

# Mahlung, Sichtung, Trocknung – was aufwändige Technikumsversuche bei Anlageninvestitionen nutzen

Y. Reichardt, Kaiserslautern/Germany

## ZUSAMMENFASSUNG

Für das wirtschaftliche Gelingen von Anlageninvestitionen ist es für Betreiber und Lieferanten von grundlegender Bedeutung, alle vereinbarten Betriebsparameter schnell zu erreichen und im Dauerbetrieb zu bestätigen. Hohe verfahrenstechnische Sicherheitszuschläge sind heute aus Kostengründen nicht mehr sinnvoll. Ziel der verfahrenstechnischen Auslegung eines Projekts ist es daher, den engen Bereich zwischen Unter- und Überdimensionierung zu treffen. Dabei sinkt das Risiko mit besserer Ausgangsdatenbasis und höherem Erfahrungsstand von Betreiber und Anlagenlieferanten. Durch Versuchsreihen mit projektrelevanten Aufgabematerialien in praxisnahen Pilotanlagen können die Rohstoffeigenschaften sicher, reproduzierbar und unmittelbar auf die spätere Betriebsanlage übertragbar bestimmt werden. Dies ermöglicht Transparenz und Sicherheit für die Auslegung und Vereinbarung von Garantiewerten.

## SUMMARY

For the economic success of a capital plant project it is of fundamental importance for the operators and suppliers that all agreed operating parameters are achieved quickly and confirmed in continuous operation. High process engineering safety factors are no longer feasible nowadays for cost reasons. The process engineering design for a project therefore aims to hit off the narrow range between under- and over-design. The risk involved is reduced the better the initial data base and the higher the level of experience of the operator and plant suppliers. The raw material properties can be determined reliably and reproducibly in a form which can be applied directly to subsequent industrial plants through a series of tests with feed material relevant to the project in realistic pilot plants. This makes it possible to achieve transparency and certainty for the design and the agreement of warranty values.

## RÉSUMÉ

Pour le succès économique d'un investissement pour une unité de production, il est d'une importance fondamentale pour l'exploitant et le fournisseur d'atteindre rapidement tous les paramètres d'exploitation contractuels et de les confirmer lors de l'exploitation en continu. En raison des coûts prohibitifs, des rallonges de sécurité coté processus ne sont plus raisonnables aujourd'hui. L'objectif de la conception coté technique de procédé d'un projet est alors, de cerner la zone étroite entre sous- et surdimensionnement. Ceci réduit le risque, coté exploitant et fournisseur des équipements, avec une meilleure base de données de départ et un plus haut degré d'expérience. Des séries d'essais, avec des matières d'alimentation correspondant au projet, dans des installations pilote proche de la pratique, permettent de déterminer les propriétés des matières premières de façon sûre, reproductible, et transposable directement sur la future unité de production. Ceci crée des conditions de transparence et de sécurité pour la conception et pour se mettre d'accord sur les valeurs de garantie.

## RESUMEN

Para invertir con éxito en las instalaciones es de suma importancia para los usuarios y los suministradores de las mismas el que se alcancen rápidamente y de forma continua todos los parámetros de servicio acordados. Hoy en día ya no tiene sentido, por razones de costes, prever grandes márgenes tecnológicos de seguridad. Por lo tanto, el dimensionamiento tecnológico de cualquier proyecto tiene como objetivo buscar el término medio entre el infra dimensionamiento y el sobredimensionamiento. A este respecto, se reduce el riesgo en la medida en que se cuente desde un principio con una mejor base de datos y mayores experiencias por parte de los usuarios y suministradores de las instalaciones. Con ayuda de series de ensayos con materiales de alimentación relevantes, en instalaciones piloto que se orienten lo más posible por la práctica, es posible determinar las características de las materias primas de forma segura y reproducible, pudiendo ser las mismas transmitidas directamente a la futura instalación industrial. De esta manera, se consigue la necesaria transparencia y seguridad para el dimensionamiento y fijación de valores de garantía.

### Grinding, classifying, drying –

as used in sophisticated  
pilot-scale trials for capital  
plant projects

### Broyage, séparation, séchage –

L'utilité des recherches  
coûteuses en Institut  
techniques dans le domaine  
des investissements pour les  
Installations

### Molienda, separación, desecación –

La utilidad de los costosos  
ensayos a escala de esta-  
ciones de ensayo a la hora  
de realizar inversiones en las  
instalaciones

## 1. Walzenschüsselmühlen

Die beste Grundlage für die Auslegung einer Walzenschüsselmühle sind gesicherte Betriebsdaten einer vergleichbaren Anlage mit gleichem Aufgabematerial, Produkt und vergleichbaren Randbedingungen. Da diese Daten in der Praxis selten verfügbar sind, werden sie bei der Gebr. Pfeiffer AG, Kaiserslautern/Deutschland, durch Vermahlung projektrelevanter Aufgabematerialien in einer halbtechnischen Pilotanlage MPS 40 B/C (**Bild 1**) bestimmt. Der

## 1. Vertical roller mills

Confirmed operating data from a comparable plant with the same feed material and product under comparable constraints form the best basis for the design of a vertical roller mill. In practice these data are seldom available, so at Gebr. Pfeiffer AG of Kaiserslautern, Germany, they are determined by grinding feed materials which are relevant to the project in a semi-industrial MPS 40 B/C

(Translation by Mr. Robin B. C. Baker)

Aufbau dieser Pilotanlage entspricht einer Betriebsanlage (**Bild 2**).

Der bekanntermaßen große Einfluss des Mahlguts auf den Durchsatz, den spez. Arbeitsbedarf sowie den spez. Verschleiß der Mühle spiegelt sich auch bei vergleichbaren Mahlgütern in den unterschiedlichen Ergebnissen der Pilotanlage wieder (**Tabelle 1**). Zusätzlich ist als Maß für die Leistungsdichte die an der Mühlenkupplung der MPS 40 B/C abgegebene Leistung  $P_{ab,40}$  in % angegeben.  $P_{ab}$  lässt sich allgemein beschreiben als

$$P_{ab} = \beta \cdot F_{sp} \cdot d_w \cdot b_w \cdot z \cdot v_s = m_F \cdot W_m$$

- mit  $m_F$  Durchsatzrate  
 $P_{ab}$  abgegebene Antriebsleistung, kupplungsbezogen  
 überwiegend mahlgutabhängig:  
 $W_m$  spez. Arbeitsbedarf am Mühlenmotor  
 $\beta$  Faktor („friction factor“)  
 überwiegend maschinenabhängig:  
 $F_{sp}$  spez. Walzenkraft  
 $d_w$  Walzendurchmesser  
 $b_w$  Walzenbreite  
 $z$  Walzenanzahl  
 $v_s$  Umfangsgeschwindigkeit am Mahlbahndurchmesser.

Die Leistungsaufnahme und der Mühlen durchsatz sind somit sowohl von den konstruktiven Parametern einer Walzenschüsselmühle als auch von einem mahlgutabhängigen Faktor  $\beta$  abhängig. Dieser beschreibt anschaulich die Fähigkeit des Mahlbetts unter den Betriebsbedingungen einer Walzenschüsselmühle die zur Zerkleinerung erforderliche mechanische Leistung aufzunehmen. Die bei allen Materialien zu beobachtende Streuung von  $P_{ab}$  in Tabelle 1 reflektiert jeweils die Summe der Mahlgut-, Maschinen- und Prozesseinflüsse auf das Mahlbett.

Da die Einzeleinflüsse sich gegenseitig bedingen und nicht voneinander trennbar sind, wird auf die Durchführung von Standardtests verzichtet. Um die spätere Betriebspraxis möglichst gut anzunähern werden die Technikumsanlagen stattdessen mit verschiedenen Betriebszuständen stabil betrieben. Während der Versuche werden die Anlagen an das Aufgabematerial, das zu erzeugende Produkt, die Projekt-



**BILD 1: Halbtechnische Pilotanlage MPS 40 B/C mit einem Durchsatz von bis zu 1,5 t/h**

**FIGURE 1: Semi-industrial MPS 40 B/C pilot plant with a throughput of up to 1.5 t/h**

pilot plant (**Fig. 1**). The structure of this pilot plant corresponds to that of an industrial plant (**Fig. 2**). It is well known that the feed material has a great influence on the throughput, specific power consumption and specific wear rate of the mill, and this is also reflected in the varying results from the pilot plant with comparable mill feeds (**Table 1**). The power output  $P_{ab,40}$  at the mill

**TABELLE 1: Bandbreite der Ergebnisse mit Walzenschüsselmühlen vom Typ MPS 40 B/C**  
**TABLE 1: Range of spread of the results with MPS 40 B/C vertical roller mills**

	Durchsatz throughput	spez. Arbeitsbedarf specific power consumption	Leistungsaufnahme power demand	spez. Verschleiß specific wear
	$m_F$ [kg/h]	$W_m$ [kWh/t]	$P_{ab}$ MPS 40 B/C [%]	NiHard IV [g/t]
Zementrohmaterial/cement raw material	200-1 400	2.5-14	40-160	1-30
Kohle/coal	100-600	5.5-36	35-165	1-150
Petrolkoks/petroleum coke	150-550	7-16	60-140	1-10
Portlandzement/Portland cement	170-400	15-30	90-110	2-10
Hochofenzement/blastfurnace cement	160-330	18-35	85-115	12-26
Hüttensand/granulated blastfurnace slag	120-250	20-45	80-120	24-50
Puzzolan/zement/pozzolanic cement	210-390	14-22	85-115	3-10
Puzzolan/pozzolans	250-400	8-12	65-135	1-10
Kalkstein, Dolomit/limestone, dolomite	120-1 150	3-23	40-160	1-8
Branntkalk/burnt lime	400-1 250	3-10	75-125	1-2
Gips/gypsum	600-1 200	2.5-6	80-120	1-2
Ton/clay	130-1 450	2-17	60-140	2-75

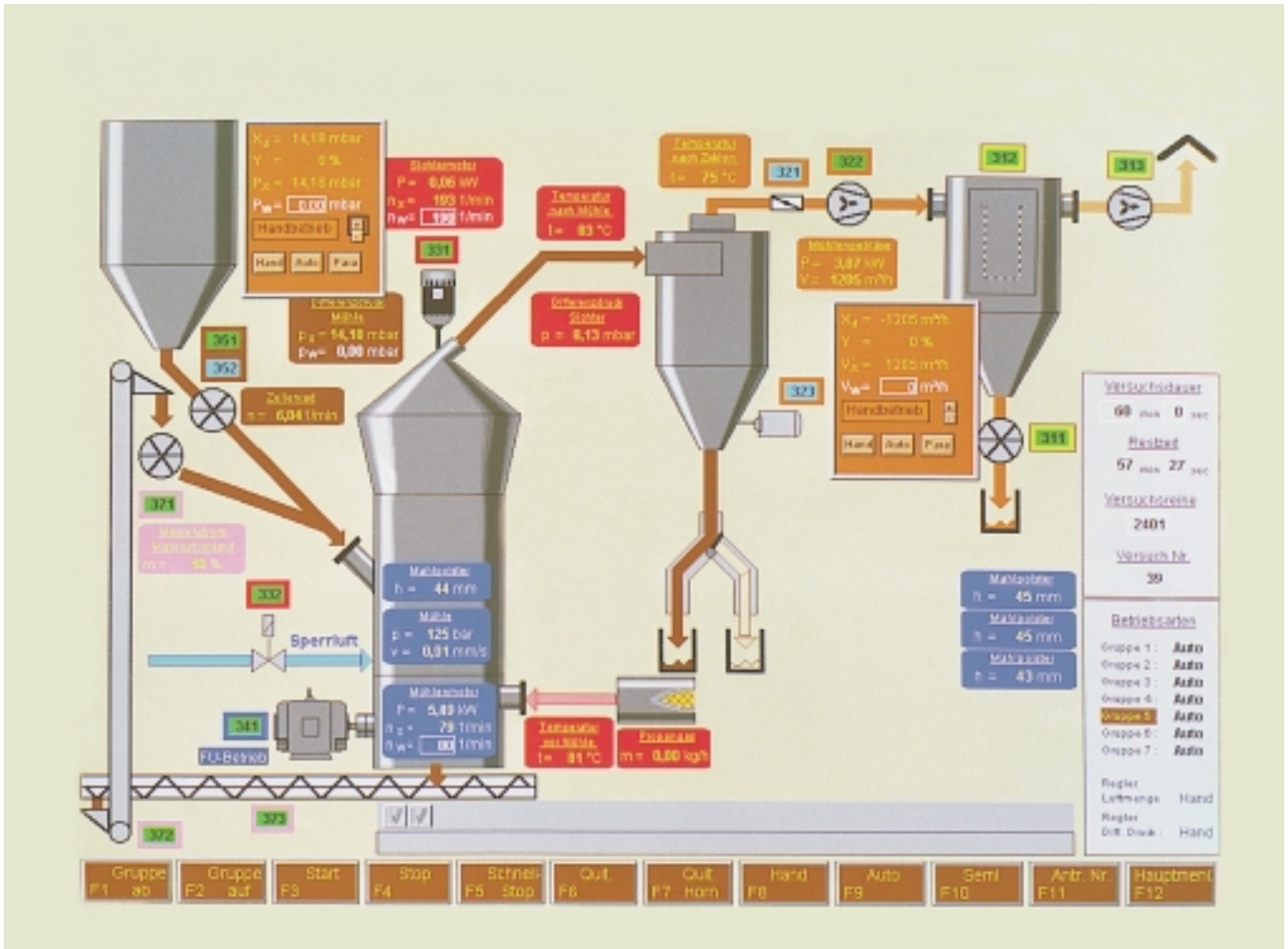


BILD 2: Visualisierung der Walzenschüsselmöhlenanlage MPS 40 B/C

FIGURE 2: Visual display of the MPS 40 B/C vertical roller mill plant

randbedingungen und die infrage kommenden Mühlenbaureihen angepasst. Zusätzlich werden mit dem Versuchsgut auch die Grenzen instabiler Betriebszustände angesteuert, um diese in der konkreten Auslegung auszuschießen. Zur Mühlenauslegung kommen dann ausschließlich stabile Betriebszustände in Betracht.

Vor und nach jeder Versuchsreihe erfolgt eine Wägung der Mahlteile (Bild 3). In Verbindung mit der durchgesetzten

coupling of the MPS 40 B/C is also given in % as a measure of the power density.  $P_{ab}$  can in general be described as

$$P_{ab} = \beta \cdot F_{sp} \cdot d_w \cdot b_w \cdot z \cdot v_s = m_F \cdot W_m$$

with  $m_F$  throughput rate

$P_{ab}$  output drive power, at coupling

predominantly dependent on the mill feed:

$W_m$  specific power consumption at the mill motor

$\beta$  friction factor

predominantly dependent on the machine:

$F_{sp}$  specific roller force

$d_w$  roller diameter

$b_w$  roller width

$z$  number of rollers

$v_s$  peripheral speed at grinding track.

The power demand and the mill throughput are therefore dependent both on the design parameters of a vertical roller mill and on a factor  $\beta$  which depends on the mill feed. This describes the ability of the grinding bed to absorb the mechanical power required for the comminution under the operating conditions of a vertical roller mill. In each case the spread of values of  $P_{ab}$  in Table 1 observed with all materials reflects the sum of the influencing factors from the mill feed, machine and process acting on the grinding bed.

The individual influencing factors are mutually interdependent and cannot be separated from one another, so



BILD 3: Verschleißteile aus Ni-hard IV für eine MPS 40 B

FIGURE 3: Wearing parts made of NiHard IV for an MPS 40 B





**BILD 4: Hochleistungssichter SLV 320 mit einem Aufgabedurchsatz von bis zu 10 t/h**

**FIGURE 4: SLV 320 high-efficiency classifier with a feed throughput of up to 10 t/h**

Menge an Versuchsmaterial ist damit eine gute Basis zur Standzeitermittlung für die spätere Betriebsmühle gegeben. In der Auslegung und Garantieabgabe werden die Technikumsergebnisse in die vorgegebenen Schnittstellenbedingungen üblicherweise 1:1 mit einem Sicherheitsabschlag von 7,5% übertragen.

Im Vergleich dazu sind die anhand von Daten aus anderen Mühlentypen oder Mahlbarkeitsprüfern durchgeführten Auslegungen erheblich unsicherer, was darauf zurückführbar ist, dass bei den reinen Mahlbarkeitstests das Verhalten des Mahlguts unter den Bedingungen einer Walzenschüsselmühle nicht simuliert werden kann. Bei der Ableitung aus einem bekannten Kugelmühlensystem müssen beispielsweise der spez. Arbeitsbedarf, die Leistungsdichte der Walzenschüsselmühle und der spez. Verschleiß über empirische Faktoren ermittelt werden. Diese sind aber zumindest mahlgut- und feinheitabhängig. Gleiches gilt für Mahlbarkeitsprüfverfahren nach Zeisel, Hardgrove, Bond oder andere Laborverfahren. Hier kommen die geringen Probemengen erschwerend hinzu.

Moderne numerische Strömungsberechnungsverfahren CFD werden konsequent zur grundsätzlichen Entwicklung sowie Optimierung der Strömungsverhältnisse in Luftstromanlagen eingesetzt. Allerdings ist CFD grundsätzlich nicht in der Lage, die Zerkleinerungszone zwischen den Walzen und der Mahlbahn sowie die Einflüsse konkreter Mahlgüter zu berechnen. Im günstigsten Fall kann eine nachträgliche Anpassung der CFD-Rechnungen an aufgenommene Daten aus Walzenschüsselmühlensystemen erfolgen. Aus diesem Grunde ist die aufwändige aber betriebsnahe Erzeugung der Zielprodukte auf halbtechnischen Walzenschüsselmühlensystemen als Auslegungsbasis vorzuzie-

standard tests are not used. Instead, the pilot plants are operated stably in a variety of operating states to provide the best possible simulation of subsequent operational conditions. During the tests the plants are adjusted to suit the feed material, the product to be produced, the project constraints, and the models of mill under consideration. The test material is also used to investigate the limits of unstable operating states so that they can be excluded from the final design. This means that only stable operating states are considered for the mill design.

The grinding parts (**Fig. 3**) are weighed before and after each test series. In conjunction with the throughput of test material this provides a good basis for determining the service life of the subsequent industrial mill. The pilot plant results are normally transferred in full to the design and the warranty figures under the specified conditions with a safety factor of 7.5%.

In comparison, the designs carried out with the aid of data from different types of mill or from grindability tests are considerably less reliable, which can be attributed to the fact that with pure grindability tests it is not possible to simulate the behaviour of the mill feed under the conditions in a vertical roller mill. When using information obtained from a known ball mill system, for example, the specific power consumption, the power density of the vertical roller mill and the specific wear have to be determined using empirical factors. However, at the least these are dependent on the mill feed and the fineness. The same applies to Zeisel, Hardgrove, Bond or other laboratory methods for testing grindability. The situation is further aggravated by the small sample quantities.

Modern CFD methods for numerical flow calculations are used for basic development and for optimization of the flow conditions in air-swept systems. However, CFD is basically not capable of carrying out the calculations for the comminution zone between the rollers and the grinding track or for the factors affecting specific mill feeds. In the most favourable case it is possible to carry out a subsequent adjustment of the CFD calculations to match data obtained from vertical roller mill plants. For this reason it is preferable to base the design on the laborious but representative production of the required products in semi-industrial vertical roller mill plants. The ground materials can then be used for investigating applications.

## 2. Classifiers, ball mills, hammer mills and dryers

In plants in the filler, plaster, and clay industries, including the recycling sectors, it is becoming increasingly necessary to produce special products with closely defined properties with respect to percentage of oversized particles, particle size distribution, bulk density, residual moisture, temperature, etc. In many cases there is not enough operational experience available with comparable feed materials and product specifications. However, a basic requirement for optimum design of processes and plants is to have an understanding of the specific material behaviour in the process being designed which is as comprehensive as possible.

Some examples of such material-dependent effects are

- grindability and the flow behaviour in a ball mill,
- dispersibility in a certain type of classifier,
- influence of the circumferential speed of a hammer mill rotor on the product particle size composition,
- exhaust gas temperature and residence time required for complete drying of agglomerates in a drum dryer.

Designs and warranty agreements can often be based on sieve analyses, moisture determinations, chemical analyses, grinding, etc. on a laboratory scale in conjunction with operational experience.

hen. Die Mahlgüter können anschließend für anwendungstechnische Untersuchungen verwendet werden.

## 2. Sichter, Kugelmühlen, Hammermühlen und Trockner

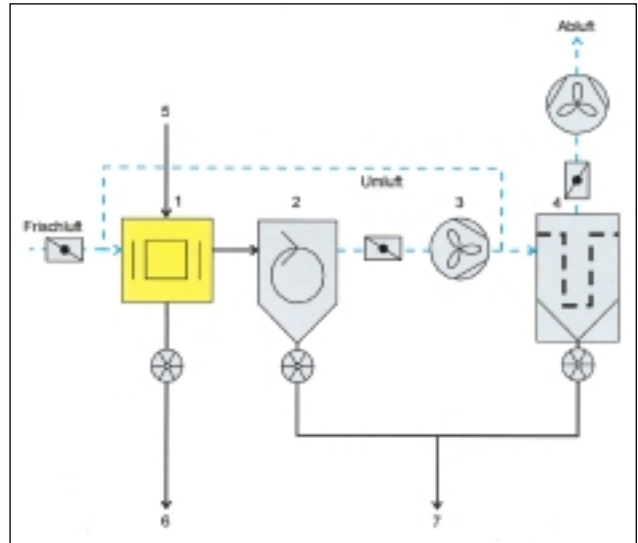
In Anlagen der Füllstoff-, Putz- und Tonindustrie bis hin zur Recyclingbranche müssen zunehmend speziellere Produkte mit eng definierten Eigenschaften hinsichtlich Fehlkornanteil, Korngrößenverteilung, Schüttdichte, Restfeuchte, Temperatur etc. erzeugt werden. In vielen Fällen liegen Betriebserfahrungen für vergleichbare Aufgabematerialien und Produktanforderung nur unzureichend vor. Für die optimale Auslegung von Verfahren und Anlagen ist jedoch eine möglichst umfassende Kenntnis über das konkrete Materialverhalten im auszulegenden Prozess Voraussetzung.

Einige Beispiele von solchen materialabhängigen Effekten sind

- Mahlbarkeit und das Fließverhalten in einer Kugelmühle,
- Dispergierfähigkeit in einem bestimmten Sichtertyp,
- Einfluss der Umfangsgeschwindigkeit eines Hammermühlenrotors auf die Produktkörnung,
- erforderliche Abgastemperatur und Verweilzeit zum Durchtrocknen von Agglomeraten in einem Trommel-trockner.

Siebanalysen, Feuchtebestimmungen, chem. Analysen, Mahlungen, etc. im Labormaßstab lassen in Verbindung mit Betriebserfahrungen häufig Auslegungen und Garantievereinbarungen zu.

Das Risiko lässt sich allerdings auch in diesen Fällen durch Versuchsreihen in Pilotanlagen unter betriebsnahen Bedingungen deutlich reduzieren. In den **Bildern 4** und **5** sind beispielhaft ein Hochleistungssichter SLV 320 für eine Aufgabemasse von bis zu 10 t/h sowie das zugehörige Anlagenschema dargestellt. Die Durchführung von Versuchen in diesem Maßstab sind natürlich aufwändig. Dafür haben sowohl die Auslegung als auch die Vereinbarung von Garantiedaten auf solcher Basis eine deutlich höhere Transparenz. Darüber hinaus gewinnt die Möglichkeit anwendungstechnischer Untersuchungen an den Produkten der Pilotanlagen vor der eigentlichen Investitionsentscheidung an Bedeutung.



**BILD 5: Flowsheet des Sichters SLV 320**

**FIGURE 5: Flow sheet for the SLV 320 classifier**

1 Hochleistungssichter SLV 320	SLV 320 high-efficiency classifier
2 Zyklonabscheider	cyclone separator
3 Gebläse	fan
4 Filter mit Abgasgebläse	filter with exhaust gas fan
5 Sichterzufuhr (z. B. Dosierschnecke)	classifier feed (e. g. metering screw)
6 Sichterabfall	classifier tailings
7 Sichterfeingut (mit/ohne Filterstaub)	classifier fines (with/without filter dust)
Frischluff	fresh air
Umluft	recirculating air
Abluft	exhaust air

However, in these cases the risk can again be significantly reduced by a series of tests in pilot plants under conditions resembling those found in industry. By way of example, **Figs. 4** and **5** show an SLV 320 high-efficiency classifier for feed rates of up to 10 t/h and the associated plant layout. Carrying out trials on this scale is obviously laborious, but such a basis gives significantly higher transparency both to the design and to the agreement of warranty data. The possibility of carrying out application investigations using the products from the pilot plants before making the actual decision on capital investment is also an important factor.