



①9 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**
⑩ **DE 199 22 548 A 1**

⑤1 Int. Cl.⁷:
C 04 B 7/52

②1 Aktenzeichen: 199 22 548.6
②2 Anmeldetag: 11. 5. 1999
④3 Offenlegungstag: 16. 11. 2000

⑦1 Anmelder:
Elpro Prozeßindustrie und Energieanlagen GmbH,
13053 Berlin, DE

⑦2 Erfinder:
Bartsch, Thomas, Dr.-Ing., 13593 Berlin, DE

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

⑤4 Verfahren zur Mischungsregelung der Aufgabekomponenten in Mahlanlagen

DE 199 22 548 A 1

DE 199 22 548 A 1

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Mischungsregelung von Aufgabekomponenten in Zementmahanlagen zur Einhaltung einer vorgegebenen SO_3 -Konzentration im Fertiggut.

Zur Absicherung der Zementeigenschaften, die nach DIN 1164-1 (1994) festgelegt sind, wird ein hohes Qualitätsniveau der Zemente gefordert. Dazu ist es notwendig, trotz der auf den Prozeß der Zementherstellung einwirkenden Störeinflüsse, die Qualitätsparameter über den Zeitraum der Betriebsführung einzuhalten.

Die Störungen, bezogen auf die Produkteigenschaften der Ausgangsstoffe der Zementmahlung, spiegeln sich einerseits in der Härte des Klinkers und somit seiner Mahlbarkeit wider. Ein weiterer Einflußfaktor ist die schwankende chemische Zusammensetzung der Ausgangsstoffe wie Klinker, Gips, Hüttensand und Kalkstein. Diese Einflußfaktoren zeigen ihre Wirkung auf die SO_3 -Konzentration des Fertiggesetzes.

Durch eine erhöhte SO_3 -Konzentration im Klinker sinkt die Druckfestigkeit und das Erstarren des Zementmörtels wird beschleunigt. Abhilfe kann durch eine Sulfatträgeroptimierung erfolgen. Zu diesem Zweck wird Gips als wirksames Mittel zur Erstarrungsverzögerung eingesetzt. Der höchstzulässige Gesamtgehalt an SO_3 im Zement kann nach der jeweiligen Zementnorm zwischen 2,5% bis 4% liegen. Dazu ist es erforderlich, die Gipsmenge genau zu dosieren, auch wenn ihre SO_3 -Konzentration und die der übrigen Aufgabekomponenten Schwankungen unterworfen ist.

Der Mischungsprozeß der einzelnen Aufgabekomponenten erfolgt üblicherweise im Rahmen des Mahlprozesses in der Mahlanlage. Die Mahlanlage wird dabei über Schüttgutfördereinrichtungen wie beispielsweise Dosierbandwaagen oder Förderbänder mit den einzelnen Aufgabekomponenten beschickt. Die üblichen Aufgabekomponenten sind Klinker, Gips und Zuschlagstoffe. Jede Komponente der Ausgangsstoffe ist Träger einer SO_3 -Konzentration.

Neben der Feinheit des Fertiggesetzes ist die SO_3 -Konzentration des Fertiggesetzes ein wichtiger Parameter, der die Eigenschaften des Zementes für den späteren Einsatz wesentlich beeinflusst.

Zur Messung der SO_3 -Konzentration werden herkömmliche Verfahren herangezogen. Diese können naßchemisch manueller Art sein oder mittels automatischer Analysetechnik realisiert werden. Da diese Analyseverfahren verhältnismäßig aufwendig sind, wird nur in größeren Zeitabständen, die in der Größenordnung der Prozeßdauer liegen, der Istwert der SO_3 -Konzentration ermittelt.

Ein gebräuchliches Verfahren zur Komponentendosierung in der Praxis von Zementmahanlagen ist die SO_3 -Aufgaberegelung. Dabei wird der SO_3 -Analysenwert erfaßt und mit einem Vorgabewert verglichen. Das entstehende Differenzsignal wird auf den Eingang eines Reglers gegeben, der die prozentuale Zusammensetzung der Frischgutmenge nachführt, so daß die Regeldifferenz beseitigt wird. Da der gesamte Mischungsprozeß innerhalb der Zementmahanlage stattfindet, sind keine weiteren Informationen, wie Zwischengrößen und Zustandswerte über den tatsächlichen Prozeßzustand, die den Mischungsprozeß näher beschreiben, verfügbar. Derartige Regelverfahren sind beispielsweise beschrieben in "POLAB® – das Laborautomatisierungssystem" (Firmenschrift von Krupp Polysius, Beckum-Neubekum o.J.) sowie in Mann, K.: "POLAB® – Qualitätssicherung mit moderner Robotertechnik" ZKG 43 (1990) Heft 6, S. 297–299 oder in Eggert, A.; Teutenberg, J.: "Qualitätssicherung und -steuerung durch modulare und flexible Systemtechnik – POLAB®" ZKG 45 (1992) Heft 2, S. 70–78

und in Rölver, E.: "Fünf multimodulare POLAB® – Laborautomationssysteme in Zementwerken der neuen deutschen Bundesländer" ZKG 47 (1994) Heft 11, S. 648–657.

Der Nachteil der bekannten Verfahren besteht darin, daß während des Mischungsprozesses nur Einfluß auf die Zuführung der Aufgabekomponenten genommen werden kann, nachdem der aktuelle Istwert der SO_3 -Konzentration ermittelt wurde. Aufgrund der großen Zeitdauer für das Ziehen der automatischen Zementsammelprobe und die Probenanalyse, die bei ca. einer Stunde liegt, bedeutet das, daß bei einem Istwert der SO_3 -Konzentration, der außerhalb der zulässigen Toleranz liegt, eine nunmehr durchgeführte Korrektur der Zuführung der einzelnen Aufgabekomponenten erst nach Ablauf der Prozeßdauer eine Verbesserung des Istwertes bewirkt.

Die Aufgabe der Erfindung besteht darin, ein Verfahren anzugeben, bei dem trotz der vergleichsweise großen Zeitkonstanten des Prozesses, bedingt durch das Ziehen der automatischen Zementsammelprobe und die Analysenzeit, eine schnelle Einstellung der Zuführung der Aufgabekomponenten zur Sicherung einer ständig gleichbleibenden SO_3 -Konzentration des Fertiggesetzes, die innerhalb des zulässigen Toleranzbandes liegt, erreicht wird.

Diese Aufgabe wird durch ein Verfahren der eingangs genannten Art mit den Merkmalen gemäß des Patentanspruchs 1 gelöst.

Bei dem vorgestellten Verfahren zur Mischungsregelung mehrerer Aufgabekomponenten bei der Herstellung von Zement, bei dem eine vorgegebene SO_3 -Konzentration im Fertiggut eingehalten werden soll, wird der Mischungsprozeß, der in der Mahlanlage stattfindet, durch ein mathematisches Prozeßmodell nachgebildet, indem die Parameter, d. h. die Zeitkonstanten aller dynamischen Teilsysteme ermittelt werden. Für das mathematische Prozeßmodell wird eine Adaptionsschleife berechnet, die eine online-Nachführung des mitlaufenden Prozeßmodells am Mischungsprozeß gestattet. Durch das mathematische Prozeßmodell wird eine Zustandsinformation ermittelt, die gemeinsam mit dem Führungswert für die SO_3 -Konzentration und dem ermittelten Istwert für die SO_3 -Konzentration einem Zustandsregler zugeführt wird.

Der Zustandsregler bildet einen Stellvektor für den Mischungsprozeß, d. h. für die Steuerung der Zuführeinrichtungen der einzelnen Aufgabekomponenten.

Der ermittelte Istwert der SO_3 -Konzentration und der durch das mathematische Prozeßmodell errechnete Vorhersagewert für die SO_3 -Konzentration werden einer Adaptionsschleife zugeführt, dessen Korrektursignal für die Anpassung des mathematischen Prozeßmodells an die realen Bedingungen des Prozesses dient. Auf der Grundlage des Stellvektors und des Korrektursignals, das der Abweichung zwischen dem ermittelten Istwert der SO_3 -Konzentration und dem durch das mathematische Prozeßmodell errechneten Vorhersagewertes für die SO_3 -Konzentration entspricht, wird durch das mathematische Prozeßmodell eine Zustandsinformation gebildet, die im realen Prozeß nicht verfügbar ist.

Diese Zustandsinformation wird mit dem Führungswert der SO_3 -Konzentration und dem ermittelten Istwert der SO_3 -Konzentration durch den Zustandsregler zu einem korrigierten Stellvektor verarbeitet.

Im Zustandsregler werden weiterhin technologische Nebenbedingungen durch einen nachgeordneten Verarbeitungsblock bei der Bildung des korrigierten Stellvektors berücksichtigt. Dabei ist der Mischungsprozeß, der im Mahlkreislauf abläuft, zeitoptimal ausgelegt, wenn der Übergangsvorgang nach der Ausgabe einer minimalen Anzahl von Stellvektoren des Reglers abgeschlossen ist.

In einer gesonderten Prozesssicherungsschaltung, die dem Zustandsregler nachgeordnet ist, werden Betriebsstörungen in der Zuführung der Aufgabekomponenten kompensiert, indem bei Störung einer Zuführungseinrichtung für eine Aufgabekomponente die Zeitdauer der Störung erfaßt wird und bei Wegfall der Störung für den gleichen Zeitraum eine entsprechende Erhöhung des Massenstromes der entsprechenden Aufgabekomponente erfolgt. Die Zeitdauer der Störung darf nicht größer sein als die größte Zeitkonstante des Mischungsprozesses.

Die Erfindung soll nachstehend an einem Ausführungsbeispiel näher erläutert werden. Die zugehörigen Figuren stellen dar:

Fig. 1 Prinzipdarstellung des Mahlkreislaufes

Fig. 2 Prinzipdarstellung der modellgestützten Regelschaltung

Fig. 3 Blockdarstellung der Prozesssicherungsschaltung.

Die Fig. 1 zeigt die schematische Darstellung einer Umlaufmahlanlage nach dem Stand der Technik. Dabei besteht die Umlaufmahlanlage aus einer Kugelmühle 1 und einem dynamischen Windsichter 2. Die Mühle 1 wird über Schüttgutzuführungseinrichtungen 3.1 bis 3.3 wie Dosierbandwaagen oder Förderbänder mit dem Frischgut 8 beschickt. Das Frischgut 8 besteht aus den Komponenten: Klinker 5, Gips 6 und den Zuschlagstoffen 7. Jede Komponente der Ausgangsstoffe ist Träger einer SO_3 -Konzentration.

Das Frischgut 8 wird nach dem Passieren der Einlaufschnecke durch die sich in dem drehenden Mühlenrohr befindlichen Mahlkugeln zerschlagen. Dabei wandert das aufzunehmende Frischgut 8 langsam in Richtung Mühlenaustrag, wo es von der Mühle über eine Fördereinrichtung, z. B. ein Becherwerk, als Sichter aufgabemassenstrom 9 in den Sichter 2 transportiert wird. Der Sichter 2 trennt die feinen von den groben Anteilen. Der Feinanteil wird als Fertiggut 10 aus dem Kreislauf ausgetragen und zum Silo transportiert. Der Grobanteil 12, der Grieß, wird über pneumatische Fördereinrichtungen 4 zum Mühleneingang transportiert. Das Mahlgut durchläuft den Mahlkreislauf solange, bis es vom Sichter 2 als ausreichend fein erkannt und als Fertiggut 10 ausgeschleust wird.

Neben der Feinheit des Fertiggutes 10, z. B. eines Zementes mit definiertem $Q(15)$ -Wert oder Blaine-Wert, ist die SO_3 -Konzentration des Fertiggutes 10 ein wichtiger Parameter, der die Eigenschaften des Zementes für den späteren Einsatz wesentlich beeinflusst. Zur Messung der SO_3 -Konzentration werden übliche Verfahren herangezogen.

Die Fig. 2 der Zeichnung zeigt einen Mahlkreislauf 14 mit der zugehörigen modellgestützten PI-Zustandsregelung. Der Block Mahlkreislauf 14 beinhaltet die Elemente des Mahlkreislaufes nach Fig. 1. Dem Mahlkreislauf wird ein Frischgutmassenstrom 8 zugeführt. Aus diesem Mahlkreislauf wird ein Fertiggutmassenstrom 10 mit einer SO_3 -Endkonzentration ausgetragen.

Ein Nachteil des bekannten Verfahrens, bedingt durch die große Analysenzeit, ist das Vorliegen des Istwertes y der SO_3 -Konzentration des Fertiggutes 10 nur zu äquidistanten Zeitpunkten. Zwischengrößen oder Zustandsgrößen, die den SO_3 -Prozeß näher beschreiben, sind nicht verfügbar.

Daraus ergibt sich das Erfordernis, Werte zu ermitteln, die eine Aussage über den Zustand des Mischungsprozesses zur Absicherung der SO_3 -Konzentration gestatten und diese so in das Regelungsgesetz unter Anwendung eines zeitoptimalen Kriteriums zu integrieren, daß ein gutes Führungsverhalten und eine gute Störunterdrückung des geschlossenen Regelkreises erzielt wird. Die Abstimmung des Mischungsprozesses der Mahlanlage auf das zeitoptimale Kriterium wird durch ein klassisches Reglerauslegungsverfahren nicht erreicht, da der Reglerentwurf trotz großer Analysenzeit und

Zeitkonstanten des Prozesses und damit verbundener großer Abtastzeit auf Basis des quasikontinuierlichen Entwurfes erfolgt.

Um auch bei technischen Prozessen mit vergleichsweise großen Zeitkonstanten eine schnelle Einstellung des Qualitätskennwertes SO_3 -Konzentration im Fertiggut 10 zu erreichen, wird so verfahren, daß eine rechnerische Nachbildung der Prozeßdynamik des Mischungsprozesses erfolgt. Bei dem vorgeschlagenen Verfahren erfolgt die Reglerauslegung auf der Grundlage der diskreten Beschreibung der Prozeßdynamik, d. h. die großen Zeitkonstanten des Prozesses sowie die rekonstruierte Zustandsinformation $\hat{x}$ des Prozesses und die Vorgabe eines zeitoptimalen Kriteriums werden unter Beachtung der großen Abtastzeit für die diskrete Reglerauslegung benutzt.

Das Regelungsverfahren wird zunächst dadurch vorbereitet, daß vor der Inbetriebnahme ein mathematisches Modell des Mischungsprozesses, der die Entwicklung der SO_3 -Konzentration des Fertiggutes 10 in der Zementmahlanlage 14 beschreibt, aufgestellt und die Parameter, d. h. die Zeitkonstanten aller dynamischen Teilsysteme ermittelt werden. Dabei erfolgt die Parameteridentifikation des mathematischen Prozeßmodells 15 mit den für die Steuerung des Prozesses notwendigen Prozeßvariablen, d. h. mit den Stellwerten der Dosierbandwaagen 3.1 bis 3.3 und dem Istwert y der SO_3 -Konzentration des Fertiggutes 10. Für das mathematische Prozeßmodell 15 wird eine Adaptionsschleife berechnet, die eine online-Nachführung des mitlaufenden Prozeßmodells 15 am Mehrgrößenprozeß des Mahlkreislaufes 14 gestattet. Das mathematische Prozeßmodell 15 berechnet auf der Grundlage des Stellvektors u und des Fehlersignals $\bar{y}$ den Vektor der Zustandsinformation $\hat{x}$ des Prozesses, der im realen Prozeß nicht verfügbar ist. Der Stellvektor u stellt die komponentenweise Zusammenfassung der Stellwerte für die einzelnen Dosierbandwaagen 3.1 bis 3.3 des Mahlkreislaufes dar. Der Zustandsvektor $\hat{x}$ ist die aus dem mathematischen Modell abgreifbare Information, wenn das mathematische Modell in Zustandsdarstellung beschrieben wird. Dieser Zustandsvektor $\hat{x}$ beinhaltet die Information über den errechneten Vorhersagewert $\bar{y}$ der SO_3 -Konzentration als auch den Vorhersage-Wert für die SO_3 -Konzentrationsänderungsgeschwindigkeit. Durch diese Zustandsinformation gewinnt die Qualität der Mischungsregelung der Mahlanlage, da die Dynamik des Prozesses sich in der Zustandsinformation $\hat{x}$ widerspiegelt und diese für die Regelung des Prozesses genutzt wird. Auf der Basis des mathematischen Prozeßmodells 15 und eines Entwurfskriteriums wird ein Zustandsregler 13 berechnet, dessen Stellvektor u den Prozeß zeitoptimal anregt, so daß ein beliebiger Systemzustand x_0 in endlicher Zeit nach Null überführbar ist, d. h. jeder Punkt des Prozeßraumes ist ansteuerbar. Der Zustandsregler 13 wird als PI-Zustandsregler 13 mit endlicher Einstellzeit ausgelegt, um eine schnelle Ausregelung des Prozesses und eine gute Störunterdrückung zu bewirken.

Durch die Führungswertvorgabe w für die SO_3 -Konzentration des Fertiggutes 10 und die Differenzbildung mit dem ermittelten Istwert der SO_3 -Konzentration y wird ein Fehlersignal e erzeugt, welches durch Aufgabe auf den PI-Regler einen Stellwert erzeugt. Der Stellwert des PI-Regler wird vereinigt mit dem Stellwert des Zustandsreglers, welcher aus der Multiplikation des Zustandsvektors $\hat{x}$ mit der Reglermatrix K entsteht. Dieser Summenstellwert wird auf den Verarbeitungsblock 17 gegeben. Dabei bietet der Verarbeitungsblock 17 des Zustandsreglers 13 die Möglichkeit, technologische Nebenbedingungen 19 für die Prozeßführung zu berücksichtigen. Diese technologischen Nebenbedingungen sind z. B. die prozentuale Größe und Konstanz von einzelnen Komponenten über den Zeitraum der Prozeßführung