

**Wirtschaftspatent**

Erteilt gemäß § 5 Absatz 1 des Aenderungsgesetzes zum Patentgesetz

ISSN 0433-6461

(11)

155 935Int.Cl.³

3(51) G 05 B 13/02

B 29 F 3/00

AMT FUER ERFINDUNGS- UND PATENTWESEN

In der vom Anmelder eingereichten Fassung veröffentlicht

21) WP G 05 B/ 221 849

(22) 16.06.80

(44) 14.07.82

71) siehe (72)

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

73) siehe (72)

74) TECHNISCHE HOCHSCHULE "CARL SCHORLEMMER" LEUNA-MERSEBURG, BFN/S, 4200 MERSEBURG, GEUSAER STR.

54) VERFAHREN ZUR OPTIMALEN EINSTELLUNG UND AUTOMATISCHEN STEUERUNG DES EXTRUSIONSPROZESSES MITTELS PROZESSRECHNERS

57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren, mit dessen Hilfe es möglich wird, Erzeugnisse mit definierter Qualität herzustellen und gleichzeitig die Wirtschaftlichkeit der Extrusionsanlage zu erhöhen, indem sie an ihre Leistungsgrenze geführt und der Energieverbrauch entscheidend gesenkt wird. Dazu wird von einem Prozeßrechner die optimale Einstellung des Extruders über ein Prozeßmodell und Optimierungsverfahren ermittelt. Tritt beim Anfahren der Anlage eine Abweichung vom errechneten optimalen Zustand auf, so wird über die meßtechnische Erfassung einer komplexen Qualitätskenngröße und der Nachführung eines vorgegebenen Sollwertes dieser Größe mittels des Prozeßrechners über eine Verstellung sämtlicher Stellgrößen eine optimale Stellgrößenkombination ermittelt, die dem realen Betriebsfall entspricht. Weiterhin erfolgt durch den Prozeßrechner die Überwachung und Steuerung des als optimal ermittelten und eingestellten Prozeßzustandes, indem die komplexe Qualitätskenngröße meßtechnisch erfaßt und mit einem vorgegebenen Sollwert verglichen sowie im Falle des Auftretens einer Differenz die Steuerung durch ein Steuerungs- und Optimierungsprogramm über eine automatische Verstellung der Schneckendrehzahl kompensiert wird. Die Erfindung findet vorzugsweise Anwendung für die Steuerung von Plastizierextrudern zur Herstellung von Halbzeugen oder Fertigerzeugnissen mit einer hohen und stabilen Qualität. -Figur 1-

-X-

Verfahren zur optimalen Einstellung und automatischen Steuerung des Extrusionsprozesses mittels eines Prozeßrechners

Anwendungsgebiet der Erfindung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren 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 Massedruckes /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 Massetemperatur, 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 2 129 353 und OS 2 249 860. 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

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, einen Extruder so einzustellen und zu steuern, daß die maximal mögliche technologische Effektivität bei Einhaltung einer vorgegebenen Produktqualität gewährleistet wird. 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 wurden. 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.

Ausführungsbeispiel

Die Erfindung soll nachstehend an zwei Ausführungsbeispielen näher erläutert werden.

Beispiel 1

In Figur 1 ist in Form eines Flußdiagramms 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

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

Unter Einhaltung des Vorgabewertes der Nebenbedingung

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

wird durch ein geeignetes Optimierungsverfahren mittels des Pro-

zeßmodelles 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 Bedienpersonal 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 Gl. (3) oder die

Ermittlung der Druckhomogenisierungsfunktion gemäß Figur 3 und der folgenden Beziehung,

$$H_p = f(k_s) = \frac{T \cdot z \cdot \Delta t + \Delta t^2}{T^2} \cdot \frac{\rho_s}{\rho_s - \delta \rho} \quad (6)$$

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_{sist} meßtechnisch erfaßt und mit dem Vorgabewert für eine definierte Qualität K_{sv} verglichen. Treten infolge des Einflusses von Störgrößen am als optimal ermittelten Prozeßzustand Änderungen auf, so ergibt die Soll-/Istwert-Differenz einen Nachführungswert.

$$K_{svKorr} = 2 K_{sv} - K_{sist} \quad (7)$$

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 Schnecken-drehzahl 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.

Erfindungsanspruch

1. Verfahren zur optimalen Einstellung und automatischen Steuerung des Extrusionsprozesses mittels eines Prozeßrechners, gekennzeichnet dadurch, daß 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, optimiert und eingestellt werden.
2. Verfahren zur optimalen Einstellung nach Punkt 1, gekennzeichnet dadurch, daß anhand der meßtechnischen Überwachung der Qualitätskenngröße nach dem Erreichen des stationären Betriebszustandes beim Anfahren ein eventuelles Abweichen der über das Prozeßmodell errechneten optimalen Einstellung, durch eine Nachführung des Sollwertes der komplexen, meßtechnischen erfaßbaren Prozeßkenngröße der Qualität eine notwendige Verstellung sämtlicher Stellgrößen mittels des Prozeßrechners, Steuerungsalgorithmus und Optimierungsverfahrens erfolgt und die optimale Stellgrößenkombination für den realen Betriebsfall gewährleistet wird.
3. Verfahren zur automatischen Steuerung des nach den Punkten 1 und 2 eingestellten optimalen Prozeßzustandes gekennzeichnet dadurch, 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 bekanntem Thyristor-Stellglied kompensiert wird.

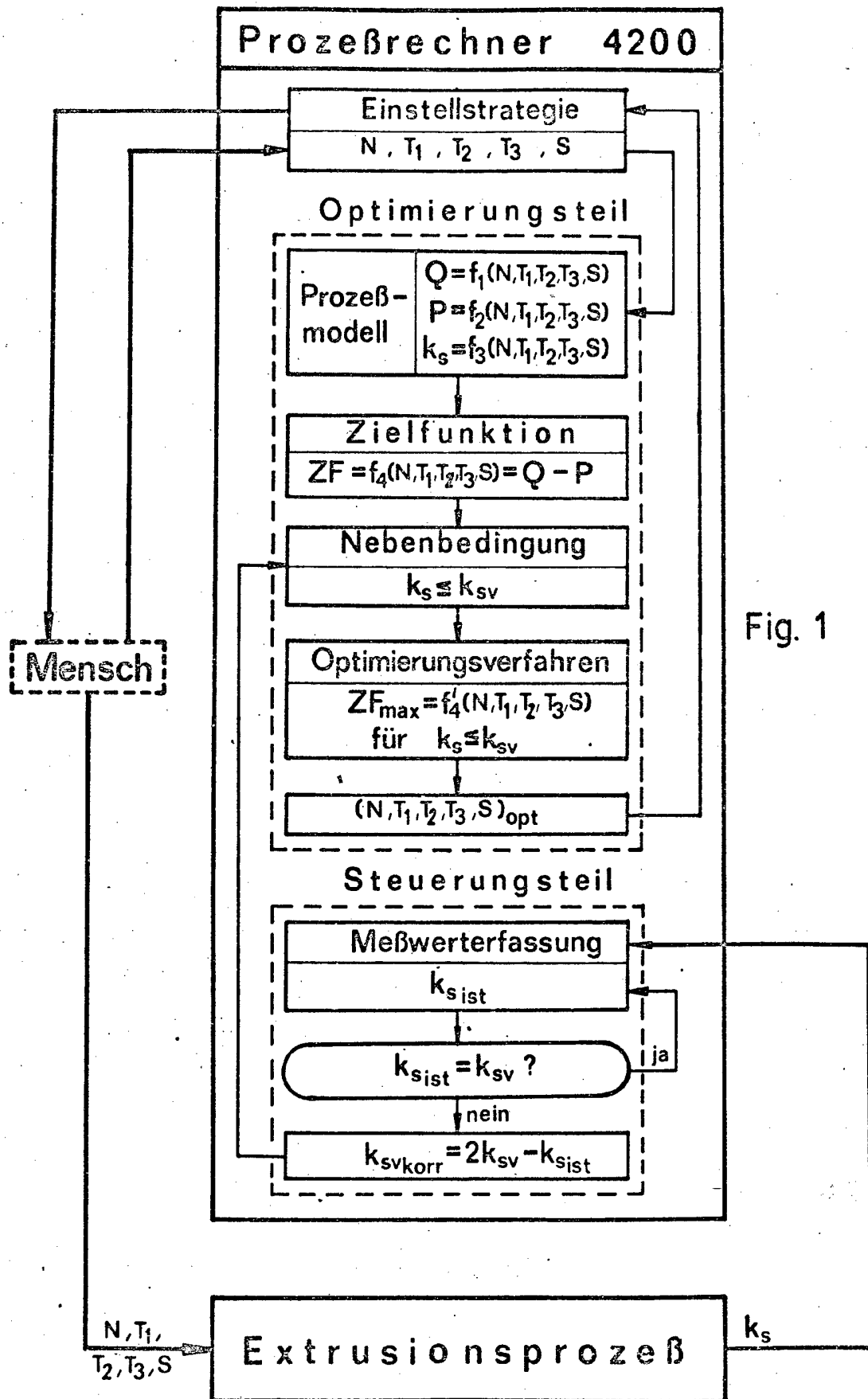


Fig. 1

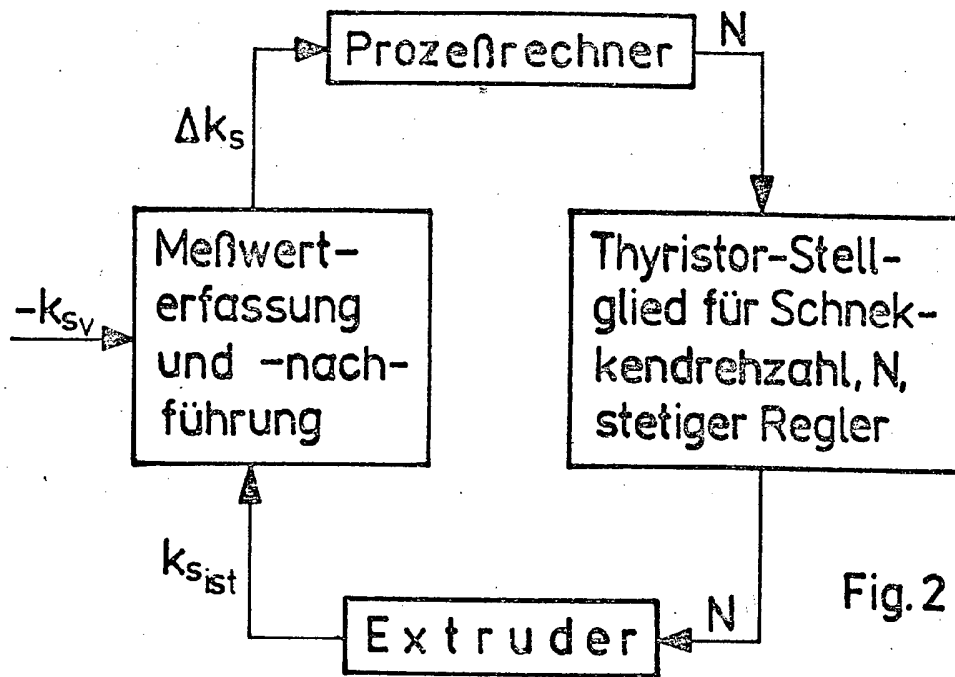
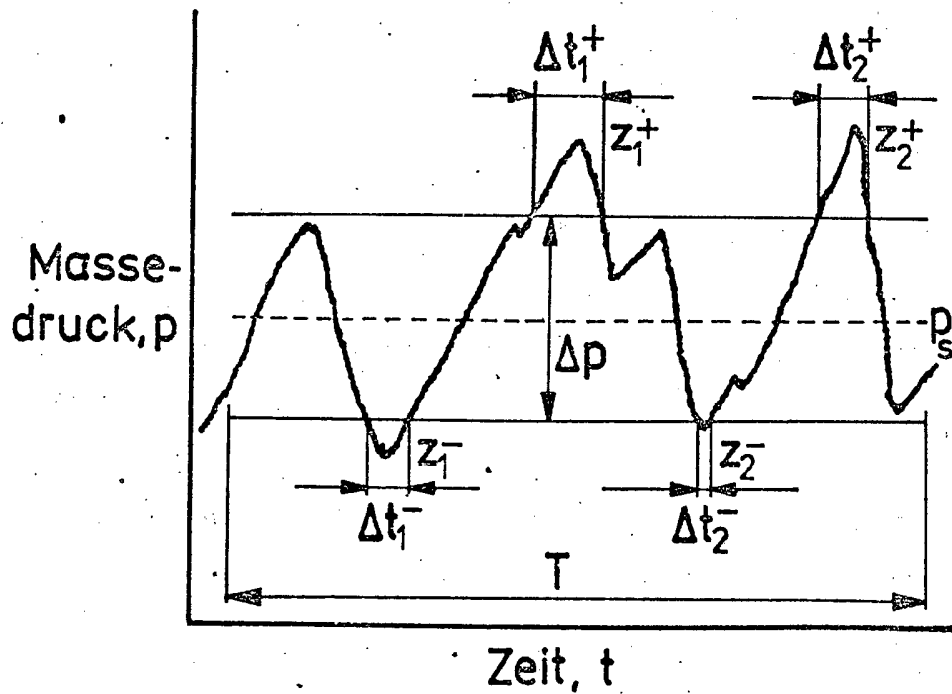


Fig.2



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

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

Fig.3