



(11)

EP 2 767 341 A1

(12)

## EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:  
**20.08.2014 Patentblatt 2014/34**

(51) Int Cl.:  
**B02C 23/12** (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **13155059.2**

(22) Anmeldetag: 13.02.2013

(84) Benannte Vertragsstaaten:  
**AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB  
GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO  
PL PT RO RS SE SI SK SM TR**  
Benannte Erstreckungsstaaten:  
**BA ME**

(72) Erfinder:

- **Lekscha, Andreas**  
90455 Nürnberg (DE)
- **Zehentbauer, Bernd**  
91052 Erlangen (DE)
- **Seleznev, Victor**  
97769 Bad Brückenau (DE)

(71) Anmelder: **Siemens Aktiengesellschaft**  
**80333 München (DE)**

## (54) Verfahren zur Steuerung und/oder Regelung einer Mahlanlage sowie Mahlanlage

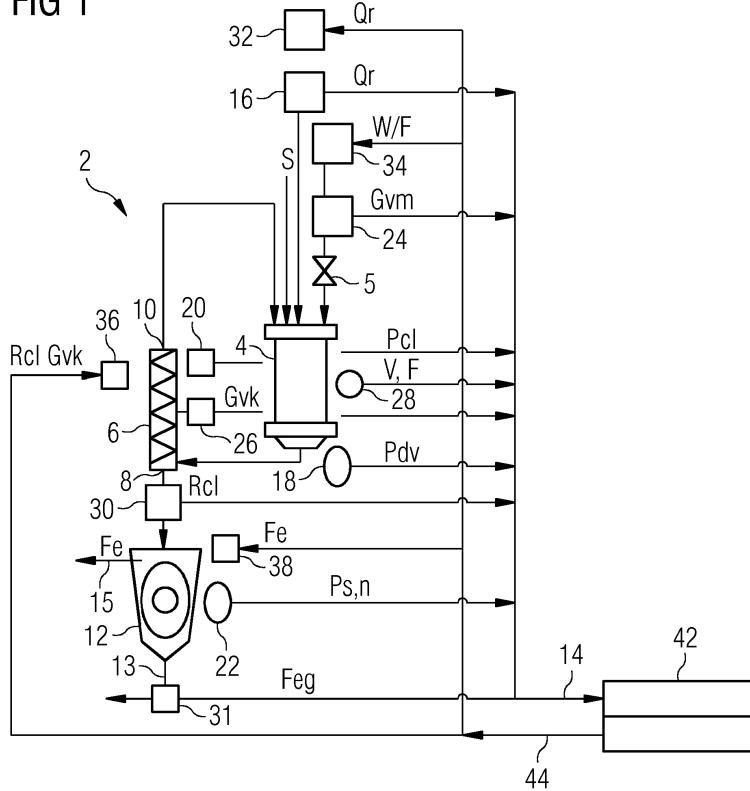
(57) Die Erfindung betrifft eine Mahlanlage (2) sowie ein Verfahren zur Steuerung und/oder Regelung einer Mahlanlage (2) umfassend eine Mahleinrichtung (4) zum Mahlen eines Stoffes (S), eine Trenneinrichtung (6) zur Klassierung des gemahlenen Stoffes (S) und einen der Trenneinrichtung (6) nachgeschalteten Separator (12), mit folgenden Schritten:

a) es werden mindestens ein für den Betrieb der Mahl-

anlage (2) charakteristischer erster Parameter und ein zweiter Parameter ermittelt,

- b) es wird die Ableitung des ersten Parameters ( $P_1$ ) nach dem zweiten Parameter ( $P_2$ ) ermittelt,
- c) es wird das Vorzeichen der Ableitung ermittelt,
- d) die Mahlanlage (2) wird in Abhangigkeit des Vorzeichens der Ableitung gesteuert und/oder geregelt.

FIG 1



## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Steuerung und/oder Regelung einer Mahlanlage sowie eine Mahlanlage.

**[0002]** Die Mahlung ist ein mechanisches Verfahren, dessen Aufgabe eine Verringerung der Partikelgrößen fester Stoffe durch Überwindung der Bindekräfte in den Ausgangsteilchen ist. Der Mahlprozess wird dabei in einem geschlossenen Mahlkreis durchgeführt. Eine Mahlanlage umfasst neben der eigentlichen Mahleinrichtung, in der der Stoff gemahlen wird, außerdem eine Trenneinrichtung wie einen Klassierer, mit welchem der gemahlene Stoff abhängig von der Körnung bzw. Korngröße getrennt, also klassiert wird. Dabei verlassen ausreichend gemahlene Teilchen (Fertigklasse) die Trenneinrichtung über den Überlauf, die nicht ausreichend gemahlenen Teilchen im Unterlauf. Letztere werden zur Mahleinrichtung zurückgeführt und somit dem Mahlprozess wieder hinzugeführt. Zusätzlich umfasst insbesondere bei der Bearbeitung von Eisenerz die Mahlanlage einen Separator in Form eines Magnetseparators. Dieser ist dazu ausgelegt, ferromagnetische Teile des den Überlauf der Trenneinrichtung verlassenden gemahlenen Materials von nicht magnetischen zu trennen.

**[0003]** Der Mahlprozess ist ein sehr aufwändiger und daher kostenintensiver Prozess, der aufgrund diverser Einflussgrößen nur schwer steuerbar ist. Es ist bekannt, dass der Mahlprozess sehr energieintensiv ist.

**[0004]** Um fortdauernd eine gewünschte Körnung im Endprodukt bei gleichzeitig konstant vorgegebenem Durchsatz des zu mahlenden Stoffes zu erreichen, werden Mahlanlagen häufig überdimensioniert ausgelegt. Der Betriebspunkt der Mahlanlage ist demzufolge häufig vom optimalen Betriebspunkt entfernt. Dies erhöht jedoch die Investitions- und Betriebskosten.

**[0005]** Es ist daher Aufgabe der Erfindung ein Verfahren zur Steuerung und/oder Regelung einer Mahlanlage sowie eine Mahlanlage anzugeben, bei der die Effizienz gesteigert wird.

**[0006]** Die erstgenannte Aufgabe wird gelöst durch ein Verfahren zur Steuerung und/oder Regelung einer Mahlanlage mit den Merkmalen des Patentanspruches 1. Eine derartige Mahlanlage umfasst eine Mahleinrichtung zum Mahlen eines Stoffes, eine Trenneinrichtung zur Klassierung des gemahlenen Stoffes sowie einen der Trenneinrichtung nachgeschalteten Separator. Das Verfahren umfasst die folgenden Schritte:

- a) Es werden mindestens ein für den Betrieb der Mahlanlage charakteristischer erster Parameter und ein zweiter Parameter ermittelt,
- b) es wird die Ableitung des ersten Parameters nach dem zweiten Parameter ermittelt,
- c) es wird das Vorzeichen der Ableitung ermittelt,
- d) die Mahlanlage wird in Abhängigkeit des Vorzeichens der Ableitung gesteuert und/oder geregelt.

**[0007]** Der Ansatzpunkt dieser Methode ist die Ermittlung der streng definierten optimalen Betriebsarten der Mahlprozesse anhand der Ableitungen von für den Mahlprozess charakteristischer Parameter.

**[0008]** Insbesondere bei der Mahlung von Eisenerz hat bei dem erfindungsgemäßen Verfahren das Regelungssystem folgende Aufgabe zu erfüllen:

**[0009]** Ändert sich der Eisengehalt im Konzentrat (in der Zeit), erteilt das automatische Regelungssystem dem System neue Kommandos für die Regelung der Dichte des Klassiererüberlaufs sowie anderer Parameter, wie Korngröße im Mahleinrichtungs- und Klassiererüberlauf, Produktivität der Mahleinrichtung (nach dem Fertigprodukt), die die Produktqualität beeinflussen. Dies führt zur Änderung der Effektivität der Klassierung, der Umlaufbelastungsgröße des Zyklus und der Störungsbeseitigung des Wasserhaushaltes sowie der Mühlenbeschickung mit Erz.

**[0010]** Weitere vorteilhafte Ausführungsformen der Erfindung sind in den Unteransprüchen angegeben.

**[0011]** Die zweitgenannte Aufgabe wird gelöst durch eine Mahlanlage mit den Merkmalen des Patentanspruches 10. Erfindungsgemäß weist eine derartige Mahlanlage eine Mahleinrichtung zum Mahlen eines Stoffes sowie eine Trenneinrichtung zur Klassierung des gemahlenen Stoffes und eine Steuer-/Regeleinheit auf, in der eine Software zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens implementiert ist.

**[0012]** Die oben beschriebenen Eigenschaften, Merkmale und Vorteile dieser Erfindung sowie die Art und Weise, wie diese erreicht werden, werden klarer und deutlicher verständlich im Zusammenhang mit der folgenden Beschreibung der Ausführungsbeispiele, die im Zusammenhang mit den Zeichnungen näher erläutert werden.

**[0013]** Für eine weitere Beschreibung der Erfindung wird auf die Ausführungsbeispiele der Zeichnungen verwiesen. Es zeigen jeweils in einer schematischen Prinzipskizze:

**40** FIG 1 eine Mahlanlage,

**FIG 2** ein Diagramm mit der qualitativen Abhängigkeit der Produktivität der Mahleinrichtung  $Q_r$  nach Ausgangserz von der Energieintensität  $E$ ,

**FIG 3** ein Diagramm mit der qualitativen Abhängigkeit der Beschickung der Mahleinrichtung nach VAZM  $V$  von der Produktivität nach Ausgangserz  $Q_r$ ,

**FIG 4** ein Diagramm mit der qualitativen Abhängigkeit der Motorleistung der Mahleinrichtung  $P_{dv}$  von der Produktivität der Mahleinrichtung nach Ausgangserz  $Q_r$ ,

**FIG 5** ein Diagramm mit der qualitativen Abhängigkeit der Produktivität der Mahleinrichtung

- nach Ausgangserz  $Q_r$  vom Verhältnis Flüssig-/Feststoff  $W/F$ ,
- FIG 6 ein Diagramm mit der qualitativen Abhängigkeit der Produktivität der Mahleinrichtung nach Ausgangserz  $Q_r$  von der Dichte des Überlaufs der Trenneinrichtung  $R_{cl}$ ,
- FIG 7 ein Diagramm mit der qualitativen Abhängigkeit der Produktivität der Mahleinrichtung nach Ausgangserz  $Q_r$  vom Fertigklassenanteil im Überlauf der Trenneinrichtung  $S_{cl}$ ,
- FIG 8 ein Diagramm mit der qualitativen Abhängigkeit der Produktivität der Mahleinrichtung nach Ausgangserz  $Q_r$  von der Motorleistung des Separators  $P_s$ ,
- FIG 9 ein Diagramm mit der qualitativen Abhängigkeit der Energieintensität  $E$  vom Verhältnis Flüssig-/Feststoff  $W/F$ ,
- FIG 10 ein Diagramm mit der qualitativen Abhängigkeit der Umlaufbelastung  $C$  vom Verhältnis Flüssig-/Feststoff  $W/F$ ,
- FIG 11 ein Diagramm mit der qualitativen Abhängigkeit der Produktivität der Mahleinrichtung nach Ausgangserz  $Q_r$  von der Umlaufbelastung  $C$ ,
- FIG 12 ein Diagramm mit der qualitativen Abhängigkeit der Energieintensität  $E$  von der Überlaufdichte der Trenneinrichtung  $R_{cl}$ ,
- FIG 13 ein Diagramm mit der qualitativen Abhängigkeit des Fe-Gehaltes im Zwischenprodukt der ersten Abscheidungsstufe von der Dichte des Überlaufs der Trenneinrichtung  $R_{cl}$ ,
- FIG 14 ein Diagramm mit der qualitativen Abhängigkeit der Produktivität der Mahleinrichtung nach Ausgangserz  $Q_r$  von der Dichte des Überlaufs der Trenneinrichtung  $R_{cl}$ ,
- FIG 15 ein Diagramm mit der qualitativen Abhängigkeit des Fe-Gehaltes im Zwischenprodukt der ersten Abscheidungsstufe  $Fe$  vom Fertigklassenanteil im Überlauf der Trenneinrichtung  $S_{cl}$ ,
- FIG 16 ein Diagramm mit der qualitativen Abhängigkeit des Fe-Gehaltes im Zwischenprodukt der ersten Abscheidungsstufe  $Fe$  von der Motorleistung des Separators  $P_s$ ,
- FIG 17 ein Diagramm mit der qualitativen Abhängigkeit des Fe-Gehaltes in den Tailings  $g$  von der Motorleistung des Separators  $P_s$ ,
- FIG 18 ein Diagramm mit der qualitativen Abhängigkeit des Ausbringens der ersten Abscheidungsstufe  $Y$  von der Drehzahl des Separators  $n$ ,
- FIG 19 ein Diagramm mit der qualitativen Abhängigkeit des Ausbringens des Zwischenprodukts der ersten Abscheidungsstufe  $Y$  von der Dichte des Überlaufs der Trenneinrichtung  $R_{cl}$ ,
- FIG 20 ein Diagramm mit der qualitativen Abhängigkeit des Ausbringens der ersten Abscheidungsstufe  $Y$  von der Motorleistung des Separators  $P_s$ ,
- FIG 21 ein Diagramm mit der qualitativen Abhängigkeit der Energieintensität  $E$  von der Beschickung der Mahleinrichtung nach VAZM  $V$ ,
- FIG 22 ein Diagramm mit der qualitativen Abhängigkeit der Energieintensität  $E$  vom Füllvolumen der Mahleinrichtung nach RIZM  $F$ ,
- FIG 23 ein Diagramm mit der qualitativen Abhängigkeit des Ausbringens des Zwischenproduktes der ersten Abscheidungsstufe  $Y$  von der Dichte des Überlaufs der Trenneinrichtung  $R_{cl}$ ,
- FIG 24 ein Diagramm mit der qualitativen Abhängigkeit der Überlastung  $I_{per}$  der Energieintensität  $E$ ,
- FIG 25 ein Diagramm mit der qualitativen Abhängigkeit der Motorleistung der Mahleinrichtung  $P_{dv}$  vom Füllvolumen  $F$  der Mahleinrichtung nach RIZM.
- [0014]** FIG 1 zeigt eine Mahlanlage 2, mit der ein zu mahlender Stoff  $S$ , wie bspw. Eisenerz enthaltendes Gestein gemahlen und klassiert wird. Der zu mahlende Stoff  $S$  wird zunächst einer Mahleinrichtung 4 zugeführt und gemahlen. Außerdem verfügt die Mahleinrichtung 4 über eine Wasserzufluhr 5. Nach dem Mahlvorgang gelangt der gemahlene Stoff  $S$  in eine Trenneinrichtung 6 wie einen Klassierer, in welcher der gemahlene Stoff  $S$  abhängig von der Körnung bzw. Korngröße getrennt, also klassiert wird. Dabei verlassen ausreichend gemahlene Teilchen des Stoffes  $S$  die Trenneinrichtung 6 über den Überlauf 8, die nicht ausreichend gemahlenen Teilchen verlassen die Trenneinrichtung 6 durch den Unterlauf 10 und werden zur Mahleinrichtung 4 zurückgeführt. Die die Mahleinrichtung 4 durch den Überlauf 8 verlassenden Teilchen werden anschließend einem Separator 12, im Ausführungsbeispiel einem Magnetseparatoren zugeführt. Dieser ist dazu ausgelegt, ferromagnetische Teile des gemahlenen Stoffes  $S$  von nichtmagnetischen zu trennen. Die ferromagnetischen Teile verlassen den Separator 12 als Zwischenprodukt am Ausgang 15, hier im

Ausführungsbeispiel der ersten Abscheidungsstufe. Die nicht-ferromagnetischen Teile verlassen den Separator 12 in dessen Tailing 13. Des Weiteren umfasst die Mahlanlage 2 Messeinrichtungen zur Erfassung von Messgrößen, die zur Steuerung/Regelung der Mahlanlage 2 verwendet werden. Es handelt sich dabei im Einzelnen um eine Messeinrichtung 18 zur Erfassung der Produktivität der Mahleinrichtung 4 nach Ausgangserz  $Q_r$ , eine Messeinrichtung 18 zur Erfassung der Leistung des Antriebs der Mahleinrichtung 4  $P_{dv}$ , eine Messeinrichtung 20 zur Erfassung der Leistung der Trenneinrichtung 6  $P_{cl}$ , eine Messeinrichtung 22 zur Erfassung der Drehzahl  $n$  und Leistung  $P_s$  des Separators 12, eine Messeinrichtung 24 zur Erfassung des Wasserverbrauchs der Mahleinrichtung 4  $G_{vm}$ , eine Messeinrichtung 26 zur Erfassung des Wasserverbrauchs der Trenneinrichtung 6  $G_{vk}$ , eine Messeinrichtung 28 zum Erfassen des Füllvolumens  $F$  der Mahleinrichtung 4, eine Messeinrichtung 30 zur Erfassung der Dichte des Überlaufs 8 der Trenneinrichtung 6  $R_{cl}$  und eine Messeinrichtung 31 zur Erfassung des Eisengehalts im Tailing 13 des Separators 12  $F_{eg}$ .

[0015] Außerdem umfasst die Mahlanlage 2 diverse Regler, die den Mahlprozess regeln. Es handelt sich dabei um einen Regler 32 für die Beschickung der Mahleinrichtung 4 mit dem zu mahlenden Stoff S, einen Regler 34 zur Regelung des Verhältnisses Flüssig-/Feststoff in der Mahleinrichtung 4 W/F, einen Regler 36 zur Regelung der Überlaufdichte in der Trenneinrichtung 6  $R_{cl}$   $G_{vk}$ , einen Regler 38 zur Regelung des Eisengehaltes im Zwischenprodukt Fe.

[0016] Die Messgrößen 14 werden von einer Steuer-/Regeleinheit 42 erfasst. Diese berechnet anhand der Messgrößen Steuergrößen 44, welche sie an die oben genannten Regler weiterleitet.

[0017] Die Mahlanlage 2 wird nun mittels des erfindungsgemäßen Verfahrens gesteuert/geregelt. Dazu werden die folgenden Schritte durchgeführt:

- a) es werden mindestens ein für den Betrieb der Mahlanlage charakteristischer erster Parameter und ein zweiter Parameter ermittelt,
- b) es wird die Ableitung des ersten Parameters nach dem zweiten Parameter ermittelt,
- c) es wird das Vorzeichen der Ableitung ermittelt,
- d) die Mahlanlage wird in Abhängigkeit des Vorzeichens der Ableitung gesteuert und/oder geregelt.

[0018] Die Steuerung erfolgt durch die Nutzung einiger Regelkreise und der im Folgenden aufgeführten Parameter nach dem vorstehend genannten Schema:

Optimierung der Produktivität des Mahlprozesses des Ausgangserzes bei den stabilisierten Qualitätsparametern des Zwischenproduktes in den vorgegebenen Grenzen.

[0019] Zwecks Realisierung dieser Optimierungsauf-

gabe werden Vorgaben an den Regler 32, den Regler 34, den Regler 36 und den Regler 38 vorgegeben.

[0020] Das Verfahren zeichnet sich insbesondere dadurch aus, dass die Zuführung des Beschickungsgutes, also des zu mahlenden Stoffes S in die Mahleinrichtung 4 steigt:

- bei negativen Werten der Ableitungen der Produktivität der Mahleinrichtung 4  $Q_r$  und positiven Werten der Zerkleinerungsenergie E nach Zeit (vgl. FIG 2),
- bei negativen Werten der Ableitungen der Produktivität der Mahleinrichtung 4  $Q_r$  und positiven Werten des Befüllungsparameters V der Mahleinrichtung 4 (z.B. nach VAZM) nach Zeit (vgl. FIG 3),
- bei einem positiven Wert des Verhältnisses der Ableitungen der Motorleistung der Mahleinrichtung 4  $P_{dv}$  zur Produktivität der Mahleinrichtung 4  $Q_r$  nach dem Ausgangserz (vgl. FIG 4),
- bei einem positiven Wert des Verhältnisses der Ableitungen der Produktivität der Mahleinrichtung 4  $Q_r$  nach dem Ausgangserz zum Verhältnis Flüssig/Feststoff W/F (vgl. FIG 5),
- bei einem positiven Wert der Ableitungen der Produktivität der Mahleinrichtung 4  $Q_r$  (nach Ausgangserz) nach Zeit, wenn die Ableitung der Überlaufdichte der Trenneinrichtung 6  $R_{cl}$  nach Zeit einen negativen Wert aufweist. (vgl. FIG 6),
- bei einem negativen Wert der Ableitungen der Produktivität der Mahleinrichtung 4 nach Ausgangserz  $Q_r$  und einem positiven Wert des Fertigklassengehaltes im Überlauf 8 der Trenneinrichtung 6  $S_{cl}$  nach Zeit (vgl. FIG 7),
- bei einem positiven Wert des Verhältnisses Ableitung der Produktivität der Mahleinrichtung 4  $Q_r$  (nach Ausgangserz) nach Zeit zur Ableitung der Motorleistung des Separators 12  $P_s$  nach Zeit (vgl. FIG 8).

[0021] Die Zuführung des Beschickungsgutes in die Mühle wird verringert:

- bei positiven Werten der Ableitungen der Produktivität der Mahleinrichtung 4  $Q_r$  und negativen Werten der Zerkleinerungsenergie E nach Zeit (vgl. FIG 2),
- bei positiven Werten der Ableitungen der Produktivität der Mahleinrichtung 4  $Q_r$  und negativen Werten des Befüllungsparameters V der Mahleinrichtung 4 (z.B. nach VAZM) nach Zeit (vgl. FIG 3),
- bei einem negativen Wert des Verhältnisses der Ableitungen der Motorleistung der Mahleinrichtung 4  $P_{dv}$  zur Produktivität der Mahleinrichtung 4  $Q_r$  nach dem Ausgangserz (vgl. FIG 4),
- bei einem negativen Wert des Verhältnisses der Ableitungen der Produktivität der Mahleinrichtung 4  $Q_r$  nach dem Ausgangserz zum Verhältnis "Flüssig/Feststoff" W/F (vgl. FIG 5),
- bei einem negativen Wert der Ableitungen der Produktivität der Mahleinrichtung 4  $Q_r$  (nach Ausgangserz) nach Zeit, wenn die Ableitung der Überlaufdich-

- te der Trenneinrichtung 6 Rcl nach Zeit einen positiven Wert aufweist. (vgl. FIG 6),
- bei einem positiven Wert der Ableitungen der Produktivität der Mahleinrichtung 4 nach Ausgangserz  $Q_r$  und einem negativen Wert des Fertigklassengehaltes im Überlauf 8 der Trenneinrichtung 6 Scl nach Zeit (vgl. FIG 7),
- bei einem negativen Wert des Verhältnisses Ableitung der Produktivität der Mahleinrichtung  $Q_r$  (nach Ausgangserz) nach Zeit zur Ableitung der Motorleistung des Separators 12 Ps nach Zeit (vgl. FIG 8).

**[0022]** Stabilisierung des Aufgabeprozesses für die Mahlung nach Mühlenbeschickung beim Erreichen optimaler Parameter nach Füllvolumen der Mahleinrichtung mit der dem zu mahlenden Stoff  $S$  bei Nullwerten der Ableitungen:  $dPdv/dQr=0$  (vgl. FIG 4),  $dPdv/dF=0$  (vgl. FIG 25),  $dE/dV=0$  (vgl. FIG 21),  $dE/dF=0$  (vgl. FIG 22).

**[0023]** Stabilisierung des Aufgabevolumens für die Mahlung unter Berücksichtigung des Wasserhaushaltes der Mahleinrichtung 4 bei Nullwerten der Ableitungen  $dE/d(W/F)=0$  (vgl. FIG 9),  $dQr/d(W/F)=0$  (vgl. FIG 5).

**[0024]** Stabilisierung des Aufgabevolumens für die Mahlung unter Berücksichtigung der Umlaufbelastung bei Nullwerten der Ableitungen:  $dQr/dC=0$  (vgl. FIG 11).

**[0025]** Stabilisierung des Aufgabevolumens für die Mahlung bei einer optimalen Aufgabe des Verarbeitungsstufe der Abscheidung bei Nullwerten der Ableitungen  $dQr/dPs=0$  (vgl. FIG 8).

**[0026]** Einstellung der Aufgabe des Beschickungsgutes in die Mahleinrichtung:

Bei Erreichen eines stabilen grenzwertigen komplexen Gesamtkriteriums der Überlastung nach Füllvolumen der Mahleinrichtung innerhalb von drei Kontrollzeitabschnitten.

**[0027]** Es erfolgt eine Optimierung der Produktivität des Mahlprozesses des Ausgangserzes durch die Regelung der Beschickung der Mahleinrichtung.

**[0028]** Die Optimierungsaufgabe betrifft die Maximierung der Produktivität der Mahleinrichtung 4  $Q_r$  (nach Ausgangserz), die Minimierung der Zerkleinerungsenergie  $E$  und Optimierung der Umlaufbelastung.

**[0029]** Zwecks Realisierung dieser Optimierungsaufgabe werden Vorgaben an Regler 32 und Regler 34 erteilt.

**[0030]** Das Verfahren zeichnet sich dadurch aus, dass die Wasserzufuhr 5 der Mahleinrichtung 4 steigt:

- bei positivem Wert der Ableitung der Produktivität der Mahleinrichtung 4  $Q_r$  nach Verhältnis "Flüssig/Feststoff" W/F (vgl. FIG 5),
- bei negativem Wert des Verhältnisses der Ableitung der Zerkleinerungsenergie  $E$  nach Zeit zu Verhältnis "Flüssig/Feststoff" W/F nach Zeit (vgl. FIG 9),
- bei einem positiven Wert der Ableitung der Umlaufbelastung  $C$  und einem negativen Wert des Verhältnisses "Flüssig/Feststoff" W/F nach Zeit (vgl. FIG 10),

- bei einem positiven Wert des Verhältnisses der Ableitung der Produktivität der Mahleinrichtung 4  $Q_r$  nach Zeit zu der Ableitung der Umlaufbelastung  $C$  nach Zeit (vgl. FIG 11).

**[0031]** Die Wasserzufuhr 5 der Mahleinrichtung 4 wird verringert:

- bei negativem Wert der Ableitung der Produktivität der Mahleinrichtung 4  $Q_r$  nach Verhältnis "Flüssig/Feststoff" W/F (vgl. FIG 5),
- bei positivem Wert des Verhältnisses der Ableitung der Zerkleinerungsenergie  $E$  nach Zeit zu Verhältnis "Flüssig/Feststoff" W/F nach Zeit (vgl. FIG 9),
- bei einem negativen Wert der Ableitung der Umlaufbelastung  $C$  und einem positiven Wert des Verhältnisses "Flüssig/Feststoff" W/F nach Zeit (vgl. FIG 10),
- bei einem negativen Wert des Verhältnisses der Ableitung der Produktivität der Mahleinrichtung 4  $Q_r$  nach Zeit zu der Ableitung der Umlaufbelastung  $C$  nach Zeit (vgl. FIG 11).

**[0032]** Bei Nullwerten der Ableitungen  $dQr/dC=0$  wird die Beschickung und Wasserzufuhr 5 der Mahleinrichtung 4 stabilisiert (vgl. FIG 11).

**[0033]** Eine Optimierung der Dichte des Überlaufs 8 der Trenneinrichtung 6 erfolgt wie folgt:

Die Optimierungsaufgabe betrifft die Maximierung der Mühlenproduktivität nach Ausgangserz  $Q_r$ , die Minimierung der Zerkleinerungsenergie  $E$ , die Stabilisierung des Eisengehaltes in vorgegebenen Grenzwerten.

**[0035]** Zwecks Realisierung dieser Optimierungsaufgabe werden Vorgaben an Regler 32, Regler 36 und Regler 38 erteilt.

**[0036]** Das Verfahren zeichnet sich dadurch aus, dass die Wasserzufuhr 5 in die Mahleinrichtung 4 steigt:

- bei positiven Werten der Ableitung der Dichte des Überlaufs 8 der Trenneinrichtung 6 Rcl, bei negativen Werten der Zerkleinerungsenergie  $E$  nach Zeit (vgl. FIG 12),
- bei positiven Werten der Ableitung der Dichte Überlaufs 8 der Trenneinrichtung 6 Rcl, bei negativen Werten der Ableitung des Eisengehaltes im Zwischenprodukt  $Fe$  nach Zeit (vgl. FIG 13),
- bei positiven Werten der Ableitung der Produktivität der Mahleinrichtung 4  $Q_r$ , bei positiven Werten der Ableitung der Dichte des Überlaufs 8 der Trenneinrichtung 6 Rcl nach Zeit (vgl. FIG 14).

**[0037]** Die Wasserzufuhr 5 in Mahleinrichtung 4 wird

verringert:

- bei negativen Werten der Ableitung der Dichte des Überlaufs 8 der Trenneinrichtung 6 Rcl, bei positiven Werten der Zerkleinerungsenergie E nach Zeit (vgl. FIG 12),
- bei negativen Werten der Ableitung der Dichte Überlaufs 8 der Trenneinrichtung 6 Rcl, bei positiven Werten der Ableitung des Eisengehaltes im Zwischenprodukt Fe nach Zeit (vgl. FIG 13),
- bei negativen Werten der Ableitung der Produktivität der Mahleinrichtung 4 Qr, bei negativen Werten der Ableitung der Dichte des Überlaufs 8 der Trenneinrichtung 6 Rcl nach Zeit (vgl. FIG 14).

**[0038]** Eine Optimierung des Eisengehaltes im Zwischenprodukt der ersten Abscheidungsstufe erfolgt wie folgt:

Die Optimierungsaufgabe betrifft die Maximierung der Leistung des Zyklus "Mahlung - Magnetscheidung", bei einer stabilen Qualität des Konzentrates und Minderung der Eisenverluste im Tailing 13 des Separators 12 innerhalb einer zulässigen Grenzwerte.

**[0039]** Zwecks Realisierung dieser Optimierungsaufgabe werden Vorgaben an den Regler 32, den Regler 36 und Regler 38 erteilt.

**[0040]** Das Verfahren zeichnet sich dadurch aus, dass zur Steigerung des Eisengehaltes im Zwischenprodukt eine Regelkreisgruppe für den Eisengehalt mit folgenden Vorgaben eingesetzt wird:

- bei negativen Werten der Ableitung des Eisengehaltes im Zwischenprodukt Fe, bei negativen Werten der Ableitung des Fertigklassengehaltes im Überlauf 8 der Trenneinrichtung 6 nach Zeit (vgl. FIG 15),
- bei negativen Werten der Ableitung des Eisengehaltes im Zwischenprodukt Fe, bei positiven Werten der Ableitung der Dichte des Überlauf 8 der Trenneinrichtung 6 nach Zeit (vgl. FIG 13),
- bei negativen Werten der Ableitung des Eisengehaltes im Zwischenprodukt Fe, bei positiven Werten der Ableitung der Leistung des Separators 12 Ps nach Zeit (vgl. FIG 16),
- bei negativen Werten des Verhältnisses der Ableitung der Produktivität der Mahleinrichtung 4 Qr zur Ableitung der Leistung des Separators Ps (vgl. FIG 8).

**[0041]** Zur Verringerung des Eisengehaltes im Zwischenprodukt funktioniert der Regelungskreis des Eisengehaltes:

- bei positiven Werten der Ableitung des Eisengehaltes im Zwischenprodukt Fe, bei positiven Werten der Ableitung des Fertigklassengehaltes im Überlauf 8

der Trenneinrichtung 6 nach Zeit (vgl. FIG 15),

- bei positiven Werten der Ableitung des Eisengehaltes im Zwischenprodukt Fe, bei negativen Werten der Ableitung der Dichte des Überlauf 8 der Trenneinrichtung 6 nach Zeit (vgl. FIG 13),
- bei positiven Werten der Ableitung des Eisengehaltes im Zwischenprodukt Fe, bei negativen Werten der Ableitung der Leistung des Separators 12 Ps nach Zeit (vgl. FIG 16),
- bei positiven Werten des Verhältnisses der Ableitung der Produktivität der Mahleinrichtung 4 Qr zur Ableitung der Leistung des Separators Ps (vgl. FIG 8).

**[0042]** Man stabilisiert den optimalen Fe-Gehalt im Zwischenprodukt bei Nullwerten der Ableitungen  $dQr/dPs=0$  (vgl. FIG 8).

**[0043]** Es erfolgt eine Optimierung des Eisengehaltes in den Tailings 13 des Separators 12 wie folgt:

Die Optimierungsaufgabe betrifft die Maximierung der Separatorbeschickung und Einschränkung des Eisengehaltes in den Tailings 13 in einem zulässigen Bereich.

**[0044]** Zwecks Realisierung dieser Optimierungsaufgabe werden Vorgaben an den Regler 32, den Regler 36 und den Regler 38 erteilt.

**[0045]** Das Verfahren zeichnet sich dadurch aus, dass zur Verringerung des Eisengehaltes in den Tailings 13 der Regelungskreis des Eisengehaltes in den Tailings 13 wirkt:

Bei positiven Werten der Ableitung des Eisengehaltes in den Tailings 13 g nach Zeit und bei positiven Werten der Ableitung der Motorleistung des Separators 12 Ps nach Zeit (vgl. FIG 17).

**[0046]** Es erfolgt eine Optimierung des Ausbringens des Zwischenproduktes der ersten Abscheidungsstufe wie folgt:

Die Optimierungsaufgabe betrifft die Optimierung der Dichte des Überlaufs 8 der Trenneinrichtung 6, die Optimierung der Auslastung der Separatorleistung, die Optimierung der Trommeldrehzahl des Separators 12.

**[0047]** Zwecks Realisierung dieser Optimierungsaufgabe werden Vorgaben an den Regler 32, den Regler 36 und den Regler 38 erteilt.

**[0048]** Das Verfahren zeichnet sich dadurch aus, dass das Ausbringen des Zwischenproduktes steigt:

- bei positiven Werten des Verhältnisses der Ableitung des Ausbringens Y nach Zeit zur Ableitung der Trommeldrehzahl n des Separators nach Zeit (vgl. FIG 18),

- bei positiven Werten des Verhältnisses der Ableitung des Ausbringens Y nach Zeit zur Ableitung der Dichte des Überlaufs 8 der Trenneinrichtung 6 Rcl nach Zeit (vgl. FIG 19),
- bei positiven Werten des Verhältnisses der Ableitung des Ausbringens Y nach Zeit im Zwischenprodukt zur Ableitung der Separatorleistung Ps nach Zeit (vgl. FIG 20).

**[0049]** Verringerung des Ausbringens im Zwischenprodukt:

- bei negativen Werten des Verhältnisses der Ableitung des Ausbringens Y nach Zeit zur Ableitung der Trommeldrehzahl n des Separators nach Zeit (vgl. FIG 18),
- bei negativen Werten des Verhältnisses der Ableitung des Ausbringens Y nach Zeit zur Ableitung der Dichte des Überlaufs 8 der Trenneinrichtung 6 Rcl nach Zeit (vgl. FIG 19),
- bei negativen Werten des Verhältnisses der Ableitung des Ausbringens Y nach Zeit im Zwischenprodukt zur Ableitung der Separatorleistung Ps nach Zeit (vgl. FIG 20).

**[0050]** Das Ausbringen des Zwischenproduktes wird bei Erreichen optimaler Parameter bei Nullwerten der Ableitungen  $dY/dn=0$  (vgl. FIG 18),  $dY/dRcl=0$  (vgl. FIG 19),  $dY/dPs=0$  (vgl. FIG 20) stabilisiert.

**[0051]** Ferner erfolgt eine Kontrolle der Überlastung der Mahleinrichtung und des technologischen Mahl-, Klassierungs- und Magnetscheidungsprozesses wie folgt:

Das Verfahren zeichnet sich dadurch aus, dass für den Schutz des technologischen Prozesses der ersten Stufe der Mahlanlage und Mahleinrichtung 4 gegen Überlastung Regelkreise für den Schutz der Mahlanlage 2 nach Verarbeitungsstufen für die technologischen Teile: Mahlung, Klassierung, Schutz der Magnetscheidung gegen Havariebetrieb im Fall der Überlastung, unter Berücksichtigung der Messung der Mahlkörperfüllung der Mühle, der Motorleistung der Mühle, des Füllvolumens des Mahlaggregates mittels Vibrationsmessgerät wirksam werden.

**[0052]** Es werden ermittelt:

Spezifische Energieintensität, das Verhältnis des Flüssigstoffes zum Feststoff, Umlaufbelastung, Zerkleinerungsenergie der Materialien unter Berücksichtigung der spezifischen Energieintensität, Motorleistungen der Separatoren, Ausbringen des Zwischenproduktes.

**[0053]** Es werden die Ableitungen der o. g. Parameter ermittelt sowie die Werte des komplexen Gesamtkriteri-

ums der Mühlenüberlastung und des technologischen Prozesses nach Verarbeitungsstufen: Mahlung, Klassierung und Abscheidung.

**[0054]** Es erfolgt die Festlegung des Anteiles des einzelnen Überlastungskriteriums von dem komplexen Gesamtkriterium, der Grenzwerte der statischen Einzelkriterien nach Motorleistung der Mühle, nach Füllvolumen der Mühle, sowie der dynamischen Prozessparameter mit Einschätzung des Verstoßes gegen die Prozesstechnologie mittels Relationszeichen der Ableitungen, die den Beginn der Überlastung kontrollieren.

**[0055]** Bei Überlastung und Störung des Wasserhaushaltes in der Mühle wird der Überlastungsbetrieb im Echtzeitbetrieb mittels Relationszeichen der Ableitungen kontrolliert:  $dE/(dW/F)>0$  (vgl. FIG 9),  $dQr/d(dW/F)<0$  (vgl. FIG 5).

**[0056]** Bei Überlastung und Störung der Umlaufbelastungen - wird der Überlastungsbetrieb genauso mittels Relationszeichen der Ableitung kontrolliert:  $dQ/dC<0$  (vgl. FIG 11).

**[0057]** Die Überlastung des Füllvolumens F der Mahleinrichtung 4 wird mittels Relationszeichen der Ableitungen kontrolliert:  $dE/dV>0$  (vgl. FIG 21),  $dE/dF>0$  (vgl. FIG 22),  $dP/dF<0$  (vgl. FIG 25).

**[0058]** Die Überlastung des technologischen Prozesses der Verarbeitungsstufen der Abscheidung wird mittels Relationszeichen der Ableitungen kontrolliert:  $dQr/dPs<0$  (vgl. FIG 8),  $dY/dn<0$  (vgl. FIG 18),  $dY/dPs<0$  (vgl. FIG 20),  $dY/dRck <0$  (vgl. FIG 23).

**[0059]** Bei Erreichen eines stabilen grenzwertigen komplexen Gesamtkriteriums der Überlastung (vgl. FIG 24)  $I_{pi} > I_{dop}$  i verringert sich die Mühlenbeschickung schrittweise bis zur vollständigen Einstellung der Beschickung bei stabilem Umschlagen der Relationszeichens der Ableitungen in den Gegenwert: gemäß  $dE/d(W/F)<0$  (vgl. FIG 9),  $dQ/d(W/F)>0$  (vgl. FIG 5).

**[0060]** Die Einschränkung der Prozessbelastungen erfolgt bis zum Wert des komplexen Kriteriums gemäß  $I_{pi} < I_{dop}$  i innerhalb von drei Zeitabschnitten (Versuchswerte). Danach werden die Betriebsarten der Mahlung, Klassierung, Abscheidung in der festgelegten Verfahrensweise durchgeführt.

**[0061]** Obwohl die Erfindung im Detail durch das bevorzugte Ausführungsbeispiel näher illustriert und beschrieben wurde, so ist die Erfindung nicht durch die offenbarten Beispiele eingeschränkt und andere Variationen können vom Fachmann hieraus abgeleitet werden, ohne den Schutzzumfang der Erfindung zu verlassen.

## Patentansprüche

1. Verfahren zur Steuerung und/oder Regelung einer Mahlanlage (2) umfassend eine Mahleinrichtung (4) zum Mahlen eines Stoffes (S), eine Trenneinrichtung (6) zur Klassierung des gemahlenen Stoffes (S) und einen der Trenneinrichtung (6) nachgeschalteten Separator (12), mit folgenden Schritten:

- a) es werden mindestens ein für den Betrieb der Mahlanlage (2) charakteristischer erster Parameter und ein zweiter Parameter ermittelt,  
 b) es wird die Ableitung des ersten Parameters ( $P_1$ ) nach dem zweiten Parameter ( $P_2$ ) ermittelt,  
 c) es wird das Vorzeichen der Ableitung ermittelt,  
 d) die Mahlanlage (2) wird in Abhängigkeit des Vorzeichens der Ableitung gesteuert und/oder geregelt.
- 5 der Mahleinrichtung (4) und als zweiter Parameter die Motorleistung ( $P_s$ ) des Separators (12) verwendet wird.
- 10 10. Mahlanlage (2) mit einer Mahleinrichtung (4) zum Mahlen eines Stoffes (S), einer Trenneinrichtung (6) zur Klassierung des gemahlenen Stoffes (S), einem der Trenneinrichtung (6) nachgeschalteten Separator (12) und einer Steuer-/Regeleinheit (42), in der eine Software zur Durchführung des Verfahrens nach einem der vorhergehenden Ansprüche implementiert ist.
- 15 2. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem als Separator (12) ein Magnetseparatior verwendet wird.
3. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem als erster Parameter die Produktivität ( $Q_r$ ) der Mahleinrichtung (4) und als zweiter Parameter die Zerkleinerungsenergie ( $E$ ) verwendet wird.
- 20 4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem als erster Parameter Produktivität ( $Q_r$ ) der Mahleinrichtung (4) und als zweiter Parameter der Befüllungsparameter ( $V$ ) der Mahleinrichtung (4) verwendet wird.
- 25 5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem als erster Parameter die Motorleistung ( $P_{dv}$ ) der Mahleinrichtung (4) und als zweiter Parameter die Produktivität ( $Q_r$ ) der Mahleinrichtung 4 verwendet wird.
- 30 6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem als erster Parameter Produktivität ( $Q_r$ ) der Mahleinrichtung (4) und als zweiter Parameter das Verhältnis Flüssig/Feststoff ( $W/F$ ) verwendet wird.
- 35 7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem als erster Parameter die Produktivität ( $Q_r$ ) der Mahleinrichtung (4) und als zweiter Parameter die Überlaufdichte ( $R_{cl}$ ) der Trenneinrichtung (6) verwendet wird.
- 40 8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem als erster Parameter die Produktivität ( $Q_r$ ) der Mahleinrichtung (4) und als zweiter Parameter der Fertigklassengehalt ( $S_{cl}$ ) im Überlauf (8) der Trenneinrichtung (6) verwendet wird.
- 45 9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem als erster Parameter die Produktivität ( $Q_r$ )

FIG 1

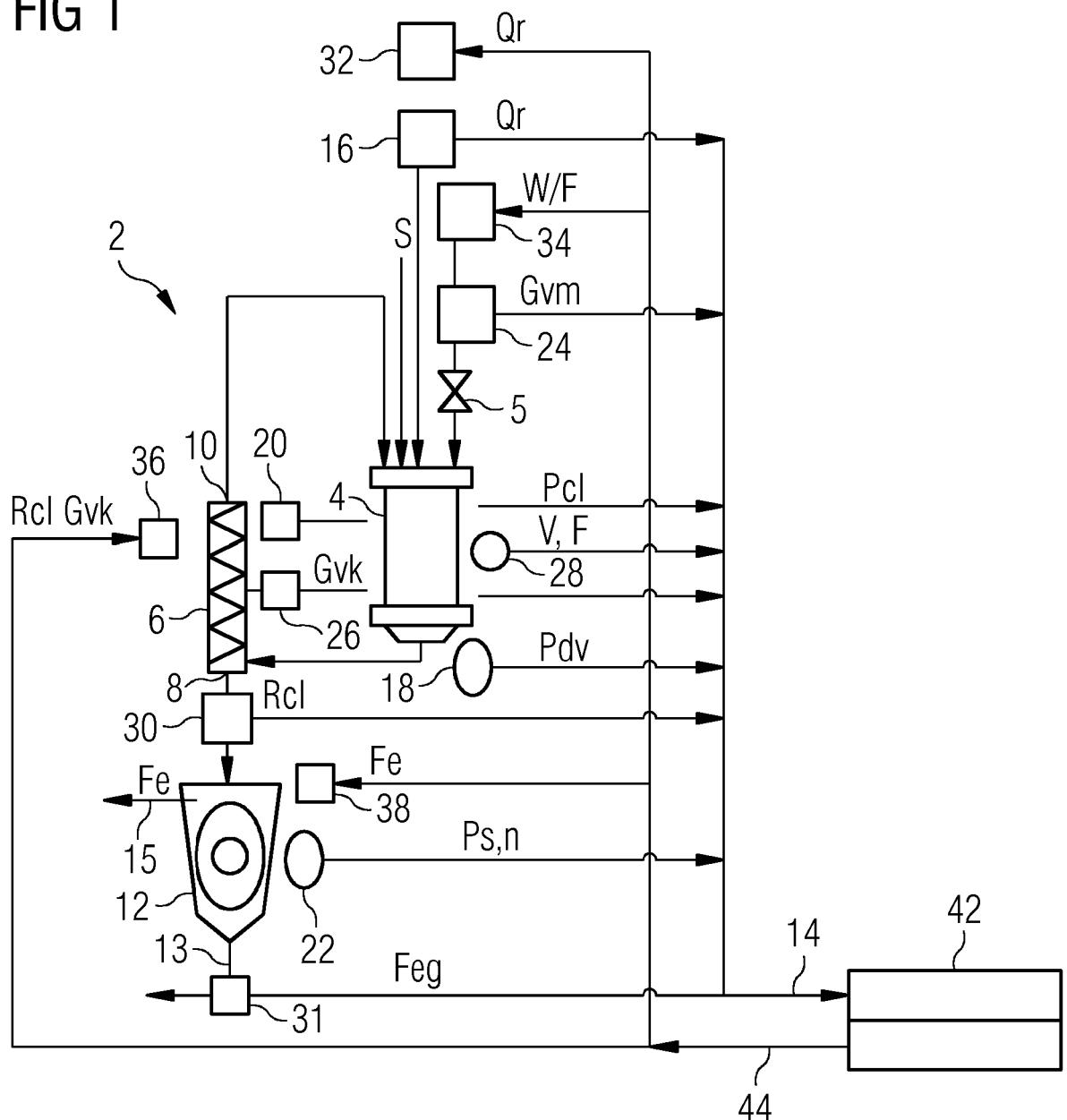


FIG 2

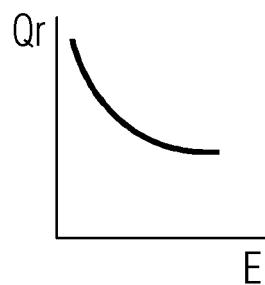


FIG 3

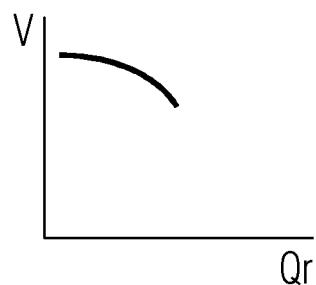


FIG 4

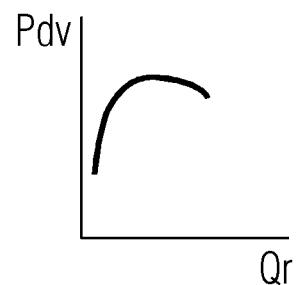


FIG 5

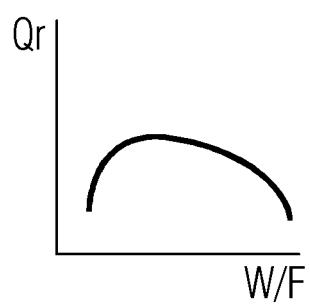


FIG 6

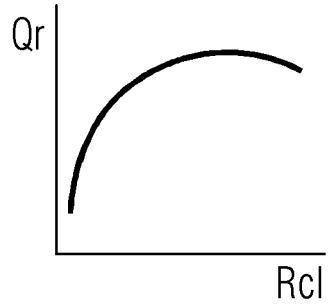


FIG 7

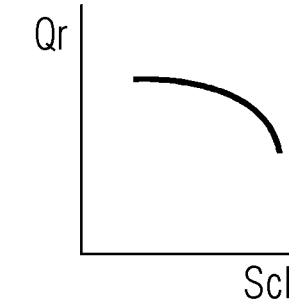


FIG 8

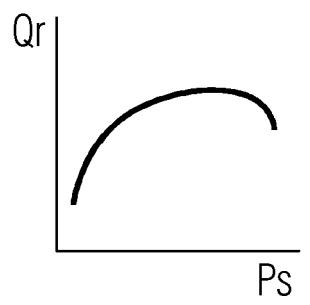


FIG 9

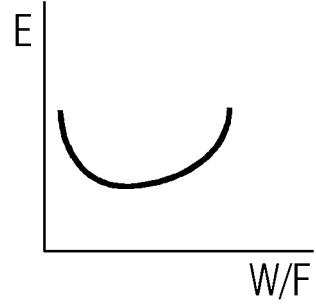


FIG 10

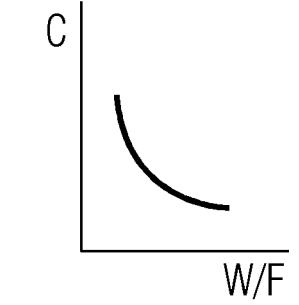


FIG 11

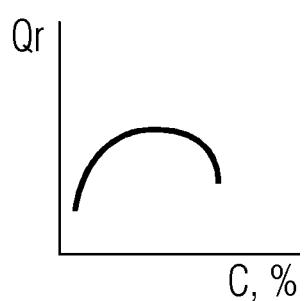


FIG 12

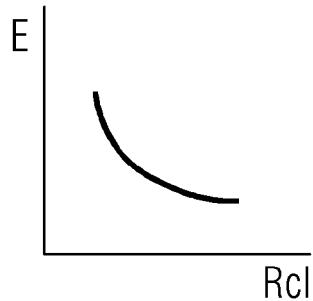


FIG 13

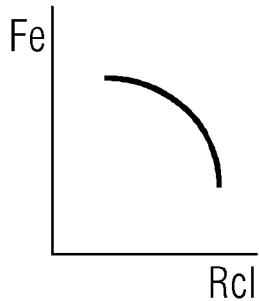


FIG 14

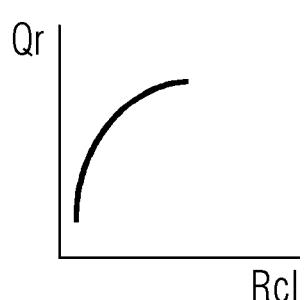


FIG 15

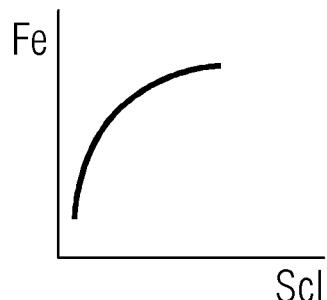


FIG 16

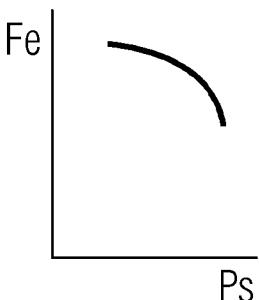


FIG 17

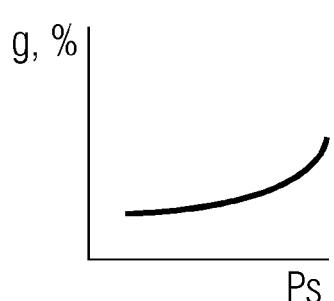


FIG 18

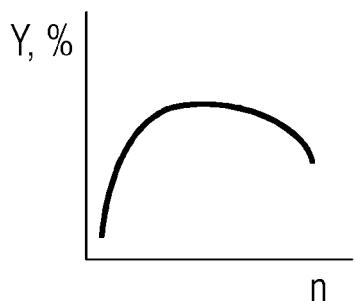


FIG 19

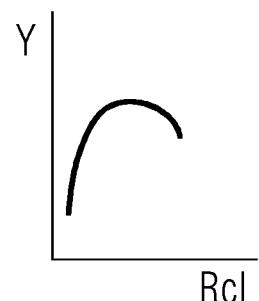


FIG 20

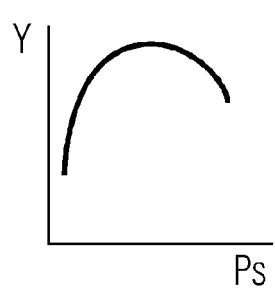


FIG 21

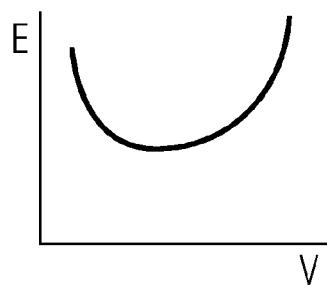


FIG 22

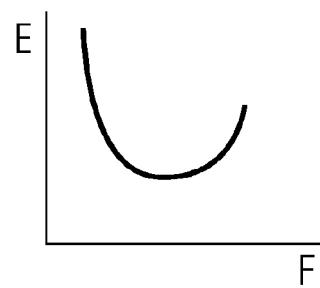


FIG 23

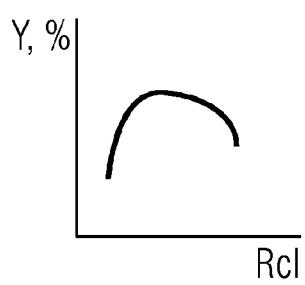


FIG 24

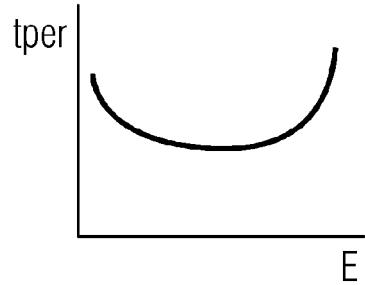
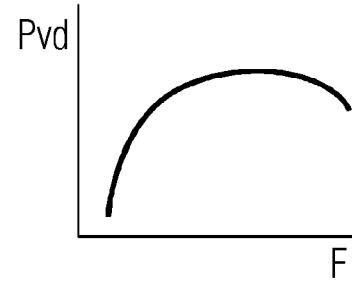


FIG 25





## EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung  
P 13 15 5059

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
A	US 3 397 844 A (WHALEY HENRY P ET AL) 20. August 1968 (1968-08-20) * Spalte 2, Zeile 51 - Spalte 3, Zeile 72; Anspruch 1; Abbildung 1 * -----	1,2,10	INV. B02C23/12 B02C25/00
A	US 4 723 716 A (HAGIWARA TATSUO [JP] ET AL) 9. Februar 1988 (1988-02-09) * Spalte 2, Zeile 45 - Spalte 3, Zeile 10; Anspruch 1; Abbildung 1 * -----	1,2,10	
RECHERCHIERTE SACHGEBiete (IPC)			
B02C			
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort	Abschlußdatum der Recherche	Prüfer	
München	20. August 2013	Strodel, Karl-Heinz	
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE			
X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet	T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze		
Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie	E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist		
A : technologischer Hintergrund	D : in der Anmeldung angeführtes Dokument		
O : nichtschriftliche Offenbarung	L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument		
P : Zwischenliteratur	& : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument		

**ANHANG ZUM EUROPÄISCHEN RECHERCHENBERICHT  
ÜBER DIE EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG NR.**

EP 13 15 5059

5

In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patendokumente angegeben.

Die Angaben über die Familienmitglieder entsprechen dem Stand der Datei des Europäischen Patentamts am  
Diese Angaben dienen nur zur Unterrichtung und erfolgen ohne Gewähr.

20-08-2013

10

	Im Recherchenbericht angeführtes Patendokument		Datum der Veröffentlichung		Mitglied(er) der Patentfamilie		Datum der Veröffentlichung
	US 3397844	A	20-08-1968	KEINE			
15	US 4723716	A	09-02-1988	CA JP US	1270652 A1 S6271554 A 4723716 A	26-06-1990 02-04-1987 09-02-1988	
20							
25							
30							
35							
40							
45							
50							
55							

EPO FORM P0461

Für nähere Einzelheiten zu diesem Anhang : siehe Amtsblatt des Europäischen Patentamts, Nr.12/82