

**KERNFORSCHUNGSZENTRUM
KARLSRUHE**

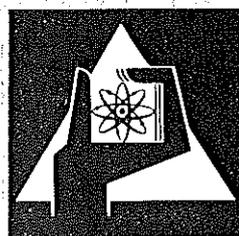
Dezember 1972

KFK 1716

Institut für Heiße Chemie

Regelung eines Verdampfers zur kontinuierlichen
Aufkonzentrierung von U-, Th- und Pu-Lösungen

K. Bier, S. Radek, G. Baumgärtel



**GESELLSCHAFT
FÜR
KERNFORSCHUNG M.B.H.**

KARLSRUHE

Als Manuskript vervielfältigt

Für diesen Bericht behalten wir uns alle Rechte vor

GESELLSCHAFT FÜR KERNFORSCHUNG M. B. H.
KARLSRUHE

KERNFORSCHUNGSZENTRUM KARLSRUHE

KFK 1716

Institut für Heiße Chemie

Regelung eines Verdampfers zur kontinuierlichen
Aufkonzentrierung von U-, Th- und Pu-Lösungen

K. Bier, S. Radek, G. Baumgärtel

Gesellschaft für Kernforschung mbH, Karlsruhe

Zusammenfassung

Für einen Uranverdampfer wird eine Kaskadenregelung beschrieben. Bei dieser Regelart ist ein schneller Regelvorgang (Heizdampfregelung) mit einem langsamen Regelvorgang (Konzentrationsregelung) verknüpft. Die Konzentrationsmessung des ablaufenden Verdampferkonzentrats wird kontinuierlich mit einem In-Line- γ -Absorptiometer durchgeführt.

Abstract

Control of an evaporator for the continuous concentration of U-, Th- and Pu-solution

For an uranium-evaporator a cascade control system is reported. For this control a rapid regulation process (control of heating) is connected with a slow regulation process (control of concentration). The continuous measurement of the concentration of the evaporator concentrate will be realized by an in-line- γ -absorptiometer.

1. Einleitung

Die Verdampfung gehört zu den am häufigsten angewandten Verfahrensschritten in der chemischen Technik. Ziel dabei ist es im allgemeinen, aus einer verdünnten eine konzentrierte Lösung herzustellen. Dabei soll das Konzentrat eine möglichst konstante Konzentration aufweisen. Um dieses zu erreichen, wird häufig die Dichte des ablaufenden Konzentrates als Regelgröße benutzt, die meistens direkt auf die Heizleistung (Stellgröße) des Verdampfers einwirkt.

Ein solch einfacher Regelkreis hat jedoch nur selten eine saubere Regelgüte zur Folge, da in den meisten Fällen die Regelgröße gegenüber der Stellgröße ein unterschiedliches Zeitverhalten aufweist.

Daher wurde für einen kontinuierlichen Uranverdampfer, der bei der Wiederaufarbeitung bestrahlter Kernbrennstoffe z.B. der Aufkonzentrierung verdünnter Striplösungen dient, eine Kaskadenregelung gewählt, mit der sich eine sehr gute Regelgüte erzielen läßt. Hauptregelgröße ist hierbei die Urankonzentration des ablaufenden Konzentrates, die kontinuierlich mit Hilfe der γ -Absorptiometrie gemessen wird.

2. Verfahrenstechnischer Teil

a) Der Verdampfer

Die Verdampferregelung wurde für eine Modellanlage zur rechnergesteuerten Wiederaufarbeitung bestrahlter Kernbrennstoffe entwickelt. Der Verdampfer in dieser Anlage hat dabei die Aufgabe, die verdünnte Uranlösung aus der Rückextraktionsbatterie kontinuierlich aufzukonzentrieren.

Der Verdampfer (siehe Abb. 1) besteht aus dem Verdampferraum, dem mit Raschigringen gefüllten Brüdenraum und dem mit dem Brüdenraum verbundenen Kondensator. Die 0,125 Mol U/l enthaltene Lösung wird kontinuierlich in den Brüdenraum eingespeist und im darunterliegenden Verdampferraum mit Dampf beheizt. Das Konzentrat mit der gewünschten Endkonzentration von 0,5 Mol U/l läuft über ein mit dem Verdampferraum verbundenen Steigrohr stetig ab. Die Urankonzentration wird am Auslauf des Verdampfers über einen by-pass laufend mit einem In-line- γ -Absorptiometer gemessen.

b) Das In-line- γ -Absorptiometer

Das Meßprinzip der Konzentrationsbestimmung beruht auf der Schwächung von γ -Strahlung beim Durchgang durch eine Uran (Pu, Th) enthaltende Lösung. Die Intensität der γ -Strahlung wird mit einem NaJ(Tl)-Szintillationszähler gemessen. Als γ -Strahlenquelle dient ein Am 241-Präparat mit einer

Aktivität von 10 mC. Die Prozeßlösung strömt durch eine Edelstahlküvette mit Fenstern aus Plexiglas. Sie befindet sich zwischen Strahlenquelle und Detektor. Zur Eichung wird eine geometrisch gleiche Küvette mit der gewünschten Sollkonzentration an Uran verwendet. Durchflußküvette und Eichküvette sind nebeneinander auf einem verschiebbaren Schlitten angeordnet (vgl. Abb. 2). Durch einen Knopfdruck kann in beliebigen Zeitabständen die Eichküvette in Meßposition gebracht und somit ein neuer Sollwert für die Regelung eingestellt werden (Sollwertführung) ¹⁾.

3. Regeltechnischer Teil

a) Regelsystem des Verdampfers

Der Gesamtregelkreis des Verdampfers besteht aus zwei Regelstrecken (Hilfsregelkreis und Hauptregelkreis) mit unterschiedlichem Zeitverhalten. Damit teilt sich die Regelstrecke in zwei Vorgänge auf, die miteinander signalmäßig verknüpft sind, sich jedoch in ihrem zeitlichen Verhalten nur wenig beeinflussen.

Im Hilfsregelkreis (Heizdampfdruckregelung) verläuft ein schneller Regelvorgang, der die Änderung der Störgröße im wesentlichen ausgeglichen hat und dessen Schwingung bereits abgeklungen ist, wenn der Hauptregelkreis (Konzentrationsregelung) gerade seine ersten größeren Ausschläge macht. Der Zweck einer solchen Kaskadenregelung ist die Verbesserung der Regelgüte (vgl. Abb.3).

Eine Verzögerung der Hauptregelstrecke, bedingt durch die langsame Konzentrationsänderung, wird dadurch zum größten Teil ausgeglichen, indem in der Hilfsregelstrecke über eine zweite Stellgröße X_H , in den Hauptregelkreis eingegriffen wird. Eine direkte Regelung des Heizdampfdruckes mit der der Konzentration proportionalen Hauptregelgröße X würde wegen des unterschiedlichen Zeitverhaltens zwischen der Konzentrationsänderung und der Energiezufuhr ein stetiges Schwingen des Regelsystems zur Folge haben.

b) Optimierung des Regelsystems

Das Verhalten der beiden Regelstrecken wird durch die Verzugszeit T_n , die Anstiegszeit T_g und den Verstärkungsfaktor K_s der Regelstrecke genügend genau beschrieben.

Die Totzeit der Regler kann vernachlässigt werden, da sie im Vergleich mit T_n und T_g sehr gering ist.

Da die beiden Regelstrecken sich in ihrem zeitlichen Verhalten nur wenig beeinflussen, ist es möglich, die Optimierung von Hilfsregelkreis und Hauptregelkreis getrennt durchzuführen.

Optimales Verhalten eines Regelkreises liegt vor, wenn die Regelabweichung ein Minimum erreicht. Für dieses Verhalten sind folgende Parameter des Reglers verantwortlich: der Proportionalitätsbereich der Reglergleichung X_p , die Nachstellzeit des Reglers T_n und zusätzlich bei einem PID-Regler, dessen Vorhaltezeit T_v . Die Berechnung

der optimalen Werte dieser Parameter stößt im allgemeinen auf Schwierigkeiten, da sie eine detaillierte Kenntnis der Kennwerte der Regelstrecke voraussetzt, was normalerweise nicht der Fall ist.

Daher haben die Einstellregeln von Ziegler und Nichols (2) und die Einstellanweisungen von Chien et al. (3) besondere Bedeutung erlangt, da sie keine genaue Kenntnis der Kennwerte der Regelstrecke benötigen. Mit den nach diesen Einstellkriterien ermittelten Werten von X_P , T_n und T_v läßt sich in den meisten Fällen ein weitgehend optimales Verhalten des Regelkreises erzielen.

α) Einstellregeln von Ziegler u. Nichols über einen Schwingversuch:

Zunächst wird der Regler als P-Regler betrieben, wozu man T_n so groß und T_v so klein wie möglich einstellt. Nun wird X_P so lange verändert, bis die Regelgröße gerade eine ungedämpfte Schwingung mit einer Periodendauer T_K ausführt. Der eingestellte Proportionalitätsbereich wird für diesen Fall mit X_{PK} bezeichnet. Die günstigste Einstellung für einen PI-Regler ist dann:

$$X_P = 2,2 \cdot X_{PK} \quad \text{u.} \quad T_n = 0,85 \cdot T_K$$

und für einen PID-Regler:

$$X_P = 1,67 \cdot X_{PK} \quad T_n = 0,5 \cdot T_K$$

$$\text{u.} \quad T_v = 0,12 \cdot T_K$$

β) Einstellregeln von Ziegler u. Nichols über die Übergangsfunktion:

Bei diesem Verfahren werden die günstigsten Einstellgrößen aus der experimentell aufgenommenen Übergangsfunktion der Strecke ermittelt. Die Übergangsfunktion liefert die Werte T_u , T_g und K_s . Daraus ergeben sich die Werte für einen PI-Regler wie folgt:

$$V_o = 0,9 \cdot T_g / T_u \quad \text{u.} \quad T_n = 3,3 \cdot T_u$$

und für einen PID-Regler:

$$V_o = 1,2 \cdot T_g / T_u \quad T_n = 2 \cdot T_u$$

$$\text{u.} \quad T_v = 0,5 \cdot T_u$$

Dabei gilt für beide Fälle:

$$X_P [\%] = \frac{K_s}{V_o} \cdot 100$$

γ) Im Gegensatz zu Ziegler und Nichols unterscheiden Chien et al. bei den Einstellregeln zwischen der Einstellung eines Reglers, der eine Störung möglichst rasch ausgleichen soll, und der eines Reglers, der einem Führungsbefehl möglichst genau folgen soll.

Folgende Einstellregeln werden hierfür angegeben:

	Führung	Störung
PI-Regler:	$V_o = 0,6 \cdot T_g / T_u$	$V_o = 0,7 \cdot T_g / T_u$
	$T_n = T_g$	$T_n = 2,3 \cdot T_u$
PID-Regler:	$V_o = 0,95 \cdot T_g / T_u$	$V_o = 1,2 \cdot T_g / T_u$
	$T_n = 1,35 \cdot T_g$	$T_n = 2 \cdot T_g$
	$T_v = 0,47 \cdot T_u$	$T_v = 0,42 \cdot T_u$

Für beide Fälle gilt:

$$x_p [\%] = \frac{K_s}{V_o} \cdot 100$$

Da größere Störungen im beschriebenen Fall nicht auftreten, (Konzentrationschwankungen im Verdampferzulauf sind gering; der Heißdampf gelangt konstant mit 4,5 atü auf das Stellglied), werden zur weiteren Berechnung der Reglerkennwerte nach Chien et al. nur die Einstellregeln mit Führungsverhalten herangezogen.

4. Experimentelle Ergebnisse

Nach der oben beschriebenen Methode werden zunächst die für die Anwendung der Einstellregeln benötigten Werte über einen Schwingversuch und durch Aufnahme der Übergangsfunktion experimentell ermittelt. Dabei konnte für den PID-Regler kein Schwingversuch durchgeführt werden, da dies wegen der nur sehr langsam erfolgenden Konzentrationsveränderung praktisch nicht möglich ist.

Folgende Werte werden erhalten:

	<u>PI-Regler</u>	<u>PID-Regler</u>
Schwingver- such:	$X_{PK} = 21\%$	
	$T_K = 2,5 \text{ sek}$	
Übergangs- funktion:	$T_u = 0,6 \text{ sek}$	$T_u = 1,5 \text{ min}$
	$T_g = 2,3 \text{ sek}$	$T_g = 7 \text{ min}$
	$K_S = 3$	$K_S = 9,1$

Die mit diesen Werten nach den Methoden von Ziegler u. Nichols und Chien et al. berechneten Reglerkennwerte sind in der Tabelle 1 aufgeführt.

Tabelle 1

Method	PI-Regler	PID-Regler
Schwingversuch	$X_P = 46\%$ $T_n = 2,1 \text{ sec}$	
Übergangsfunktion (Ziegler u. Nichols)	$X_P = 87\%$ $T_n = 2 \text{ sec}$	$X_P = 160\%$ $T_n = 3 \text{ min}$ $T_v = 0,75 \text{ min}$
Übergangsfunktion (Chien et al) Führung	$X_P = 130\%$ $T_n = 2,3 \text{ sec}$	$X_P = 205\%$ $T_n = 9,5 \text{ min}$ $T_v = 0,7 \text{ min}$

Mit diesen rechnerisch ermittelten Regler-
kenndaten wurde nun das gesamte Regelsystem des Ver-
dampfers erprobt. Dabei stellte sich heraus, daß mit
den aus der Übergangsfunktion nach der Methode von
Ziegler und Nichols erhaltenen Reglerkenndaten die beste
Reglergüte erzielt wird.

Die Abb. 4 zeigt ein Schreiberdiagramm, aus dem die
einwandfreie Funktion des Verdampferregelsystems her-
vorgeht: Bei einem bestimmten Zeitpunkt wurde der
Zufluß zum Verdampfen für eine bestimmte Zeit unter-
brochen, was einen sofortigen Anstieg der Urankonzen-
tration im Verdampferraum zur Folge hat. Das Regel-
system reagiert unmittelbar darauf durch eine
Drosselung der Heizdampfzufuhr. Nach einer kurzen
Einschwingzeit von etwa 10 min ist dann der Gleichgewichts-
zustand wieder hergestellt, d.h. der Sollwert der Uran-
konzentration im Verdampferablauf ist wieder erreicht.

5. Zusammenfassung und weitere Anwendungsmöglichkeiten

Für einen Uranverdampfer wurde eine Kaskadenregelung
entwickelt, bei der ein schneller Regelvorgang (Heiz-
dampfregelung) mit einem langsamen Regelvorgang
(Konzentrationsregelung) miteinander verknüpft sind.
Für die kontinuierliche Konzentrationsmessung wird ein
in-line- γ -Absorptiometer eingesetzt. Das Regelsystem
läßt sich auch für Thorium- und Plutoniumverdampfer
anwenden.

Darüber hinaus ist das beschriebene Regelsystem auch
auf andere chemisch-verfahrenstechnische Prozesse an-
wendbar, wenn es darum geht, langsam sich verändernde
Prozeßgrößen mit schnell veränderlichen Prozeßgrößen
zu verknüpfen.

Literaturangaben

- 1) G. Baumgärtel u. K. Bier:
CZ-Chemie-Technik, 1(1972)9,435/437

- 2) G. Pressler:
Regelungstechnik Bd.1, Bibliographisches Institut,
Mannheim,1967

- 3) Winfried Oppelt:
Kleines Handbuch technischer Regelvorgänge,
Verlag Chemie, Weinheim, 1964

GERÄTELISTE

Hauptregelkreis

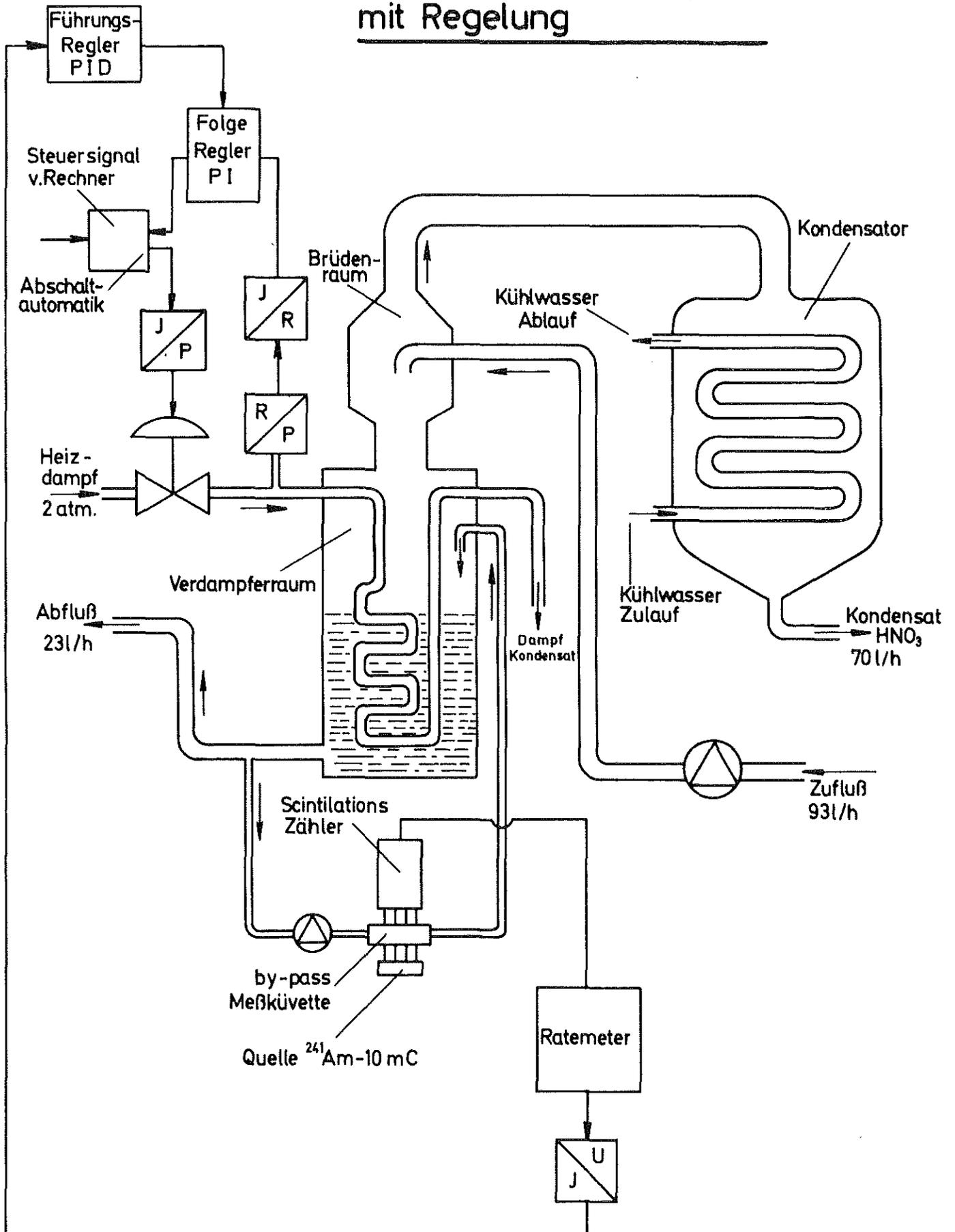
- 1 PID - Regler Typ PCS - Withof (mit Strukturumschaltung)
- 2 U/J Meßumformer Typ PCS-T-Withof 10V/20mA
- 3 γ - Absorptiometriemeßplatz, Bauart GfK

Hilfsregelkreis

- 4 PI-Regler Typ PCS - Withof mit Strukturumschaltung)
- 5 R/J Meßumformer Typ PCS-T für Widerstandsferngeber
- 6 Widerstandsferngeber Typ 9404 215 30351 Withof
MB 0.... 6kp/cm²
- 7 J/P Wandler Typ EP 940453 10001
0,2... 1 kp/cm² 0... 20 mA
- 8 Stellgerät Typ 67 112 13 I.C. Eckardt
NW 15 ND 10 $K_{VS} = 3,5$
Pneumatischer Stellantrieb Typ 6811143 I.C. Eckardt

Abb.1

Schema des Verdampfers mit Regelung



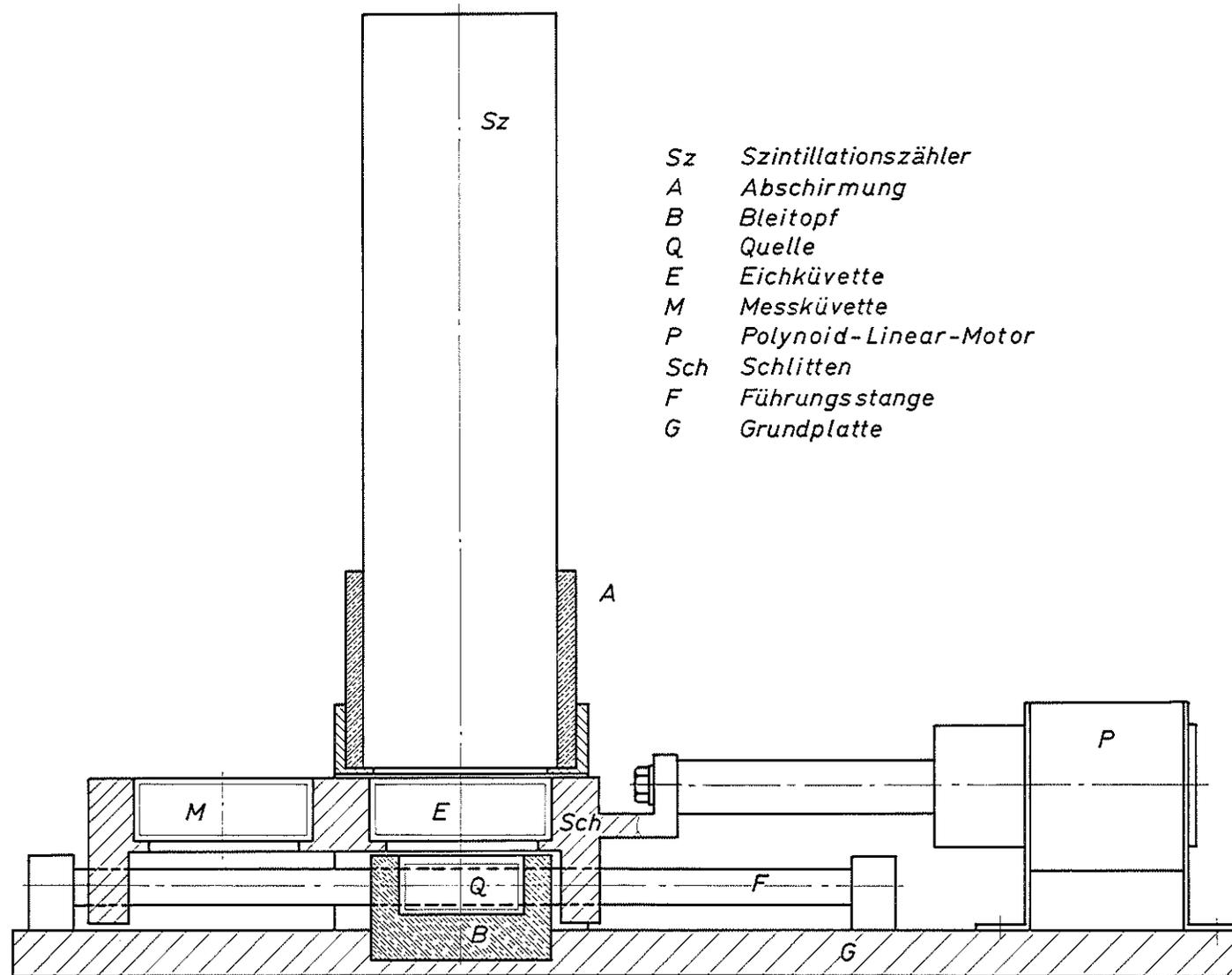


Abb. 2

Abb. 3

Geräteschema

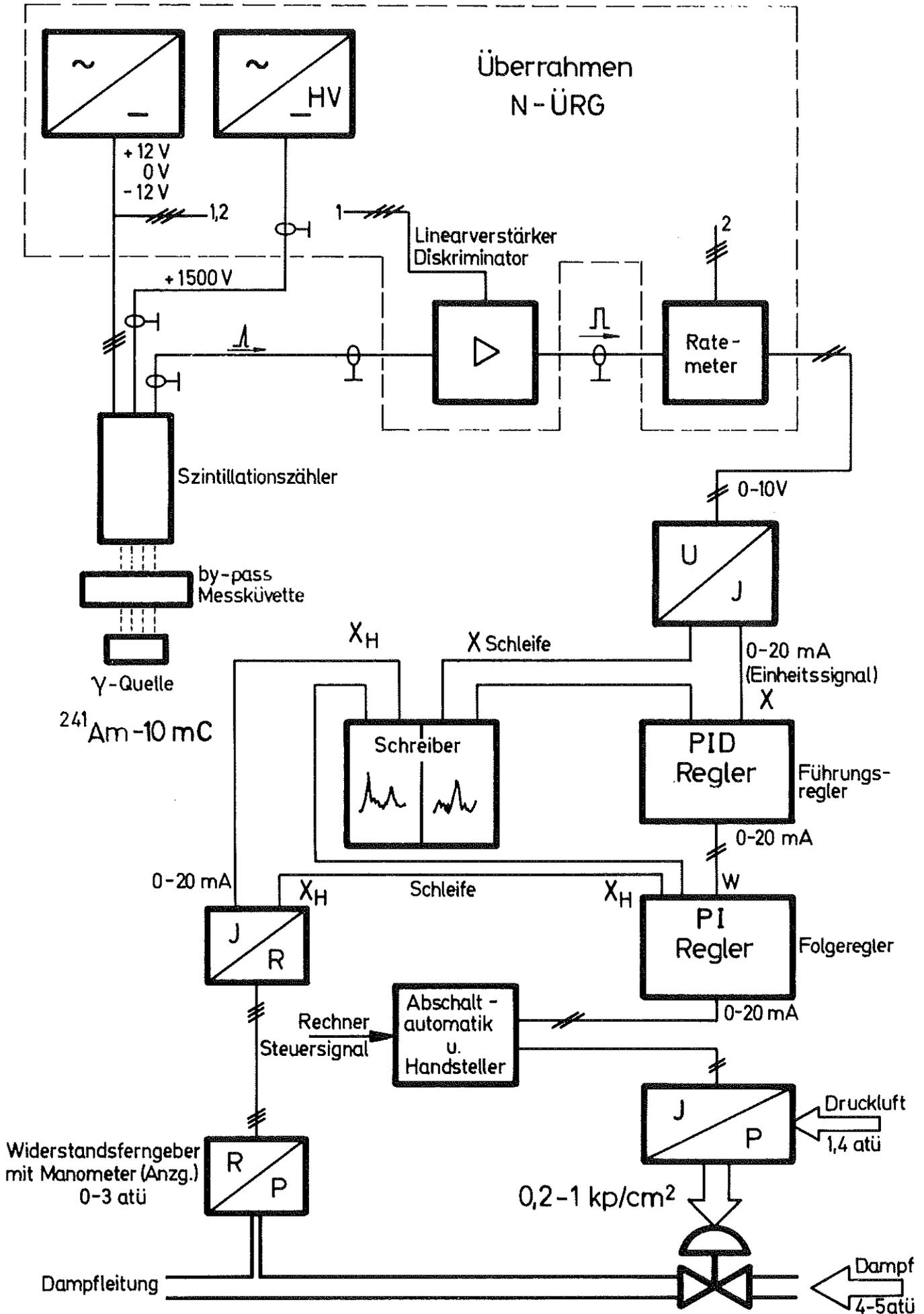


Abb. 4

