

Bei sorgfältiger Auswahl des Schutzrohres, z. B. reiner Tonerde, und großer Sauberkeit bei der Montage des Platinschenkels überwiegt dieser Fehler alle anderen Einflüsse. Mit dem Element PtRh 18 ist ein Temperaturfühler verfügbar, der langsamer altert, weil er bereits im Pt-Schenkel Rhodium enthält. Unter bestimmten Temperaturverhältnissen kann man sogar auf die Ausgleichsleitung verzichten. Allerdings hat PtRh 18 gegenüber PtRh-Pt 10 eine etwas geringere Thermospannung. Es ist deshalb zu fordern, daß der zur Regelung dienende Temperaturfühler regelmäßig durch Vergleichsmessung nachgeprüft und spätestens alle 6 Monate ausgewechselt wird. Zumindest sollte man aber die Gewölbetemperatur regelmäßig mit einem guten Glühfadenpyrometer nachmessen und danach den Sollwert des Temperaturreglers korrigieren.

### 5.2. Gesamtstrahlungs-pyrometer

Gegenüber der Messung mit einem Thermolement ist das Strahlungs-pyrometer betriebssicherer, weil es praktisch keiner Alterung unterliegt. Voraussetzung ist jedoch eine sorgfältige Wartung. Die Skalenteilung ist infolge der exponentiellen Beziehungen zwischen Thermospannung und Temperatur nicht linear und zwingt dazu, bei etwa 2/3 des Meßbereiches zu arbeiten. Die Meßgenauigkeit ist von zwei Einflüssen abhängig, die

schwer zu übersehen sind: dem Emissionsvermögen des Strahlers und den Einflüssen der Umgebungstemperatur.

Baut man das Strahlungs-pyrometer so ein, daß es den Boden eines Formsteines anvisiert, so ist das Emissionsverhalten dieses Bodens mit Sicherheit über längere Zeit konstant, jedoch ist die Temperatur des Bodens von seiner Dicke abhängig. Man ist also gezwungen, ein Steinmaterial zu suchen, das sich nicht nur mit dem meist sauren Gewölbemauerwerk verträgt, sondern auch genügend verschleißfest ist.

Gesamtstrahlungs-pyrometer werden üblicherweise an einem Ofen geeicht, dessen Temperatur mit einem Präzisions-Glühfadenpyrometer zusammen mit einem Kompensator der Klasse 0,05 gemessen wird. So kann man bei serienmäßig gefertigten Strahlungs-pyrometern mit einer Toleranz von etwa  $\pm 1\%$  rechnen. Hinzu kommt noch der Restfehler wegen unvollständiger Kompensation der Umgebungstemperatur, der im äußersten Falle auf  $-10$  grad bei  $180^\circ\text{C}$  Raumtemperatur anwachsen kann [4].

Das Strahlungs-pyrometer unterliegt gegenüber dem Thermolement keiner Alterung. Grundvoraussetzung für ein zuverlässiges Messen ist sorgfältige Pflege von Objektivlinse, Spülluftfiltervorlagen und Mündung der Einbauarmatur und des Visierrohres.

### 6. Schrifttum

- [1] WEBER-KLEIN, P.: Meß- und Regeltechnik in Glashütten. I. Erfassung von Meß- und Regelgrößen. II. Geräte zur Messung und Regelung. Glastechn. Ber. **32** (1959) S.107 bis 120, 158—172.
- [2] THIES, G.: Aufbau und Regelung des Unit-Melter. Regelungstechn. **8** (1960) S. 9—15.
- [3] LITERSCHIEDT, W. und SCHMIDT, TH.: Über die Regelung von gasbeheizten Industrieöfen. Das thermische Verhalten des gasbeheizten Industrieofens. Gas Wärme **2** (1953) S. 353—361. [Ref. Glastechn. Ber. **28** (1955) S. 73.] In einer Neufassung behandelten die Verfasser das gleiche Thema in: Regelungstechn. **2** (1954) S. 169—173 und fügten einen Teil II. Das regeltechnische Verhalten des gasbeheizten Industrieofens. Regelungstechn. **2** (1954) S. 202—208 hinzu.
- [4] LIENEWEG, F. und SCHALLER, A.: Verbesserung der Meßeigenschaften des „Ardometer“. Siemens-Z. **32** (1958) Nr. 5, S. 331—335. [Ref. Glastechn. Ber. **32** (1959) S. 33.] (37267)

DK 66.012.1:666.1.031.21.012.1.:666.1.031.24:66.042.9:621-55

## Meß- und Regelverfahren für Glasschmelzwannen

VON MANFRED EBELING, Minden (Westf.)

(Vortrag auf dem HVG-Kolloquium über Meß- und Regeltechnik an Glasschmelzöfen am 27. Oktober 1961 in Frankfurt (Main))

(Eingegangen am 30. Oktober 1961)

Es werden allgemeine Gesichtspunkte betrachtet, die bei der Neuplanung und Modernisierung von Anlagen berücksichtigt werden sollten. — Die Vorteile der Systemtechnik und der Einsatz von Kompakt-Reglern (Einheitsregler) wird aufgezeigt. — Am Beispiel ausgeführter Anlagen wird die spezielle meß- und regeltechnische Ausrüstung für Unitmelter, gasbeheizte Querbrennerwanne und eine ölbeheizte U-Flammenwanne beschrieben.

Meß- und Regelanlagen sind heute ein wichtiges Glied einer jeden Produktionsanlage geworden. Der vom Rationalisierungs-Kuratorium der deutschen Wirtschaft geprägte Satz „Bei freier Konkurrenz wird nicht mit hohen Preisen, sondern mit niedrigen Kosten das meiste Geld verdient“, läuft letzten Endes immer auf das Ziel hinaus, eine hohe Wirtschaftlichkeit zu erreichen. Daß die damit verbundene Rationalisierung nicht allein auf innerbetriebliche Maßnahmen, Verbesserung des Transportwesens usw. beschränkt bleiben darf, sondern u. a. eine weitgehende Regelung der Öfen mit einschließt, ist für jede verantwortliche Betriebsführung zur Selbstverständlichkeit geworden. Der Ofenführer ist heute längst nicht mehr in der Lage, alle wichtigen Einflüsse zu erfassen und unter Kontrolle zu halten. Hinzu kommt,

daß immer höhere Qualitätsanforderungen gestellt werden. Der Einsatz von hochwertigen Meß- und Regelgeräten hat sich daher als notwendig erwiesen.

Der Wunsch nach einem gleichmäßigen Produktionsablauf ist gerade für den kontinuierlichen Glasschmelzprozeß von größter Bedeutung. Er könnte z. T. verwirklicht werden, wenn z. B. alle auf die Produktion einwirkenden Störgrößen konstant wären bzw. von Anfang an ausgeschaltet werden könnten. Dazu gehören Ungleichmäßigkeiten in der Rohstoffzusammensetzung, Schwankungen in der Wärmezu- und -abfuhr, z. B. durch Heizwert und Vordruckschwankungen des Brennstoffs oder ungleichmäßige Verbrennungsluftzufuhr, veränderliche Dichte und Feuchte der Verbrennungsluft usw. als Einflüsse, die fortlaufend kontrolliert und korrigiert

werden müssen. Die Messung und z. T. Regelung der Ofentemperaturen, der Luft- und Brennstoffmengen, des Brennstoff-Luft-Verhältnisses, der Ofenatmosphäre (Abgasanalyse), des Herdraumdruckes und des Glasstandes ist heute bei jeder größeren Ofeneinheit selbstverständlich. Neben der vorgenannten Meß- und Regelausrüstung muß natürlich auch die Voraussetzung für die Einlage eines gleichmäßigen Gemenges geschaffen sein, wenn man vermeiden will, daß Ungleichmäßigkeiten in der Gemengezusammensetzung die Ausschußquote nachteilig beeinflussen. Durch Automatisierung der Gemengebereitung ist man in vielen Hütten auch auf diesem wichtigen Gebiet vorangekommen.

**1. Gesichtspunkte zur Auswahl geeigneter Regler**

Betrachtet man heute die in einzelnen Hütten vorhandenen Meßwertumformer und Regler, dann stellt man trotz der Bemühungen, die Systeme auf wenige zu beschränken, eine Typenvielfalt fest, die erschreckend ist. Die damit verbundene erhöhte Lagerhaltung und Wartung und die Ausbildung oder Einstellung von geschultem Bedienungspersonal bedingt einen hohen Kostenaufwand, der die durch die Automatisierung erzielten Einsparungen vermindert. Es ist nicht möglich, die Regelung aller Anlagen auf einem Fabrikat aufzubauen. Man sollte jedoch auf eine einheitliche Systemtechnik Wert legen. Es ist im Rahmen der zentralen Meßwerterfassung und Verarbeitung in Analogrechnern und elektronischen Ziffernrechenanlagen von Vorteil, alle erforderliche Meßgrößen wie Durchfluß, Druck, Temperatur, Geschwindigkeit usw. in ein normiertes elektrisches Eingangssignal umzuformen. Bei der schnellfortschreitenden Entwicklung auf diesem Gebiet sollte dieser Entwicklungstendenz bei Neuplanungen und Modernisierung bestehender Anlagen Rechnung getragen werden.

Der Einsatz von Ziffernrechenanlagen dürfte in naher Zukunft bei vielen Hütten diskutabel sein. Überlegt man nämlich, daß eine moderne Meß- und Regelanlage für eine Glasschmelzwanne mit einer Tagesleistung von 150 t in der Größenordnung von 200000 DM liegt und eine Ziffernrechenanlage etwa 330000 DM kostet, und vergleicht die Möglichkeiten beider Anlagen, so kommt man zu Resultaten, die einer Überlegung wert sind. Die Ziffernrechenanlage kann nicht nur gleichzeitig für die vollautomatische Regelung mehrerer Wannen einschließlich der Gemengeeinlage verwendet, sondern zusätzlich für die Betriebsstatistik und zu weiteren Rechenoperationen herangezogen werden. Sie übernimmt folgende Aufgaben:

- |                               |   |
|-------------------------------|---|
| Bildung von Mittelwerten      | Bildung von Regelsignalen durch Vergleich des Sollwertes mit dem Istwert          |
| Statistische Auswertung       | Bildung von Ausgangssignalen in Form von Spannungen oder Strömen für Stellglieder |
| Berechnung von Kennwerten     | Berücksichtigung des Zeitverhaltens bei Berechnung optimaler Sollwerte            |
| Berechnung von Wirkungsgraden | Vorausberechnung des Prozeßablaufes zur Vorhaltbildung                            |

- Ständige Berechnung optimaler Betriebspunkte von Prozessen
- Rasche Erfassung einer großen Anzahl von Meßwerten
- Radizierung und Druck-Temperatur-Korrektur bei Mengemessungen
- Prüfung auf Überschreitung von Grenzwerten

- Optimierung durch systematisches Probieren
- Linearisierung von Meßwerten, z. B. bei Thermoelementen
- Schreibmaschinenniederschrift sämtlicher Meßwerte in eine Zeile
- Alarmanzeige optisch, akustisch und durch Niederschrift

Gerade auf dem bisher wenig beachteten Sektor der Betriebsabrechnung und -statistik lassen sich noch hohe Ersparnisse erzielen. Meist ist heute für diese Arbeiten noch ein verhältnismäßig großer Stab von Mitarbeitern eingesetzt. Der erste Schritt auf dem Wege der erfolgreichen Prozeßregelung dürfte die Einführung einer einheitlichen Systemtechnik sein, solange der Einsatz von Prozeßrechnern für viele Werke noch nicht praktikabel ist. Im Rahmen dieser Entwicklung stehen neben den erforderlichen Meßwertgebern und -umformern mit einem normierten Ausgangssignal von z. B. 0 bis 20 mA für alle physikalischen Größen sogenannte Kompaktregler zur Verfügung, die den Forderungen der Industrie nach universeller Verwendung und Kleinbauweise gerecht werden.

**2. Beispiel für den Aufbau eines einheitlichen Regelsystems**

Den Aufbau eines Regelsystems für Druck-, Temperatur-Mengeneinstellung usw. mit einheitlichen Ausgangswerten zeigt Bild 1.

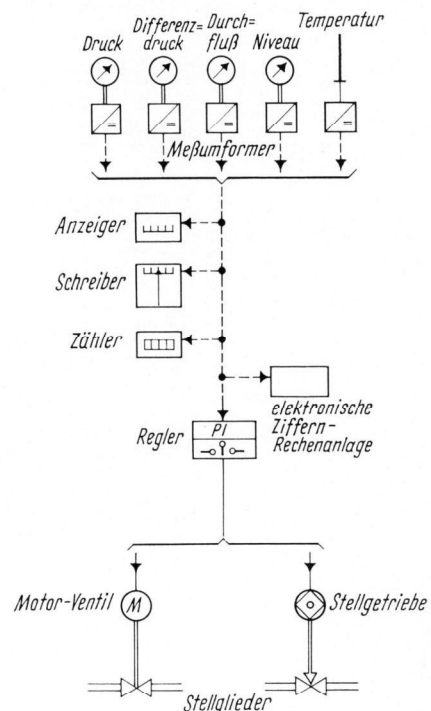


Bild 1. Regelkreis mit einheitlicher Systemtechnik zur Regelung verschiedener Größen.

Die physikalischen Größen, Druck, Differenzdruck, Durchfluß usw. werden hier in ein Einheitssignal von 0 bis 20 mA umgewandelt. Der Ausgangsstrom kann je

nach Bedarf unter Zwischenschaltung von Schreibern, Anzeigern, Zählern usw. direkt auf den Regler gegeben werden. Der Regler steuert über seine Ausgangsrelais Motorventile oder Stellgetriebe, die mechanisch mit jedem beliebigen Stellorgan gekoppelt werden können.

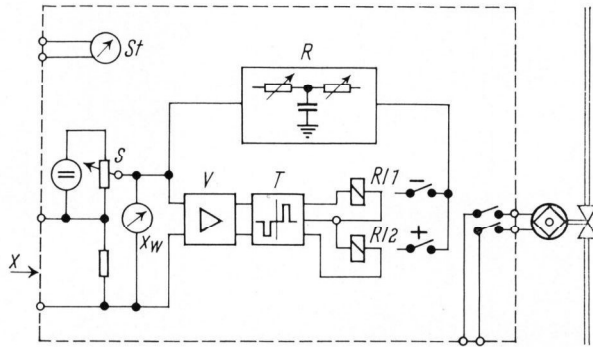


Bild 2. Prinzipschaltbild eines Kompakt-Reglers.

x = Regelgröße	T = Trigger (Kippstufe)
S = Sollwertgeber	Rel = Relais
x <sub>w</sub> = Regelabweichungsanzeige	R = Rückführung
V = Verstärker	St = Stellungsanzeiger

Durch Verwendung moderner Halbleiter-Bauelemente war es möglich, die Frontabmessungen des Reglers auf ein Maß von 192 × 96 mm zu beschränken. In Bild 2 ist das Prinzip-Schaltbild des Reglers aufgezichnet.

Die Regelabweichung  $x_w$  wird im Bedienungsteil als Differenz zwischen Regelgröße und eingestelltem Sollwert gebildet und über einen Vorwiderstand auf den Verstärkereingang gegeben. Bei einer im Eingang anliegenden Eingangsspannung schaltet der Verstärker je nach Polarität das positive oder negative Relais. Gleichzeitig schaltet das Relais eine Rückführspannung auf das

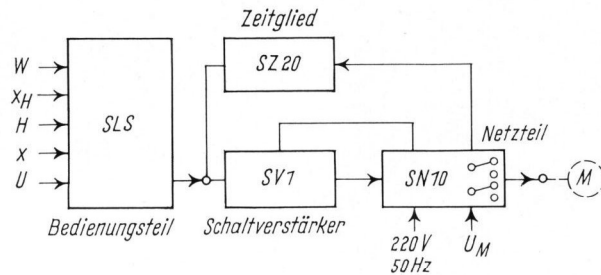


Bild 3. Blockschaltbild der vier Funktionsgruppen eines Kompakt-Reglers.

Zeitglied. Der Motor erhält so Impulse, deren zeitliche Länge mit zunehmender Regelabweichung größer wird. Die Übergangsfunktion gleicht der eines PI-Reglers. Die Regelparameter  $X_p$  und  $T_n$  lassen sich durch Widerstände am Zeitglied ändern. Der Regler besitzt 5 Eingänge. Die Schaltung ist so universell ausgeführt, daß etwa 90% aller Regelaufgaben ohne jegliche Zusatzgeräte gelöst werden können. Bild 3 zeigt die 4 Funktionsgruppen des Reglers und ihr Zusammenwirken.

Der feste Bedienungsteil, der Verstärker, das Zeitglied und der Netzteil sind mit Steckerleisten versehen und werden aus dem Gehäuse herausklappbar ausgeführt, wie dies Bild 4 zeigt. Ein leichter Austausch ist damit gewährleistet. Die Teile bleiben auch in herausgezogenem Zustand betriebsbereit, da sie durch ein Kabel mit

den auf der Gehäuserückwand befindlichen Klemmen verbunden sind.

Der verwendete Transistorverstärker erhält bei einer Eingangsspannung von 50 mV seine Vollaussteuerung, d. h. die Ausgangsrelais sprechen bei einer Regelabweichung von  $\pm 0,5\%$  an. Im Netzteil sind die Relais, Spannungsquellen für Verstärker, Sollwert und Stellungs-

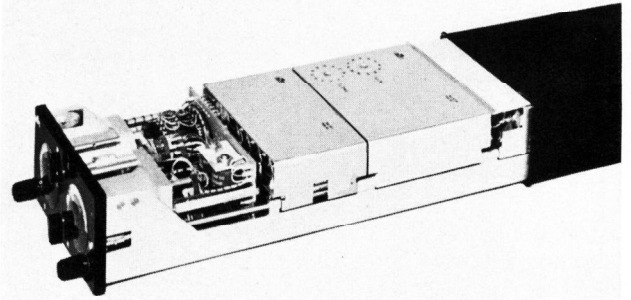


Bild 4. Ansicht eines Reglers mit herausgezogenen Funktionsgruppen.

anzeige untergebracht. Die Schaltleistung der Relais beträgt bei induktiver Belastung 250 VA, bei ohmscher 500 VA. Das Zeitglied enthält die Bauelemente der Rückführung, d. h. Kondensatoreinheit und 2 Widerstandsdekaden. Der Proportionalbereich  $X_p$  ist absolut geeicht und in 12 Stufen von 10 bis 250% veränderbar, die Nachstellzeit in gleicher Weise von 0,2 bis 20 min.

### 3. Regelung von Glasschmelzwannenöfen

Eine der ersten weitgehend geregelten Ofeneinheiten war der von der Hartfort-Empire Co. entwickelte Unit-Melter. Er ist, nach seinem Zeitverhalten definiert, eine im Vergleich zur regenerativ beheizten Wanne günstige Regelstrecke. Die Zeitfunktionen liegen in Grenzen, die mit hochwertigen elektronischen Reglern gut beherrscht werden können. Bild 5 zeigt die Meß- und Regelanlage für einen ölbeheizten Unit-Melter mit Speiser. Der Ofen ist in zwei Heizzonen unterteilt, die sogenannte Schmelz- und Läuterzone. Beide Zonen erhalten zwei getrennte Regelkreise. Bei gas- und ölbeheizten Öfen, die mit rekuperativ vorgewärmter Verbrennungsluft arbeiten, bestehen die Regelkreise je Zone aus einem Temperaturregler, einem Luft-Brennstoff-Verhältnisregler und einem Reku-Schutzregler. Wird die Luft im heißen Teil der Leitung gemessen, so ist eine temperatur-korrigierte Durchflußmessung vorzusehen. Bei instabilen Versorgungsnetzen sind ferner Vordruckregler notwendig. Schwerölbeheizte Öfen, die mit Proportionalbrennern ausgerüstet sind, erhalten nur einen Temperaturregler je Zone. Das Stellglied des Reglers greift über einen gemeinsamen Seilzug auf die Einzelbrenner ein. Das Brennstoff-Luft-Verhältnis ist hierbei für jeden Brenner fest vorgegeben. Nach den in den letzten Jahren gesammelten Erkenntnissen wird in vielen Fällen mit vorgewärmter Luft gearbeitet, um einen günstigen spezifischen Brennstoffverbrauch der Anlage zu erzielen. Zur Gewährleistung einer konstanten Ofenatmosphäre ist die Ofendruckregelung zur Selbstverständlichkeit geworden.

Regenerativ beheizte Öfen ergeben Regelstrecken mit großer Totzeit und langer Übergangszeit. Die Hauptschwierigkeiten der automatischen Regelung dieser Öfen sind jedoch nicht, wie vielfach angenommen, in

luft wird über einen Brennstoff-Luft-Verhältnisregler nachgezogen. Durch unterschiedliche Verschmutzungen, z. B. in für jedes Brennerpaar getrennten Kammern, kann jedoch eine Verschiebung des Luft-Brennstoff-

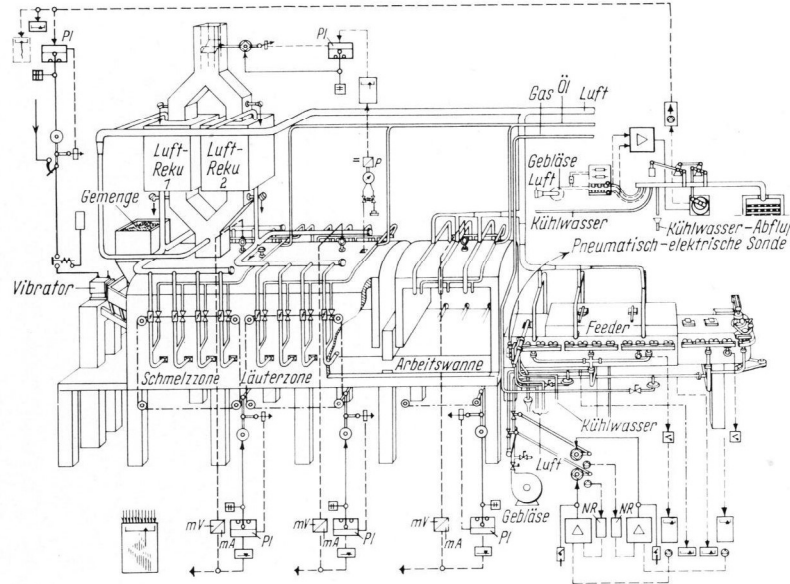


Bild 5. Meß- und Regelanlage für einen ölbeheizten Unit-Melter mit Speiser.

den Zeitkonstanten zu suchen, sondern auf die periodische Umsteuerung des Feuers und die damit auf den Schmelzprozeß einwirkenden schwer erfäßbaren Störgrößen zurückzuführen. In der Praxis hat man an großen

Verhältnisses eintreten, wenn nicht jedes Brennerpaar getrennt geregelt wird oder wenn nicht eine ungeteilte Kammer mit großem Sammelraum vor den einzelnen Brennern gewählt wird. Temperaturunterschiede in den

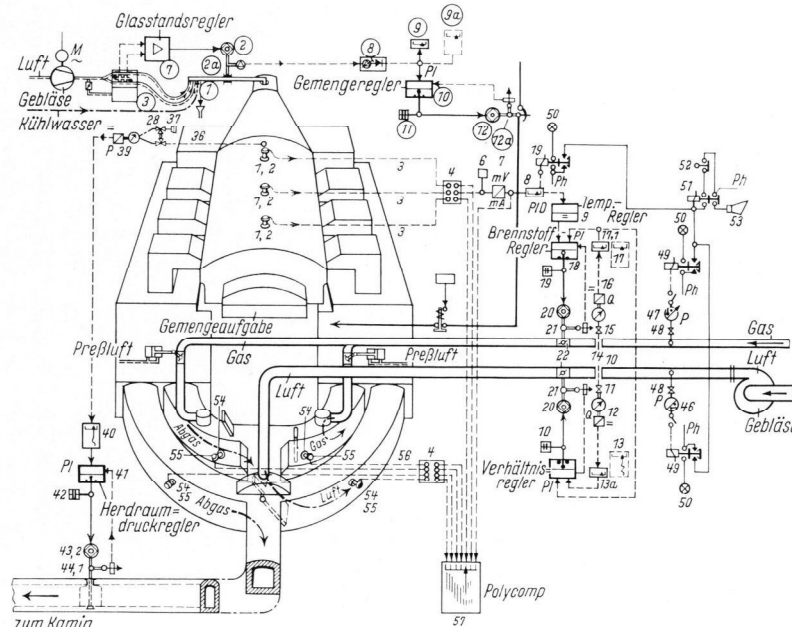


Bild 6. Meß- und Regelanlage für eine generatorgasbeheizte Querbrennerwanne.

Wannen bisher meist auf eine Temperaturregelung verzichtet, da es sehr schwer ist, einen Meßpunkt zu finden, der einen optimalen Bezugswert für die gewünschte Temperaturverteilung im Ofenraum liefert. Die Wannen werden deshalb fast ausschließlich nur mit einem Brennstoff-Festwertregler versehen. Die Verbrennungs-

Kammern können durch verschieden lange Umschaltzeiten ausgeglichen werden. Durch diese Maßnahmen lassen sich zwar die Kammertemperaturen einander anpassen, sie gewährleisten jedoch noch keine gleichmäßige Ofenatmosphäre. Die Ofendruckregelung ist bei Regenerativwannen eine wesentliche Voraussetzung zur

Konstanthaltung der Ofenatmosphäre. Darüber hinaus wird die Konstanz des Temperaturfeldes begünstigt, da die Flammenlage und Flammenausbildung gleich-

ist das Schema einer Regelung für eine ölbeheizte U-Flammenwanne gezeigt. Sie ist mit einer Temperaturregelung für Schmelz- und Arbeitswanne ausgerüstet,

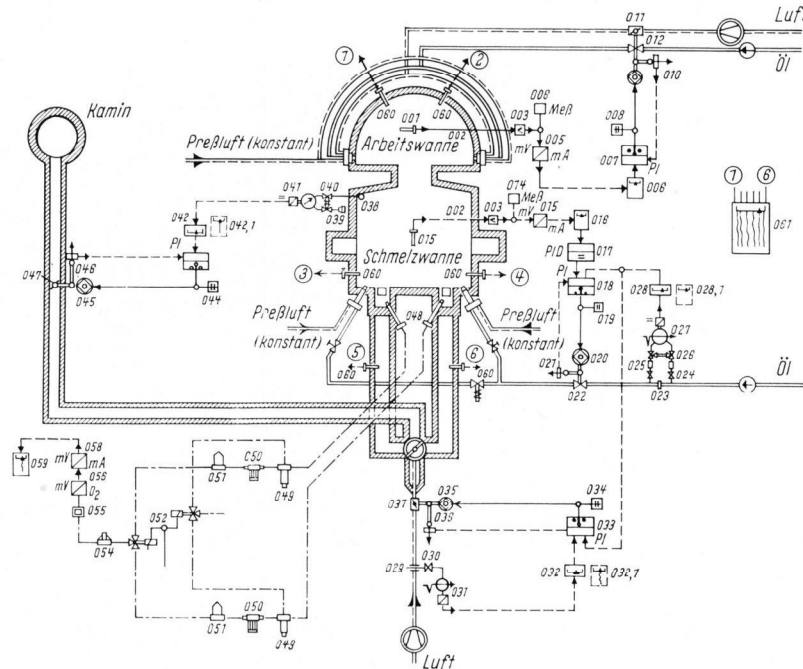


Bild 7. Regelschema für eine ölbeheizte U-Flammenwanne.

mäßiger wird als in Öfen ohne geregelten Herdraumdruck.

Bild 6 zeigt eine Meß- und Regelanlage für eine querbeheizte Glasschmelzwanne, wie sie für Beheizung mit geringstem Generatorgas ausgeführt wurde. In Bild 7

außerdem werden Öl-Luftverhältnis und Herdraumdruck geregelt.

Die Zeichnungen und Photos wurden von der Firma Schoppe & Faeser GmbH., Minden (Westf.), zur Verfügung gestellt. (37268)

DK 666.1.031.288-55:621.317.729.2

## Glasstandsregelung an Wannenöfen mit der elektro-pneumatischen Sonde

Von HERMANN BÜRKLIN, Minden (Westf.)

(Auszug aus dem Vortrag auf dem HVG-Kolloquium über Meß- und Regeltechnik an Glasschmelzöfen am 27. Oktober 1961 in Frankfurt (Main))

(Eingegangen am 28. Oktober 1961)

Es wird eine Glasstandeinrichtung mit der elektro-pneumatischen Sonde beschrieben, die Arbeitsweise der Einrichtung mit Sonde, Meßbrücke und Nachlaufregelung erläutert und über Erfahrungen berichtet, die an Wannenöfen gemacht wurden. Kennlinien und Diagramme geben einen Überblick über die erreichbaren Genauigkeiten. Beispiele zeigen den Einsatz der Sonde zur Glasstandsregelung an Wannenöfen. Die vorliegende Arbeit soll dazu dienen, bei der Aufstellung von Vergleichstabellen der elektro-pneumatischen Sonde den ihr gebührenden Platz zuzuordnen.

Die wichtigste Voraussetzung für jede Glasstandsregelung ist eine hinreichend genaue Glasstandsmessung. Über Glasstandsmeßeinrichtungen wurde schon wiederholt berichtet. Eine der umfassendsten Arbeiten über dieses Gebiet ist der Aufsatz von P. WEBER-KLEIN [1]. In der Zwischenzeit sind nähere Unterlagen über die elektro-pneumatische Meßsonde bekannt geworden, die sich in Glasschmelzöfen bewährt hat. Darüber soll eingehend berichtet werden. Beim Vergleich verschiedener Meßverfahren und Meßgeräte gilt es zu beachten, daß vergleichbare Zahlenwerte für die Genauigkeit der Geräte schwer zu erhalten sind.

### 1. Aufbau der elektro-pneumatischen Sonde

Bild 1 zeigt einen rein pneumatisch arbeitenden Glasstandsmesser, bei dem ein Luftstrom auf die Glasoberfläche geblasen und der sich dabei einstellende Blasdruck zur Regelung herangezogen wird. ② ist ein Druck-Ausgleichsrohr, ③ ein Druckregler mit davor-sitzender Kalibrierdüse ④. Die Luft tritt bei ⑤ ein. ⑥ ist der Druckmesser. Je nach Glasspiegelhöhe stellt sich infolge des Luftstaus unter dem Ausblasrohr ① ein unterschiedlicher Differenzdruck an dem Druckmesser ⑥ ein. Der Nachteil einer derartigen Düsenanordnung ist,