

SUMMARY

Experience with the Simulex[®] Cement Plant Training Simulator

The Simulex[®] cement plant simulator was developed by KHD Humboldt Wedag AG in co-operation with the Research Institute of the Cement Industry for training plant supervisors and production controllers. It was implemented within the framework of training courses held by the VDZ (German Cement Works Association). The simulator offers a realistic reconstruction of the operation of a production plant and modifies the process values as a function of control actions taken. Furthermore, the trainer can initiate malfunctions which the trainee must recognize and remedy as appropriate. The simulator models all the subsystems of the plant, from the raw mill through the coal mill, the rotary kiln with preheater, the calciner, the bypass off-take and the clinker cooler to the cement grinding plant, including the silos and the materials handling equipment. The subsystems influence one another in the same way as in a real cement plant. Using the simulator, which consists of dynamic, mathematical process models and a high-grade process control system, the trainees can practice producing raw meal, clinker and cement on the screen, without being linked to an actual cement plant. Simulex[®] increases the understanding of the interrelationships involved in the process technology. The trainees learn how to operate their plants to optimal economic advantage, how to recognize hazardous conditions reliably and in good time, and how to implement appropriate countermeasures quickly. ◀

ZUSAMMENFASSUNG

Erfahrungen mit dem Zementanlagen-Trainingssimulator Simulex

In Zusammenarbeit mit dem Forschungsinstitut der Zementindustrie hat die KHD Humboldt Wedag AG den Zementanlagensimulator Simulex[®] für die Schulung von Industriemeistern und Produktionssteuerern entwickelt, welcher im Rahmen der VDZ-Weiterbildungslehrgänge eingesetzt wird. Der Simulator gibt realitätsnah das Verhalten der Produktionsanlage wieder und verändert Prozesswerte in Abhängigkeit von eingeleiteten Stelleingriffen. Auf Anordnung des Trainers können zudem Störsituationen aktiviert werden, die der Schüler erkennen muss und gegebenenfalls aussteuern kann. Im Simulator werden alle Teilanlagen von der Rohmühle über die Kohlemühle, den Drehofen mit Vorwärmer, Calcinator, Bypassabzug und Klinkerkühler bis zur Zementmahanlage nachgebildet, einschließlich der Silos und der Transporteinrichtungen. Wie in einem richtigen Zementwerk beeinflussen sich die Teilanlagen gegenseitig. Mit dem Simulator, der aus dynamischen, mathematischen Prozessmodellen und einem vollwertigen Prozessleitsystem besteht, können die Schüler an Bildschirmen üben, Rohmehl, Klinker und Zement zu produzieren, ohne mit einem realen Zementwerk verbunden zu sein. Mit Simulex[®] wird das Verständnis für die verfahrenstechnischen Zusammenhänge vertieft. Die Schüler lernen ihre Anlagen wirtschaftlich optimal zu betreiben und gefährliche Zustände frühzeitig und sicher zu erkennen und schnell geeignete Gegenmaßnahmen einzuleiten. ◀

Experience with the Simulex Cement Plant Training Simulator^{*)}

Erfahrungen mit dem Zementanlagen-Trainingsimulator Simulex^{*)}

1 Introduction

For over two years, the VDZ Research Institute has, within the framework of VDZ courses, used a Simulex[®] cement plant simulator for training plant supervisors and production controllers. Simulex[®] was developed by KHD Humboldt Wedag in cooperation with the Research Institute (► Fig. 1).



Figure 1: Production controllers at work on the simulator during their training at VDZ

Bild 1: Produktionssteuerer bei der Arbeit am Simulator während der Ausbildung beim VDZ

The requirements of the simulator were formulated by the Research Institute, while KHD Humboldt Wedag dealt with the programming specifications. The trainees can use the simulator to practice producing raw meal, clinker and cement on the screen (► Fig. 2) without being linked to an actual cement plant.

2 Technical design

2.1 What does Simulex[®] consist of?

Simulex[®] consists of mathematical process models (► Fig. 3), which reconstruct the dynamic behaviour of the production plant, and of simulations of the most important drives in the cement plant. These models mirror the production line and form the heart of the simulator. In addition, Simulex[®] contains the standard controllers (e.g. the kiln hood pressure control) that are nowadays realized in programmable control systems and the interlock systems for the simulated plant drives. This means, for instance, that the kiln main burner cannot be started up if none of the preheater fans are running, or that the kiln line shuts down to protect the electrostatic precipitator in the event of an excessive concentration of CO in the exhaust gas.

1 Einleitung

Seit mehr als zwei Jahren setzt das Forschungsinstitut des Vereins Deutscher Zementwerke e.V. (VDZ) für die Ausbildung von Industriemeistern und Produktionssteuerern im Rahmen der VDZ-Lehrgänge einen Zementanlagen-Simulator mit dem Namen Simulex[®] ein, der von KHD Humboldt Wedag in Zusammenarbeit mit dem Forschungsinstitut entwickelt worden ist (► Bild 1).

Die Anforderungen an den Simulator wurden vom Forschungsinstitut formuliert, die programmtechnische Ausführung lag bei der KHD Humboldt Wedag. Mit diesem Anlagensimulator können die Schüler an Bildschirmen üben, Rohmehl, Klinker und Zement zu produzieren (► Bild 2), ohne mit einem realen Zementwerk verbunden zu sein.

2 Das Technische Konzept

2.1 Woraus besteht Simulex[®]?

Simulex[®] besteht (► Bild 3) aus mathematischen Prozessmodellen, die das dynamische Verhalten der Produktionsanlage widerspiegeln sowie aus der Simulation der wichtigsten Antriebe eines Zementwerks. Diese Modelle entsprechen der Produktionslinie und bilden das Herz des Simulators. Ferner enthält Simulex[®] die heutzutage in speicherprogrammierbaren Steuerungen realisierten Standard-Regler – z. B. die Ofenkopfdruck-Regelung – und die Verriegelungen der simulierten Antriebe. So kann z. B. der Ofenhauptbrenner nicht gestartet werden, wenn keines der Vorwärmer-Gebläse läuft, oder die Ofenlinie wird bei zu hoher CO-Konzentration im Abgas zum Schutz des Elektrofilters abgeschaltet.

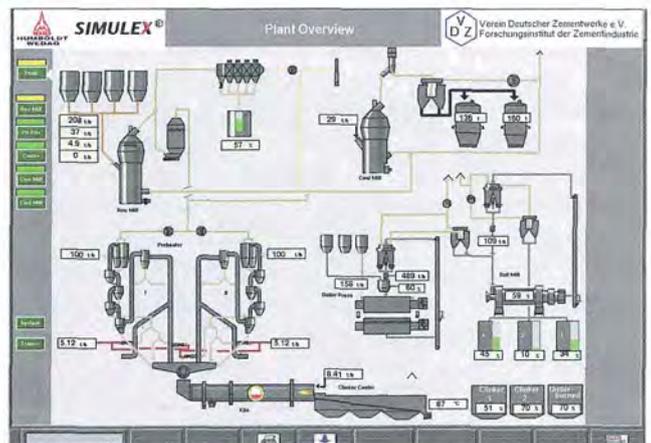


Figure 2: Complete plant

Bild 2: Gesamtanlage

^{*)} Revised version of a lecture given during the plenary session of the VDZ Process Technology Committee on 22. 2. 2001 in Düsseldorf.

^{*)} Überarbeitete Fassung eines Vortrags, der auf der Vollsitzung des VDZ-Ausschusses Verfahrenstechnik am 22.2.2001 in Düsseldorf gehalten wurde.

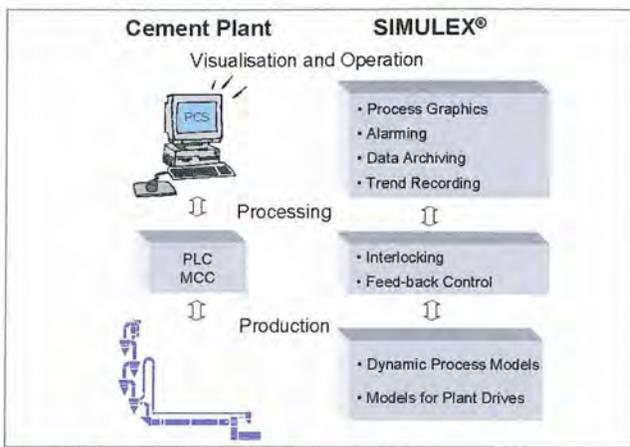


Figure 3: Simulex® functions, reconstructed from a real cement production plant

Bild 3: Simulex®-Funktionen, gespiegelt an einer realen Zementproduktionsanlage

An additional component of the simulator is a high-grade process control system. It operates with the same range of process control functions as real-life cement plants. The control technology encompasses high-resolution process graphics, an alarm system and alarm-activation function, data archiving and graphs of data against time. Depending on the plant design Simulex® can include 300 simulated measured values, 100 manipulated variables and 200 plant drives.

2.2 How is Simulex® configured?

Simulex® normally comprises several PC workstations (» Fig. 4) which are networked with one another and can be serviced from Cologne by KHD Humboldt Wedag via a tele-service connection.

Each workstation represents a separate cement plant, but can also be set up as a pure operating terminal. This allows a team of course participants to work together to manage the production of one plant on several screens. The trainer usually has his own workstation from which he can instruct, monitor and guide the trainees in their work. Simulex® can be expanded at any later date by the addition of workstations.

2.3 What can Simulex® do?

The simulator provides a realistic reconstruction of the behaviour of the production plant by modifying process values as a function of input corrective actions. Furthermore, fault scenarios, which the trainee must recognize and can remedy, can be activated by the trainer. The dynamic behaviour of all sub-systems, from the raw mill through the coal mill, the rotary kiln with preheater, calciner, bypass off-take and clinker cooler to the cement grinding plant, is reconstructed in the simulator program. Silos for raw meal, clinker, underburnt material, coal and several types of cement are also simulated. The simulator only allows the kiln system and the cement grinding plant to be operated if sufficient raw meal, pulverized coal and clinker are available in the silos.

2.3.1 Raw meal grinding plant

The raw mill is designed as a roller mill with integral caged-rotor classifier (» Fig. 5). The raw material mix, feed mass flow, the rotational speeds of the separator and the mill fan and the grinding pressure can be adjusted as control actions. The feed mass flow can be set manually or controlled as a func-

Darüber hinaus ist ein vollwertiges Prozessleitsystem Bestandteil des Simulators. Dieses Prozessleitsystem wird mit der gleichen Funktionalität auch zur Prozesssteuerung in real existierenden Zementwerken eingesetzt. Zur Leittechnik gehören hoch auflösende Prozessgrafiken, Meldesystem und Alarmierungsfunktion, Datenarchivierung und die Darstellung des Zeitverlaufs der Messwerte. Je nach Anlagenkonzeption umfasst Simulex® z. B. 300 simulierte Messwerte, 100 Stellgrößen und 200 Antriebe.

2.2 Wie ist Simulex® aufgebaut?

Simulex® ist im Normalfall aus mehreren Personalcomputer-Arbeitsstationen aufgebaut (» Bild 4), die untereinander vernetzt sind und per Teleservice-Verbindung auch von der KHD Humboldt Wedag aus Köln gepflegt werden können.

Jede Arbeitsstation repräsentiert ein eigenes Zementwerk, kann aber auch als reines Bedienterminal geschaltet werden. Dann kann eine Arbeitsgruppe von Kursteilnehmern an mehreren Bildschirmen gemeinsam die Produktion einer Anlage führen. Auch der Trainer besitzt in der Regel eine eigene Arbeitsstation, von der aus er die Arbeit der Schüler anleitet, überwacht und steuert. Eine nachträgliche Ergänzung von Simulex® durch zusätzliche Arbeitsstationen ist jederzeit möglich.

2.3 Was leistet Simulex®?

Der Simulator gibt realitätsnah das Verhalten der Produktionsanlage wieder, indem er Prozesswerte in Abhängigkeit von eingeleiteten Stelleingriffen verändert. Auf Anordnung des Trainers können zudem Störsituationen aktiviert werden, die der Schüler erkennen muss und aussteuern kann. Im Simulationsprogramm wird das dynamische Verhalten aller Teilanlagen von der Rohmühle über die Kohlemühle, den Drehofen mit Vorwärmer, Calcinator, Bypassabzug und Klinkerkühler bis zur Zementmahanlage nachgebildet. Außerdem werden Silos für Rohmehl, Klinker, Schwachbrand, Kohle und mehrere Zementsorten simuliert. Im Simulator können Ofenanlage und Zementmahanlage nur betrieben werden, wenn in den Silos ausreichend Rohmehl, Kohlenstaub und Klinker vorhanden ist.

2.3.1 Rohmahanlage

Die Rohmühle ist als Walzenschüsselmühle mit integriertem Stabkorbsichter ausgeführt (» Bild 5). Als Stelleingriffe können die Rohmaterialmischung, der Aufgabemassenstrom, die Sichterzahl, die Drehzahl des Mühlengebläses und der

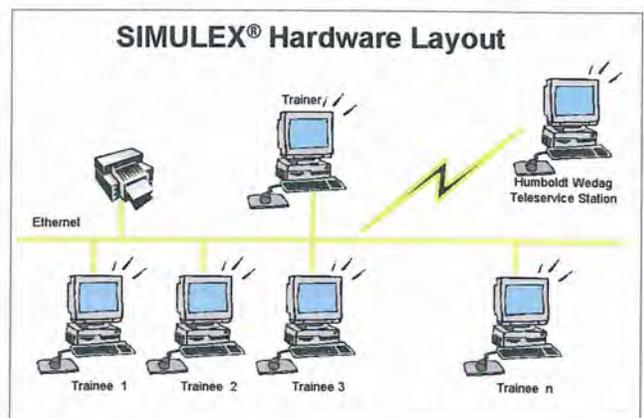


Figure 4: Simulex® network design

Bild 4: Simulex®-Gerätekonzept

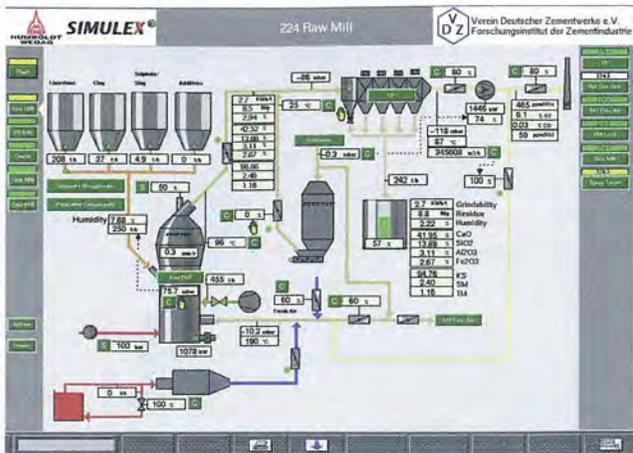


Figure 5: Raw grinding plant

Bild 5: Rohmahlanlage

tion of a preset differential pressure of the mill. The chemical composition of the raw meal can be altered by changing the setpoints of the weighbelt feeders. The result of the simulation is a raw meal with characteristic values for fineness, residual moisture, grindability, temperature and chemical composition. The raw meal produced is collected and stored in a silo. The transport gas is de-dusted in an electrostatic precipitator. After a residence time in the silo, the duration of which depends on the silo filling level, the raw meal is fed into the kiln system. Insufficient fineness or an unfavourable chemical composition during the subsequent burning process may lead, for example, to excessive free lime content. The simulation covers the vibrational behaviour of the mill in addition to the characteristic material values. The vibration velocity will increase at certain settings of the mill, e.g. if the ratio of feeder mass flow to grinding pressure is unfavourable. If one limit value is exceeded, alarm signals will be emitted, and if a second limit value is exceeded the mill will be shut down via the interlock systems.

Kiln exhaust gas is used to dry the raw material, for which the gas ducts must be opened by adjusting the dampers accordingly. Hot gas can also be provided by a hot gas generator. Appropriate damper settings can also allow the kiln system exhaust gas to be directed through an evaporative cooler where it is conditioned. The amount of water injected can be set manually or the temperature after the evaporative cooler can be kept constant by a control system (» Fig. 6).

Detail displays of the individual subsystems (e.g. the evaporative cooler) are also available in addition to the overview displays of the whole grinding plant. The interlock groups in the subsystems can be brought into operation in these detail displays. Colour-coding shows which drives are already running or are still stationary, or if there is a malfunction. As in an actual control room, incident alarms are emitted audibly and in plain text and are saved in an alarm archive together with the date and time that they occurred. If a malfunction does occur, an audible signal is emitted first and must be acknowledged by the trainee. A plain text alarm provides details of the malfunctioning group and the cause of the malfunction. In all the process graphics, flashing red display selection buttons indicate the detail process graphics in which the source of the malfunction (a measured value outside the normal range or a malfunctioning drive), also flashing red, is

Mahldruck verändert werden. Der Aufgabemassenstrom kann sowohl manuell eingestellt als auch in Abhängigkeit eines vorgegebenen Differenzdrucks der Mühle in Regelung genommen werden. Die chemische Zusammensetzung des Rohmehls kann durch Veränderung der Sollwerte der Dosierbandwaagen beeinflusst werden. Als Ergebnis der Simulation entsteht ein Rohmehl mit den Materialkennwerten Mahlfineinheit, Restfeuchte, Mahlbarkeitskennwert, Temperatur und chemische Zusammensetzung. Das erzeugte Rohmehl wird abgeschieden und in einem Silo gelagert. Das Trägergas wird in einem Elektrofilter entstaubt. Nach der füllstandsabhängigen Verweilzeit im Silo wird dieses Rohmehl der Ofenanlage aufgegeben. Eine ungenügende Mahlfineinheit oder eine ungünstige chemische Zusammensetzung kann im nachfolgenden Brennprozess beispielsweise zu einem erhöhten Freikalkgehalt führen. Neben den Materialkennwerten wird auch das Vibrationsverhalten der Mühle simuliert. Bei bestimmten Einstellungen der Mühle – z. B. einem ungünstigen Verhältnis von Aufgabemassenstrom zu Mahldruck – steigt die Schwinggeschwindigkeit an. Bei Überschreiten eines Grenzwerts werden Alarmmeldungen ausgegeben. Wird eine zweite Grenze überschritten, schaltet sich die Mühle über Verriegelungen ab.

Für die Trocknung des Rohmaterials wird Ofenabgas verwendet. Hierfür müssen die Gaswege durch entsprechende Einstellungen der Klappen geschaltet werden. Außerdem kann Heißgas von einem Heißgaserezeuger bereitgestellt werden. Das Abgas der Ofenanlage kann auch über entsprechende Klappenstellungen durch einen Verdampfungskühler geleitet und dort konditioniert werden. Dabei kann entweder die eingedüste Wassermenge von Hand eingestellt oder die Temperatur nach Verdampfungskühler über eine Regelung konstant gehalten werden (» Bild 6).

Neben den Übersichtsbildern über die komplette Mahlanlage sind auch Detailbilder zu einzelnen Teilanlagen (z. B. Verdampfungskühler) vorhanden. In diesen Detailbildern können die Verriegelungsgruppen der Teilanlagen in Betrieb genommen werden. Über eine Farbkodierung wird angezeigt, welcher Antrieb sich bereits in Betrieb befindet bzw. noch steht oder ob eine Störung vorliegt. Ereignismeldungen werden wie in der Leitwarte akustisch und im Klartext gemeldet und zusammen mit Datum und Uhrzeit ihres Auftretens in einem Meldungsarchiv gespeichert. Bei Eintreffen einer Störung

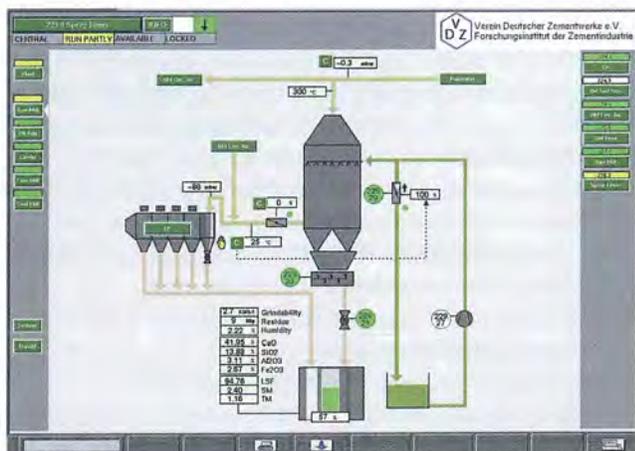


Figure 6: Evaporation cooler

Bild 6: Verdampfungskühler

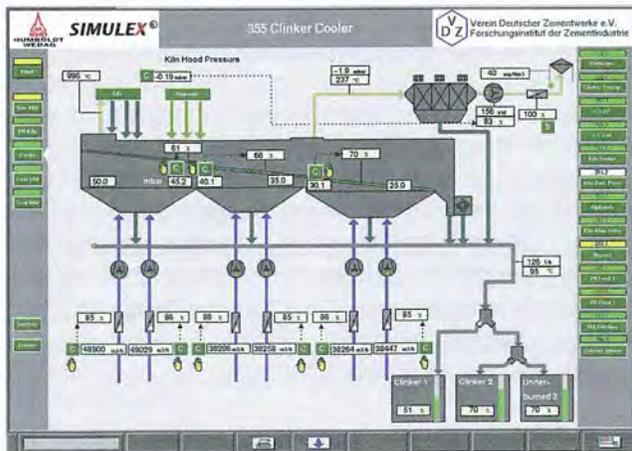


Figure 9: Clinker cooler
Bild 9: Klinkerkühler

carbon dioxide. If certain limit values are exceeded, the mill will be shut down via the interlock systems. The simulation results in a pulverized coal with a specific fineness, temperature and residual moisture which can be transported to two different pulverized coal silos. Kiln gas, fed to the mill by adjusting the damper settings, is used for drying. A hot gas generator can also be used.

2.3.4 Cement grinding plant

The cement grinding plant consists of high-pressure grinding rolls operating in closed circuit with a separator, with a downstream ball mill/separator circuit (Fig. 11). The composition of the fresh material and the contact pressure of the high-pressure grinding rolls, the rotational speeds of the separators, the classifying air volumetric flows as well as numerous damper settings and water injection into the ball mill can all be used as possible control actions. Mass flows and temperatures as well as the fineness and composition of the mill feed at various locations in the grinding system are displayed as measured values. The ground cement can be transported to three different cement silos. The filling level of each silo is displayed, as well as the average fineness and average composition of the cement.

3 Developing the simulation program

After the job had been placed and a test version had been drawn up by KHD Humboldt Wedag, the program supplied was thoroughly tested by the Research Institute. During this development stage the program still exhibited a number of errors, incorrect interlock systems and missing models. For example, there were no models available for the gas constituents NO_x and SO_2 . Models for these gas constituents were formulated by the Research Institute and incorporated into the program by KHD Humboldt Wedag.

After modification the program was checked by an experienced production controller*. He discovered several more errors in the interlock systems and implausible reactions in the models. For instance, it was discovered that the temperature in the cyclones decreased too rapidly after the meal feed. In the course of discussions with KHD Humboldt Wedag it

* At this point we wish to express our thanks to Teutonia AG for its support and for providing us with the services of a production controller.

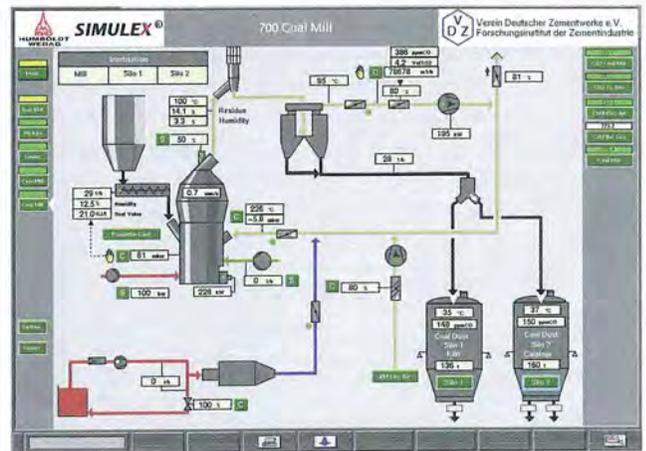


Figure 10: Coal grinding plant
Bild 10: Kohlemahlanlage

der Ofenkopfdruck geregelt werden. Der gebrannte Klinker kann in zwei Silos und in einem Schwachbrandsilo zwischengelagert werden.

2.3.3 Kohlemahlanlage

Die Kohlemahlanlage ist ähnlich wie die Rohmahlanlage mit einer Walzenschüsselmühle ausgerüstet (Bild 10). Zusätzlich werden eine Reihe von Sicherheitseinrichtungen wie CO- und Temperaturüberwachungen und spezielle Verriegelungen simuliert. Außerdem besteht die Möglichkeit, die Mühle und die Kohlenstaubsilos mit Kohlendioxid zu inertisieren. Bei Überschreitung gewisser Grenzwerte wird die Mühle über Verriegelung abgeschaltet. Als Ergebnis der Simulation entsteht ein Kohlenstaub mit bestimmter Mahlfeinheit, Temperatur und Restfeuchte, der in zwei unterschiedliche Kohlenstaubsilos gefördert werden kann. Zur Trocknung wird Ofengas benutzt, das über Klappenstellungen der Mühle zugeführt wird. Außerdem kann mit einem Heißgaserzeuger zugefeuert werden.

2.3.4 Zementmahlanlage

Die Zementmahlanlage besteht aus einer im Kreislauf mit einem Sichter arbeitenden Gutbett-Walzenmühle mit nachgeschaltetem Kugelmühlen – Sichter – Kreislauf (Bild 11). Als mögliche Stelleingriffe stehen die Frischgut-zusammensetzung und der Anpressdruck der Gutbettwalzenmühle, die Sichterfrequenzen, die Sichtluftvolumenströme sowie verschiedene Klappenstellungen und eine Wassereindüsung in die Kugelmühle zur Verfügung. Als visualisierte Messwerte werden Massenströme, Temperaturen sowie die Mahlfeinheiten und die Zusammensetzung des Mahlguts an verschiedenen Stellen der Mahlanlage dargestellt. Der gemahlene Zement kann in drei unterschiedliche Zementsilos gefördert werden, von denen der Füllstand und die durchschnittliche Mahlfeinheit sowie die mittlere Zusammensetzung des Zements angezeigt werden.

3 Entwicklung des Simulationsprogramms

Nach Auftragserteilung und Erstellen einer Entwicklungsversion durch die KHD Humboldt Wedag wurde das gelieferte Programm vom Forschungsinstitut ausführlich getestet. In diesem Entwicklungsstadium wies das Programm noch eine Reihe von Fehlern, falschen Verriegelungen oder fehlenden Modellvorstellungen auf. So waren z.B. für die Gaskomponenten NO_x und SO_2 noch keine Modellierungen vorhanden. Für diese Gaskomponenten wurden vom Forschungsinstitut

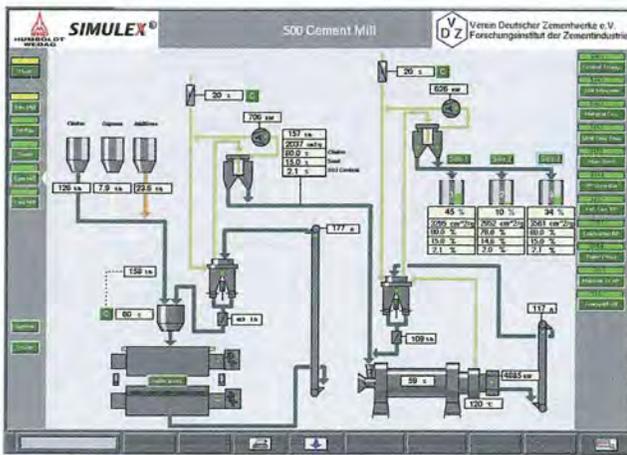


Figure 11: Cement grinding plant

Bild 11: Zementmahlanlage

emerged that the models did not provide for a storage term that took into account the heat retaining qualities of the brickwork.

The simulation program in the version that is currently available has been extensively fine-tuned. Nevertheless, in a system as complex as this one there is always room for improvements that will generate models which are more accurate, sophisticated and realistic. Adequate models are still not available in respect of some interrelationships. For example, not enough is yet known about the mechanisms by which the nitrogen oxides are broken down in the calciner to be able to formulate a generally valid model. As a result, Simulex® currently calculates the NO_x content by means of empirically determined performance characteristics. In the future it is also intended to incorporate new process technology findings into the program, in particular the findings from the VDZ kiln trials. It is highly advantageous that modifications to the program can be transcribed quickly and cost-effectively via remote maintenance software.

4 Experience with the use of Simulex® in VDZ courses

Simulex® has in the meantime proved its value in various courses for plant supervisors and production controllers. Thanks to Simulex®, the Research Institute now has at its disposal a finely tuned simulation program with a modern user interface. Not only does the user interface in the simulator make use of state of the art control technology but the simulated plants are also on a par with new installations. This is why the Research Institute has already received numerous queries from operators planning a new grinding plant or a new kiln system. These queries request the Institute to familiarize production controllers with the behaviour of the new plant in advance.

Training on the simulator can be structured in different ways depending on the target group or the task that has been set. In VDZ courses, for instance, where it is predominantly experienced control room operators who are being given further training, the procedure is as follows. The trainees are presented with a cold plant that has been fully shut down. On the first day of the training course their task is to heat up the kiln system. In so doing, a certain heating gradient must not be exceeded so as to protect the refractory materials. The heat-up time can be decreased by using a time-compression

die Modellvorstellungen formuliert und von der KHD Humboldt Wedag ins Programm eingefügt.

Nach einer Überarbeitung wurde das Programm durch einen erfahrenen Produktionssteuerer überprüft^{*)}. Von ihm wurden nochmals einige Fehler in den Verriegelungen und nicht plausible Reaktionen in den Modellen entdeckt. So war z.B. aufgefallen, dass die Temperatur in den Zyklonen nach der Mehlaufgabe zu schnell zurückging. In der Diskussion mit KHD Humboldt Wedag stellte sich heraus, dass in den Modellen kein Speicherterm vorgesehen war, der die Wärmespeicherung der Ausmauerung berücksichtigte.

In der heute vorliegenden Version ist das Simulationsprogramm weitgehend ausgereift. Dabei ist in einem derartig komplexen System stets ein Verbesserungspotenzial vorhanden, um die Abbildungsgenauigkeit noch differenzierter und realitätsgerechter zu gestalten. Über manche Zusammenhänge existieren bis heute noch keine ausreichenden Modellvorstellungen. So ist z. B. über die Mechanismen des Abbaus von Stickstoffoxiden im Calcinator noch zu wenig bekannt, um ein allgemein gültiges Modell formulieren zu können. Simulex® berechnet den NO_x-Gehalt daher z.Zt. mittels empirisch ermittelter Kennlinienfelder. Es besteht die Absicht, neue verfahrenstechnische Erkenntnisse – insbesondere solche, die bei Ofenversuchen des VDZ erarbeitet werden – auch zukünftig in das Programm einzuarbeiten. Dabei ist von großem Vorteil, dass Änderungen im Programm schnell und kostengünstig über eine Fernwartungssoftware überspielt werden können.

4 Erfahrungen bei der Anwendung in VDZ-Lehrgängen

Simulex® hat sich inzwischen bei mehreren Produktionssteuerer- und Industriemeisterlehrgängen bewährt. Mit Simulex® steht dem Forschungsinstitut heute ein ausgefeiltes Simulationsprogramm mit einer modernen Oberfläche zur Verfügung. Im Simulator ist nicht nur die Oberfläche auf dem heutigen Stand moderner Leittechnik, auch die simulierten Anlagen entsprechen dem gegenwärtigen Stand von Neuanlagen. An das Forschungsinstitut wurden deshalb schon mehrfach Anfragen von Betreibern gerichtet, die eine neue Mahlanlage oder eine neue Ofenanlage planen, mit der Bitte, die Produktionssteuerer vorab mit dem Verhalten der neuen Anlage vertraut zu machen.

Je nach Zielgruppe oder Aufgabenstellung kann eine Simulator-Schulung unterschiedlich aufgebaut sein. Bei den VDZ-Lehrgängen, bei denen größtenteils erfahrene Leitstandfahrer weitergebildet werden, wird beispielsweise folgendermaßen vorgegangen: Die Schüler bekommen eine stehende und kalte Anlage übergeben. Am ersten Tag der Schulung besteht die Aufgabe darin, die Ofenanlage aufzuheizen. Dabei darf ein gewisser Aufheizgradient zum Schutz des Feuerfestmaterials nicht überschritten werden, wobei die Aufheizdauer über eine Zeitrafferfunktion verkürzt werden kann. Während der Aufheizphase kann aber bereits Zement gemahlen werden, wobei der Trainer die Qualitätsparameter vorgibt. Am zweiten Schultag ist die Ofenanlage bereits so weit aufgeheizt, dass die Mehlaufgabe erfolgen kann und der erste Klinker

^{*)} An dieser Stelle möchten wir der Teutonia AG für ihre Unterstützung und die Freistellung des Produktionssteuerers herzlich danken.

function. However, cement can be ground during the heating phase, and here the trainer stipulates the quality parameters. On the second day of the course the kiln system has already heated up sufficiently for meal feed to take place and for the first clinker to be produced. After a certain time, the filling levels in the silos will make it necessary to activate the raw meal grinding plant and the coal grinding plant. No later than the third day of the course all subsystems should be increased to full throughput and the specific energy consumption optimized. Finally, from day four of the course onwards, training is given on the individual training computers on how to proceed in the event of plant malfunctions.

Teaching the trainees that the systems in the simulation program influence one another and that all material flows have characteristic material properties is the main method of bringing about an understanding of the process and the technical interrelationships. As in a real cement plant, if the raw meal is not fine enough when it is burnt in the kiln this will increase the free lime content of the clinker and will ultimately lead to changed grinding characteristics when the cement is ground. The behaviour of the kiln system is also influenced by other subsystems. An adjustment to the raw mill, for example, can lead to pressure changes in the system and can ultimately have an effect on the oxygen content at the kiln inlet. In the worst case scenario, an adjustment to the raw mill or the coal mill will even cause a CO shutdown. The most recent version of the program also simulates the recirculating chlorine and sulfur systems. The levels of chlorine and sulfur in the hot meal will increase if the bypass system is not in operation. An increase in the levels of chlorine and sulfur leads to the formation of deposits, which becomes apparent from a change in the pressure conditions at the kiln inlet. If certain limit values in the levels of chlorine and sulfur are exceeded, a cyclone blockage function will be activated automatically. The production controller can limit the recirculating systems effectively by operating the bypass system. This means that the simulator is an excellent tool for teaching trainees about the interrelationships existing in cement manufacture.

When the simulator was being designed, the VDZ had placed great emphasis on structuring it as a network version (► Fig. 4), a factor which allows the trainer to view the state of the process simulation on each trainee's computer at any time and to trigger malfunctions. This means that, in the same way as in real-life operation, the malfunction occurs spontaneously and without advance warning for the trainee. The trainer can then track the trainee's reaction without the trainee being aware and becoming correspondingly sensitive. Simulations can commence from preset starting conditions or can recommence from a previous process situation. They can be run in real time or accelerated time, and can be interrupted and then continued at any later date.

Situations of interest on one trainee's computer can be transferred at any time to other computers via the network. These may, for example, be situations where only very careful actions will enable the trainee to manoeuvre out of the situation without a plant stoppage becoming inevitable. This means that other trainees can also take on the challenge. The learning effect is very high and production controllers are encouraged to exchange their experiences.

produziert wird. Nach einer gewissen Zeit machen es die Silostände dann erforderlich, die Rohmahlanlage und die Kohlemahlanlage in Betrieb zu nehmen. Spätestens am dritten Schulungstag sollen dann alle Teilanlagen auf den vollen Durchsatz gebracht werden und es soll eine Optimierung des spezifischen Energieverbrauchs erfolgen. Schließlich wird ab dem vierten Tag der Schulung auf den einzelnen Schülerrechnern das Verhalten bei Anlagenstörungen trainiert.

Das Verständnis für den Prozess und die technischen Zusammenhänge wird vor allem dadurch geschult, dass sich die Anlagen im Simulationsprogramm gegenseitig beeinflussen und dass alle Materialströme sie charakterisierende Materialeigenschaften besitzen. Wie in einem realen Zementwerk wirkt sich eine zu geringe Mahlfeinheit des Rohmehls beim Brennen in der Ofenanlage auf einen erhöhten Freikalkgehalt des Klinkers aus und führt letztlich zu einem veränderten Mahlverhalten bei der Zementmahlung. Auch das Verhalten der Ofenanlage wird von anderen Teilanlagen beeinflusst. So kann z. B. eine Verstellung an der Rohmühle zu Druckveränderungen im System führen und letztlich Auswirkungen auf den Sauerstoffgehalt im Ofeneinlauf haben. Im schlimmsten Fall wird durch eine Verstellung an der Rohmühle oder Kohlemühle sogar eine CO-Abschaltung hervorgerufen. In der neuesten Version des Programms werden auch Chlor- und Schwefelkreisläufe simuliert. Wird die Bypassanlage nicht betrieben, steigen die Chlor- und Schwefelgehalte im Heißmehl an. Mit der Zunahme der Chlor- und Schwefelgehalte kommt es zu Ansatzbildung, die sich in einer Veränderung der Druckverhältnisse im Ofeneinlauf bemerkbar macht. Bei Überschreiten gewisser Grenzwerte der Chlor- und Schwefelgehalte wird automatisch eine Zyklonverstopfung aktiviert. Durch den Betrieb der Bypassanlage kann der Produktionssteuerer die Stoffkreisläufe wirkungsvoll begrenzen. Mit dem Simulator steht somit ein hervorragendes Werkzeug zur Verfügung, um den Schülern die Zusammenhänge bei der Zementherstellung nahezubringen.

Bei der Simulator-Konzeption hatte der VDZ großen Wert darauf gelegt, dass der Simulator als Netzwerkversion aufgebaut wird (► Bild 4), was dem Trainer die Möglichkeit bietet, sich jederzeit den Zustand der Prozesssimulation jedes Schülerrechners anzusehen und Störungen auszulösen. Wie im realen Betrieb tritt dadurch für den Schüler die Störung spontan und ohne Vorwarnung auf. Der Trainer kann dann die Reaktion des Schülers verfolgen, ohne dass der Schüler es bemerkt und entsprechend sensibilisiert ist. Simulationen können mit vorgegebenen Startbedingungen beginnen oder auf einer einmal erreichten Prozesssituation erneut aufsetzen. Sie können in Echtzeit oder im Zeitraffer ablaufen, können unterbrochen und zu beliebigen Zeitpunkten fortgesetzt werden.

Über das Netzwerk sind interessante Zustände eines Schülerrechners jederzeit auf andere Rechner übertragbar. Das können z.B. Situationen sein, aus denen man sich nur durch sehr überlegte Vorgehensweise wieder herausmanövrieren kann, ohne dass ein Anlagenstillstand hingenommen werden muss. So können sich auch andere Schüler an dieser Herausforderung versuchen. Der Lerneffekt ist sehr hoch und der Erfahrungsaustausch unter den Produktionssteuerern wird angeregt.

Simulex® can be employed not only to provide training in the operation of a plant but also to allow trainees to recognize and remedy operational malfunctions. Both plant malfunctions and process malfunctions can be brought into play (Fig. 12). In the case of plant malfunctions, individual plant drives, for instance, will stop functioning. If the trainee discovers the malfunction in good time he can inform the trainer who will then re-activate the drive. However, if the trainee's reaction is too slow the subsystem concerned will be shut down via the interlock system and must then be started up again by the trainee. This leads to throughput losses and increases the specific energy requirement.

Process malfunctions include, for instance, cyclone blockage functions, fall of coating in the kiln, clogged tertiary air ducts or smouldering fires in the coal grinding plant. By way of example, the malfunction "cyclone blockage – strand 1" proceeds as follows. After the malfunction has been activated no further meal reaches the calciner from the blocked cyclone, thus causing a rapid rise in the temperature in the calciner strand concerned. The relevant differential pressure monitor also signals the cyclone blockage. The negative pressures in the preheater strand concerned also decrease. After a period of time, the temperature in the calciner will exceed a specific cut-off limit, causing the calciner to be shut down via the interlock system. If the meal feed is not adjusted immediately by the production controller there will be a CO peak and pressure fluctuations will occur through the entire kiln system. The production controller may still be able to continue operating the kiln system using a single strand, but ultimately the blockage will have to be remedied by the trainer.

If gross errors occur, for example if the rotary kiln heating gradients are exceeded or if there is an explosion in the electrostatic precipitator, the simulation is halted and can only be restarted by the trainer. This gives the trainer the opportunity to discuss the situation in detail with the trainee, and to draw his attention to his mistakes. The list of available process malfunctions is to be extended still further in the future.

5 Benefits

Simulated operation serves to illustrate the repercussions of different process control actions clearly and realistically, and increase the understanding of the interrelationships involved in the process technology of cement manufacture. The trainees can experiment at the boundaries of process control on a simulator, and in so doing learn how to control the process as economically as possible without running the risk of causing unstable production conditions. Simulex® enables the trainees themselves to develop their own approach to ascertaining the maximum possible throughput and the optimum manner in which to operate the plant under different sets of conditions.

In contrast to training "on the job", simulation training sessions also enable the plant to be operated in borderline situations. Critical operating situations can be generated at any time on the simulator without endangering personnel or machinery or compromising product quality, and the analysis and training can be carried out calmly. During training "on the job", participants must wait for the occurrence of the operating malfunctions on which they are to be trained. With

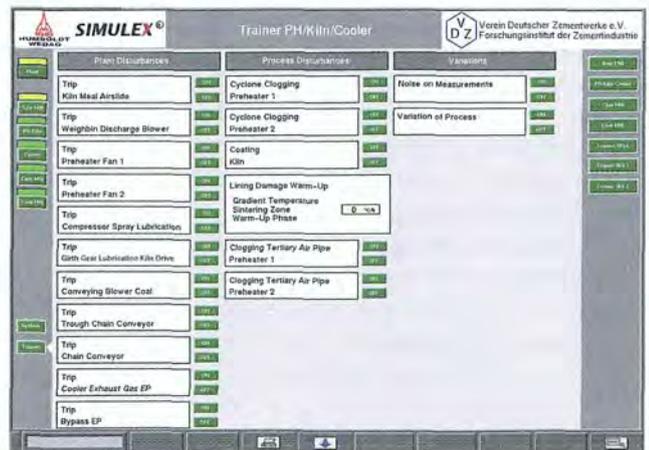


Figure 12: Malfunctions which can be activated by the trainer in the heat exchanger/kiln sector

Bild 12: Vom Trainer aktivierbare Störungen des Wärmetauscher/Ofen-Bereichs

Mit Simulex® kann nicht nur das Betreiben einer Anlage geschult werden, auch das Erkennen und Beseitigen von Betriebsstörungen wird unterstützt. Als Störungen stehen sowohl Anlagenstörungen als auch Prozessstörungen zur Verfügung (Bild 12). Bei Anlagenstörungen fallen z. B. einzelne Antriebe aus. Entdeckt der Schüler diese Störung rechtzeitig, kann er es dem Trainer mitteilen und der kann den Antrieb wieder freischalten. Erfolgt die Reaktion des Schülers jedoch zu spät, wird die betroffene Teilanlage über Verriegelung abgeschaltet und muss dann vom Schüler wieder angefahren werden. Das führt zu Durchsatzeinbußen und erhöht den spezifischen Energiebedarf.

Zu den Prozessstörungen gehören z. B. Zyklonverstopfungen, Ansatzfall im Ofen, verstopfte Tertiärluftleitungen oder Brandnester in der Kohlemahlanlage. Die Störung „Zyklonverstopfung Strang 1“ läuft beispielsweise folgendermaßen ab: Nach Aktivierung der Störung gelangt kein Mehl mehr vom verstopften Zyklon in den Calcinator, woraufhin die Temperatur im betroffenen Calcinatorstrang schnell ansteigt. Auch eine entsprechende Differenzdrucküberwachung signalisiert den Zyklonverstopfer. Außerdem sinken die Unterdrücke im betroffenen Vorwärmerstrang. Die Temperatur im Calcinator übersteigt nach einiger Zeit eine gewisse Abschaltgrenze, sodass die Calcinatorfeuerung über Verriegelung abgeschaltet wird. Wird die Mehlaufgabe vom Produktionssteuerer nicht sofort eingestellt, kommt es zudem zu einer CO-Spitze und zu Druckschwankungen im gesamten Ofensystem. Zwar kann dann der Produktionssteuerer die Ofenanlage noch einsträngig weiterbetreiben, letztlich muss die Verstopfung jedoch durch den Trainer beseitigt werden.

Beim Auftreten von groben Fehlern, z. B. bei Überschreitung des Drehofen-Aufheizgradienten oder einer Elektrofilterexplosion, wird die Simulation gestoppt und kann nur vom Trainer wieder gestartet werden. Das gibt dem Trainer die Möglichkeit, die eingetretene Situation mit dem Schüler zu erörtern und ihn auf seine Fehler aufmerksam zu machen. Die Liste der zur Verfügung stehenden Prozessstörungen soll zukünftig noch weiter ausgebaut werden.

5 Nutzen

Im simulierten Betrieb lassen sich Auswirkungen von unterschiedlichen Prozessführungsverfahren anschaulich und pra-

a simulator, the required process situations can be introduced selectively, and repeated as many times as necessary. As a result, training sessions can be carried out very efficiently on a compressed time scale. This factor also allows highly-qualified trainers to guide the training sessions, with the result that experts in the field pass on their knowledge to the production controllers. Furthermore, simulations prevent deficient knowledge from being passed on from one person to the next, and ensure that when production personnel are being trained they always receive the very latest process technology know-how.

Simulator training allows cement plant operators to strengthen their competitiveness by achieving maximum efficiency and high availability of their plants. In this way, training simulators contribute considerably to reducing costs and minimizing risks. The simulator will pay for itself if, for instance, the employees' increased knowledge enables them to avoid half a day's lost production on just one occasion. However, even marginally more economical operating methods used on a daily basis will rapidly amortize the investment.

6 Final comment

The more complex and technologically advanced cement manufacturing plants become, and the higher the demands placed on product quality and on economical, high-efficiency and low emission operation, the more important it is to have a highly trained production team. The Simulex® cement plant simulator is a finely tuned and effective tool that has proved its worth in the training given to production controllers and plant supervisors by the VDZ within the framework of its training scheme. The simulation program fosters the trainees' understanding of the interrelationships involved in the process technology of cement manufacture and teaches them how to operate the plants to maximum economic advantage. ◀

xisgerecht verdeutlichen und das Verständnis für die verfahrenstechnischen Zusammenhänge bei der Zementherstellung vertiefen. Die Schüler können am Simulator Grenzen der Prozessführung ausprobieren und dadurch lernen, den Prozess wirtschaftlich optimal zu betreiben, ohne dabei Gefahr zu laufen, in einen instabilen Produktionsbetrieb abzugleiten. Mit Simulex® können sich die Schüler selbst an den maximal möglichen Durchsatz und an die für unterschiedliche Vorgaben optimale Betriebsweise der Anlage herantasten.

Im Gegensatz zum „training on the job“ kann bei Simulator-schulungen eine Anlage gefahrlos auch in Grenzbereichen betrieben werden. Kritische Betriebssituationen können am Simulator jederzeit ohne Gefährdung von Mensch, Maschine und Produktqualität erzeugt, in Ruhe analysiert und trainiert werden. Beim „training on the job“ muss auf das Eintreten von zu trainierenden Betriebsstörungen gewartet werden. Mit einem Simulator lassen sich gewünschte Prozess-situationen gezielt herbeiführen und beliebig oft wiederholen. Das Training kann damit sehr effizient und zeitlich gestrafft durchgeführt werden. Das eröffnet auch die Möglichkeit, es von hochqualifizierten Trainern begleiten zu lassen. Die besten Know-how-Träger übertragen dann ihr Wissen auf die Produktionssteuerer. Außerdem wird vermieden, dass unzureichendes Wissen von einem an den nächsten weitergegeben wird und es wird sichergestellt, dass die neuesten verfahrenstechnischen Erkenntnisse bei der Ausbildung des Produktionspersonals vermittelt werden.

Mit der Simulator-Schulung können Zementwerksbetreiber ihre Wettbewerbsfähigkeit stärken, indem sie einen maximalen Wirkungsgrad und eine hohe Verfügbarkeit ihrer Anlage erzielen. Trainingssimulatoren tragen so erheblich zur Kostensenkung und Risikominimierung bei. Die Kosten für eine Simulator-Investition haben sich schon dann bezahlt gemacht, wenn durch die höhere Personalqualifikation z. B. ein einziges Mal ein Produktionsausfall von einem halben Tag vermieden wurde. Aber auch eine selbst nur geringfügig wirtschaftlichere Fahrweise im tagtäglichen Betrieb führt rasch zur Amortisation der Investition.

6 Schlussbemerkung

Je komplexer und technologisch höher entwickelt die Anlagen zur Zementherstellung und je anspruchsvoller die Anforderungen an die Produktqualität und an einen wirtschaftlich hocheffizienten und emissionsarmen Betrieb werden, umso wichtiger wird die Qualifikation der Produktionsmannschaft. Mit dem Zementanlagen-Simulator Simulex® existiert ein ausgereiftes und wirkungsvolles Werkzeug, das sich bei der Aus- und Weiterbildung von Produktionssteuerern und Industriemeistern, die der Verein Deutscher Zementwerke im Rahmen seines Bildungswerkes durchführt, bewährt hat. Das Simulationsprogramm ermöglicht, bei den Schülern das Verständnis für die verfahrenstechnischen Zusammenhänge bei der Zementherstellung zu vertiefen und eine wirtschaftlich optimale Betriebsweise der Anlagen zu erlernen. ◀