

Verminderung von Investitionskosten für Siebanlagen mit Hilfe einer durchdachten Kombination verschiedener Siebmaschinenarten*)

Cutting the Investment Costs for Screens with a Well-Devised Combination of Different Types of Screen*)

Réduction des frais d'investissement d'installations de criblage grâce à la combinaison étudiée de différents types de machines de criblage *)

Disminución de los costes de inversión para instalaciones de cribado mediante la sofisticada combinación de diferentes tipos de cribas*)

Sigurd Schütz, Remscheid (D)**)

Zusammenfassung Moderne Siebanlagen in der Schüttgutindustrie werden oft linear dimensioniert. Das bedeutet, dass eine Produktionssteigerung zu einem linearen Anstieg der Siebfläche (bzw. Anzahl der gleichen Siebmaschinen) führt. Durch eine durchdachte Kombination von geneigten Siebmaschinen mit hoher spezifischer Belastung sowie flachen Siebmaschinen, die einen hohen Reinheitsgrad bei verringerten Durchsätzen erzielen, können hohe Produktqualitäten bei geringeren Investitions- und Betriebskosten erreicht werden. Dies wird an einem Beispiel von Düngemitteln gezeigt.

Summary Modern screens in the bulk solids industry are often linearly dimensioned. This means that an increase in production leads to a linear increase in the screening area (or the number of screens). With a well-devised combination of inclined screens with a high specific load and flat screens, which can achieve a high degree of purity with reduced capacities, high product qualities with low investment and operating costs can be achieved. This is shown based on the example of fertilizer.

Résumé Les installations de criblage modernes de l'industrie des produits en vrac sont souvent dimensionnées linéairement. Cela signifie que l'accroissement de la production est liée à une augmentation linéaire de la surface criblante (ou au nombre de cribles identiques). Grâce à une combinaison soigneusement étudiée de cribles inclinés à charge spécifique élevée ainsi que de cribles plans, susceptibles d'atteindre un degré de pureté élevé avec des performances réduites, des qualités de produit élevées peuvent être atteintes avec des coûts d'investissement et d'exploitation réduits. Ceci est montré à l'aide de l'exemple d'engrais.

Resumen Las modernas instalaciones de cribado de la industria de los productos a granel suelen diseñarse de manera lineal. Esto significa que un aumento de la producción conduce a un aumento lineal de la superficie de cribado (o de la cantidad de las propias cribas). Gracias a una sofisticada combinación de cribas adecuadas con una alta carga específica, así como cribas planas que pueden alcanzar altos niveles de pureza incluso con bajo rendimiento, se consiguen productos de gran calidad con costes de inversión y producción bajos. Esto se muestra con un ejemplo de fertilizante.

1. Einteilung der Siebmaschinen

Die Siebtechnik blickt auf eine Geschichte von mindestens 2600 Jahren zurück. Der erste, der in professioneller Art und Weise die Bergwerks- und Aufbereitungstechnologien beschrieb, war Georg Agricola in seinem Buch „De Re Metallica Libri XII“ von 1556. In diesem Werk zeigte er schon (Bild 1) geneigte (E) wie auch flache Siebmaschinen (A) in der damaligen Anwendung. Über die Jahrhunderte wurden verschiedene Punkte wie z. B. die Antriebsarten oder die Siebgrößen weiterentwickelt, das Siebprinzip blieb jedoch bis heute gleich.

Bild 2 gibt einen Überblick über verschiedene Siebmaschinen nach ihrem Antriebsprinzip. Sie beschränkt sich dabei auf die Gruppe der Vibrationssiebmaschinen, da statische Siebe relativ selten in industriellen Anwendungen eingesetzt werden.

1. Classification of Screening Machines

Screening technology looks back on a long history of at least 2600 years. The first to describe mining and processing technologies professionally was Georg Agricola in his book “De Re Metallica Libri XII” of 1556. In an engraving in this work (Fig. 1), he already showed inclined (E) as well as flat screening machines (A). Over the centuries, various details such as drive mechanisms and screen size have been further developed, the principle of screening itself, however, has remained the same.

Fig. 2 provides an overview of screening machines according to their working principle. This paper is restricted to the group of vibrating screens since static screens are relatively rarely used in industrial applications.

*) Überarbeitete Fassung eines Vortrags auf der Veranstaltung Nitrogen+Syngas, Bahrain 25.–28.2.2007

***) Sigurd Schütz, Geschäftsführer Rhewum GmbH, Remscheid (D) (www.rhewum.de)

*) Revised version of a paper held at the Nitrogen+Syngas event, Bahrain 25.–28.2.2007

***) Sigurd Schütz, Managing Director of Rhewum GmbH, Remscheid (D) (www.rhewum.de)

2. Typische Wirkungsgrade von Siebmaschinen

Jede der in Bild 2 aufgeführten Technologien besitzt individuellen Stärken, jedoch sollten diese an die jeweilige Anwendung angepasst werden, damit ein optimales Klassierergebnis erreicht werden kann. So wird z. B. eine Siebmaschine für Mineralien für hohe Aufgabemengen bei grobem Material nie den gleichen Wirkungsgrad erreichen wie eine Hightechsiebmaschine, die für feine Produkte ausgelegt ist.

2.1 Geneigte Siebmaschinen mit direkt erregten Siebgeweben

Geneigte Siebmaschinen transportieren das Produkt nur durch die Schwerkraft; der Siebwinkel steht in unmittelbarem Bezug zum natürlichen Schüttwinkel des Produktes (Bild 3). Sollten Schwierigkeiten am Antrieb auftreten (z. B. durch einen Stromausfall), so wird das Siebgut noch weiter über das Siebgewebe transportiert. Der Wirkungsgrad wird zwar gemindert, aber der Transport des Siebgutes ist weiterhin gewährleistet. Der Siebelag bleibt frei. Ein wesentlicher Unterschied zu flachen Siebmaschinen ist, dass aufgrund der hohen Produktgeschwindigkeit die Verweildauer des Produktes auf dem Siebgewebe wesentlich kürzer ist. Trotz der dünnen Materialschicht werden durch die deutlich höheren Geschwindigkeiten hohe Durchsätze erreicht. Voraussetzung ist eine möglichst hohe Frequenz der Erreger. Darüber hinaus ist zu beachten, dass die Maschenweite nicht identisch mit der gewünschten Trennkorngröße ist. Bild 4 zeigt die Projektionsfläche eines gewebten Stahlgewebes einer geneigten Siebmaschine im Vergleich zu der einer flachen Siebmaschine.

Eckdaten einer solchen Siebmaschine sind:

Materialgeschwindigkeit:	min. 1 m/s
Schichtdicke:	max. das 10fache der Trennkorngröße
Vibrationsfrequenz:	50 bzw. 60 Hz
Vibrationsamplitude:	2 mm
Beschleunigung:	Betrieb 6 g, max. 50 g Abreinigungsimpuls

2.2 Flache Werfsiebmaschinen

Flache Siebmaschinen benötigen grundsätzlich eine zusätzliche Kraft für eine Transportkomponente (Bild 5). Bei Schwierigkeiten mit dem Antrieb steht die Maschine still und das Aufgabegut wird nicht weitertransportiert; das führt zu einem Rückstau im Prozess.

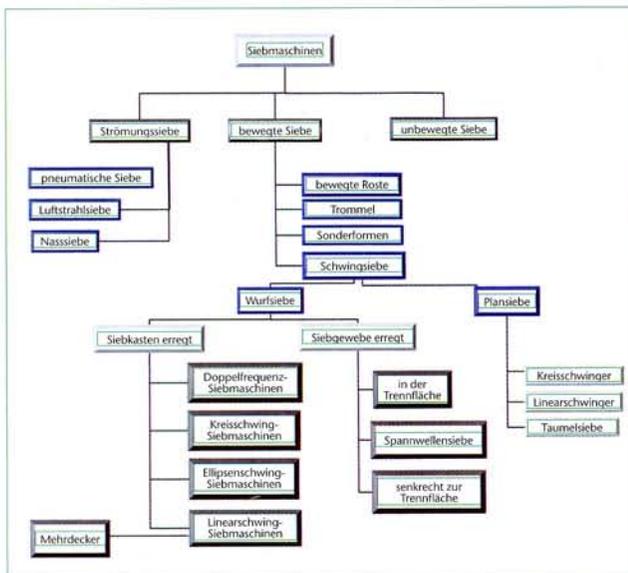


Bild 2: Einteilung der Siebmaschinen nach ihrem Arbeitsprinzip [2]



Bild 1: Historische Darstellung von Georg Agricola, flache und geneigte Siebmaschinen [1]

Fig. 1: Historical engraving of Georg Agricola, flat and inclined screening machines [1]

2. Typical Screen Efficiencies

Each of the technologies shown in Fig. 2 have their individual strengths, however, they should be adapted to their respective application to achieve maximum efficiency. For instance, a mineral screen designed for a high load of coarse material will never reach the same efficiency compared with high-tech screens designed for fine materials.

2.1 Inclined screen with direct agitation of the mesh

The inclined screen transports the material only by gravity itself; the angle of the mesh is directly related to the angle of repose of the product (Fig. 3). In case of any problems with the drive (power cut), the material is still transported further over the screen. Screening efficiency is reduced, but the transport of the material is still ensured. The screening surface remains open.

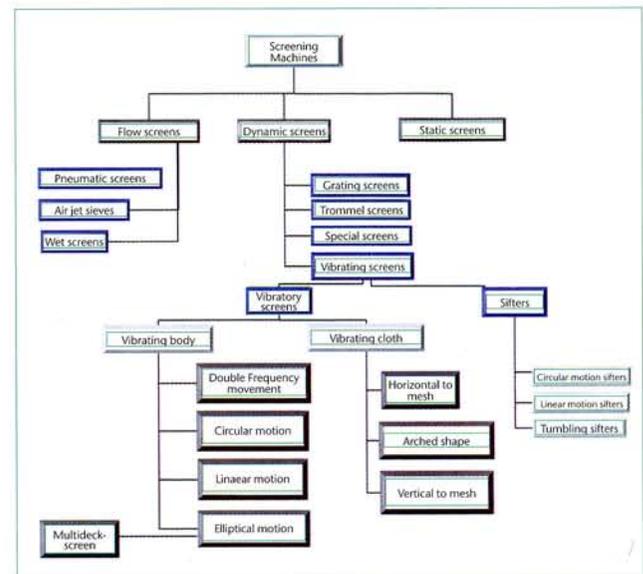


Fig. 2: Classification of screening machines based on their working principle

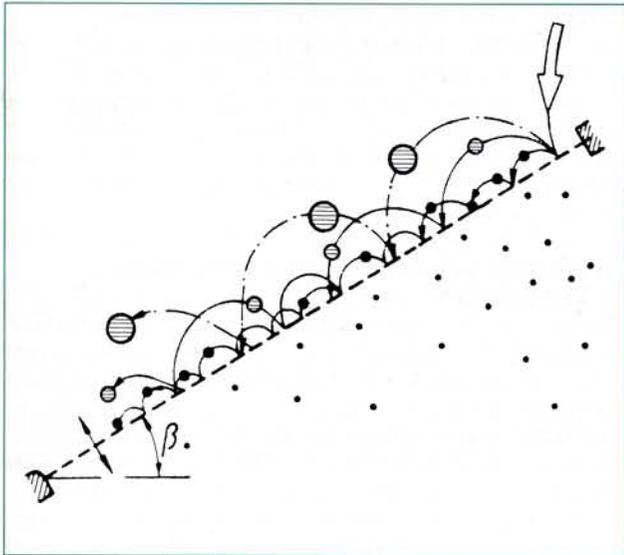


Bild 3: Arbeitsprinzip einer geneigten Siebmaschine
Fig. 3: Working principle of an inclined screen

Eckdaten einer flachen Siebmaschine sind:

Materialgeschwindigkeit:	0,07–0,12 m/s
Schichtdicke:	max. 25 x Trennung
Vibrationsfrequenz:	16,6 bzw. meist 20 Hz
Vibration:	max. 4 mm
Beschleunigung:	1,75 g

2.3 Abhängigkeit von Reinheit und Ausbringen

Der Wirkungsgrad einer Siebmaschine kann durch zwei Kennziffern bewertet werden: die Reinheit der erzeugten Fraktion sowie das aus der Aufgabekörnung erreichte Ausbringen.

Die Definitionen sind:

$$\text{Reinheit [\%]} = \frac{\text{Menge des Gutkorns in der Fraktion}}{\text{Gesamtmenge dieser Fraktion}}$$

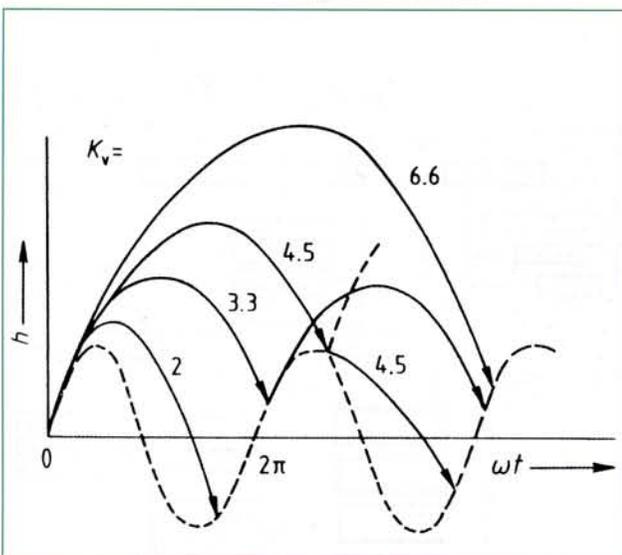


Bild 5: Wurfparabeln bei einer flachen Siebmaschine bei unterschiedlichen Maschinenkennzahlen
Fig. 5: Throw parabola of a flat screen relative to different acceleration forces

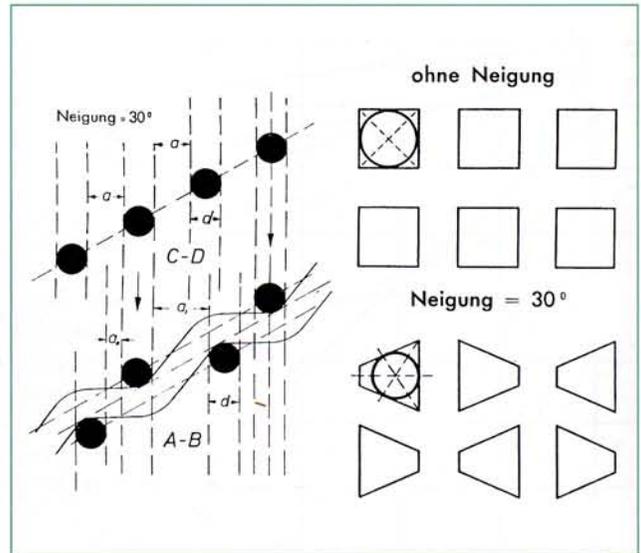


Bild 4: Projektionsöffnungen auf dem Siebgewebe
Fig. 4: Projected apertures on a screen mesh

A key difference to flat screens is that owing to the high material velocity, the material retention time on the screening surface is much shorter. Despite the thin layer of material, high specific throughputs are achieved thanks to the much higher speeds. Precondition is the highest possible frequency of the screen vibrators. Moreover, it should be noted that the mesh aperture is not identical with the intended screen cut. Fig. 4 shows the projected area of a woven steel mesh on an inclined screen compared to one on a flat screen.

Key figures of such screens are:

Material velocity:	1 m/s
Layer thickness:	max. 10 x screen cut
Vibration frequency:	50 resp. 60 Hz
Vibration amplitude:	2 mm
Acceleration:	operating 6 g, max. 50 g cleaning pulse

2.2 Flat screens

Flat screens require additional power for their transport function (Fig. 5). If there are any problems with the drive, the machine stands still and the feed material is no longer transported, resulting in the generation of a backlog.

Key figures of flat screens are:

Material velocity:	0.07–0.12 m/s
Layer thickness:	max. 25 x screen cut
Vibration frequency:	16.6 or 20 Hz (mostly)
Vibration:	max. 4 mm
Acceleration:	1.75 g

2.3 Dependence of purity and yield

Screen efficiency can be evaluated based on two indices: the purity of the product produced and the yield from the material feed.

The definitions are:

$$\text{Purity [\%]} = \frac{\text{Qty. of on-spec product in fraction}}{\text{Qty. of material of the specific fraction}}$$

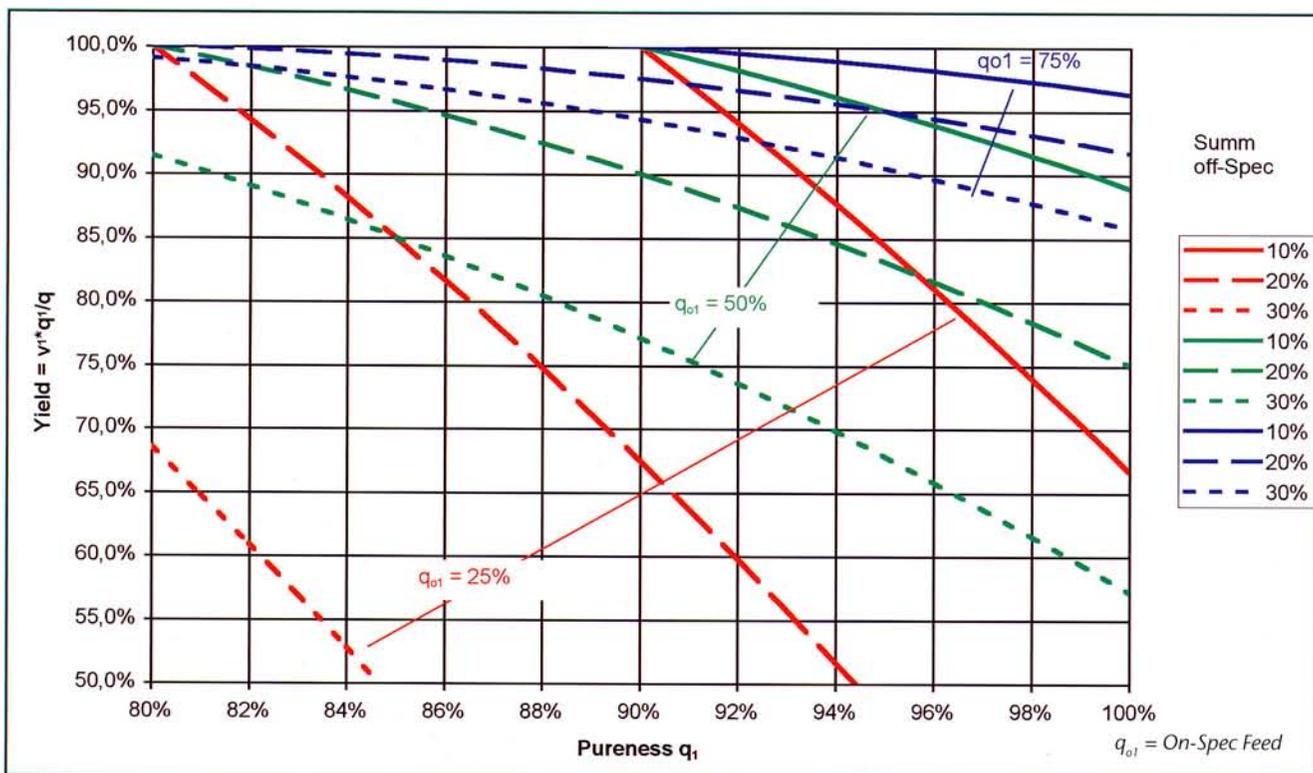


Bild 6: Abhängigkeit von Reinheit (Purity q_1) zum Ausbringen (Yield) für drei unterschiedliche Nennkornanteile in der Aufgabe (On-Spec Feed) ($q_{o1} = 25\%$ rot, $p_{o1} = 50\%$ grün und $q_{o1} = 75\%$ blau) bei jeweils drei unterschiedlichen Fehlkornanteilen in allen Fraktionen (Summ Off-Spec)

Fig. 6: Dependence of purity (q_1) and yield for three nominal size fractions in the on-spec feed ($q_{o1} = 25\%$ red, $p_{o1} = 50\%$ green and $q_{o1} = 75\%$ blue) with three misplaced percentages in all fractions (Summ Off-Spec)

$$\text{Ausbringen [\%]} = \frac{\text{Menge des Gutkorns in der Fraktion}}{\text{Menge des Gutkorns in der Aufgabe}}$$

Bild 6 zeigt die Abhängigkeit beider Kennziffern mit einem zusätzlichen Bezug auf die Menge des Gutproduktes in der Aufgabe. Deutlich ist zu erkennen, dass bei einem hohen Nennkornanteil in der Aufgabe ein deutlich höheres Ausbringen zu erreichen ist [3].

3. Einzelbetrachtung

Zum Vergleich beider Siebmaschinentypen soll ein Standardprojekt zur Absiebung von Urea (Harnstoffdünger) herangezogen werden:

Anlagengröße: 1500 tato (Annahme)
 Aufgabemenge: 100 t/h
 Trennungen: 4,0 mm (5 mesh)
 2,0 mm (10 mesh)
 Aufgabekörnung: > 4,5 mm = etwa 5 Gew.-%
 1,0–4,5 mm = etwa 70 Gew.-%
 < 1,0 mm = etwa 25 Gew.-%

Bei der Klassierung der gesamten Aufgabemenge jeweils mit einem der beiden Siebmaschinentypen zeigt sich, dass mit der flachen MDS-Siebmaschine eine höhere Reinheit und ein Ausbringen von 99% erzielt werden (Tabelle 1). Das wird u. a. durch die 4,7-fach größere Siebfläche erreicht. Eine preisgünstige Variante, die jedoch noch die geforderte Reinheit von 95% erreicht, verringert die Anschaffungskosten auf 60%. Dem steht ein um 10% niedrigeres systembedingtes Ausbringen entgegen.

$$\text{Yield [\%]} = \frac{\text{Qty. of on-spec product in fraction}}{\text{Qty. of on-spec product in the feed}}$$

Fig. 6 shows the relation of the two indices with an additional relationship to the quantity of on-spec product in feed. It is clear that a much higher yield can be achieved if there is a high nominal content of the on-spec product in the feed [3].

3. Individual Assessment

To compare both types of screens, a standard project for screening urea is taken as a reference:

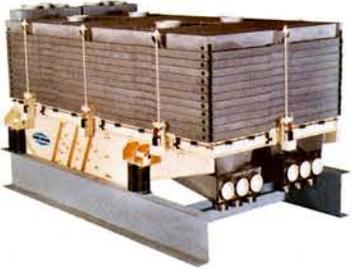
Plant size: 1500 tpd (assumed)
 Feed rate: 100 t/h
 Screen cuts: 4.0 mm eq. to 5 mesh +
 2.0 mm eq. to 10 mesh
 Grain size feed: > 4.5 mm = approx. 5 wt. %
 1.0–4.5 mm = approx. 70 wt. %
 < 1.0 mm = approx. 25 wt. %

In the screening of the entire quantity of feed with each of the two types of screen it is shown that with the flat MDS screen a higher purity and a yield of 99% are achieved (Table 1). This is attributed, for example, to the 4.7 times larger screening surface. A low-cost variant, which, however, still achieves the required 95% purity, lowers the investment costs to 60%. This contrasts with a 10% lower yield of the system.

4. Cost-Efficient Combination

The difference in investment costs is only one side of the medal. The maintenance costs of a screen are almost linear to the installed screening surface. Huge screening surfaces regularly require new screening meshes, bouncing balls and seals. If the feed

Tabella 1: Vergleich von zwei verschiedenen Siebmaschinen
 Table 1: Comparison of two different screens

Design	WAU	MDS
		
Eingebaute Siebfläche [m ²] Installed screening surface [m ²]	6.3 m ² + 7.9 m ² = 14.2 m ²	22.4 m ² + 44.8 m ² = 67.2 m ² (gesamt/total)
Eingesetzte Maschenweite [mm] Aperture size used [mm]	5.0 mm 2.8 mm	4.0 mm 3.0 mm (Entlastung/relief) 2.25 mm
Spez. Siebflächenbelastung [t/m ² h] Spec. screening surface load [t/m ² h]	15.9 t/m ² h 10.8 t/m ² h	4.5 t/m ² h 1.9 t/m ² h
Reinheit [%] Purity [%]	95 %	99 %
Ausbringen [%] Yield [%]	85 %	95 %
Siebmaschinentype Screen type	1 x WAU 195 x 325/405/2	2 x MDS 2000x2800/2x3 (7)
Stromverbrauch [kW] Power consumption [kW]	2.19 kW	18 kW
Investitionskosten einschließlich Aufgeber ohne Kosten für lokalen Herstellungsanteil Investment costs including feeder without costs for local production component	60 %	100 %

4. Wirtschaftliche Kombination

Die Unterschiede beider Systeme in Hinsicht auf die Investitionskosten ist lediglich eine Seite der Betrachtung. Z. B. muss zusätzlich beachtet werden, dass sich die Instandhaltungskosten einer Siebanlage nahezu linear zur installierten Siebfläche verhalten. Bei großen Siebflächen besteht ein kontinuierlicher Bedarf an Verschleißmaterialien wie Siebgewebe, Klopfkörper und Dichtungen. Außerdem verschleifen bei abrasiven Produkten (z. B. Calcium-Ammonium-Nitrat/CAN) auch Siebrahmen und Schurren, sodass diese nach einigen Jahren Betrieb ausgetauscht werden müssen. Außerdem steht das Risiko eines Produktionsausfalls im Verhältnis zu der Anzahl der installierten Siebmaschinen.

Vom Standpunkt des Anlagenbetreibers aus sprechen viele Argumente für eine begrenzte Anzahl von Siebmaschinen, die ein Verkaufsprodukt in der gewünschten Qualität herstellen können.

Bild 7 zeigt die wirtschaftliche Kombination einer geneigten Siebmaschine zur Verminderung des Massenstromes und somit zur Verringerung der Größe der nachgeschalteten flachen Siebmaschine zur Erreichung der geforderten Produktqualitäten.

Die Vorsiebung wird auf einer bogenförmig geneigten Siebmaschine durchgeführt, während die Nachsiebung auf einem flachen Mehrdecksieb erfolgt. Wie bereits beschrieben, hat jeder Siebmaschinentyp einen besonderen Vorteil, diese Vorteile wurden hier kombiniert.

material is very abrasive (e.g. calcium ammonium nitrate – CAN), the screening frames and the inlet chutes also become worn out after several years and have to be replaced. Needless to say that the risk of a plant failure is relative to the number of screens installed.

From the producer's point of view, many arguments favour a limited number of adequately sized screens capable of generating the product to be sold in the required product quality. **Fig. 7** shows such a well-devised combination of an inclined screen to reduce the mass flow so as to reduce the size of the downstream flat screen.

Primary screening is done on an inclined screen with a curved shape whereas rescreening is performed on a multi-deck screen. As explained earlier, every type of screen has its specific advantage, these are combined here.

A comparison of the combination presented with the stand-alone solutions demonstrates its competitiveness in terms of product quality, investment and operational costs (**Table 2**). The total costs for the screen operator should be linear to the screening surface installed.

5. Conclusions

The cost-efficient combination of an inclined screen with a flat screen presented is not recommendable for every grain size dis-

Der Vergleich der vorgestellten Kombination mit einer Einzellösung zeigt die Wettbewerbsfähigkeit in Bezug auf die Produktqualität sowie die Investitions- und Betriebskosten (Tabelle 2). Die Gesamtkosten für den Betreiber sollten sich linear zur eingesetzten Siebfläche verhalten.

5. Schlussbetrachtung

Die vorgestellte wirtschaftliche Kombination einer geneigten Siebmaschine mit einer flachen ist nicht für jede Aufgabe-Korngrößenverteilung empfehlenswert. Je größer der Anteil von Über- und/oder Unterkorn in der Aufgabe ist, umso attraktiver wird diese Lösung. Hierbei kann der Massenstrom für die flache Siebmaschine erheblich vermindert werden und somit auch deren Größe und Investitionskosten.

Da viele Siebmaschinenhersteller auf einen Siebmaschinentyp festgelegt sind, d. h. entweder flache oder geneigte Siebmaschinen fertigen, ist die Kombination von beiden Systemen nicht so weit verbreitet, wie es wünschenswert wäre. Rhewum ist einer der Siebmaschinenhersteller, der in der Lage ist, beide Technologien aus einer Hand zur Verfügung zu stellen – mit allen sich daraus zum Erfolg des Anlagenbetreibers ergebenden Vorteilen wie z. B. Sicherstellung der Garantien zur Produktqualität, verringerte Lieferumfänge und vereinfachte Ersatzteilerhaltung.

Schrifttum/References:

- [1] Agricola, G.: De Re Metallica Libri XII. Reproduktion einer kolorierten Originalausgabe aus Basel (1557)
- [2] Schmidt, P., Körber, R. u. Coppers, M.: Sieben und Siebmaschinen. Wiley-VCH (2003)
- [3] Coppers, M.: Rhewum High-Performance Screens for the Production of Multiple Size Fractions. AT Aufbereitungs Technik/ Mineral Processing 44 (2003) Nr. 4, S. 30/35

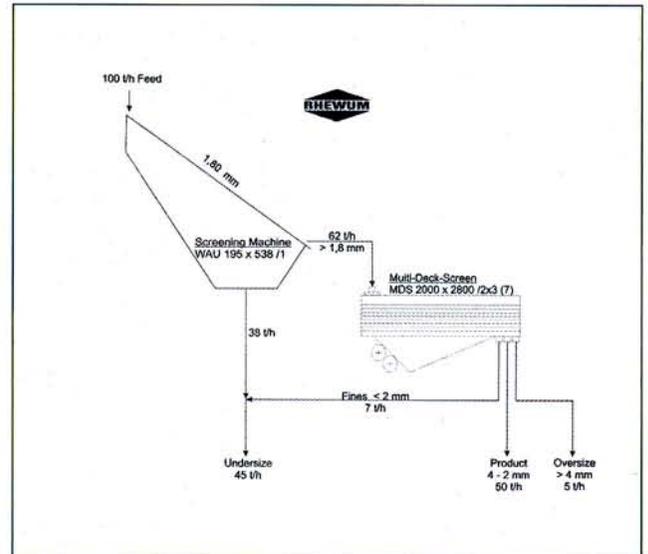
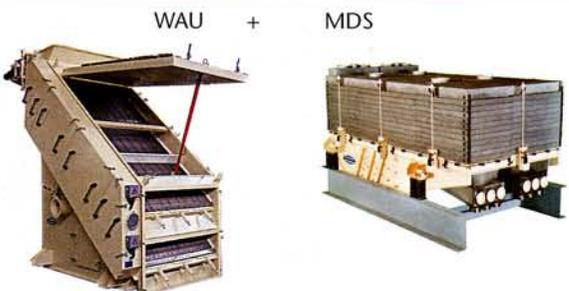


Bild 7: Verfahrensfließbild mit kombinierten Siebmaschinen
Fig. 7: Flowsheet with combined screens

tribution of feed material. It is even more attractive with a relatively high off-spec product, either over- or undersize, in the feed material. This allows a significant reduction of the mass flow fed to the flat screen in order to reduce its size and the related investment costs.

Since many screen suppliers are fixed to only one type of screen, either flat or inclined, the combination of the two types is not as widespread as it should be. Rhewum is one of the screen suppliers able to supply both technologies with all related benefits (e.g. performance guarantees, reduced battery limits and spare parts) for the customer's success.

Tabelle 2: Wirtschaftliche Kombination von zwei Siebmaschinen
Table 2: Cost-efficient combination of two screens

Design	
Eingesetzte Siebfläche [m ²] Screening area used [m ²]	10.4 m ² + 33.6 m ² = 44 m ²
Eingesetzte Maschenweite [mm] Aperture size used [mm]	2.25 mm + 4.0 mm, 3.0 mm (Entlastung/relief) und 2.25 mm
Reinheit [%]/Purity [%]	99 %
Ausbringen [%]/Yield [%]	95 %
Siebmaschinentype/Screen type	WAU 195 x 538 /1 + MDS 2000x2800/2x3 (7)
Stromverbrauch [kW]/Power consumption [kW]	1.28 kW + 9.00 kW = 10.28 kW
Investitionskosten einschließlich Aufgeber ohne Kosten für lokalen Herstellungsanteil Investment costs including feeder without costs for local production component	85%