

Kohleabreicherung im Kies 2–32 mm von 3 % auf < 0,002 % – Nutzung einer empirischen Prozessanalyse und Prozessoptimierung

Decoaling Gravel 2–32 mm from 3 % to < 0.002 % – Using Empirical Process Analysis and Process Optimization

Réduction de la teneur en charbon d'un gravier 2–32 mm de 3 % à < 0,002 % par analyse empirique et optimisation du processus

Desenriquecimiento de carbón en grava de 2–32 mm de un 3 % a < 0,002 % – utilización de un análisis empírico de procesos y optimización de procesos

Dr.-Ing. Dietmar Rose, Oberhausen (D) *)

Zusammenfassung In einer Aufbereitungsanlage für Kies 2–32 mm war eine Verringerung des Kohlegehaltes von maximal 3 Gew.-% auf <0,01 Gew.-% vorgegeben. Höhere Anforderungen an die Qualität des Korngrößenbereiches 2–8 mm, die einem oberen Grenzwert des Kohlegehaltes im Gesamtkies von 0,002 Gew.-% entsprachen, wurden mit einer empirischen Prozessanalyse und Prozessoptimierung mit geringem Aufwand bewältigt. Vorschläge zur weiteren Stabilisierung des Verfahrens, des wirtschaftlichen Ergebnisses und für zukünftige Aufgaben werden vorgestellt. Aus den Arbeiten gehen die Bedeutung der Anpassung von Standardmaschinen an neue Aufgaben, der Gestaltung der Aufgabe- und Austragsvorrichtungen an Maschinen und Apparaten für deren Effektivität sowie der Vorteil von kompakten Kombinationen unterschiedlicher Verfahrensschritte für eine Zielstellung hervor. Die empirische Prozessanalyse und Prozessoptimierung, vorgestellt an einem einfachen Beispiel, ermöglichen schnelle, einfache und effektive Lösungswege und Lösungen auf unterschiedlichen Gebieten.

Summary In a project concerning a mineral processing plant for gravel in the size range 2–32 mm, one specification was a reduction of the coal content from a maximum of 3 wt. % to < 0.01 wt. %. Higher requirements for the quality of the 2–8 mm grade, which corresponded to an upper limit of the coal content in the total gravel of 0.002 wt. %, were met with limited expense by means of empirical process analysis and process optimization. Proposals are made for the further stabilization of the process, its economic efficiency as well as for future projects. This work clearly indicates the importance of adapting standard machines to new application requirements and the design of machine feed and discharge equipment to improve efficiency. It also highlights the advantage of compact combinations of different process steps to meet a defined objective. The empirical process analysis and process optimization, which are presented on the basis of a simple example, enable fast, simple and effective solution processes and solutions for a wide range of fields.

Résumé Dans une installation de préparation de gravier de 2–32 mm, il s'agissait de réduire la teneur en charbon de 3 % maxi à < 0,01 %. Des exigences de qualité plus élevée pour la fraction granulométrique 2–8 mm, correspondant à une valeur supérieure de la teneur en charbon dans le gravier global de 0,002 %, ont été maîtrisées à peu de frais par une analyse empirique et optimisation du processus. Des propositions en vue d'une stabilisation plus poussée du procédé, du résultat économique et de l'adaptation à de futures applications sont présentées. Les travaux font ressortir l'importance de l'adaptation des machines standard à de nouvelles tâches et de la conception des dispositifs d'alimentation et d'évacuation des machines et appareils pour augmenter leur efficacité ainsi que l'avantage de combinaisons compactes de différentes phases de processus pour un objectif déterminé. La méthode d'analyse empirique et d'optimisation du processus, présentée à l'aide d'un exemple simple, permet d'obtenir des solutions rapides et efficaces dans différents domaines.

Resumen En una planta de procesamiento de grava de 2–32 mm se había preestablecido una reducción del contenido de carbón en un valor máximo de un 3 % para alcanzar < 0,01 %. Fácilmente pudieron satisfacerse las exigencias superiores relativas a la calidad del ámbito del tamaño del grano de 2–8 mm, que correspondían a un valor límite superior en cuanto al contenido de carbón en la totalidad de la grava, aplicando un análisis empírico de procesos y una optimización de procesos. Se presentaron propuestas a fin de mejorar todavía más la estabilización del proceso, los resultados económicos así como las futuras tareas. Estos trabajos dejan patente la importancia que reviste la adaptación de máquinas estándar a nuevas tareas y el diseño de los dispositivos de carga y de descarga en máquinas y aparatos para aumentar su eficacia, resaltando la ventaja que ofrecen combinaciones compactas de diferentes etapas de procesos a fin de alcanzar un objetivo concreto. El análisis empírico de procesos y la optimización de procesos, que aquí se presentan basándonos en un sencillo ejemplo, posibilitan vías de solución y soluciones rápidas, sencillas y eficaces en diferentes áreas.

1. Allgemeines zur empirischen Prozessanalyse

Prozessanalyse, Prozessoptimierung und Kontrolle der Ergebnisse laufen intensiv vor Ort und nebeneinander mit keinen oder nur kurzen Unterbrechungen ab. Die Auswahl des beteiligten Personenkreises und die Organisation der Zusammenarbeit richten sich nach der Aufgabenstellung. An erster Stelle stehen Informationen zur Ausgangssituation und die Einarbeitung des bisher

*) Beratender Ingenieur, Oberhausen (D)
(www.dr-dietmar-rose.de)

1. General Aspects of Empirical Process Analysis

Process analysis, process optimization and checking of results are performed intensively on site and parallel to each other with no or only short interruptions. The selection of the persons involved and the organization of their cooperation depends on the task in hand. The first necessity is information on the starting situation and the familiarization of those previously not confronted with

*) Consultant engineer, Oberhausen (D)
(www.dr-dietmar-rose.de)

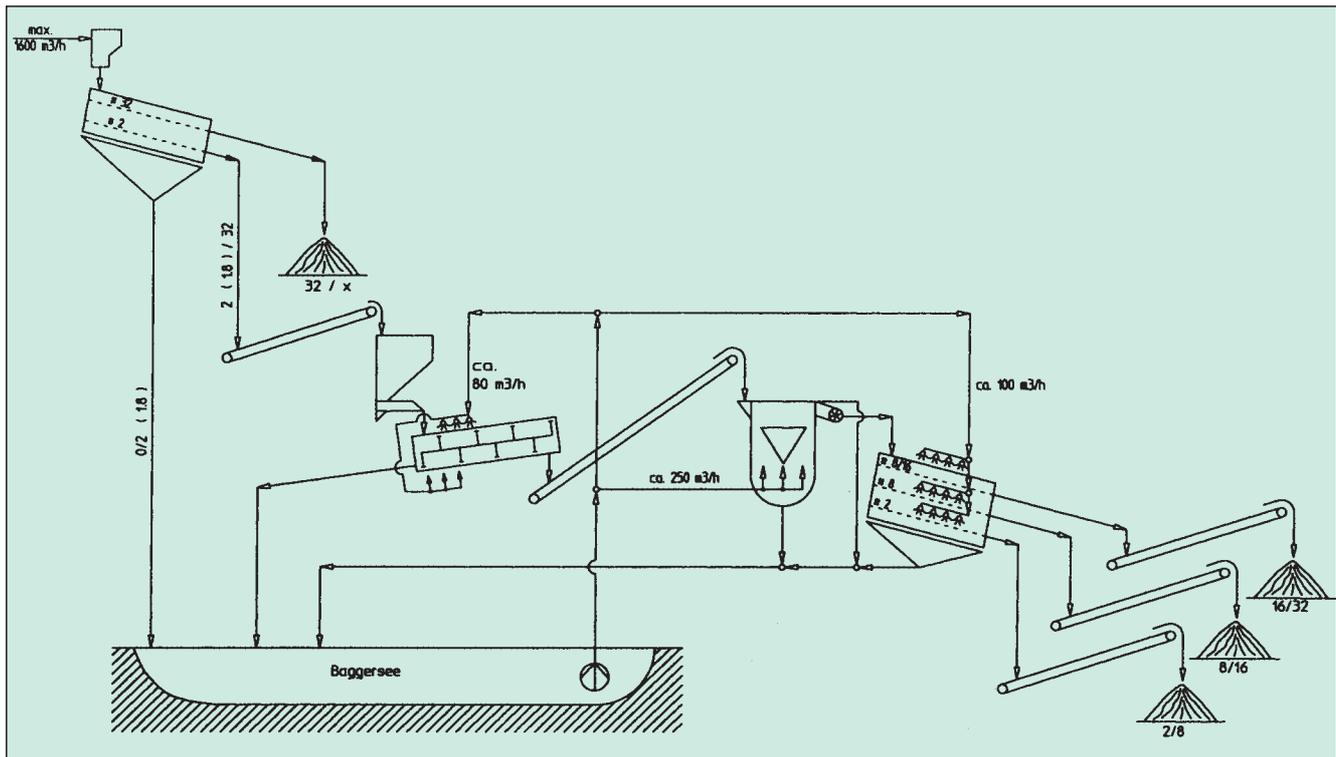


Bild 1: Verfahrensschema der Kiesaufbereitungsanlage [3]
 Fig. 1: Scheme of the gravel processing plant [3]

nicht mit der besonderen Situation befassten Personenkreises. Die Nutzung breit gefächelter Kenntnisse, Erfahrungen und Fähigkeiten aller Beteiligten vermeidet Fehler aus einer einseitigen Betrachtungsweise. Diese Methode ermöglicht durch die intensive Zusammenarbeit schnelle, einfache und effektive Lösungen, maximalen Zeitgewinn, Verbesserung der wirtschaftlichen Situation und ergibt häufig unerwartet wertvolle Erkenntnisse für zukünftige technische, wirtschaftliche und organisatorische Fortschritte. In dem hier beschriebenen Fall erarbeiteten sich

- der Betriebsleiter des Werkes, der sich langfristig mit der Anlage in der Praxis auseinandergesetzt hat, und
- Berater, die umfangreiche wissenschaftliche, technische, betriebswirtschaftliche und organisatorische Kenntnisse auf verschiedenen Gebieten besitzen und über Erfahrungen bei deren Umsetzung in Forschung, Entwicklung und betrieblicher Praxis verfügen,

vor Ort einen Überblick über wesentliche Schwachstellen und Wege zu deren Beseitigung.

2. Ausgangssituation

2.1 Die Bedeutung des Kohlegehaltes als Qualitätsmerkmal

Kohlepartikel schwimmen infolge ihrer geringen Dichte in feuchtem Beton während der Vibrationsverdichtung und der damit verbundenen Fluidisierung an dessen Oberfläche auf. Sie wirken auf Sichtflächen optisch störend. Reibende Bearbeitung verstärkt die Beeinträchtigung der Ansicht durch braune bis schwarze Striche.

Kohle ist porös und nimmt Wasser auf. Kohlepartikel auf Betonflächen führen unter Nässe- und Frosteinwirkung zu oberflächlichen Abplatzungen. Sie verringern die innere Gefügestabilität nicht, können aber unter frostfreien Bedingungen zu oberflächlichen Angriffspunkten für Erosion werden.

Der Kohlegehalt in Kiesproben wird durch Abschwimmen in einer Schwerflüssigkeit mit der Dichte $1,4 \text{ g/cm}^3$ ermittelt.

the specific situation. Using the wide-ranging knowledge, experience and capabilities of all those involved avoids errors that can be caused by a one-sided approach to the problem. Based on the intensive cooperation, this method enables fast, simple and effective solution processes and solutions, a maximized time gain, an improvement of the economic situation and often results in unexpectedly valuable findings to further future, technical, economic and organizational advances. In the case described,

- the plant manager, Mr D. Fischer, who has been in charge of the practical operation of the plant for a long time, and
- consultants with extensive scientific, technical, economic and organizational knowledge in various fields and experience in the application of this know-how in research, development and operational practice

worked without any reservations in a concentrated and well-coordinated team to obtain an overview of the key weak points of the plant and options to eliminate these.

2. Starting Situation

2.1 The significance of the coal content as a quality characteristic

Owing to their low density, coal particles float at the surface of wet concrete during vibrational compaction and associated fluidization. They impair the visual appearance of the concrete surfaces. Frictional machining further impairs the appearance, leaving brown to black lines.

Coal is porous and absorbs water. When exposed to moisture and frost, coal particles on concrete surfaces lead to surface spalling and chipping. They do not lower the internal structural stability, can, however, form weak points on the surface that are susceptible to erosion.

The coal content in gravel samples is determined by the sink-float process in a dense medium with the density 1.4 g/cm^3 .

- The differences in density between the gravel components with densities $> 2.6 \text{ g/cm}^3$ and the coal, generally

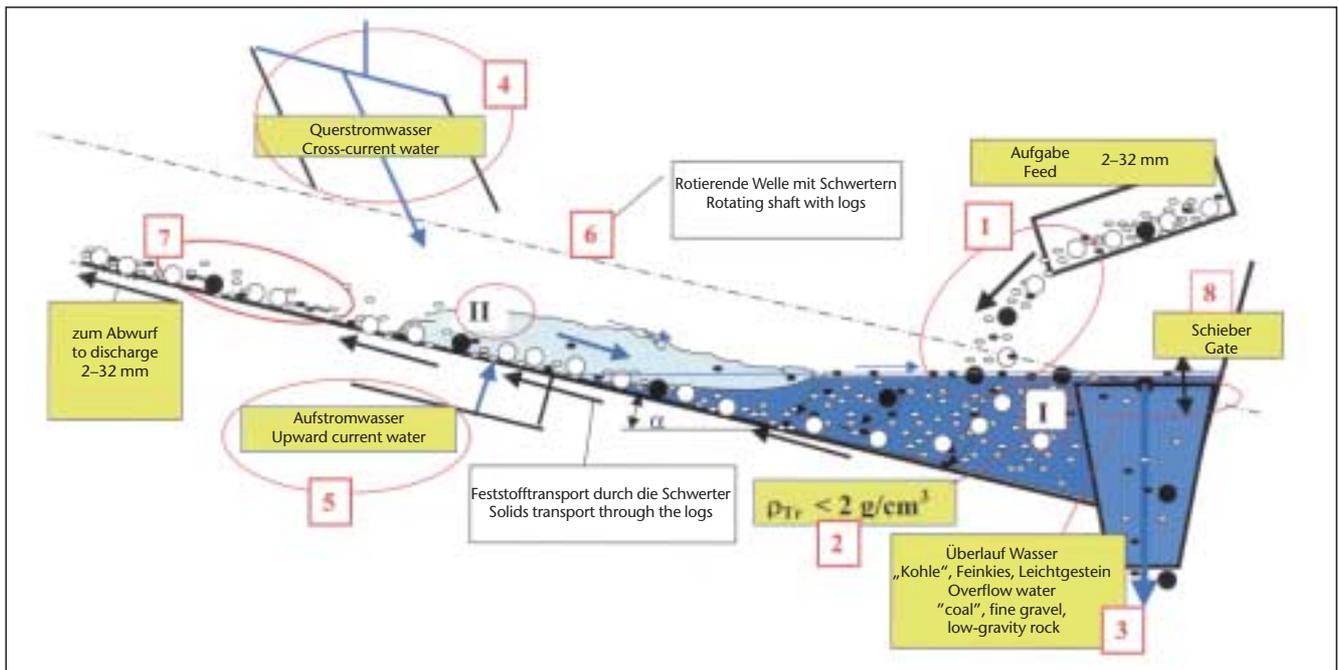


Bild 2: Schwerterwäsche als Sortierer, Abtrennung von Kohle aus Kies 2–32 mm vor der Optimierung
 Fig. 2: Log washer used as separator, separation of coal from gravel 2–32 mm prior to the optimization

- Die Dichteunterschiede zwischen den Bestandteilen des Kieses mit Dichten $> 2,6 \text{ g/cm}^3$ und der Kohle, in der Regel $< 1,4 \text{ g/cm}^3$, bieten gute Voraussetzungen für eine Dichtesortierung. Steigende oder teilweise hohe Kohlegehalte der Lagerstätte und Forderungen nach niedrigeren Restkohlegehalten können jedoch schnell zum Problem für den Hersteller werden.
- Kohleanteile neigen beim Lagern von Sand- und Kiesschüttungen zur Entmischung. Bei Entnahme von oben aus den Rändern von Schüttkegeln kann der Kohlegehalt über dem Durchschnittswert der Schüttung liegen. [1, 2]

2.2 Lagerstätte, Anlage, Produkte

Über das Kieswerk wurde bereits ausführlich berichtet [3]. Bild 1 soll zur Erläuterung der folgenden Darstellungen dienen. Der Saugbagger pumpt die braunkohlehaltigen Kiessande zum Vorsieb. Er trennt die Rohkiesfraktion 1,8–32 mm ab. Diese wird in einem Zwischenbunker gespeichert und von dort dosiert auf die Doppelschwertwäsche aufgegeben. Ein Teil der Braunkohle wird mit dem Überlauf abgeschieden. Das Transportband beschickt die luftgepulste Setzmaschine (3 m² Setzfläche). Sie ist mit einer Zellradschleuse für den Produktaustrag ausgestattet. Das folgende Klassiersieb trennt den Kies in die Fraktionen 2–8, 8–16 und 16–32 mm.

2.3 Inbetriebnahme der Anlage

Unmittelbar nach der Inbetriebnahme gelangten noch grobe Kohlestücke bis zu 30 mm Korngröße aus der Schwertwäsche in die Setzmaschine (Bild 2). Die Einstellung der Setzmaschine zum sicheren Abtrennen dieser Kohleanteile brachte unvermeidbar hohe Kiesverluste im Überlauf. Eine Steigerung der Querstromwassermenge in der Schwertwäsche führte hier zu einem höheren Grobkohleabstoß mit dem Waschwasser. Damit verbunden waren eine Absenkung des Kohlegehaltes und der oberen Korngröße des Aufgabematerials zur Setzmaschine. Die Kiesverluste in deren Überlauf ließen sich danach durch Anpassung der Einstellungen deutlich verringern.

- Die Korngrößenklassen 8–16 mm und 16–32 mm – nach Angabe des Betreibers 60 % des Gesamtkieses – waren kohlefrei. Der Restkohleinhalt des Kieses lag in der Fraktion 2–8 mm vor.

$< 1.4 \text{ g/cm}^3$, are a good basis for gravity separation. An increasing or locally high coal content in the deposit and calls for lower residual coal contents can, however, very quickly develop into a problem for the gravel producers.

- Coal tends to segregate during the storage of sand and gravel. If material is taken from the edges of the material piles, the content of coal can exceed the average value for the material overall. [1, 2]

2.2 Deposit, plant, products

A detailed report on the gravel works was presented in an article in AT 41 (2000), No. 1, p. 13/17 [3].

Fig. 1 illustrates the following description. The suction dredger pumps the gravel/sand containing brown coal to the scalping screen. It screens off the raw gravel fraction 1.8–32 mm. This is intermediately stored in a surge bin and from there metered to the double log washer. Part of the brown coal is rejected in the overflow. The transport belt feeds the air-pulsed jig (3 m² jiggling surface). It is equipped with a star wheel for product discharge. The downstream sizing screen separates the gravel into the grades 2–8, 8–16 and 16–32 mm.

2.3 Commissioning of the plant

Immediately after commissioning, coarse pieces of coal up to 30 mm in particle size found their way from the log washer into the jig (Fig. 2).

Adjustment of the jig to ensure the reliable separation of these coal particles led to unacceptably high gravel losses in the overflow. An increase in the amount of cross-current water in the log washer led to the rejection of a higher percentage of the coarse coal with the washing water. Associated with this were a lowering of the coal content and of its maximum particle size in the feed of the jig. The gravel losses in its overflow could be substantially reduced by adjusting the settings.

- The grades 8–16 mm and 16–32 mm – which made up 60 % of the total gravel according to the operator's specifications – were free of coal! The residual coal content of the gravel could be found in the 2–8-mm grade.
- But when the plant feed contained a higher content of coal, it was still not possible to ensure reliable compliance with the

- Bei hohen Aufgabebelangen war noch keine dauerhafte Unterschreitung des vereinbarten maximalen Kohlegehaltes von 0,01 % im Gesamtkies gesichert.
- Zwischen unterschiedlich langen Perioden mit den erwarteten niedrigen Kohlegehalten gab es kürzere Zeiträume mit überhöhten Werten.

Ein eindeutiger Nachweis des Zusammenhanges zwischen höheren Restkohlegehalten im Produkt und hohen Kohlegehalten bis 3 % im Rohkies lag nicht vor. Defekte Zentrifugenräder der Zentrifugenschleuse waren Mitursache für Qualitätseinbrüche.

Bild 3 vermittelt einen Überblick über die Korngrößen und Mengen der Kohle auf dem Weg durch die Aufbereitung vor der Optimierung.



Bild 3: Korngrößen der Braunkohle im Prozess, vor der Optimierung

Fig. 3: Particle sizes of the brown coal in the process, prior to the optimization

3. Durchführung der empirischen Prozessanalyse und Prozessoptimierung

3.1 Neue Qualitätsforderungen für die Korngrößenklasse 2–8 mm

Betonwerke bekamen als Folge nicht vorhersehbarer zeitweise erhöhter Kohlegehalte in der Fraktion 2–8 mm Probleme mit den Abnehmern, reklamierten Lieferungen und erteilten nur in eingeschränktem Umfang neue Aufträge.

Als neuer Richtwert wurde daher Folgendes festgelegt: maximal 1 (– 2) Kohlekörner je kg in der Fraktion 2–8 mm. Das entspricht max. 0,001 (– 0,002) % im Gesamtkies gegenüber dem früheren Wert von 0,01 %.

3.2 Probenahme, Probeteilung, Analytik und Auswertung

Vergleichende Bewertungen der Arbeitsweise des Verfahrens und der Anlage oder ihrer Teile nur anhand des Produktes ohne Bezug auf wechselnde Zusammensetzungen des Aufgabegutes führen zu Fehleinschätzungen und -handlungen. Für beide Stoffe müssen aussagekräftige Analyseergebnisse ermittelt und relativiert werden.

Geringe Restgehalte an Kohle im Bereich 2–8 mm, gekennzeichnet durch weniger als 3 Körner unter 3 mm je kg Kies, und ein sicherer Nachweis geringer Änderungen stellen hohe Anforderungen an eine mit möglichst geringem Zeitaufwand vor Ort nutzbare Methodik.

Die Effektivität des Aufbereitungsprozesses konnte wegen fehlender messtechnischer Voraussetzungen nicht über Bilanzierung ermittelt werden. Die Aufgabemenge wurde durch Festlegen des Aufgabeschiebers unter dem Silo konstant gehalten. Der Durchsatz der Setzmaschine betrug dann 62 t/h.

Zur Bewertung des Aufbereitungsergebnisses wird die relativierende Kennziffer „Abreicherung“ als der Quotient aus dem Kohlegehalt des Austrages und dem Kohlegehalt der Aufgabe eines Anlagenteils oder der Gesamtanlage benutzt, z. B.:

$$\text{Abreicherung der Schwertwäsche} \quad A_{SW} = \frac{G_S}{G_A} * 100 \quad [\%]$$

$$\text{Kohlegehalt, Austrag der Schwertwäsche} \quad G_S \quad [\%]$$

$$\text{Kohlegehalt, Aufgabe der Schwertwäsche} \quad G_A \quad [\%]$$

(weitere Bezeichnungen siehe Tabelle)

Hohe Werte für die Abreicherung bedeuten schlechte und niedrige Werte für gute Trennergebnisse.

agreed limit for the maximum coal content of 0.01 % in the total gravel.

- Periods of varying length with the expected low coal content were interspersed with short periods with excessive values.

There was no clear evidence of an exclusive relationship between higher residual coal contents in the product and high coal contents up to 3 % in the raw gravel. Defective cells of the star wheel feeder contributed to quality losses.

Fig. 3 provides an overview of the particle sizes and quantities of the coal on the way through the preparation process prior to optimization.

3. Application of Empirical Process Analysis and Process Optimization

3.1 New quality specifications of the 2–8-mm grade

As a result of unexpected increases in the coal content of the 2–8-mm grade at certain times, concrete plants experienced problems with their customers, who complained about consignments and subsequently only issued limited new orders.

New guide value: maximum 1 (– 2) coal particles per kg in the 2–8-mm grade. That corresponds to max. 0.001 (– 0.002) % in the total gravel compared to the earlier project value of 0.01 %.

3.2 Sampling, sample division, analysis and evaluation

Comparative evaluations of the operating principle of the process/plant or its components only based on the product values and without reference to the varying composition of the feed material lead to misinterpretations and inappropriate measures. For both materials, reliable analysis results must be determined and relativized.

A low residual coal content in the 2–8-mm grade, with less than 3 particles below 3 mm per kg gravel, and the reliable detection of small changes means high requirements must be met by the on-site methods with a minimized time requirement.

On account of the absence of necessary measurement systems efficiency of the processing operation could not be determined by balancing. The feed rate was kept constant by fixing the position of the feed gate below the silo. The throughput rate of the jig was then 62 t/h.

To evaluate the product of the preparation process, the relativizing “decoaling” number, i.e. the quotient from the coal content of the discharge and the coal content of the feed of a plant section or the entire plant, is used. For example:

$$\text{Decoaling of the log washer} \quad A_{SW} = \frac{G_S}{G_A} * 100 \quad [\%]$$

$$\text{Coal content, discharge of the log washer} \quad G_S \quad [\%]$$

$$\text{Coal content, feed of the log washer} \quad G_A \quad [\%]$$

(For the explanation of other symbols, please refer to the table.) High values for the decoaling mean poor and low values for good separation efficiency.

During elaboration of the methods to be applied, important insights were gained from observations in addition to the first useful measurement results as a result of the intensive examination and consideration of the problems.

For the defined upper limit for the coal content in the feed $G_A = 3 \text{ wt. } \%$, the **Table** contains the calculation of the boundary

Tabelle
Table

Aufgabe, Anlage = Schwertwäsche, Kohlegehalt		G,A								
Schwertwäsche		ohne		100	40	20	10	5	2	%
Abreicherung, relativ, auf		A,SW								
Abwurf Schwertw. =Aufg. Setzmasch.		G,S		3,0	1,2	0,6	0,3	0,15	0,06	%
Setzmaschine		A,SM								
Abreicherung, A,SM %		G,Kges.		0,6	0,24	0,12	0,06	0,03	0,012	%
		A,SM %		20	10	5	2,5	1,25	0,625	%
Errechner/ erreichter Kohlegehalt im Gesamtkies		G,Kges		0,3	0,12	0,06	0,03	0,015	0,006	%
		A,SM %		10	5	2,5	1,25	0,625	0,3125	%
		G,Kges		0,15	0,06	0,03	0,015	0,0075	0,003	%
		A,SM %		5	2,5	1,25	0,625	0,3125	0,15625	%
		G,Kges		0,075	0,03	0,015	0,0075	0,00375	0,0015	%
		A,SM %		2,5	1,25	0,625	0,3125	0,15625	0,078125	%
		G,Kges		0,0375	0,015	0,0075	0,00375	0,001875	0,00075	%
Sorte 2-8 mm:		A,SM %		5	2,5	1,25	0,625	0,3125	0,15625	%
Kohlegehalt in %		G,08		0,375	0,15	0,075	0,0375	0,01875	0,0075	%
Kohlegehalt, Stücke		K,St		150	60	30	15	7,5	3	pro 1000 g
(φ 25 mg /Stück)		G,08		0,15	0,06	0,03	0,015	0,0075	0,003	%
		K,St		60	24	12	6	3	1,2	pro 1000 g
Die gesamte Restkohle des Kiesel liegt in Sorte 2-8mm vor		G,08		0,075	0,03	0,015	0,0075	0,00375	0,0015	%
		K,St		30	12	6	3	1,5	0,6	pro 1000 g
Sorte 2- 8 mm ca.40% des Gesamtkiesel		G,08		0,0375	0,015	0,0075	0,00375	0,001875	0,00075	%
		K,St		15	6	3	1,5	0,8	0,3	pro 1000 g

$G,A = 3,0\%$

Vereinbart:
max. 0,01 % Kohle
im Gesamtkies.

Erreichter
Arbeitsbereich nach
der 1. Stufe der
Ertüchtigung.

Zielstellung der
Ertüchtigung:
max. 1 „Kohlekorn“
in 1000 g
der Sorte 2-8 mm,
entsprechend etwa
0,002 % im
Gesamtkies.

Während der 2. Stufe
der Ertüchtigung
erreichter
Arbeitsbereich.

Tab. : Kombination der Abreicherung in der Schwertwäsche (A,SW) u. in der Setzmaschine (A,SM) -Kohlegehalt: 2/8 (G,08,KSt) aufber. Ges.-Kies, (G,Kges) -Erreichte Arbeitsbereiche

← Beispiel, ○ Störung

Während der Erarbeitung der Methodik fielen in der intensiven Auseinandersetzung mit den Problemen neben den ersten verwertbaren Messergebnissen schon wichtige Erkenntnisse aus Beobachtungen an.

Die Tabelle enthält für den vorgegebenen oberen Kohlegehalt in der Aufgabe $G,A = 3$ Gew.-% die Berechnung der Grenzlinie, bei der als Ergebnis dank der Kombination unterschiedlicher Abreicherungen durch die Schwertwäsche A,SW und Setzmaschine A,SM die Zielstellung erreicht wird. In diesem Rechenschema wird davon ausgegangen, dass der Relativwert „Abreicherung“ nur geringfügig von veränderten Kohlegehalten im Rohkies beeinflusst wird.

An einem Beispiel wird in der Tabelle, den violetten Pfeilen folgend, das Ergebnis der Optimierungsarbeiten dargestellt.

3.3 Abläufe in der empirischen Prozessanalyse und Optimierung

Die Untersuchungen zur Bewältigung der Aufgabenstellungen konzentrierten sich, ohne die Suche nach Generallösungen zu vernachlässigen, in Anbetracht der kritischen Situation auf einfache, schnell und kostengünstig durchzuführende, auch vorübergehend provisorische Änderungen in der vorhandenen Anlage.

Prozessanalyse und Prozessoptimierung liefen nahezu parallel ab. Es ist nicht möglich, Erkenntnisse und Maßnahmen in ihrer zeitlichen Reihenfolge zu beschreiben und jeder durchgeführten Maßnahme einen bestimmten Beitrag zur Verbesserung zuzuordnen. In einigen Fällen konnte Beseitigung störender Wirkungen bereits durch Beobachtung bestätigt werden.

Der Betriebsleiter stellte seine längerfristigen Beobachtungen und die Kenntnisse über das Verhalten der Anlage unter wechselnden Bedingungen für einen schnellen Einstieg zur Verfügung. Besonders die Variation von Einstellungen in Anwesenheit der

line at which the objective of the process is achieved thanks to the combination of various decoaling rates from the log washer A,SW and the jig A,SM. In this calculation scheme it is assumed that the relative characteristic „decoaling“ is only slightly influenced by changes in the coal content of the raw gravel.

In one example, following the purple arrows, the result of optimization work is indicated.

3.3 Procedures in empirical process analysis and optimization

Without neglecting the search for general solutions, considering the critical situation, the tests to meet the requirements concentrated on simple, fast and low-cost, and even temporary changes of the equipment installed at the plant.

Process analysis and process optimization were performed almost parallel. It is not possible to describe findings and measures in a chronological order and to assign a specific contribution to the performance improvement to each measure implemented. In some cases, the elimination of disturbing factors could already be confirmed by observation.

To get the process analysis and optimization off to a swift start, the plant manager made available his long-term observations and knowledge on the behaviour of the plant under varying conditions. Observations and analysis of the coal content, especially with variation of the settings in the presence of the consultants formed the basis for the further work. For evaluation, samples with direct particle counts without additives and results from the simplified gravity analysis for the determination of coal content with dense medium, density 1.4 g/cm^3 , were available.

With knowledge of general and basic scientific principles, of experience and know-how, schematic models of the actual situation and theoretical models for ideal procedures were developed for

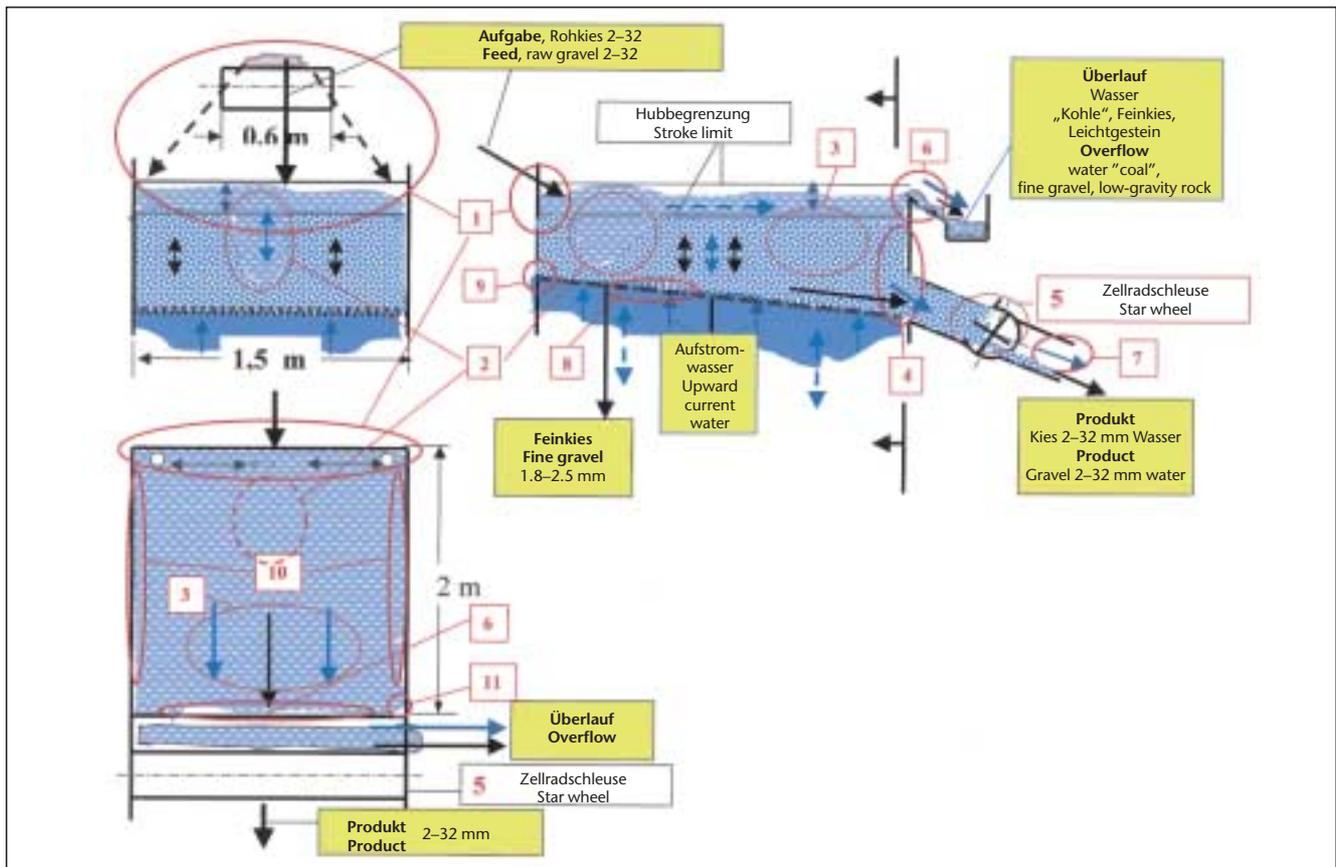


Bild 4: Setzmaschine, kritische Punkte
Fig. 4: Jig, critical points

beratenden Seite bildete die Grundlage für die weitere Arbeit. Zur Auswertung standen Probenahmen mit direkten Kornauszählungen ohne Hilfsmittel und Ergebnisse aus der vereinfachten Dichteanalyse zur Bestimmung von Kohlegehalten mit Schwerflüssigkeit, Dichte $1,4 \text{ g/cm}^3$, zur Verfügung.

Unter Nutzung allgemeiner wissenschaftlicher Grundlagen, von Erfahrungen und Know-how wurden für die einzelnen Verfahrensstufen und ihre Elemente unter Berücksichtigung von Rückkopplungen schematische Modelle für die Ist-Situation und gedankliche Modelle für ideale Abläufe entwickelt. Aus dem Vergleich der beiden ergaben sich Ansätze für kurzfristige Entscheidungen und deren umgehende Durchführung.

Solche Ansatzpunkte sind z. B. in Bild 4 für die Setzmaschine kenntlich gemacht. In der Regel konnten die Ergebnisse aller vor Ort festgelegten und unverzüglich durchgeführten Änderungen sofort durch Beobachtungen oder Vor-Ort-Analysen bestätigt werden. Die dort getroffenen Entscheidungen wurden durch später ausgeführte Analysen und Auswertungen bis auf einen Fall nachträglich bestätigt. Dadurch wird die Effizienz der Methodik nachgewiesen. Die Ergebnisse nachträglicher Auswertungen und die Auseinandersetzung mit diesen ermöglichte weiterführende Ansätze für neue Lösungsvorschläge.

3.4 Optimierung der Schwertwäsche

Schwertwäschen werden schon länger zur Abscheidung von Kohle aus Kiesen genutzt. In früheren Anlagen wurden mit Schwertwäschen Abreicherungen von 40–30 % erreicht. In der ersten Phase lagen diese bei 30 %. Diese Situation zeigt Bild 2 mit den möglichen Ansatzpunkten. Ohne entscheidende Fortschritte an der Schwertwäsche wäre ein Erreichen der neuen Zielstellung allein durch Optimierung der Setzmaschine nicht möglich (Tabelle).

the individual process stages and the elements of these. Possible reactions were taken into consideration. From the comparison of the two models, processes for short-notice decisions and their immediate implementation were derived.

Such starting points are shown for example in Fig. 4 for the jig. Generally, the results of all defined and instantly implemented on-site changes could be confirmed by observations or on-site analyses. With one exception, the decisions made were subsequently confirmed by analyses and evaluations performed later. This proved the efficiency of the methods. The results of subsequent evaluations and working with these for the basis for advanced approaches for the development of new solution proposals.

3.4 Optimization of the log washer

Log washers have long been used for removing coal from gravel. In earlier plants, decoaling rates of 40 to 30 % were achieved with log washers.

In the first phase the decoaling rate of the log washer reached 30 %. This situation is shown by Fig. 2 with the possible starting points. Without crucial advances in the log washer, it would not have been possible to achieve the new objective solely by optimization of the jig (Table).

Fig. 5 shows the principle of operation of the log washer after optimization of the water input. In Zone 1 is an autogenous dense medium made up with coarse sand, that is constantly added from the raw gravel. The sedimentation of the coarse sand is prevented by the rotating logs. The largest part of the coarse coal particles and a part of the fine coals from the raw gravel immediately float on the surface of the medium directly to the overflow. Other particles are either mixed as a result of their fall energy directly or indirectly by the logs into the material in the medium and trans-

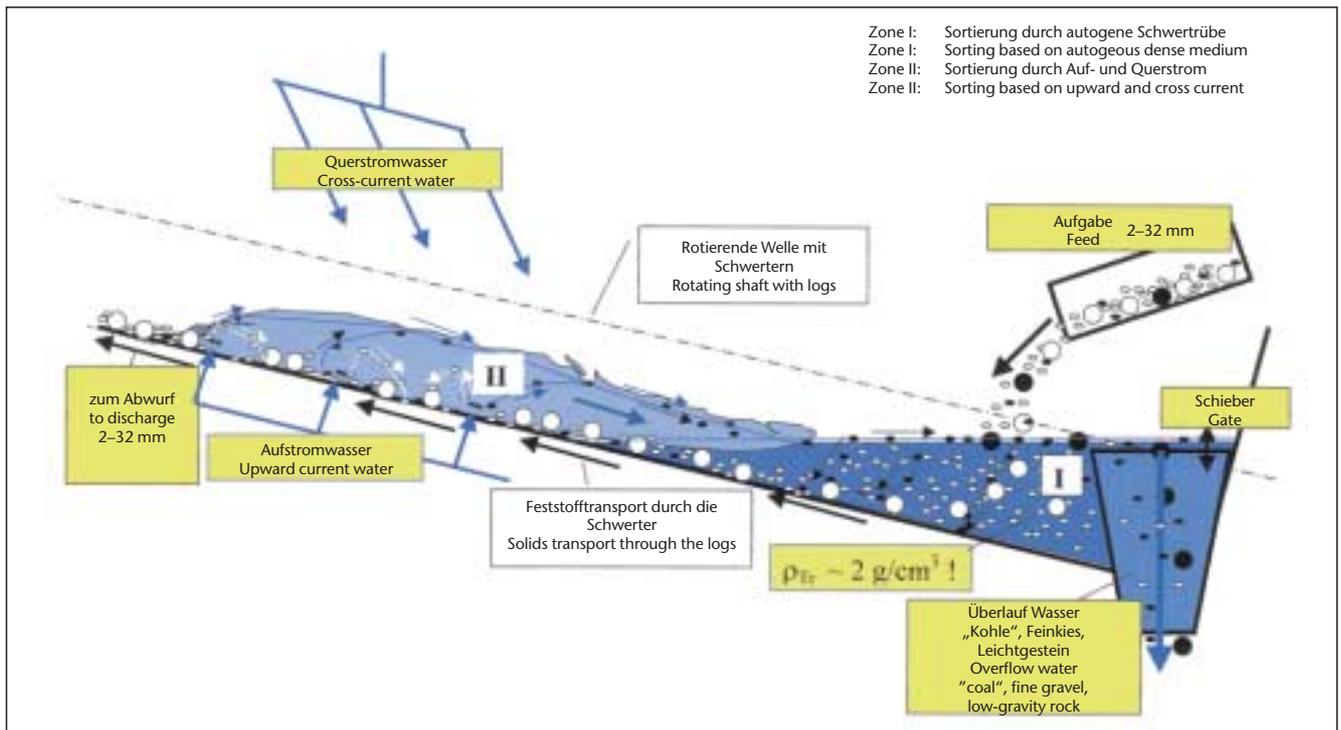


Bild 5: Schwertwäsche als Sortierer, Abtrennung von Kohle aus Kies 2–32 mm
 Fig. 5: Log washer used as separator, separation of coal from gravel 2–32 mm

Bild 5 zeigt die Arbeitsweise der Schwertwäsche nach der Optimierung des Wassereinsatzes. In Zone I liegt eine autogene Schwertrübe aus Grobsand vor, die sich ständig aus dem Rohkies ergänzt. Die Sedimentation des Grobsandes wird durch die rotierenden Schwertler behindert. Der größte Teil der groben und ein Teil der feinen Kohle aus dem Rohkies schwimmen unmittelbar auf der Oberfläche der Trübe direkt zum Überlauf. Andere Körner werden entweder durch ihre Fallenergie in die Schüttung direkt oder durch die Schwertler in die Trübe eingemischt und mit dem Kies durch die Schwertler aus der Zone I heraus transportiert. Dabei findet auch eine Zerkleinerung von grobkörniger Kohle statt. Unter Zone II wurden zusätzliche Düsen für das Unterwasser angebracht. Aufstrombereiche und Sedimentationszonen folgen aufeinander. In beiden Bereichen findet eine Sortierung nach der Gleichfälligkeit statt. Dadurch reichern sich die Kohleteile auf der Oberfläche des Kiesbettes an. Sie werden auf die Oberfläche der Schwertrübe der Zone I zurückgespült und auf dieser mit dem Wasser entweder zum Überlauf transportiert oder bei Einsinken in die Trübe erneut dem Kreislauf zugeführt. Am oberen Ende der Schwertwäsche muss der Kies so weit entwässert sein, dass ein problemloser Bandtransport gesichert ist. Die Abreicherung der Kohlefraktion > 5,6 mm betrug bei Bezug auf den ursprünglichen Anteil dieser Fraktion in der Aufgabe nach der 1. Phase nur 30 %. In welchem Umfang die Zerkleinerung von grober Kohle für dieses Ergebnis verantwortlich ist, wurde nicht untersucht. Kohleanteile > 5,6 mm werden zu 100 % abgetrennt. Mit den Optimierungsmaßnahmen wurde die Abreicherung der Schwertwäsche von anfangs 30 % auf 5 % verbessert.

Beispiel für eine Störung:

In der Tabelle ist eine Störungssituation mit einem roten Pfeil und rotem Kreis als Abweichung vom dazugehörigen Normalzustand nach Abschluss der zweiten Ertüchtigungsphase dargestellt.

Im Bereich 2–8 mm waren unmittelbar Kohleanteile mit Korngrößen über 3 mm zu erkennen. Analytisch wurden 15 Kohlestücke/kg ermittelt. Bei Überprüfung des Abwurfes der Schwertwäsche

ported with the gravel out of Zone I by the logs. In this process, the coarse-grained coal is comminuted. Under Zone II additional nozzles are installed for the water below the weir. Upstream areas and sedimentation zones follow each other. In both areas the particles are sorted depending on their equal falling properties. As a result the coal components concentrate on the surface of the gravel bed. They are flushed back with the water above the weir on to the surface of the dense medium of Zone I and on this they are either transported with the water to the overflow or, if they sink into the medium, recirculated. At the upper end of the log washer, the gravel must be sufficiently dewatered to guarantee trouble-free belt transport.

After the first phase, the reduction of the coal fraction > 5.6 mm only totalled 30 % relative to the original content of this fraction in the feed after the 1st phase.

To what extent the comminution of coarse-grained coal was responsible for this result, was not examined. 100 % of the coal particles > 5.6 mm are removed! With the optimization measures, the decoaling rate of the log washer was improved from 30 % initially to 5 %!

Example of a disruption

In the table, this disruption is indicated with a red arrow and red circle as a deviation from the associated normal state after completion of the second improvement phase.

In the 2–8-mm product, coal with particles sized exceeding 3 mm could be immediately identified. In an analysis, 15 coal pieces/kg were determined. As part of a check of the log washer discharge, pieces of coal exceeding 5 mm in size were found in samples removed by hand. These facts were identified as an indication of the unacceptable functioning of the log washer with reversion to its performance prior to optimization (see also Fig. 3). Analyses returned a decoaling rate of just 30 % for the log washer. The cause was identified as the unauthorized closure of the gate for the water below the weir by persons during downtime on the weekend, which had therefore provoked the disturbance.

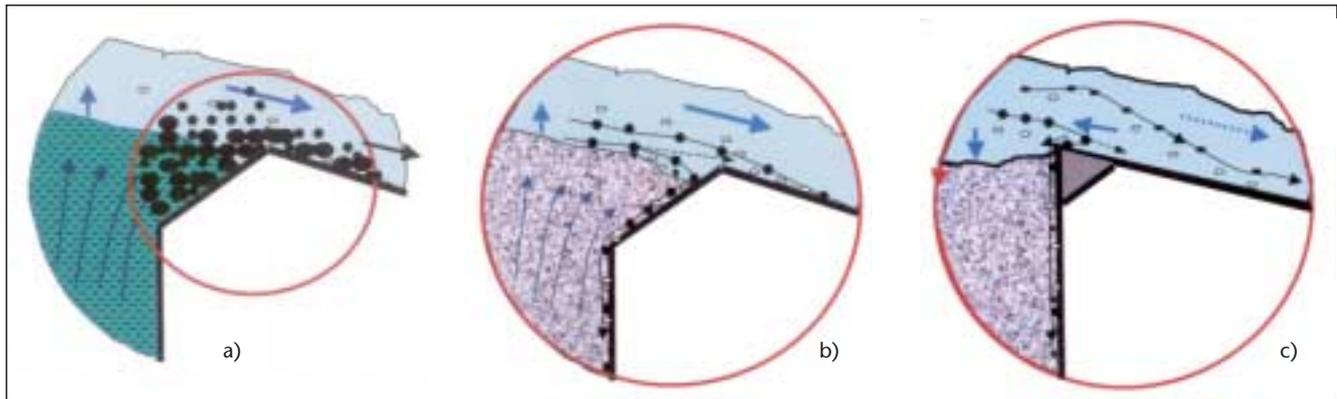


Bild 6a: Kohleaufbereitung. Setzmaschine, Kohleaustrag, schematisch

Fig. 6a: Coal preparation. Jig, coal discharge, schematic

Bild 6b: Kiesaufbereitung Überlauf, beim Heben. Rückvermischung von Kohle durch Verringerung der Aufstromgeschwindigkeit, Randeffekte, schematisch S. Bild 4

Fig. 6b: Gravel processing. Jig overflow during lifting, back mixing of coal owing to reduction in the upward current velocity, boundary effects, schematic, see Fig. 4

Bild 6c: Kiesaufbereitung. Rückvermischung von Kohle am Überlauf beim Setzen des Bettes, Randeffekte, schematisch S. Bild 4

Fig. 6c: Gravel processing. Back mixing of coal at the overflow during jigging of the bed, boundary effects, schematic, see Fig. 4

waren in Handproben Kohlestücke über 5 mm zu beobachten. Dies wurde als Hinweis auf eine unzureichende Arbeitsweise der Schwertwäsche mit Rückschritt zum Zustand vor der Optimierung erkannt (Bild 3). Analysen ergaben für die Schwertwäsche eine Abreicherung von nur 30 %. Ursache war offensichtlich, dass während des Stillstandes am Wochenende die Schieber des Unterwassers geschlossen wurden und es damit zu einer Störung kam.

3.5 Optimierung der Setzmaschine

In Bild 4 sind Ansatzpunkte für mögliche Abweichungen vom Idealmodell gekennzeichnet. Dort können Wandeffekte, Entmischungen und Rückvermischungen die Kontinuität des optimalen Verfahrensablaufes stören.

Aus der Vorabscheidung der Kohleanteile > 5,6 mm nach Optimierung der Schwertwäsche ergaben sich für die Setzmaschine hinsichtlich der Gleichfälligkeitsfaktoren günstige Bedingungen.

3.5.1 Setzmaschine – Rückvermischung am Überlauf

Nach dem Erreichen der Abtrennung aller groben Kohlepartikel in der Schwertwäsche trat der erwartete Qualitätssprung an der Setzmaschine noch nicht ein. Eine einfache Auszählung der Kohlestücke zeigte, dass in den Ecken und an der Stirnwand der Setzmaschine eine zwei- bis dreifache Anreicherung der Kohlepartikel gegenüber den Proben 30 cm vor dem Austrag vorliegt. Bei der Kohleaufbereitung werden aus der Setzmaschine große Feststoffmengen im Überlauf ausgetragen (Bild 6 a). Die schräge Fläche am Überlauf unterstützt die Bewegung der groben Kohleteile aus dem Setzbett heraus in die Ablaufrutsche. Bei der Kiesaufbereitung mit der gleichen Maschine befinden sich in der feststoffarmen Trübe des Überlaufs nur geringe Mengen feinkörniger Kohle und etwas Feinkies. Die kleinen Einzelkörner sind den Schleppkräften des waagrecht pulsierenden Wassers unbehindert ausgesetzt, sinken dabei ab und gelangen zurück in das Setzbett.

(Bild 6 b, c) Diese Situation konnte mit einfachen Mitteln schnell geändert werden.

Die größten Fortschritte in der Abreicherung der Setzmaschine A,SM von anfangs 6–4 auf 1–0,5 % ergaben sich aus der Optimierung des Überlaufes und der Randbedingungen (Tabelle).

3.5 Optimization of the jig

Fig. 4 shows starting points for possible deviations from the ideal model. Here wall effects, segregation and backmixing can disrupt the continuity of optimal processing.

As a result of the preliminary removal of the coal components > 5.6 mm after optimization of the log washer, favourable conditions resulted for the jig in respect of the equal falling factors.

3.5.1 Jig, back mixing at the overflow

Despite the removal of all coarse coal particles in the log washer, the expected leap in quality of the jig product did not ensue. A simple counting of the coal pieces showed that in the corners and at the front wall of the jig, the concentration of the coal particles was double or treble that of samples taken 30 cm in front of the discharge.

In coal preparation, large quantities of solids are discharged from the jig in the overflow (Fig. 6 a). The sloped surface at the overflow is conducive to the movement of the coarse coal particles out of the jig bed into discharge chute. In gravel processing with the same machine, only small quantities of fine-grained coal and some fine gravel are found in the low-solids slurry of the overflow. The small individual grains are freely exposed to the frictional forces of the horizontally pulsing water, sink as result and report back to the jig bed (Fig. 6 b, c, see also 3.5.2). This situation could be quickly remedied by simple means.

The greatest improvement in the decoaling rate of the jig A,SM from 6–4 % at the beginning to 1–0.5 % resulted from the optimization of the overflow and the general conditions (Table).

3.5.2 Jig, continuity of the upstream current of water

From a host of reasons for backmixing in the jig bed prior to discharge, the water loss with the exit of the gravel from the star wheel should be given special consideration (Fig. 7). With 40 t/h gravel 10...15 m³/h water is discharged, which is taken from the upward current water in the proximity of the overflow, if there is not sufficient compensation above the discharge element.

Slow-acting wear and especially defects of the discharge device result in additional losses of upstream water and can lead to back-mixing with associated detrimental effects on the jig performance.

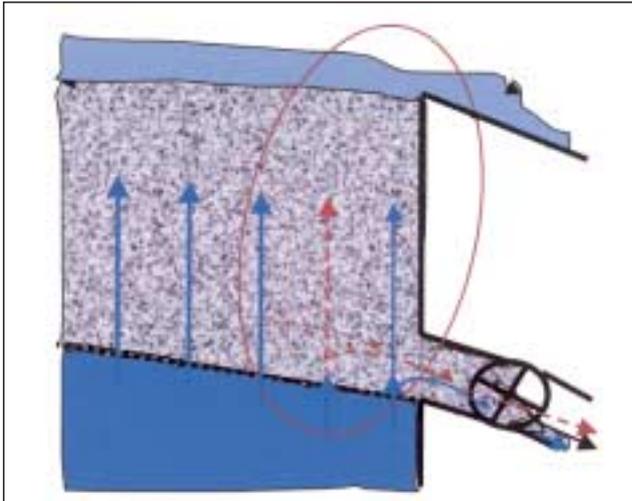


Bild 7: Wasserverluste durch die Zellradschleuse, zu Bild 4
Fig. 7: Water losses caused by the star wheel discharge, see Fig. 4

3.5.2 Setzmaschine – Kontinuität des Aufwasserstromes

Aus einer Reihe von Ursachen für Rückvermischungen im Setzbett vor dem Austrag soll hier auf den Wasserverlust mit dem Austritt des Kieses durch die Zellradschleuse hingewiesen werden (Bild 7). Mit 40 t/h Kies werden 10–15 m³/h Wasser ausgetragen, die dem Aufstrom in der Nähe des Überlaufs entzogen werden, wenn nicht eine ausreichende Kompensation oberhalb des Austragsorgans vorliegt.

Schleichender Verschleiß und besonders Defekte an der Austragsvorrichtung ergeben zusätzliche Verluste an Aufstromwasser und können Rückvermischungen mit Qualitätseinbußen nach sich ziehen.

3.5.3 Setzmaschine – Entmischung des Aufgabegutes

Das Aufgabegut für die Setzmaschine wird von einem Transportband mit 630 mm Gurt- und etwa 450 mm Schüttungsbreite in die 1,5 m breite Aufgabebürste der Setzmaschine abgeworfen. Zur Ausnutzung der gesamten Setzmaschinenfläche muss die Aufgabevorrichtung das aufzugebene Gut möglichst gleichmäßig auf die gesamte Breite verteilen (Bild 4, Pkt. 1). Während der ersten Phase der Optimierung konnte auf dem Transportband kein freies Grobgut auf der Oberfläche des Kieses festgestellt werden. Durch Abtasten des Setzbettes ergaben sich jedoch unterschiedliche Höhen der Grobgutschicht. Aus dem Setzbett wurden in 3 Horizonten und 3 Ebenen quer zur Transportrichtung Proben gezogen (Bild 8). In Bild 9 sind die Durchschnitte der Fraktionen > 16 mm und < 4 mm aller Proben aus den Ebenen quer zur Transportrichtung für die Aufgabeseite und Austragsseite des Setzbettes zusammengefasst und als Ergänzung die Aufgabekörnung eingetragen. Die Fraktion > 16 mm reichert sich in Richtung Austrag deutlich an. Der durchschnittliche Volumenanteil der Fraktion > 16 mm am Setzvolumen beträgt in diesem Fall 25 %. Deutliche Entmischungstendenzen über die Setzbettbreite von der Aufgabe bis zum Austrag sind Bild 10 zu entnehmen. Trotz dieser Entmischungen entsprach das Aufbereitungsergebnis den Erwartungen. Die Maßnahmen aus 2.5.1 waren schon umgesetzt.

Am Ende der zweiten Phase der Arbeiten wurden erstmalig bei der üblichen Setzmaschineneinstellung an den Seiten des Setzbettes Grobkornablagerungen bis zur Oberfläche des Setzbettes festgestellt. In der Mitte ging das Setzbett in eine auf- und abwogende Trübe mit eindeutiger Rückvermischung von Kohlepartikeln in Richtung Setzboden über (Bild 4, Pkt. 2). In der Fraktion

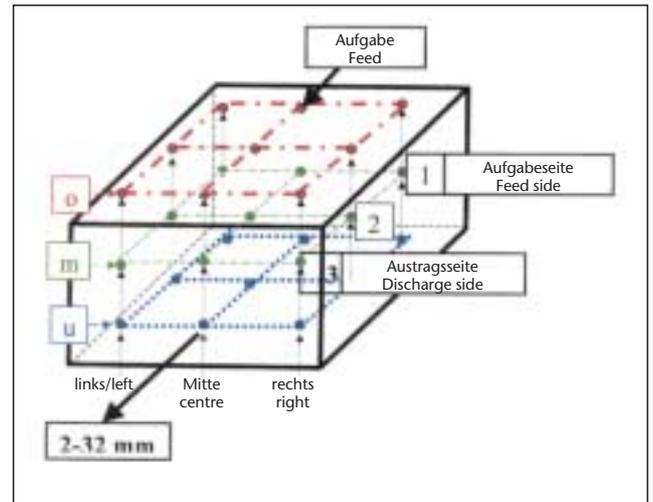


Bild 8: Setzmaschine, Schema der Probenahme
Fig. 8: Jig, schematic of the sampling

3.5.3 Jig, segregation of the feed

The feed material on the jig is thrown from a transport belt with a belt-width of around 630 mm and a material bed width of around 450 mm into the 1.5-m-wide feed chute of the jig. To utilize the entire jig area, the feed device must distribute the feed material uniformly as possible over the entire width (Fig. 4, point 1). During the first phase of optimization, on the transport belt no free coarse material could be established on the surface of the gravel. Scanning of the jig bed, however, indicated different heights for the layer of coarse material. Samples were taken in three zones and on three levels of the jig bed, crosswise to the direction of transport (Fig. 8). Fig. 9 shows the averages of the fractions > 16 mm and < 4 mm of all samples from the levels crosswise to the direction of transport for the feed side and discharge side of the jig bed; the feed sizes are also included as supplementary information. The fraction > 16 mm is heavily concentrated towards the direction of the discharge. The volume percentage of the fraction > 16 mm in the jig volume is in this case 25 %. Substantial segregation over the width of the jig bed from the feed to the discharge is indicated in Fig. 10. Despite this segregation, the processing performance fulfilled expectations. The measures explained in Section 2.5.1 had already been implemented.

At the end of the second phase of work, for first time with the usual jig setting, deposits of the coarse grain were detected up to the surface of the jig bed at the sides of the jig bed. At the centre, the jig bed went over to a upwards and downwards undulating slurry with definite back mixing of coal particles in the direction of the jig bed (Fig. 4, point 2). The coal pieces with fibrous structure with a density below 1.1 g/cm³ found in the 2–8 mm grade were a clear indication of the incorrect function of the sorting process. After changes to the feed chute of the jig, such situations should not recur.

High percentages of coarse particles in the feed from the raw gravel or resulting from segregation in the upstream storage bins can have an adverse effect on the efficiency of the jig.

3.6 Realizations following conclusion of the work

At the end of the optimization work, for a feed content of 2.6 wt. %, the newly specified limit for the residual coal content was met. These results were based on the relationships in the table, extrapolated to 3 wt. % coal in the raw gravel.

After the provisional conclusion of the work, a remaining risk from a higher coal content in the raw gravel, with the consequences

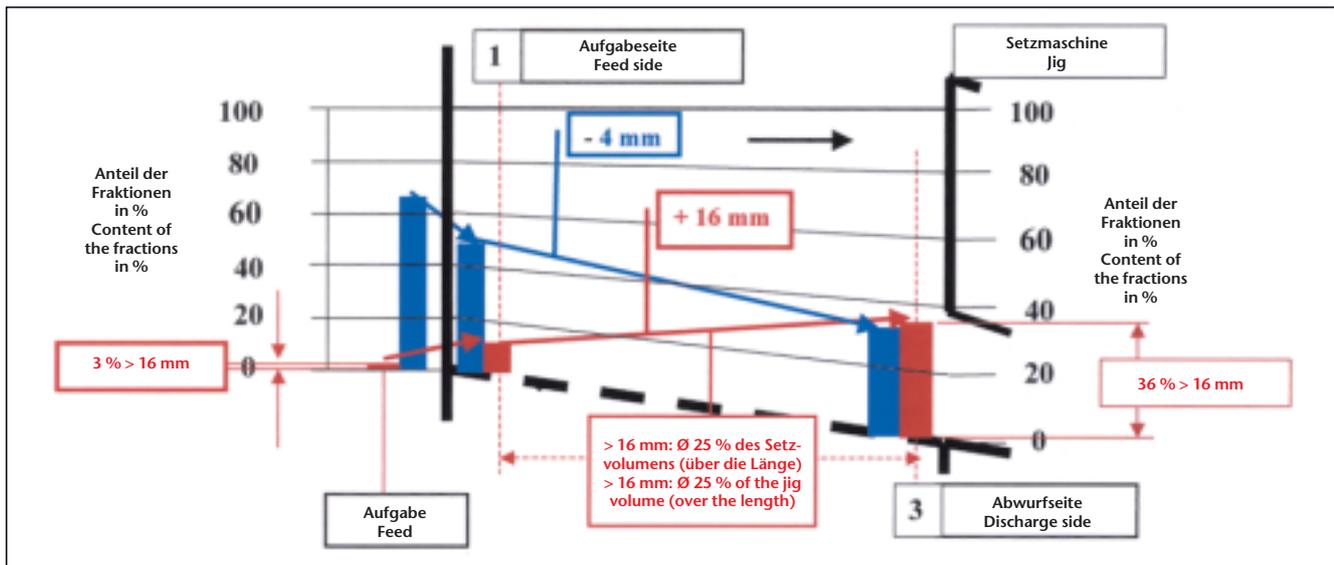


Bild 9: Setzmaschine. Anreicherung der Kiesfraktion > 16 mm in Transportrichtung, auf den Querschnitt bezogen (\emptyset von: \emptyset links, \emptyset Mitte, \emptyset rechts)

Fig. 9: Jig. Concentration of the gravel fraction > 16 mm in the direction of transport, relative to the cross section (\emptyset from: \emptyset left, \emptyset centre, \emptyset right)

2–8 mm gefundene Kohlestücke mit faseriger Struktur mit einer Dichte unter $1,1 \text{ g/cm}^3$ waren ein deutlicher Hinweis auf eine gestörte Sortierung. Nach Veränderungen in der Aufgaberutsche der Setzmaschine sollen solche Situationen nicht wieder eingetreten sein.

Hohe Grobkornanteile im Aufgabegut aus dem Rohkies – oder durch Entmischung in vorgeschalteten Speichern entstanden – können Qualitätsstörungen verursachen.

3.6 Ergebnisse nach Abschluss der Arbeiten

Am Ende der Optimierungsarbeiten wurde bei einem Aufgabegehalt von 2,6 Gew.-% der Grenzwert der neuen Forderungen für den Restkohlegehalt unterschritten. Diese Ergebnisse wurden den in der Tabelle dargestellten Zusammenhängen – auf 3 Gew.-% Kohle im Rohkies extrapoliert – zu Grunde gelegt.

Nach vorläufigem Abschluss der Arbeiten war ein Restrisiko aus höheren Kohlegehalten im Rohkies mit den Konsequenzen aus Reklamationen und schlechter Bewertung der Zuverlässigkeit nicht völlig auszuschließen. Ein einfaches Qualitätssicherungssystem mit geringem Aufwand für Kontrollen der Abläufe und des technischen Zustandes der Anlage ($2 \times 15 \text{ min/d}$) einschließlich vorbeugender Instandhaltung, muss Unregelmäßigkeiten in der Anlage und Bedienung entgegenwirken.

Die Beratung erstreckte sich nach Abschluss der vereinbarten Aufgaben auch auf technologische Möglichkeiten zur weiteren Qualitätssicherung und Stabilisierung der wirtschaftlichen Situation.

4. Technologische Möglichkeiten zur weiteren Stabilisierung der Produktqualität und wirtschaftlichen Situation

Im Folgenden werden Vorschläge zur Diskussion gestellt, durch die Wettbewerbsfähigkeit und Kosten-Erlös-Situation verbessert werden können.

4.1 Auswirkungen der Entmischung des Kieses in der Setzmaschine

Seit der Änderung der Aufgaberutsche und Abschluss der Arbeiten sind nach Angaben des Betreibers keine Probleme mehr aufgetreten. Zur Vermeidung möglicher Nachteile durch hohe

of complaints and poor rating of the product reliability, could not be excluded completely. A simple quality assurance system with limited expense for checking the processes and the technical condition of the plant, $2 \times 15 \text{ min}$ per day, including preventative maintenance, must combat irregularities in the plant and its operation.

Following conclusion of the agreed work, the consultants looked at technological possibilities for further quality assurance and stabilization of the economic situation.

4. Technological possibilities for the further stabilization of the product quality and economic situation

In the following, proposals are put forward for discussion, the realization of which could improve the competitiveness and cost-revenue situation of the plant.

4.1 Consequences of the segregation of the gravel in the jig

Since the changes to the feed chute and the conclusion of the work, no further problems have occurred according to the information released by the operator. To avoid possible disadvantages owing to high contents in the fraction 16–32 mm, the following measures were still planned.

- Reduction of segregation in the discharge of the log washer to the transport belt and in the feed chute of the jig. Installation of additional baffles. Avoidance of any remaining general disturbing factors.
- A continuous sensor measurement of the jig bed movement at the sidewall to signal disturbances.

If disturbances of the process still result with regard to the 16–32-mm fraction, other measures were to be taken into consideration, e.g.

- Limitation of the content of the 16–32-mm fraction by partial covering of the scalping screen with 16-mm screening surface
- Exclusion of the fraction by sizing on the scalping screen at 16 mm
- Design of the jig bottom to accelerate transport of the bottom layer of material.

The effects of such measures could be tested by the short-term exchange of the screening surface. In this connection, it is neces-

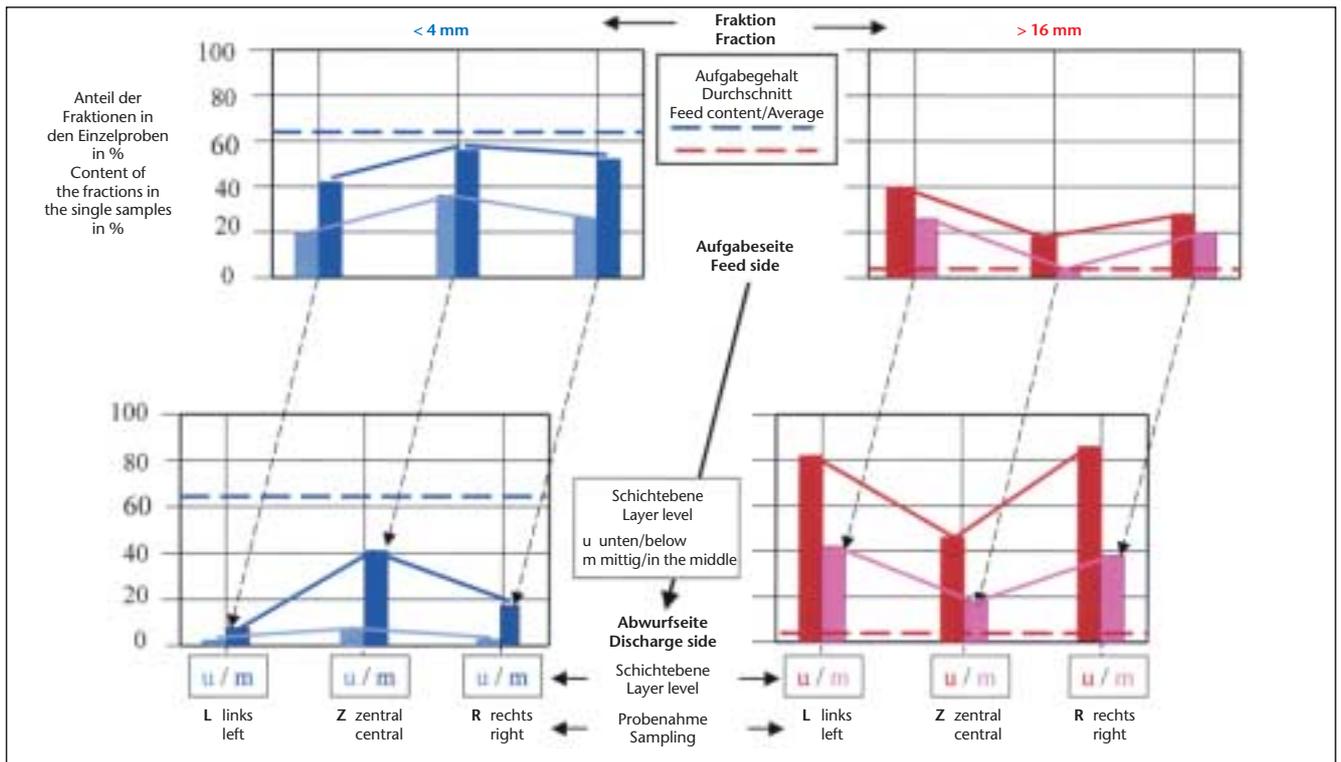


Bild 10: Setzmaschine. Entmischung der Körnung von der Aufgabe bis zur Austragsseite
 Fig. 10: Jig. Segregation of the gravel from the feed to the discharge side

Anteile der Fraktion 16–32 mm waren noch folgende Maßnahmen vorgesehen:

- Verringerung der Entmischung im Abwurf der Schwertwäsche auf das Transportband und in der Aufgaberutsche der Setzmaschine, Einbau weiterer Ablenkbleche, Vermeidung noch vorhandener störender Randeinflüsse,
- eine kontinuierliche sensorische Messung der Setzbettbewegung an der Seitenwand kann Störungen signalisieren.

Sollten sich noch Probleme im Verfahrensablauf aus dem Anteil an Partikeln 16–32 mm ergeben, müssen weitere Maßnahmen in die Betrachtung einbezogen werden z. B.:

- Begrenzung des Anteiles der Fraktion 16–32 mm durch teilweise Belegung des Vorsiebes mit 16-mm-Siebböden,
- Ausschluss der Fraktion durch Klassierung auf dem Vorsieb bei 16 mm,
- Einsatz eines Setzbodens, der durch seine Ausführung den Transport der unteren Gutschicht beschleunigt.

Die Auswirkungen solcher Maßnahmen könnten mit einem kurzzeitigen Austausch der Siebböden erprobt werden. Dabei ist zu überprüfen, ob die vorgegebene Setzbetthöhe sich dann nicht nachteilig auf die Produktqualität auswirkt.

Der Aufwand für das Abtrennen der kohlefreien Fraktion 16–32 mm als Fertigprodukt bereits am Abwurf der Schwertwäsche ist in der vorhandenen Anlage erheblich, kann aber kostenneutral für Neuanlagen von Interesse sein.

4.2 Herstellung einer nahezu kohlefreien Sorte und einer mit stark verringertem Kohlegehalt

Von insgesamt 11 Proben des Rohkieses lagen die Kohlegehalte in 9 Proben unter 0,6 Gew.-%. In zwei weiteren betrug er 1,6 und 2,6 Gew.-%.

Die mittlere Verweildauer von der Aufgabe bis zum Abwurf der Fertigprodukte beträgt etwa 8 min. Wenn es gelingt, mit einer einfachen Methode Kohlegehalte der Aufgabe in einem Grenzbe-

sary to check whether the defined jig bed height in the jig does not then have an adverse effect on the product quality.

Separation of the coal-free fraction 16–32 mm as a finished product already at the discharge of the log washer. The expense for such measures is considerable in the case of the plant described, but it can be interesting for new plants as these measures would not effect their cost.

4.2 Production of a virtually coal-free grade and a grade with a substantially reduced coal content

From a total of 11 samples of the raw gravel, the coal content in nine samples amounted to under 0.6 wt. %. In two others it totalled 1.6 and 2.6 wt. %.

The average residence time from feed to discharge of the finished products is around 8 min. If it is possible with a simple method to distinguish the coal content of the feed within the limits 1–1.5 wt. %, 80–90 % of a practically coal-free 2–8-mm grade, under 0.001 %, and one grade with a low coal content for less demanding applications can be stored separately. The author can make suggestions to achieve this.

4.3 Raw material utilization

The sale of the jig bed underflow as a further product can lead to a significant improvement of the economic situation.

In the absolutely coal-free and narrowly sized grade 1.8–2.5 mm, 6–8 t/h are produced as underflow of the jig and discharged into the quarry pond. Without the need for additional processing and production costs, this material is available for use and can relieve the pressure on gravel prices. In industry many narrow-sized sands fetch higher prices compared to the mass products of the sand and gravel industry. Feasible are, for example, its use in filters, in the building industry as facing material, to roughen surfaces, for seepage joints and as a capillary breaking layer.

reich von etwa 1–1,5 Gew.-% abzutrennen, lassen sich 80–90 % einem praktisch kohlefreien Korngrößenbereich 2–8 mm unter 0,001 Gew.-% und eine Sorte mit geringen Kohlegehalten für weniger anspruchsvolle Zwecke getrennt speichern.

4.3 Rohstoffausnutzung

Der Verkauf des Setzbettthroughganges als weiteres Produkt kann zu einer wesentlichen Verbesserung der ökonomischen Situation beitragen.

In der kohlefreien und eng klassierten Körnung 1,8–2,5 mm fallen 6–8 t/h als Durchgang des Setzbodens an und werden in den Baggerteich abgestoßen. Dieser Anteil steht ohne Belastung durch Produktionskosten für eine Nutzung und Entlastung der Kiespreise zur Verfügung. In der Technik erzielen viele eng klassierte Sande mehrfach höhere Preise gegenüber Massenprodukten. Infrage kommt z. B. der Einsatz in Filteranlagen, im Bauwesen als Vorsatzmaterial, zur Aufräufung von Flächen, für versickerungsfähige Verfüguungen und als kapillarbrechende Schicht.

5 Allgemeine Aussagen

5.1 Allgemeine Aussagen zur Verfahrenstechnik

Die Untersuchungen zeigten erneut die grundsätzliche Bedeutung der Gestaltung des Eintrages und Austrages an Maschinen und Apparaten für die Effektivität der Verfahren.

Bei dem Einsatz von Standardausrüstungen oder -verfahren für neue Aufgaben ergeben sich durch Anpassung häufig mit geringen Aufwendungen beachtliche Fortschritte.

Zum Ausschluss ungünstiger Auswirkungen aus Änderungen müssen unmittelbar danach Ergebniskontrollen vorgenommen werden.

In Verfahren und Maschinen mit Trennprozessen ermöglicht eine optimierte Kombination von Verfahrensstufen, die auf der Wirkung unterschiedlicher Prozesse beruhen, neue technische und bessere ökonomische Ergebnisse [4, 5].

In der beschriebenen Kiesaufbereitung trifft dieses in der Schwertwäsche (Bild 5) mit der Schwertrübesortierung in der Zone I, der Aufstromsortierung in der Zone II und Rückführung des Leichtgutes auf das Schwertrübebett der Zone I sowie das anschließende Setzverfahren zu.

5.2 Allgemeine Aussagen zur Methodik der empirischen Prozessanalyse und Prozessoptimierung

5.2.1 Vorliegende Aufgabenstellung

Die oben angeführten Ergebnisse konnten nur durch Nutzung der Erfahrungen des Betriebsleiters aus seiner verantwortlichen Tätigkeit, durch die Begleitung erfahrener Berater und die unmittelbare Zusammenarbeit vor Ort erreicht werden.

Weder der Vertreter des Betriebes noch die Berater hatten bis dahin Erfahrungen in der Optimierung der eingesetzten Maschinen. Deshalb wurden allein 1/3 dieser verfahrenen Stunden für vorbereitende Arbeiten benötigt. Bis auf zwei wurden alle Lösungsschritte in Anwesenheit und unter Mitarbeit des Beraters sofort umgesetzt. Die länger dauernde Optimierung des Wassereystems in der Schwertwäsche führte der Betriebsleiter des Werkes in Eigenregie durch.

Neben der Lösung der Aufgabenstellung unmittelbar vor Ort ergaben sich als Folge der intensiven Auseinandersetzung mit der Situation bei der späteren Aufarbeitung der bis dahin gewonnenen Erkenntnisse Ansatzpunkte zur weiteren Stabilisierung der Produktqualität und des wirtschaftlichen Ergebnisses.

Eine Diskussion, Nutzung und Bewertung der unter 4. angeführten Vorschläge kam nicht zu Stande. Der extreme Rückgang des Bauwesens im Gebiet, der ungünstige Standort zu möglichen Kunden und niedrige Erlöse für die Produkte führten zur Stille-

5 General Remarks

5.1 Process engineering

The tests demonstrated again the basic importance of the design of the feed and discharge of machines and equipment for the efficiency of the process.

When standard equipment or processes are used for new applications, considerable improvements in performance can be achieved by adapting these at little expense.

To exclude unfavourable effects caused by the changes, the results of the changes must be checked immediately after these have been implemented.

In processes and machines with separation processes, an optimized combination of process stages, which are based on the effect of different processes, enable new technical and improved economic efficiency [4, 5].

In the gravel processing operation described, this occurs in the log washer (Fig. 5) with dense medium separation in Zone I, upward current separation in Zone II and the recirculation of the low-gravity material to the dense medium bed of Zone I and the subsequent jig process.

5.2 The methods of empirical process analysis and process optimization

5.2.1 In the case described

The results described above could only be achieved by utilizing the experience of the plant manager from his activities at the plant, with the support of experienced consultants and direct cooperation on site.

A total of 49 consultant hours were necessary on site. Neither the representatives of the company nor the consultants had had experience in the optimization of the machines used. For this reason, 1/3 of these hours were required for preparatory work. Apart from two, all solution steps were realized immediately in the presence of and with the cooperation of the consultant. The optimization of the water system of the log washer over a longer time was implemented by the plant manager on his own.

Besides the solution of the problems on site, as a result of the intensive analysis of the situation, during the later follow-up work on the findings obtained so far, starting points could be identified for further stabilization of the product quality and the economic performance of the plant.

A discussion, implementation and evaluation of the proposals described in Section 4 did not take place. The extreme decline of the building industry in the area, the unfavourable location with regard to potential customers and the low returns for the products led to the closure of the plant. The entire plant was sold abroad and is currently being rebuilt there.

6. Other Examples, General Application

The example described above, based on a real, existing plant that is relatively manageable in terms of size and complexity, serves to illustrate the methods and possibilities of empirical process analysis and process optimization. The actual range of application is far more extensive.

It is always essential that specialists, professionals with sound practical experience of the application, practitioners with a scientific or scientists with practical background in respect of the content and extent of the problems are enlisted early on to cooperate on the project and their know-how and experience are stringently and directly incorporated in tackling the problems and tasks in hand. Empirical process analysis and process optimization have also proven effective in the set-up and commissioning of a much larger factory with 1,000 t/h raw materials throughput and 3,000 t/d finished product.

After initial difficulties, the preconditions were created for an effective cooperation of the main plant engineering contractor,

gung der Anlage. Sie wurde vollständig in ein anderes Land verkauft und wird dort zurzeit wieder aufgebaut.

6. Weitere Beispiele und allgemeine Nutzung

Das vorgenannte Beispiel dient mit einer real vorhandenen und relativ schnell überschaubaren Anlage der allgemeinen Veranschaulichung der Methodik und Möglichkeiten der empirischen Prozessanalyse und Prozessoptimierung. Das Anwendungsfeld ist weitaus umfangreicher.

Es kommt immer darauf an, dass Fachleute, erfahrene Praktiker aus der Anwendung, Praktiker mit wissenschaftlichem oder Wissenschaftler mit praktischem Hintergrund entsprechend Inhalt und Umfang der Aufgaben für die Mitarbeit frühzeitig herangezogen und ihre Kenntnisse und Erfahrungen zwingend und unmittelbar in die Bearbeitung der Aufgabenstellungen eingebunden werden.

Die empirische Prozessanalyse und Prozessoptimierung haben ihre Bewährungsprobe auch bei der Errichtung und Inbetriebnahme einer wesentlich größeren Anlage mit 1.000 t/h Rohstoffdurchsatz und 3.000 t/d Fertigprodukt bestanden.

Nach anfänglichen Schwierigkeiten wurden Voraussetzungen für eine effektive Zusammenarbeit des Hauptauftragnehmers für den Anlagenbau, seiner Unterauftragnehmer und des Projektierungsbüros mit dem späteren Betreiber geschaffen. Dieser übernahm aufgrund seiner Erfahrungen die Verfahrensträgerschaft mit allen Risiken. Die Arbeitsgruppen der verschiedenen Fachgebiete erarbeiteten Lösungsvorschläge. Sie hatten unter den Gesichtspunkten

- gleicher Personalaufwand,
- gleiche oder geringere Kosten für die Umsetzung,
- keine zusätzlichen Kosten im Dauerbetrieb,
- kein Zeitverlust

im Rahmen ihres Bereiches Entscheidungsfreiheit. Die in diesen Bereichen erfahrenen und zukünftig verantwortlichen Mitarbeiter hatten dort ein Vetorecht. Ein übergeordnetes gemeinsames Gremium traf kurzfristig Entscheidungen über umfangreichere Änderungen und setzte die bestätigten durch. In Zusammenarbeit mit dem Anlagenbauer konnten ohne zusätzliches Personal in verschiedenen Arbeitsgruppen die Voraussetzungen für den Verzicht auf eine vierteljährliche Probezeit geschaffen werden. Während der Bauphase wurden noch Korrekturen am Projekt und die Einarbeitung des betrieblichen Know-how sowie neuester Erkenntnisse durchgesetzt. Nach einer viertägigen Umstellungsphase gingen die Anlagen in den Dauerbetrieb. Nach weiteren 6 Wochen erfolgte die Endabnahme. Zu diesem Zeitpunkt wurden bereits die für das zweite Folgejahr geplanten Kennziffern erreicht. 5 % der Investitionsmittel wurden durch Vereinfachungen und Kapazitätsanpassungen eingespart. Die Änderungen ergaben für den Anfahr- und Dauerbetrieb zusätzliche Sicherheiten.

Oft werden von Anlagenbetreibern mit Risiko und hohem Zeitdruck behaftete Aufträge übernommen, die in besseren Zeiten nicht angenommen würden, die aber durch Neuheiten Wettbewerbsvorteile verschaffen können. Eine konsequent durchgesetzte und konzentrierte Zusammenarbeit von Personen, die sich bei gleichen oder ähnlichen Inhalten auf den verschiedenen Gebieten der Praxis bewährt haben, mit den Projektbearbeitern ist dann unbedingt notwendig.

Auf diesem Wege werden vorbereitend und begleitend Lösungen erarbeitet, die teure Nacharbeiten vermeiden. Diese Methode wird besonders wertvoll, wenn sie in Form einer kurz gefassten QS-Vorschrift zur gelebten Philosophie der Einrichtung oder des Betriebes wird.

Die empirische Prozessanalyse und Prozessoptimierung bieten Unterstützung für die Überleitung wissenschaftlicher Leistungen in die Produktion, in der Konstruktions- und Projektierungsphase, bei Rationalisierungsmaßnahmen, bei der Lösung aktueller

his subcontractor and the planning office with the later plant operator. Drawing on his experience, the plant operator assumed the responsibility for the process with all the associated risks. The working groups of the various areas worked out solution proposals. Given the criteria:

- equal labour requirement
- equal or lower costs for the realization
- no additional costs in continuous operation
- no time loss

they had freedom of decision in their respective area.

The customer's employees who were experienced in these areas and with designated future responsibility for these areas had a right of veto. A higher level joint body made short-notice decisions on more extensive changes and implemented the confirmed changes. In cooperation with the competent and flexible plant engineer, it was possible, without additional personnel in the working groups, to create the preconditions for dispensing with a quarter-year. During the building phase, corrections were made to the project, and the operational know-how and the latest findings were incorporated. After a four-day conversion period, the plants went into continuous operation. Final acceptance followed after another six weeks. At this point in time, the levels planned for the second follow-on year were already reached. 5 % of the investment was saved by simplifications and capacity adjustments. The changes resulted in additional reliability for the start-up and continuous operation of the plant.

The industry often takes on contracts associated with risk and high time pressure, which would normally be avoided in better times, but which, thanks to innovations, can create competitive advantages. Systematically implemented and concentrated cooperation of individuals who have proven themselves in the same or similar functions in various fields in practice with the project officers is then essential.

In this way solutions are elaborated in preparation of plant operation and during plant operation, these can avoid reworking. This method becomes particularly valuable when it also becomes the philosophy of the installation or operation in the form of a summarized QA rule according to which the installation or operation is actually run.

Empirical process analysis and process optimization support the transfer of scientific findings into production, in the design and planning phase, in rationalization measures, in the solution of current technical, economic, organizational problems developed under competitive pressure to the motivation of employees. If implemented swiftly, they can provide economic and competitive advantages. The author makes this experience available to companies and young colleagues at his website www.dr-dietmar-rose.com.

In the view of the author, the methods of empirical process analysis and process optimization can, at acceptable expense, also contribute fast, extensively and sustainably to the solution of many problems currently faced by companies in a wide range of fields.

technischer, wirtschaftlicher, organisatorischer und unter Wettbewerbsdruck entstandener Probleme bis hin zur Motivation von Mitarbeitern. Sie ermöglichen bei zügiger Durchführung wirtschaftliche und Wettbewerbsvorteile.

Die Methoden der empirischen Prozessanalyse und Prozessoptimierung können häufig mit vertretbarem Aufwand schnell, umfassend und nachhaltig zur Lösung vieler aktueller Probleme bei unterschiedlichen Aufgabenstellungen beitragen.

Schrifttum/References

- [1] *Drinkgern, G.*: Schädliche Bestandteile und ihre Wirkung auf Baustoffe. AT Aufbereitungs Technik/Mineral Processing 30 (1989), Nr. 5, S. 301/305
- [2] DIN 4226, Zuschlag für Beton
- [3] *Homburg, W., Fittkau, G. u. Grohs, H.*: Das neue Kieswerk Zerbst – Kiesaufbereitung im Spannungsfeld zwischen Wirtschaftlichkeit und maximaler Produktion. AT Aufbereitungs Technik/Mineral Processing 41 (2000), Nr. 1, S. 13/17
- [4] *Rose, D. u. Moczurad, J.*: Aufstromsortierung und -klassierung in Hydrosort-Apparaten. AT Aufbereitungs Technik/Mineral Processing 41 (2000) Nr. 9, S. 421/428
- [5] *Rose, D., Grohs, H. u. Moczurad, J.*: Schwingentwässerer in der mechanischen Verfahrenstechnik. AT Aufbereitungs Technik/Mineral Processing 44 (2003), Nr. 6, S. 5/18