

KERNFORSCHUNGSZENTRUM KARLSRUHE

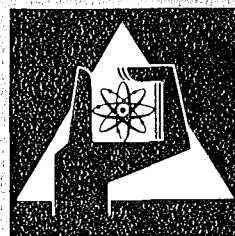
November 1975

KFK 2041

Institut für Heiße Chemie
Institut für Datenverarbeitung in der Technik
Projekt Wiederaufarbeitung und Abfallbehandlung

TAMARA — Eine Uranextraktionsanlage zur Demonstration der rechnergeführten Prozeßüberwachung bei der Wiederaufarbeitung Teil 1: Beschreibung der Anlage und Versuchsergebnisse

G. Baumgärtel, K. Bier, E. Kuhn, H.-R. Mache, S. Radek



**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 2041

PWA 28/75

Institut für Heiße Chemie
Institut für Datenverarbeitung in der Technik
Projekt Wiederaufarbeitung und Abfallbehandlung

TAMARA - Eine Uranextraktionsanlage zur Demonstration
der rechnergeführten Prozeßüberwachung bei der Wieder-
aufarbeitung

Teil 1: Beschreibung der Anlage
und Versuchsergebnisse

G. Baumgärtel, K. Bier, E. Kuhn, H.-R. Mache, S. Radek

Gesellschaft für Kernforschung mbH, Karlsruhe

Zusammenfassung

Eine mit Uran betriebene und mit In-line-Instrumenten ausgerüstete Uranextraktionsanlage wird beschrieben. Die Anlage dient in erster Linie der Entwicklung und Demonstration der rechnergeführten Prozeßüberwachung bei der Wiederaufarbeitung bestrahlter Kernbrennstoffe. Sie ist an das zentrale Prozeßrechnersystem CALAS angeschlossen.

Die bisher erzielten Untersuchungsergebnisse werden dargestellt und diskutiert und ein Ausblick auf weitere Vorhaben mit dieser Anlage gegeben.

Abstract

TAMARA - An uranium extraction pilot plant for demonstration of computerized process-control in reprocessing

An uranium extraction pilot plant with an in-line instrumentation is described. The plant was constructed in course of the development and demonstration of a computer-based control of nuclear fuel reprocessing processes and is connected with the process computer system CALAS.

The results gained until now are presented and discussed and the future work suggested is designated.

<u>Inhaltsverzeichnis</u>	<u>Seite</u>
1. Einleitung	1
2. Prozeßbeschreibung	3
3. Apparative Ausrüstung	5
4. Instrumentierung	7
4.1 Konventionelle Instrumentierung	7
4.2 In-line-Instrumentierung	10
5. Prozeßelektronik	13
6. Prozeßrechnersystem CALAS	16
6.1 Rechnerkonfiguration	16
6.2 Prozeßinterface	17
6.3 Betriebssystem CALAS 69/4	18
7. Programmsystem TAMARA/C für die Prozeßüberwachung	20
8. Beschreibung der Versuche und Versuchsergebnisse	22
8.1 In-line-Instrumentierung und Prozeßüberwachung	22
8.2 GWK-Betriebshilfe	25
9. Ausblick	28
10. Literaturverzeichnis	29
11. Tabellen	31

1. Einleitung

Bei der Wiederaufarbeitung bestrahlter Kernbrennstoffe kommt der laufenden Überwachung des Prozeßablaufes eine entscheidende Rolle zu. Im Gegensatz zu Reaktoranlagen sind keine übergeordneten Maßnahmen wie z.B. Schnellabschaltung bei Gefahrensituationen möglich. Bei Wiederaufarbeitungsanlagen ist die Gefahrenursache direkt anzugeben, wobei Gegenmaßnahmen von der geeigneten Erfassung von Prozeßvariablen abgeleitet werden müssen. Eine gute Prozeßkontrolle ist daher ein wesentlicher Baustein der Sicherheit von Wiederaufarbeitungsanlagen. Andererseits ist sie aber Voraussetzung einer rationellen Betriebsweise, um z.B. Fehlchargen zu verhindern.

Die Prozeßkontrolle ist prinzipiell auf zwei verschiedene Arten durchführbar:

- 1) Diskontinuierlich durch Probeentnahme mit anschließender Analyse im Betriebslabor und
- 2) kontinuierlich durch direkt in die Prozeßströme eingebaute In-line-Instrumente.

Die kontinuierliche Prozeßkontrolle hat neben der ständigen Verfügbarkeit wichtiger Prozeßparameter noch zusätzlich den Vorteil, daß die In-line-Instrumente ihre Meßsignale direkt an einen Prozeßrechner zur Weiterverarbeitung übermitteln können. Damit wird eine wesentliche Voraussetzung zur automatischen rechnergeführten Prozeßüberwachung und -steuerung gegeben.

Für die Erprobung und Demonstration der Zuverlässigkeit von In-line-Instrumenten und der Prozeßkontrolle mit der elektronischen Datenverarbeitung wurde im IHCH der GfK die Versuchsanlage TAMARA (Technikums-Aufbau des Modells einer automatisierten Reprocessing-Anlage) errichtet (Abb. 1).

Neben den obigen Aufgaben sollte sie gleichzeitig dem Sammeln repräsentativer Daten für die Modellbildung bei der Extraktion und dem Test der Prozeß- und Interface-Elektronik dienen. Zusätzlich ist die Anlage als Testbett für die Lösung bestimmter Probleme im Rahmen der Betriebs-hilfe für die WAK einsetzbar.

TAMARA ist eine vereinfachte Uranextraktionsanlage im WAK-Maßstab und besteht aus einem Extraktions- und Rückextraktionsteil, Wascheinrichtungen für Solvent- und Raffinatströme und einem Verdampfer zum Aufkonzentrieren der wässrigen Raffinate. Die Anlage wird im Normalfall kontinuierlich betrieben und bezüglich des Urans im Kreislauf gefahren. Die Extraktion des Urans wird wahlweise in einer Mixer-Settler-Batterie oder in einer gepulsten Siebbodenkolonne, die Rückextraktion in einer Mixer-Settler-Batterie durchgeführt. Die Anlage ist mit dem zentralen Prozeßrechner-system CALAS gekoppelt.

Die Motive für TAMARA bestanden im Schaffen einer kleinen flexiblen und überschaubaren Extraktionsanlage (Uranbetrieb) und mit Prozeßkontrollmöglichkeit. Sie soll die wesentlichen Teile des Wiederaufarbeitungsprozesses umfassen und losgelöst von dem Betrieb und technischen Auflagen der WAK betrieben werden können. Für die Prozeßkontrolle wurden 21 Analog-Meßwertgeber, 2 digitale Meßwertstellen, 104 Status-Meldungen, 57 Alarm-Meldungen, 6 Sollwertvorgabeeinheiten und 23 Kontaktsteuereinheiten installiert.

Im vorliegenden Bericht wird ein Überblick über die Anlage TAMARA und die bisher gewonnenen Ergebnisse gegeben. In den Teilen II 1) und III 2) wird die Prozeßhardware und -software im einzelnen beschrieben.

2. Prozeßbeschreibung

Der Beschreibung liegt das in Abb. 2 dargestellte chemische Fließbild zugrunde. In einem Feedeinstellsystem, bestehend aus 3 Behältern, wird die Uran-HNO₃-Lösung auf den gewünschten Wert eingestellt. Die Konzentrationsmessung erfolgt dabei über eine In-line Analyse. Über eine Dosiereinrichtung werden zur genauen Einstellung der Konzentrationen Standardlösungen (Uran-HNO₃-Lösungen) dem Einstellsystem zugeführt. Dieser Feed (HAF) wird in die Mitte der HA-Mixer-Settler-Batterie oder in die HA-Pulsextraktionskolonne eingespeist. Hier wird das Uran mit 30 % TBP in Dodekan extrahiert, d.h. aus der wässrigen in die organische Phase überführt. Die unbeladene organische Lösung (HAX) wird am entgegengesetzten Ende der Batterie bzw. der Kolonne (unten) eingespeist und läuft im Gegenstrom zur wässrigen Phase. Als wässrige Waschlösung dient eine salpetersaure Lösung (HSR). Die ablaufende wässrige Phase (HAW) enthält nur noch Spuren von Uran und kann verworfen oder teilweise als HSR-Strom in die Batterie zurückgeführt werden.

Die austretende organische, das Uran enthaltende, Lösung (HAP) wird dann der nachgeschalteten 1C-Mixer-Settler-Batterie zugeführt. Dieser strömt eine schwach saure HNO₃-Lösung (1CX) entgegen. Dabei wird das Uran aus der organischen wieder in die wässrige Phase rückextrahiert und verläßt als Produktstrom (1CU) die Batterie.

Der praktisch Uran-freie Extrakt (1CW) wird in einer nachfolgenden Mixer-Settler-Batterie 1S einer Carbonatwäsche mit einer Soda-Lösung (1SS) unterworfen. Der anfallende Waste (1SSW) wird wahlweise verworfen oder der 1S-Batterie wieder zugeführt. Die gewaschene organische Lösung (HSP) wird gesammelt und in die HA-Extraktoren neu eingespeist.

Zur Aufrechterhaltung des Uran-Kreislaufes wird die wässrige 1CU-Lösung in einem Verdampfer aufkonzentriert. Vor Eintritt in den Verdampfer wird die wässrige Phase zur Entfernung des TBP einer Raffinatwäsche³⁾ zugeführt. Der Strom wird dabei über Säulen geleitet, die mit LEWAPOL^R, einer Polystyrol-Divenylbenzol-Matrix, gefüllt sind. Das TBP aus der wässrigen Phase wird hier adsorptiv an die Matrix gebunden. Die Regenerierung des Festbettes wird mit einem organischen Lösungsmittel (Dodekan oder Methanol) durchgeführt.

Die den Sumpf des Verdampfers verlassende aufkonzentrierte Uran-Lösung (1UC) wird über das HAF-Einstellsystem dem Prozeß wieder zugeführt. Die über den Verdampferkopf ablaufende, nur schwach salpetersaure Lösung (1UD) wird in dem 1CX-Behältersystem aufgefangen und als 1CX in die 1C-Batterie eingespeist.

Der andere Teil des Wastestromes HAW (ein Teil geht als HSR in die HA-Batterie zurück) wird zur Erhaltung eines optimalen Kreislaufprozesses im 1CU-Mischfaß mit der 1CU-Lösung gesammelt, und als (1CU) im Verdampfer aufkonzentriert.

3. Apparative Ausrüstung

TAMARA simuliert in einem geschlossenen Kreislauf einen Uran-Extraktionszyklus (Abb. 3).

Die eingesetzten Mixer-Settler-Batterien HA und 1C entsprechen in ihren Abmessungen denen der WAK. Sie bestehen aus je 15 Misch- und Absetzkammern. Jede Mischkammer enthält einen Turborührer. Die Drehzahl aller Rührer läßt sich über einen Frequenzregler variieren.

Alternativ zur HA-Mixer-Settler-Batterie kann die Extraktion auch in einer HA-Pulsextraktionskolonne erfolgen. Die Pulskolonnen sind aus einzelnen Glasschüssen zusammengesetzt (HETS 0,7 m). Die Kolonne ist organisch geflutet (Interface im unteren Dekanter). An den Stützen zwischen den Glasschüssen können Proben gezogen werden (Abb. 4).

Die Solventwäsche (Carbonatwäsche) wird in einem einstufigen Mixer-Settler kontinuierlich durchgeführt.

Um das im Raffinat gelöste TBP zu entfernen, ist zwischen Rückextraktionsbatterie und Verdampfer eine Raffinatwäsche eingesetzt. Diese besteht aus 2 Glassäulen, die mit LEWAPOL^R gefüllt sind, wobei abwechselnd in einer Einheit gewaschen, in der anderen gestrippt und regeneriert wird.

Zur Schließung des U-Kreislaufes dient ein Verdampfer vom Typ ROBERT. Dieser konzentriert die Uran-Lösung des 1CU-Stromes kontinuierlich auf. Der Verdampfer arbeitet unter Normaldruck. Die Temperatur des Verdampfers läßt sich über eine Heizdampfregelung variieren. Aus Sicherheitsgründen beträgt die obere Temperaturgrenze 130°C. Der maximale Durchsatz beträgt etwa 150 l/h bei einem Aufkonzentrierungsverhältnis von 1 : 4 bezogen auf Uran.

Die auf annähernd Feedkonzentration aufkonzentrierte Uranlösung wird in dem aus 3 Behältern bestehenden HAF-Einstellsystem gesammelt. Diese 3 Behälter werden taktweise gefahren, wobei jeweils am oberen Niveau des jeweiligen Behälters umgeschaltet wird (genaue Beschreibung siehe Teil 4.1).

An allen Behältern und Mixer-Settler-Batterien sind Handprobenahmestationen installiert. Außerdem sind alle Behälter sowohl an das Rührluft- als auch an das Entlüftungssystem angeschlossen.

4. Instrumentierung

4.1 Konventionelle Instrumentierung

Die Instrumentierungs- und Regeleinrichtungen setzen sich wie folgt zusammen (vgl. Abb. 3 und Tab. 1).

Durchflußregelstrecken:

Alle Prozeßströme in der Anlage sind automatisch geregelt. Dabei sind Regler mit PI-Verhalten eingesetzt, die mit ihrer Stellgröße auf ein Durchflußstellglied wirken. Zur Bestimmung der Durchflußmengen werden für wässrige Ströme induktive Durchflußmesser und für organische Ströme Rotameter eingesetzt. Diese sind dabei mit einer magnetischen Meßwertübertragung ausgerüstet.

Temperaturfühler:

In einzelnen Mixer-Settler-Stufen wird kontinuierlich die Medientemperatur mit Widerstandsthermometern gemessen. Zusätzlich wird auch die Temperatur der Feedlösung nach Verlassen des Einstellsystems laufend registriert.

Phasengrenzfläche:

Die Phasengrenzfläche in den Mixer-Settler-Batterien wird mittels Elektroden gemessen. Dieses Meßsystem besteht aus 3 Elektroden, wobei 2 davon das obere und untere zulässige Phasenniveau anzeigen, während die 3. Elektrode als Bezugselektrode eingesetzt ist. Über Auslauftöpfe wird die Phasengrenzfläche per Hand geregelt.

Pumpensicherheitssysteme:

In den Hauptströmen sind Spaltrohrmotorpumpen eingesetzt, die durch ein Sicherheitssystem vor Trockenlaufen (Schwimmerschalter) und Überhitzung (Widerstandsthermometer) abgesichert sind. Dabei wird die Pumpe bei Überschreiten der Temperaturschwelle bzw. Unterschreiten der Niveauschwelle automatisch abgeschaltet.

HAF-Einstellsystem:

Das Behältersystem wird über eine interne automatische Magnetventilsteuerung taktweise gefahren, wobei die jeweilige Stellung der Magnetventile optisch angezeigt und vom Rechner registriert wird (Abb.5). Für die Einstellung gibt es 3 Zustände:

- a) Zulauf
- b) Messen und Einstellen
- c) Ablauf

Die Magnetventile werden über die oberen Niveauschalter (Schwimmerschalter) in den Behältern gesteuert. Der Zyklus ist alternierend.

Frequenzwandler für die Rührmotore:

Die Drehzahl der Turborührer in den Mixer-Settler-Batterien wird über die Frequenz des Frequenzwandlers laufend gemessen und kann über diese verändert werden.

Niveauüberwachung in den Behältern:

In sämtlichen Vorrats- und Zwischenbehältern wird das obere und untere Niveau durch Schwimmerschalter überwacht und optisch angezeigt.

Verdampferregelung:

Die Aufkonzentrierung der 1CU-Lösung im Verdampfer geschieht über eine Kaskadenregelung⁴⁾ (Abb. 6). 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.

Pulsationseinrichtung an der HA-Kolonne:

Die Pulsatoreinheit der HA-Kolonne besteht aus einem Doppelventilsystem mit einem Ein- und Auslaßventil für die Pulsluft. Gesteuert werden diese Ventile mit Druckluft. Über einen elektrischen Impulsgeber, der mit einem 3-Weg Magnetventil gekoppelt ist, kann die Impulszeit (Amplitude) und der Impulsabstand (Frequenz) eingestellt werden (Abb. 7).

Trennschichtregelung:

Die Messung der Trennschicht geschieht über die Einperlmethode (Abb. 7). Der wässrige Auslauf wird über einen Drucktopf geleitet, in dem durch einen von oben aufgegebenen geregelten Luftstrom der Ablauf gedrosselt bzw. vergrößert werden kann.

Hold-up Messung:

Der Hold-up (Dispersionsanteil) wird gleichfalls über die Einperlmethode gemessen, wobei die Gewichtsschwankungen der Flüssigkeitssäule kontinuierlich registriert werden.

4.2 In-line-Instrumentierung

Ziel ist es, durch automatische, an den Prozeßstrom angeschlossene Analysengeräte eine lückenlose Überwachung eines Prozesses zu ermöglichen⁵⁾. Daher sind in den wichtigsten Prozeßströmen In-line Geräte eingebaut, die sowohl Ergebnisse kontinuierlich als auch in Intervallen an den Rechner zur Kontrolle abgeben. In Tab. 2 sind diese Geräte aufgeführt. Sie sind unterteilt in Geräte, die im by-pass betrieben werden und solche, die direkt im Prozeßstrom eingesetzt sind. Die Durchflußmenge der In-line Instrumente im by-pass beträgt ca. 5 - 20 l/h. Außerdem sind die By-pass-Ströme mit Flußwächtern ausgerüstet, die bei Unterschreiten eines Minimalflusses ein Signal an den Rechner abgeben.

γ -Absorptiometrie:

Die γ -Absorptiometrie beruht auf der Schwächung von γ -Strahlung beim Durchgang durch eine Uran-enthaltende Lösung⁶⁾. 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. Meß- und Eichküvette sind nebeneinander auf einem verschiebbaren Schlitten angeordnet. Die gewünschte Positionierung der Küvetten kann durch einen Knopfdruck per Hand oder über den Rechner vorgenommen werden (Abb. 8).

Nicht dispersive Röntgenfluoreszenzanalyse (RFA)

Die nicht dispersive RFA wird als Schwellenmonitor überall dort eingesetzt, wo es sich um die Überwachung niedriger

Uran- bzw. Plutonium-Konzentrationen handelt⁷⁾. Kennzeichen der nicht dispersiven RFA ist die Anregung der charakteristischen Röntgenfluoreszenz-Strahlung durch Radionuklide und die Energieselektierung durch Impulshöhenanalyse. In Verbindung mit Cd-Zwischentargets (Cd - K_{α} 23,3 KeV) wird eine Am-241 Ringquelle (24 mC) eingesetzt. Die Durchflußküvette ist aus Edelstahl mit Fenstern aus Mylar gefertigt. Als Detektor wird ein Xenon gefülltes Proportionalzählrohr mit einem Auflösungsvermögen von ca. 15 % für 13,6 KeV-Strahlung verwendet. Zur Messung der Uran- L_{α} -Intensität dient ein Einkanal-Impulshöhenanalysator. Der optimale Einsatz des Monitors liegt zwischen 0,1 und 50 g U/l, bei einer Genauigkeit von 1 % (Abb. 9).

Dichte- und Leitfähigkeitsmessung:

Die kombinierte Messung von Dichte- und Leitfähigkeit einer wässrigen Prozeßlösung erlaubt bei geringen Fremdionenkonzentrationen die simultane Bestimmung des Säure- und Uran-gehaltes. Dabei wird die Dichte im Durchfluß nach der Biegeschwingermethode bestimmt. Die Leitfähigkeit wird zur Vermeidung von Polarisierungseffekten elektrodenlos gemessen. Die Meßdaten können graphisch oder mit Hilfe des Prozeßrechners ausgewertet werden⁸⁾ (Abb. 10).

Doppelte Dichtemeßeinrichtung:

Zur Bestimmung des Urans in der organischen Phase (HNO_3 -Konzentration praktisch konstant) wird die Dichtemessung herangezogen. Um TBP-Schwankungen des TBP-Gehaltes zu kompensieren, wird zusätzlich eine zweite Dichtemessung im Uran-freien Strom eingesetzt. Die Dichtedifferenz ist somit ein Maß für die Urankonzentration. Die Genauigkeit liegt im ungünstigsten Fall (4 % TBP-Schwankung) bei 3 % (Abb. 11).

pH-Messung:

Für die Überwachung von Prozeßlösungen mit geringer Säurekonzentration (HNO_3 -Konz. $< 0,1 \text{ m}$) wird die pH-Messung mittels Glaselektroden angewandt. Hier wird eine käufliche Durchflußmeßzelle verwendet, die ein schnelles Auswechseln der Elektroden gestattet und die mit einer automatischen Temperaturkompensation ausgerüstet ist. Spuren von Uran und anderen Fremdionen stören die Säurebestimmung nicht.

Polarographie und Colorimetrie:

Für die Bestimmung sehr kleiner Mengen Uran im HAW bietet sich die Polarographie⁹⁾ an (Abb. 12). Zur Bestimmung der Säurekonzentration kann die Colorimetrie eingesetzt werden.

5. Prozeßelektronik

Die Prozeßelektronik umfaßt alle elektronischen Schaltungen, die die Meßwert- und Alarmgeber, Regel- und Steuereinrichtungen mit den Anzeige-, Registrier- und Bedienungsgeräten bzw. dem Rechnerinterface verbinden. Durch 3 frei wählbare Betriebsarten "Hand", "Teilautomatik" und "Rechnerbetrieb" kann TAMARA sehr flexibel an die unterschiedlichen Versuchsbedingungen angepaßt werden. Die Meßsignale werden in allen Betriebsarten über Anzeige- und Registriergeräte dem Operateur bzw. über das Rechnerinterface dem Prozeßrechner bereitgestellt. Zusätzlich werden die Statussignale und Störmeldungen der einzelnen Anlagenkomponenten auf einer Fließbildtafel in der Prozeßwarte angezeigt (Abb. 15 zeigt ein Blick auf die Prozeßwarte).

Die vorwählbaren Betriebsarten unterscheiden sich wie folgt:

Betriebsart "Hand": Sämtliche Aggregate lassen sich einzeln und unabhängig bedienen. Diese Betriebsart dient überwiegend dem Test einzelner Anlagenkomponenten.

Betriebsart "Teilautomatik": Die Überwachungseinrichtungen sind betriebsbereit und teilweise entsprechend dem Prozeßfließschema logisch verknüpft bzw. gegeneinander verriegelt. Die analogen Regelsysteme arbeiten autonom, und über Handeinsteller lassen sich prozeßspezifische Sollwerte eingeben. Die Ventilfolgesteuerung übernimmt ein sequentiell arbeitendes Schaltwerk.

Betriebsart "Rechnerbetrieb": Zusätzlich zur Betriebsart "Teilautomatik" übernimmt der Prozeßrechner alle Steuereingriffe und die Sollwertführung der Regelsysteme. Operateureingriffe sind erst nach Umschaltung auf Betriebsart "Teilautomatik" möglich.

Die Prozeßelektronik wird detailliert im Teil 2 dieser Berichtsfolge beschrieben¹⁾. Ihre Hauptteile sind die Prozeßschnittstelle, das Meßsystem, das Prozeßregelssystem und die Rangierweiche. Die Hauptmerkmale dieser elektronischen Koppelglieder werden hier nur kurz vorgestellt:

Prozeßschnittstelle:

Die Prozeßschnittstelle dient zum Informationsaustausch zwischen Feldgeräten und Prozeßrechnerinterface und trennt wegen der Störsicherheit grundsätzlich die Anlagen-Signalwege galvanisch vom Rechnerinterface (Abb. 13). Da die Statussignale für den Betriebs- und Anlagenzustand meist durch mechanische Schalter ausgelöst werden, sind diese zusätzlich entprellt. Zur Unterdrückung von Störimpulsen hoher Flankensteilheit sind den Statuseingängen des Rechnerinterface Filter vorgeschaltet. Die Meßsignale der Meßgeräte und Regler werden in Form von eingepprägten Strömen von 0 - 20 mA übertragen. Bei den Analogwerten verhindern Gleichstromtrenner M 420 T 1710 der Firma Siemens die Rückwirkung der Verstärkerausgänge auf die Multiplexereingänge des im Rechnerinterface integrierten Dornier-Analog-/Digitalwandlers. Bei den vom Rechner ausgegebenen Steuersignalen ist eine Signalpegelanpassung vom TTL-Pegel des Rechnerinterface (5V) auf den HLL-Pegel der Kontaktansteuerungen (15V) notwendig.

Meßsystem:

Die Meßgeräte und ihre Signale sind bereits im Abschnitt 4.1 und 4.2 und in der Tabelle 2 hinreichend beschrieben.

Prozeßregelsystem:

Bei TAMARA sind die stetig wirkenden, analogen und elektrisch wirkenden Regelsysteme KE M880 der Firma Siemens eingesetzt. Durch entsprechende Verstärkereinsätze mit Rückführungen wird ein PI- bzw. PID-Verhalten realisiert. Mit Hilfe der TELEPERM-Leitgeräte derselben Lieferfirma ist eine Sollwertführung durch den Prozeßrechner möglich. Die Signalparameter der Reglereingänge sind eingeprägte Ströme von 0 - 20 mA. Die Leitgeräte werden vom Rechner im Multiplexverfahren durch Ansteuersignale mit eingepägten Strömen von ± 5 mA angesprochen. Die anstehenden Änderungswerte $\pm \Delta y$ werden impulsmäßig vom Speicher des Leitgeräts übernommen und zu dem alten Stellwert addiert. Durch einen Ausgleichsverstärker kann der Regler für rasche Noteingriffe des Operateurs vom "Rechner"- auf "Hand"-Betrieb umgeschaltet werden.

Rangierweiche:

Vor das Rechnerinterface ist ein Rangierverteiler für alle Analog-, Status- und Steuersignale vorgeschaltet. Durch diesen läßt sich die Kopplung Prozeß - Rechner entsprechend den speziellen Versuchsgegebenheiten oder bei Ausfall von Interface-Teilen rasch und leicht ändern.

6. Prozeßrechnersystem CALAS

Für die rechnergeführte Prozeßüberwachung wurde die Versuchsanlage TAMARA an das bestehende zentrale Prozeßrechnersystem CALAS des Kernforschungszentrums Karlsruhe ange-koppelt. CALAS (Computer Aided Laboratory Automation System) ist ein Vielfachzugriffssystem für die Echtzeitdatenerfassung und -verarbeitung zur Automatisierung physikalischer, chemischer und technischer Prozesse oder Experimente. Dem Anwender bietet es eine sehr universelle, flexible Schnittstelle für den Anschluß und eine komfortable Kommunikationsmöglichkeit für die Ein- und Ausgabe von Prozeßinformation und -parametern¹⁰⁾.

6.1 Rechnerkonfiguration

Das Herzstück von CALAS bildet ein Telefunken-Prozeßrechner TR 86 mit einem Kernspeicherausbau von 64 K Worten. Als Standard-Ein-/Ausgabegerät besitzt der Rechner 1 Fernschreiber, 2 Trommelspeicher (je 2 Millionen Byte Speicherkapazität), 2 Magnetbandeinheiten, 1 Schnelldrucker, 1 Lochkartenleser, 1 Lochstreifenleser und 1 -stanzer. Für die Labor- und Prozeßautomatisierung wurden spezielle Kanalwerke entwickelt, die über eine Entfernung von max. 2 km die Ankopplung von Sichtgeräten, Eingabetastaturen und Experimenten ermöglicht (Abb. 14).

Als Sichtgeräte werden X-Y-Oszillographen bzw. -Speicheroszillographen (HP 1300A, Tektronix 602, 611 oder 601) eingesetzt. Die Bildwiederholung erfolgt über autonomen Direktzugriff auf den Kernspeicher der TR 86. Für die komfortable Bildmanipulation verfügen die Sichtgeräte über eine eigene Hardware-Steuerung.

Für die Eingabe stehen elektronische Tastaturen mit normalem alphanumerischen Tastensatz bereit. Durch zusätzliche 16 Funktionstasten können Sondersteuerbefehle direkt zum Rechner abgesetzt werden.

Der eigentliche Prozeßanschluß geschieht über ein eigenentwickeltes Prozeßkanalwerk, die Standard-Elektronik (Abb. 14) mit 28 Experimentanschlüssen. Diese kann autonom auf den Kernspeicher des Rechners zugreifen und erlaubt Übertragungsgeschwindigkeiten von 12 K Byte bei bitserieller bzw. 15/50 k Worten /s bei Byte-paralleler Übertragung^{10,11}).

TAMARA wurde an einen von 16 Anschlüssen für bitserielle Übertragung von Kurzzeitbenutzern angeschlossen. Als Besonderheit wurden für die Prozeßüberwachung für die Datenausgabe am Prozeß 2 Sichtgeräte zur Verfügung gestellt, wobei entsprechend Abb. 19 das obere Sichtgerät für die Ausgabe von Anweisungen an den Operateur und Fehlern an der Anlage, der Standard-Elektronik oder den Ein-/Ausgabegeräten dient und das untere für die Ausgabe von Meßergebnissen, Parametertabellen und Bibliotheksprogrammen.

6.2 Prozeßinterface

Zur Kopplung des Prozesses TAMARA an die Ferndatenübertragungstrecke des Rechnersystems CALAS dient die Prozeßelektronik und das Prozeßinterface. Die Prozeßelektronik übernimmt die Umwandlung der verschiedenen Prozeßsignale in genormte Ein- bzw. Ausgabesignale für den Rechner bzw. den Prozeß und die galvanische Trennung zwischen Prozeß und Prozeßinterface. Einzelheiten sind Abschnitt 5 zu entnehmen.

Das Prozeßinterface paßt die Prozeßsignale an die interne Daten- und Signaldarstellung des Prozeßrechners an und koordiniert den Datenaustausch zwischen Prozeß und Rechner. Es ist in die Standard-Experiment-Elektronik und die spezielle Koppелеlektronik TAMARA unterteilt (Abb. 14). Dabei umfaßt die Standard-Experiment-Elektronik alle notwendigen Grundeinrichtungen, um mit der Standard-Elektronik des Systems CALAS zu korrespondieren und um eine flexible Schnittstelle zur Ankopplung prozeßspezifischer Datenquellen und -empfänger bereit zu stellen. Die Schnittstelle wird durch 24 Busleitungen, für Ein- und Ausgabe getrennt, und mehreren Stichleitungen für die kontrollierte Abfrage und Anwahl von Befehlsempfängern und Datenquellen gebildet (Einzelheiten siehe KFK-2042 ¹⁾).

In der Koppелеlektronik TAMARA sind alle elektronischen Schaltungen vereint, die die Übergabe bzw. Übernahme von Signalen zwischen Prozeß und Rechner über die Schnittstelle der Standard-Experiment-Elektronik durchführen. Über die Koppелеlektronik können 48 Relais und 16 Leitgeräte angesteuert und 256 Statusmeldungen, 64 Analog-Meßwertgeber und 8 Digitalmeßwertgeber mit je 16 Bit Information angeschlossen werden. 96 von 256 Statusmeldungen können zu Alarmregistern weitergeleitet werden, die eine Programmunterbrechung auslösen können. Die Statusmeldungen, Analog- und Digitalmeßwerte werden durch eine Eingabesteuereinheit zu einem Datenblock von 87 Datenwerten zusammengefaßt, der als Ganzes zum Rechner übertragen wird. Die Einzelheiten über die verschiedenen Bausteine sind in KFK-2042 ¹⁾ beschrieben.

6.3 Betriebssystem CALAS 69/4

Das Betriebssystem CALAS 69/4 koordiniert den Vielfachzugriff von max. 16 verschiedenen Experimenten oder Prozessen

zu der Hardware des Rechnersystems CALAS. Seine wesentlichen Merkmale sind der interaktive Dialog mit dem Benutzer über Sichtgerät und Tastatur, die flexiblen Reaktionszeiten entsprechend den Prozeßanforderungen und der Ebenenaufbau. Die Grundlage bilden die beiden Trommelspeicher, von dem der eine die System- und Anwenderprogramme und der andere nur die Benutzerdaten aufnimmt. Das System ist abgeschlossen, d.h. erlaubt während des Betriebs kein Einfügen neuer Programme, und verlangt die Programmierung im TAS86-Assembler¹⁰⁾.

Da im Normalfall bei TAMARA nur alle 0,5 bis 5 min die Meßstellen abgeprüft werden müssen, ist das Programmsystem TAMARA/C für die Prozeßüberwachung als zeitkritischer Kurzzeitbenutzer in das System CALAS eingestuft. Zur Zeit sind neben TAMARA an das Prozeßrechnersystem 8 weitere Experimente unterschiedlicher Art angeschlossen.

7. Programmsystem TAMARA/C für die Prozeßüberwachung

Das Programmpaket TAMARA/C ist die spezielle Software-ausrüstung des CALAS-Rechnersystems für die Prozeßüberwachung von TAMARA. Es hat die Aufgabe, die Daten der einzelnen Meßwertgeber zu erfassen, die Rohwerte auf dem Trommelspeicher abzulegen, Alarmmeldungen zu verarbeiten, die Prozeßdaten schritthaltend auszuwerten, die Anlage bei Gefahrensituation selbsttätig abzuschalten und die Prozeßdaten für die spätere Störfallanalyse und Modellbildung auf Magnetband zu archivieren.

Das Programmsystem besteht aus 4 zeitkritischen Echtzeitprogrammen und 13 Auswerte-, Eingabe- und Hilfsprogrammen. Der Aufbau und die Einzelfunktionen der Programme werden detailliert in ²⁾ beschrieben. Die Struktur des Gesamtsystems TAMARA/C ist in Abb. 16 schematisch dargestellt.

Die Alarmmeldungen, Prozeßdaten und die über Funktions-tasten eingegebenen Operateurkommandos werden über das Betriebssystem an das Rahmenprogramm von TAMARA/C übergeben. Dieses analysiert die vom Betriebssystem übernommene Information und koordiniert die Weitergabe an die speziellen Programmmodulen für die Steuerung der verschiedenen Prozeßphasen. Außerdem sorgt das Rahmenprogramm für die zentrale Initialisierung des Programmpakets bei Neu-, Re- und Fortstart (Anfahren des Prozesses, Fortsetzung der Prozeßüberwachung bei laufendem Prozeß bzw. automatische Wiederaufnahme der Prozeßüberwachung bei Rechnerausfall) und die gemeinsame Abhandlung von Fehlerzuständen.

Für die Vorbereitung der Anlage zum Anfahren, für die stationäre Prozeßüberwachung bei hochgefahrener Anlage und für den Test der Prozeßhardware existieren 3 unabhängige Programmmoduln, kurz Phasenprogramme genannt. Die Entwicklung von An- und Abfahrprogrammen wurde eingestellt, da Schwierigkeiten bei der Ansteuerung der Leitgeräte für die Durchfluß-

reglerstrecken auftraten. Auf die einzelnen Funktionen soll im vorliegenden 1. Teil nicht näher eingegangen werden. Bei Auftreten von Alarmen wird der Operateur über Programm durch Anwerfen einer Rundumleuchte und teilweise durch zusätzliches Ansteuern einer Hupe auf die Gefahrensituation hingewiesen. Über den Kontrollschirm erhält er Information über die Störungsursache. Quittiert der Operateur nicht rechtzeitig die Warnsignale (Normalfall Zeitspanne für Rundumleuchte 4 min und Hupe 1 min), so schaltet das Phasenprogramm die Anlage ab. Die Kommunikation mit dem Rahmenprogramm und den Phasenprogrammen bzw. deren Beeinflussung ist über die Funktionstasten möglich.

Nach Abspeichern der Rohdaten auf Plattenspeicher initialisieren die Phasenprogramme für die schritthaltende Datenauswertung entsprechende Auswerteprogramme (Programm AUSWER bzw. AUSPRO für die Auswertung der Prozeß- bzw. Hardwaretestdaten mit anschließender Darstellung auf Sichtgerät). Die Umrechnungen der Prozeßdaten werden mittels der auf der Platte abgespeicherten Eich- und Prozeßkennwerte durchgeführt. Für die Ein- und Ausgabe von Prozeß- und Ablaufparametern, Soll- und Eichwerten über Sichtgerät gibt es 4 Hilfsprogramme. Zusätzlich existieren verschiedene Programme für die Ausgabe aktueller Prozeßinformation und alter Meßergebnisse und für die Erstellung von Stoffbilanzen von Mixer-Settler-Batterien. Bis auf die beiden Auswerteprogramme kann der Operateur diese Hilfsprogramme zu einem beliebigen Zeitpunkt vor, während und nach dem Prozeßlauf von TAMARA über die Tastatur starten. Durch das Zeitscheibenverfahren des Betriebssystem CALAS 69/4 wird gewährleistet, daß die Auswerteprogramme spätestens nach 3 sec Verzögerung initialisiert werden und in Konkurrenz zu den Hilfsprogrammen ablaufen können. Durch die Einführung von Ablaufsteuerparametern ist es möglich, den Ablauf der Prozeßüberwachung entsprechend den Versuchsbedingungen und den angeschlossenen Meßgeräten anzupassen. Dadurch ist das Gesamtsystem für den Experimentierbetrieb recht flexibel.

8. Beschreibung der Versuche und Versuchsergebnisse

8.1 In-line-Instrumentierung und Prozeßüberwachung

In mehreren kürzeren und längeren Prozeßläufen wurden gleichzeitig das Langzeitenverhalten der In-line-Instrumente und die Zuverlässigkeit und Funktionsfähigkeit der rechnergeführten Prozeßüberwachung untersucht.

Bei den In-line-Meßgeräten wurde dazu die Meßwertkonstanz ermittelt. In bestimmten Zeitabständen von 1 - 3 h wurden die Meßwerte der In-line-Geräte mit Laboranalysenwerten der RFA von gezogenen Proben verglichen. Für die meisten In-line-Geräte ergab sich bei den Versuchen innerhalb der angestrebten Genauigkeitsanforderungen von 1 - 5 % ein ausreichendes Langzeitverhalten. Lediglich bei den Leitfähigkeitsmeßstellen waren die Schwankungen der Meßwerte bei den ersten Versuchen sehr beträchtlich. Als Ursache konnte eine ungenügende galvanische Trennung von Meßgerät und Prozeßinterface ermittelt werden. Durch Einbau entsprechender Trennglieder (siehe Abschnitt 5) konnten die Schwankungen eliminiert werden.

Die eingesetzten Meßgeräte zeigten eine hohe Verfügbarkeit. Bis auf einige Ausfälle bei der Elektronik, wie z.B. Diskriminatoren und Hochspannungsgeräte, erwiesen sich alle In-line-Geräte als betriebssicher. Die Drift der Einzelgeräte war sehr geringfügig und erforderte nur bei der γ -Absorptiometrie innerhalb von 14-tägigen Versuchsläufen 2 - 3 Nacheichungen. Die Wartung der Meßgeräte konnte sich im allgemeinen auf die Kontrolle der Eichwerte beschränken.

Abb. 17 zeigt ein Schreiberdiagramm, aus dem die einwandfreie Funktion der Verdampferregelsysteme hervorgeht, - die Urankonzentration wird mit Hilfe der -Absorptiometrie erfaßt -. Bei einem bestimmten Zeitpunkt wurde der Zufluß (1CU) zum Verdampfer für eine bestimmte Zeit unterbrochen, was einen sofortigen Anstieg der Urankonzentration im Verdampferraum zur Folge hat. Das Regelsystem reagiert unmittelbar darauf durch eine Drosselung der Dampfungzufuhr. Nach einer kurzen Einschwingzeit von etwa 10 min ist dann der Gleichgewichtszustand wieder hergestellt, d.h. der Sollwert der Urankonzentration im Verdampferablauf ist wieder erreicht.

Die rechnerseitigen Interfaceteile und die Einzelprogramme werden zunächst unabhängig vom Prozeß durch simulierte Signale und Daten getestet. Durch Zeitraffung konnten die wesentlichen Prozeßsignale und die Standfestigkeit der Elektronikschaltungen erprobt werden. Die Vortests der Programmausrüstung stellten die Erfüllung der Teilaufgaben der Einzelprogramme sicher. Nach Abschluß dieser Arbeiten wurden nacheinander die verschiedenen Meßdaten, Prozeßstatus-, Alarm- und Steuersignale des Prozesses an das Rechnersystem CALAS angekoppelt. Die Verwendung des Rangierverteilers für die Signalkopplung erwies sich hierbei als nützlich. Die Einzelfunktionen des rechnergeführten Prozeßüberwachungssystems wie Meßdatenerfassung, Statusabfrage, Alarmmeldungen und Schalteransteuerungen wurden einwandfrei und zuverlässig durchgeführt. Schwierigkeiten bereitete die Ansteuerung der Leitgeräte. Durch Einstreuung hoher Störspannungspegel aus der Prozeßumgebung (Technikumshalle mit großem Kran und mehreren Thyristorschaltern) war eine zuverlässige und die Leitgeräte nicht gefährdende Ansteuerung nicht möglich. Daher wurde bislang auf die Sollwertführung durch den Rechner und auch auf die Entwicklung von An- und Abfahrprogrammen verzichtet (durch Filterung sollten die Schwierigkeiten zu beheben sein).

Der integrale Test der rechnergeführten Prozeßüberwachung konnte bisher nur teilweise durchgeführt werden. Durch Ausfall von Trennverstärkern, Diskriminatoren oder anderweitigen Einsatz der In-line-Geräte waren zu keinem Zeitpunkt alle In-line-Meßgeräte an den Rechner gekoppelt. Entsprechend dem Druckerprotokoll in Abb. 18 waren während einer kurzen Zeit 2/3 der Meßgeräte gleichzeitig in Betrieb. Die Versuchsergebnisse der rechnergeführten Prozeßüberwachung zeigten jedoch, daß die Einzelprogramme des Programmsystems TAMARA/C zuverlässig und sicher zusammenspielen und die schritthaltende Meßdatenauswertung, Alarmmeldung und die Ansteuerung der Alarmgeber Rundumleuchte und Hupe einwandfrei funktionieren. Die Verriegelung der einzelnen Prozeßphasen und der Operateureingriffe ist ebenfalls befriedigend. Wegen des Fehlens der gleichzeitigen Verfügbarkeit von den Leitfähigkeits- und Dichtegeräten war die Erprobung der Auswertung der kombinierten Dichte-Leitfähigkeit nicht möglich; ebenso steht daher der Test des Optimierungsmoduls für die Dosierung des Feed-Einstellsystems HAF noch aus.

Die Form und der Umfang der Ausgabe der Prozeßinformation entsprach nach den bisherigen Prozeßläufen den Anforderungen der Betriebsmannschaft. Bewährt hat sich dabei einerseits die Aufteilung der Prozeßinformation auf 2 übereinander stehende Bildschirme (Abb. 19) und zum anderen die Unterdrückung der aktuellen Prozeßinformation bei Eingabe von Prozeß- oder Eichwertparametern oder Ausgabe von alten Datenbeständen. Der interaktive und durch Programme geführte Dialog zwischen Operateur und Rechner mittels Sichtgerät und Tastatur erwies sich bei der Prozeßbeeinflussung, der Parametereingabe und der Ausgabe von aktueller und älterer Prozeßinformation als nützlich und komfortabel. Die bisherigen

Probelaufe ergaben zusätzlich, daß die Prozeßdaten als Ganzes lückenlos auf Band archivierbar sind. Während des wechselnden Testbetriebs war die später eingeführte flexible Veränderung des Prozeßablaufs über Ablaufparameter sehr vorteilhaft und hilfreich.

Die Tests der rechnergeführten Prozeßüberwachung sind noch nicht abgeschlossen. Es fehlen die zuverlässige Ansteuerung von Pumpen, Mixermotoren und Einstellsystemen, die Erprobung der schritthaltenden Dichte-/Leitfähigkeitsauswertung, die automatische Abschaltung der Anlage durch den Rechner bei Gefahrensituation und die Demonstration der Gesamtprozeßüberwachung beim Anschluß aller In-line-Meßwert- und Signalgeber.

Das Prozeßrechnersystem CALAS und die Koppелеlektronik fiel während der Prozeßläufe im Mittel ca. einmal innerhalb 3 Tagen aus. Die Ausfälle beruhten teilweise auf dem Mehrfachzugriff verschiedener Benutzer auf das CALAS-System und der Verwendung eigenentwickelter Interface-Komponenten. Die Prozeßüberwachung durch den Rechner konnte jedoch in den meisten Fällen nach weniger als 5 min nach Rechnerausfall wieder aufgenommen werden. Eine merkliche Beeinflussung der Prozeßüberwachung durch die Aktivitäten anderer Experimente war bei den Versuchsläufen nicht feststellbar. In Ergänzung sei erwähnt, daß das Programmsystem und die rechnerseitige Hardware bei Tests ohne angeschlossenen Prozeß noch einwandfrei bis Zykluszeiten von 3 sec arbeitete.

8.2 GWK-Betriebshilfe

In der WAK kam es bei der Aufarbeitung mit hochabgebrannten Kernbrennstoffen zu Verstopfungen in der HA-Mixer-Settler-Batterie¹²⁾. Diese Verstopfungen wurden durch emulsionsartige Niederschläge hervorgerufen.

Zu dieser Niederschlagsbildung kommt es, wenn radiolytische Zersetzungsprodukte des Lösungsmittels mit Spaltprodukten, insbesondere dem Zirkonium, reagieren.

Um Aufschlüsse über das hydrodynamische Verhalten dieser Niederschläge in Mixer-Settler-Batterien zu erhalten, wurden einige Versuchsreihen in der TAMARA durchgeführt.

Vorversuche zum Crudverhalten in Mixer-Settler-Batterien

In kalten Experimenten wurde künstlich Niederschlag erzeugt (Crud), wobei chargenweise lösliches ZrO^{++} und HDBP zugegeben wurde. Die Zirkon- und HDBP-Konzentration entsprachen denen einer heißen Anlage. Die Schlammbildung in der HA-Batterie setzte bereits bei einer HDBP-Konzentration von etwa 200 - 300 mg/l ein. Die Schlammmenge blieb dabei bis zu einer HDBP-Konzentration von ca. 900 mg/l annähernd konstant (Abb. 20). Bei einer HDBP-Konzentration >900 mg/l setzte plötzlich stärkere Schlammbildung ein, die schließlich zur Verstopfung der Batterie führte. Dabei breitete sich der Schlamm von der Feedstufe nach beiden Seiten in Richtung HAP- und HAW-Auslauf sehr schnell aus. Der Schlamm wuchs aus der wässrigen in die organische Phase, staute an den Wehren die wässrige Phase, bis am HAP-Auslauf mit dem Niederschlag auch wässrige Phase austrat. Eine Extraktionswirksamkeit in dieser Phase konnte nicht mehr erzielt werden.

Versuche mit Hilfseinrichtungen in Mixer-Settler-Batterien

Auf Vorschlag der GWK wurden vor den Überlaufwehren der wässrigen Phase nun abgewinkelte Metallröhrchen in die Absetzkammer eingebaut. Durch Lufteinblasen konnte der Niederschlag aufgelockert werden. Die wässrige Phase konnte wieder in die benachbarte Mischkammer abfließen und führte den aufgelockerten Niederschlag teilweise mit.

Außerdem wurden die Saugstutzen der Rührer verlängert. Dadurch konnte ein vollständiger Abtransport von Bodenablagerungen (Teilchen größerer Dichte) erreicht werden. Versuche mit diesen Hilfseinrichtungen ohne Niederschlagsbildung zeigten auch, daß eine Verschlechterung des Extraktionsverhaltens nicht eintrat.

Test der neuen WAK-Batterie

Auf Grund der Versuchsergebnisse erwog die GWK, einen neuen HA-Mixer-Settler in ihre Anlage einzusetzen. Diese Batterie, die mit Luftröhrchen an den Wehren, verlängerten Rührern und vergrößerten Wehren ausgestattet war, wurde in TAMARA eingebaut und in kalten Experimenten mit und ohne Niederschlagsbildung getestet. Die Ergebnisse waren zufriedenstellend und bestätigten die Ergebnisse vorausgegangener Versuchsreihen.

9. Ausblick

Die bisher durchgeführten Versuche haben gezeigt, daß eine Modellanlage wie die TAMARA durchaus geeignet ist, an ihr die rechnergeführte Prozeßüberwachung des Wiederaufarbeitungsprozesses zu entwickeln und zu demonstrieren. Die in der vorliegenden Arbeit beschriebenen Ergebnisse haben wertvolle Hinweise dafür gegeben, wie die Prozeßüberwachung weiterentwickelt werden muß. Hierzu gehört neben einer Verbesserung der Interfaceelektronik bezüglich Störsicherheit und Zuverlässigkeit und dem vollständigen Einsatz der In-line-Instrumente die Erweiterung der Software, um eine einfachere, umfassende und sichere Bedienung der Anlage durch den Operateur zu gewährleisten.

Trotz der relativ geringen Ausfälle des Prozeßrechnersystems CALAS ist hier eine höhere Ausfallsicherheit anzustreben. Daher wird die TAMARA ab 1976 mit dem im IHCH vorhandenen Prozeßrechner V73 betrieben werden, der auch eine flexiblere Softwareänderung gestatten wird.

Die im IDT entwickelte Prozeßsignalanalyse¹³⁾, die neben anderen Vorteilen eine Vorhersage des wahrscheinlichen Prozeßverlaufs gestatten soll, bedarf einer experimentellen Bestätigung; diese soll an der TAMARA verifiziert werden.

Darüberhinaus können bei zukünftigen TAMARA-Prozessen die Modelle über die Konzentrationsverteilungen für Extraktionsapparaturen überprüft werden.

Den Mitarbeitern Frl. Väth und den Herren Mellin, Zilly, Lugert, Nees und Willy, Hellriegel und Morlock danken wir für Ihre Mitarbeit bei der Durchführung zahlreicher Versuchsreihen, Dr. Ertel und seinen Mitarbeitern für die Analysen und Frau Barthel und den Herren Landmark, Krug und Seng für den Aufbau des Prozeßüberwachungssystems TAMARA.

10. Literaturverzeichnis

- 1) H. Barthel, G. Gütle, H.R. Mache, S. Radek
TAMARA - Eine Uranextraktionsanlage zur Demonstration
der rechnergeführten Prozeßüberwachung bei der Wieder-
aufarbeitung
Teil 2: Hardware, Interface und Rechnerschnittstelle für
die Prozeßüberwachung mit CALAS
KFK 2042 in Vorbereitung
- 2) K. Bier, J. Jasco, K. Landmark, H.R. Mache
TAMARA - Eine Uranextraktionsanlage zur Demonstration
der rechnergeführten Prozeßüberwachung bei der Wieder-
aufarbeitung
Teil 3: Software für die Datenerfassung und Prozeßüber-
wachung mit CALAS
KFK 2043 in Vorbereitung
- 3) R. Kroebel, A. Meyer
Vorabdruck der Proceedings International Solvent
Extraction Conference
S. 2095, Lyon 1974
- 4) K. Bier, S. Radek, G. Baumgärtel
Regelung eines Verdampfers zur kontinuierlichen Auf-
konzentrierung von U-, Th- und Pu-Lösungen
KFK 1716, Dezember 1972
- 5) G. Baumgärtel, L. Finsterwalder
In-line Instrumentierung bei der Wiederaufarbeitung
von bestrahlten Kernbrennstoffen
Kerntechnik 12 (1970) 8
- 6) G. Baumgärtel, K. Bier
Kontinuierliche Konzentrationsmessung schwerer Elemente
mit Hilfe der γ -Absorptiometrie
CZ-Chemie-Technik, 1 (1972) 9, 435/437

- 7) D. Ertel, E. Kuhn
Uran/Plutonium/Thorium-Monitor für Messungen im Durchfluß
Kerntechnik 13 (1971) 220
- 8) G. Baumgärtel, H.R. Mache, K. Rietzschel
Zur maschinellen Auswertung von In-line-Meßgrößen bei
der Wiederaufarbeitung bestrahlter Kernbrennstoffe
KFK 1367, April 1971
- 9) G. Baumgärtel, D. Thiele, S. Radek
In-line Polarographie zur Uranbestimmung in Prozeßabfall-
Lösungen
KFK 1144, Juli 1970
- 10) P. Kursawe, K. Rietzschel, H. Veith
CALAS 69/4
Ein Realzeitbetriebssystem mit interaktiver Datenmani-
pulation zur Laborautomatisierung und Prozeßsteuerung
KFK 1749
- 11) H. Barthel
Standardelektronik des CALAS-Systems
KFK-Bericht in Vorbereitung
- 12) K.L. Huppert, W. Issel, W. Knoch
Performance of Extraction equipment in the WAK-Pilot Plant
Vorabdruck der Proceedings International Solvent Extraction
Conference
Lyon 1974, S. 2063
- 13) G. Petrich
Modellbildung und Prozeßsignalanalyse
KFK-Nachrichten 6 (1974) 4,9

Tabelle 1

Geräteliste

Prozeßregelsystem KE M 880 (Fa. Siemens) und Leitgerät M74696-A3.
Regler für Flüsse und Höhenstand mit PI-Verhalten. Rechner-
führung im SPC-Betrieb (SPC = Set-Point-Control)

Flußregelung

Induktive Durchflußmessung, Meßbereich 10 bis 100 l/h
Leitfähigkeit der Medien 200 bis 500 ms/cm⁻¹
(Mindestleitfähigkeit 30 μ S cm⁻¹)
Typ 10D1418A und Umformer D50EE131
mit einem Ausgangssignal von 0 - 20 mA (eingepägter Strom)
Fa. Fischer & Porter

Schwebekörperdurchflußmesser

Typ 10A1431E mit induktivem Abgriff und 0-20 mA Ausgangssignal

Stellglied

Mikrodurchgangsventil mit pneumatischem Antrieb
KV-Werte zwischen 0,04 und 0,25
0,2 - 1 bar Stelldruck
Gehäuse und Sitz aus Werkstoff Nr. 14571
Kegel Werkstoff Nr. 14401

Höhenstandsregelung, Regler wie in Prozeßregelsystem KE

Druckmeßsystem mit waagrechtem Kapselfeder-Meßwerk
und Drehwinkelgeber, Meßbereich 0 - 1000 mm WS
Ausgang 0 - 20 mA

Prozeßelektronik

Datenfernübertragung der Analogsignale
Ausgangssignale (zum Rechnerinterface):
Eingeprägter Strom 0 - 20 mA, maximale Bürde
600 Ω , Typ M 4200 - R 110 Siemens

Datenfernübertragung der Digitalsignale
Leitungstreiber, Bauart GfK

Prozeßschnittstelle
Betriebsartenvorwahl, Aufbereitung der Status- und
Steuersignale zwischen Feldgeräten und Rechnerinter-
face, Bauart GfK

Fließbilddarstellung
Prozeßfließbild mit Laufkontrollen und Störmeldungen,
Bauart GfK

Einstellsystem
Sequentielles Schaltwerk zur zyklischen Steuerung der
Einstellbehälter, Bauart GfK (s. Abb. 5)

Stellglied wie Mikrodurchgangsventil mit pneumatischem Antrieb

Drehzahleinstellung der Rührmotoren (Mixer-Settler)
Frequenzumformer
Typ 312-1 Fa. Refu
Rührmotoren
Typ DR 62x60-4 Fa. Dunker

Pumpen (Spaltpumpen) Fa. Hermetic
Typ APx963N-2 WR1

Pumpenüberwachung (Pumpenschutz)
Niveau- und Temperaturüberwachung
Typen NS und NTS Fa. Hermetic

Feuchtefühler mit Meldung (in den Auffangwannen)
Schaltet bei einer Mindestleitfähigkeit von $5 \mu\text{S cm}^{-1}$
(Bauart GfK)

Temperaturmessung (30 - 100 °C) mit Widerstandsthermometern
Pt 100 mit Meßumformer, Ausgangssignal 0 - 20 mA

Verdampferkühlkreislaufüberwachung
Erfassung der Druckdifferenz zwischen Kühlwassereinlauf
und Kühlwasserauslauf
Druckwächter: F5 013 Fa. Fanal

Verdampferregelsystem
Regelkreise siehe KFK-Bericht 1716 ⁴⁾

Tabelle 2

In-line-Instrumentierung:

γ -Absorptiometrie

γ -Absorptiometriemeßplatz, Bauart GfK

NaJ(TL) Szintillationszähler Harshaw

Type: 8S HD SM / E-Q

P.M. Tube EMI 9656

NIM-Hochspannungsgerät 25 KV Typ N-HS-250 Wenzel

Linearverstärker Diskriminator NLD 209 Wenzel

Ratemeter NR 107 Wenzel

Nicht dispersive Röntgenfluoreszenzanalyse (nd. RFA)

Meßplatz, Bauart GfK

Mössbauer-Zählrohr PX-130 QQ / XE

Ladungsempfindlicher Vorverstärker ERA 7.1

Hochspannungsgerät LB 2210 Berthold

Einkanaldiskriminator LB 2251 Berthold

Ratemeter LB 2232 Berthold

Dichtemeßeinrichtung

a) Dichtemeßeinrichtung AGAR FD 700

Meßkopf FD 782 BB 2T

b) Dichtemeßeinrichtung VIRUS mit

externem Schwingsystem DMA 21 CE

Leitfähigkeitsmeßeinrichtung

induktive Leitfähigkeitsmeßeinrichtung Siemens M 864

pH-Meßzelle

pH-Durchflußgeber Type 563 P Polymetron AG

Meßverstärker Type 34

Legende zum R u. I - Schema (Abb. 3)

FIRCA ⁺	Durchflußregelstrecken
LIA ⁺ S ⁺	Niveau-Anzeige oben und unten mit Steuerung über oberes Niveau
LIA ⁺	Niveau-Anzeige oben und unten in Behältern
TIR	Temperaturanzeige
QIA+Z ⁺	Feuchtefühler mit Abschaltung
TZ ⁺ LZ ⁻	Niveau- und Temp. Überwachungssystem an den Pumpen
IA ⁻	Flußwächter In-line-Instrumentierung
QIRC	} Kaskadenregelung am Verdampfer
PIRC	
PIZ ⁻	Druckwächter mit KW-Abschaltung
LIRC	Niveau- und Interfaceregelung
HUIR	Hold-up-Anzeige
LIA ⁺	Trennschichtanzeige im Mixer-Settler
A	Optischer und akkustischer Alarm
γ Abs.	γ-Absorptiometrie
nd. RFA	nicht dispersive RFA
DI.+L.	Dichte-Leitfähigkeitsmessung
D.-DI.	Doppelte Dichtemeßeinrichtung
pH	pH-Meßzelle

Tab.:2 In-line Instrumente für die Prozeßüberwachung

Methoden	zu messende Komponenten	Ort	Messbereich
γ-Absorptiometrie	Uran	HAF by-pass HAF 1UC	60 - 90 g/l 180 - 260 g/l 180 - 260 g/l
nicht dispersive RFA	Uran	1CW by-pass 1CU	0,1 - 5 g/l 60 - 90 g/l
pH-Messung	HNO ₃	1CX im Strom 1UD	pH 1-4 pH 2-4
Dichte - Leitfähigkeit	Uran und HNO ₃	HAF by-pass 1CU'	180 - 260 g/l 2 - 3 mol/l 40 - 90 g/l 0,2-0,8 g/l
Doppelte Dichte	Uran	Settler Stufen organisch	10-80 g/l
Polarographie	Uran	HAW	10 ⁻³ - 10 ⁻¹ g/l

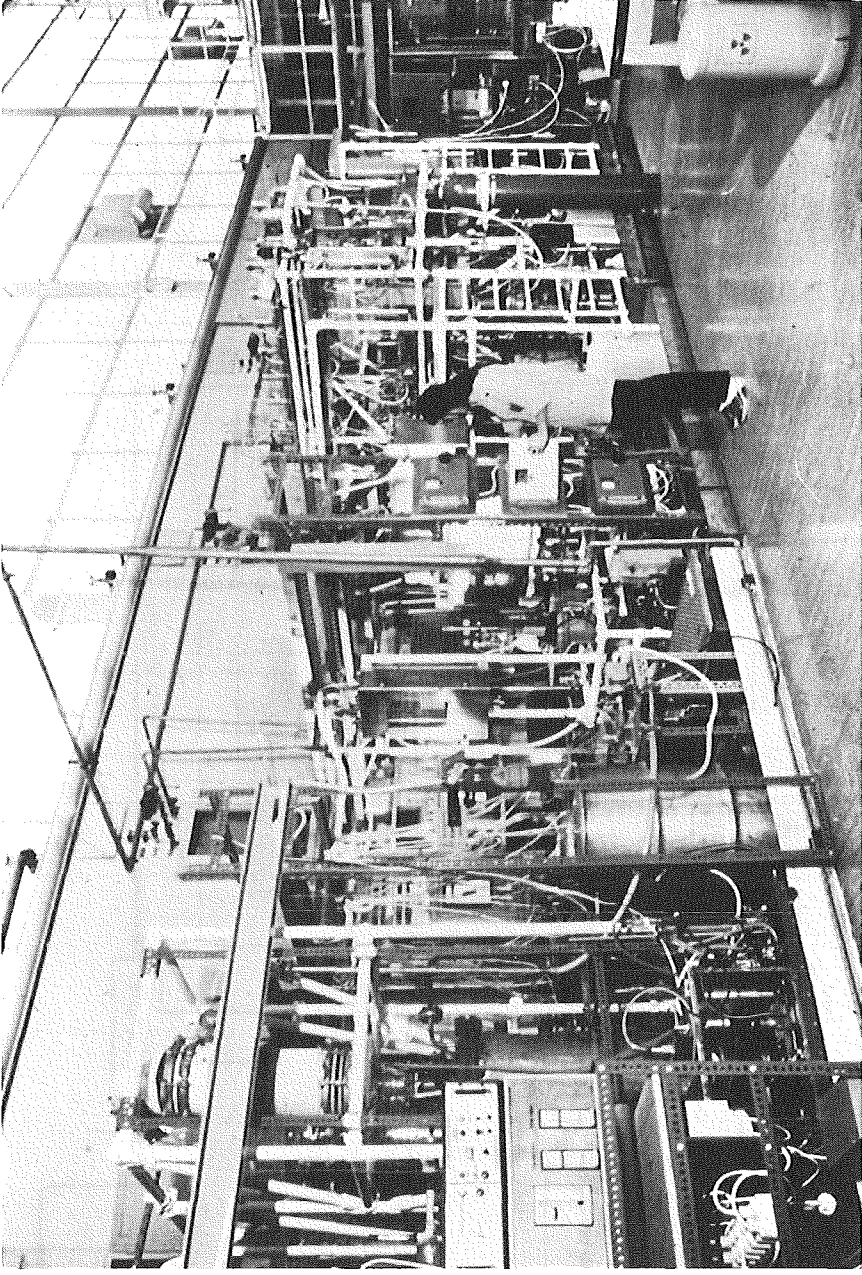


Abb. 1: Gesamtansicht TAMARA

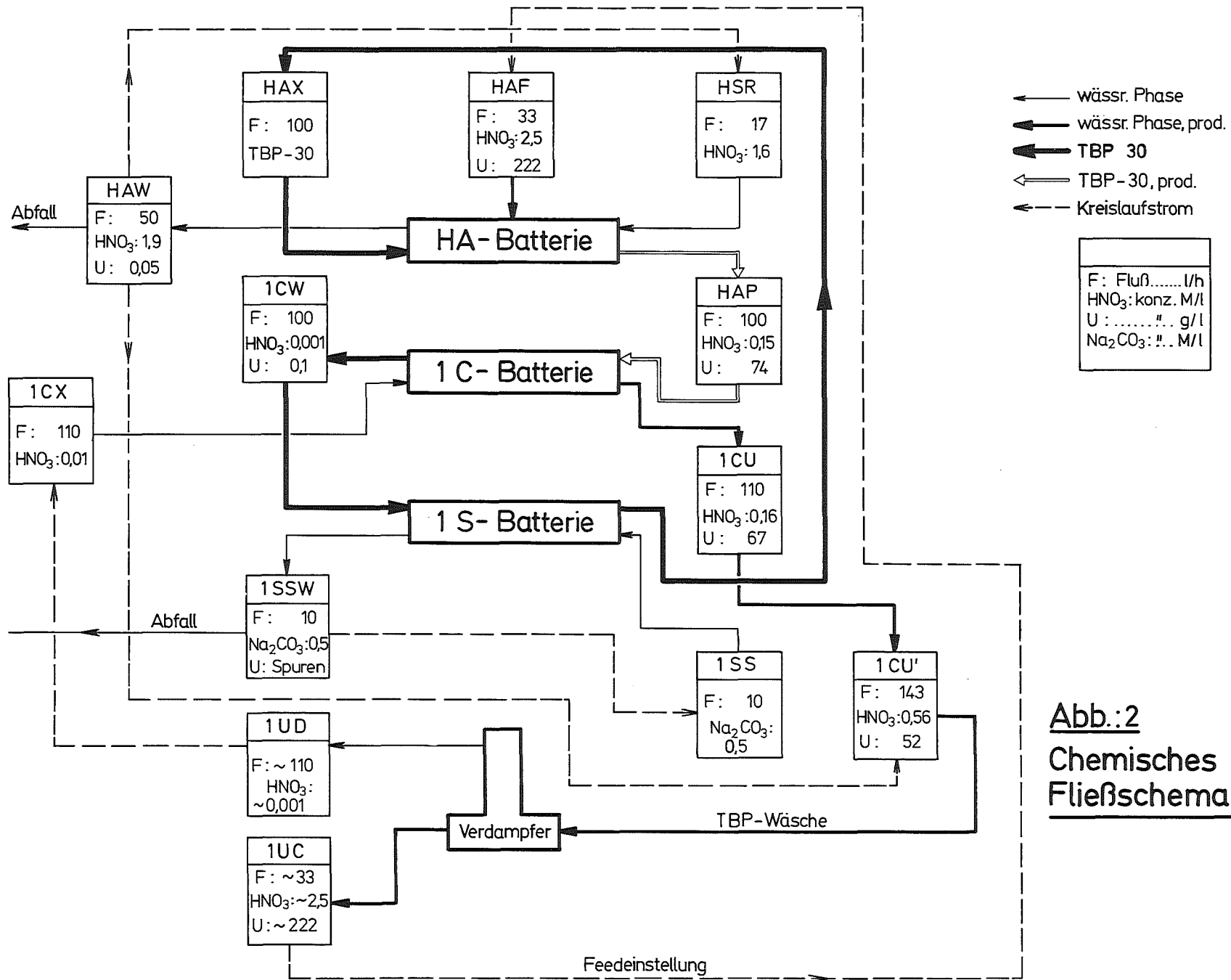
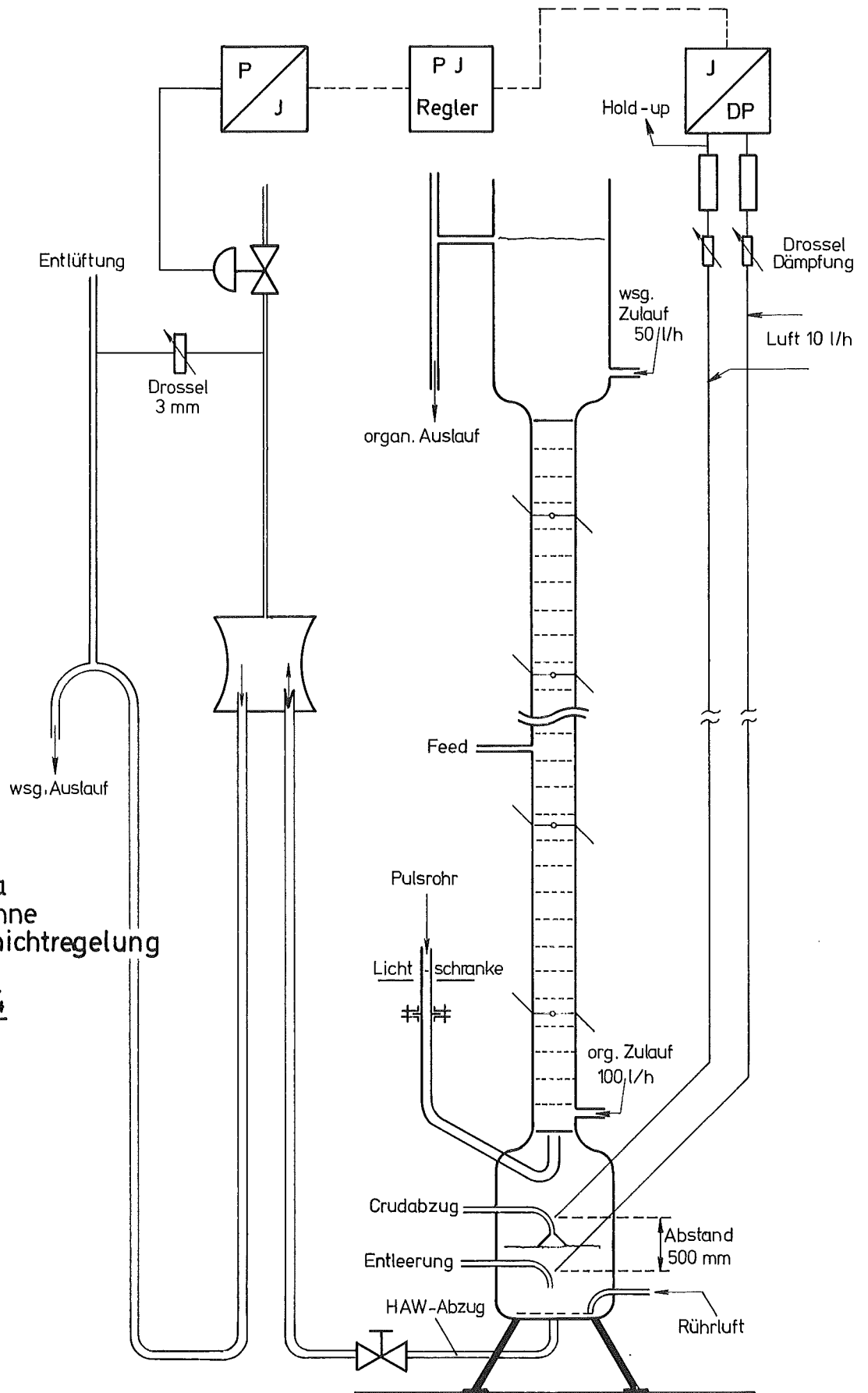
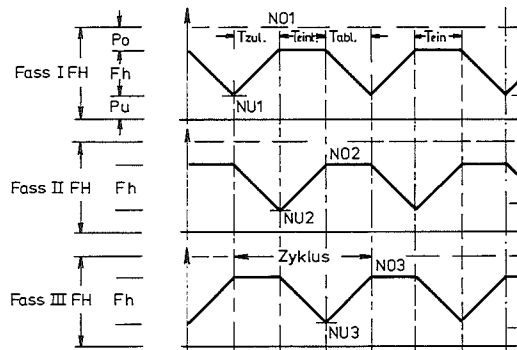
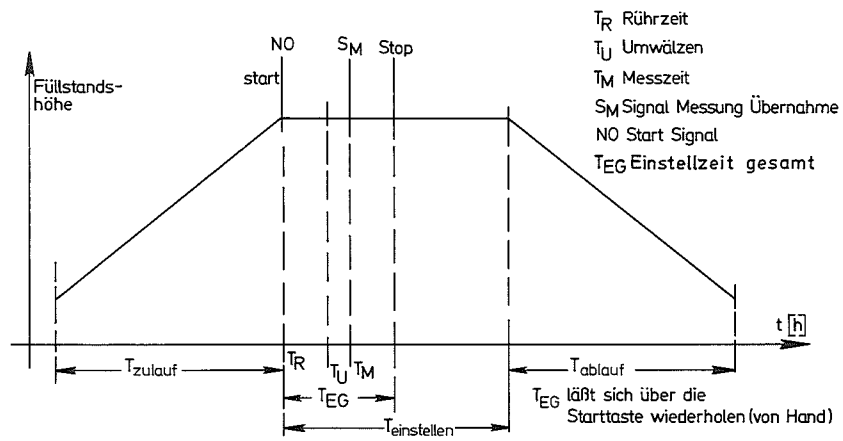
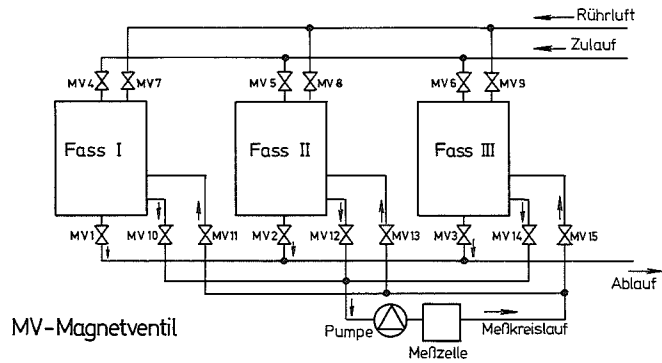


Abb.:2
Chemisches
Fließschema



Schema
der Kolonne
mit Trennschichtregelung

Abb.: 4



FH möglicher Füllstand über gesamte Faßhöhe

Fh ausgenützter Füllstand

Po, Pu oberer und unterer Pufferbereich

$T_{zul.}$ Füllzeit (Zulauf)

Tabl. Entleerungszeit (Ablauf)

$T_{ein.}$ mögliche Einstellzeit

Abb.: 5
Einstellsystem TAMARA

Teil	Stück	Benennung					Werkstoff	Abmessung					Zeichngs. Nr. Norm	Bemerkung
Oberflächenzeichen		~	▽	▽▽	▽▽▽	▽▽▽▽	Freimaßtoleranz	bis	über 6 bis 30	über 30 bis 100	über 100 bis 300	über 300 bis 1000	über 1000 bis 2000	
Rauhiefe max. in "	1000	40	10	4	1,5	± 0,1		± 0,2	± 0,3	± 0,5	± 0,8	± 1,2		
19	Tag	Name	Werkstoff			Gesellschaft für Kernforschung m. b. H.					Zugeh. Zeichng.			
gez.						7500 Karlsruhe					Ersatz für			
gespr.		Radek				Postfach 3640					Ersatz durch			
ges.											Zeichnungs-Nr.			
Maßstab		Einstellsystem TAMARA												

Schema des Verdampfers mit Regelung

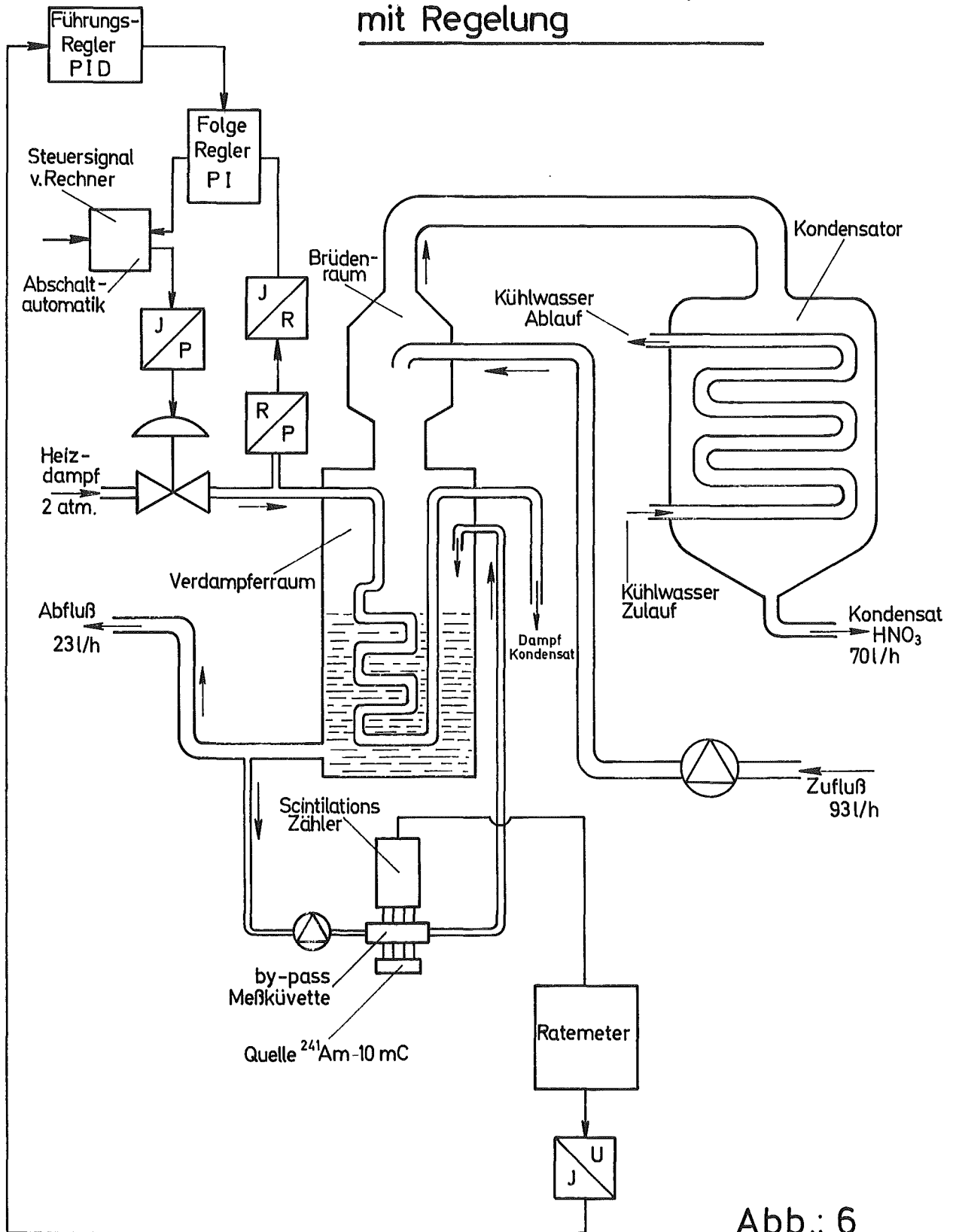


Abb.: 6

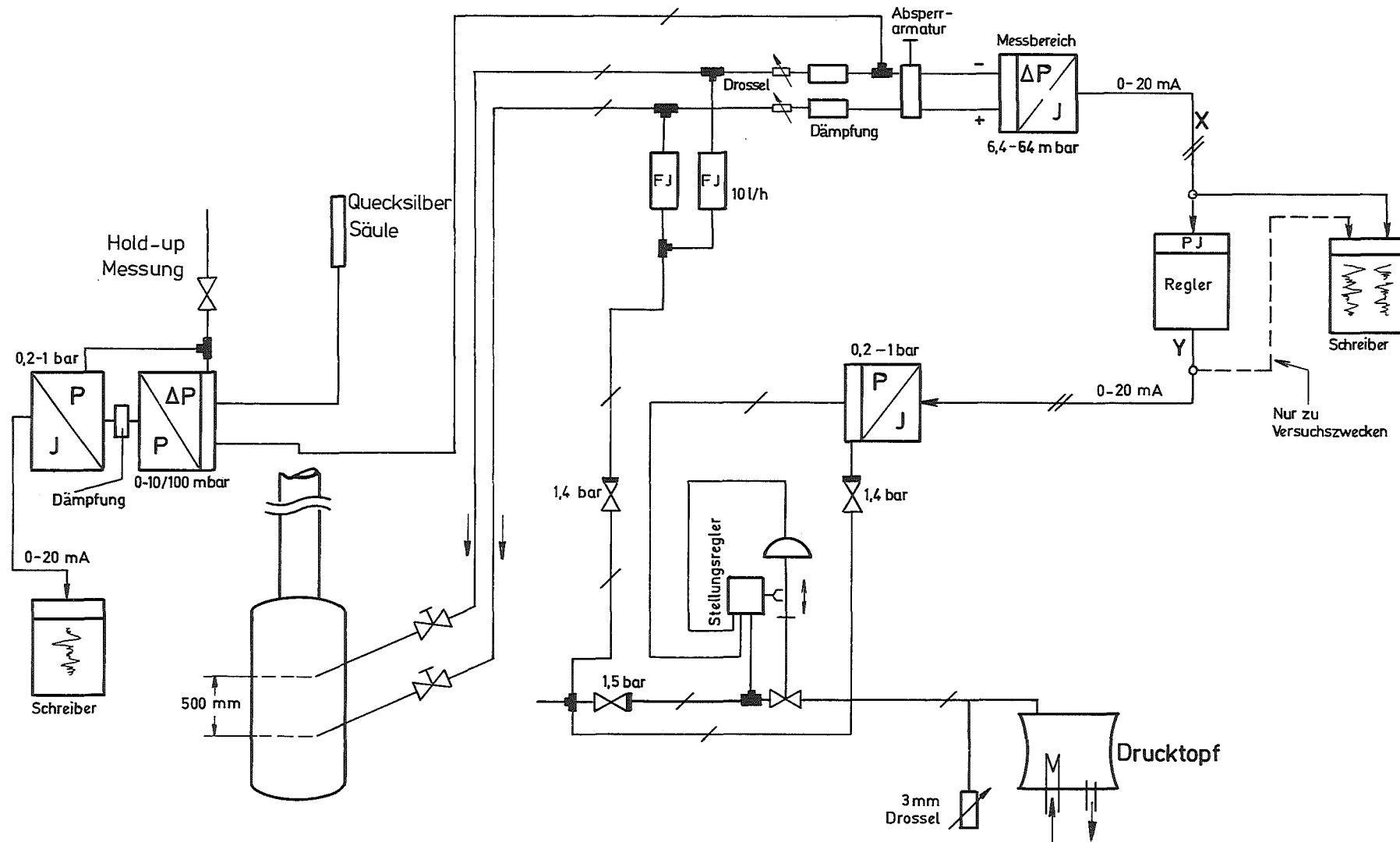


Abb.:7 Geräte-Schema Trennschichtregelung und Hold-up-Messung

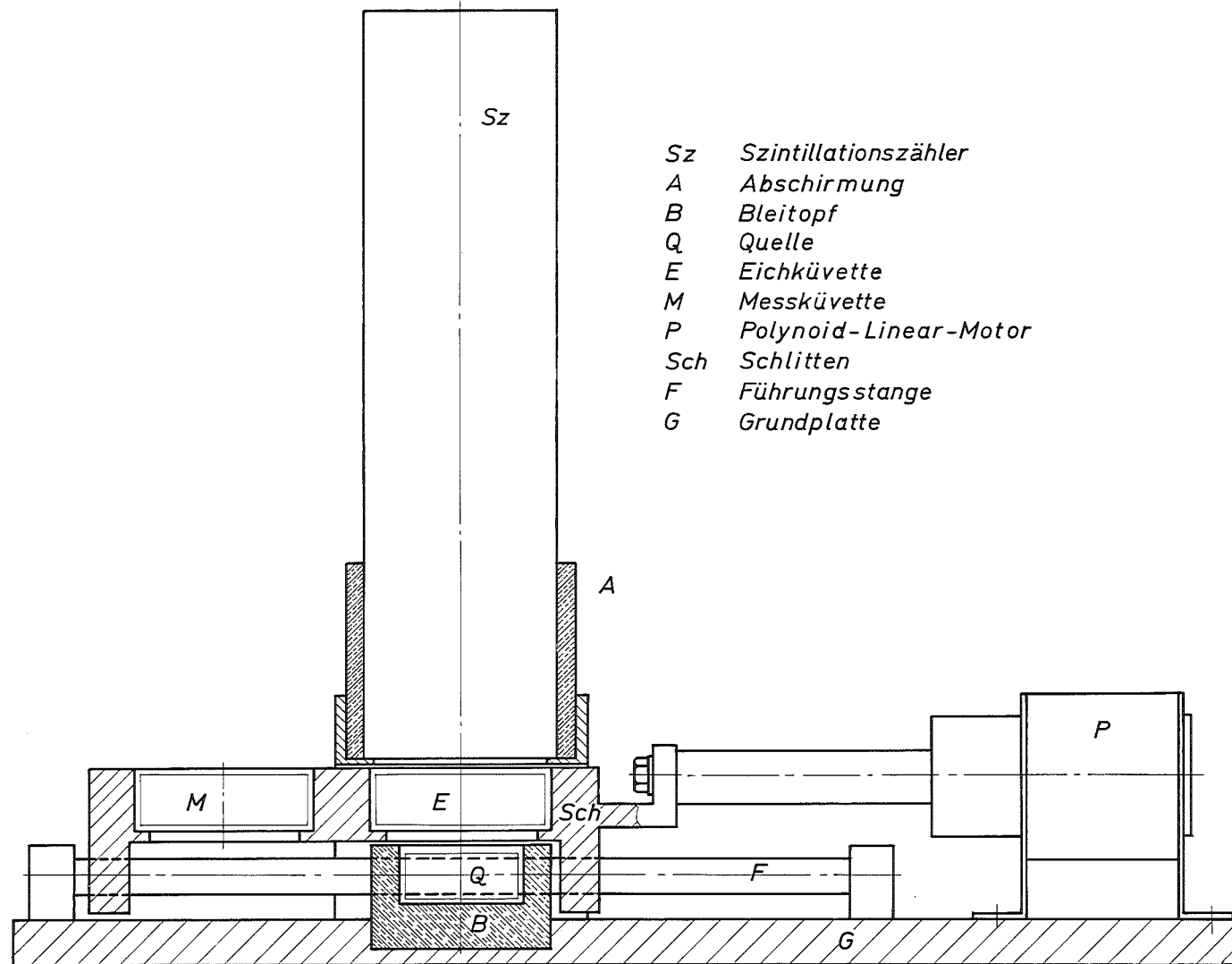
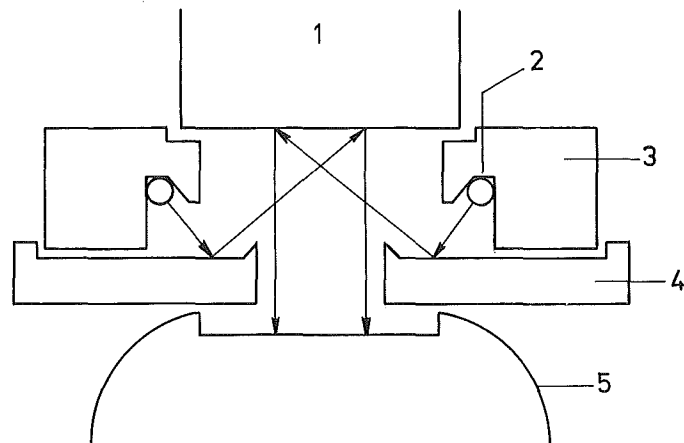


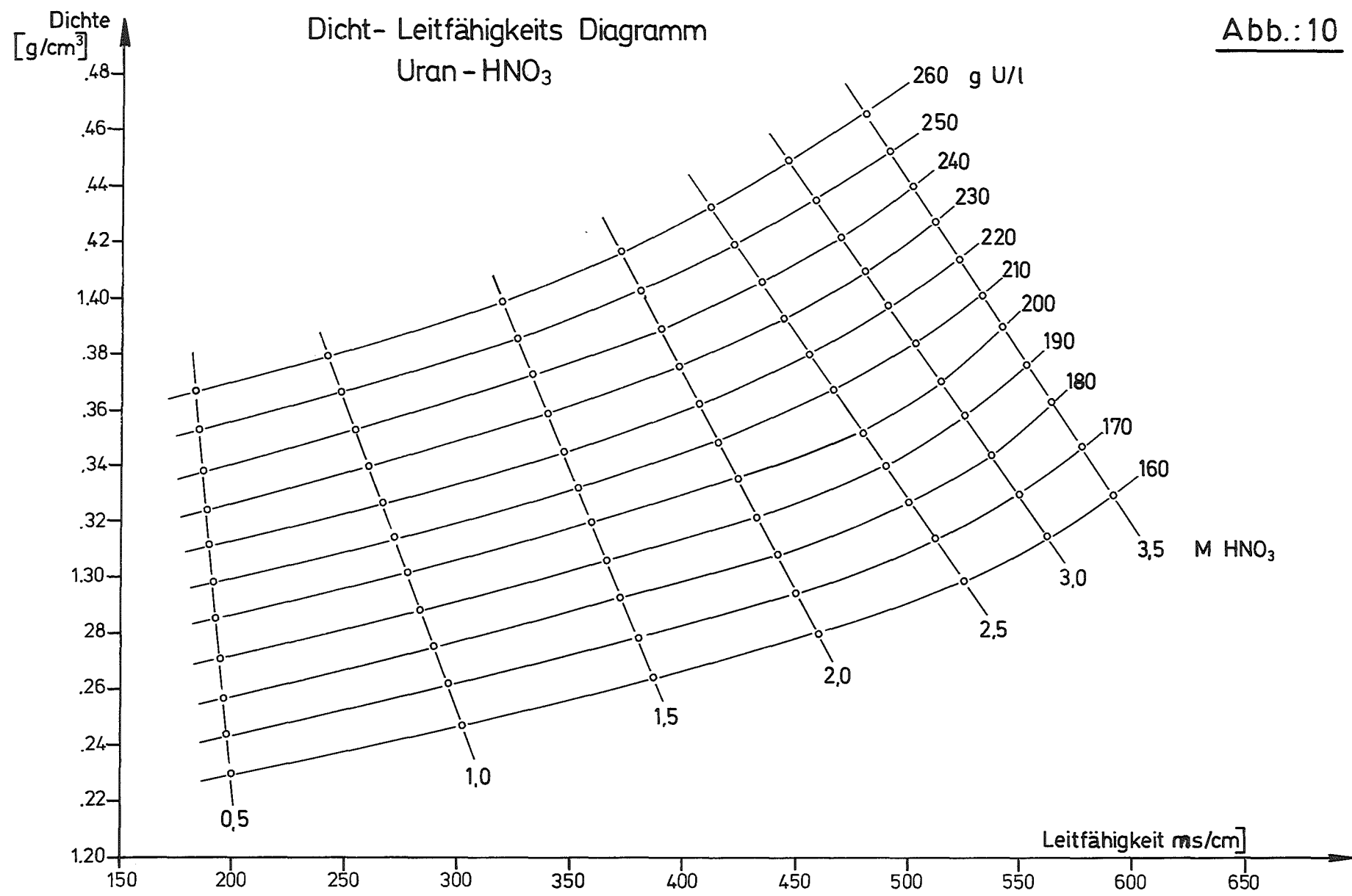
Abb.: 8 Schiebesystem der γ -Absorptiometrie

Abb.: 9 Meßanordnung nicht disp. RFA



Meßanordnungen. 1. Durchflußküvette
2. ^{241}Am -Ringquelle 3. Quellenhalter
4. Cd-Zwischentarget 5. Zählrohr

Abb.:10



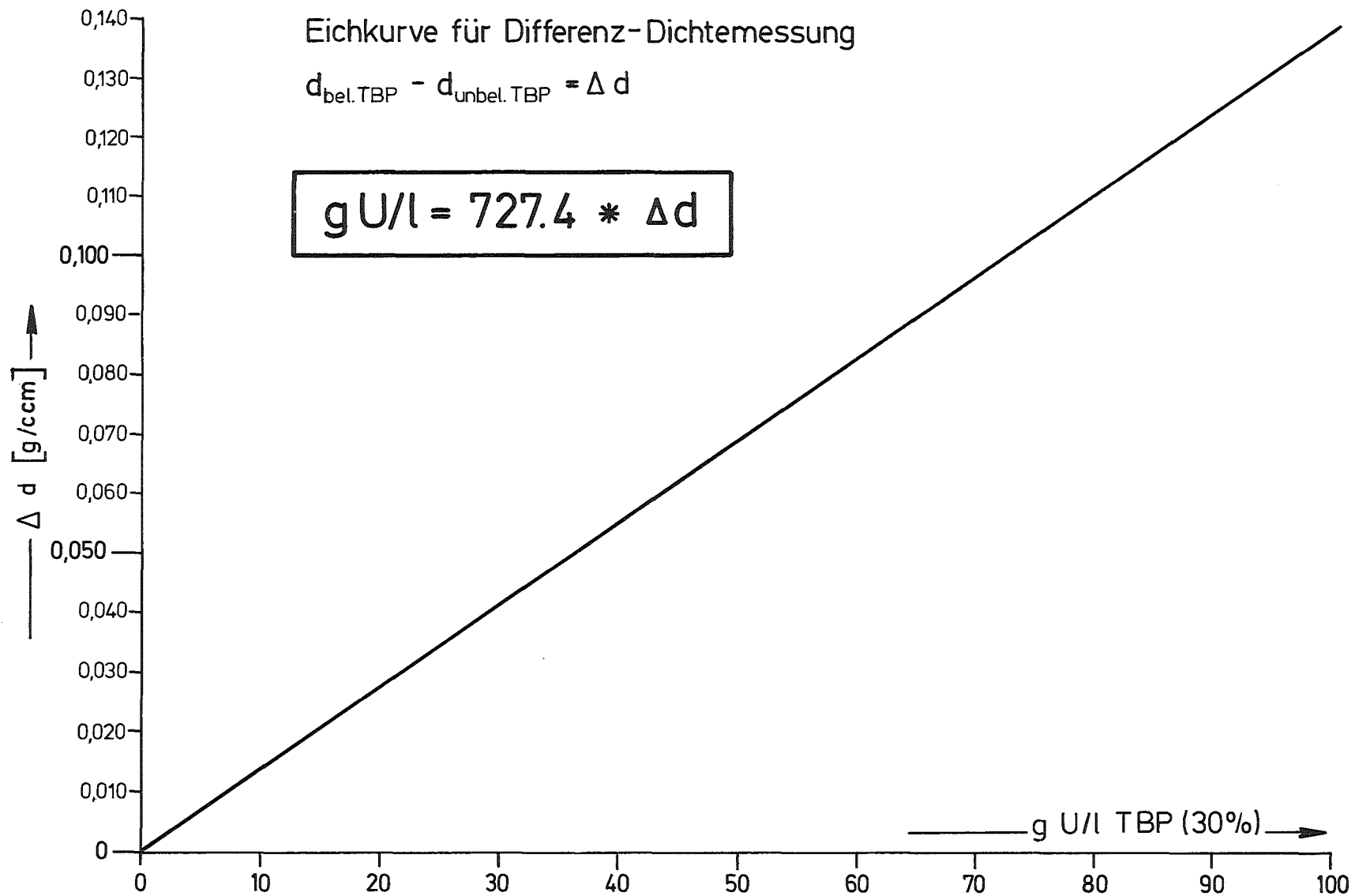


Abb.: 11

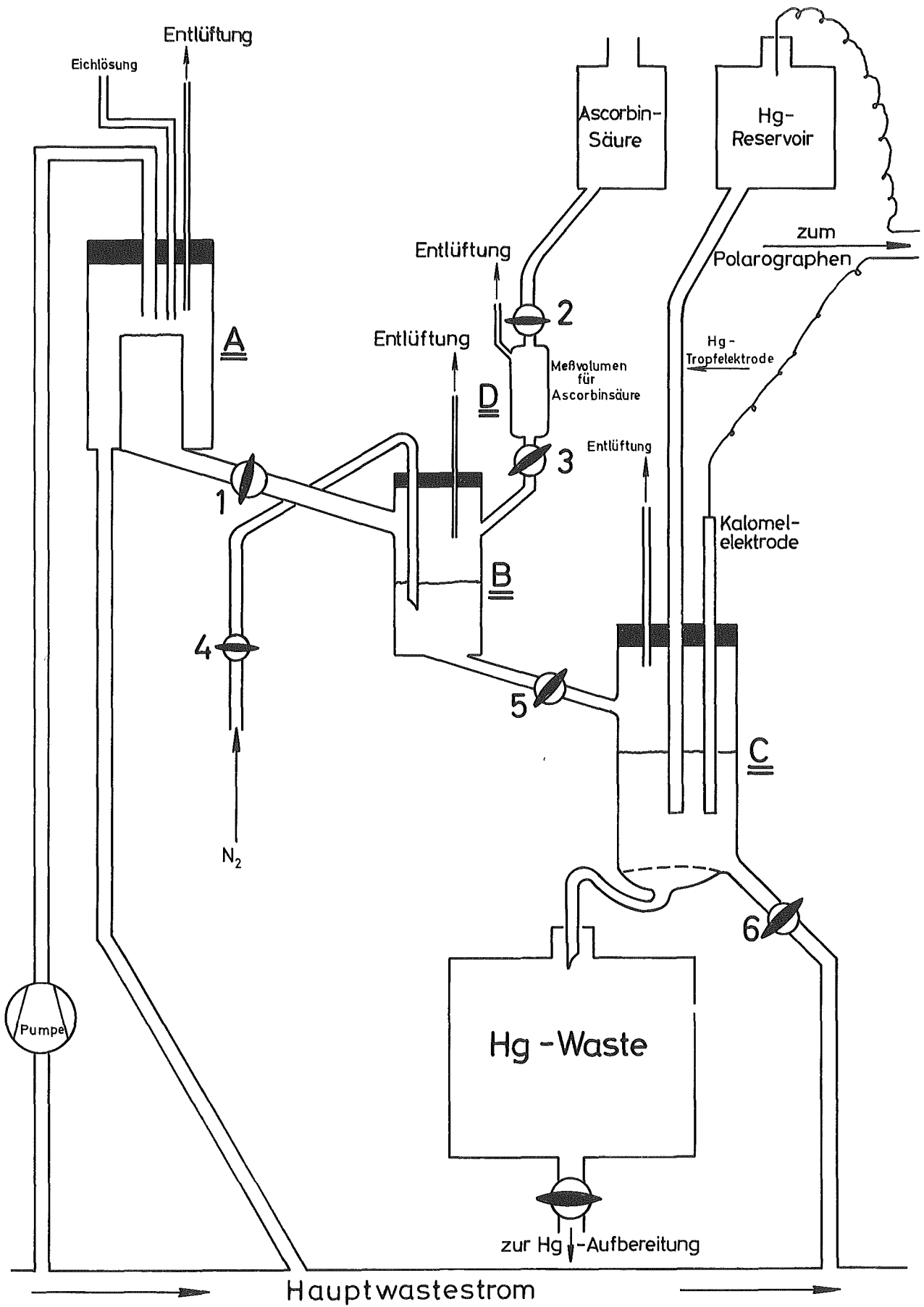


Abb.12 Fließschema für Kontinuierliche Polarographie

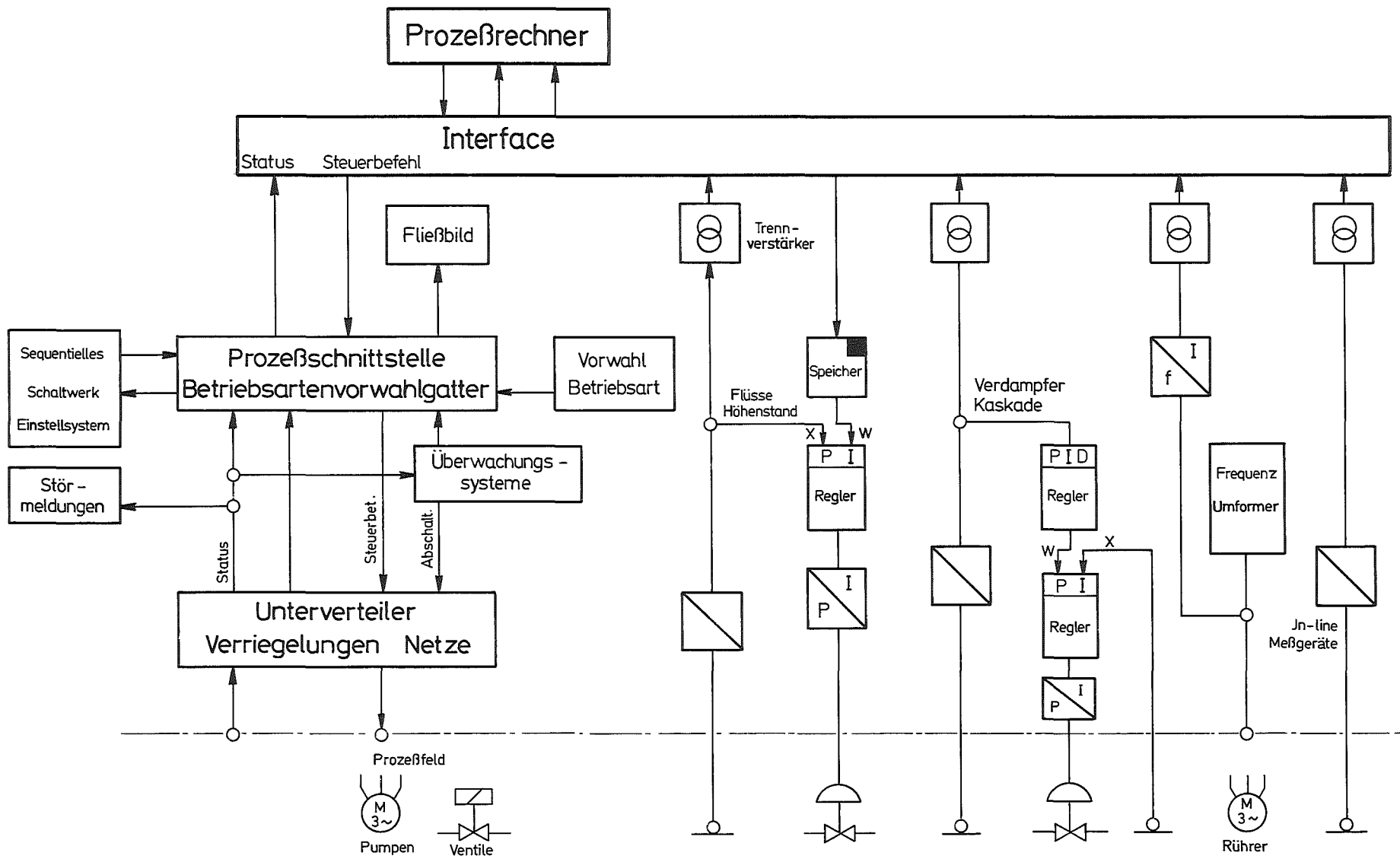


Abb.: 13 Prozeßschnittstelle TAMARA

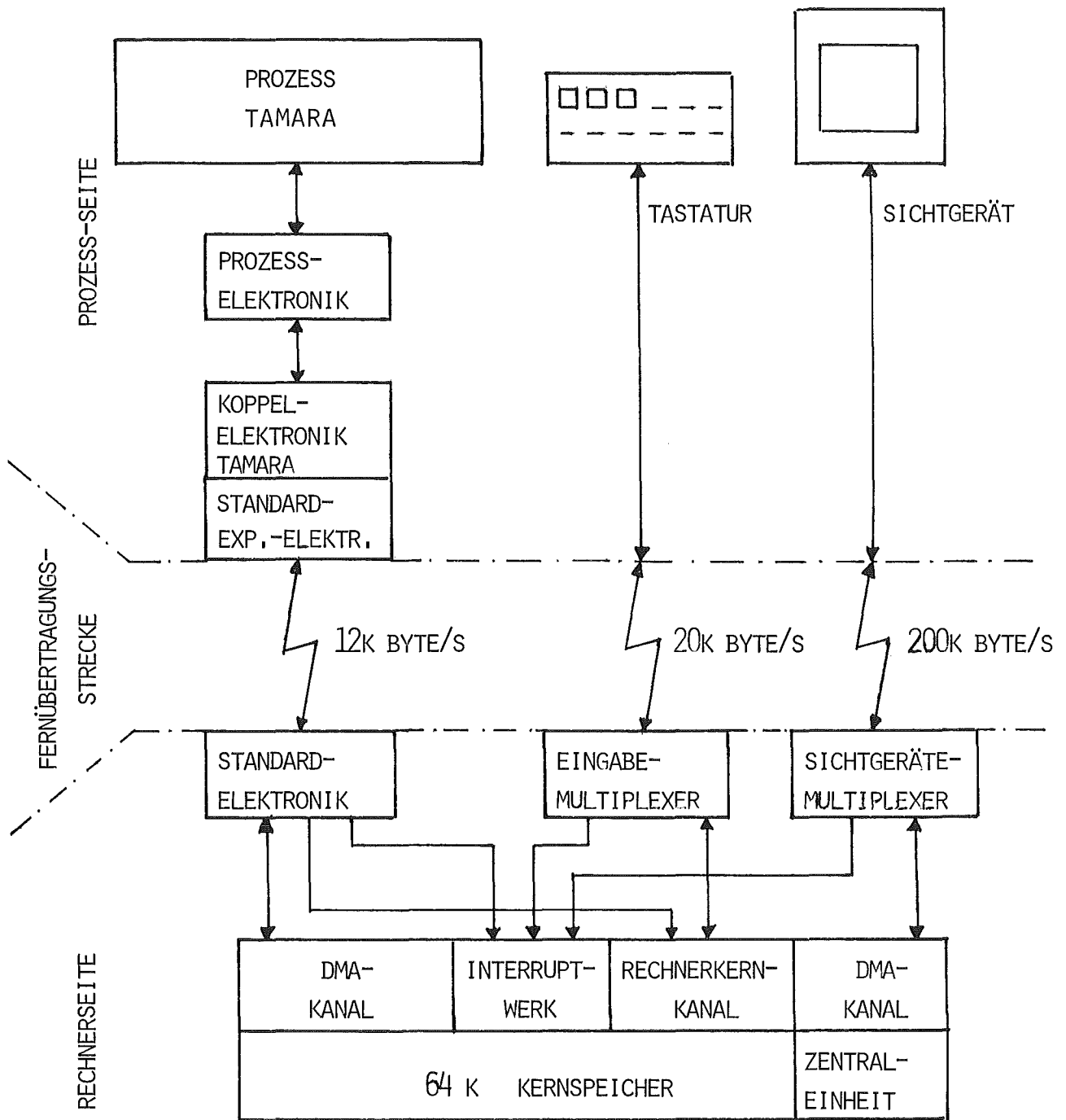


ABB. 14: PROZESSKOPPLUNG TAMARA - CALAS

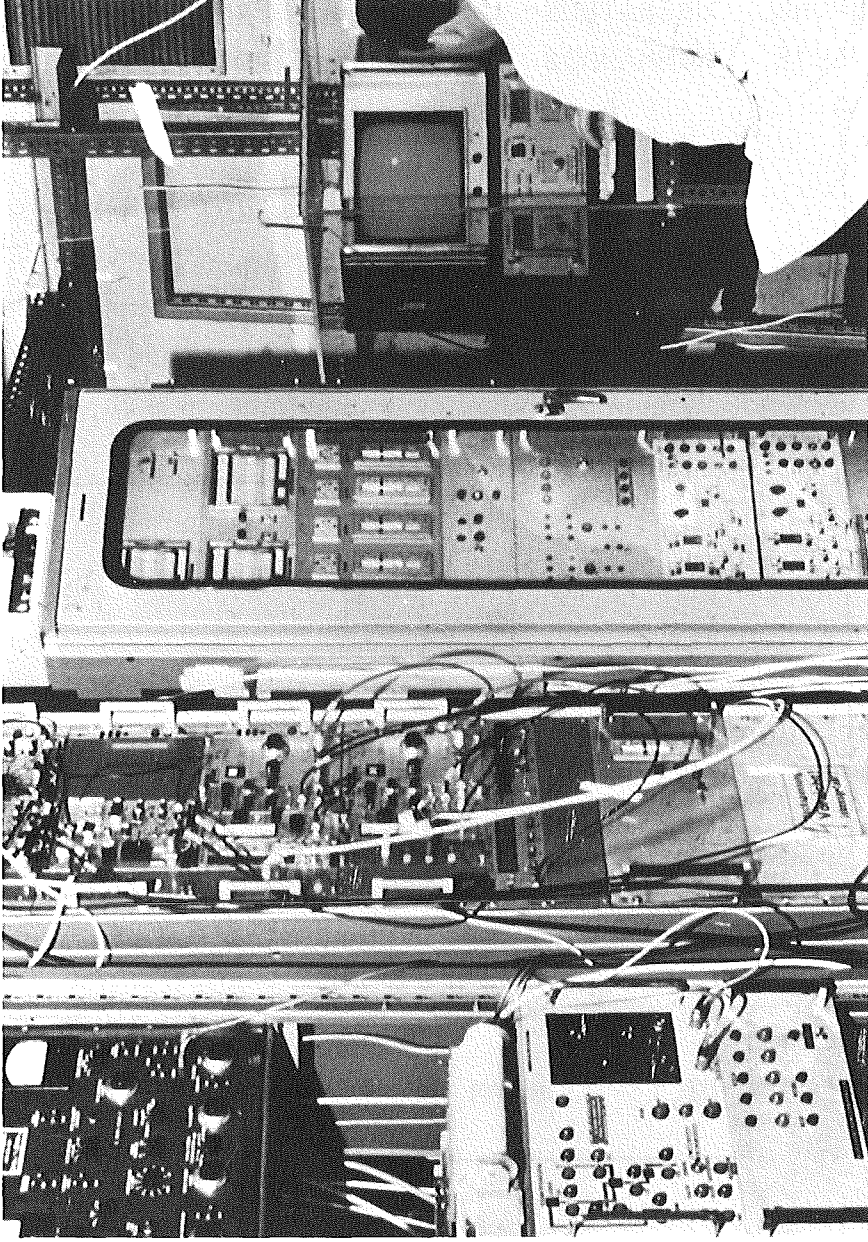


Abb. 15: Blick auf die Prozeszwarte TAMARA

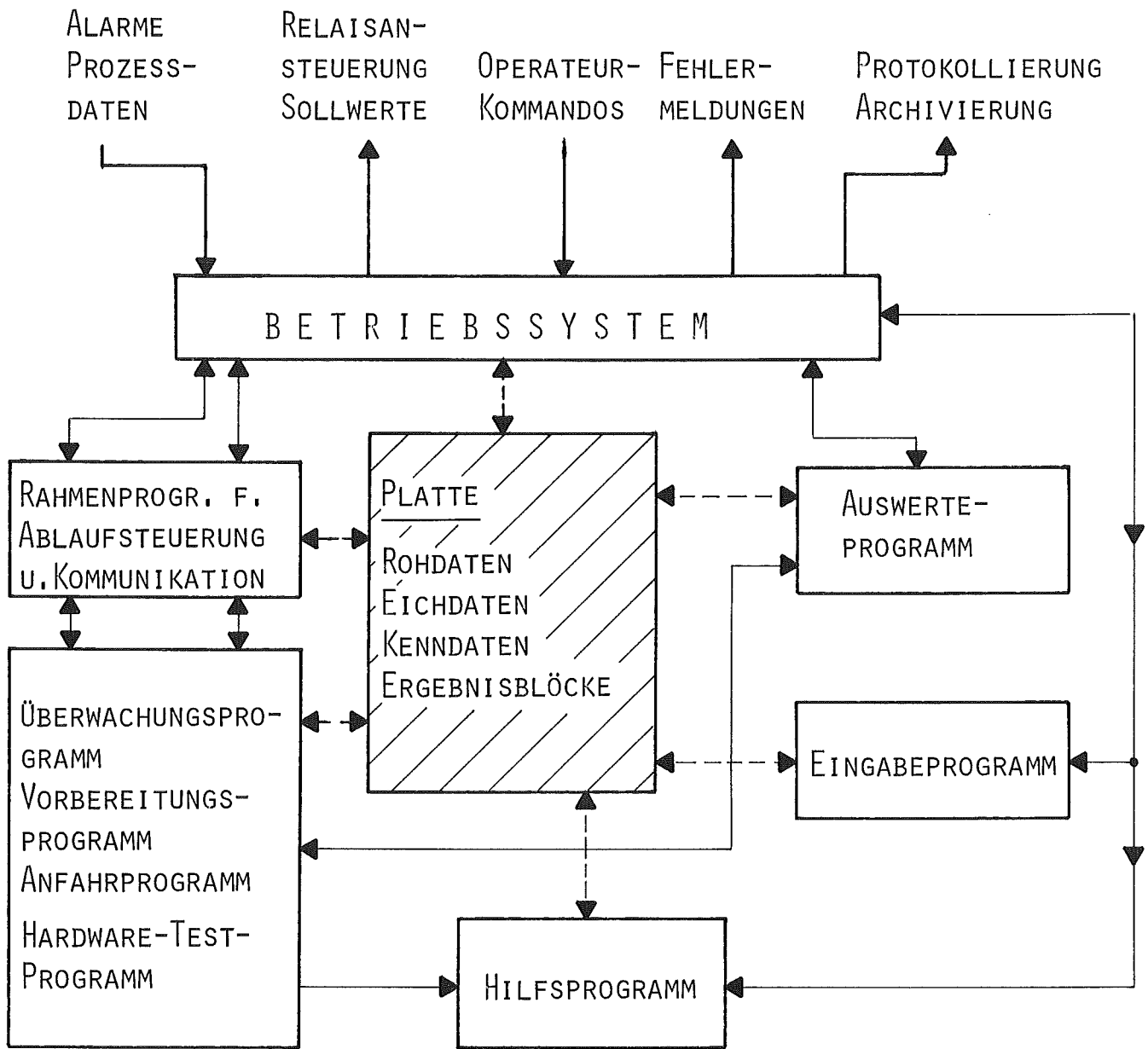
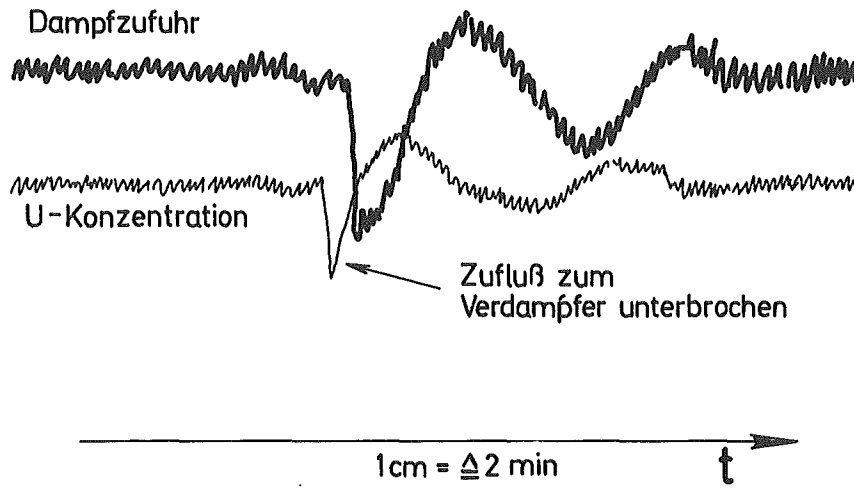


ABB. 16:

SCHEMATISCHER AUFBAU DES PROGRAMMSYSTEMS TAMARA/C FÜR DIE PROZESSÜBERWACHUNG MIT CALAS

Abb.:17 Schreiberbild d. Verdampferregelung



09.07.75

14.55.09 UHR

SEITE 1

TAMARA IHCH

MESSR2

CALAS

ERGEBNISSE DER KONZ.-MESSTELLEN

M.-ZYK: 44/007 DATUM: 14. 07. 74 UHRZEIT: 10. 23. 10

			MESSWERT		TENDENZ
GAMMA-ABS.	: 8 A	HAP =	73.50	G/L	-0.50
	9 A	HAF =	221.54	G/L	-0.46
	10 A	1UC =	222.40	G/L	0.40
PH - METER	: 11 A	1UD =	3.17	P H	-0.01
		H+.KONZ=	0.000668	MDL/L	-0.000015
	12 A	1CX =	2.00	P H	0.00
		H+.KONZ=	0.010000	MDL/L	0.000000
DI/LEIT HAF	: 1 D	DICHTE=		G/CCM	
	13 A	LEITF.=	0.458	S/CM	-0.002
		U-KONZ=		G/L	
		H+KONZ=		MDL/L	
DI/LEIT 1CU	: 2 D	DICHTE=	1.0922	G/CCM	0.0050
	14 A	LEITF.=		S/CM	
		U-KONZ=		G/L	
		H+KONZ=		MDL/L	
N.D.R.F.A.	: 15 A	1CU =	66.25	G/L	0.25
	16 A	1CW =	0.15	G/L	0.05

Abb. 18: Druckerprotokoll zu der Auswertung der Konzentrationsmeßstellen

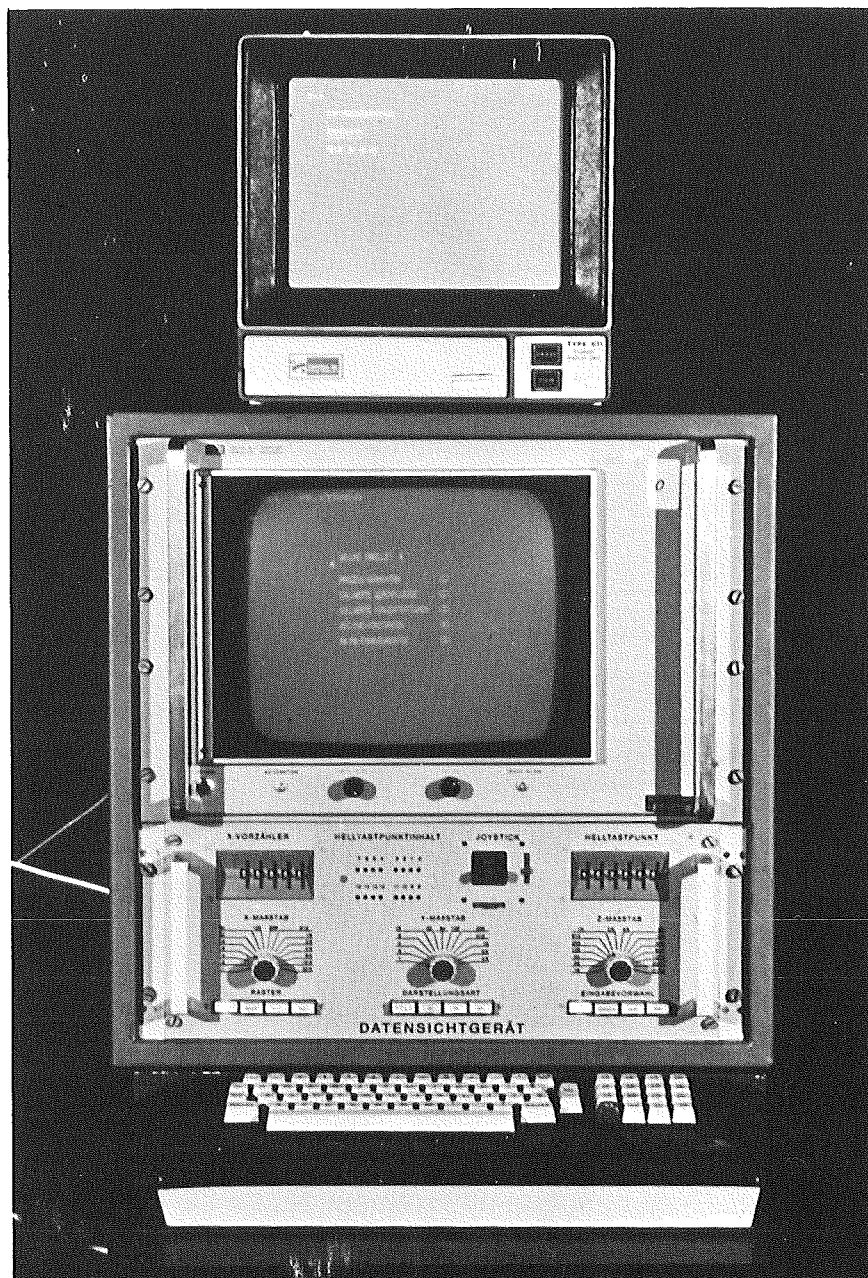


Abb. 19: Sichtgerätestation TAMARA

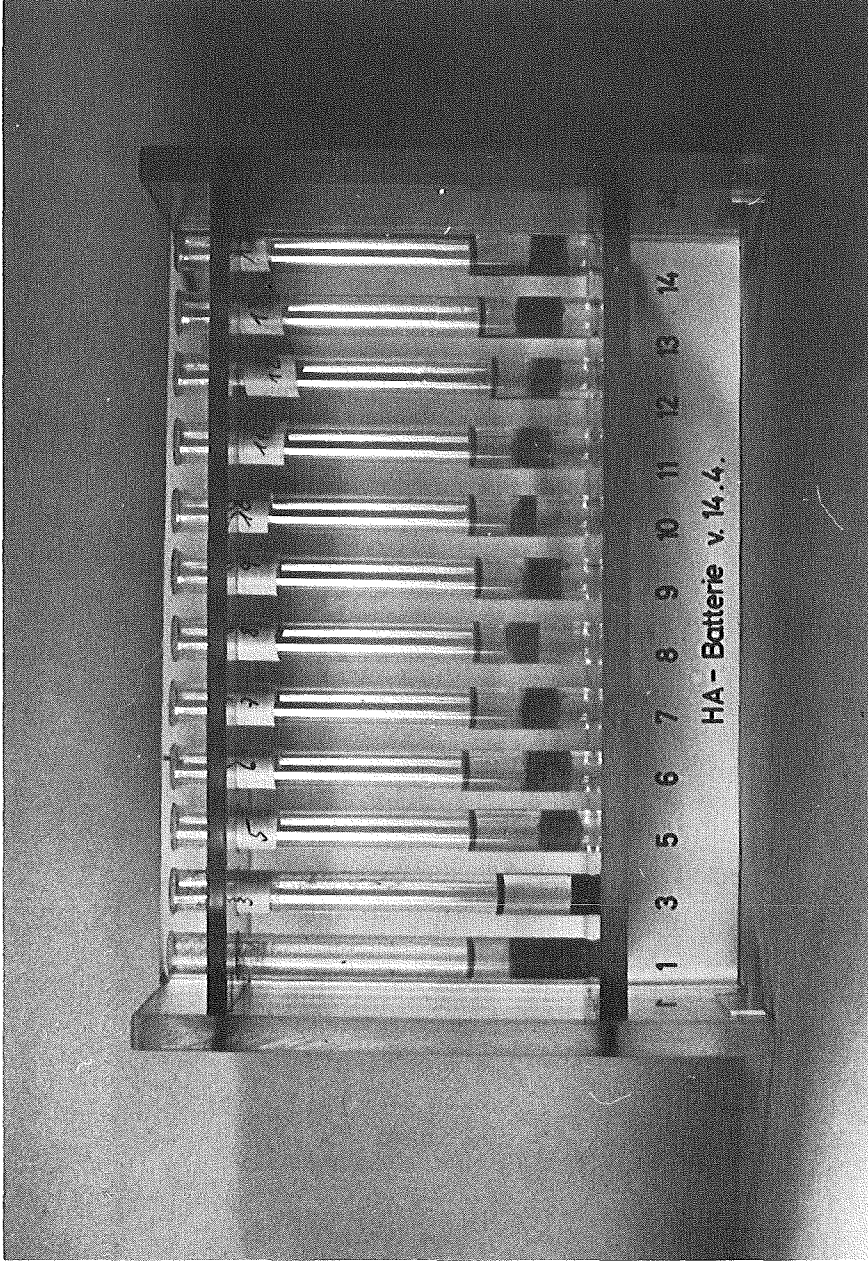


Abb. 20: Schlammprofil vom Zirkon-Prozeß