

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum  
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum  
26. August 2004 (26.08.2004)

PCT

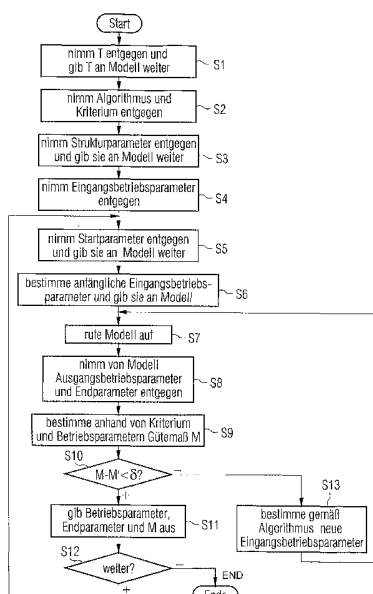
(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
WO 2004/072746 A2

- (51) Internationale Patentklassifikation<sup>7</sup>: G05B 19/418, 17/02
- (21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2004/001076
- (22) Internationales Anmeldedatum:  
5. Februar 2004 (05.02.2004)
- (25) Einreichungssprache: Deutsch
- (26) Veröffentlichungssprache: Deutsch
- (30) Angaben zur Priorität:  
103 06 273.4 14. Februar 2003 (14.02.2003) DE
- (71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT [DE/DE]; Wittelsbacherplatz 2, D-80333 München (DE).
- (72) Erfinder; und
- (75) Erfinder/Anmelder (nur für US): METZGER, Michael [DE/DE]; Würzburger Ring 33, D-91056 Erlangen (DE). SIEBER, Albrecht [DE/DE]; Kornweg 4, D-91096 Möhrendorf (DE). STÜRMER, Uwe [DE/DE]; Ludwig-Thoma-Str. 17, D-91083 Baiersdorf (DE).
- (74) Gemeinsamer Vertreter: SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT; Postfach 22 16 34, D-80506 München (DE).
- (81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD,

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: MATHEMATICAL MODEL FOR A METALLURGICAL ENGINEERING SYSTEM AND METHOD FOR OPTIMIZING THE OPERATION OF A METALLURGICAL ENGINEERING SYSTEM USING SAID MODEL

(54) Bezeichnung: MATHEMATISCHES MODELL FÜR EINE HÜTTENTECHNISCHE ANLAGE UND OPTIMIERUNGSVERFAHREN FÜR DEN BETRIEB EINER HÜTTENTECHNISCHE ANLAGE UNTER VERWENDUNG EINES DERARTIGEN MODELLS



- S1... T RECEIVED AND T IS SENT TO MODEL  
S2... ALGORITHM AND CRITERION RECEIVED  
S3... STRUCTURAL PARAMETERS RECEIVED AND SENT TO MODEL  
S4... OPERATIONAL INPUT PARAMETERS RECEIVED  
S5... START PARAMETERS RECEIVED AND SENT TO MODEL  
S6... SPECIFIC INITIAL PARAMETERS DETERMINED AND SENT TO MODEL  
S7... MODEL CALLED UP  
S8... OPERATIONAL OUTPUT AND FINAL PARAMETERS RECEIVED FROM MODEL  
S9... QUALITY STANDARD M DETERMINED ON THE BASIS OF CRITERION AND OPERATIONAL PARAMETERS  
S11... OUTPUT OPERATIONAL PARAMETERS, FINAL PARAMETERS AND M  
S12... FURTHER?  
S13... NEW OPERATIONAL INPUT CHARACTERS DETERMINED ACCORDING TO ALGORITHM

(57) Abstract: A mathematical model for a metallurgical engineering system and a method for optimizing the operation of a metallurgical engineering system by means of said model. A plurality of units (7-12) of a metallurgical engineering system (6) are modelled by means of a mathematical model. Said units are associated with supply and discharge media flows. In order to optimize operation of the system (6), structural parameters are supplied to an optimization computer (1) by a user (5). The structural parameters establish at least the number and type of units (7-12). On the basis of start parameters, which describe the initial states of the units (7-12), and an evaluation criterion (K), the optimization computer (1) determines optimized operating parameters according to an optimization algorithm (A) using said model.

(57) Zusammenfassung: Mathematisches Modell für eine hüttentechnische Anlage und Optimierungsverfahren für den Betrieb einer hüttentechnischen Anlage unter Verwendung eines derartigen Modells Mittels eines mathematischen Modells ist eine Anzahl von Aggregaten (7-12) einer hüttentechnischen Anlage (6) modellierbar, denen zuzuführende und abgegebene Medienströme zugeordnet sind. Zur Optimierung des Betriebs der Anlage (6) werden Strukturparameter von einem Anwender (5) einem Optimierungsrechner (1) vorgegeben und von diesem an das Modell (4) weitergegeben. Die Strukturparameter legen zumindest Anzahl und Art der Aggregate (7-12) fest. Anhand von Startparametern, welche Anfangszustände der Aggregate (7-12) beschreiben, und eines Beurteilungskriteriums (K) ermittelt der Optimierungsrechner (1) gemäß einem Optimierungsalgorithmus (A) unter Verwendung des Modells (4) optimierte Betriebsparameter.

WO 2004/072746 A2



MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

**Veröffentlicht:**

— ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts

**(84) Bestimmungsstaaten** (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT,

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

## Beschreibung

Mathematisches Modell für eine hüttentechnische Anlage und Optimierungsverfahren für den Betrieb einer hüttentechnischen Anlage unter Verwendung eines derartigen Modells

Die vorliegende Erfindung betrifft ein mathematisches Modell für eine hüttentechnische Anlage,

- wobei mittels des Modells eine Anzahl von Aggregaten der hüttentechnischen Anlage modellierbar ist, denen zuzuführende und abgegebene Medienströme zugeordnet sind,
- wobei die Medienströme innerhalb des Modells fest oder flexibel derart miteinander verknüpft sind, dass jeder einem der Aggregate zuzuführende Medienstrom dem jeweiligen Aggregat entweder von außerhalb der Anlage oder von einem anderen der Aggregate zugeführt wird und jeder von einem der Aggregate abgegebene Medienstrom entweder nach außerhalb der Anlage oder an ein anderes der Aggregate abgegeben wird,
- wobei dem Modell als Variable Startparameter vorgegeben werden, welche Anfangszustände der Aggregate beschreiben,
- wobei dem Modell als Variable Eingangsbetriebsparameter vorgebar sind, welche einen ersten Teil der Medienstromverläufe beschreiben,
- wobei von dem Modell Ausgangsbetriebsparameter ermittelt und ausgegeben werden, welche die verbleibenden der Medienstromverläufe beschreiben, und
- wobei von dem Modell Endparameter ermittelt und ausgegeben werden, welche Endzustände der Aggregate beschreiben.

Die vorliegende Erfindung betrifft ferner ein Optimierungsverfahren für den Betrieb einer hüttentechnischen Anlage unter Verwendung eines derartigen Modells, wobei ein Optimierungsrechner anhand der Startparameter und eines Beurteilungskriteriums gemäß einem Optimierungsalgorithmus unter Verwendung des Modells optimierte Betriebsparameter ermittelt.

Schließlich betrifft die vorliegende Erfindung noch ein auf einem Datenträger gespeichertes Computerprogramm zur Durchführung eines derartigen Optimierungsverfahrens und den Optimierungssrechner selbst.

Modelle für hüttentechnische Anlagen und Optimierungsverfahren für den Betrieb einer hüttentechnischen Anlage unter Verwendung eines derartigen Modells sind allgemein bekannt. Es werden beispielhaft genannt:

- der Fachaufsatz „Optimierung der Energieverteilung im integrierten Hüttenwerk“ von Wolfgang Krumm, Franz N. Fett, Hans-Günther Pöttken und Herbert Strohschein, erschienen in Stahl und Eisen 108 (1988) Nr. 22, Seiten 95 bis 104, sowie
- der Fachaufsatz „Vergleichmäßigung des Strombezugs bei Großverbrauchern mit Hilfe eines Energiemodells“ von P. Fleissig und F. N. Fett, erschienen in elektrowärme international, Heft B 2, Juni 1997, Seiten B 94 bis B 101.

Der Offenbarungsgehalt dieser beiden Veröffentlichungen wird hiermit durch den Verweis auf die Veröffentlichungen in diese Anmeldung mit aufgenommen.

Die Modelle und Optimierungsalgorithmen des Standes der Technik arbeiten als solche bereits recht zufriedenstellend. Sie leiden aber unter dem Nachteil, dass sie starr und unflexibel sind.

Die Aufgabe der vorliegenden Erfindung besteht darin, diesem Nachteil abzuwehren.

Die Aufgabe wird für das eingangs genannte Modell dadurch gelöst, dass dem Modell als Variable Strukturparameter vorgebar sind, welche zumindest Anzahl und Art der Aggregate festlegen und dass die Medienströme auf Grund der Strukturparameter miteinander verknüpft sind.

Für das eingangs genannte Optimierungsverfahren wird die Aufgabe dadurch gelöst, dass die Strukturparameter von einem Anwender dem Optimierungsrechner vorgegeben werden und von diesem an das Modell weitergegeben werden.

Die Energieströme umfassen vorzugsweise sowohl Material- als auch Energie- und Energieträgerströme. Denn in diesem Fall ist das Modell besonders flexibel handhabbar.

Wenn die Betriebsparameter auch Qualitätsverläufe für die Medienstromverläufe aufweisen, ist es noch flexibler ausgebildet.

Wenn mittels der Strukturparameter zusätzlich zur Art der Aggregate auch vorgebar ist, wie die Aggregate miteinander verknüpft sind und/oder mit welchen Teilmodellen die Aggregate modelliert werden, ist die Komplexität des Gesamtmodells bei an sich unveränderter Anlage als solcher an die verfügbare Rechenleistung eines Rechners anpassbar.

Eine weitere Anpassungsmöglichkeit an die zur Verfügung stehende Rechenleistung besteht darin, dass die Medienstromverläufe sich über eine Zeitspanne erstrecken, die dem Modell als Variable vorgebar ist.

Die Vorgabe der Teilmodelle und die Vorgabe der Zeitspanne können dabei gegebenenfalls miteinander geeignet kombiniert werden. Für offline-Rechnungen können beispielsweise die Zeitspanne und die Komplexität hochgesetzt werden, beispielsweise auf eine Zeitspanne von einer Woche und eine hohe Komplexität der Teilmodelle. Wenn der verwendete Rechner hierzu eine Rechenzeit von z. B. zwei Tagen benötigt, ist dies, weil eine offline-Rechnung durchgeführt wird, unkritisch. Wenn hingegen eine online-Rechnung durchgeführt werden soll, kann beispielsweise die Zeitspanne auf nur eine Stunde gesetzt werden und die Komplexität der Teilmodelle auf „mittel“ bzw. „einfach“ verringert werden. In diesem Fall benötigt der

Rechner beispielsweise nur 20 Minuten für die Vorausberechnung, so dass noch genügend Zeit für eventuell erforderliche prozessbeeinflussende Maßnahmen verbleibt.

Wenn dem Optimierungsrechner vom Anwender vorgegeben wird, welche der Medienstromverläufe Eingangs- und welche Ausgangsbetriebsparameter sind, kann vom Anwender festgelegt werden, welche Betriebsparameter zu optimieren sind. Denn nur die Eingangsbetriebsparameter werden vom Optimierungsrechner variiert. Die Ausgangsbetriebsparameter hingegen werden vom Modell ermittelt.

Wenn auch das Beurteilungskriterium dem Optimierungsrechner vom Anwender vorgegeben wird, ist das Optimierungsverfahren noch flexibler. Denn dann kann auch vorgegeben werden, nach welchem Kriterium die Optimierung erfolgen soll.

Wenn dabei das Beurteilungskriterium derart vorgebar ist, dass es für mindestens einen nach außerhalb der Anlage abgegebenen Medienstromverlauf umso besser erfüllt wird, je geringer dieser Medienstromverlauf ist, sind auch „Negativkriterien“ berücksichtigbar. Dies gilt ganz besonders, wenn dieser Medienstromverlauf ein Materialstrom (z. B. Abgas, Schadstoff, Schlacke) ist.

Vorzugsweise ist das Beurteilungskriterium auch derart vorgebar, dass es besser erfüllt wird, wenn ein Qualitätsverlauf eines ersten der Anlage von außerhalb zugeführten Medienstromverlaufs absinkt und hiermit korrespondierend ein zweiter der Anlage von außerhalb zugeführter Medienstromverlauf auf Grund des Absinkens des Qualitätsverlaufs des ersten Medienstromverlaufs ansteigt. Denn dann kann insbesondere auch eine sogenannte Mediensubstitution optimiert werden.

Letztgenannte Optimierung ist dabei insbesondere dann von Vorteil, wenn der erste Medienstromverlauf ein Materialstromverlauf (z. B. für einen Hochofen bestimmtes Eisenerz) und

der zweite Medienstromverlauf ein Energie- oder ein Energieträgerstromverlauf (z. B. zum Ausschmelzen des Eisens aus dem Erz benötigter Koks) ist.

Das Optimierungsverfahren arbeitet noch flexibler, wenn auch der Optimierungsalgorithmus dem Optimierungsrechner vom Anwender vorgegeben wird.

Eine noch bessere Flexibilisierung ergibt sich, wenn die Zeitspanne vom Anwender dem Optimierungsrechner vorgegeben und von diesem an das Modell weiter gegeben wird.

Weitere Vorteile und Einzelheiten ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung eines Ausführungsbeispiels in Verbindung mit den Zeichnungen. Dabei zeigen in Prinzipdarstellung

- FIG 1 ein Blockschaltbild eines Optimierungsrechners und eines Modells für eine hüttentechnische Anlage,  
FIG 2 und 3 beispielhafte Ablaufdiagramme,  
FIG 4 eine schematische Darstellung einer hütten-technischen Anlage und der darin auftretenden Medienströme,  
FIG 5 ein Ablaufdiagramm und  
FIG 6 bis 8 Zeitdiagramme.

Gemäß FIG 1 ist ein Optimierungsrechner 1 mit einem Computerprogramm 2 programmiert. Das Computerprogramm 2 ist dem Optimierungsrechner 1 über einen Datenträger 3, z. B. eine CD-ROM 3, zugeführt worden. Auf Grund der Programmierung mit dem Computerprogramm 2 implementiert der Optimierungsrechner 1 unter anderem ein mathematisches Modell 4 einer hüttentechnischen Anlage. Ferner führt er unter Verwendung des mathematischen Modells 4 ein nachstehend in Verbindung mit FIG 2 näher beschriebenes Optimierungsverfahren für den Betrieb der hüt-  
tentechnischen Anlage aus.

Gemäß FIG 2 wird dem Optimierungsrechner 1 von einem Anwender 5 in einem Schritt S1 zunächst eine Zeitspanne T vorgegeben. Die Zeitspanne T gibt an, über welchen Zeitraum sich Medienstromverläufe erstrecken. Die Zeitspanne T wird vom Optimierungsrechner 1 an das Modell 4 weiter gegeben. Sie wird also dem Modell 4 als Variable vorgegeben.

Sodann wird dem Optimierungsrechner 1 vom Anwender 5 ein Optimierungsalgorithmus A vorgegeben. Beispielsweise kann der Anwender 5 einen von mehreren möglichen Optimierungsalgorithmen (z. B. Simplex-Algorithmus, SQP-Algorithmus, ...) auswählen.

Im gleichen Schritt S2 wird dem Optimierungsrechner 1 vom Anwender 5 ein Beurteilungskriterium K vorgegeben, anhand dessen der Optimierungsrechner 1 ermittelte Parameter bewertet. Auch bezüglich des Beurteilungskriteriums K kann der Anwender 5 beispielsweise eines von mehreren möglichen Kriterien auswählen. Beispielsweise kann der Bezug von Energie und/oder Energieträgern minimiert werden. Auch kann der Spitzenwert z. B. des bezogenen Stroms minimiert werden. Auch kann der Schadstoffausstoß minimiert werden. Das Beurteilungskriterium K kann linear, nicht linear und darüber hinaus z. B. auch von der Tageszeit abhängig sein. Alternativ oder zusätzlich ist auch eine Mehrfachauswahl unter entsprechender Angabe von Wichtungsfaktoren möglich.

Als nächstes werden dem Optimierungsrechner 1 in einem Schritt S3 vom Anwender 5 Strukturparameter vorgegeben. Die Strukturparameter legen zumindest Anzahl und Art von Aggregaten der hüttentechnischen Anlage (einschließlich deren Leistungsdaten) fest, die durch das mathematische Modell 4 modelliert wird. Hierauf wird später in Verbindung mit den FIG 4 und 5 noch näher eingegangen werden. Auch die Strukturparameter werden vom Optimierungsrechner 1 an das Modell 4 weiter gegeben.

In einem Schritt S4 wird dem Optimierungsrechner 1 schließlich vom Anwender 5 vorgegeben, welche der Medienstromverläufe Eingangsbetriebsparameter des Modells 4 sein sollen und welche Ausgangsbetriebsparameter. Dem Optimierungsrechner 1 kann also vom Anwender 5 vorgegeben werden, welche Medienstromverläufe er variieren bzw. vorgeben und welche er durch das Modell 4 bestimmen soll. Auf Grund der Vorgabe von zeitabhängigen Medienstromverläufen kann insbesondere nicht nur ein stationärer, sondern auch ein nicht stationärer Betrieb der hüttentechnischen Anlage simuliert werden.

Nach der Eingabe dieser statischen Größen, die sich im Laufe des Optimierungsverfahrens nicht mehr ändern, werden dem Optimierungsrechner 1 vom Anwender 5 Startparameter vorgegeben, welche Anfangszustände der Aggregate der hüttentechnischen Anlage beschreiben. Auch diese Parameter werden im Schritt S5 als Variable an das Modell 4 weiter gegeben.

Gemäß den FIG 1 und 2 erfolgt die Vorgabe der Startparameter durch den Anwender 5. Dies ist deshalb möglich und erforderlich, weil das Optimierungsverfahren gemäß den FIG 1 und 2 offline abläuft. Wenn das Optimierungsverfahren hingegen online ablief, würden die Startparameter durch Istwerte der hüttentechnischen Anlage bzw. von deren Aggregaten bestimmt sein. In diesem Fall würden die Startparameter von der hüttentechnischen Anlage also direkt eingelesen werden und so von der hüttentechnischen Anlage vorgegeben werden.

In einem Schritt S6 bestimmt der Optimierungsrechner 1 als nächstes für die vom Anwender 5 als Eingangsbetriebsparameter des Modells 4 vorgegebenen Medienströme anfängliche zeitliche Verläufe und gibt sie dem Modell 4 als Eingangsbetriebsparameter vor. Er berücksichtigt dabei selbstverständlich die technologischen Randbedingungen und Abhängigkeiten des Betriebs der Aggregate. Im Schritt S7 wird dann das Modell 4 aufgerufen.

Der Optimierungsrechner 1 wartet dann ab, bis das Modell 4 - auf Grund des Aufrufs im Schritt S7 - Ausgangsparameter ermittelt hat, welche die verbleibenden Medienstromverläufe beschreiben. Diese Medienstromverläufe nimmt der Optimierungsrechner 1 in einem Schritt S8 entgegen. Im gleichen Schritt S8 nimmt der Optimierungsrechner 1 auch Endparameter entgegen, die von dem Modell 4 ermittelt wurden und Endzustände der Aggregate der hüttentechnischen Anlage nach der Zeitspanne T beschreiben.

In einem Schritt S9 ermittelt der Optimierungsrechner 1 dann anhand der Startparameter und des Beurteilungskriteriums K ein Maß M für die Güte des vorgegebenen und ermittelten Betriebsverlaufs, also der Gesamtheit der Medienstromverläufe, der hüttentechnischen Anlage. Zur Optimierung der Betriebsparameter überprüft der Optimierungsrechner 1 in einem Schritt S10 z. B., ob das ermittelte Gütemaß M sich um mehr als eine Schranke  $\delta$  von einem Gütemaß M' unterscheidet, das im unmittelbar vorhergehenden Durchlauf ermittelt wurde.

Ist der Unterschied größer als die Schranke  $\delta$ , ist dies ein Indiz dafür, dass die Betriebsparameter noch weit von ihrem Optimum entfernt sind. Ergibt sich hingegen nur eine Änderung kleiner als die Schranke  $\delta$ , ist dies ein Indiz dafür, dass man das Optimum erreicht bzw. sich ihm weitgehend bzw. hinreichend angenähert hat. Je nach dem Vergleichsergebnis im Schritt S10 wird daher entweder mit einem Schritt S11 oder mit Schritten S12 und S13 fortgefahren.

Im Schritt S11 wird gemäß dem vom Anwender 5 bestimmten Optimierungsalgorithmus A der Satz von Eingangsbetriebsparametern variiert. So dann wird zum Schritt S7 zurück gesprungen.

Im Schritt S12 werden die ermittelten, für gut bzw. optimal befundenen Betriebsparameter sowie eventuell zusätzlich das ermittelte Gütemaß M und die Endzustände der Aggregate an den Anwender 5 ausgegeben. Gegebenenfalls kann zusätzlich auch

direkt die Anlage gesteuert werden. Im Schritt S13 wird dann überprüft, ob ein weiterer Durchlauf des Optimierungsverfahrens erfolgen soll. Wenn dies der Fall ist, wird zum Schritt S5 zurück gesprungen, ansonsten wird die Abarbeitung des Optimierungsverfahrens beendet.

Das mathematische Modell 4 und dessen Betriebsablauf wird nunmehr nachstehend in Verbindung mit FIG 3 näher erläutert.

Gemäß FIG 3 nimmt das Modell 4 in einem Schritt S14 zunächst die Zeitspanne T entgegen. Im Schritt S15 nimmt es sodann die Strukturparameter entgegen. Ferner nimmt es im Schritt S16 Startparameter für die Aggregate entgegen. Im Schritt S17 nimmt es schließlich die Eingangsbetriebsparameter entgegen.

In Schritten S18 und S19 ermittelt das Modell 4 die korrespondierenden Ausgangsbetriebsparameter und die Endparameter. Auch hier werden wieder die technologischen Randbedingungen und Abhängigkeiten der Aggregate berücksichtigt. Die Ausgangsbetriebsparameter und die Endparameter werden vom mathematischen Modell 4 dann im Schritt S20 ausgegeben.

Zur näheren Erläuterung des Optimierungsverfahrens gemäß FIG 2 und des Ablaufs des mathematischen Modells 4 gemäß FIG 3 sei beispielhaft angenommen, dass mittels des Modells 4 eine hüttentechnische Anlage 6 modelliert werden soll, die - schematisch und vereinfacht - in FIG 4 dargestellt ist.

Gemäß FIG 4 weist die (beispielhafte) hüttentechnische Anlage 6 sechs Aggregate 7 bis 12 auf. Es sind dies eine Kokerei 7, eine Sinteranlage 8, ein Hochofen 9, ein Stahlwerk 10, ein Walzwerk 11 sowie ein Kraftwerk 12. Wie aus FIG 4 sofort und ohne weiteres ersichtlich ist, sind jedem der Aggregate 7 bis 12 zuzuführende und abgegebene Medienströme zugeordnet. Sowohl die Aggregate 7 bis 12 als auch die Medienströme und deren zeitliche Verläufe werden selbstverständlich im Rahmen des Modells 4 modelliert.

Der Kokerei 7 wird beispielsweise als Medienstrom der Materialstrom „Kohle“ zugeführt. Der Energieträgerstrom „Koks“ wird – je nach zeitlichem Anfall und je nach zeitlichem Bedarf – an die Sinteranlage 8 und den Hochofen 9 abgegeben. Ferner wird der Energieträgerstrom „Koksofengas“ – wieder je nach Anfall und je nach Bedarf – an die Sinteranlage 8, den Hochofen 9, das Walzwerk 11 und das Kraftwerk 12 abgegeben. Die Materialströme „Abgas“ und „Schadstoffe“ werden nach außerhalb der Anlage 6 (das heißt an die Umwelt) abgegeben. Die Abgase umfassen insbesondere Kohlendioxid und Kohlenmonoxid, die Schadstoffe beispielsweise Stick- und Schwefeloxide.

In ähnlicher Weise werden der Sinteranlage 8 von außen der Materialstrom „Eisenerz“ und – soweit zusätzlich zum Koksstrom von der Kokerei 7 erforderlich – der Energieträgerstrom „Koks“ zugeführt. Von ihr wird Sinter an den Hochofen 9 abgegeben. Vom Kraftwerk 12 werden der Sinteranlage 8, soweit erforderlich, der Energiestrom „elektrischer Strom“ sowie der Energieträgerstrom „Dampf“ zugeführt. Ferner werden ihr gegebenenfalls von der Kokerei 7 der Energieträgerstrom „Koksofengas“ und vom Hochofen 9 der Energieträgerstrom „Gichtgas“ zugeführt. Auch von der Sinteranlage 8 werden Materialströme an die Umwelt abgegeben, insbesondere wieder Schadstoffe und Abgase.

Dem Hochofen 9 werden von außen der Materialstrom „Koks“ und der Energieträgerstrom „Erdgas“ zugeführt. Die Materialströme „Schlacke“, „Abgas“ und „Schadstoffe“ werden von ihm nach außen abgegeben. Anlagenintern werden ihm, wie bereits erwähnt, von der Kokerei 7 Koks und Koksofengas sowie von der Sinteranlage 8 Sinter zugeführt. Gichtgas wird von ihm – je nach Anfall und je nach Bedarf – an die Kokerei 7, die Sinteranlage 8 und das Kraftwerk 12 abgegeben. Dem Hochofen 9 werden ferner, soweit erforderlich, vom Kraftwerk 12 aus Dampf und elektrischer Strom zugeführt, vom Stahlwerk 10 aus Konvertergas. Ferner wird – als Hauptzweck des Hochofens 9 – von ihm Roheisen an das Stahlwerk 10 abgegeben.

## 11

Dem Stahlwerk 10 werden von außerhalb der hüttentechnischen Anlage 6 die Materialströme „Schrott“ und „Sauerstoff“ zugeführt. Anlagenintern werden ihm vom Hochofen 9 Roheisen und vom Kraftwerk Dampf und elektrischer Strom zugeführt. Nach außen werden vom Stahlwerk 10 Schlacke, Schadstoffe und Abgas abgegeben. Anlagenintern werden vom Stahlwerk 10 Konvertergas an den Hochofen 9, die Kokerei 7, das Walzwerk 11 und das Kraftwerk 12 abgegeben. Stahl wird an das Walzwerk 11 abgegeben.

Dem Walzwerk 11 werden anlagenintern vom Stahlwerk 10 Stahl und Konvertergas zugeführt. Von der Kokerei 7 wird dem Walzwerk 11 Koksofengas zugeführt, vom Hochofen 9 Gichtgas. Ferner wird dem Walzwerk 11 vom Kraftwerk 12 elektrischer Strom zugeführt. Vom Walzwerk 11 wird das Endprodukt (gewalzter Stahl) nach außen abgegeben.

Dem Kraftwerk 12 werden von außen elektrischer Strom, Erdgas und/oder Heizöl zugeführt. Anlagenintern werden ihm von der Kokerei 7, dem Hochofen 9 und dem Stahlwerk 10 die dort anfallenden brennbaren Gase (Kuppelgase) zugeführt. Vom Kraftwerk 12 werden Dampf und elektrischer Strom an die Kokerei 7, die Sinteranlage 8, den Hochofen 9 und das Stahlwerk 10 abgegeben. An das Walzwerk 11 wird ferner elektrischer Strom abgegeben, an die Umwelt Dampf, Abgase und Schadstoffe.

Ersichtlich umfassen also die Medienströme zwischen den Aggregaten 7 bis 12 Materialströme (z. B. Erz, Schlacke und Abgas), Energieträgerströme (z. B. Erdgas, Heizöl und Koksofengas) und Energieströme (insbesondere Dampf und elektrischen Strom). Ferner gilt für jedes der Aggregate 7 bis 12, dass diesem Aggregat 7 bis 12 zuzuführende Medienströme dem jeweiligen Aggregat 7 bis 12 entweder von außerhalb der Anlage 6 oder von einem anderen der Aggregate 7 bis 12 zugeführt werden. Auch wird jeder von einem der Aggregate 7 bis 12 abgegebene Medienstrom entweder nach außerhalb der Anlage 6 oder an ein anderes der Aggregate 7 bis 12 abgegeben.

Um eine Anlage wie beispielsweise die in FIG 4 dargestellte hüttentechnische Anlage 6 flexibel modellieren zu können, ist der Schritt S3 (siehe FIG 2) gemäß FIG 5 in mehrere Schritte aufgeteilt. Dies wird nachstehend in Verbindung mit FIG 5 näher erläutert.

Gemäß FIG 5 wird im Rahmen der Abarbeitung des Schritts S3 zunächst in einem Schritt S21 beim Anwender 5 abgefragt, ob ein Aggregat 7 bis 12 eingegeben werden soll.

Wenn dies nicht der Fall ist, werden vom Optimierungsrechner 1 in einem Schritt S22 die bisher eingegebenen Strukturdaten an das Modell 4 übermittelt. Entsprechend der Vorgabe durch den Anwender 5 wird dann im Modell 4 ein Teilmodell für das jeweilige Aggregat 7 bis 12 selektiert und parametrisiert. Auf die Details der Teilmodelle als solche muss dabei im Rahmen der vorliegenden Erfindung nicht näher eingegangen werden, da diese Teilmodelle als solche bekannt sind. Beispielhaft wird auf die beiden eingangs genannten Fachaufsätze, ergänzend auf die Doktorarbeit „Ein Modell zur produktionsabhängigen Prognose des Energiebedarfs eines Hüttenwerks mit dem Ziel der Energiekostenoptimierung“ von M. Reh an der Universität Siegen, 1992, sowie auf den Fachaufsatz „Mathematische Modellierung und Optimierung der Energieverteilung im integrierten Hüttenwerk“, Forschungsberichte VDI, Reihe 6, Energieerzeugung Nr. 232, 1989, verwiesen.

Anderenfalls wird in einem Schritt 23 vom Optimierungsrechner 1 zunächst beim Anwender 5 der Typ des zu modellierenden Aggregats 7 bis 12 abgefragt. Der Typ umfasst beispielsweise die Art des Aggregats 7 bis 12, dessen technische Leistungsparameter und dessen Medienströme.

Sodann wird in einem Schritt S24 vom Optimierungsrechner 1 beim Anwender 5 abgefragt, mit welchen der bereits vorgegebenen Aggregate 7 bis 12 das nunmehr neu eingegebene Aggregat 7 bis 12 verknüpft sein soll. Es wird also abgefragt, welche

Medienströme von dem neu eingegebenen Aggregat 7 bis 12 an welche der anderen Aggregate 7 bis 12 abgegeben werden und welche Medienströme von den anderen, bereits definierten Aggregaten 7 bis 12 entgegen genommen werden. Medienströme, die nicht anlagenintern verknüpft sind, werden als von außen bezogen bzw. nach außen abgegeben gesetzt. Sodann wird in einem Schritt S25 abgefragt, ob diese Verknüpfung gemäß dem Schritt S24 starr oder flexibel sein soll. Wenn vom Anwender 5 eine flexible Verknüpfung gewünscht wird, wird vom Optimierungsrechner 1 in einem Schritt S26 abgefragt, unter welchen Bedingungen (z. B. völlig frei) welche Verknüpfungen erfolgen sollen.

Jedes Teilmodell ist eine vergrößerte Darstellung des realen Aggregats 7 bis 12. Das Ausmaß der Vergrößerung kann dabei stärker oder schwächer sein. Vorzugsweise wird daher in einem Schritt S27 noch abgefragt, mit welchem Teilmodell das neu vorgegebene Aggregat 7 bis 12 modelliert werden soll. Beispielsweise kann der Anwender 5 ein einfaches, ein kompliziertes und ein mittleres Teilmodell für jeden Aggregattyp wählen. Der Schritt S27 kann gegebenenfalls unmittelbar vor den Schritt S23 vorgezogen werden, da - je nach Ausgestaltung der Modelle - die Eingaben der Schritte S24 bis S21 komplexitätsabhängig sein können.

Vom Schritt S27 wird dann wieder zum Schritt S21 gesprungen. Auf diese Weise ist eine - prinzipiell beliebige - Anlage 6 mit einer frei wählbaren Anzahl von Aggregaten 7 bis 12 realisierbar, wobei darüber hinaus die Verknüpfungen zwischen den einzelnen Aggregaten 7 bis 12 starr und flexibel vorgebar sind.

Bezüglich der Verknüpfung der einzelnen Aggregate 7 bis 12 untereinander ist es auch möglich, diese nicht beim Anwender 5 abzufragen, sondern als völlig flexibel anzunehmen. In diesem Fall können die einzelnen Aggregate 7 bis 12 zunächst unabhängig voneinander modelliert werden. Durch eine Modell-

rechnung für die einzelnen Aggregate 7 bis 12 erhält man dann zunächst die zeitlichen Verläufe der Medienströme für die einzelnen Aggregate 7 bis 12 und deren Endzustände. Eine Bilanz der zeitlichen Verläufe der Medienströme aller Aggregate 7 bis 12 ergibt dann die zeitlichen Verläufe der von außen zuzuführenden Medienströme bzw. die zeitlichen Verläufe der nach außen abgegebenen Medienströme. Anhand des Beurteilungskriteriums K und der zeitlichen Verläufe der Medienströme mit Außenwirkung (von außen zugeführte und von außen abgeführte Medienströme) kann somit einer bestimmten Betriebsweise das Gütemaß M zugeordnet werden.

Vorzugsweise beinhalten die Betriebsparameter nicht nur Mengenverläufe für die jeweiligen Medienströme, sondern gegebenenfalls auch Qualitätsverläufe für die jeweiligen Medienströme. Dies ist für das Beispiel „Eisenerz“ schematisch in FIG 6 dargestellt.

Gemäß FIG 6 wird zu einem Zeitpunkt  $t_0$  die Menge an Eisenerz, mit der die Sinteranlage 8 bestückt wird, beibehalten, die Qualität des Eisenerzes aber verringert. Unter der Voraussetzung, dass alle anderen Medienströme unverändert bleiben können, steigt in diesem Fall das Gütemaß M an.

Das Gütemaß M ist umso größer, je besser die Anlage betrieben wird. Wenn beispielsweise - bei beibehaltenen sonstigen Parametern - der Ausstoß der hüttentechnischen Anlage 6 an Fertigstahl steigt, steigt auch das Gütemaß M. Es ist gemäß FIG 7 aber auch möglich, dass das Gütemaß M steigt, wenn einer der nach außerhalb der Anlage 6 abgegebenen Medienstromverläufe sinkt. Dies gilt insbesondere für die Materialströme „Schlacke“, „Abgase“ und „Schadstoffe“.

Oben stehend wurde ausgeführt, dass - insbesondere für Materialströme - das Gütemaß M ansteigen kann, wenn ein Qualitätsverlauf eines der Anlage 6 von außen zugeführten Materialstroms absinkt. Ein einzelner Parameter kann meist aber

nicht für sich betrachtet werden. Hiermit korrespondierend wird in aller Regel auch mindestens ein weiterer Medienstromverlauf variiert. Insbesondere ist es gemäß FIG 8 möglich, dass bei einem Absinken der Erzqualität die benötigte Energie ansteigt, also einer der Energieträgerströme oder einer der Energieströme hiermit korrespondierend ansteigt. Je nach der Gewichtung der beiden Medienströme ist es dabei möglich, dass im Ergebnis das Beurteilungskriterium K besser erfüllt wird als zuvor, das Gütemaß M also ansteigt.

Selbstverständlich sind eine Vielzahl von Abwandlungen der oben stehend beschriebenen Erfindung möglich. Insbesondere ist es möglich, das mathematische Modell 4 unabhängig von dem korrespondierenden Optimierungsverfahren einzusetzen. Beispielsweise kann das Modell 4 isoliert im Rahmen einer reinen Prognose eingesetzt werden, also ohne automatische Optimierung. Dies kann insbesondere zum Testen bzw. Optimieren des Modells 4 als solchem verwendet werden. Auch kann die Optimierung - z. B. durch Vorgabe einer entsprechenden Auswahl durch den Anwender 5 - abschaltbar sein. Ferner ist es möglich, die Ergebnisse an einen Bediener der Anlage 6 (= den Anwender 5) auszugeben, so dass dieser dann bei Bedarf in den Betrieb der hüttentechnischen Anlage 6 eingreifen kann. Durch die erfindungsgemäße umfassende Parametrierbarkeit sind das Optimierungsverfahren und das Modell 4 jedoch nahezu universell einsetzbar. Dies gilt ganz besonders, wenn zusätzlich noch „Abwärme“ als nach außen abgegebener Medienstrom berücksichtigt ist.

## Patentansprüche

1. Mathematisches Modell für eine hüttentechnische Anlage (6),

- wobei mittels des Modells eine Anzahl von Aggregaten (7 - 12) der hüttentechnischen Anlage (6) modellierbar ist, deren zuzuführende und abgegebene Medienströme zugeordnet sind,
- wobei dem Modell als Variable Strukturparameter vorgebar sind, welche zumindest Anzahl und Art der Aggregate (7 - 12) festlegen,
- wobei die Medienströme aufgrund der Strukturparameter innerhalb des Modells fest oder flexibel derart miteinander verknüpft sind, dass jeder einem der Aggregate (7 - 12) zuzuführende Medienstrom dem jeweiligen Aggregat (7 - 12) entweder von außerhalb der Anlage (6) oder von einem anderen der Aggregate (7 - 12) zugeführt wird und jeder von einem der Aggregate (7 - 12) abgegebene Medienstrom entweder nach außerhalb der Anlage (6) oder an ein anderes der Aggregate (7 - 12) abgegeben wird,
- wobei dem Modell als Variable Startparameter vorgebar sind, welche Anfangszustände der Aggregate (7 - 12) beschreiben,
- wobei dem Modell als Variable Eingangsbetriebsparameter vorgebar sind, welche einen ersten Teil der Medienstromverläufe beschreiben,
- wobei von dem Modell Ausgangsbetriebsparameter ermittelt und ausgegeben werden, welche die verbleibenden der Medienstromverläufe beschreiben, und
- wobei von dem Modell Endparameter ermittelt und ausgegeben werden, welche Endzustände der Aggregate (7 - 12) beschreiben.

2. Modell nach Anspruch 1,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,

dass die Medienströme Materialströme, Energieträgerströme und Energieströme umfassen.

3. Modell nach Anspruch 1 oder 2,  
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,  
dass die Betriebsparameter auch Qualitätsverläufe für die Medienstromverläufe beinhalten.

4. Modell nach Anspruch 1, 2 oder 3,  
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,  
dass mittels der Strukturparameter zusätzlich zur Art der Aggregate (7 - 12) auch vorgebbar ist, wie die Aggregate (7 bis 12) miteinander verknüpft sind und/oder mit welchen Teilmodellen die Aggregate (7 - 12) modelliert werden.

5. Modell nach einem der obigen Ansprüche,  
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,  
dass die Medienstromverläufe sich über eine Zeitspanne (T) erstrecken und dass die Zeitspanne (T) dem Modell als Variable vorgebbar ist.

6. Optimierungsverfahren für den Betrieb einer hüttentechnischen Anlage (6) unter Verwendung eines mathematischen Modells (4) nach einem der obigen Ansprüche,  
- wobei die Strukturparameter von einem Anwender (5) einem Optimierungsrechner (1) vorgegeben und von diesem an das Modell (4) weitergegeben werden,  
- wobei der Optimierungsrechner (1) anhand der Startparameter und eines Beurteilungskriteriums (K) gemäß einem Optimierungsalgorithmus (A) unter Verwendung des Modells (4) optimierte Betriebsparameter ermittelt.

7. Optimierungsverfahren nach Anspruch 6,  
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,  
dass dem Optimierungsrechner (1) vom Anwender (5) vorgegeben wird, welche der Medienstromverläufe Eingangs- und welche Ausgangsbetriebsparameter sind.

8. Optimierungsverfahren nach Anspruch 6 oder 7,  
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,

dass das Beurteilungskriterium (K) dem Optimierungsrechner (1) vom Anwender (5) vorgegeben wird.

9. Optimierungsverfahren nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass das Beurteilungskriterium (K) derart vorgebar ist, dass es für mindestens einen nach außerhalb der Anlage (6) abgegebenen Medienstromverlauf umso besser erfüllt wird, je geringer dieser Medienstromverlauf ist.

10. Optimierungsverfahren nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass dieser Medienstromverlauf ein Materialstrom ist.

11. Optimierungsverfahren nach Anspruch 8, 9 oder 10, dadurch gekennzeichnet, dass das Beurteilungskriterium (K) derart vorgebar ist, dass es besser erfüllt wird, wenn ein Qualitätsverlauf eines ersten der Anlage (6) von außerhalb zugeführten Medienstromverlaufs absinkt und hiermit korrespondierend ein zweiter der Anlage (6) von außerhalb zugeführter Medienstromverlauf aufgrund des Absinkens des Qualitätsverlaufs des ersten Medienstromverlaufs ansteigt.

12. Optimierungsverfahren nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, dass der erste Medienstromverlauf ein Materialstromverlauf und der zweite Medienstromverlauf ein Energie- oder ein Energieträgerstromverlauf ist.

13. Optimierungsverfahren nach einem der Ansprüche 6 bis 12, dadurch gekennzeichnet, dass der Optimierungsalgorithmus (A) dem Optimierungsrechner (1) vom Anwender (5) vorgegeben wird.

14. Optimierungsverfahren nach einem der Ansprüche 6 bis 13, dadurch gekennzeichnet,

dass die Zeitspanne (T) vom Anwender (5) dem Optimierungsrechner (1) vorgegeben und von diesem an das Modell (4) weitergegeben wird.

15. Auf einem Datenträger (3) gespeichertes Computerprogramm zur Durchführung eines Optimierungsverfahrens nach einem der Ansprüche 6 bis 14.

16. Optimierungsrechner, der derart programmiert ist, dass mit ihm ein Optimierungsverfahren nach einem der Ansprüche 6 bis 14 ausführbar ist.

FIG 1

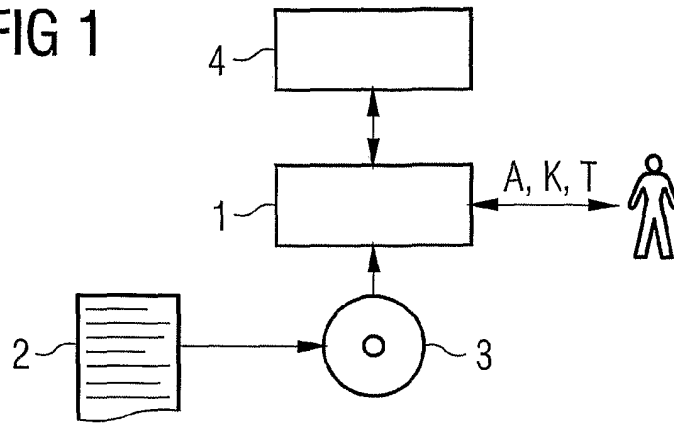


FIG 3

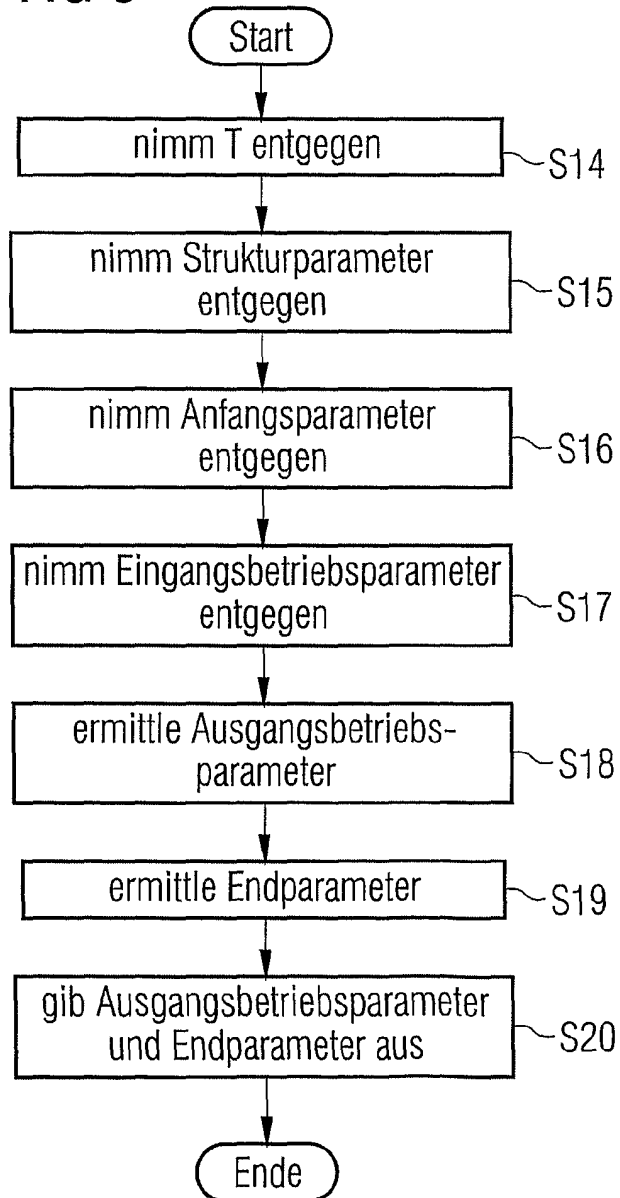


FIG 2

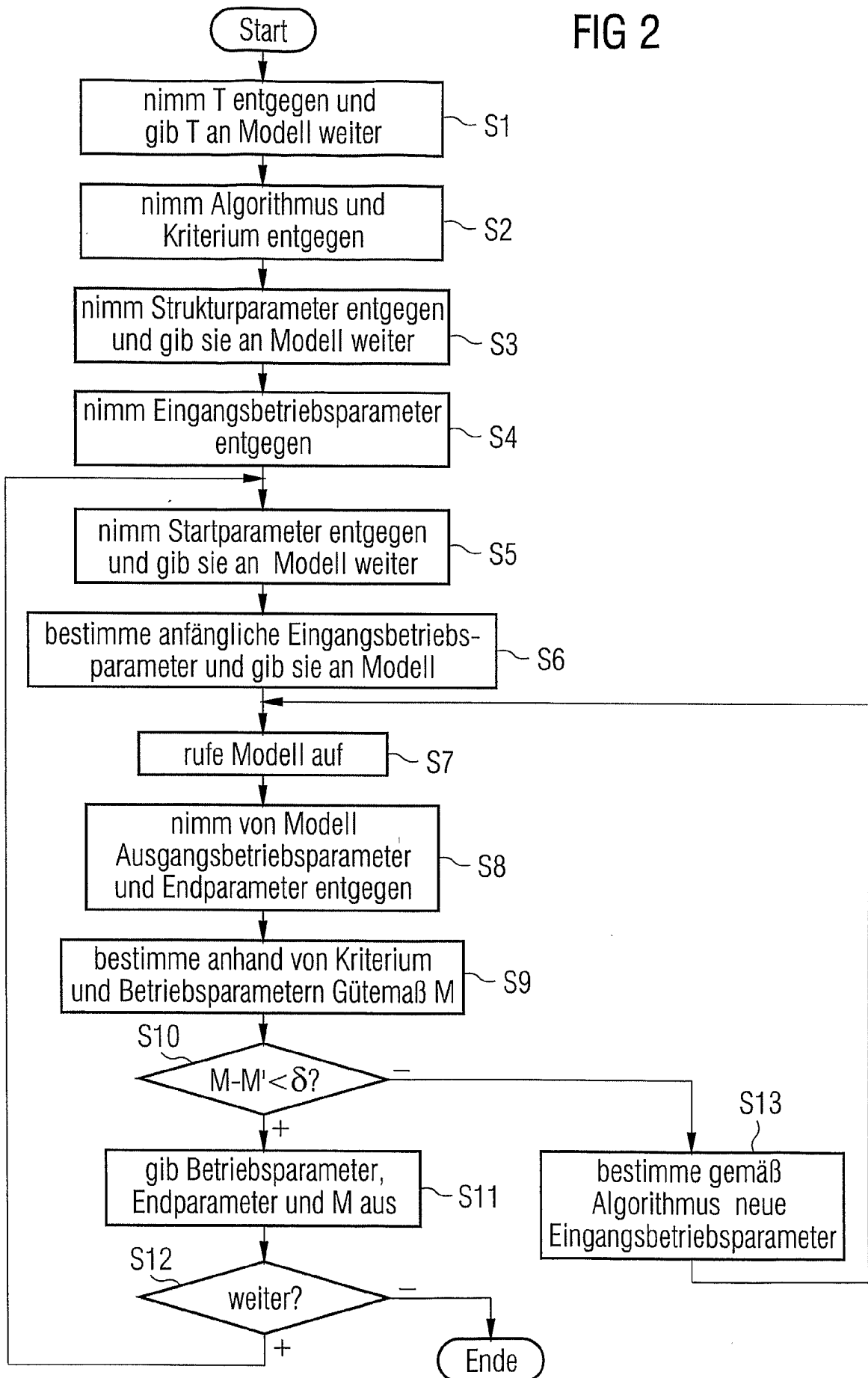


FIG 4

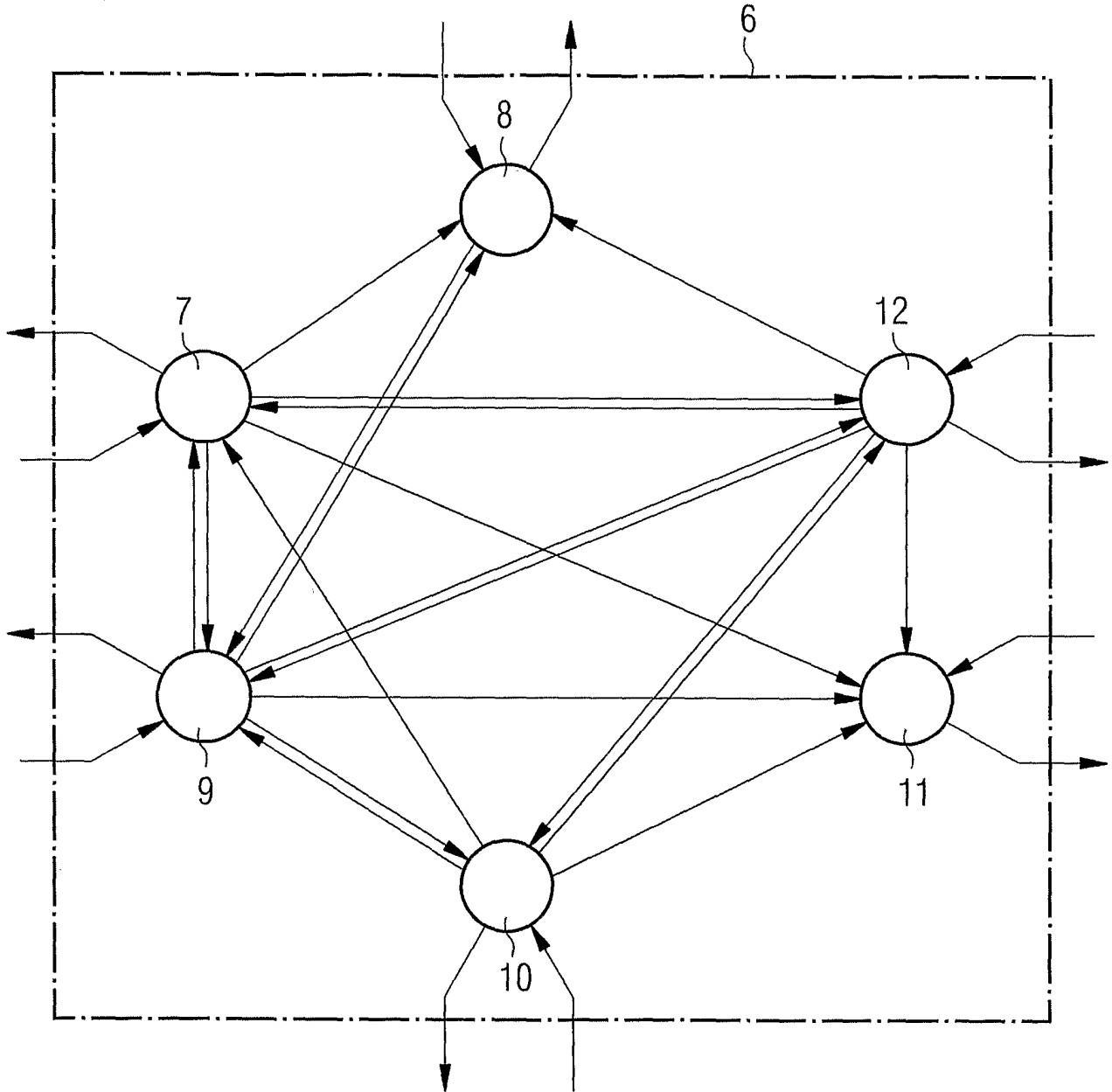


FIG 5

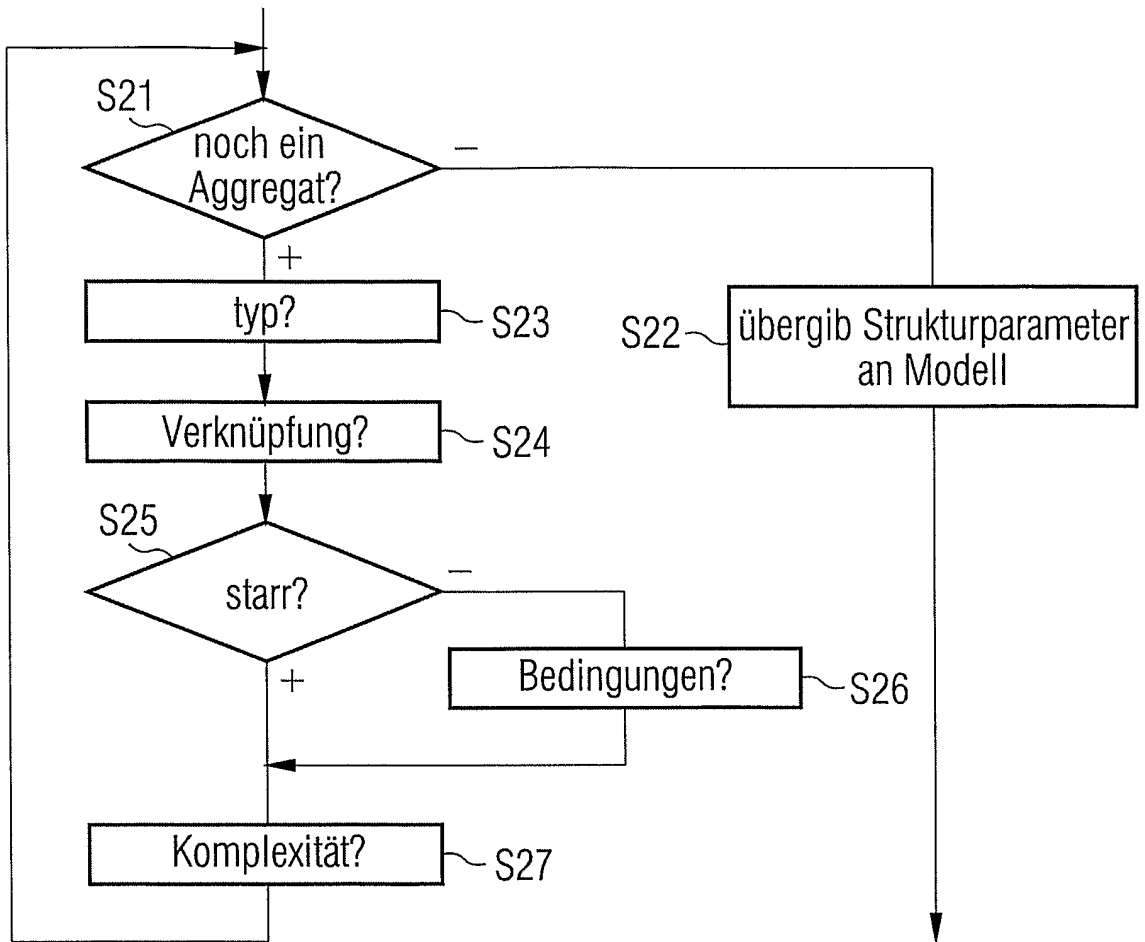


FIG 6

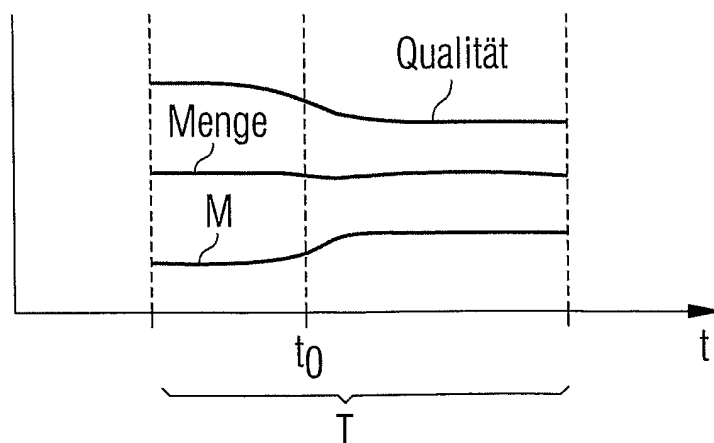


FIG 7

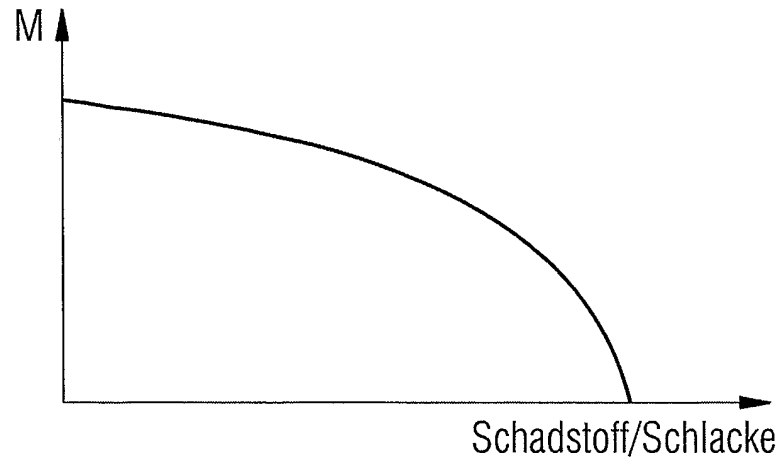


FIG 8

