

12 **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

21 Anmeldenummer: **87112881.5**

51 Int. Cl.4: **B28C 7/02**

22 Anmeldetag: **03.09.87**

43 Veröffentlichungstag der Anmeldung:  
**08.03.89 Patentblatt 89/10**

71 Anmelder: **Akademie der Wissenschaften der DDR**  
**Otto-Nuschke-Strasse 22/23**  
**DDR-1086 Berlin(DD)**

64 Benannte Vertragsstaaten:  
**AT CH DE FR GB LI SE**

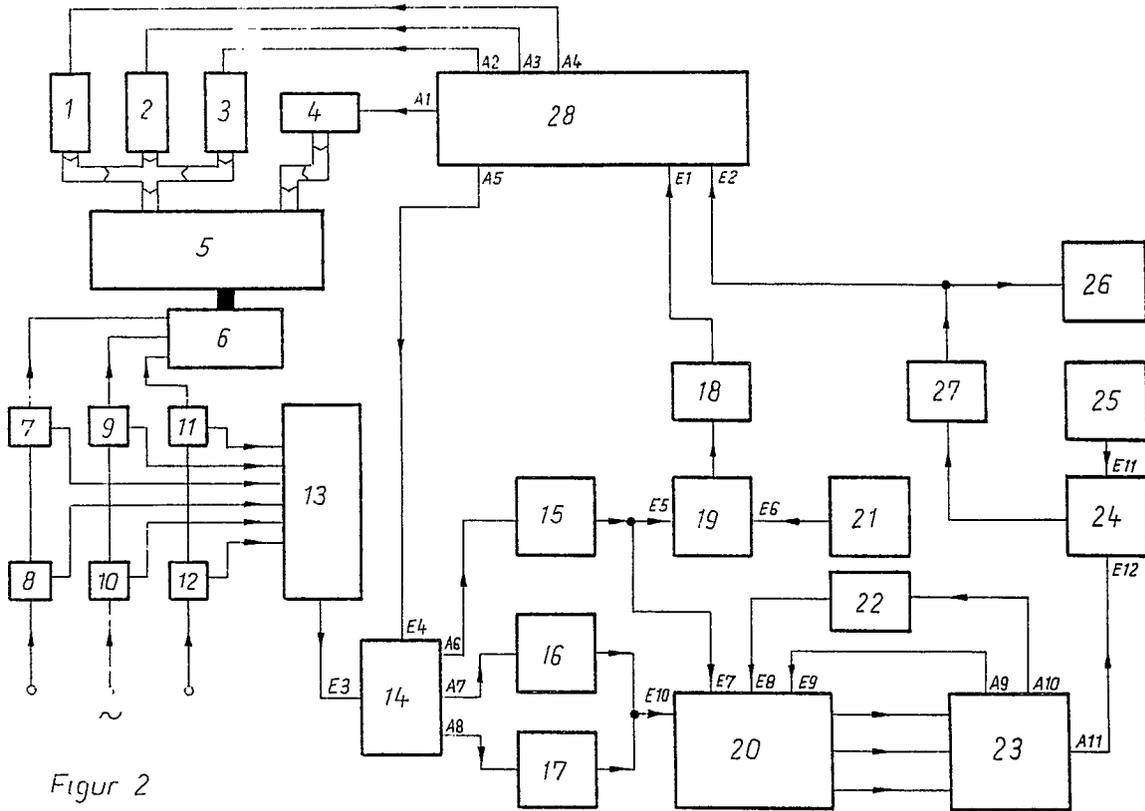
72 Erfinder: **Frenzel, Hans-Ulrich, Dr.-Ing.**  
**Ahrenshooper Strasse 43**  
**DDR-1093 Berlin(DD)**  
Erfinder: **Enz, Fred**  
**Dammweg 114**  
**DDR-1193 Berlin(DD)**  
Erfinder: **Schmelovsky, Karl-Heinz, Prof. Dr.**  
**Memhardtstrasse 2**  
**DDR-1020 Berlin(DD)**  
Erfinder: **Tänzler, Wolfgang, Dr.**  
**Mangerstrasse 14**  
**DDR-1500.Potsdam(DD)**  
Erfinder: **Bartusch, Wilfried**  
**Okertalstrasse 7**  
**DDR-1114 Berlin(DD)**

74 Vertreter: **Patentanwälte Beetz sen. - Beetz jun. Timpe - Siegfried - Schmitt-Fumian**  
**Steinsdorfstrasse 10**  
**D-8000 München 22(DE)**

54 **Verfahren und Schaltungsanordnung zur Steuerung der Konsistenz von Frischbeton in stationären Betonmischanlagen.**

57 Nach dem erfindungsgemäßen Verfahren wird während des Mischprozesses bereits in der Wasserzulaufphase unter Benutzung eines Zusammenhangs zwischen dem mit der Konsistenz korrelierenden Leistungsmittelwert des Mischmotors und der aktuell untergemischten Wassermenge der am Ende des Mischprozesses auftretende Leistungsendwert mit einem diskreten Kalman-Filter prognostiziert. Dieser prognostizierte Leistungsendwert wird mit einem Sollleistungsendwert, der als Anlagen- und Rezepturparameter fixiert ist, verglichen und die Differenz zur Bestimmung der erforderlichen Restwassermenge und damit zur Steuerung des Wasserventils benutzt. Die Schaltungsanordnung besteht im wesentlichen aus einer Wirkleistungsmeßeinrichtung (13), die über einen zeitgesteuerten elektronischen Umschalter (14) mit einem Kalman-Filter 1. Ordnung (15) bzw. über Meßwertwandlereinheiten (16, 17) mit einem Kalman-Filter 3. Ordnung (20) und einer Endwertbestimmungsschaltung (23) verbunden ist. Das am Ausgang der Endwertbestimmungsschaltung (23) anliegende, die Konsistenz charakterisierende Signal wird mittels eines Differenzverstärkers (24) mit einem in einem Festwertspeicher (25) fixierten Anlagen- und Rezepturparameter verglichen. Die Differenz dient mittels einer Bewertungsschaltung (27) zur Ableitung der Wasserventilsteuerezeiten der Mischanlage (5).

**EP 0 305 574 A1**



Figur 2

## Verfahren und Schaltungsanordnung zur Steuerung der Konsistenz von Frischbeton in stationären Betonmischanlagen

Die Erfindung betrifft ein Verfahren sowie eine Schaltungsanordnung zur Steuerung der Konsistenz von Frischbeton in stationären Betonmischanlagen, wobei während des Mischprozesses die erforderliche Wassermenge zur Gewährleistung der Sollkonsistenz adaptiv ermittelt und zugeführt wird.

Um bei der üblichen chargenweisen Herstellung von Frischbeton reproduzierbare Güteeigenschaften des Betons zu erreichen, ist es notwendig die laut Betonrezeptur geforderten Mengenrelationen und Eigenschaften von Zement, Wasser, Zuschlagstoffen und weiteren Zusatzmitteln genau einzuhalten. Die genaue Analyse aller Komponenten wäre deshalb vor jeder Mischung erforderlich, ist aber in der Praxis aus zeitlichen und ökonomischen Gründen nicht durchführbar.

Besonderen Einfluß auf die Betongüte haben das Wasser-Zement-Verhältnis und die Konsistenz des Frischbetons. Beide werden entscheidend durch die Eigenfeuchte der Zuschlagstoffe beeinflusst, die aber in der Praxis durch Lagerungsmöglichkeiten, Lagerstättegegebenheiten, Witterungseinflüsse usw. stark veränderlich ist. Damit die Güte des ausgehärteten Betons immer gesichert ist, wird bisher durch erhöhte Zementzugabe das infolge nicht bekannter Eigenfeuchte der Zuschlagstoffe entstehende Risiko bei der Frischbetonproduktion verringert. Ein naheliegendes Vorgehen zur Ermittlung der Eigenfeuchte der Zuschlagstoffe besteht in der Anwendung von Feuchtemeßsonden, z. B. Mikrowellen- oder Neutronensonden. Mit diesen Sonden wird die Feuchte der feinkörnigen Zuschlagstoffe vor jeder Mischung direkt gemessen und diese Werte werden zur Berechnung einer korrigierten Wassermenge benutzt. Nachteile dieser Sonden sind der hohe Kostenaufwand und die Störanfälligkeit infolge des komplizierten Aufbaus. Die Inhomogenität des Meßgutes, das zusätzlich Fremdkörper enthalten kann, ist die Ursache dafür, daß die alleinige Anwendung von Feuchtemeßsonden bisher nicht zu praktisch wirksamen Anlagen führte. Es wurden deshalb Verfahren entwickelt, in denen die Messung der Eigenfeuchte und die Messung der Konsistenz kombiniert werden. So ist es bekannt, mit der gemessenen Anfangsfeuchte die notwendige Wassermenge zu berechnen, einen Hauptteil der Wassermenge zuzuführen und zu einem Zeitpunkt während der Mischphase, an dem ein vorgegebener Konsistenzwert auftritt, den Rest als Nachdosierung zuzugeben (DD-WP 141 129).

Die Konsistenzmessung erfolgt üblicherweise indirekt über die Messung des elektrischen Widerstandes des Mischgutes (DE-OS 1 784 920) oder über die Wirkleistungsbestimmung des Antriebsmotors der Mischtrommel. Die Wirkleistung des Motors ist dem Reibungswiderstand des Mischgutes (dieser Wert entspricht der Konsistenz) proportional (DE-OS 1 683 778).

Die Messung der Wirkleistung in Abhängigkeit von der Zeit während der Mischphase ergibt eine charakteristische Kurve, die entsprechend dem aktuellen Konsistenzgrad des Mischgutes drei wesentliche Abschnitte besitzt

1. konstanter Verlauf während der Trockenmischphase,
2. Anstieg, Maximum and Abfall während der Zeit der Wasserzufuhr und -untermischung,
3. konstanter Endwert, wenn das gesamte zugeführte Wasser untergemischt ist.

In der DE-OS 2 855 324 wird ein Verfahren beschrieben, das diesen Kurvenverlauf ausnutzt. Für jede Rezeptur werden für eine Idealmischung in zeitäquidistanten Abständen Konsistenzsollwerte ermittelt, diese in Wirkleistungswerte umgerechnet und in einer Tabelle als Sollwerte gespeichert. Durch Vergleich mit entsprechenden Meßwerten wird die erforderliche Restwassermenge bestimmt.

Nachteile dieses Verfahrens bestehen darin, daß eine Vielzahl von Meßwerten für jede Rezeptur ermittelt und gespeichert werden muß. Hinzu kommt, daß erstens der quantitative Kurvenverlauf und die zeitliche Lage des Kurvenmaximums von Anfangsfeuchte, Sieblinie und Korrigiometrie der Zuschlagstoffe abhängen und zweitens durch harmonische und stochastische Störungen der Mischanlage die Meßwerte verfälscht werden. Dies erschwert die Berechnung der erforderlichen Restwassermenge. Eine exakte Bestimmung der Restwassermenge ist unbedingt notwendig, da durch eine zu hohe Wasserzugabe unbrauchbarer Beton entsteht.

In der DE-AS 2 432 609 wird vorgeschlagen, die Zuflußgeschwindigkeit des Wassers sehr gering zu halten. Dies führt aber zu unökonomischen Mischzeiten, wobei außerdem die Gefahr der Entmischung des Betons auftritt. Weitere Verfahren versuchen, eine definierte Anfangsfeuchte z. B. durch Sättigung der Zuschlagstoffe mit Wasser und danach kontrollierte teilweise Entfernung des Wassers (DE-OS 2 756 039) oder durch Zuführung des Wassers in Dampfform (DE-OS 1 950 910) zu erzielen. Diese Verfahren erfordern einen zusätzlichen apparativen Aufwand und erhöhten Zeitbedarf pro Mischung.

Ziel der Erfindung ist es, mittels eines Verfahrens und einer Schaltungsanordnung zur Steuerung der Konsistenz von Frischbeton zum frühest möglichen Zeitpunkt den zu erwartenden Konsistenzwert der

Mischung adaptiv zu bestimmen, so daß die zur Erzielung der Sollkonsistenz erforderliche Wassermenge dem Betongemisch bereits während der Untermischphase gesteuert zugeführt werden kann, wodurch sich eine Überdosierung von Zement vermeiden läßt. Zweck der Erfindung ist weiterhin die Vermeidung von Wasserdosierfehlern, die sich durch die unbekannte Anfangsfeuchte und durch quantitative Veränderungen einer ermittelten Wirkleistungs-Zeit-Kurve ergeben können.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren und eine Schaltungsanordnung zur Steuerung der Konsistenz von Frischbeton anzugeben, womit während der Naßmischphase, d. h. vom Beginn der Wasserzuführung an, in diskreten Zeitabständen der zu erwartende Konsistenzwert des Mischgutes, das sich aktuell in der Trommel befindet, bestimmt wird. Der Soll-Ist-Wertvergleich zur Steuerung der Wasserzufuhr soll sich hierbei auf den Vergleich nur eines bekannten Konsistenzwertes, nämlich des stationären Endwertes entsprechend der Rezeptur, mit dem adaptiv ermittelten prognostizierten Endwert reduzieren.

Die Schaltungsanordnung soll weiterhin die Erweiterung üblicher konventioneller Betonmischanlagen ermöglichen, so daß eine automatische Steuerung der Konsistenz des Frischbetons auf den Konsistenzsollwert durch kontrollierte Wasserdosierung zeitoptimal möglich ist.

Ausgehend von der Erkenntnis, daß die Konsistenz des Mischgutes nur durch die aktuell untergemischte Wassermenge bestimmt wird und die direkt nicht meßbare Zustandsgröße - untergemischte Wassermenge - sich durch die meßbare Zustandsgröße - zugeführte Wassermenge - beschreiben läßt, ist die Durchführung des im folgenden beschriebenen Konsistenzsteuerverfahrens möglich. Weiterhin wurde ein Zusammenhang zwischen dem Verlauf der Wirkleistung in Abhängigkeit von der untergemischten Wassermenge gefunden und zur Realisierung des Steuerverfahrens benutzt.

Die genannte Aufgabe wird erfindungsgemäß durch das Verfahren gemäß Patentanspruch 1 und durch die Schaltungsanordnung gemäß Patentanspruch 3 gelöst.

Eine vorteilhafte Weiterbildung des Verfahrens ist im Patentanspruch 2 gekennzeichnet.

Erfindungsgemäß wird also vor Beginn der eigentlichen Mischphase ein Leistungsendwert, d. h. ein für einen entsprechenden Füllungsgrad der Mischeinrichtung bzw. für eine Rezepturvorschrift repräsentativer Wert, ermittelt. Die Bestimmung der zu erwartenden Leistungsendwerte entsprechend dem jeweiligen Füllungsgrad erfolgt einmalig und ist als Anlagenparameter fixierbar. Während der in bekannter Weise erfolgenden Beschickung der Mischanlage wird weiterhin ein Trockenmischleistungswert, beispielsweise durch die Bestimmung der Wirkleistung des Antriebsmotors der Mischanlage, ermittelt.

Der Trockenmischleistungswert und der entsprechend dem jeweiligen Füllungsgrad bzw. der Rezepturvorschrift repräsentative Leistungsendwert werden für die weitere Durchführung des Konsistenzsteuerverfahrens abgespeichert. Zum Beginn des Trockenmischvorganges befinden sich dementsprechend ein Leistungsendwert und ein Trockenmischwert im Speicher der Mischanlage. Vom Beginn des Trockenmischvorganges bis zur Beendigung des Mischens wird, beispielsweise ebenfalls durch die Bestimmung der Wirkleistung des Antriebsmotors der Mischanlage, in äquidistanten Zeitabständen ein Leistungsmittelwert erfaßt. Die eigentliche Trockenmischphase erfolgt in bekannter Weise. Während der Trockenmischphase werden erfindungsgemäß innerhalb des Konsistenzsteuerverfahrens in äquidistanten Zeitabständen die Leistungsmittel(-meß)-werte unter Verwendung eines geeigneten diskreten Kalman-Filters 1. Ordnung derart verarbeitet, daß ein Pseudo-Istwert, d. h. ein dem tatsächlichen Leistungswert am Ende der Trockenmischphase nahekommender Wert, ableitbar ist.

Die Bestimmung des Pseudo-Istwertes und der Vergleich mit dem jeweiligen Leistungsmittel(meß)-wert lassen Fehldosierungen, d. h. Beschickungsfehler und grobe Abweichungen von der zulässigen Solleigenfeuchte der Zuschlagstoffe sofort erkennen.

Zum Beginn der Wasserzuführung wird der abgeleitete Pseudo-Istwert als Anfangswert einer ersten Komponente eines drei Komponenten enthaltenden Zustandsvektors benutzt. Die weiteren Komponenten sind innerhalb des betrachteten Systems frei wählbar.

Entsprechend der eingangs genannten Erkenntnis erfolgt mittels der erfaßten Leistungsmittel(-meß)-werte eine Übertragung der meßbaren Zustandsgröße - zugeführte Wassermenge - auf die nicht meßbare Zustandsgröße - untergemischte Wassermenge -, die letztendlich die Konsistenz des Mischgutes bestimmt, innerhalb des Zeitabschnittes vom Beginn der Wasserzuführung bis zum Ende der Wasserzuführung. Diese jetzt zur Verfügung stehenden Werte repräsentieren die Abhängigkeit zwischen der Leistung des Motors der Mischanlage und der untergemischten Wassermenge. Auf Grund der weiteren eingangs genannten Erkenntnis, d. h. des darstellbaren Zusammenhanges zwischen dem Verlauf der Leistung und der untergemischten Wassermenge, ist das Steuersystem vollständig beschreibbar. Mittels eines geeigneten diskreten Kalman-Filters 3. Ordnung werden Steuerkomponenten als Schätzwerte bereitgestellt, d. h. es wird festgestellt, welche Werte zum Zeitpunkt der nächsten Leistungsmessungen zu erwarten sind. Diese Steuerkomponenten korrelieren mit dem zu erwartenden Leistungsendwert. Aus dem Vergleich des zu erwartenden Endwertes mit dem abgespeicherten Leistungsendwert läßt sich die Steuergröße zur Beendigung oder

Fortführung der Wasserzufuhr mit hoher Genauigkeit ableiten.

Wird im nächstfolgenden Mischprozeß eine gleiche Rezeptur verarbeitet, so ist es zweckmäßig, die ermittelten Steuerkomponenten, d. h. den Schätzwert, zum Zeitpunkt der gesamten Untermischung des Wassers festzuhalten, diesen Wert auf den Anfangswert zu übertragen und als Ausgangskomponente, d. h. als Schätzanfangswert im Steuerprozeß einzusetzen. Eine derartige Verfahrensweise sichert eine geringe Einschwingzeit des Gesamtsteuerprozesses und beeinflusst den Mischprozeß in zeitlicher und qualitativer Hinsicht positiv.

Die Erfindung wird anhand der Zeichnung näher erläutert; darin zeigen:

Fig. 1 ein Diagramm zur Veranschaulichung der Verfahrensschritte; und

Fig. 2 ein Schaltschema der Schaltungsanordnung.

Der zeitliche Ablauf der erfindungsgemäßen Verfahrensschritte soll nun anhand eines Ausführungsbeispiels und der Figur 1 näher erläutert werden.

Fig. 1a zeigt den zeitlichen Verlauf der Wirkleistung des Motors der Mischanlage mit überlagerten Störsignalen während der Mischung einer üblichen Rezeptur.

Die mittlere Wirkleistung des Antriebsmotors wird vorteilhafterweise durch Messung von Strom und Spannung in zeitäquidistanten Abständen und Berechnung der Produktsummen bestimmt.

Auf der Abszisse der Figur 1 sind die Zeitmarken  $t_0$  bis  $t_6$  angegeben, die den wesentlichen Schritten des erfindungsgemäßen Verfahrens entsprechen.

Hierbei bedeuten:

$t_0$  - Beginn der Beschickung

$t_1$  - Beginn der Trockenmischphase

$t_{1,1}$  - Beginn des Vergleichs von Anfangswert des Filters mit Anlagenparameter

$t_2$  - Ende der Trockenmischphase und Beginn der Wasserzulauf- und Untermischphase

$t_3$  - Zeitpunkt der Übereinstimmung zwischen Prognose- und Sollendwert

$t_4$  - Ende der Untermischphase

$t_5$  - Beginn der Lernphase

$t_6$  - Ende der Lernphase

Zur Nutzung des Verfahrens ist es erforderlich, für jede Betonrezeptur einmalig eine Eichmischung mit bekannten Mengenrelationen und Eigenschaften aller eingesetzten Komponenten herzustellen und den Leistungswert  $N_2$  an der Zeitmarke  $t_2$  und den Leistungswert  $N_6$  als Anlagen- und Rezepturparameter an der Zeitmarke  $t_6$  zu fixieren.

In bekannter Weise wird die Mischtrommel in der Zeitphase von  $t_0$  bis  $t_1$  mit den Trockenkomponenten des Betons und einer geringen Wassermenge, die mit der unbekanntenen Eigenfeuchte der Zuschlagstoffe die Anfangsfeuchte  $W_0$  bestimmt, beschickt.

In der Trockenmischphase  $t_1$  bis  $t_2$  werden die Trockenkomponenten durchmischt. Die mit der Konsistenz korrelierende Wirkleistung  $N$  ist hierfür konstant. Die zahlenmäßige Größe dieser Konstanten variiert in Abhängigkeit von der Anfangsfeuchte  $W_0$  und von den Wäageungenauigkeiten.

Diese Konstante, die infolge der überlagerten Störungen direkt schwierig meßbar ist, wird mit Hilfe der erfindungsgemäßen Anwendung eines diskreten Kalman-Filters prognostiziert.

Mit Hilfe des einfachen Modells  $N_{k+1} = N_k$  und der aufgenommenen Meßwerte, die mit Störungen der Varianz  $R$  überlagert sind, werden der Schätzwert  $\hat{N}_{k+1}$  der Wirkleistung und die Fehlerkovarianzmatrix  $P_{k+1}$  ermittelt. Die Werte  $\hat{N}$  sind in Figur 1b dargestellt.

Vom Zeitpunkt  $t_{1,1}$  an wird der Schätzwert  $\hat{N}_{k+1}$  des Filters mit den ermittelten Anlagen- und Rezepturparametern  $N_2$  verglichen.

Bei grober Abweichung kann entweder ein Beschickungsfehler aufgetreten sein oder eine ungewöhnlich große Eigenfeuchte der Ausgangsstoffe vorliegen. In beiden Fällen erfolgen entsprechende Reaktionen. Der zum Zeitpunkt  $t_2$  prognostizierte Leistungswert  $\hat{N}_0$  korreliert mit der Anfangsfeuchte  $W_0$  und wird als Anfangswert für die Schätzung der weiteren Leistungswerte  $\hat{N}$  während der folgenden Phasen benutzt.

Mit Beginn der Zulauf- und Untermischphase von  $t_2$  bis  $t_4$  fließt Wasser mit konstanter Fließgeschwindigkeit  $A_w$  in die Mischtrommel (Fig. 1c). Entsprechend der Erkenntnis, daß nur die aktuell untergemischte Wassermenge  $W_2$  die Konsistenz bestimmt, wird die untergemischte Wassermenge mit der Beziehung  $W_2(t) = A_w t - A_w \alpha \cdot (1 - e^{-\alpha t}) + W_0$  indirekt bestimmt, wobei  $\alpha$  die Zeitkonstante der Mischanlage darstellt.

Die Abhängigkeit der Wirkleistung  $N$  von der untergemischten Wassermenge  $W_2$  wird durch ein Polynom 2. Grades, wie folgt beschrieben

$$\dot{\underline{N}} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \underline{N} + \begin{bmatrix} 0 \\ A \end{bmatrix} \quad \text{mit } \underline{N} = \begin{bmatrix} N \\ \dot{N} \end{bmatrix}$$

Da die Konstante A des Polynoms ebenfalls unbekannt ist, wird der gefundene Zusammenhang unter Verwendung eines erweiterten Zustandsvektors mit 3 Komponenten in diskreter Form dargestellt, wobei beachtet werden muß, daß Leistungswerte N jetzt von  $W_2$  abhängen ( $N = N(W_2)$ ):

$$\underline{N}_{k+1} = \begin{bmatrix} 1 & D & 1/2 & D^2 \\ 0 & 1 & D & \\ 0 & 0 & 1 & \end{bmatrix} \underline{N}_k \quad \text{mit } \underline{N} = \begin{bmatrix} N \\ \dot{N} \\ A \end{bmatrix}^T$$

$$D = W_{2,k+1} - W_{2,k}$$

D ist hierbei die nichtäquidistante Schrittweite zwischen zwei Leistungswerten, da infolge der Transformation der Leistungswerte ( $N(t) \rightarrow N(W_2)$ ) Nichtäquidistanz in  $W_2$  auftritt.

Mit der Meßgleichung  $y_k = (1 \ 0 \ 0) N_k + V_k$  kann die Kalman-Beziehung für ein Filter 3. Ordnung aufgestellt werden. Dies führt zur optimalen Prognose eines Zustandsvektors  $\hat{N}_k$ .

In einem weiteren Verfahrensschritt wird mit dem prognostizierten Zustandsvektor  $\hat{N}_k$  und der durch die Rezeptur vorgegebenen Gesamtwassermenge  $W_G$  der Leistungsendwert nach der Beziehung

$$\hat{N}_{\text{end}} = \hat{N}_k + \hat{N}_k (W_G - W_{2,k}) + \frac{1}{2} \cdot \hat{A}_k (W_G - (W_{2,k})^2)$$

bestimmt.

Den Verlauf des prognostizierten Endwertes  $\hat{N}_{\text{end}}$  während der Naßmischphase zeigt Fig. 1d.

Es wurde gefunden, daß spätestens zum Zeitpunkt  $t_3$ , der noch innerhalb der Wasserzulaufphase liegt, der prognostizierte Endwert mit dem zeitlich später auftretenden tatsächlichen Endwert ausreichend genau übereinstimmt. Deshalb wird zu diesem Zeitpunkt ein Vergleich zwischen dem Sollendwert  $N_6$  und dem prognostizierten Endwert  $\hat{N}_{\text{end}}$  durchgeführt. Die Differenz zwischen beiden dient als Kriterium zur Steuerung des Wasserzulaufventils.

Ist die Differenz zwischen Sollendwert und prognostiziertem Endwert zum Zeitpunkt des Vergleichs größer als Null, wird das Wasserzulaufventil vor dem Erreichen der vorgegebenen Rezepturwassermenge geschlossen, im umgekehrten Fall ist das Ventil später zu schließen.

Aus dem Absolutwert der Differenz wird die Zeitdauer der veränderten Ventilsteuerzeiten bestimmt.

Nach dem Schließen des Wasserzulaufventils wird im Zeitraum  $t_4$  bis  $t_5$  das restliche Wasser untergemischt, wobei nach dem gefundenen Zusammenhang jetzt folgende Beziehung gilt:

$$W_2(t) = W_G (1 - e^{-\alpha t}) + W_0$$

Zur Kontrolle des Mischvorganges wird mit dem beschriebenen Verfahrensschritt weiterhin der Zustandsvektor  $\hat{N}_k$  ermittelt. Zum Zeitpunkt  $t_5$  ist das gesamte Wasser untergemischt, und es kann nochmals ein Vergleich von  $\hat{N}_{\text{end}}$  mit  $N_6$  zur Qualitätskontrolle durchgeführt werden.

Werden mehrere Chargen gleicher Rezeptur hintereinander gemischt, kann der Zustandsvektor  $\hat{N}_{t5}$  zur Bestimmung der Komponenten des Zustandsvektors  $\hat{N}_0$  verwendet werden. Erfindungsgemäß wird die Komponente  $\hat{N}_0$  während der Trockenmischphase ermittelt. Die Komponente  $\hat{A}$  ist eine Konstante und kann direkt übernommen werden. Die Komponente  $\hat{N}_0$  wird auf Grund des gefundenen Zusammenhanges mit der Beziehung

$$\hat{N}_0 = \hat{N}_{t5} + \hat{A} (W_0 - W_G)$$

bestimmt.

Gleichzeitig werden die Endwerte der Komponenten der Fehlerkovarianzmatrix des Kalman-Filters in geeigneter Form umgewandelt und als Anfangswerte zum Zeitpunkt  $t_2$  verwendet.

Fig. 1e zeigt den Verlauf der prognostizierten Endwerte  $\hat{N}_{\text{end}}$  während einer weiteren Mischung, wenn obiger Lernprozeß im Zeitraum zwischen  $t_5$  und  $t_6$  stattfand.

Für die erfindungsgemäße Schaltungsanordnung zur Steuerung der Konsistenz wird eine an sich bekannte Anlagendosiervorrichtung durch einen Ausgang und zwei Eingänge erweitert, wobei der Erweiterungsausgang mit dem Ausgang der Zeitsteuerung, der erste Erweiterungseingang mit dem Eingang des

Havarieschalters und der zweite Erweiterungseingang mit dem Steuereingang des Wasserventils der bekannten Anlage verbunden sind. In den Speiseleitungen des Antriebsmotors der Mischanlage sind Strom- und Spannungswandler angeordnet. Der Ausgang der hierbei gebildeten Wandlereinheit ist mit dem Eingang einer Wirkleistungsmeßeinrichtung verbunden. Der Ausgang der Wirkleistungsmeßeinrichtung führt zum Schalteingang eines elektronischen Umschalters mit drei Ausgängen. Der Steuereingang des elektronischen Umschalters ist mit dem genannten Erweiterungsausgang der bekannten Anlagendosiervorrichtung verbunden.

Der erste Ausgang des elektronischen Umschalters führt zu einem Kalman-Filter erster Ordnung, der zweite Ausgang zu einer ersten Meßwertwandlereinheit und der dritte Ausgang zu einer zweiten Meßwertwandlereinheit.

Der Ausgang des Kalman-Filters erster Ordnung ist sowohl mit einem ersten Eingang eines ersten Differenzverstärkers als auch mit einem ersten Anfangswertsetzeingang eines Kalman-Filters dritter Ordnung verbunden. Der zweite Eingang des ersten Differenzverstärkers ist mit dem Ausgang eines ersten Festwertspeichers verbunden. Der Ausgang des ersten Differenzverstärkers führt zum Eingang einer ersten Bewertungsschaltung, deren Ausgang mit dem ersten Erweiterungseingang der Anlagendosiervorrichtung verknüpft ist.

Die Ausgänge der ersten und zweiten Meßwertwandlereinheit sind miteinander verbunden und führen zum Informationseingang des Kalman-Filters dritter Ordnung, dessen zweiter Anfangswert setzeingang zum Ausgang einer Rechenschaltung führt und dessen dritter Anfangswertsetzeingang mit einem ersten Ausgang einer Endwertbestimmungsschaltung verbunden ist, deren zweiter Ausgang zum Eingang der Rechenschaltung führt. Ein erster, zweiter und dritter Eingang der Endwertbestimmungsschaltung sind mit dem ersten, zweiten und dritten Ausgang des Kalman-Filters dritter Ordnung verbunden. Der dritte Ausgang der Endwertbestimmungsschaltung ist mit dem ersten Eingang eines zweiten Differenzverstärkers verbunden, dessen zweiter Eingang zum Ausgang eines zweiten Festwertspeichers führt. Der Ausgang des zweiten Differenzverstärkers führt zu einer zweiten Bewertungsschaltung, deren Ausgang mit einer Anzeigeeinheit und mit dem zweiten Erweiterungseingang der Anlagendosiervorrichtung verbunden ist.

Die Beschreibung der Funktionsweise der erfindungsgemäßen Schaltungsanordnung erfolgt anhand des Zeitverlaufs eines typischen Mischprozesses nach dem bereits dargelegten Konsistenzsteuerverfahren.

Nach der Beschickung der Mischtrommel mit den der Rezeptur entsprechenden Mengen von Zuschlagstoffen und Bindemitteln liegt am Ausgang der Wirkleistungsmeßeinrichtung der Meßwert der augenblicklichen Wirkleistung in zeitäquidistanten Abständen vor. Der elektronische Umschalter ist während der Trockenmischphase so geschaltet, daß der Eingang mit dem ersten Ausgang verbunden ist und damit der aktuelle Wirkleistungsmeßwert am Eingang des Kalman-Filters erster Ordnung anliegt und an dessen Ausgang der gefilterte Wirkleistungsmeßwert vorhanden ist. Im ersten Differenzverstärker erfolgt der Vergleich dieses Wertes mit dem ersten einmalig ermittelten und fixierten Anlagen- und Rezepturparameter, der im ersten Festwertspeicher gespeichert ist. Am Ende der Trockenmischphase wird der elektronische Umschalter über seinen Steuereingang von der Anlagendosiervorrichtung so umgeschaltet, daß der Schalteingang mit dem zweiten Ausgang des Umschalters verbunden ist. Gleichzeitig wird geprüft, ob das Ausgangssignal des ersten Differenzverstärkers eine anlagenspezifische Schwelle überschreitet. Gegebenenfalls wird Havarie ausgelöst, ansonsten erfolgt die Übernahme des gefilterten Wirkleistungsmeßwertes am Ende der Trockenmischphase über den ersten Anfangswertsetzeingang in das Kalman-Filter dritter Ordnung. Am zweiten und dritten Anfangswertsetzeingang liegen bei einer ersten Mischung beliebige oder in Abhängigkeit vom Ergebnis der vorangegangenen Mischung ausgewählte Anfangswerte an, wobei am zweiten Setzeingang das Ausgangssignal der Rechenschaltung und am dritten Setzeingang das Ausgangssignal des ersten Ausganges der Endwertbestimmungsschaltung anliegen, wodurch eine Verbesserung der Genauigkeit der Ausgangssignale des Kalman-Filters dritter Ordnung erreicht wird.

Am Eingang des Kalman-Filters dritter Ordnung liegt die Ausgangsgröße der ersten Meßwertwandlereinheit vor, in welcher der Wirkleistungsmeßwert mit Hilfe eines definierten Zusammenhanges zwischen zugeführter und untergemischter Wassermenge während der Zeit der Wasserzuführung umgeformt wird. An den Ausgängen des Kalman-Filters dritter Ordnung liegen die die Konsistenz beschreibenden, gefilterten Werte vor. Diese Werte werden zu den Eingängen der Endwertbestimmungsschaltung geführt, mit der die Werte, die am Ende der Mischphase die Konsistenz des Mischgutes charakterisieren, bereits während der Mischphase bestimmt werden. Am dritten Ausgang der Endwertbestimmungsschaltung liegt das die Endwirkleistung repräsentierende Signal an, das in einem zweiten Differenzverstärker mit dem zweiten fixierten Anlagen- und Rezepturparameter verglichen wird. Das Ausgangssignal des zweiten Differenzverstärkers wird einer zweiten Bewertungsschaltung zugeführt. Der Ausgang der zweiten Bewertungsschaltung ist mit einer Anzeigeeinheit verbunden, die zur visuellen Kontrolle der Steuergröße für die Wasserdosierung dient. Weiterhin ist der Ausgang der zweiten Bewertungsschaltung mit dem zweiten Erweiterungseingang

der Anlagendosiervorrichtung verbunden, wobei in Abhängigkeit von Vorzeichen und Größe des Ausgangssignals die Öffnungszeit des Wasserventils gesteuert wird. Nach dem Schließen des Wasserventils wird der elektronische Umschalter in einen dritten Zustand gebracht. Die Wirkleistungsmeßwerte gelangen jetzt über die zweite Meßwertwandlereinheit, in der die Meßwerte nach einem definierten Zusammenhang, der bei

5 alleiniger Untermischung des Wassers gilt, transformiert werden, an den Informationseingang des Kalman-Filters dritter Ordnung. In analoger Weise werden die prognostizierten Endwerte bereitgestellt und können am Ende der Gesamtmischphase vom ersten Ausgang der Endwertbestimmungsschaltung und vom zweiten Ausgang über die Rechenschaltung an die Anfangswertsetzeingänge des Kalman-Filters dritter Ordnung gegeben und an der Anzeigeeinheit zur Kontrolle des erreichten Konsistenzendwertes benutzt werden.

10 Die vorstehend beschriebene Schaltungsanordnung soll anhand eines Beispiels und der Figur 2 näher erläutert werden.

Die Mischtrommel 5, welche mechanisch mit der Antriebseinheit 6 verbunden ist, wird über die Silos 1, 2 und 3 sowie das Wasserventil 4 beschickt. Die Dosierung der Zuschlagstoffe sowie des Bindemittels entsprechend der vorliegenden Rezeptur erfolgt durch die bekannte Anlagendosiervorrichtung 28. Hierfür

15 sind die Ausgänge  $A_2$ ,  $A_3$ , und  $A_4$  der Anlagendosiervorrichtung 28 mit den dazu erforderlichen Elementen der Silos 1, 2 und 3 verbunden. Die Steuerung des Wasserventils 4 erfolgt über die Verbindung des Ausgangs  $A_1$  der Anlagendosiervorrichtung 28 mit dem Wasserventil 4. In die Speiseleitungen der Antriebseinheit 6 sind die Stromwandler 7, 9 und 11 und die Spannungswandler 8, 10 und 12 eingeschaltete. Die Ausgänge der Wandler führen zu den Eingängen der Wirkleistungsmeßeinrichtung 13. Der Ausgang

20 der Wirkleistungsmeßeinrichtung 13 ist mit dem Eingang  $E_3$  des elektronischen Umschalters 14 verbunden. Der Eingang  $E_4$  des elektronischen Umschalters 14 steht mit dem Erweiterungsausgang  $A_5$  der Anlagendosiervorrichtung 28 in Verbindung. Weiterhin sind der Ausgang  $A_6$  des Umschalters 14 mit dem Eingang des Kalman-Filters erster Ordnung 15, der Ausgang  $A_7$  mit dem Eingang der ersten Meßwertwandlereinheit 16 und der Ausgang  $A_8$  mit dem Eingang der zweiten Meßwertwandlereinheit 17 verbunden. Der Ausgang des

25 Kalman-Filters erster Ordnung 15 führt zum Eingang  $E_5$  des ersten Differenzverstärkers 19 und zum Eingang  $E_7$  des Kalman-Filters dritter Ordnung 20. Der Eingang  $E_6$  des ersten Differenzverstärkers 19 ist mit dem Ausgang des Festwertspeichers 21 verbunden. Der Ausgang des ersten Differenzverstärkers 19 steht mit dem Eingang einer ersten Bewertungsschaltung 18 und der Ausgang dieser Bewertungsschaltung mit dem ersten Erweiterungseingang  $E_1$  der Anlagendosiervorrichtung 28 in Verbindung. Die Ausgänge der

30 ersten und der zweiten Meßwertwandlereinheit 16, 17 führen zum Eingang  $E_{10}$  des Kalman-Filters dritter Ordnung 20. Der Eingang  $E_8$  des Kalman-Filters 20 ist am Ausgang einer Rechenschaltung 22 und der Eingang  $E_9$  ist am Ausgang  $A_9$  einer Endwertbestimmungsschaltung 23 angeschlossen. Die Ausgänge des Kalman-Filters 20 sind mit den Eingängen der Endwertbestimmungsschaltung 23 verbunden. Der Ausgang  $A_{10}$  der Endwertbestimmungsschaltung 23 führt zum Eingang der Rechenschaltung 22, der Ausgang  $A_{11}$

35 der Endwertbestimmungsschaltung 23 ist mit dem Eingang  $E_{12}$  des zweiten Differenzverstärkers 24 verbunden, und der Eingang  $E_{11}$  dieses Differenzverstärkers 24 steht mit dem Ausgang des zweiten Festwertspeichers 25 in Verbindung. Weiterhin ist der Ausgang des zweiten Differenzverstärkers 24 mit dem Eingang der zweiten Bewertungsschaltung 27 verbunden. Der Ausgang der Bewertungsschaltung 27 ist am zweiten Erweiterungseingang  $E_2$  der Anlagendosiervorrichtung 28 sowie am Eingang der Anzeigeeinheit 26 angeschlossen.

40

## Ansprüche

- 45 1. Verfahren zur Steuerung der Konsistenz von Frischbeton in stationären Betonmischanlagen unter Nutzung der Wirkleistungsmessung des Antriebsmotors der Mischanlage,
- dadurch gekennzeichnet, daß**
- einmalig vor Beginn der Mischphase ein für einen entsprechenden Füllungsgrad der Betonmischanlage bzw. für eine Rezepturvorschrift repräsentativer Leistungsendwert ermittelt und als Anlagenparameter fixiert
  - 50 wird,
  - während der in bekannter Weise erfolgenden Beschickung der Betonmischanlage ein Trockenmischleistungswert ermittelt wird,
  - eine Abspeicherung des entsprechend dem jeweiligen Füllungsgrad bzw. der Rezepturvorschrift ermittelten Trockenmischleistungswertes und des Leistungsendwertes erfolgt,
  - 55 - vom Beginn der Trockenmischphase bis zur Beendigung des Mischens in äquidistanten Zeitabständen ein Leistungsmittelwert erfaßt wird,
  - während der in bekannter Weise ablaufenden Trockenmischphase in äquidistanten Zeitabständen die Leistungsmittelmeßwerte innerhalb eines diskreten Kalman-Filters erster Ordnung derart verarbeitet werden,

daß ein dem tatsächlichen Leistungsendwert am Ende der Trockenmischphase nahekommender Pseudo-Istwert prognostiziert wird,

- durch Vergleich des prognostizierten Pseudo-Istwertes mit dem jeweiligen abgespeicherten Leistungsendwert bei erkennbarer Differenz an sich bekannte Maßnahmen zum Ausgleich von Fehldosierungen und Beschickungsfehlern sowie Abweichungen von der zulässigen Solleigenfeuchte der Zuschlagstoffe eingeleitet werden,
- mit Beginn der Wasserzuführung der prognostizierte Pseudo-Istwert als Anfangswert einer ersten Komponente eines drei Komponenten enthaltenden Zustandsvektors eingesetzt wird, sowie mittels des Leistungsmittelmeßwertes eine Übertragung der gemessenen Zustandsgröße - zugeführte Wassermenge - auf die nicht meßbare Zustandsgröße - untergemischte Wassermenge - innerhalb des Zeitabschnittes vom Beginn der Wasserzuführung bis zum Ende der Mischphase erfolgt,
- mittels eines diskreten Kalman-Filters 3. Ordnung eine Ableitung des zu erwartenden Leistungsendwertes erfolgt, anschließend ein Vergleich des zu erwartenden Wertes bei unveränderter Wasserzuführung mit dem abgespeicherten Leistungsendwert realisiert wird und eine auf der Auswertung dieses Vergleichs beruhende Beeinflussung der Wasserzufuhr in bekannter Weise erfolgt.

2. Verfahren nach Anspruch 1,

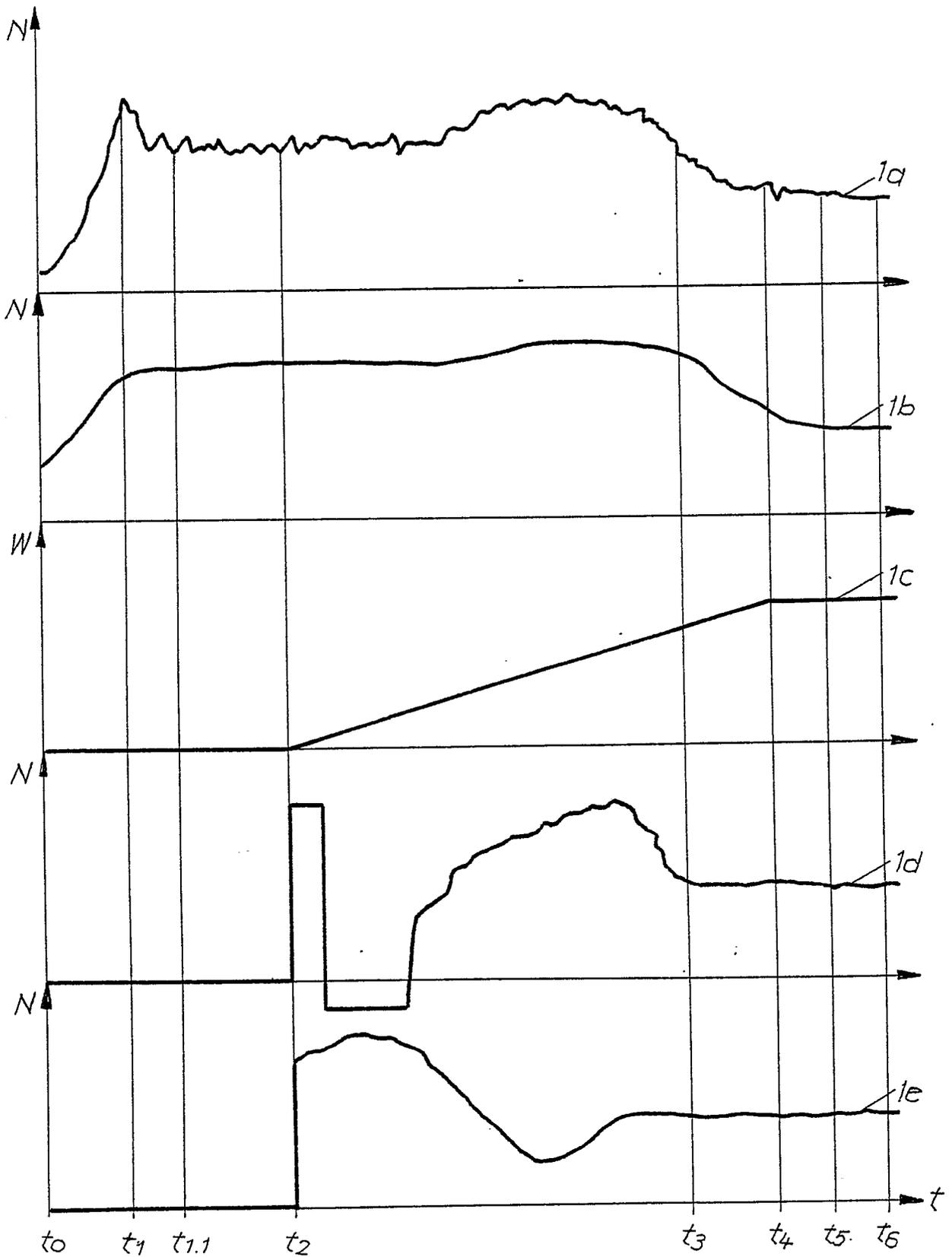
**dadurch gekennzeichnet,**

- daß bei der zeitlich aufeinanderfolgenden Durchführung von mehreren Mischungen gleicher Rezeptur eine Transformation der Prognoseendwerte auf den Prognoseanfangswert im Sinne einer Lernphase des Systems durchgeführt wird.

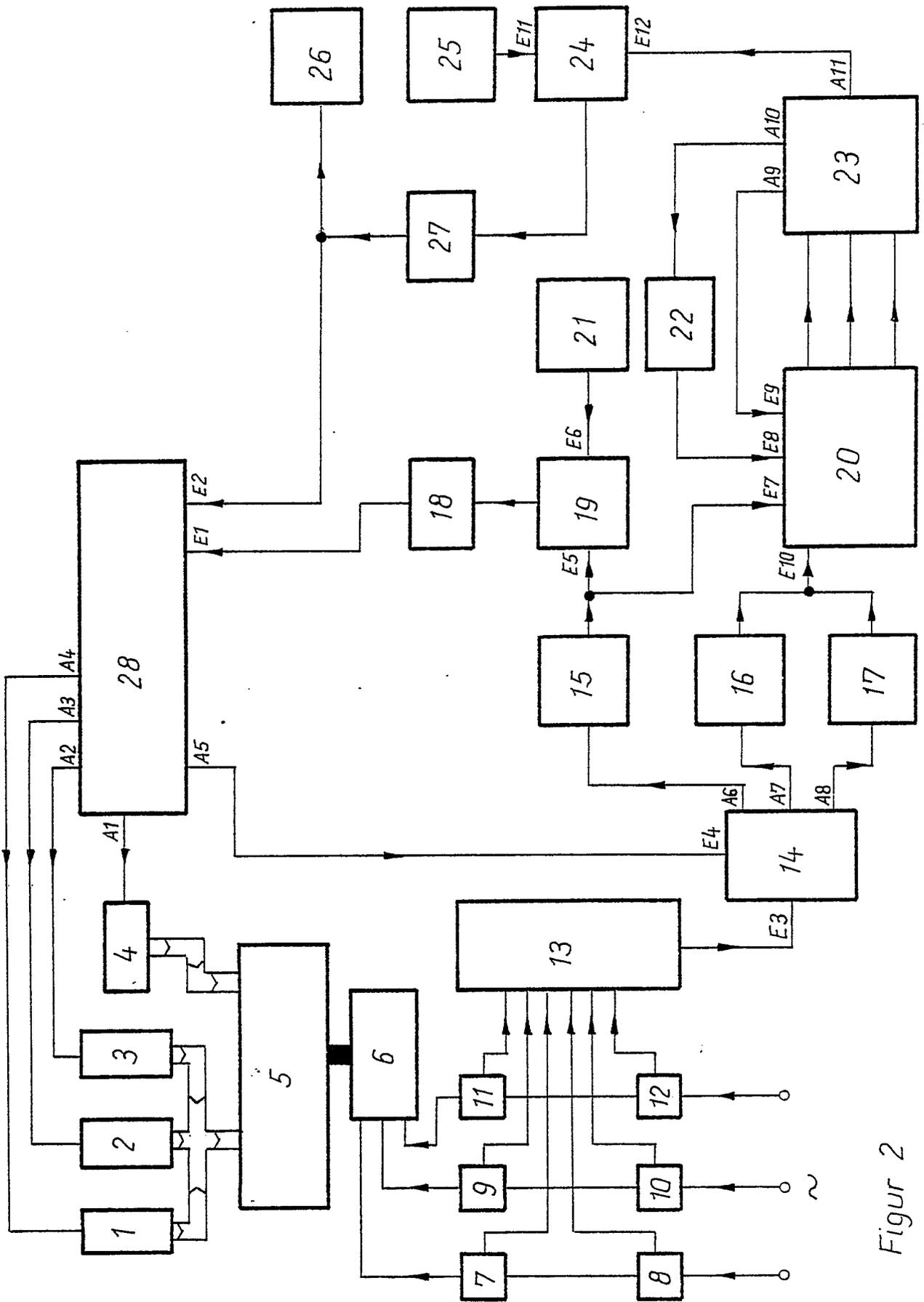
3. Schaltungsanordnung zur Steuerung der Konsistenz von Frischbeton in stationären Betonmischanlagen unter Nutzung einer Anlagendosiervorrichtung,

**dadurch gekennzeichnet, daß**

- die Anlagendosiervorrichtung (28) einen mit einer Zeitsteuerung (14) verbundenen Erweiterungsausgang, einen mit dem Havarieschalter verbundenen ersten Erweiterungseingang sowie einen mit dem Steuereingang des Wasserventils (4) verbundenen zweiten Erweiterungseingang aufweist,
- die Speiseleitungen des Motors (6) der Betonmischanlage (5) eine Wandlereinheit bildende Strom- und Spannungswandler (7 - 12) enthalten sowie eine Verbindung zwischen der Wandlereinheit mit dem Eingang einer Wirkleistungsmeßeinrichtung (13) besteht,
- der Ausgang der Wirkleistungsmeßeinrichtung (13) mit dem Schalteingang eines elektronischen Umschalters (14) verbunden ist,
- der Steuereingang des elektronischen Umschalters (14) am Erweiterungsausgang der Anlagendosiervorrichtung (28) angeschlossen ist,
- der erste Ausgang des elektronischen Umschalters (14) mit einem Kalman-Filter erster Ordnung (15), der zweite Ausgang mit einer ersten Meßwertwandlereinheit (16) sowie der dritte Ausgang des elektronischen Umschalters (14) mit einer zweiten Meßwertwandlereinheit (17) verbunden sind,
- der Ausgang des Kalman-Filters erster Ordnung (15) mit dem ersten Eingang eines ersten Differenzverstärkers (19) sowie mit dem ersten Anfangswertsetzeingang eines Kalman-Filters dritter Ordnung (20) verbunden ist,
- der zweite Eingang des ersten Differenzverstärkers (19) mit einem ersten Festwertspeicher (21) in Verbindung steht,
- der Ausgang des ersten Differenzverstärkers (19) am Eingang einer ersten Bewertungsschaltung (18) angeschlossen ist und die Bewertungsschaltung (18) mit dem ersten Erweiterungseingang der Anlagendosiervorrichtung (28) verbunden ist,
- der Ausgang der ersten Meßwertwandlereinheit (16) sowie der Ausgang der zweiten Meßwertwandlereinheit (17) mit dem Informationseingang des Kalman-Filters dritter Ordnung (20) in Verbindung stehen,
- der zweite Anfangswertsetzeingang des Kalman-Filters dritter Ordnung (20) zum Ausgang einer Rechenschaltung (22) führt sowie der dritte Anfangswertsetzeingang des Kalman-Filters dritter Ordnung (20) mit dem Ausgang einer Endwertbestimmungsschaltung (23) verbunden ist, deren zweiter Ausgang am Eingang der Rechenschaltung (22) anliegt,
- mehrere Eingänge der Endwertbestimmungsschaltung (23) mit den Ausgängen des Kalman-Filters dritter Ordnung (20) verbunden sind,
- der dritte Ausgang der Endwertbestimmungsschaltung (23) mit dem ersten Eingang eines zweiten Differenzverstärkers (24) und der zweite Eingang des zweiten Differenzverstärkers (24) mit dem Ausgang eines zweiten Festwertspeichers (25) verbunden sind und
- der Ausgang des zweiten Differenzverstärkers (24) über eine zweite Bewertungsschaltung (27) mit dem zweiten Erweiterungseingang der Anlagendosiervorrichtung (28) und dem Eingang einer Anzeigeeinheit (26) in Verbindung steht.



Figur 1



Figur 2



EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (Int. Cl.4)
A	US-A-3 593 966 (MUNROE) * Zusammenfassung; Figuren * ---	1,3	B 28 C 7/02
A	DE-A-2 124 697 (LIMBURG) * Seiten 6,7; Figur * ---	1,3	
A	DE-A-3 001 912 (RAPP) ---		
A	FR-A-2 045 089 (CENTRE EXPERIMENTAL) ---		
A	GB-A-2 171 326 (MARSHALL) -----		
			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (Int. Cl.4)
			B 28 C B 01 F B 29 B
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort	Abschlußdatum der Recherche	Prüfer	
DEN HAAG	17-05-1988	PEETERS S.	
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze	
X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet		E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist	
Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie		D : in der Anmeldung angeführtes Dokument	
A : technologischer Hintergrund		L : aus andern Gründen angeführtes Dokument	
O : mündliche Offenbarung		.....	
P : Zwischenliteratur		& : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	