



Wirtschaftspatent

Erteilt gemäß § 5 Absatz 1 des Änderungsgesetzes
zum Patentgesetz

ISSN 0433-6461

(11)

204 558

Int.Cl.³

3(51) G 05 B 15/00

AMT FÜR ERFINDUNGS- UND PATENTWESEN

In der vom Anmelder eingereichten Fassung veröffentlicht

(21) WP G 05 B/ 2355 316

(22) 08.12.81

(44) 30.11.83

(71) siehe (72)

(72) MARINOW, SLAWYKO, DR.-ING. DOZ.; BG; MOELLMANN, HANS-JOACHIM, DIPL.-ING.; DD;

(73) siehe (72)

(74) TECHNISCHE HOCHSCHULE "CARL SCHORLEMMER" LEUNA-MERSEBURG BFNS 4200 MERSEBURG
GEUSAER STR.

(54) VERFAHREN ZUR OPTIMALEN EINSTELLUNG UND RUECKGEKOPPELTEN SCHNECKENDREHZAHLS- STEUERUNG VON EXTRUDERN

(57) Die Erfindung betrifft die weitere Ausgestaltung des unter dem Aktenzeichen (WPG05D 221 849) angemeldeten Verfahrens zur optimalen Einstellung und automatischen Steuerung des Extrusionsprozesses mittels eines Prozeßrechners. Das Ziel der Erfindung besteht darin, eine vorgegebene Produktqualität mit einem minimalen Energieaufwand und bei maximaler Produktivität des Extruders zu sichern. Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, den Extruder durch einen Prozeßrechner so einzustellen und im Echtzeitbetrieb zu steuern, daß die maximal mögliche technologische Effektivität bei Einhaltung einer vorgegebenen Produktqualität gewährleistet wird. Erfindungsgemäß wird die Aufgabe mittels des unter Aktenzeichen (WPG05D 221 849) angemeldeten Verfahrens sowie durch eine rückgekoppelte Schneckendrehzahl zur Kompensation von Prozeßstörungen mit höchster Genauigkeit erlaubt und dadurch den Echtzeitbetrieb garantiert. Die Erfindung findet vorzugsweise Anwendung für die Einstellung und Steuerung von Extrudern zur Herstellung von Halbzeugen oder Fertigerzeugnissen mit einer hohen und stabilen Qualität.

Verfahren zur optimalen Einstellung und rückgekoppelten Schneckendrehzahlsteuerung von Extrudern

Anwendungsgebiet der Erfindung

Die Erfindung betrifft die weitere Ausgestaltung des unter Aktenzeichens (WP G05D 221849) angemeldeten Verfahrens zur Einstellung des optimalen Prozeßzustandes und zur optimalen automatischen Steuerung des stationären Betriebes von Extrudern mit Hilfe eines Prozeßrechners oder unter Verwendung eines geeigneten Mikroprozessors. Die Erfindung findet vorzugsweise Anwendung für die Steuerung von Plastizierextrudern zur Herstellung von Halbzeugen oder Fertigerzeugnissen mit einer hohen und stabilen Qualität.

Charakterisierung der bekannten technischen Lösungen

Die Regelungs- und Steuerungstechnik bei Extrudern und Extrusionsanlagen zur Herstellung polymerer Erzeugnisse hat eine Vielzahl komplizierter Aufgaben zu erfüllen /1/, /2/, /3/.

Für das Grundgerät einer Extrusionsanlage, dem Extruder, bestehen sie darin, eine Regelung bzw. Einhaltung einer konstanten Schneckendrehzahl /4/ und eine bestimmte Temperierung der Zylinderzonen und des Extrusionswerkzeuges zu gewährleisten /5/, /6/, /7/.

Für besondere Verfahren macht sich eine Regelung des Masse- druckes /8/, /9/ und der Massetemperatur /10/, /11/, /12/,

/13/, /14/, insbesondere eine Kaskaden-Regelung /15/ notwendig, Alle diese Verfahren weisen aber prinzipiell den Nachteil auf, daß sie zum einen keine optimale Steuerung darstellen und zum anderen auf die Qualität der hergestellten Erzeugnisse keinen direkten Einfluß nehmen, da diese meßtechnisch nicht erfaßt werden kann. Die Verbesserungen in der Regel- und Steuerungstechnik zielen deswegen daraufhin, durch eine immer genauere Kontrolle und Einhaltung der die Qualität der herzustellenden Erzeugnisse indirekt beeinflussenden Prozeßgrößen wie Masse-temperatur, Massedruck und Viskosität, qualitativ hochwertige Erzeugnisse herzustellen /16/, /17/, /18/.

Ein anderes Problem liegt in der Einstellung des Betriebszustandes des Extruders. Nach Arbeitsunterbrechungen sowie zum Erzeugnis-, Material- und Chargenwechsel wird eine Extrusionsanlage neu eingestellt und angefahren. Gemäß der Qualifikation und Erfahrung des Einrichters wird die Einstellung und der Zeitaufwand dafür entsprechend ausfallen. Ein solches empirisches Herangehen führt dazu, daß selten oder fast nie ein optimaler Betriebszustand erreicht wird.

Der Einsatz von Prozeßrechnern änderte an dieser grundsätzlichen Tatsache nichts, da er sich auf das Gebiet der Regelungstechnik selbst bezog, d. h. die bekannten technischen Lösungen zum Einsatz von Prozeßrechnern in der Extrusionstechnologie bestehen darin, daß der Rechner als ein übergeordneter Regler die Regelfunktionen einzelner konventioneller Regelungsanlagen übernimmt, also nur für eine direkte digitale Kontrolle eingesetzt wird /9/, /19/.

Die in der Patentliteratur vorhandenen geschützten Lösungen zum Einsatz von Prozeßrechnern bestätigen den dargelegten Sachverhalt, z. B. US-PS 3, 890, 078, oder beziehen sich nur auf die Art und Weise wie der Rechner bestimmte Regelfunktionen ausübt, z. B. OS 2129353 und OS 2249860.

Lösungen, die eine Qualitätssteuerung, speziell bei Extrusionsanlagen ermöglichen, liegen nicht vor.

Ziel der Erfindung

Das Ziel der vorliegenden Erfindung besteht darin, eine vorgegebene Produktqualität mit einem minimalen Energieaufwand und bei maximal möglicher Produktivität des Extruders zu sichern.

Darlegung des Wesens der Erfindung

Die Erfindung betrifft die weitere Ausgestaltung des unter dem Aktenzeichen (WP G05D 221 849) angemeldeten Verfahrens zur optimalen Einstellung und automatischen Steuerung des Extrusionsprozesses mittels eines Prozeßrechners.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde den Extruder durch einen Prozeßrechner so einzustellen und im Echtzeitbetrieb zu steuern, daß die maximal mögliche technologische Effektivität bei Einhaltung einer vorgegebenen Produktqualität gewährleistet wird. Das unter dem Aktenzeichen (WP G05D 221 849) angemeldete Verfahren weist den Nachteil auf, daß das dort verwendete Steuerungsverfahren nicht im Echtzeitbetrieb eingesetzt werden kann, da mehrere und damit zeitaufwendige Steuerungszyklen durchlaufen werden. Als Ursache dieses Mangels ist die relativ ungenaue Einstellung der Schneckendrehzahl anzusehen, die entsprechend des gewählten Steuerungsverfahrens durch die Eigenschaften des zu verarbeitenden Stoffsystems beeinflusst wird. Im unteren Schneckendrehzahlbereich tritt ein systematischer Fehler von maximal 20% und im oberen Schneckendrehzahlbereich von 15% auf. Dieser Fehler wird durch das verwendete Steuerungsverfahren zwar mit kompensiert, erfordert aber dadurch mehrere Steuerungszyklen und infolge der dabei auftretenden längeren Rechenzeit tritt zeitweilig ein Abweichen von der vorgegebenen Produktqualität auf.

Erfindungsgemäß wird die Aufgabe dadurch gelöst, daß die Stellgrößen auf der Grundlage eines mathematischen Prozeßmodelles und durch die Anwendung eines Optimierungsverfahrens mit Hilfe eines Prozeßrechners, bezüglich eines vorgegebenen Soll-Wertes einer komplexen, meßtechnisch erfaßbaren Prozeßkenngröße für die Qualität, optimiert und eingestellt werden.

Der Ist-Wert der komplexen, meßtechnisch erfaßbaren Prozeßkenngröße für die Qualität wird durch das Verstellen einer oder mehrerer Stellgrößen auf der Grundlage eines Steuerungsalgorithmus, Prozeßmodelles und Optimierungsverfahrens mittels des Prozeßrechners einem vorgegebenen Soll-Wert angeglichen. Hierbei wird aus der Vielzahl der möglichen Stellgrößenkombinationen nur diejenige ausgewählt und als Steuersignal den Stellgliedern zugeführt, die einen minimalen Energieaufwand bei maximaler Produktivität des Extruders gewährleistet.

Zur Gewährleistung des Echtzeitbetriebes wird die Schneckendrehzahl durch eine Rückkopplung über ein Folgepotentiometer, das den Istwert der einzustellenden Schneckendrehzahl meßtechnisch erfaßt, zum Prozeßrechner überträgt sowie über einem Steuerungsalgorithmus im Falle des Abweichens des Istwertes vom Sollwert mit höchster Genauigkeit gesteuert und damit die vorgegebene Produktqualität nach einmaligen Durchlaufen des Steuerungsverfahrens gesichert.

Die zur Kompensation des Einstellfehlers der Schneckendrehzahl nach dem beschriebenen Rückkopplungsverfahren benötigte Zeit beträgt nur ein Bruchteil des Zeitbetrages, der bei der Kompensation des Einstellfehlers durch ein mehrmaliges Durchlaufen des Steuerungsverfahrens auftritt.

Ausführungsbeispiel

Die Erfindung soll nachstehend an zwei Ausführungsbeispielen näher erläutert werden.

Beispiel 1

In Figur 1 ist in Form eines Flußdiagrammes das Wesen der Erfindung bezüglich einer optimalen Einstellung des Extrusionsprozesses dargestellt. Es handelt sich hierbei um die Optimierung des Betriebszustandes, das Einstellen der ermittelten optimalen Stellgrößen und Anfahren sowie um eine Überprüfung und eventuelle Korrektur der Einstellung beim Erreichen des

stationären Prozeßzustandes mittels des Prozeßrechners anhand der meßtechnischen Überwachung des Prozeßzustandes im offen-gekoppelten Prozeßbetrieb.

Die Optimierung des Betriebszustandes erfolgt auf der Grundlage einer vom Personal vorgegebenen Einstellstrategie, d. h. einer beliebigen Einstellung der Stellgrößen, einem Prozeßmodell, über das eine Zielfunktion und Nebenbedingung bestimmt wird. Die Zielfunktion ist normiert und gibt die Wirtschaftlichkeit des Verfahrens an. Sie enthält die die Produktivität des Extruders charakterisierende Durchsatzleistung, Q und seinen Energieverbrauch P und hat folgende Form.

$$Z = Q - P \quad (1)$$

Die Nebenbedingung stellt einen Sollwert einer komplexen, modellmäßig nachbildbaren und für den Fall einer Korrektur der Einstellung der optimal ermittelten Stellgrößen beim Anfahren auch meßtechnisch erfaßbaren Prozeßkenngröße für die Qualität dar. Im vorliegenden Beispiel wurde dafür das Stabilitätskriterium, K_s verwendet, das folgendermaßen definiert ist.

$$K_s = \frac{\delta Q}{\bar{Q}} \quad (2)$$

Hierin sind $\bar{Q}$, der Mittelwert der Durchsatzleistung und δQ , seine Schwankungsamplitude. Eine modellmäßige, analytisch abgeleitete Beziehung für das Stabilitätskriterium, ergibt sich zu

$$K_s = \left| \frac{2 \left\{ 1 - \left[1 + \frac{1}{2} \left(\frac{\delta p}{\Delta p} \right) \right]^n \right\}}{\frac{\alpha \cdot L \cdot N \cdot \eta}{\beta \cdot 60 \cdot \Delta p} - 1} \right| \quad (3)$$

Unter Einhaltung des Vorgabewertes der Nebenbedingung

$$K_s = K_{s_v} \quad (4)$$

wird durch ein geeignetes Optimierungsverfahren mittels des Prozeßmodelles die Zielfunktion maximiert,

$$Z = Q - P \Longrightarrow \text{Max!} \quad (5)$$

die optimale Einstellung der Stellgrößen ermittelt, am Extruder eingestellt und durch Erfassung des Istwertes der Nebenbedingung die Einhaltung der vorgegebenen Qualität kontrolliert. Weicht diese vom Vorgabewert ab, so wird mittels des im Beispiel 2 angegebenen Steuerungsalgorithmus über eine Verstellung sämtlicher Stellgrößen durch das Bedienungspersonal die optimale Einstellung des Extruders gewährleistet.

Beispiel 2

In Figur 2 ist in Form eines einfachen Blockschaltbildes das Wesen der Erfindung bezüglich der Steuerung des Extrusionsprozesses dargestellt.

Unter Verwendung eines stetigen Reglers mit einem Thyristor-Stellglied kann durch direkte Verstellung der Schneckendrehzahl über den Prozeßrechner eine optimale automatische Steuerung, d. h. ein geschlossen-gekoppelter Prozeßbetrieb, realisiert werden.

Die innere Struktur des Blockbildes "Prozeßrechner" entspricht der in Figur 1 im Flußdiagramm. Es liegen ebenfalls ein Optimierungsteil mit den Elementen Prozeßmodell, Zielfunktion, Nebenbedingung und Optimierungsverfahren sowie ein Steuerungsteil vor. Der Funktionsablauf in bezug auf die Steuerung ist ein anderer und soll im folgenden erläutert werden.

Die Steuerung setzt die meßtechnische Erfassung einer komplexen, modellmäßig nachbildbaren Prozeßkenngröße für die Qualität voraus. Im vorliegenden Beispiel ist ebenfalls das Stabilitätskriterium, K_s , verwandt worden. Mittels analytischer oder empirischer Beziehungen für die Prozeßstabilität lassen sich auch andere meßbare Prozeßkenngrößen als Qualitätskriterien festlegen wie z. B. die Ermittlung des Stabilitätskriteriums, K_s , durch die meßtechnische Erfassung der Druckgradientenschwankung gemäß Gleichung (3) oder die Ermittlung der Druckhomogenisierungsfunktion gemäß Figur 3 und der folgenden Beziehung,

$$H_P = f(K_S) = \frac{T \cdot z \cdot \Delta t + \Delta t^2}{T^2} \cdot \frac{P_S}{P_S - \delta P} \quad (6)$$

wobei die letztere Prozeßkenngröße durch die Erfassung der Anzahl und Dauer von Über- bzw. Unterschreitungen eines vorgegebenen Sollwertes mittels des Prozeßrechners ermittelt werden kann.

Im vorliegenden Beispiel wird der Istwert des Stabilitätskriteriums, $K_{S_{ist}}$, meßtechnisch erfaßt und mit dem Vorgabewert für eine definierte Qualität, K_{S_v} , verglichen (äußerer Regelkreis). Treten infolge des Einflusses von Störgrößen am als optimal ermittelten Prozeßzustand Änderungen auf, so ergibt die Soll-/Istwert-Differenz einen Nachführungswert.

$$K_{S_{v_{korr}}} = 2 K_{S_v} - K_{S_{ist}} \quad (7)$$

Dieser Nachführungswert wird dem Optimierungsverfahren als neuer, korrigierter Vorgabewert für die Nebenbedingung zugrunde gelegt und unter Einhaltung dieses Wertes wird über das Prozeßmodell die Zielfunktion maximiert und die optimale Verstellung der Schneckendrehzahl ermittelt. Der Steuerungsalgorithmus beinhaltet für die Qualitätsnachführung eine Optimierungsstufe.

Die ermittelte, die Störung kompensierende, optimale Schneckendrehzahl, wird über einen stetigen Regler mit Thyristor-Stellglied automatisch am Extruder eingestellt.

Der Istwert der eingestellten Schneckendrehzahl wird über ein Folgepotentiometer (ohmscher Geber) meßtechnisch erfaßt und zum Prozeßrechner übertragen. Weicht der Istwert vom einzustellenden Vorgabewert ab, so erfolgt eine Korrektur des Sollwertes (innerer Regelkreis).

Figur 4 stellt den gewählten Algorithmus zur Sollwertkorrektur grafisch dar. $f^*(\bar{X})$ sei analytisch bekannt und von dem wahren Verlauf $f(\bar{X})$ nur gering verschieden. Die Aufgabe besteht darin, die Gleichung

$$y = f(\bar{X}) = a \quad (8)$$

iterativ zu lösen. Als bekanntes Verfahren dafür dient das Newtonsche

Tangentennäherungsverfahren.

$$\bar{x}_{i+1} = \bar{x}_i + \frac{a - f(\bar{x}_i)}{f'(\bar{x}_i)} \quad (9)$$

Die Anfangsnäherung $\bar{x}_0$ wird aus Gleichung 10 bestimmt.

$$f(\bar{x}_0) = a \quad (10)$$

Da der Verlauf $f(\bar{x})$ unbekannt ist, kann $f'(\bar{x}_0)$ in Gleichung 9 nicht analytisch bestimmt werden. Wird dafür als Näherungswert $f^{*'}(\bar{x}_0)$ verwendet, ergibt sich aus Gleichung 9 der für die Sollwertkorrektur benutzte Algorithmus.

$$\bar{x}_{i+1} = \bar{x}_i + \frac{a - f(\bar{x}_i)}{f^{*'}(\bar{x}_i)} \quad (11)$$

Erfindungsanspruch

1. Verfahren zur optimalen Einstellung und rückgekoppelten Schneckendrehzahlsteuerung von Extrudern bei dem zur optimalen Einstellung einer Extrusionsanlage die Stellgrößen auf der Grundlage eines mathematischen Prozeßmodelles und durch die Anwendung eines Optimierungsverfahrens mittels eines Prozeßrechners bezüglich eines vorgegebenen Sollwertes einer komplexen, meßtechnisch erfaßbaren Prozeßkenngröße für die Qualität, vorzugsweise eine Kenngröße der Prozeßstabilität oder Druckhomogenisierungsfunktion, gemäß der unter Aktenzeichen (WB G05D 221 849) angemeldeten Erfindung, optimiert und eingestellt werden sowie daß bei einer Veränderung des optimalen Prozeßzustandes durch die meßtechnische Überwachung einer komplexen Prozeßkenngröße für die Qualität mittels eines Prozeßrechners oder geeigneten Mikroprozessors und anhand eines Prozeßmodelles, Steuerungsalgorithmus und Optimierungsverfahrens die Störung des optimalen Prozeßzustandes durch eine automatische Verstellung der Schneckendrehzahl über einen stetigen Regler mit bekannten Thyristor-Stellglied, gemäß der unter Aktenzeichen (WP G05D 221 849) angemeldeten Erfindung, kompensiert wird, gekennzeichnet dadurch, daß der über einen stetigen Regler mit bekanntem Thyristorstellglied am Extruder eingestellte Istwert der Schneckendrehzahl mittels eines Folgepotentiometers meßtechnisch erfaßt, zum Prozeßrechner übertragen und dort anhand eines an sich bekannten Steuerungsalgorithmus zur Sollwertkorrektur der Schneckendrehzahl verwendet wird.

Hierzu 3 Blatt Zeichnungen

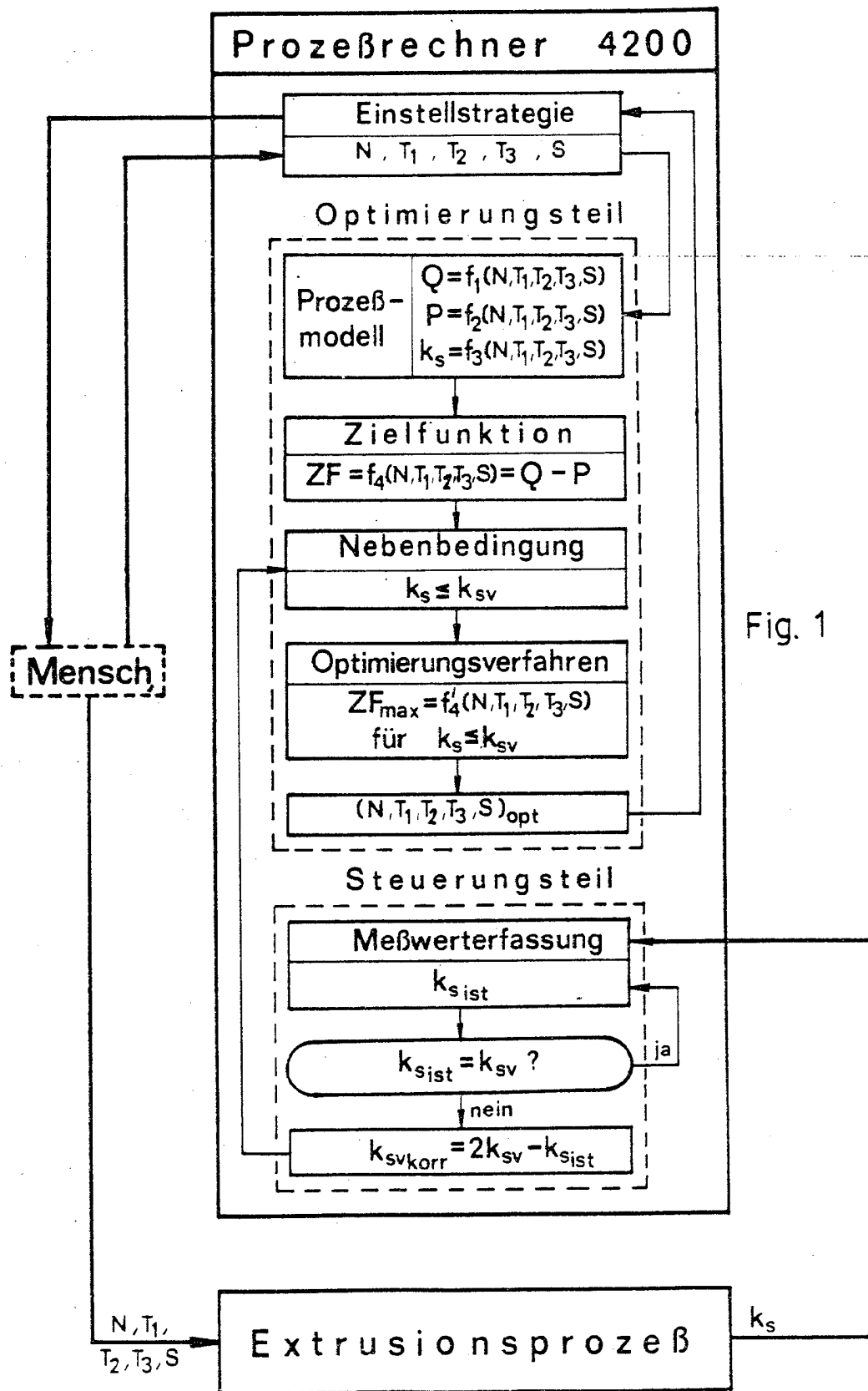
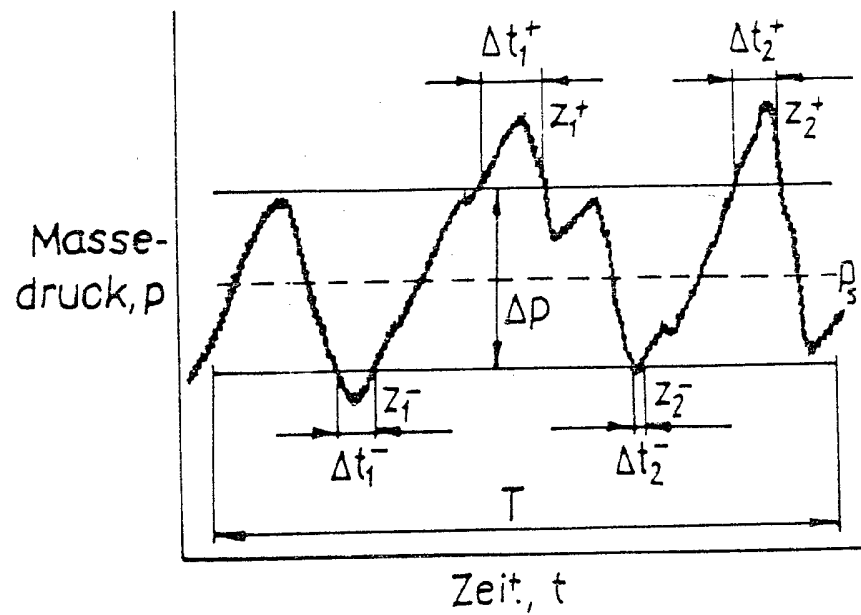


Fig. 1

Fig. 2



$$\Delta t = \sum (\Delta t_i^+ + \Delta t_i^-)$$

$$z = \sum (z_i^+ + z_i^-)$$

Fig. 3

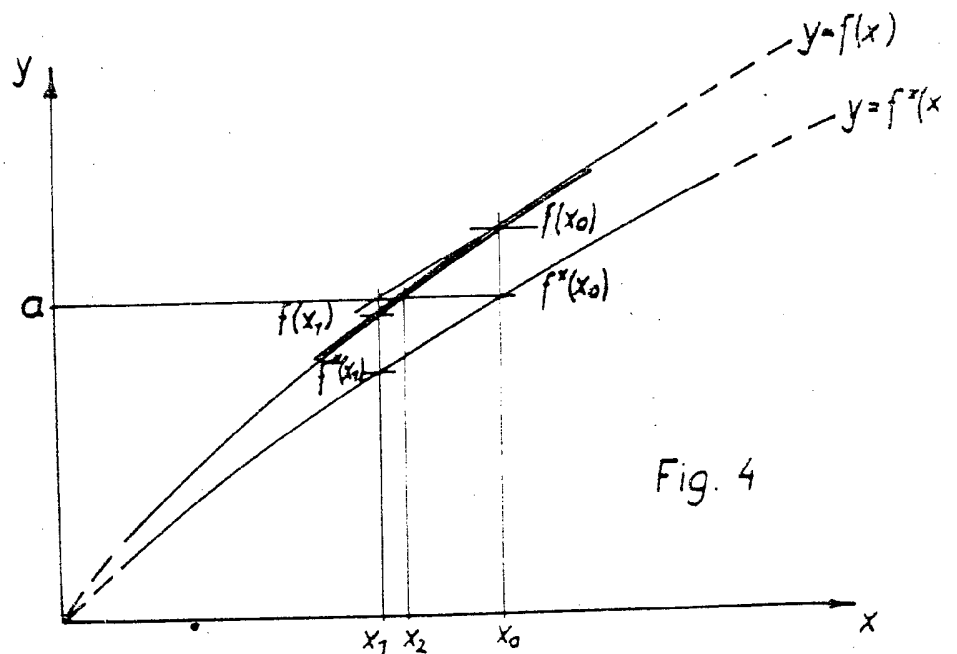


Fig. 4