeiten der Kohle minimiert. Auch die Einhausung und Abdichtung von Maschinen- und Anlagen zeigt bereits gute Erfolge in der Minimierung der Emissionen. Zudem werden sehr häufig Entstaubungs- und Filteranlagen eingesetzt, das staubige Material mit Wasser bzw. Staubbindemitteln benetzt oder die flugfähigen Partikel anderweitig beseitigt, z.B. durch Wasch- und Agglomerationsprozesse.

Im Fokus dieses Beitrages steht der Transport- und Umschlagbereich. Eine Entstaubung, und somit ein separates Vorliegen von Kohlenstäuben, ist z.B. bei Anlagen zur Waggonentladung üblich, wobei bezogen auf eine Entladeleistung von 3500 t/h abgezogene Kohlenstaubmengen von bis zu 5 t/h möglich sind. Üblicherweise wird die abgesaugte Staubmenge, deren Energieinhalt letztlich auch schon bezahlt wurde oder noch bezahlt werden soll, nach der Waggonentladung wieder dem Stoffstrom zugeführt. Dies hat jedoch zur Konsequenz, dass die Absauganlagen der nachfolgenden Umschlagprozesse eben diesen Staub wiederum absaugen müssen. Ein und derselbe Staub erzeugt mehrfach Investitions- und Betriebskosten durch die Notwendigkeit leistungsstarker Entstaubungsanlagen. Daher ist neben der Erfassung des Kohlenstaubes auch die Überführung dieses Staubes in emissionsarme Fraktionen, wenn möglich sogar hochwertige verkaufsfähige Produkte in Form von Granulaten sinnvoll (Bild 3).

Durch die mit der Kohleagglomeration verbundenen Eigenschaftsverbesserungen wie z.B. verbesserte Fließ- und Streueigenschaften, Vermeidung von Entmischungen und angepasste Permeabilität, können neue Einsatzbereiche erschlossen werden, wie z.B. der Einsatz von Kohlegranulaten in Kleinf Feuerungsanlagen [5]. Insbesondere die gute Dosierbarkeit gleichmäßiger Agglomerate ist in automatisierten bzw. automatisierbaren Feuerungssystemen von erheblichem Vorteil gegenüber der manuellen Beschickung bzw. großformatigen Briketts. Eine weitere Einsatzmöglichkeit der Granulate ist die Kohlevergasung und -verflüssigung, da die gleichmäßige Verteilung prozessspezifischer Additive ebenso entscheidend ist wie der regelbare



3 Anlagenschema zur Kohlenstaubagglomeration  
Schematic showing system for coal dust agglomeration

is wetted with water and dust binder or the airborne particles are otherwise eliminated, e.g. by means of washing and agglomeration processes.

In the focus of this paper is transport and handling. Dedusting and therefore a separation of coal dusts is usual, for example, in equipment for wagon unloading, relative to an unloading rate of 3500 t/h, removed coal dust rates up to 5 t/h being possible. Usually, the amount of dust extracted, the energy content of which is ultimately already paid for or still has to be paid for, is returned to the material stream after wagon unloading. This, however, has the consequence that the extraction systems in the downstream handling processes have to extract this dust. One and the same dust produces investment and operating costs several times with the necessity for high-performance dedusting systems. Therefore, besides the capture of the coal dust, rendering of this dust into low-emission fractions, if possible even high-quality saleable products in the form of granulates is expedient (Fig. 3).

With the improved properties associated with coal agglomeration, like, for example, improved flow and spreading properties, avoidance of segregation and adapted permeability, new application areas can be opened up, for instance, the use of coal granulate in small-scale combustion plants [5]. Especially, the good meterability of homogeneous agglomerates in automated and automatizable firing systems is a considerable advantage compared to manual feeding and large-size briquets. Another potential application of the granulates is coal gasification and liquefaction as the uniform distribution of process-specific additives is just as crucial as the regular feeding of the coal into the gasification reactor. Another potential application is the use of the defined coal granulates as alloying coal or accurately metered carburizing agent in automated metallurgical processes. The granulate produced therefore not only enables potential savings during transport, storage and handling of the coal, but can also add value to the coal.

Besides the existing process route consisting of capturing the coal dust (dedusting system) and the direct return of the coal dust to the production stream (Fig. 4, left), two other potential process routes result. Once captured, the coal dust is agglomerated in a disc or drum granulator. This material can, on the one hand, be returned to the product flow as a low-dust fraction. In this case, the agglomeration costs must be considered against the lower costs for the extraction equipment. On sale of the coal granulates, the agglomeration costs must be considered against the increased market value of the product (Fig. 4, right).

Eintrag der Kohle in den Vergasungsreaktor. Ein weiterer Einsatzbereich ist die Verwendung der definierten Kohlegranulate als Legierungskohle bzw. automatisiert exakt dosierbares Aufkohlungsmittel in metallurgischen Prozessen. Das entstandene Granulat sorgt somit nicht nur für Einsparungspotentiale bei Transport, Lagerung und Umschlag der Steinkohlen, sondern führt zu einem erhöhten Mehrwert der Steinkohle.

Es ergeben sich neben der vorhandenen Verfahrensrouten, bestehend aus der Erfassung des Kohlenstaubes (Entstaubungsanlage) und der direkten Rückführung des Kohlenstaubes auf den Produktstrom (Bild 4, links) zwei weitere potentielle Verfahrensrouten. Der einmal erfasste Kohlenstaub wird auf dem Granulierteller oder in der Granuliertrommel agglomeriert. Dieses Material kann einerseits als staubarme Fraktion dem Produktstrom wiederum zugeführt werden. In diesem Fall stehen den Agglomerationskosten die verringerten Kosten für die Absauganlagen gegenüber. Bei der Vermarktung der Kohlegranulate stehen die Agglomerationskosten dem gesteigerten Marktwert des Produktes gegenüber (Bild 4, rechts).

Nachfolgend wird die Agglomeration verschiedener Kohlen im Granulierteller vorgestellt. Dieser ist ein Apparat der Aufbauagglomeration, bei der der Staub unter Zugabe von Flüssigkeit größere Agglomerate bildet. Durch die Rotation in diesem Apparat können die Staubpartikel untereinander und mit bereits gebildeten Granulaten zusammentreffen und größere Partikel bilden.

Eine entsprechende Granulieranlage umfasst im Wesentlichen die in Bild 3 dargestellten Komponenten. Der Kohlenstaub aus der Entstaubungsanlage wird in einem Mischer (2) mit einem Bindemittel benetzt. Anschließend wird das Material auf ein Agglomerationsaggregat (3) aufgegeben. Darin wird das Gemisch unter Zugabe von Wasser zu Granulaten geformt. Die feuchten Granulate werden daraufhin einem Trockner mit anschließender Abkühlung zugeführt (4). Erst durch dieses thermische Härten können ausreichend stabile Festkörperbrücken zwischen den Partikeln gebildet werden. Dabei können sowohl Granulierteller, wie z.B. der HAVER SC 2200 wie auch Granuliertrommeln, wie z.B. die HAVER GT 10-30 eingesetzt werden. Beide Aggregate eignen sich für die Granulierung von ca. 5 t/h Steinkohlenstaub. Ist eine enge Partikelgrößenverteilung der Kohle gefordert, ist die Verwendung eines Granuliertellers vorteilhaft. Durch die Neigung des rotierenden Prozessraumes des Granuliertellers entsteht ein Segregationseffekt, sodass die großen Partikel auf den kleineren aufschwimmen, während sich das Feingut im unteren Bereich des Materialbetts bewegt. Eine enge Partikelgrößenverteilung des Austragsgutes ist die Folge. Ist nur die Agglomeration des Kohlenstaubes im Fokus, nicht jedoch die Produktqualität hinsichtlich der Partikelgrößenverteilung, kann auch eine Granuliertrommel verwendet werden.

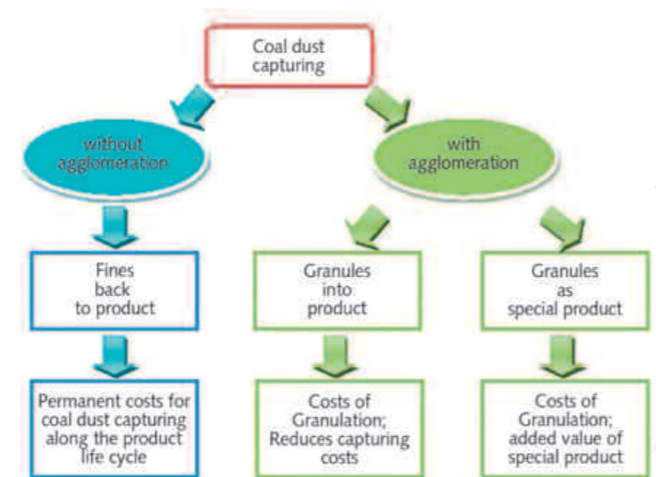
In Bild 5 und 6 sind die Ergebnisse der Granulierung von verschiedenen Kohlen auf dem Granulierteller beispielhaft dargestellt. Die verwendeten Kohlen unterscheiden sich in der stofflichen Zusammensetzung, der Partikelgrößenverteilung, sowie dem Feuchteanteil. Die Diagramme zeigen, dass Granulate verschiedener Festigkeiten und Korngrößen hergestellt werden können. Aufgrund fehlender technischer Normen, Gütevorschriften bzw. Lieferbedingungen ist zum Vergleich die

In the following, the agglomeration of different coals in the disc granulator is presented. This is a machine for build-up agglomeration in which the dust forms relatively large agglomerates when liquid is added. As a result of rotation in this machine, dust particles collide with each other and already formed granules, thereby forming larger particles.

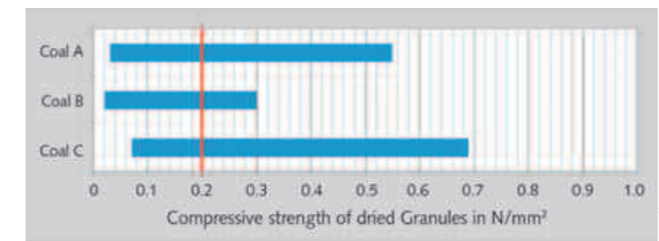
A corresponding granulator essentially comprises the components shown in Fig. 3. The coal dust from the dedusting system is wetted in a mixer (2) and a binder is added. The material is then fed to the agglomerator (3). Water is added so that the mixture forms a granulate. The wet granules are then sent to a dryer with subsequent cooling (4). Only with this thermal curing can sufficiently stable solid-state bridges be formed between the particles. Here disc granulators, e.g. the HAVER SC 2200, as well as drum granulators, e.g. the HAVER GT 10-30, can be used. Both granulators are suitable for granulation of around 5 t/h coal dust. If a narrow particle size distribution of the coal is required, the use of a disc granulator is expedient. Owing to the inclination of the rotating process chamber of the disc granulator, a segregation effect is obtained so that the large particles "float" on top of the smaller ones, while the fines move in the lower section of the material bed. A narrow particle size distribution of the discharged material is the result. If the focus is only on agglomeration of the coal dust, but not the product quality with regard to particle size distribution, a drum granulator can also be used.

Figs. 5 and 6 show the results of the granulation of different coals in the disc granulator by way of example. The coals used differ in their material composition, particle size distribution and moisture content. The diagrams show that granulates of different strengths and particle sizes can be produced. Owing to the absence of technical standards, quality specifications or supply specifications, for comparison the typical granulate strength and granulate size in fertilizer are indicated with the red line.

So that the granulates formed also exhibit sufficient strength in the dry state too, binder has to be added. The strength is crucially determined by the type of binder, the percentage of binder and the composition of the raw material. The binders used in the tests are bentonite, water glass, lignosulphonate and molasses. In the relationship shown (Fig. 5), binders were added in the range of 0 to 3 mass%.



4 Verfahrensrouten mit Kohlenstaub • Process routes with coal dust



5 Druckfestigkeiten von Granulate aus verschiedenen Kohlen  
Compressive strengths of granulates of different coals

typische Granulatfestigkeit und Granulatgröße im Düngemittelbereich anhand der roten Linie gekennzeichnet.

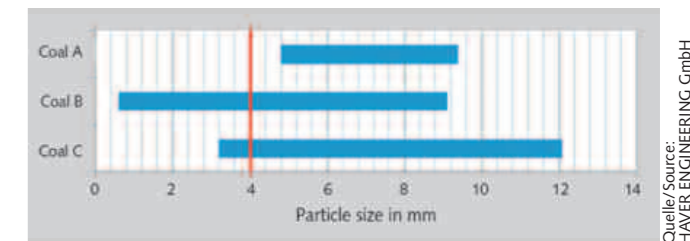
Damit die entstehenden Granulate auch im trockenen Zustand ausreichende Festigkeiten aufweisen, müssen Bindemittel zugesetzt werden. Die Festigkeit wird dabei maßgeblich von der Bindemittelart, dem Bindemittelanteil und der Zusammensetzung des Ausgangsstoffs bestimmt. Zu den in den Untersuchungen genutzten Bindemitteln zählen u.a. Bentonit, Wasserglas, Ligninsulfonat und Melasse. Im dargestellten Zusammenhang (Bild 5) wurden Bindemittelmengen von 0 bis 3 Ma.-% eingesetzt.

Die Granulatgröße (Bild 6) hingegen wird vor allem von der Geometrie des Granuliertellers und den Betriebsparametern Tellerneigung, -drehzahl und Durchsatz bestimmt. Auch die Partikelgrößenverteilung des Produktes steht mit diesen Parametern in unmittelbarem Zusammenhang. Die Diagramme zeigen, dass sowohl feinere als auch größere Granulate hergestellt werden können.

Werden die Granulate wieder dem Hauptstoffstrom zugeführt, sind diese während des Massenumschlages z.T. extremen Witterungsbedingungen ausgesetzt. Daher wurden zudem Untersuchungen zur Wasserstabilität der Granulate durchgeführt. Die Beregnungsversuche haben gezeigt, dass die Granulate der Beregnungsintensität eines starken Gewitters standhalten. Erst ab Regenmengen vergleichbar mit einem Monsun (bis zu 20000 l/m² im Jahr [6]) neigen die Partikel ohne spezielle Vorbehandlung zum Verschlammen.

Versuche mit selbsthärtenden Bindemitteln, wie z.B. Zement, haben gezeigt, dass bei ausreichender Lagerzeit und entsprechenden Lagerbedingungen bei der Agglomeration sogar auf eine thermische Trocknung verzichtet werden kann. In diesem Fall steigt jedoch der Aschegehalt des granulierten Materials. In jedem Fall muss daher das Agglomerationsverfahren auf die spezifischen Materialeigenschaften und die jeweilige Anwendung angepasst werden.

Neben dem schwierigen Transport können bei Steinkohlestäuben Problemsituationen z.B. durch Umweltverschmutzung, Beeinträchtigung der Gesundheit der Mitarbeiter und Anwohner sowie ein erhöhtes Gefahrenpotential durch Staubexplosionen entstehen. Durch eine ineffiziente oder gar fehlende Aufbereitung von Steinkohlestäuben, bleiben zudem Gewinnpotentiale ungenutzt. Angesichts der hohen Wettbewerbsintensität und auch durch die endliche Verfügbarkeit der fossilen Energierohstoffe, wird die Notwendigkeit des effizienten und nachhaltigen Umgangs deutlich. Die Agglomeration von Kohlestäuben senkt nicht nur Emissionen, sondern kann sogar neue Märkte mit den granulierten Kohlestäuben erschließen.



6 Korngrößen von Granulate aus verschiedenen Kohlen  
Particle sizes of granulates from different coals

The granulate size (Fig. 6), on the other hand, is determined primarily by the geometry off the granulator disc and the operating parameters inclination of the disc, speed and throughput rate. The particle size distribution of the product is directly related to these parameters. The diagrams show that both, relatively fine and relatively coarse, granulates can be produced.

If the granulates are returned to the main material streams, these are sometimes exposed to extreme weather conditions during handling. For this reason, tests on the water stability of the granulates were also conducted. The rain tests have shown that granulates withstand the rain intensity of a severe storm. Only from rain levels comparable with a monsoon (up to 20000 l/m² per year [6]) do the particles tend to muddy up without special pre-treatment.

Tests with self-curing binders, e.g. cement, have shown that with sufficient storage time and suitable storage conditions during agglomeration, thermal drying is not necessary. In this case, however, the ash content of the granulated material increases. In any case, the agglomeration process has to be adapted to the specific materials properties and the specific application.

In addition to the difficult transport, coal dust problem situations can arise, for instance, as a result of environmental pollution, detrimental effect on the health of the employees and local residents as well as increased hazard potential of dust explosion. With an inefficient or even no processing of coal dust, extraction potential is not utilized. In view of the high intensity of competition and also the finite availability of the fossil energy resources, the necessity of efficient and sustainable handling becomes clear. The agglomeration of coal dust not only reduces emissions, but can also open up new markets for the granulated coal dust.

Literatur • Literature

[1] <http://www.investor-verlag.de/rohstoffe/der-rohstoff-kohle-und-seine-verwendung/>, 03.06.2016  
 [2] <http://live-counter.com/kohleverbrauch-weltweit/>, 03.06.2016  
 [3] <http://de.statista.com/statistik/daten/studie/154527/umfrage/foerderung-von-steinkohle-weltweit-seit-1993/>, 03.06.2016  
 [4] TÜV Nord. Gutachterliche Stellungnahme zu den durch das am Standort Brunsbüttel geplante Kohlekraftwerk der Electrabel Kraftwerk Brunsbüttel GmbH & Co. KG verursachten Emissionen. Hamburg, 2008  
 [5] Reznichenko, O., 2003. Herstellung von Brennstoffagglomeraten aus Kohlen mit unterschiedlichem Inkohlungsgrad für Kleinfeuerungsanlagen [Dissertation]. TU Bergakademie Freiberg  
 [6] <http://www.wasser-wissen.de/abwasserlexikon/r/regenmenge.htm>, 03.06.2016

HAYER ENGINEERING GmbH  
Associated Institute of TU Bergakademie Freiberg  
Halsbrücker Str. 34, 09599 Freiberg, Germany  
Phone: +49 3731 419700  
Telefax: +49 3731 419701  
E-mail: [hem@haverengineering.de](mailto:hem@haverengineering.de)  
Internet: [www.haverengineering.de](http://www.haverengineering.de)