



press - press - press - press - press

verschiedenen Anlagenkonzepte in Bezug auf Interface, Bedienung und Regelung anzupassen. Der DISOCONT® MASTER kann autark als Subsystem die Mühle regeln oder ein vorhandenes Leitsystem entlasten. Bei einer nachträglichen Installation eines Leitsystems kann der dann existierende DISOCONT® MASTER problemlos integriert und eingebunden werden (Bild 8).

means the highest possible finished product output with simultaneously minimized energy consumption. The DISOCONT® MASTER for mill control contains an algorithm which searches for the optimum operating point on the basis of the determined mill characteristic by progressive alteration of the setpoint, matching the alteration stepwise to the progress of the optimization process. The system automatically takes the grinding ball wear and changes in raw material grindability into consideration. The adaptive action of the system substantially reduces the workload of the mill operator and ensures optimal operation, even if the personnel is not highly trained (Fig. 7).

**9 Prospects**

The combination of continuous weighing and metering systems (MULTIDOS® weighbelt feeder, MULTISTREAM®-G flowmeter) and an electronic mill control system (DISOCONT® MASTER) meets the demand for a technologically and economically optimized cement manufacturing process. The modular system provides the basis for adaptation to various plant concepts with regard to interface, operation and control. The DISOCONT® MASTER can control the mill independently as a subsystem or relieve an existing master control system. If a master control system is retrofitted, the DISOCONT® MASTER can be integrated and linked up without any problem (Fig. 8).

BV-S 2023 DE/GB - 1000.02.06 di . Alle Angaben sind unverbindlich. Änderungen bleiben vorbehalten. All information is given without obligation. All specifications are subject to change.

Autor/Author:  
Michael Schum, Schenck Process GmbH, Darmstadt, Germany

**Sonderdruck – Reprint**

aus: ZKG Zement Kalk Gips, Ausgabe 10, Oktober 2005

# Dosierung und Regelung von Kugelmühen in einem Subsystem

from: ZKG Cement Lime Gypsum, issue 10, October 2005

# Feed flow metering and control of ball mills in a subsystem

**Zusammenfassung:** Für eine wirtschaftliche Herstellung von Zement unter Einhaltung der hohen Qualitätsanforderungen ist eine technisch optimierte Mühlenregelung unabdingbar. Diese Mühlenregelung sollte die Komponenten Auswerteelektronik, Software (Regelungsalgorithmen) sowie kontinuierliche Dosierung der verschiedenen Materialien reibungslos miteinander verbinden. Ein Konzept dazu hat die Firma Schenck Process entwickelt. Die Produktion verschiedenster Zementsorten sowie ein jederzeit optimierter Mühlenfüllgrad bei gleichbleibend hoher Zementgüte ist ebenfalls Bestandteil dieser Komplettlösung.

**Summary:** A technically optimized mill control system is absolutely essential for achieving economical production of cement while complying with the strict quality requirements. This mill control system should smoothly combine the components evaluation electronics unit, software (control algorithms) and the continuous flow regulation of the different materials. An adapted concept for this purpose was developed by Schenck Process. This ideal solution also assures the production of a wide range of different cement types, as well as an optimized mill filling ratio at all times and consistently high cement quality.



Schenck Process GmbH  
Marketing Communication  
Pallaswiesenstr. 100  
64293 Darmstadt, Germany  
T +49 61 51-15 31 29 87  
F +49 61 51-15 31 27 54  
press@schenckprocess.com  
www.schenckprocess.com

we make processes work

## 1 Einleitung

Kugelmühlen sind weltweit zur Herstellung von Zement im Einsatz. Ein wirtschaftlicher und zuverlässiger Mühlenbetrieb ist die Forderung an die Gesamtanlage. Das Mahlen verschiedener Zementsorten und sich ändernde Mahlbarkeiten wirken sich auf den Mühlenbetrieb aus. Die Ziele eines optimierten Mühlen-Betriebes unter diesen Bedingungen sind:

- Erhöhen des Fertigausstos bei gleichbleibendem Energiebedarf
- Reduzieren der Betriebskosten
- Erhöhen der Produktqualität durch gleichmäßige Produkteigenschaften.

Die zur Mühlenbeschickung eingesetzten Dosier-, Mess- und Regelsysteme müssen folgende Anforderungen erfüllen können:

- Dosierbandwaagen dosieren das Frischgut genau und zuverlässig
- Rezeptur und Gemengesteuerung gibt die zementsorten-spezifischen Sollwerte an die Dosierer
- Mühlenregelung (Rückgutregelung) führt zu einer Stabilisierung der Materialflüsse
- Mühlenfüllstandserfassung (elektrisches Ohr) kompensiert Kurzzeitschwankungen im Materialfluss
- Durchsatzoptimierung bewirkt, dass die Mühle automatisch in den optimalen Arbeitspunkt gebracht wird und maximal mögliches Fertiggut produziert.

Das Eingangsmaterial (Frischgut und Rückgut) wird der mit Stahlkugeln gefüllten Mühle zugeführt und der Mahlprozess beginnt. Nach dem Durchlaufen der Mühle wird das Ausgangsmaterial mittels Becherwerk zu dem Einlass des Sichters gefördert. Die Aufgabe des Sichters besteht darin, das Material in zwei Komponenten aufzuteilen: Fertig- und Rückgut. Das Rückgut wird erneut der Mühle zugeführt.

## 2 Frischgutbeschickung

Das Frischgut (Klinker, Gips und Schlacke etc.) wird mittels Dosierbandwaagen der Mühle zugeführt. Die Schenck Process Dosierbandwaage trägt den Namen MULTIDOS® und ist in einem modularen Konzept entwickelt worden (Bild 1). Ihr Aufbau und ihre zahlreichen Variationen mit unterschiedlichen Bandbreiten, Förderstreckenlängen sowie Abzugstrichtern decken die Anforderungen bei einem Zementwerk ineinander übergreifend ab. Darüber hinaus ist für jedes erdenkliches Schüttgut, d.h. jegliche Fließigenschaften eine Lösung vorhanden. Ob durch Miteinbeziehung eines Zuteilers und dessen Regelung oder durch Direktabzug des Materials aus einem Silo.

Für die Hauptkomponenten der Mühlenbeschickung verwendet man normalerweise die Variante „Direktabzug“. Das Material wird somit stets direkt mit dem Dosierer aus dem Silo gefördert und mittels Elektronik „auf den Punkt“ dosiert. Bei Dosierbandwaagen bis Baujahr ca. 1995 war die Elektrik

## 1 Introduction

Ball mills are in use all around the world for the manufacturing of cement. One of the central requirements for good operation of the complete plant is the economical and reliable operation of the mills. The need to grind different cement types and to cope with varying grindabilities both have an impact on mill operation. The aims of optimized mill operation under these conditions are:

- increasing the finished product output while maintaining a constant energy requirement,
- reducing the operating costs and
- raising the product quality by means of consistent product characteristics.

The flow regulation, measuring and control systems used for feeding the mill must be able to meet these requirements.

- Weighbelt feeders regulate the flow of fresh material precisely and reliably.
- The mixture formulation and mixture control systems transmit the cement-type-specific setpoint values to the flow regulation system.
- The mill control system (material return control) stabilizes the flows of material.
- The mill filling level monitoring unit (electrical ear) compensates for short-term fluctuations in the flow of material.
- The throughput optimization enables the mill to automatically hold its optimum working point and thus produce the maximum possible amount of finished product.

The starting material (new feed material and returned material) is fed to the mill, which has a charge of steel balls, and the grinding process begins. After passing through the mill, the material is conveyed by bucket elevator to the inlet of the separator. The separator has the function of dividing the material into two components: finished product and return material. The return material is re-fed to the mill.

## 2 Feeding of new material

The new feed material (clinker, gypsum and slag etc.) is fed to the mill by weighbelt feeders. The Schenck Process MULTIDOS® weighbelt feeder is of modular design (Fig. 1). Due to its flexible design and numerous variations, with different belt widths, conveying lengths and discharge hoppers, various configurations of this machine cover all the requirements of a cement factory. Furthermore, it provides a solution for every conceivable bulk material, i.e. for the whole range of possible flow characteristics. Two examples are the incorporation of a metering hopper and its control system or the direct material discharge system for silos. The variant "direct material discharge" is normally employed for the main components of the mill feeding system. This involves direct withdrawal of the material from the silo with the metering device and precise flow control by an electronic



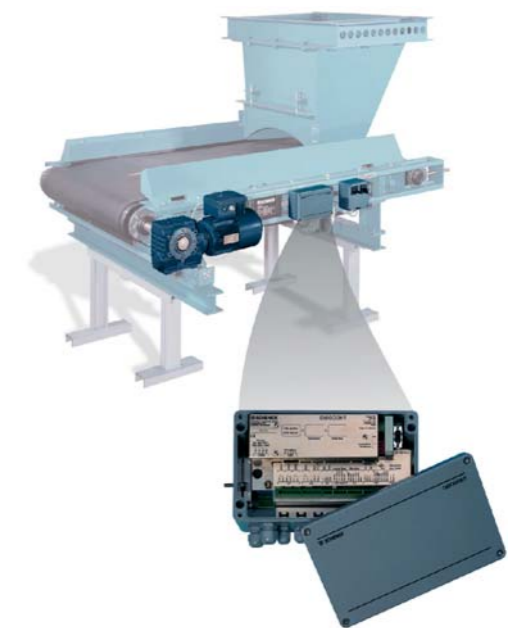
1 Dosierbandwaage MULTIDOS®  
1 MULTIDOS® weighbelt feeder

stets in separaten Schaltschränken eingebaut. Seit einigen Jahren ist der Trend erkennbar, immer mehr Intelligenz in der Automatisierungstechnik zu dezentralisieren. Möglich wurde dieser Trend durch die rasante Entwicklung auf dem Gebiet robuster Elektronikbauteile einerseits und durch die Verbreitung standardisierter Feldbusse andererseits. Die frühere Trennung in die Bestandteile Mechanik und Elektronik führt man durch die sogenannte MechaTronik zusammen (Bild 1).

## 3 Dosierbandwaagen in MechaTronik-Ausführung

Die lokale Integration von Regel- und Leistungselektronik beim Einsatz in Dosierwaagen stellt besondere Anforderungen an die verwendeten Elektronikbaugruppen. Bei der MechaTronik-Ausführung (Bild 2) wird konsequent das Ziel verfolgt, alle internen Signale einer Dosierwaage lokal zu erfassen, zu verarbeiten und aus den Messergebnissen die entsprechenden Steuerbefehle direkt an die Aktoren auszugeben. Die übergeordnete Steuerung wird durch die dezentrale Messwerterfassung von aufwändigen Detailfunktionen entlastet und konzentriert sich auf die übergeordnete Anlagenführung.

Die Dosierbandwaage MULTIDOS® in MechaTronik-Ausführung garantiert, mit der Basis einer ausgereiften Mechanik und der digitalen Elektronik mit BIC (Belt Influence Compensation), höchste Dosiergenauigkeit der einzelnen Komponente. Die Waage arbeitet als selbstständiges Objekt eigenverantwortlich und meldet Störungen automatisch. Ihr werden nur noch die Anteile der Schüttgutkomponenten vorgegeben, wobei sie die Einhaltung dieser Vorgaben selbst überwacht. Dadurch ist sichergestellt, dass die Materialmischung stets den Erwartungen entspricht.



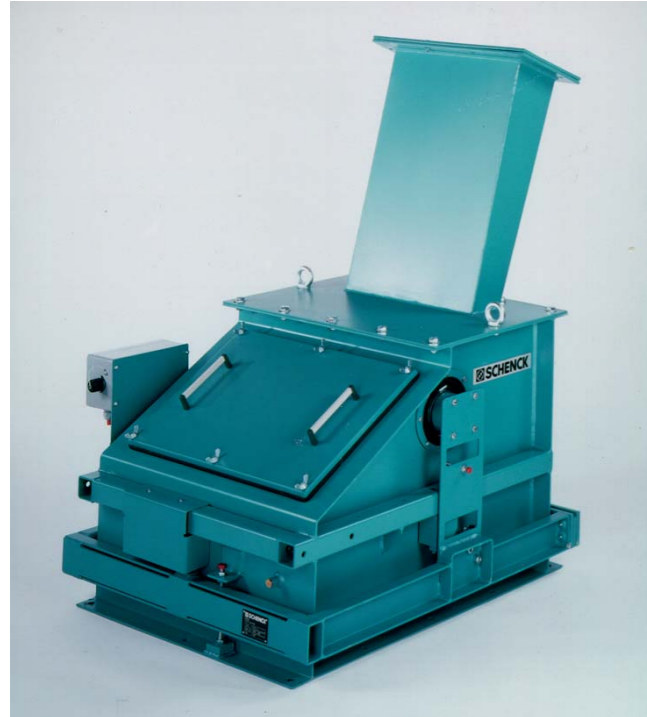
2 Dosierbandwaage in MechaTronik-Ausführung  
2 Weighbelt feeder with MechaTronik System technology

unit. The electrical equipment of weighbelt feeders built before about 1995 was always installed in separate control cabinets. For some years now, there has been a trend in automation technology towards decentralizing more and more intelligence. This was made possible, on the one hand, by rapid developments on the field of robust electronic components and, on the other hand, by the introduction of standardized field buses. The formerly separate mechanical and electronic sectors have been united by the so-called MechaTronic technology (Fig. 1).

## 3 Weighbelt feeder with MechaTronic technology

The local integration of control and power electronics for usage in dosing weighers imposes special demands on the employed electronic modules. The MechaTronic system technology (Fig. 2) has the clear aim of locally capturing and processing all the internal signals of a dosing weigher and using the measurement result as a basis for direct transmission of the control commands to the actuators. The master control system is relieved of complex detail functions by the decentralized measured value capturing and can concentrate on the higher-level controlling of the plant.

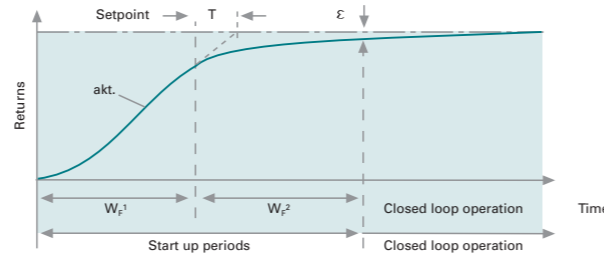
The MULTIDOS® weighbelt feeder with MechaTronic technology guarantees the highest possible flow-regulation precision of the individual components on the basis of perfected mechanical components and the use of digital electronics with BIG (Belt Influence Compensation). The weigher functions as an independent entity on its own responsibility and automatically reports any malfunctions. The MULTIDOS® only needs the proportions of the bulk material components to be input as setpoint values and then monitors compliance with these



**3 Durchlaufmessgerät**  
3 Flowmeter

Mit dem System DISOCONT® ist eine Wäge- und Dosierelektronik verfügbar, die durch ihren Aufbau für den lokalen Anbau vorbereitet ist. Integriert in die Dosierbandwaage ergeben sich, durch den Einsatz von Kompaktantrieben mit integrierter Leistungselektronik in den Motor, Kompakt-dosierer mit den oben beschriebenen Vorteilen dezentralisierter Systeme. Das EMV-Problem ist dadurch auch wesentlich einfacher zu handhaben als mit den früher üblichen langen Kabeln zwischen Umrichter und Motor (Bild 2).

Die DISOCONT® Mess- und Regelelektronik nimmt die lokalen Signale auf und erledigt die für eine präzise Dosierung notwendigen zeitkritischen Regelaufgaben. Das Datenaufkommen über den integrierten Feldbus zum Anlagenleiterschreiber ist somit auf die Sollwertvorgaben, Bilanzierungen und die Diagnoseinformation reduziert. Alle internen Aufgaben werden konsequent lokal erledigt, und bei Abweichungen vom vorgesehenen Verhalten generiert das System selbstständig eine Ereignismeldung. Das so entstandene System ist intern fertig verdrahtet und wird über wenige Kabelverbindungen an Energieversorgung und Leitsystem angebunden. Bei gleicher Funktionalität führen die vereinfachte Handhabung und der Wegfall von Schaltschränken zu einer enormen Kostenreduktion bei der Einplanung, der Investition und im Betrieb. Solange in einer Anlage noch keine Feldbusse Verwendung finden, stehen für die bauseitig vorhandene Anlagensteuerung die erforderlichen Signale digital und analog zur Verfügung. Mechanik und Steuerung der Dosierwaage sind optimal aufeinander abgestimmt und vorein-



**4 Anfahrautomatik**  
4 Automatic starting system

settings by itself. This ensures that the material mixture always corresponds to expectations.

The weighing and flow-regulation electronics of the DISOCONT® System are specially designed for local installation. By integrating these components in the weighbelt feeder and employing compact actuators with integral power electronics in the motor, a very compact flow regulating unit with the already described advantages of decentralized systems is obtained. This makes it far easier to deal with the EMC problem than was the case with the former customary long cables between converter and motor (Fig. 2).

The DISOCONT® measurement and control electronics collect all the local signals and performs the time-critical control functions that are necessary for high-precision flow regulation. This restricts the data quantities transmitted via the integrated field bus to the master control system to setpoint inputs, balance data and diagnosis information. All the internal functions are strictly performed by the local system, which independently generates an event message if any deviations from the specified behaviour occur. The system is supplied with connected-up internal wiring and is hooked up to the power supply system technology and to the master control system by a very small number of cable connections. Without any loss of functionality, the simplified handling and elimination of control cabinets leads to an enormous reduction in arrangement planning, investment and operating costs. As long as no field buses are used in a plant, the signals required for the existing plant control system are made available in both digital and analog form. The mechanical components and the control system of the dosing weigher are optimally harmonized and preset. The necessary adaptation to the existing plant situation is effected by means of a few parameters and adjustment programs. A modern PC user interface, EasyServe, ensures clear and quick access during installation and for servicing. Integration of the dosing weigher into the production process is made particularly rapid by the following work steps:

- Simple mechanical integration, with no installation of control cabinets
- Power feeding for electronic units and actuators

gestellt. Die notwendige Anpassung an die bauseitigen Gegebenheiten erfolgt über wenige Parameter und Justageprogramme. Eine zeitgemäße PC-Oberfläche, EasyServe, gewährt dabei einen übersichtlichen und schnellen Zugang bei der Installation und beim Service. Die Dosierwaage ist durch folgende Arbeitsschritte besonders schnell in den Produktionsprozess eingebunden:

- Einfache mechanische Integration, Installation von Schaltschränken entfällt
- Leistungszuführung für Elektronik und Antriebe
- Feldbusanschluss
- Reduzierter Aufwand bei der Inbetriebnahme.

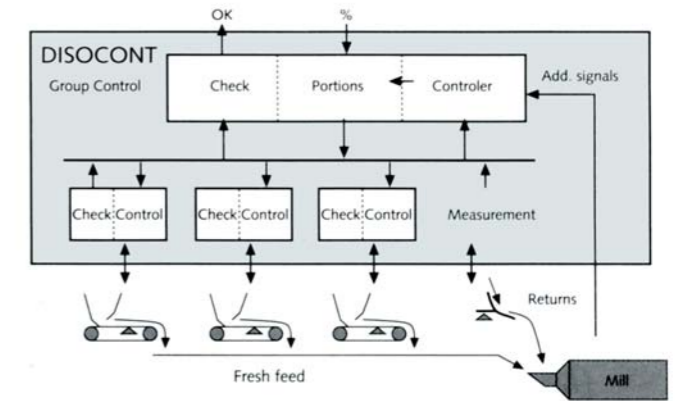
Die bereits aufgeführte waageninterne Verkabelung reduziert den Installationsaufwand erheblich und verhindert Verkabelungsfehler. Die verbleibenden Anschlüsse zum Rest der Anlage erfordern keine Spezialkenntnisse mehr. Je nach den Erfordernissen der Anlagensteuerung kommen unterschiedliche Feldbusse zum Einsatz. Nur ein modularer Entwurf schafft hier die notwendigen Freiheiten. Beim System DISOCONT® z.B. werden Module für folgende Busse wahlweise aufgesteckt:

- PROFIBUS
- INTERBUS S
- CAN (DeviceNet)
- MODBUS
- Ethernet
- etc.

#### 4 Rückgutmessung mit einem Durchlaufmessgerät

Die Durchsatzleistung einer Mühle wird stets durch das Frisch- und Rückgut bestimmt. Die zugeführte Frischgutmenge wird anhand der Dosierbandwaagen zu jeder Zeit genauestens dosiert. Das Material wird nach dem Durchlaufen der Mühle mittels Becherwerk dem Sichter zugeführt. Nach der Aufteilung des Ausgangsmaterials der Mühle in Fertiggut und Rückgut im Sichter, muss nun die Menge des der Mühle zugeführten Rückgutes gemessen werden. Zur Rückgutmessung eignet sich ein Durchlaufmessgerät. Im Zusammenspiel mit der Schenck Process-Dosierbandwaage MULTIDOS® bietet Schenck Process hierfür das Durchlaufmessgerät MULTISTREAM®-G. Dieses geschlossene Inline-Messsystem ist für die kontinuierliche Erfassung von Schüttgutströmen mit einem Förderstärkenbereich von 4 t/h bis zu 1250 m³/h (1000 t/h) ausgelegt und deckt alle Einsatzfälle ab. Durch die geschlossene, kompakte Bauweise eignet sich das Messgerät besonders für die kostengünstige, einfache Integration in Prozesse mit einem geschlossenen Förderweg.

Das MULTISTREAM®-G arbeitet mit einer Umlenkschurre, welche die Förderstärke mittels Reaktionskraft erfasst. Der Schüttgutstrom wird über eine Leitschurre vergleichmäßig, beruhigt und dann stoßfrei auf die gekrümmte Mess-/Umlenkschurre geleitet. Auf der Messschurre erfährt das Schüttgut eine Beschleunigung in radialer Richtung. Die



**5 Regelung von Kugelumlaufmühlen**  
5 Control of closed-circuit ball mills

- Field bus connection
- Reduced scope of system startup.

The internal cabling of the weigher already mentioned considerably reduces the amount of installation work and prevents cabling errors. The remaining connections to the rest of the plant require no special know-how. Depending on the requirements of the plant control system, various field buses can be used. It is entirely due to the modular design of the system that this necessary degree of freedom is achieved. For example, in the case of the DISOCONT® system there are slip-on module options for the following buses:

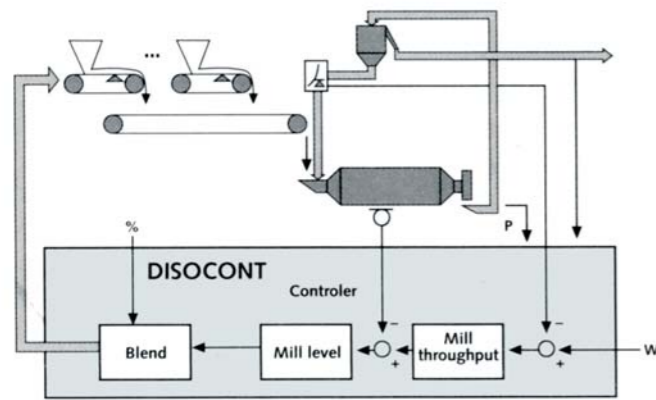
- PROFIBUS
- INTERBUS S
- CAN (DeviceNet)
- MODBUS
- Ethernet
- ect.

#### 4 Return material measurement with a flowmeter

The throughput capacity of a mill is always determined by the new feed material and the returned material. The quantity of new material supplied is precisely metered at all times by the weighbelt feeders. After passing through the mill, the material is fed to the separator by bucket elevator. After the material from the mill has been classified into finished product and return material in the separator, the flow rate of the return material fed to the mill now has to be measured. A flowmeter is a suitable device for return material flow measurement.

For this purpose, Schenck Process offers the MULTISTREAM®-G flowmeter in combination with the Schenck Process MULTIDOS® weighbelt feeder. This closed inline measuring system is designed for the continuous measurement of bulk material flows within a conveying flow range of 4 tph to 1250 m³/h (1000 tph) for all possible applications.

Due to the enclosed, compact type of construction the measuring device is particularly suitable for economical and simple integration into processes with a closed conveying



**6 Sicherstellung der Fertigtutzusammenstellung**  
6 Ensuring the finished product composition

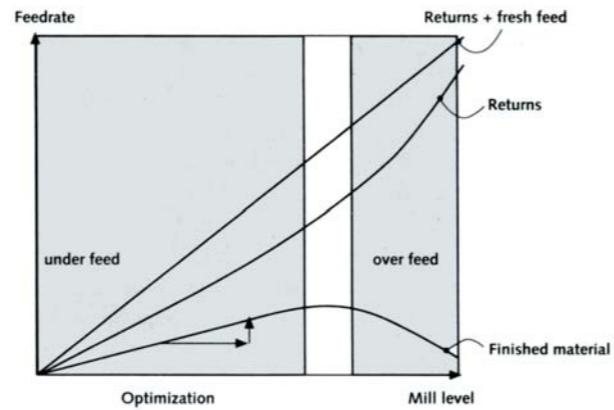
daraus resultierende Reaktionskraft an der Messschur wird von der Wägezelle erfasst und somit die Menge des Rückgutes bestimmt (Bild 3).

## 5 Anfahrautomatik mit dem DISOCONT® MASTER

Die Anfahrautomatik steuert die Materialflüsse in die Mühle auf ein Niveau, welches die automatische Aufschaltung des geregelten Mühlenbetriebs erlaubt. Sie passt sich allen Betriebszuständen der Mühle an und ist bei allen Regelungskonzepten wirksam. Die Anfahrphasen der Schüttgutflüsse in die Mühle steuert ein Expertensystem, in dem die Struktur der Wissensbasis weitgehend vorkonfiguriert ist und das damit eine schnelle und sichere Inbetriebnahme ermöglicht. Der Anfahrvorgang basiert dabei auf einer „intelligenten Zustandsmaschine“, wobei die Übergänge der Zustände der Steuerung aus den gemessenen Prozesszuständen abgeleitet werden (Bild 4).

## 6 Stabile Materialflüsse durch die Mühlenregelung DISOCONT® MASTER

Der Mühlenregelkreis hat allgemein eine sehr langsame Dynamik, so dass die manuelle Einstellung der Regler ein hohes Maß an Zeit und Erfahrung erfordert. In der Praxis bewährt sich die Beschränkung der Signale auf die Fördergrößen von Frischgut und Rückgut, die ohnehin zur Verfügung stehen oder mit geringem Aufwand nachgerüstet werden können. Zusatzsignale aus akustischen Aufnehmern an verschiedenen Mahlkammern („elektrisches Ohr“) beschleunigen die Regeldynamik. Das Signal der Becherwerksleistung sollte nur dann zur Regelung herangezogen werden, wenn ein stabiler und möglichst proportionaler Zusammenhang zwischen dem geförderten Massestrom und der Leistungsaufnahme besteht. Bei Überdimensionierung des Becherwerktriebs ist dies oft nicht der Fall. Die Erfassung des Fertigtutstroms führt nach derzeitigem Forschungsstand meist nicht zu einer signifikanten Verbesserung der Regelgüte (Bild 5). Die unterschiedlichen Mahlbarkeiten und verschiedenen zu mahlenden Zementsorten wirken sich auf die Rückgutmenge aus. Das Regelungskonzept verwendet daher das Rückgut als Hauptregelungsparameter. Der zementsortenspezifische



**7 Kennlinie einer Kugelumlaufmühle im stationären Zustand**  
7 Characteristic curve of a closed circuit ball mill in steady-state condition

route. The MULTISTREAM®-G operates with a deflector chute, which measures the flow rate by means of reaction force. The flow of bulk material is homogenized in passing over a guide chute, tranquillized and then conveyed as a smooth flow to the curved measuring / deflector chute. While passing over the measuring chute, the bulk material is radially accelerated. The resultant reaction force at the measuring chute is measured by the load cell and determines the flow rate of the return material (Fig. 3).

## 5 Automatic starting with the DISOCONT® MASTER

The automatic starting system controls the flows of material into the mill up to a level which permits the automatic activation of normal mill operation. It adapts itself to all operating conditions of the mill and is works with all control concepts. The starting phases of the bulk material feed flows into the mill are controlled by an expert system, in which the structure of the knowledge bank is largely pre-configured to ensure quick and reliable system startup. The start-up process is based on an "intelligent status machine", which deduces the transitions between control statuses from the measured process statuses (Fig-4).

## 6 Stable flows of material thanks to the DISOCONT® MASTER mill control system

The mill control loop generally has very slow dynamics, so that the manual adjustment of the controller demands a lot of time and experience. In practice, it has proven sensible to restrict the signals to the feed rates of new feed material and returned material, which are available anyway or can subsequently be easily added. Additional signals from acoustic sensor at different grinding compartments ("electrical ear") speed up the control dynamics. The bucket elevator power consumption signal should only be used for control purposes if there is a stable and, if possible, proportional relationship between the conveyed mass flow and the power consumption. If the bucket elevator drive is overdimensioned, this is often not the case. The present state of research indicates that measurement of the finished product flow does not usually lead to any significant improvement in control quality (Fig. 5).

Sollwert für das Rückgut wird vorgewählt. Ein auf das Mahlverhalten der Mühle abgestimmter Regler steuert die Frischgutgruppe in Abhängigkeit der eingestellten Sollförderstärke und der gemessenen Istförderstärke für das Rückgut. Dieses Konzept führt zu stabilen Materialflüssen, welche die Grundlage für alle weiteren Durchsatzoptimierungen sind (Bild 6).

## 7 Füllgradüberwachung der Mühle

Die durch die Mühlenregelung erreichten stabilen Materialflüsse führen zu einem konstanten Füllgrad und einer hohen Mahlgüte der Mühle. Eine Änderung der Mahlbarkeit hat jedoch direkten Einfluss auf den Füllgrad und verändert die Mahlgüte. Der Anbau eines elektrischen Ohrs erkennt unverzüglich diese Änderungen des Füllgrads und wirkt über den Füllstandsregler direkt auf die Frischgutmenge, was wieder zu dem gewünschten Füllgrad führt. Das elektrische Ohr ist ein elektroakustischer Wandler, der die Mahlgeräusche von Kugelmühlen auswertet. Das Arbeitsgeräusch ist vom Füllgrad der Mühle abhängig:

- Leere Mühle: lauter und heller Klang
- Volle Mühle: leiser und dumpfer Klang

Das elektrische Ohr erfasst mit einem Mikrophon das Mahlgeräusch der Mühle und wandelt es in ein vom Schalldruck und vom Frequenzspektrum abhängiges Gleichstromsignal um. Durch eine Signalumkehr wird der Wirkungssinn richtig:

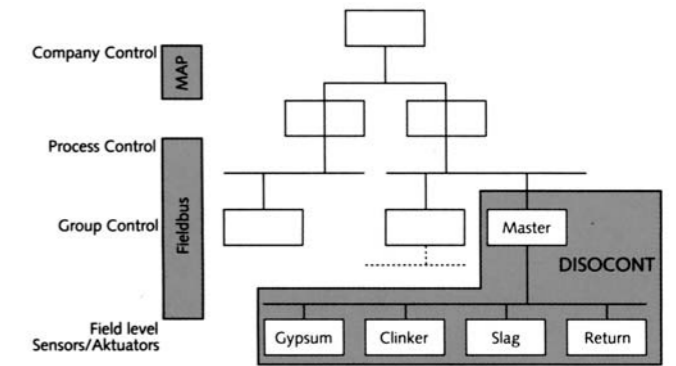
- Leere Mühle: kleines Ausgangssignal
- Volle Mühle: großes Ausgangssignal

## 8 Durchsatzoptimierung der Mühlen durch On-line-Adaption

In der zuvor beschriebenen Mühlenregelung wird der Sollwert für Rückgut zementsortenspezifisch manuell vorgewählt. Die aktivierte Durchsatzoptimierung verstellt diesen Sollwert solange, bis der optimale Arbeitspunkt der Mühle erreicht ist. Das bedeutet möglichst großen Fertigproduktausstoß bei gleichzeitig minimiertem Energieverbrauch. Der DISOCONT® MASTER für Mühlenregelung beinhaltet einen Algorithmus, der im laufenden Betrieb, basierend auf der dabei bestimmten Mühlenkennlinie, den Optimalpunkt durch Veränderung des Sollwertes in Schritten sucht, wobei diese schrittweise an den Fortschritt des Optimierungsprozesses angeglichen werden. Verschleiß der Mahlkugeln oder Veränderungen der Mahlbarkeit der Rohstoffe werden dabei automatisch mitberücksichtigt. Das adaptive Verhalten entlastet den Mühlenfahrer entscheidend und sichert auch bei weniger geschultem Personal einen optimierten Betrieb (Bild 7).

## 9 Ausblick

Die Verbindung von kontinuierlicher Wäge- und Dosiertechnik (Dosierbandwaage MULTIDOS®, Durchlaufmessgerät MULTISTREAM®-G) und elektronischer Mühlenregelung (DISOCONT® MASTER) stellt sich den Herausforderungen an eine technisch und wirtschaftlich optimierte Zementherstellung. Das modulare System bietet die Basis sich an die



**8 Hierarchischer Aufbau der Unternehmensautomatisierung**  
8 Hierarchical structure of factory automation

Differences in grindabilities and in the cement types to be ground affect the amount of returned material. The control concept therefore uses the returned material as the main control parameter. The specific return material setpoint value for the individual cement type is preselected. A Controller which is harmonized to the grinding characteristics of the mill controls the new feed material group as a function of the set required flow rate and the measured actual flow rate of return material. This concept leads to stable flows of material, which provide the basis for all further throughput optimizations (Fig. 6)

## 7 Mill filling level monitoring

The stable material flows achieved as a result of the mill control system lead to a constant mill filling ratio and high grinding quality. However, a change in grindability has a direct effect on the filling ratio and also alters the grinding quality. The installation of an electrical ear detects these changes in filling ratio without delay and directly influences the new material flow rate via the filling level controller, which restores the required mill filling ratio. The electrical ear is an electro-acoustic transducer, which evaluates the grinding noise of ball mills. The operating noise depends on the filling ratio of the mill:

- Empty mill: loud, high sound
- Full mill: soft, muffled sound

The electrical ear records the grinding noise of the mill via a microphone and converts it into a direct current signal dependent on the sound pressure and frequency spectrum. After signal inversion the correct effect is obtained:

- Empty mill: low output signal
- Full mill: high output signal

## 8 Mill throughput optimization by On-line-Adaption

In the described mill control System the return material setpoint value is manually preselected for each cement type. The activated throughput optimization adjusts this setpoint value until the optimum mill working point is achieved. That