

EUR 2544.d

EUROPÄISCHE ATOMGEMEINSCHAFT - EURATOM

ENTWICKLUNG EINES
KALKSTAUBMENGENMESSGERÄTES

von

K. SCHMIDT und A. NASEBAND
(Interatom)

1965



Bericht abgefasst von INTERATOM
Internationale Atomreaktorbau G.m.b.H. - Bensberg/Köln, Deutschland

EURATOM-Vertrag Nr. 004-62-9 IRAD

HINWEIS

Das vorliegende Dokument ist im Rahmen des Forschungsprogramms der Kommission der Europäischen Atomgemeinschaft (EURATOM) ausgearbeitet worden.

Es wird darauf hingewiesen, daß die Euratomkommission, ihre Vertragspartner und die in deren Namen handelnden Personen :

keine Gewähr dafür übernehmen, daß die in diesem Dokument enthaltenen Informationen richtig und vollständig sind, oder daß die Verwendung der in diesem Dokument enthaltenen Informationen, oder der in diesem Dokument beschriebenen technischen Anordnungen, Methoden und Verfahren nicht gegen gewerbliche Schutzrechte verstößt;

keine Haftung für die Schäden übernehmen, die infolge der Verwendung der in diesem Dokument enthaltenen Informationen, oder der in diesem Dokument beschriebenen technischen Anordnungen, Methoden oder Verfahren entstehen könnten.

Dieser Bericht wird in den auf der vierten Umschlagseite genannten Vertriebsstellen

zum Preise von DM 5,60

FF 7,—

FB 70,—

Lit. 870

Fl. 5,10

verkauft.

Es wird gebeten, bei Bestellungen die EUR-Nummer und den Titel anzugeben, die auf dem Umschlag jedes Berichts aufgeführt sind.

Gedruckt von Guyot, s.a.
Brüssel, Dezember 1965

EUR 2544.d

ENTWICKLUNG EINES KALKSTAUBMENGENMESSGERÄTES von K. SCHMIDT und A. NASEBAND (INTERATOM)

Europäische Atomgemeinschaft - EURATOM

Bericht abgefaßt von INTERATOM - Internationale Atomreaktorbau G.m.b.H.,
Bensberg/Köln (Deutschland)

Euratom-Vertrag Nr. 004-62-9 IRAD

Brüssel, Dezember 1965 - 54 Seiten - 36 Abbildungen - FB 70

Es wurde gezeigt, daß eine Feinkalkdichtebestimmung mittels ionisierender Strahlung möglich ist. Als Strahlenquellen sind die Bremsstrahlung von Sr/Y-90 in Rückstreuung von einem Silber-Target, die Beta-Strahlung von Sr/Y-90 und die Gamma-Strahlung von Am-241 geeignet.

Die erste Meßanordnung basiert auf einer Nullkompensation, bei der laufend die Intensität der Meßstrahlung mit der Intensität einer Eichstrahlung verglichen wird. Bei der zweiten Meßanordnung wird die Verstärkung des Detektors mit Hilfe einer Eichstrahlung stabilisiert. Die Intensität der Meßstrahlung wird zur Anzeige gebracht und ist ein Maß für die Feinkalkdichte.

EUR 2544.d

DEVELOPMENT OF A CHALK DUST MEASURING DEVICE by K. SCHMIDT and A. NASEBAND (INTERATOM)

European Atomic Energy Community - EURATOM

Report prepared by INTERATOM - Internationale Atomreaktorbau G.m.b.H.,
Bensberg/Köln (Germany)

Euratom Contract No. 004-62-9 IRAD

Brussels, December 1965 - 54 Pages - 36 Figures - FB 70

It was shown that ionizing radiations can be used for fine chalk density determination. Suitable sources are the bremsstrahlung from Sr/Y-90 back-scattered from a silver target, the beta-radiation from Sr/Y-90 and the gamma-radiation from Am-241.

The first measuring rig is based on a zero compensation involving constant comparison of the measuring radiation intensity with that of a standard radiation. In the second rig detector amplification is stabilized by means of a standard radiation. The measuring radiation intensity recorded indicates the fine chalk density.

EUR 2544.d

DEVELOPMENT OF A CHALK DUST MEASURING DEVICE by K. SCHMIDT and A. NASEBAND (INTERATOM)

European Atomic Energy Community - EURATOM

Report prepared by INTERATOM - Internationale Atomreaktorbau G.m.b.H.,
Bensberg/Köln (Germany)

Euratom Contract No. 004-62-9 IRAD

Brussels, December 1965 - 54 Pages - 36 Figures - FB 70

It was shown that ionizing radiations can be used for fine chalk density determination. Suitable sources are the bremsstrahlung from Sr/Y-90 back-scattered from a silver target, the beta-radiation from Sr/Y-90 and the gamma-radiation from Am-241.

The first measuring rig is based on a zero compensation involving constant comparison of the measuring radiation intensity with that of a standard radiation. In the second rig detector amplification is stabilized by means of a standard radiation. The measuring radiation intensity recorded indicates the fine chalk density.

EUR 2544.d

DEVELOPMENT OF A CHALK DUST MEASURING DEVICE by K. SCHMIDT and A. NASEBAND (INTERATOM)

European Atomic Energy Community - EURATOM

Report prepared by INTERATOM - Internationale Atomreaktorbau G.m.b.H.,
Bensberg/Köln (Germany)

Euratom Contract No. 004-62-9 IRAD

Brussels, Decembre 1965 - 54 Pages - 36 Figures - FB 70

It was shown that ionizing radiations can be used for fine chalk density determination. Suitable sources are the bremsstrahlung from Sr/Y-90 back-scattered from a silver target, the beta-radiation from Sr/Y-90 and the gamma-radiation from Am-241.

The first measuring rig is based on a zero compensation involving constant comparison of the measuring radiation intensity with that of a standard radiation. In the second rig detector amplification is stabilized by means of a standard radiation. The measuring radiation intensity recorded indicates the fine chalk density.

Mit der Bremsstrahlung konnte bei einer vertretbaren Aktivität der Strahlenquellen und bei einer ausreichenden Anzeigegeschwindigkeit eine nur 10%ige Genauigkeit erreicht werden. Mit der Beta-Strahlung sind die Meßwerte mit einer 1%igen Genauigkeit reproduzierbar.

Mit der Gamma-Strahlung von Am-241 konnte in der zweiten Meßanordnung eine 1%ige Meßgenauigkeit bei einer Langzeitstabilität von 1-2% erreicht werden.

Leider waren Messungen an bewegtem Feinkalk nicht möglich. Somit konnten auch nicht der Abrieb an den Strahlen-Fenstern und der Einfluß von Feinkalkablagerungen auf den Fenstern über längere Zeit untersucht werden. Diese Fragen werden bei der praktischen Erprobung des Gerätes, die in absehbarer Zeit vorgenommen wird, geklärt.

Die Kosten für den Bau dieses Kalkstaubdichtemeßgerätes betragen ca. DM 18.000,— bis DM 20.000,—.

The use of bremsstrahlung involved a margin of error of as much as 10% at an acceptable radiation source activity and an adequate recording speed. With beta-radiation, the measuring values are reproducible within 1% margin of error.

With Am-21 gamma-radiation, the second rig gave a margin of error of 1% with a long-time stability within 1-2%.

It was unfortunately impossible to perform measurements on moving chalk dust, nor could dust on the radiation windows or the effect of fine chalk deposits on the windows over a long period of time be investigated. These questions will be clarified when the device is tried out in practice in the not-too-distant future.

The costs for the construction of the device amount to about 18,000 to 20,000 DM.

The use of bremsstrahlung involved a margin of error of as much as 10% at an acceptable radiation source activity and an adequate recording speed. With beta-radiation, the measuring values are reproducible within 1% margin of error.

With Am-21 gamma-radiation, the second rig gave a margin of error of 1% with a long-time stability within 1-2%.

It was unfortunately impossible to perform measurements on moving chalk dust, nor could dust on the radiation windows or the effect of fine chalk deposits on the windows over a long period of time be investigated. These questions will be clarified when the device is tried out in practice in the not-too-distant future.

The costs for the construction of the device amount to about 18,000 to 20,000 DM.

The use of bremsstrahlung involved a margin of error of as much as 10% at an acceptable radiation source activity and an adequate recording speed. With beta-radiation, the measuring values are reproducible within 1% margin of error.

With Am-21 gamma-radiation, the second rig gave a margin of error of 1% with a long-time stability within 1-2%.

It was unfortunately impossible to perform measurements on moving chalk dust, nor could dust on the radiation windows or the effect of fine chalk deposits on the windows over a long period of time be investigated. These questions will be clarified when the device is tried out in practice in the not-too-distant future.

The costs for the construction of the device amount to about 18,000 to 20,000 DM.

EUR 2544.d

EUROPÄISCHE ATOMGEMEINSCHAFT - EURATOM

ENTWICKLUNG EINES
KALKSTAUBMENGENMESSGERÄTES

von

K. SCHMIDT und A. NASEBAND
(Interatom)

1965



Bericht abgefasst von INTERATOM
Internationale Atomreaktorbau G.m.b.H. - Bensberg/Köln, Deutschland

EURATOM-Vertrag Nr. 004-62-9 IRAD

ZUSAMMENFASSUNG

Es wurde gezeigt, daß eine Feinkalkdichtebestimmung mittels ionisierender Strahlung möglich ist. Als Strahlenquellen sind die Bremsstrahlung von Sr/Y-90 in Rückstreuung von einem Silber-Target, die Beta-Strahlung von Sr/Y-90 und die Gamma-Strahlung von Am-214 geeignet.

Die erste Meßanordnung basiert auf einer Nullkompensation, bei der laufend die Intensität der Meßstrahlung mit der Intensität einer Eichstrahlung verglichen wird. Bei der zweiten Meßanordnung wird die Verstärkung des Detektors mit Hilfe einer Eichstrahlung stabilisiert. Die Intensität der Meßstrahlung wird zur Anzeige gebracht und ist ein Maß für die Feinkalkdichte.

Mit der Bremsstrahlung konnte bei einer vertretbaren Aktivität der Strahlenquellen und bei einer ausreichenden Anzeigegeschwindigkeit eine nur 10 % ige Genauigkeit erreicht werden. Mit der Beta-Strahlung sind die Meßwerte mit einer 1 % igen Genauigkeit reproduzierbar.

Mit der Gamma-Strahlung von Am-241 konnte in der zweiten Meßanordnung eine 1 % ige Meßgenauigkeit bei einer Langzeitstabilität von 1-2 % erreicht werden.

Leider waren Messungen an bewegtem Feinkalk nicht möglich. Somit konnten auch nicht der Abrieb an den Strahlen-Fenstern und der Einfluß von Feinkalkablagerungen auf den Fenstern über längere Zeit untersucht werden. Diese Fragen werden bei der praktischen Erprobung des Gerätes, die in absehbarer Zeit vorgenommen wird, geklärt.

Die Kosten für den Bau dieses Kalkstaubdichtemeßgerätes betragen ca. DM 18.000,— bis DM 20.000,—.

INHALTSVERZEICHNIS

1 — AUFGABENSTELLUNG	5
2 — ANDERE VERSUCHE ZUR FEINKALK-MENGENMESSUNG IM SAUERSTOFFSTROM AN LD-AC-KONVERTERN MIT RADIOAKTIVEN ISOTOPEN	6
3 — VORGESCHLAGENE METHODE	6
4 — FEINKALKDICHTE	7
5 — BESCHREIBUNG DER ENTWICKLUNGSARBEITEN	7
6 — ERSTE MESSANORDNUNG UND ERGEBNISSE	10
7 — ZWEITE MESSANORDNUNG UND ERGEBNISSE	13
8 — ZUSAMMENFASSUNG	14
9 — ANHANG	38

ABBILDUNGEN

Abbildung —	Titel —	Gegenstand —	Seite —
Abb. 1	Kalkstaubmengenmeßgerät	Sr/Y-90-Bremsstrahlenspektrum . . .	17
Abb. 2	dgl.	Pm-147-Bremsstrahlenspektrum . . .	18
Abb. 3	dgl.	Absorption der Sr/Y-90-Bremsstrahlung	19
Abb. 4	dgl.	Absorption der Sr/Y-90-Beta-Strahlung.	20
Abb. 5	dgl.	Am-141-Gamma-Strahlenspektrum . .	21
Abb. 6	dgl.	Absorption der Am-241-Gamma-Strahlung	22
Abb. 7	dgl.	Messanordnung, schematisch	23
Abb. 8	dgl.	Versuchskreislauf	24
Abb. 9	dgl.	Absorptionsvermögen der Keilscheibe .	25
Abb. 10	dgl.	Meß- und Eichspannung in Abhängigkeit von der Keilstellung für Sr/Y-90-Bremsstrahlung	26
Abb. 11	dgl.	Meß- und Eichspannung in Abhängigkeit von der Keilstellung für Sr/Y-90-Beta-Strahlung	27
Abb. 12	dgl.	Keilstellung in Abhängigkeit von der Dichte des Absorbers	28
Abb. 13	dgl.	Langzeittest	29
Abb. 14	dgl.	Meßanordnung, schematisch	30
Abb. 15	dgl.	Gesamtansicht	31
Abb. 16	dgl.	Quellen- und Fensteranordnung . . .	32
Abb. 17	dgl.	Teilansicht	33
Abb. 18	dgl.	Elektronik-Teil	34
Abb. 19	dgl.	Absorption der Am-241-Gamma-Strahlung	35
Abb. 20	dgl.	Langzeittest	36

ENTWICKLUNG EINES KALKSTAUBMENGENMESSGERÄTES (*)

1 — AUFGABENSTELLUNG

Das LD-AC-Verfahren zum Frischen von Roheisen mit Sauerstoff und pulverförmigem Feinkalk wurde für Roheisen mit einem Phosphorgehalt $> 0,5\%$ entwickelt.

Ebenso wie beim reinen LD-Prozeß wird Sauerstoff durch eine wassergekühlte Lanze auf das Eisenbad geblasen. Der zur Schlackenbildung notwendige Kalk wurde nach dem ursprünglichen Verfahren zusammen mit den Flußmitteln teilweise als Stückkalk in das Konvertergefäß eingesetzt. Das änderte sich mit der Bauart des Konverters und der Einführung eines Abstichloches in Höhe des Konverterhutes. Beim Abstich des erblasenen Stahles kann nun eine Restschlacke im Konvertergefäß zurückgehalten werden. Die Restschlacke macht das Setzen von Stückkalk überflüssig. Sie übernimmt für die nächstfolgende Schmelze die Aufgaben der Erstschlacke. Der gesamte Kalkzusatz wird beim LD-AC-Verfahren zusammen mit dem Sauerstoff als pulverförmiger Feinkalk durch die Lanze eingeblasen. Die hohe Temperatur, die dabei am Brennfleck entsteht, ergibt frühzeitig eine hochreaktionsfähige Schlacke. Es bildet sich Phosphorsäure (P_2O_5). Die Phosphorsäure wird von der Schlacke als Kalziumphosphat aufgenommen. Wenn der Phosphorgehalt bis unter $0,2\%$ und der Kohlenstoffgehalt auf $0,7 - 1\%$ gesunken sind, wird die nunmehr phosphorreiche Schlacke, die $20 - 25\%$ P_2O_5 enthält, abgezogen. Nach der Probenahme wird in der zweiten Phase mit einem Gemisch von Sauerstoff-Feinkalk weitergeblasen. Es bildet sich die Zweitschlacke. Die zum Frischen notwendige, weitere Sauerstoff- und Feinkalkmenge wird im praktischen Betrieb für die zweite Blasphase nach dem Ergebnis der Probenahme und nach Erfahrungswerten festgelegt.

Aus dem gesagten geht hervor, daß eine dosierte Zuführung von Sauerstoff und Feinkalk zur Schmelze für die Qualität der Schmelze von großer Bedeutung ist. Ein Ausfall der Feinkalk-Zuteilung kann sogar zum Verbrennen der Schmelze führen.

Der Feinkalk wird dem Sauerstoffstrom aus einem Vorratsbehälter mit einem mechanischen Zuteiler, dem Arbed-Zellenradzuteiler, zugemessen. Da der pulverförmige Kalk im Zuteilerbehälter stetig mit Sauerstoff durchmischt wird, fließt er dem Zellenzuteiler sehr gleichmäßig zu. Er wird dem Hauptsauerstoffstrom von den Zellen des Zuteilers unterhalb der Zellenradschleuse volumetrisch und kontinuierlich hinzugegeben.

Die Konstruktion des Zellenrades schließt eine stoßweise Dosierung aus. Wie die Erfahrung zeigt, ist das eine wichtige Voraussetzung für die metallurgische Wirkung des Blasens auf das Eisenbad im Konvertergefäß. Die Drehzahl des Zellenrades läßt sich regeln und der jeweiligen Blasphase anpassen. Das eingeblasene Kalkgewicht wird aus der Drehzahl des Zellenrades und aus der Abnahme des Behältergewichtes ermittelt. Zur Behältergewichtmessung werden Kraftmeßdosen verwendet.

Auch bei anderen mechanischen Feinkalkzuteilern, wie z.B. dem Klinger-Zuteiler und Axial-Förderdüse, wird die dem Sauerstoffstrom zugeführte Feinkalkmenge aus der Gewichtsabnahme des Feinkalkbehälters mit Kraftmeßdosen ermittelt.

(*) Manuskript erhalten am 25. Mai 1965.

Es soll hier nicht die Problematik einer kontinuierlichen Gewichtsbestimmung mittels Dehnungsmeßstreifen diskutiert werden; es seien nur einige kritische Punkte erwähnt. Dazu gehören u.a. die Nullpunkts-drift und die laufende Neubestimmung des Leergewichtes des Behälters. Auch die Änderung des Spannungszustandes zwischen dem Behälter und den Zu- und Ableitungsrohren durch Temperaturänderungen können zu erheblichen Fehlmessungen führen. Der Hauptnachteil dieser Meßmethode sollte aber der sein, daß die der Schmelze zugeführte Kalkstaubmenge nicht in dem Zuleitungsrohr gemessen, sondern aus der Gewichtsabnahme des Vorratsbehälters ermittelt wird. So ist durchaus der Fall denkbar, daß das Gewicht des Feinkalk-Behälters abnimmt, ohne daß Feinkalk dem Sauerstoffstrom zugeführt wird.

2 — ANDERE VERSUCHE ZUR FEINKALK-MENGENMESSUNG IM SAUERSTOFFSTROM AN LD-AC-KONVERTERN MIT RADIOAKTIVEN ISOTOPEN

Bisher ist nur ein Versuch bekannt, eine Feinkalk-Mengenmessung mit radioaktiven Isotopen durchzuführen. Bei diesem Versuch wurde 1 Curie Caesium-137 als Gamma-Strahlenquelle eingesetzt. Als Detektor diente ein Szintillationszähler, der mit Hilfe des Photo-Peaks des Cs-137-Spektrums stabilisiert wird. Die Meßstrecke zwischen Gamma-Strahlenquelle und Detektor betrug ca. 10 m, d.h., es wurde ein gradliniges Rohrstück von ca. 10 m Länge zwischen zwei Krümmern in Richtung der Rohrachse durchstrahlt. Diese große Meßstrecke ist wegen der geringen Feinkalkdichte im Sauerstoffstrom notwendig, um ein günstiges Flächengewicht bei gegebener Kalkdichte für die 660 KeV-Strahlung des Cs-137 zu erreichen.

Die Anzeige erfolgte in g/cm^3 ; die geförderte Feinkalkmenge betrug ca. 150 kg/min. Über die Anzeigegenauigkeit wurde nichts bekannt, auch ist diese Versuchsanlage heute nicht mehr in Betrieb. Wegen der erforderlichen hohen Quellstärke (1 Curie Caesium-137) ist in der Umgebung des Strahlenaustritts in der Meßstrecke mit einer hohen Gamma-Strahlen-Dosisleistung zu rechnen, die den Einsatz dieser Anlage als Betriebsmeßgerät stark einschränkt.

3 — VORGESCHLAGENE METHODE

Die vorgeschlagene Methode basiert darauf, mit möglichst weicher Kernstrahlung die Feinkalkdichte im Hauptsauerstoffstrom zu messen, um

- a) eine möglichst kurze Meßstrecke zu benötigen,
- b) einen möglichst geringen Aufwand für die Abschirmung der Strahlen-Quelle zu treiben.

Eine kurze Meßstrecke bringt zwei wesentliche Vorteile. Erstens kann wegen des kleinen Abstandes Quelle-Detektor die Aktivität der Quelle klein gehalten werden, und zweitens ist eine kurze Meßstrecke leichter zu realisieren.

Bei einer weichen Strahlung kann die Abschirmung so ausgelegt werden, daß der Kontrollbereich in die Abschirmung fällt, ohne daß die Abschirmung aufwendig wird. Damit sind keine zusätzlichen Absperrungsmaßnahmen im Betrieb notwendig, die für den Einsatz eines Betriebsmeßgerätes mit Radioisotopen oft von großer Bedeutung sind.

Das Verfahren und das Gerät sollen die für diesen Zweck gestellten Forderungen bei folgenden Arbeitsbedingungen erfüllen :

äußerer Durchmesser der Förderleitung :	80-120 mm
Wandstärke der Förderleitung :	5-10 mm
Temperatur des Fördergutes :	0-30 °C
Förderdruck :	4-6 atü
Durchflußmenge :	40-80 Nm ³ /min O ₂ 200-400 kg/min CaO
Meßgenauigkeit :	± 1 %

Die pro Zeiteinheit mit Sauerstoff durch eine Rohrleitung geblasene Feinkalkmenge läßt sich aus den Größen

Rohrquerschnitt
Durchflußgeschwindigkeit
Feinkalkdichte

bestimmen.

$$M [\text{g/sec}] = F [\text{cm}^2] \times v [\text{cm/sec}] \times \rho [\text{g/cm}^3]$$

Der Rohrquerschnitt ist in dieser Meßanordnung als konstant anzusehen.

Die Sauerstoff-Durchflußgeschwindigkeit kann durch Regelung konstant gehalten werden. In anderen Fällen muß die O₂-Durchflußgeschwindigkeit gemessen und über eine Multiplizierschaltung mit der Dichte-Messung verbunden werden.

Die Dichte soll mit einer weichen Kernstrahlung bestimmt werden, die von einer radioaktiven Quelle ausgesandt wird. Es ist ein Durchstrahlungsverfahren vorgesehen, bei dem das Förderrohr radial durchstrahlt werden soll, wenn mit einer so kurzen Meßstrecke (ca. 10 cm) gute Ergebnisse erreicht werden.

Im anderen Fall soll ein Förderrohrstück in Richtung der Rohrachse durchstrahlt werden.

4 — FEINKALKDICHTEN

Durch Variation der in der Aufgabenstellung gegebenen Grenzwerte für die Durchflußmengen und den Gasdruck ergibt sich für den Feinkalk eine Maximaldichte von

$$0,0125 \text{ g/cm}^3 \text{ — } 0,07 \text{ g/cm}^3$$

Die Sauerstoffdichte kann im Bereich

$$0,0072 \text{ g/cm}^3 \text{ — } 0,01 \text{ g/cm}^3$$

liegen.

5 — BESCHREIBUNG DER ENTWICKLUNGSARBEITEN

Während der Entwicklungsarbeit wurden in der Hauptsache drei Wege verfolgt :

- Durchstrahlung des Förderrohres radial mit einer geeigneten Gamma-Strahlung;
- Durchstrahlung des Förderrohres radial mit einer geeigneten Beta-Strahlung;
- Durchstrahlung des Förderrohres axial mit einer geeigneten Gamma-Strahlung.

Für die Feinkalkdichtebestimmung mit einer weichen Gamma-Strahlung in dem angeführten Dichtebereich und einer Meßstrecke von 10 cm ist eine monochromatische Gammastrahlung von 20 KeV optimal. Sie bietet den Vorteil, daß Sauerstoffdichteschwankungen sich auf grund der niedrigen Ordnungszahl nicht stark bemerkbar machen, da für diese Strahlung die Photoabsorption dominierend ist. Deshalb wurde als Target für die Bremsstrahlenquelle Silber verwendet, dessen Fluoreszenzstrahlung eine Energie von 22 KeV hat. Der Nachteil dieser weichen Strahlung ist, daß sie einmal stark in dem Fenstermaterial absorbiert wird, und zum anderen Kalkstaubablagerungen auf den Fenstern Fehlmessungen verursachen können. Die Fenster müssen entsprechend dünn gehalten werden, $2 \times 0,5$ mm Al sind zulässig. Die Kalkstaubablagerungen auf den Fenstern können durch einen in der Achse des Meßrohres und seitlich von den Fenstern gelagerten Kegel (Wirbelbildung) verhindert werden.

Die Untersuchungen wurden hauptsächlich mit den Beta-Strahlern Sr/Y-90 und Pm-147 durchgeführt. In Abb. 1 und 2 sind die Bremsstrahlenspektren von Sr/Y-90 und Pm-147 mit den dazugehörigen Absorptionskurven für Plexiglas und Aluminium aufgezeichnet. Bei diesen Spektren handelt es sich um die von dem Target zurückgestreuten Bremsstrahlen. In der vom Target zurückgestreuten Bremsstrahlung ist das Verhältnis der Target-Fluoreszenzstrahlung zum harten Bremsstrahlenanteil wesentlich günstiger als bei Durchstrahlung durch das Target.

Dies ist durch die Selbstabsorption der Targetfluoreszenzstrahlung in dem Target zu erklären. Als Rückstreutarget diente ein 0,3 mm starkes Silberblech. Detektor war ein NaJ (Tl)-Kristall von nur 1 mm Dicke, um für den harten Anteil des Bremsstrahlenspektrums eine möglichst geringe Ausbeute zu haben. Wie Abb. 2 zeigt, ist das Bremsstrahlenspektrum in Rückstreuung vom Silbertarget für Pm-147 fast monochromatisch.

Leider hat aber Pm-147 gegenüber dem Sr/Y-90 den Nachteil, daß Pm-147 aufgrund einer kleineren Beta-Energie eine wesentlich kleinere Bremsstrahlenausbeute besitzt. Das heißt, die Pm-147-Aktivität muß bei gleicher Bremsstrahlenintensität wesentlich größer als für Sr/Y-90 sein.

Die Versuche zeigten dann auch, daß mit Pm-147 nicht die Impulszahlen zu erreichen sind, die bei gegebener Zeitkonstante für einen maximalen statistischen Fehler notwendig sind.

In Abb. 3 ist für die Bremsstrahlung einer Sr/Y-90-Bremsstrahlenquelle mit Ag-Rückstreutarget das Absorptionsvermögen von Aluminium und Feinkalk (CaO) dargestellt. Feinkalk hat ein etwas größeres Absorptionsvermögen.

Es sei hier darauf hingewiesen, daß bei dieser Absorptionsmessung der Multiplierstrom gemessen wurde, während bei den vorhergehenden Absorptionsmessungen eine Impulsnormierung stattfand.

Die Abb. 3 zeigt einen steilen Abfall am Anfang der Absorptionskurve. In diesem Teil wird der weiche Anteil des Bremsstrahlenspektrums absorbiert. Danach wird die Absorptionskurve immer flacher. Die Absorption der Sr/Y-90-Bremsstrahlung in Feinkalk bei 1 mm Aluminium Vorabsorption ($1 \text{ mm Al} \simeq 0,27 \text{ g/cm}^2$) ist ebenfalls in Abb. 3 dargestellt. Hier ist der Abfall der Absorptionskurve am Anfang nicht so steil, weil in dem Vorabsorber (1 mm Al) der weiche Anteil des Bremsstrahlenspektrums schon absorbiert wurde.

Für $0,5 \text{ g/cm}^2$ Feinkalk beträgt die Empfindlichkeit nur noch ca. 3,5 % Detektorstromänderung pro $0,1 \text{ g/cm}^2$ Feinkalkflächengewichtänderung. Um ein Flächengewicht von $0,5 \text{ g/cm}^2$ Feinkalk mit einer 1 %igen Genauigkeit zu bestimmen, muß die Strahlungsintensität mit einer 0,18 %igen Genauigkeit gemessen werden. Hierfür dürfen aber die statistischen Schwankungen des Detektorstromes nicht größer als 0,06 % sein. Dies macht aber bei nicht allzu großen Zeitkonstanten erhebliche Impulszahlen notwendig, die bei einer tragbaren Aktivität der radioaktiven Quelle nicht realisierbar sind. Eine 10 %ige Meßgenauigkeit der Feinkalkdichte in einer Meßstrecke von 10 cm bis einer Vorabsorption durch $2 \times 0,5$ mm Al (Fenster) ist durchaus möglich.

Bevor auf die tatsächlich erreichte Meßgenauigkeit und die dabei verwendete Elektronik eingegangen wird, sollen noch die theoretisch möglichen Meßgenauigkeiten mit den zwei anderen Strahlenarten (Fall *b*) und *c*) diskutiert werden.

Die Feinkalkdichtebestimmung mit einer geeigneten Beta-Strahlung bietet einige Vorteile. Einmal kann die Dichtebestimmung sehr empfindlich gestaltet werden und zum anderen sind mit Beta-Strahlen Impulszahlen realisierbar, die eine störende Statistik verschwinden lassen. Nachteilig ist wieder die Notwendigkeit dünner Fenster, die Empfindlichkeit gegenüber Feinkalkablagerungen auf den Fenstern, die aber durch eine geeignete Wirbelerzeugung im Sauerstoffstrom verhindert werden kann, und die praktisch von der Ordnungszahl *Z* unabhängige Absorption der Beta-Strahlen. Dadurch können Sauerstoffdichteveränderungen größere Fehler verursachen.

Als geeigneter Beta-Strahler stand Sr/Y-90 zur Verfügung. Das Folgeprodukt Y-90 hat eine Maximal-Beta-Strahlen-Energie von 2,27 MeV, d.h., die Beta-Strahlen haben eine Reichweite von ca. 1 g/cm². In Abb. 4 ist für die Sr/Y-90-Beta-Strahlung das Absorptionsvermögen von Aluminium und Feinkalk dargestellt. Der stärkere Abfall der Kurve für Feinkalk kann seine Ursache in der größeren Absorption der beim Beta-Zerfall und beim Materialdurchgang auftretenden Bremsstrahlung haben.

Die ebenfalls in Abb. 4 eingezeichnete Absorptionskurve für Feinkalk bei 1 mm Al als Vorabsorption (Fenster) zeigt eine sehr gute Meßempfindlichkeit bis 0,4 g/cm² Feinkalk. In diesem Teil der Absorptionskurve beträgt die Meßempfindlichkeit ca. 25 % Detektorstromänderung pro 0,1 g/cm² Feinkalkflächengewichtsänderung. Um ein Flächengewicht von 0,4 g/cm²

Feinkalk mit einer 1 % igen Genauigkeit zu bestimmen, muß der Detektorstrom mit einer 1 %igen Genauigkeit gemessen werden. Dies sollte aber, da mit Beta-Strahlen erhebliche Impulszahlen zu erreichen sind, durchaus möglich sein.

Für den Fall *c*), Durchstrahlung des Förderrohres axial mit einer Gamma-Strahlung, ist Americium-241 ein geeigneter Gamma-Strahler. Am-241 sendet zu 35 % eine Gamma Komponente von 60 KeV und zu 2 % eine von 26 KeV aus. Seine Halbwertszeit beträgt 458 Jahre. Abb. 5 zeigt das Gamma-Strahlen-Spektrum von Am-241. Das Spektrum zeigt deutlich die beiden Gamma-Komponenten. Abb. 6 zeigt die Absorption der Am-241 Gamma-Strahlung durch Aluminium und Feinkalk bei einer Vorabsorption von 2 × 2 mm Al (Fenster). Die Empfindlichkeit bei 4 g/cm² Feinkalk beträgt 13 % Detektorstromänderung pro 1 g/cm² Flächengewicht Feinkalk. Um ein Feinkalkflächengewicht von 4 g/cm² mit einer 1 %igen Genauigkeit zu bekommen, muß der Detektorstrom mit einer 0,5 %igen Genauigkeit gemessen werden. Die Statistik darf dann nicht größer als 0,2 % sein. Diese Forderungen scheinen aber mit Am-241 durchaus realisierbar zu sein.

Zusammenfassung :

- a) Bei der Durchstrahlung des Förderrohres radial (Meßstrecke ca. 10 cm) mit der Bremsstrahlung von Sr/Y-90 in Rückstreuung von einem Ag-Target ist eine Meßgenauigkeit von 10 % realisierbar. Dazu dürfen die Strahlen-Fenster im Förderrohr nicht dicker als 2 × 0,5 mm Al sein.
- b) Bei der Durchstrahlung des Förderrohres radial (Meßstrecke ca. 10 cm) mit der Beta-Strahlung von Sr/Y-90 ist bis eine Feinkalkdichte von 0,04 g/cm³ eine Meßgenauigkeit von 1 % realisierbar. Dazu dürfen die Strahlenfenster im Förderrohr nicht dicker als 2 × 0,5 mm Al sein.
- c) Bei der Durchstrahlung des Förderrohres axial (Meßstrecke 50-70 cm) mit der Gamma-Strahlung von Am-241 ist eine Meßgenauigkeit von 1-2 % realisierbar. Hierfür dürfen die beiden Strahlen-Fenster im Förderrohr zusammen aus 4 mm Al sein. Durch die vergrößerte Meßstrecke wird der Fehler durch Feinkalkablagerungen auf dem Fenster 5-7 mal kleiner.

6 — ERSTE MESSANORDNUNG UND ERGEBNISSE

Die Versuche bei radialer Durchstrahlung des Förderrohres wurden mit der in Abb. 7 schematisch dargestellten Meßanordnung durchgeführt.

Die Strahlung der Meßquelle durchdringt die Förderrohrwände (Fenster) mit dem Flächengewicht $\rho_3 d_3$ und das Innere des Förderrohres mit dem Feinkalkflächengewicht $\rho_1 d_1$ und löst in dem Detektor (NaJ(Tl)-Kristall + Multiplier) den Detektorstrom

$$I_1 = I_{00} \exp - (\mu_1 \rho_1 d_1 + \mu_3 \rho_3 d_3)$$

$$I_1 = I_0 \exp (- \mu_1 \rho_1 d_1)$$

aus.

Die Zerhackerscheibe, die von einem Synchronmotor mit 1500 U/min angetrieben wird, läßt abwechselnd die Strahlung der Meß-Quelle und der Eichquelle auf den NaJ(Tl)-Kristall des Detektors fallen. Die Strahlung der Eichquelle durchdringt den Kompensationskeil (Keilscheibe mit dem Flächengewicht $\rho_2 d_2$) und löst in dem Detektor den Detektorstrom

$$I_2 = I_0 \exp (- \mu_1 \rho_2 d_2)$$

aus.

Über den Schalter S_1 , der mit Hilfe der Photodiode an der Zerhackerscheibe mit der Umlauffrequenz f_1 der Zerhackerscheibe umgeschaltet wird, läßt der Strom I_1 den Kondensator C_1 und der Strom I_2 den Kondensator C_2 auf. Für $I_1 = I_2$ sind die Spannungen über den beiden Kondensatoren gleich. Der Schalter S_2 tastet mit der Netzfrequenz die Spannung über den Kondensatoren ab. Für $I_1 = I_2$ entsteht über S_2 eine Wechselfrequenz, die verstärkt mit Hilfe des Stellmotors den Kompensationskeil so lange verstellt, bis $I_1 = I_2$ ist. Dafür muß die Bedingung

$$\mu_1 \rho_1 d_1 = \mu_1 \rho_2 d_2$$

erfüllt sein. Da d_2 eine Funktion der Stellung des Kompensationskeils ist und obige Bedingung immer eingestellt wird, ist die Stellung des Kompensationskeils ein Maß für die Feinkalkdichte ρ_1 . Die Stellung des Kompensationskeils wird angezeigt.

Diese Nullkompensation hat den Vorteil, daß gewisse Verstärkungsschwankungen der Anordnung keine Rolle spielen.

Zunächst wurde die Feinkalkdichtemessung mit der Sr/Y-90-Bremsstrahlung in Rückstreuung von einem Ag-Target versucht. Abb. 3 zeigt die Absorption dieses Bremsstrahlenspektrums in Aluminium und Feinkalk. Für diese Messungen wurde Feinkalk in Schalen mit Plastikfolieböden abgewogen, gleichmäßig verteilt und in den Meßstrahlengang gebracht.

Trotz intensiver Bemühungen scheiterten die Messungen am bewegten Kalkstaub. Abb. 8 zeigt den Versuchskreislauf. Das Radialgebläse fördert eine Luftmenge von 6 m³/min bei 35 mm WS. Diese Leistung reicht leider nicht aus; der Staub verteilt sich nicht gleichmäßig über den Querschnitt und lagert sich sehr schnell an der Wandung ab. Auch mit einem Gebläse mit der dreifachen Leistung konnte die Staubumwälzung nicht entscheidend verbessert werden. Definierte Kalkstaubdichtemessungen waren an bewegtem Feinkalk nicht möglich. Deshalb wurden die folgenden Messungen an Aluminium durchgeführt, da das Absorptionsvermögen von Aluminium etwa gleich dem von Feinkalk ist.

Zunächst wurde das Absorptionsvermögen der Kompensationsscheibe (Keilscheibe) bestimmt. Dieses ist in Abb. 9 dargestellt. Die Keilscheibe aus Aluminium hat eine lineare Steigung von 0,3 bis 3 mm auf 360 °, das entspricht einem Flächengewicht von 0,08 bis 0,8 g/cm². Die starke Absorption der Strahlung ohne Vorabsorber ergibt sich aus der Mitwirkung der Beta-Teilchen, die aus der Bremsstrahlenquelle herausgestreut werden. Diese sind durch den 4 mm Plexiglas-Vorabsorber sicher absorbiert worden.

In Abb. 10 ist die Größe der Spannungen über den Ladekondensatoren C_1 und C_2 in Abhängigkeit von der Kompensationskeilstellung aufgetragen. Die Spannung I ist diejenige der Meßstrahlung und die Spannung II ist diejenige der Eichstrahlung (Kompensationsstrahlung). Die Meßstrahlung ist konstant gehalten worden, trotzdem ändert sich die Spannung I mit der Keilstellung. Dies ist auf die nicht vollständige Absorption der Strahlung in der Zerhackerscheibe zurückzuführen; diese besteht aus 5 mm Stahl und schirmt die Strahlung zu etwa 60 % ab. Dadurch wird die Meßempfindlichkeit etwas verschlechtert, weil die Differenz zwischen U_1 und U_2 kleiner wird.

Die mit dieser Meßanordnung und der Sr/Y-90-Bremsstrahlung in Rückstreuung von einem Ag-Target erreichten Ergebnisse waren recht gut, jedoch die erstrebte Meßgenauigkeit von 1 % war nicht zu erreichen. Die Meßunsicherheit betrug ca. 10 %, die einmal auf die Statistik und zum anderen auf die schwache Absorption der Gamma-Strahlung in dem Absorber (Feinkalk, Aluminium) gegebenen Flächengewichts zurückzuführen ist.

Deshalb wurde als zweites die Feinkalkdichtebestimmung mit der Beta-Strahlung von Sr/Y-90 versucht. Hierbei bestand die Hoffnung, so große Impulszahlen zu erreichen, daß eine störende Statistik sich nicht mehr bemerkbar macht. Außerdem ist das Absorptionsvermögen der Sr/Y-90 Beta-Strahlung in Feinkalk und Aluminium (Abb. 4) wesentlich größer, so daß sich eine wesentlich bessere Meßempfindlichkeit ergibt.

Abb. 11 zeigt die Spannungen U_1 und U_2 über den Ladekondensatoren der elektronischen Meßanordnung in Abhängigkeit von der Keilstellung. Die der Meßstrahlung zugehörige Spannung U_1 ändert sich bei konstanter Einstrahlung etwas. Die ist wieder auf die ungenügende Abschirmung durch die Zerhackerscheibe zurückzuführen. Die beiden Spannungen U_1 und U_2 divergieren bis 230 ° Keilstellung (ca. 0,5 g/cm² Al) aber sehr stark, welches eine große Meßempfindlichkeit verspricht.

Abb. 12 bringt die Abhängigkeit der Stellung der Keilscheibe vom Flächengewicht des Absorbers (Aluminium), Vorabsorber sind $2 \times 0,5$ mm Al bzw. 2×1 mm Plexiglas, die die Fenster im Feinkalkförderrohr simulieren. Die Abweichungen der Meßpunkte von der Linearität sind in erster Linie auf die Unlinearität des Kompensationskeils (Keilscheibe) zurückzuführen. Bezeichnend für die Meßgenauigkeit dieser Anordnung ist jedoch, daß diese Meßpunkte mit einer 1 % igen Genauigkeit reproduzierbar sind.

Dieses wird auch durch den in Abb. 13 dargestellten Dauertest bestätigt. Auf der Basis ist die Zeit in Tagen, auf der Ordinate die Keilstellung in Grad aufgetragen. Parameter ist das Flächengewicht. In diesem Test wurden die Aluminium-Absorber verschiedenen Flächengewichts laufend in den Meßstrahlengang hineingebracht und wieder herausgenommen. Die gute Reproduzierbarkeit der Meßpunkte ist aus Abb. 13 ersichtlich; die Abweichungen sind nicht größer als 1 %.

Bei hohen Flächengewichten ergibt sich mit der Zeit eine steigende Tendenz in der Anzeige. Dies ist auf die Multiplierermüdung zurückzuführen. Während der Zeit des Dauerversuchs ging der Multiplierstrom um mehr als 30 % zurück. Durch eine entsprechende Hochspannungserhöhung konnte die Multiplierermüdung kompensiert werden. Dadurch wurde die steigende Tendenz der Meßwerte bei hohen Flächengewichten wesentlich verringert. Die Schwankungen der Meßwerte sind ebenfalls auf die temperaturabhängige Verstärkung von Multiplier und Kristall zurückzuführen; denn die Temperaturabhängigkeit der Meßwerte konnte durch eine entsprechende Nachregelung der Multiplierhochspannung kompensiert werden.

Aus diesem Dauertest ergibt sich also, daß Verstärkungsschwankungen, speziell die von Kristall und Multiplier, doch einen gewissen Einfluß auf die Anzeige haben. Diese Tatsache ist zunächst überraschend, ist aber durch Unterschiede in der Energieverteilung der Betastrahlenquellen (Meßquelle und Eichquelle), hier vorgerufen durch verschiedene Vorabsorptionen, zu erklären.

Durch Versuche konnte dies bestätigt werden. Die Abhängigkeit der Anzeige von Verstärkungsänderungen des Multipliers (durch Variation der Hochspannung) ist abhängig von der Vorabsorption an der Eichquelle.

Dies kann aber durch eine Änderung der in Abb. 7 dargestellten Meßanordnung verhindert werden. Es muß nur dafür gesorgt werden, daß die Multiplierermüdung durch eine entsprechende Hochspannungserhöhung automatisch kompensiert wird. Dazu wird die Kompensations-Keilscheibe aus dem Eichstrahlengang herausgenommen und in den Meßstrahlengang gebracht. Die Strahlung der Eichquelle löst dann bei konstanter Detektor-Verstärkung den Detektorstrom

$$I_2 = \text{const}$$

aus und erzeugt über dem Ladekondensator die Spannung

$$U_2 = \text{const}$$

Ändert sich die Verstärkung des Detektors, so ändert sich die Spannung U_2 über dem Ladekondensator. Mit Hilfe der Spannung U_2 kann die Hochspannung des Multipliziers gesteuert werden, so daß die Spannung U_2 konstant bleibt. Durch solch einen Regelkreis werden also die Verstärkungsänderungen des Detektors durch Hochspannungsänderungen automatisch kompensiert.

Die Kompensationskeilscheibe mit dem Flächengewicht $\rho_2 d_2$ im Meßstrahlengang stellt sich dann laufend so ein, daß die Bedingung

$$I_1 = I_0 \exp(-\mu_1 \rho_1 d_1 - \mu_2 \rho_2 d_2) = I_2$$

erfüllt ist. D.h., es muß sein

$$\mu_1 \rho_1 d_1 + \mu_2 \rho_2 d_2 = \text{const} = \mu_1 \rho_{1max} d_1$$

d.h., die Feinkalkdichte ist proportional der Stellung der Keilscheibe

$$\rho_1 = A - B d_2$$

Diese Anordnung hat aber einen Nachteil; über den gesamten Meßbereich wird nur mit der Empfindlichkeit gemessen, die bei der maximalen Feinkalkdichte ρ_{max} möglich ist. Eine Steigerung der Meßempfindlichkeit findet bei dieser Meßanordnung nicht statt. Wenn der Meßbereich bis zu einem Flächengewicht von nur $0,4 \text{ g/cm}^2$ ausgedehnt wird, ist aber in dieser Meßanordnung eine 1 %ige Meßgenauigkeit auch über längere Zeit möglich.

Zusammenfassung :

Die Versuche zeigten, daß bei radialer Durchstrahlung des Förderrohres mit der Sr/Y-90-Bremsstrahlung in Rückstreuung von einem Ag-Target die Feinkalkdichtebestimmung mit nur 10 %iger Genauigkeit möglich ist.

Bei radialer Durchstrahlung des Förderrohres mit der Sr/Y-90-Beta-Strahlung ist die Feinkalkdichtebestimmung mit einer 1 %igen Genauigkeit möglich.

Beide Verfahren benötigen dünne Fenster ($2 \times 0,5 \text{ mm Al}$). Feinkalkablagerungen auf den Fenstern müssen unbedingt verhindert werden, da diese zu größeren Fehlern führen können. Durch wirbelerzeugende Körper im Sauerstoffstrom ist dieses möglich.

Mit der in Abb. 7 schematisch dargestellten Meßanordnung ist eine 1 %ige Meßgenauigkeit möglich, jedoch ist wegen der Multiplierermüdung diese Meßgenauigkeit nicht über längere Zeit zu halten.

Durch eine Modifikation der Meßanordnung derart, daß die Kompensationskeilscheibe in den Meßstrahlengang verlegt wird, ist eine 1 %ige Meßgenauigkeit auch über längere Zeit möglich, jedoch nur bis ca. $0,4 \text{ g/cm}^2$ Flächengewicht.

7 — ZWEITE MESSANORDNUNG UND ERGEBNISSE

In dieser zweiten Meßanordnung sollen folgende Nachteile der ersten Meßanordnung vermieden werden :

1. Die Notwendigkeit dünner Fenster.
2. Die starke Empfindlichkeit gegenüber Feinkalkablagerungen auf den Fenstern.
3. Die Empfindlichkeit gegenüber Sauerstoffdichteschwankungen, wegen der von der Ordnungszahl Z unabhängigen Absorption der Beta-Strahlen.
4. Die Fehlermöglichkeit durch Multipliererermüdung.
5. Die Reduzierung der Meßgenauigkeit bei der Kompensation der Multipliererermüdung.

Punkt 1 kann durch eine härtere Strahlung, Punkt 2 durch eine größere Meßstrecke, Punkt 3 durch eine Gamma-Strahlung, Punkt 4 durch eine geeignete Regelschaltung und Punkt 5 durch eine andere Meßanordnung erfüllt werden.

Die ersten drei Forderungen werden durch das radioaktive Isotop Americium-241 weitgehend erfüllt. Sein Gamma-Strahlen-Spektrum (60 KeV und 26 KeV) und die Absorption dieser Strahlung in Aluminium und Feinkalk sind in Abb. 5 und 6 dargestellt. Aus der Absorptionskurve für Aluminium geht hervor, daß Strahlenfenster aus $2 \times 2 \text{ mm Al}$ ohne weiteres zulässig sind. Notfalls können die Strahlenfenster in dem Förderrohr auch noch dicker sein, da durch die Absorption der Am-241-Gamma-Strahlung die Energieverteilung der Gamma-Strahlen nicht geändert wird und somit keinen Einfluß auf die Meßempfindlichkeit ausübt. Durch dickere Fenster ist nur eine größere Aktivität der Strahlenquelle notwendig, um am Detektor eine bestimmte Strahlen-Intensität zu erreichen.

Die härtere Gamma-Strahlung (60 KeV) macht natürlich eine größere Meßstrecke notwendig, um bei gegebener Feinkalkdichte (max. $0,07 \text{ g/cm}^3$) ein ausreichendes Flächengewicht ($3 - 5 \text{ g/cm}^2$) zu erhalten. Im allgemeinen wird eine Meßstrecke von 0,5-1 m notwendig sein. Die größere Meßstrecke bringt den Vorteil, daß Kalkablagerungen auf den Fenstern kleinere Fehler verursachen. Für die 60 KeV-Gamma-Strahlung ist die Photo-Absorption dominierend, so daß Sauerstoffdichteschwankungen sich wegen der Z^3 -abhängigkeit der Photo-Absorption nicht so stark bemerkbar machen.

In Abb. 14 ist die zweite Meßanordnung schematisch dargestellt. Die Zerhackerscheibe, die von einem Motor mit 1500 U/min angetrieben wird, läßt abwechselnd die Strahlung der Meßquelle und der Eichquelle auf den Kristall des Detektors (Szintillationszähler) fallen. Mit der Umlauffrequenz der Zerhackerscheibe wird mit Hilfe der Photodiode der elektronische Schalter S umgeschaltet, so daß der von der Meßquelle ausgelöste Detektorstrom die Spannung U_2 an der RC-Kombination bildet.

Beide Spannungen werden durch zwei identische Verstärker verstärkt. Die verstärkte Spannung U_1 gelangt zur Anzeige und ist ein Maß für die Feinkalkdichte in dem Förderrohr. Die Spannung U_2 wird verstärkt und steuert die Hochspannung für den Photomultiplier. Bei konstanter Detektorverstärkung ist U_2 konstant; variiert die Detektorverstärkung, dann ändert sich die Spannung U_2 ; durch den geschlossenen Regelkreis wird aber bei Variation der Spannung U_2

durch die Hochspannung die Verstärkung des Multipliers so nachgestellt, daß U_2 und damit die Multipliiervverstärkung konstant bleibt. Durch diesen Regelkreis wird die Multipliiervermüdung automatisch kompensiert. Die direkte Anzeige der Intensität der Meßquelle bringt den Vorteil, daß bei kleinerer Feinkalkdichte die Impulszahl im Detektor größer ist und damit die Meßgenauigkeit gesteigert wird.

Abb. 15 zeigt ein Bild der gesamten Meßanordnung. Die Meßstrecke liegt zwischen zwei Krümmern im Förderrohr und beträgt in dem Bild 500 mm. Die Meßquelle (100 mC Am-241) konnte direkt in den Krümmer eingearbeitet werden, da wegen der weichen Gamma-Strahlung (60 KeV) keine Abschirmungssorgen bestanden. Der andere Krümmer enthält das Strahlen-Austrittsfenster. Beide Fenster sind aus Aluminium und sind ca. 2 mm dick.

Abb. 16 zeigt einen Schnitt durch die Meßrohr-Anordnung.

Abb. 17 zeigt ein Bild der Zerhacker-Anordnung. Von links kommend trifft die Meß-Strahlung auf den NaJ(Tl)-Kristall des Detektors, von rechts die Strahlung der Eichquelle (5 mC Am-241). Die Zerhackerscheibe läßt abwechselnd die Gamma-Strahlung von links und von rechts auf den Kristall treffen. Die Photodiode, die von den Lampen ausgeleuchtet wird, schaltet den elektronischen Schalter S (Abb. 14). Es sind zwei Glühlampen in einer Sicherheits-schaltung angeordnet worden, von denen nur eine leuchtet. Sobald diese erlischt, leuchtet die zweite auf. Der Ausfall der Glühlampe wird durch eine dritte Lampe (Schalter) auf der Frontplatte der Elektronik (Abb. 18) angezeigt.

Für den mechanischen Aufbau der Elektronik (Abb. 18) wurde die Einschubbauweise gewählt. Die auswechselbaren Einschübe sind in einem verschließbaren Stahlblechgehäuse zusammengefaßt; ein Ventilator sorgt für eine Luftumwälzung innerhalb des Gehäuses. Die Einschübe enthalten die steckbar auswechselbaren gedruckten Schaltungen und sonstige Bauelemente der einzelnen Elektronik-Einheiten.

Abb. 19 zeigt die Eichkurve für das Anzeigeinstrument für Feinkalk bis zu einem Flächen-gewicht von 5 g/cm^2 bei einer Meßstrecke von 500 mm. Die Abb. enthält ebenfalls die Absorp-tionskurve für Aluminium. Aus der Absorptionskurve für Feinkalk läßt sich schon die gute Meßempfindlichkeit der Anordnung herauslesen.

Abb. 20 zeigt die Stabilität der Meßanordnung über 12×12 Stunden. Zwischendurch wurde die Meßanordnung einige Male ausgeschaltet, um die Reproduzierbarkeit des Meßwertes zu zeigen. Die ist recht gut; die Reproduzierbarkeit beträgt ca. 1 %. Die Kurzzeitstabilität (Breite des geschriebenen Meßwertes) ist $\pm 1 \%$ und ist im wesentlichen durch die statistischen Schwankungen gegeben. Durch Erhöhung der Impulszahl, durch Vergrößerung der Aktivität der Meßquelle oder durch Verkürzung der Meßstrecke kann diese Kurzzeitstabilität wesentlich verbessert werden.

Die Papiervorschubgeschwindigkeit war 20 mm/h; der Schrieb beginnt links oben und endet rechts unten auf Abb. 20.

Die größte Abweichung der Anzeige während des 12×12 Stunden Langzeittests vom Anfangswert betrug + 3,5 %. Diese Abweichung, die auf die Temperaturabhängigkeit einiger Halbleiterbauelemente in der Elektronik zurückzuführen ist, konnte inzwischen durch die Ein-bringung eines temperaturabhängigen Gliedes in die Elektronik auf 1-2 % reduziert werden. Für die Frischzeit nach dem LD-AC-Prozeß von ca. 45 min. ist die Stabilität der Anzeige wesent-lich besser als 1 %, so daß die 1 %ige Meßgenauigkeit sicher erreicht wird.

8 — ZUSAMMENFASSUNG

Es wurde gezeigt, daß eine Feinkalkdichtebestimmung mittels ionisierender Strahlung möglich ist. Als Strahlenquellen sind die Bremsstrahlung von Sr/Y-90 in Rückstreuung von einem Silber-Target, die Beta-Strahlung von Sr/Y-90 und die Gamma-Strahlung von Am-241 geeignet.

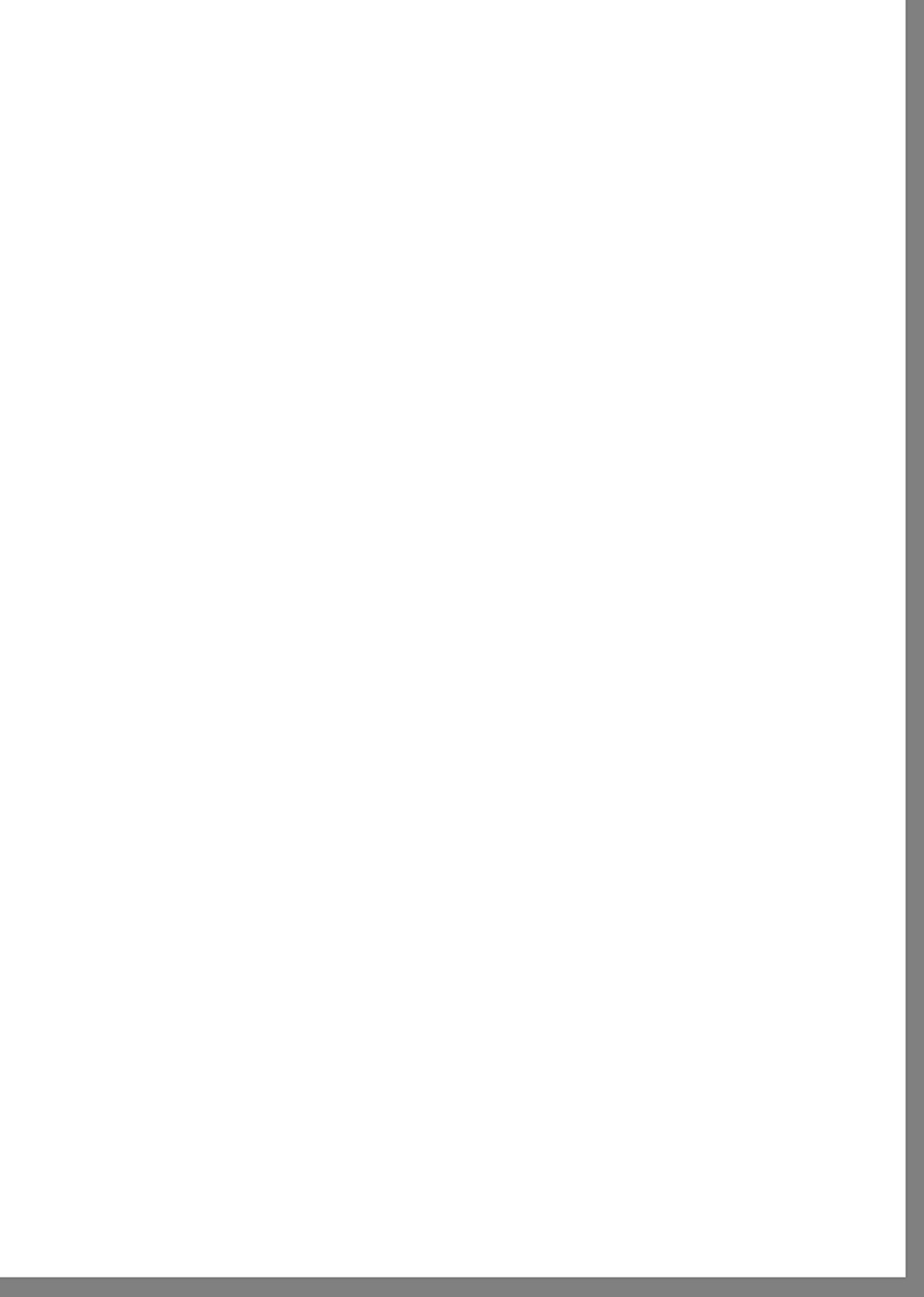
Die erste Meßanordnung basiert auf einer Nullkompensation, bei der laufend die Intensität der Meßstrahlung mit der Intensität einer Eichstrahlung verglichen wird. Bei der zweiten Meßanordnung wird die Verstärkung des Detektors mit Hilfe einer Eichstrahlung stabilisiert. Die Intensität der Meßstrahlung wird zur Anzeige gebracht und ist ein Maß für die Feinkalkdichte.

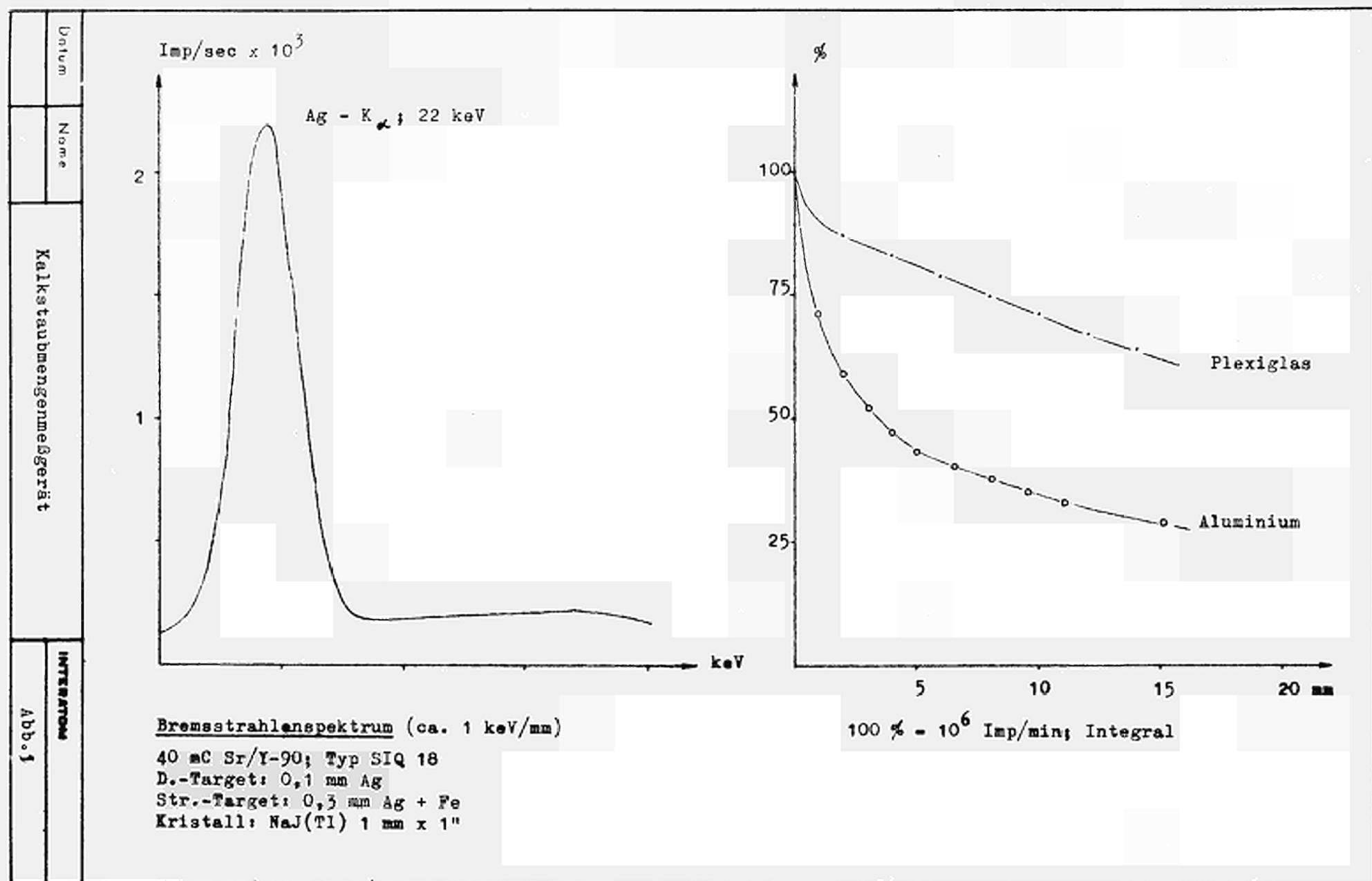
Mit der Bremsstrahlung konnte bei einer vertretbaren Aktivität der Strahlenquellen und bei einer ausreichenden Anzeigegeschwindigkeit eine nur 10 %ige Genauigkeit erreicht werden. Mit der Beta-Strahlung sind die Meßwerte mit einer 1 %igen Genauigkeit reproduzierbar.

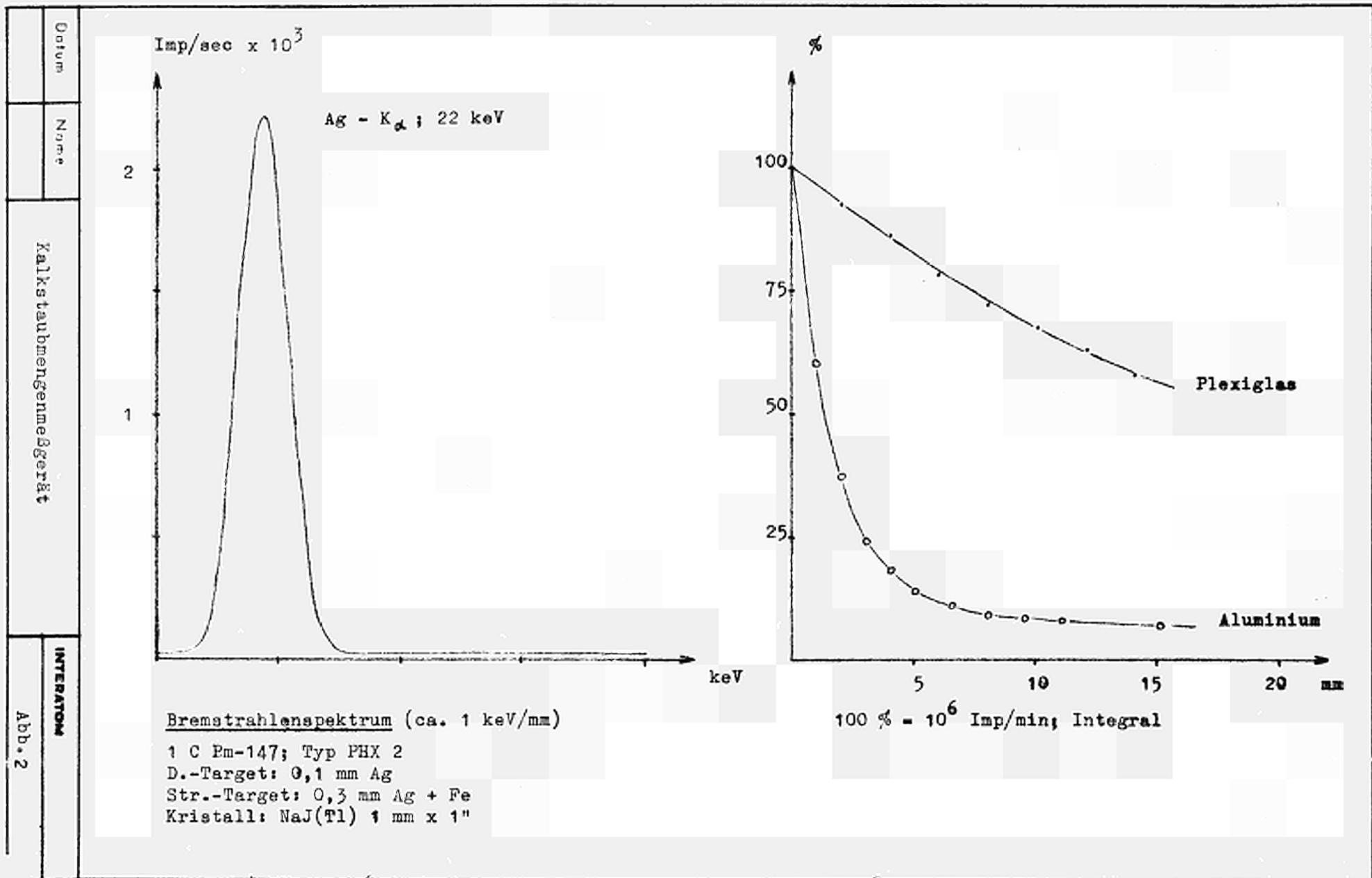
Mit der Gamma-Strahlung von Am-241 konnte in der zweiten Meßanordnung eine 1 %ige Meßgenauigkeit bei einer Langzeitstabilität von 1-2 % erreicht werden.

Leider waren Messungen an bewegtem Feinkalk nicht möglich. Somit konnten auch nicht der Abrieb an den Strahlen-Fenstern und der Einfluß von Feinkalkablagerungen auf den Fenstern über längere Zeit untersucht werden. Diese Fragen werden bei der praktischen Erprobung des Gerätes, die in absehbarer Zeit vorgenommen wird, geklärt.

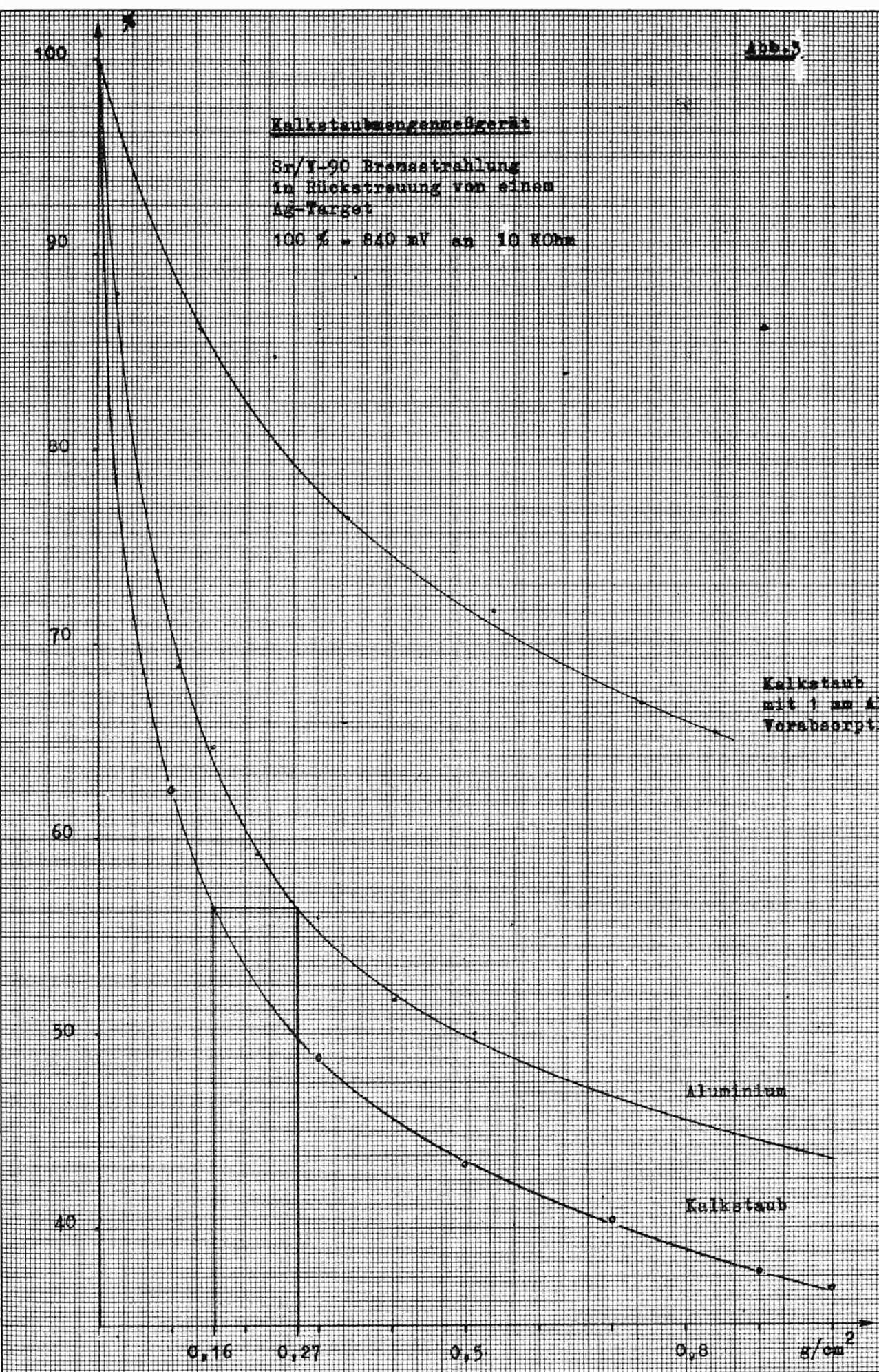
Die Kosten für den Bau dieses Kalkstaubdichtemeßgerätes betragen ca. DM 18.000,— bis DM 20.000, .







Kalkstaubmengenmeßgerät
Sr/⁹⁰Y-90 Brenneinstrahlung
in Rückstreuung von einem
Ag-Target
100 % = 840 mV an 10 KOhm



Kalkstaubnengenmeßgerät

Sr/Y-90 Beta-Strahlung

100 % = 950 mV an 10 KOhm

100

90

80

70

60

50

40

30

20

10

Aluminium

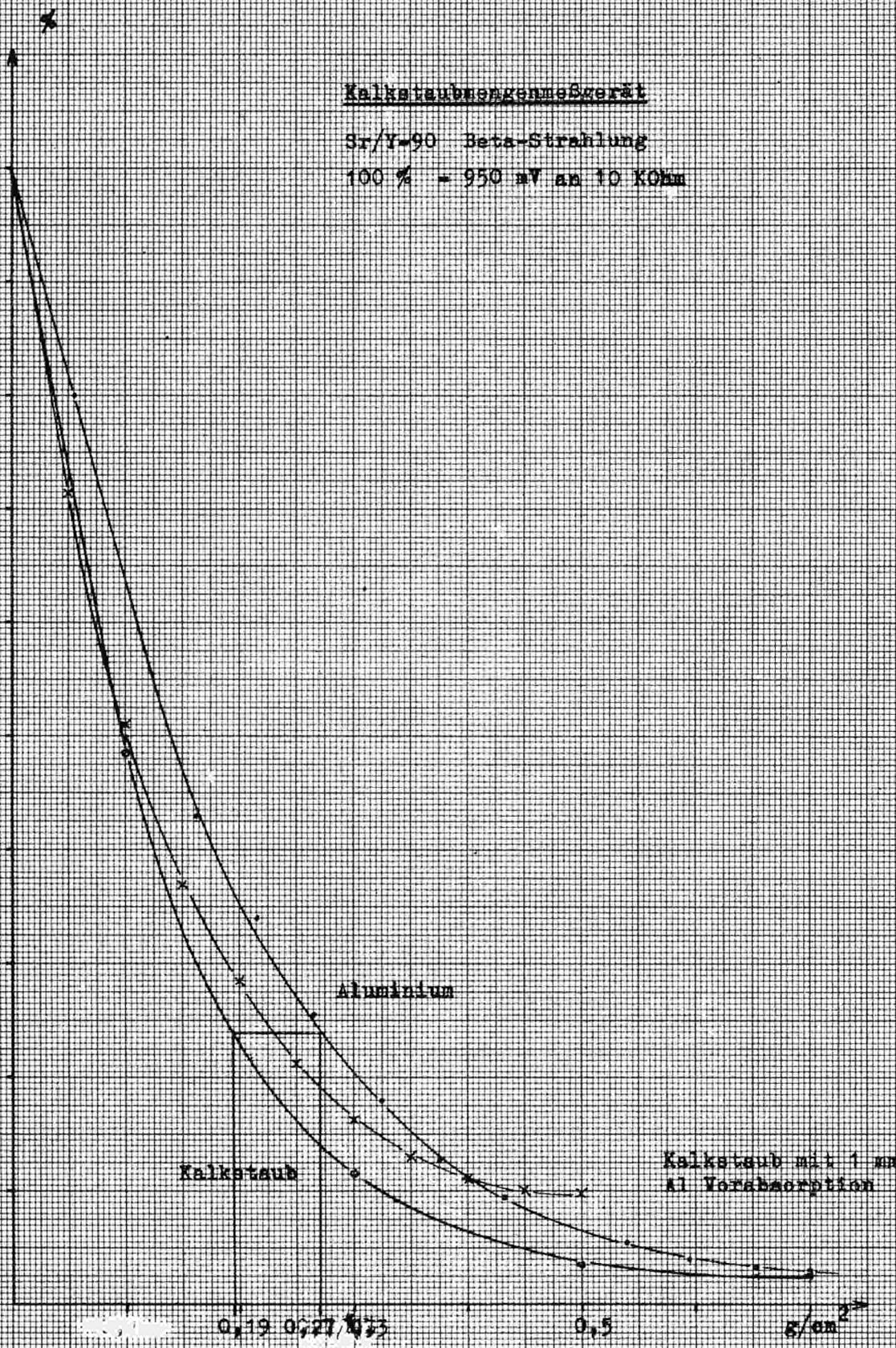
Kalkstaub

Kalkstaub mit 1 µm Al Vorabsorption

0,19 0,27 0,35

0,5

g/cm²



Imp/min $\times 10^5$

3

2

1

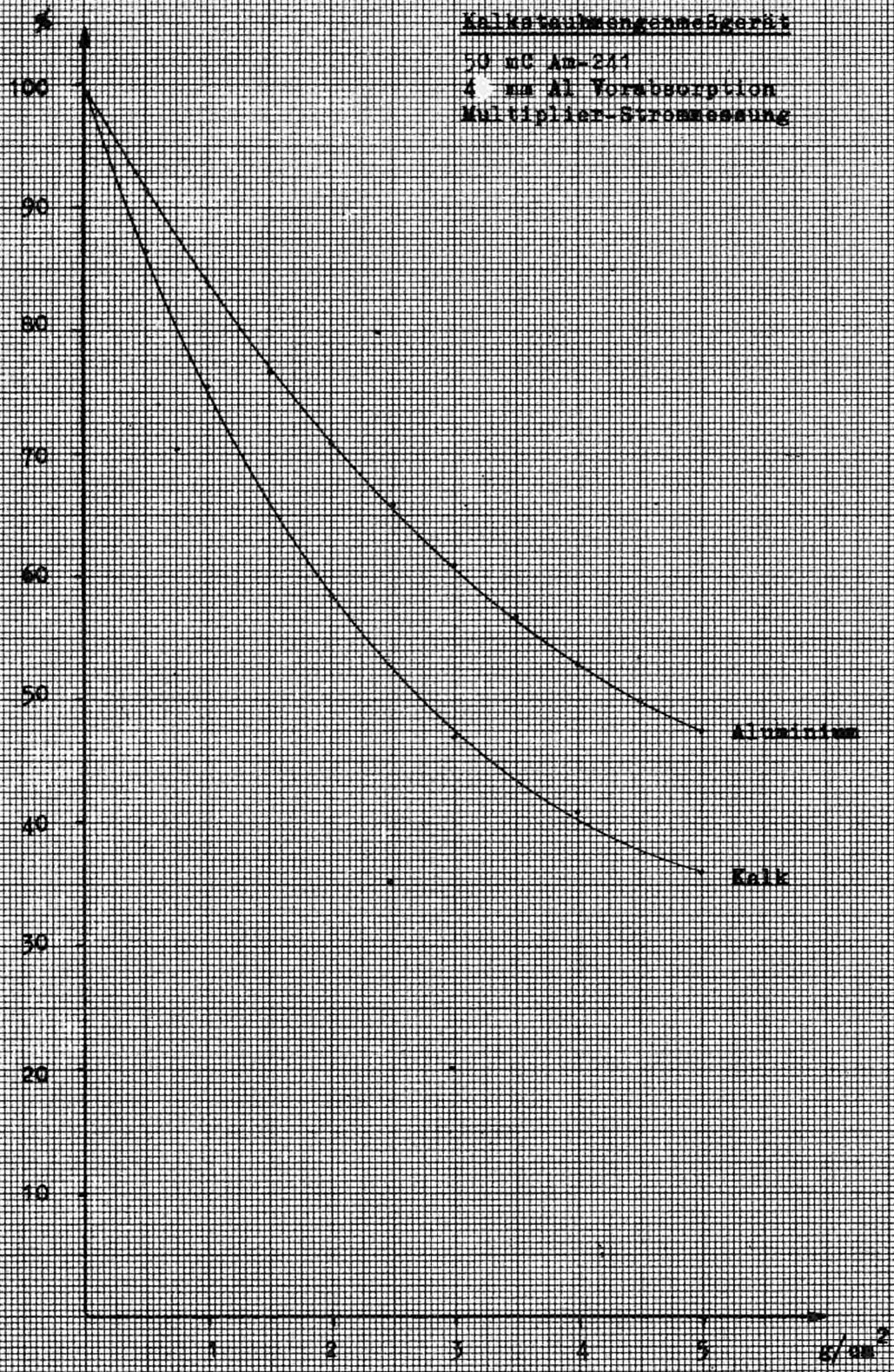
26 KeV

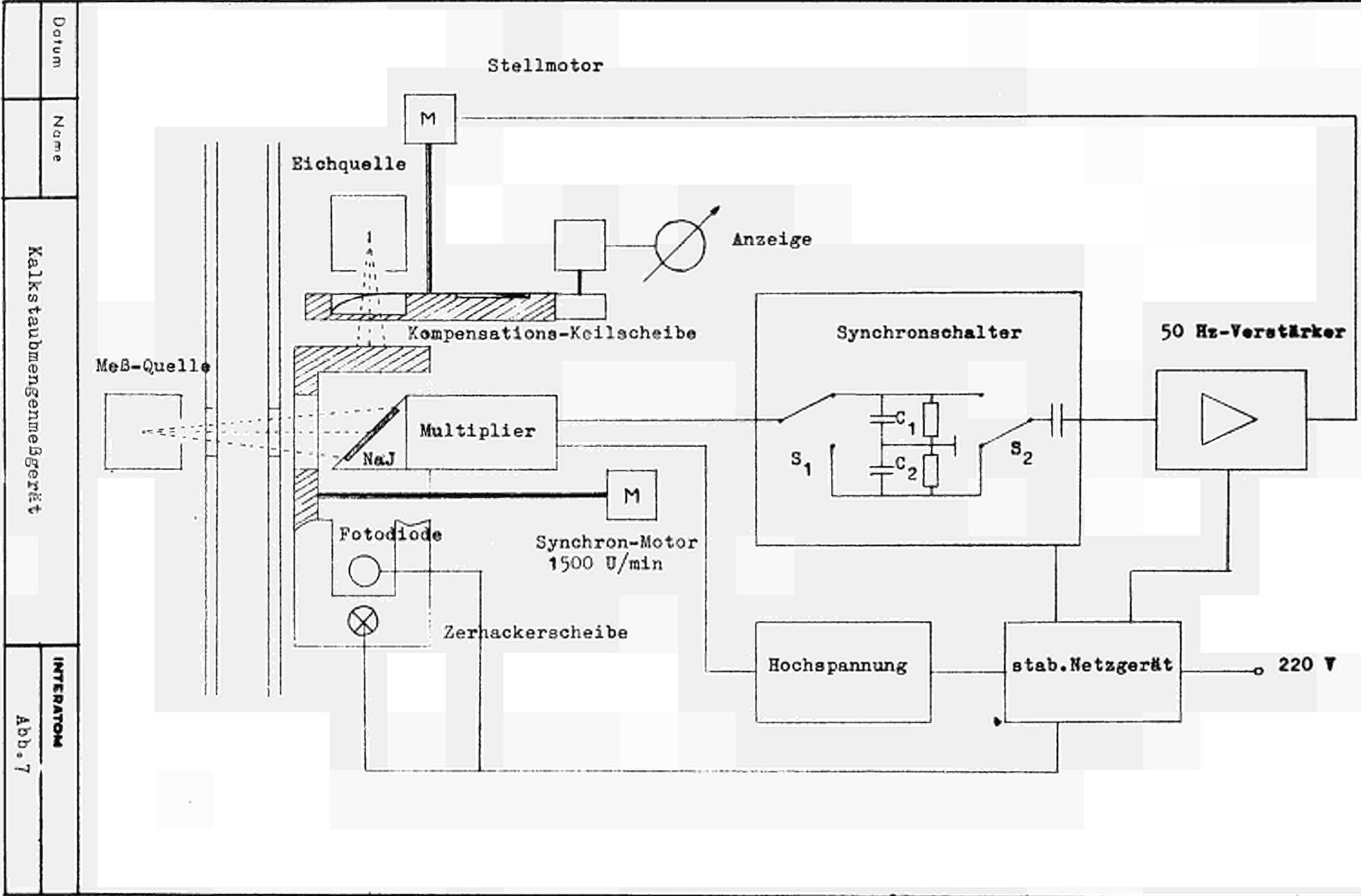
59 KeV

KeV

50 μ C Am-241, Ca: 1 KeV/ μ m
Kristall: NaI(Tl), $1'' \times 1''$

Abb. 6





Datum

Name

Kalkstaubmengengerät

INTERATOM

Abb. 7

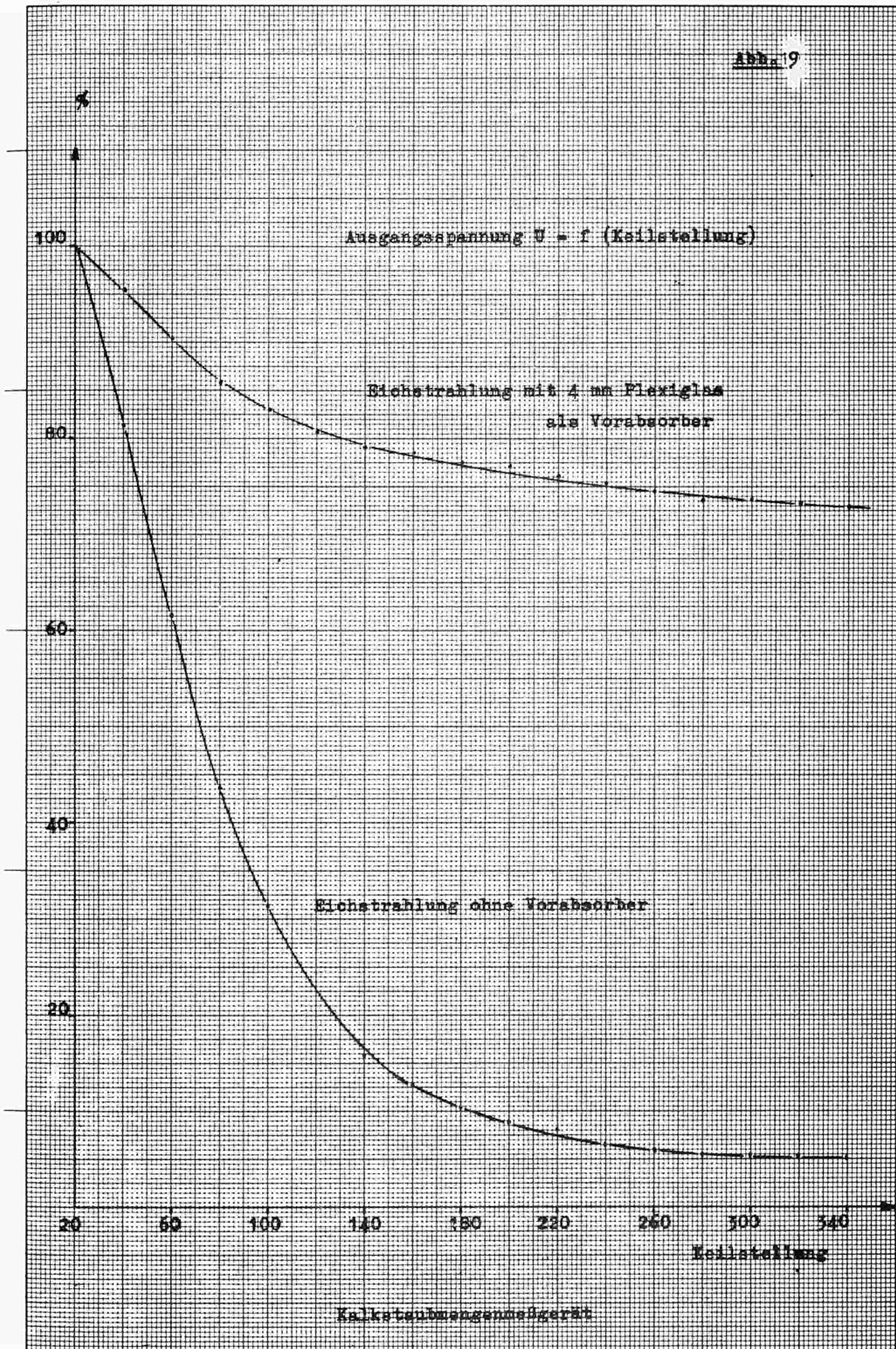
Ausgangsspannung $U = f$ (Keilstellung)

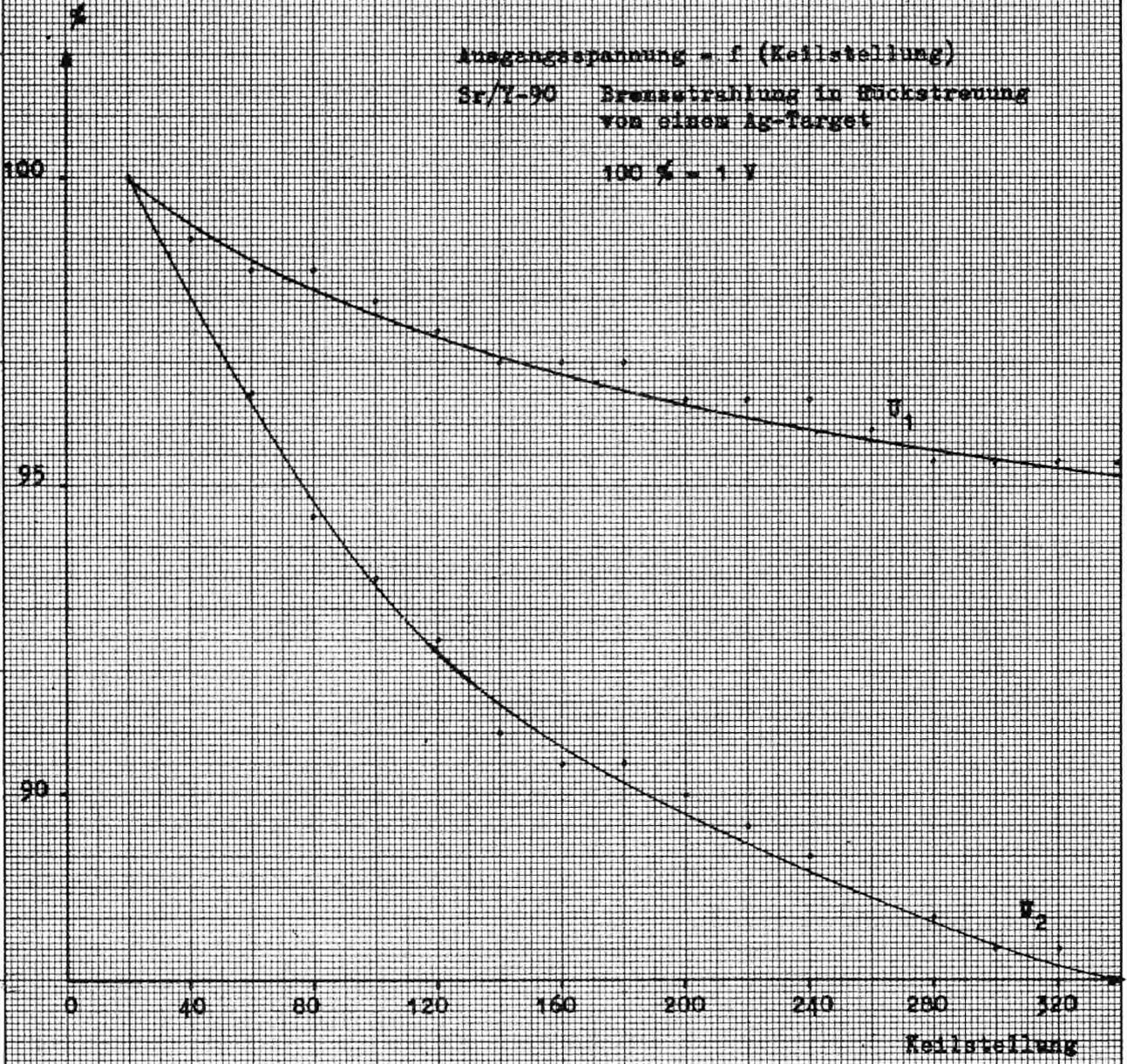
Eichstrahlung mit 4 mm Flexiglas
als Vorabsorber

Eichstrahlung ohne Vorabsorber

Keilstellung

Kalksteinbrennungsgerät

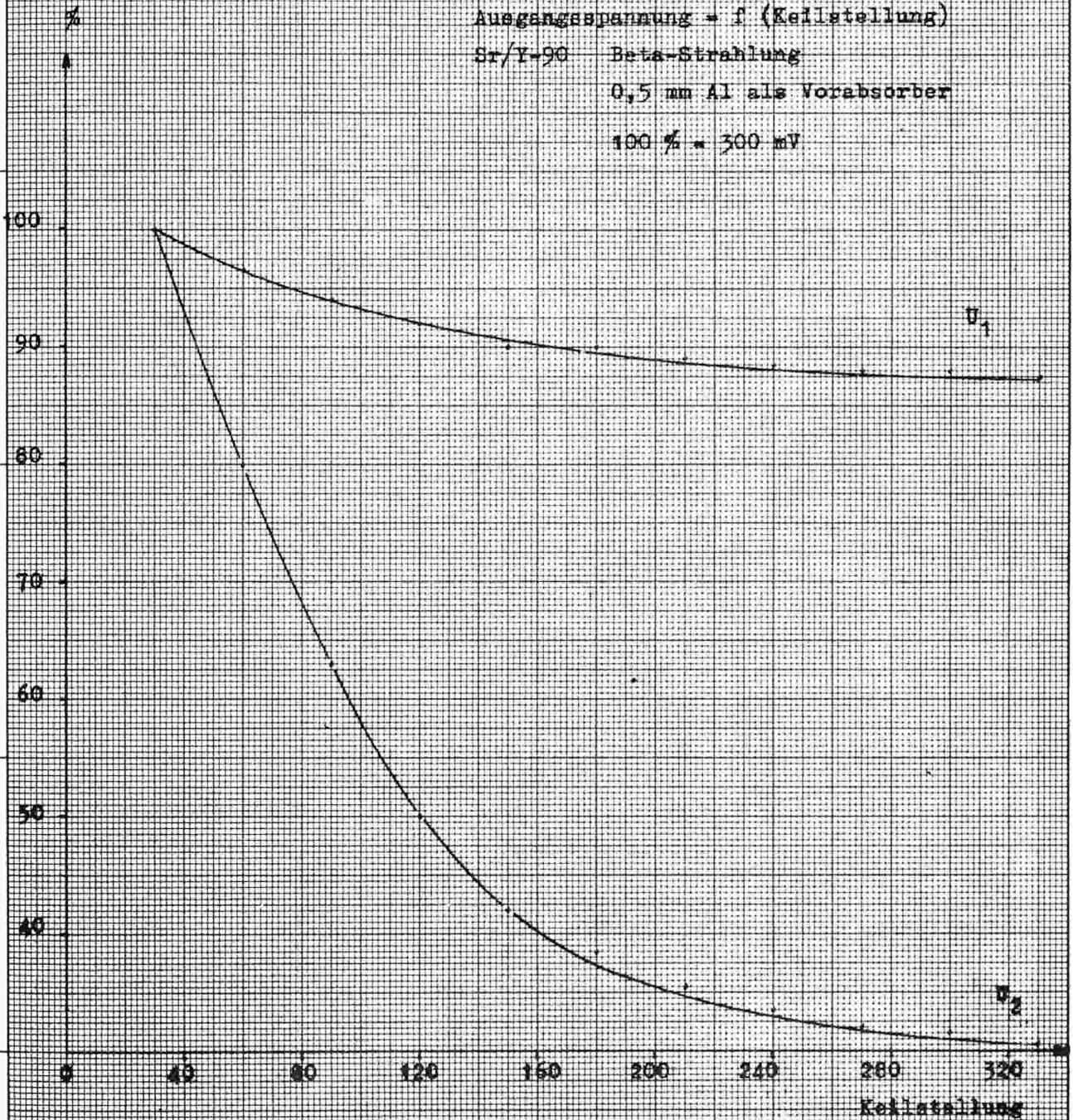




Kalkstaubmengenmeßgerät

Abba 11

Ausgangsspannung = f (Keilstellung)
Sr/Y-90 Beta-Strahlung
0,5 mm Al als Vorabsorber
100 % = 300 mV



Kalkstaubmengenmeßgerät

Keilstellung

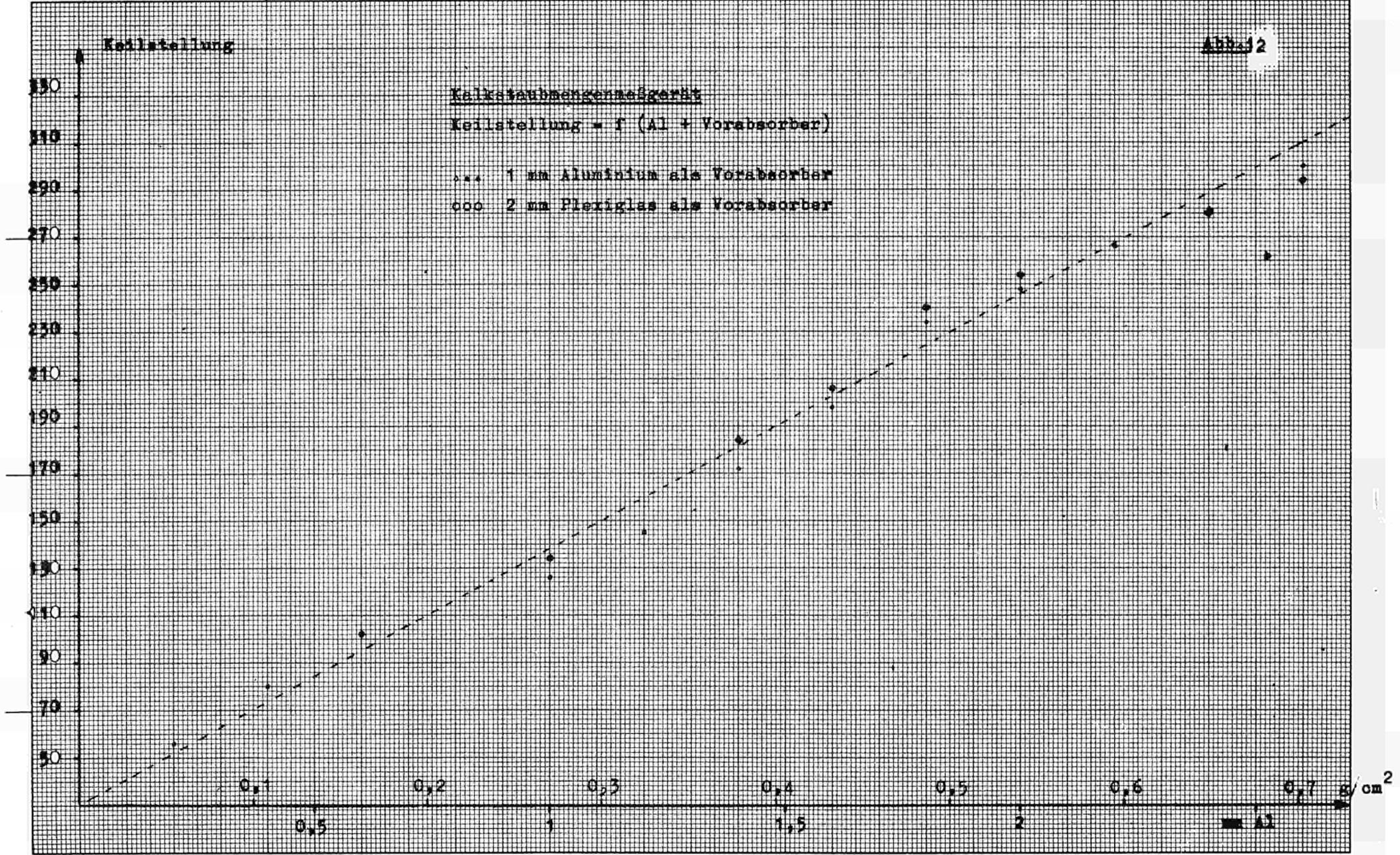
Abb. 12

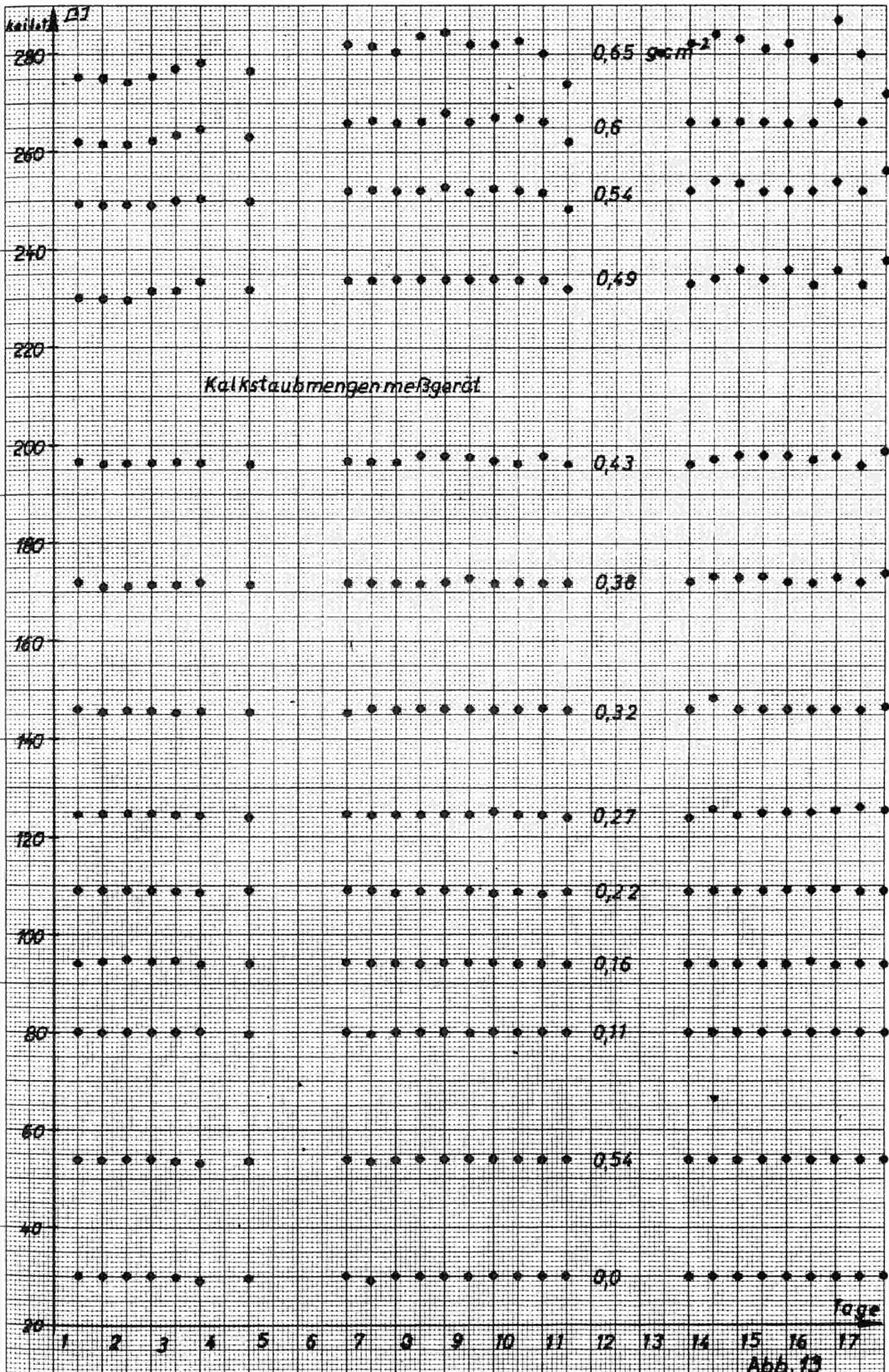
Kalkstaubmengenmeßgerät

Keilstellung = f (Al + Vorabsorber)

••• 1 mm Aluminium als Vorabsorber

ooo 2 mm Plexiglas als Vorabsorber





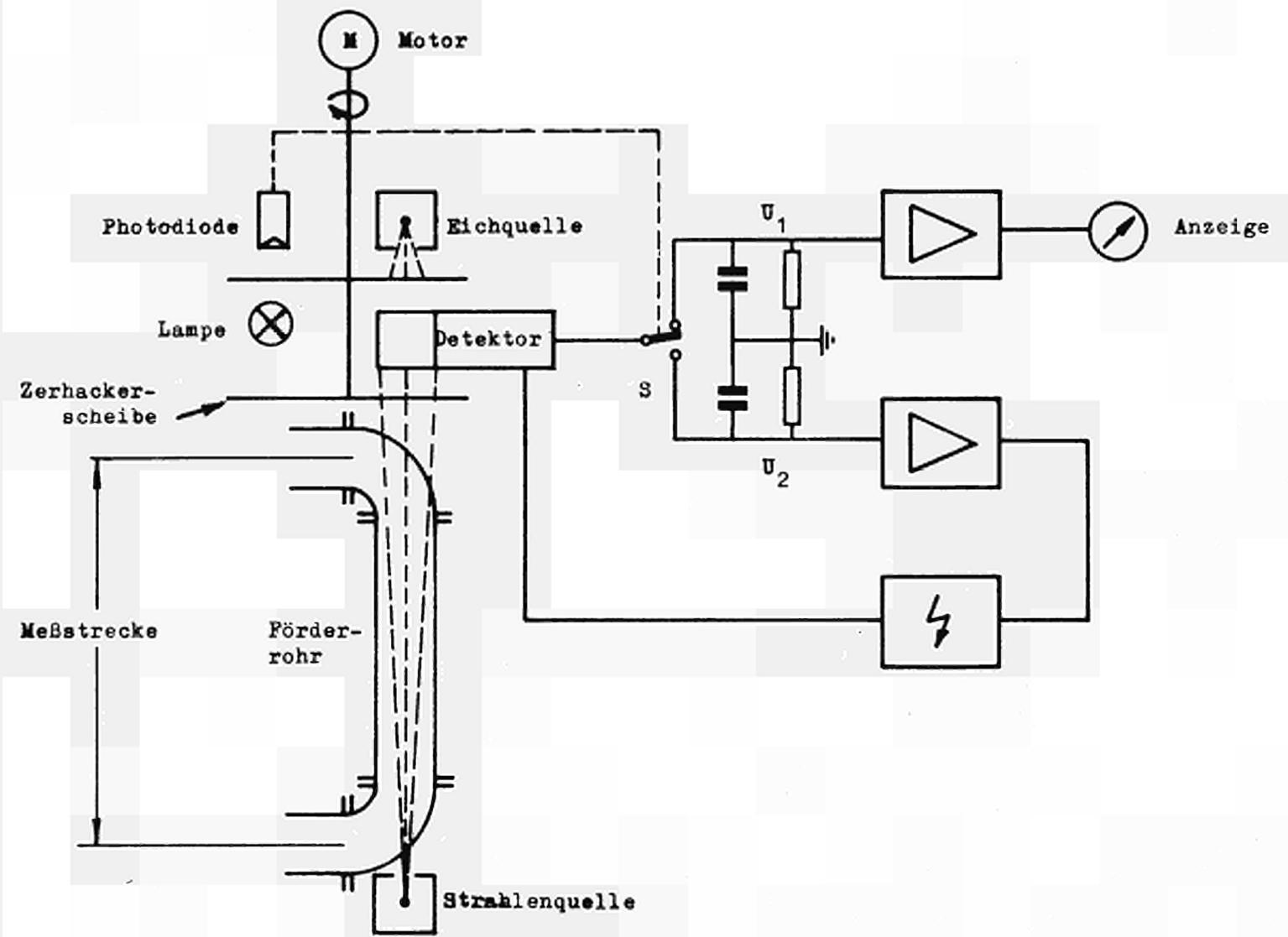
Datum
18.2.65

Name
[Handwritten Signature]

Kalkstaubmengenmeßgerät

Mehranordnung

INTERAKTION
Abb 14

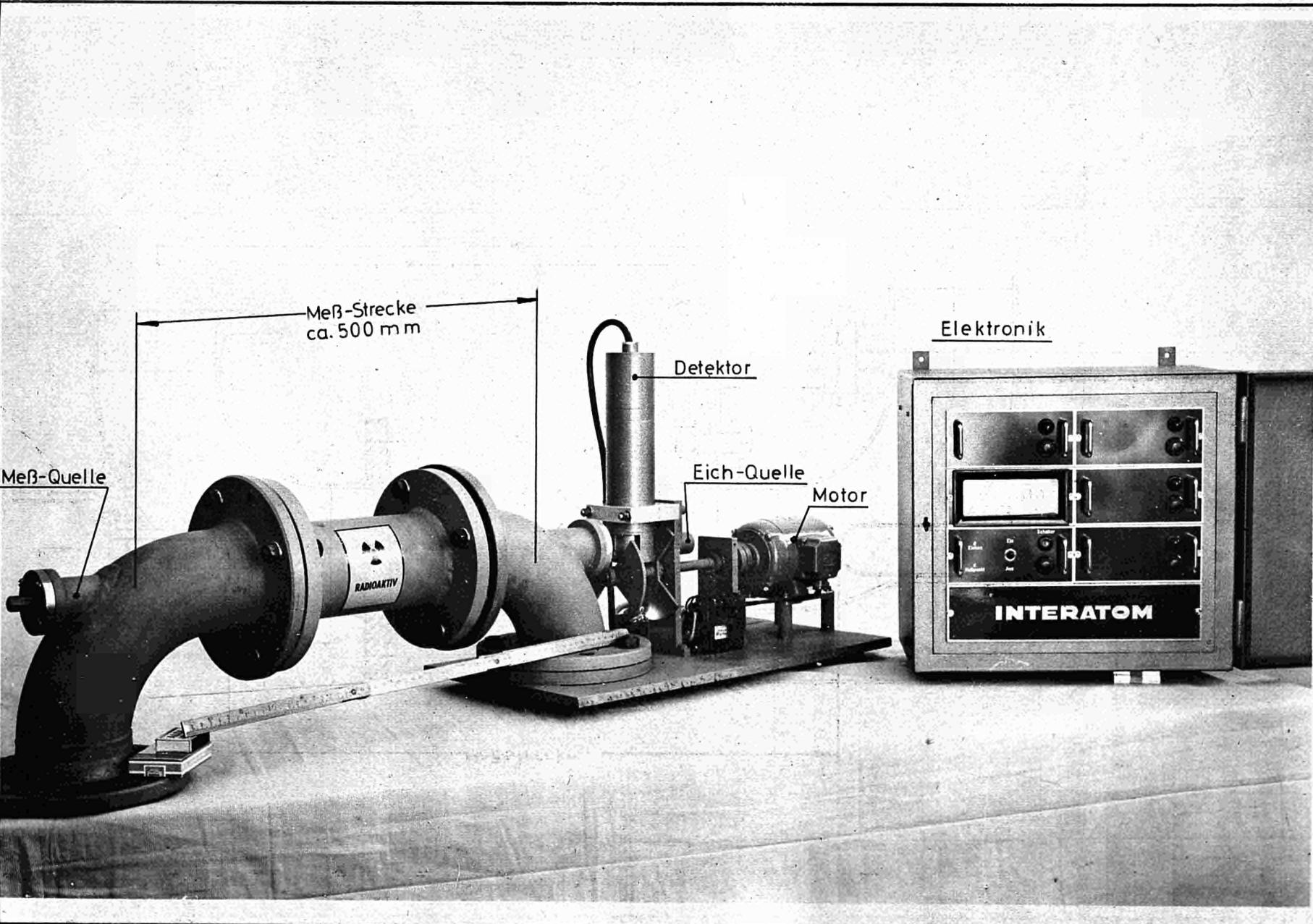


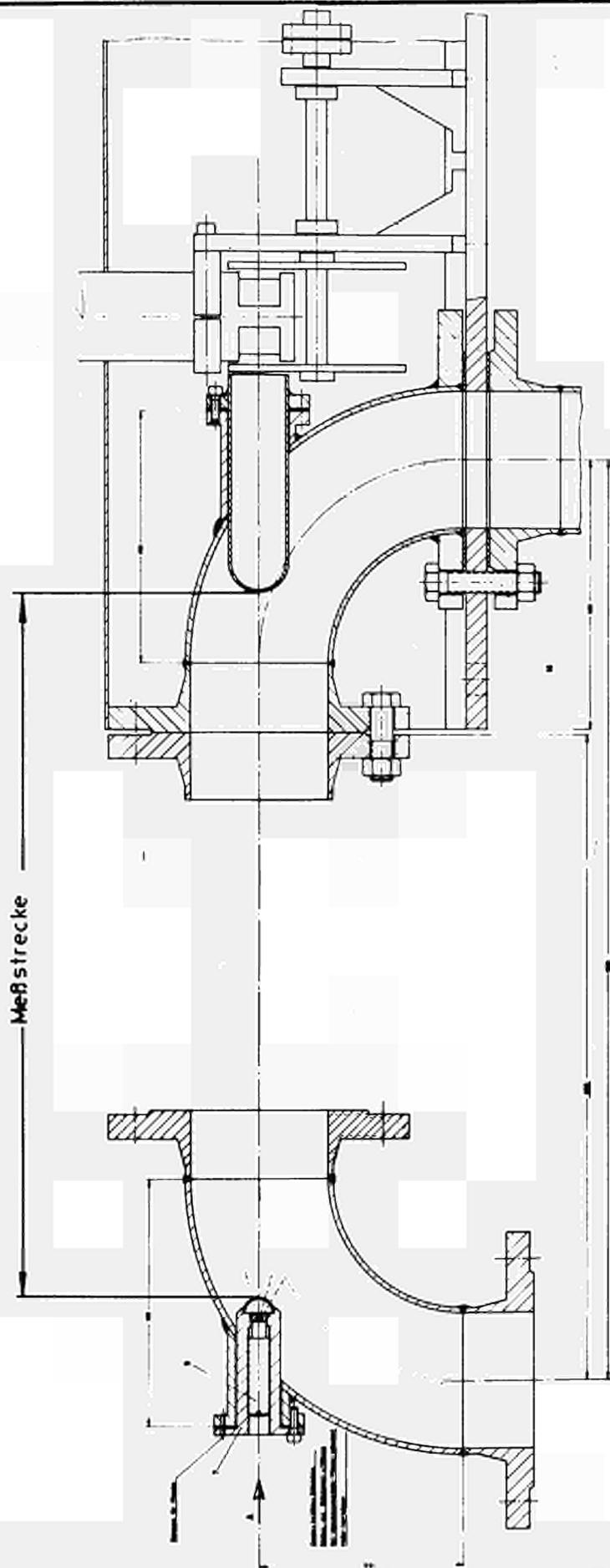
Datum
18.2.65

Name
[Handwritten Signature]

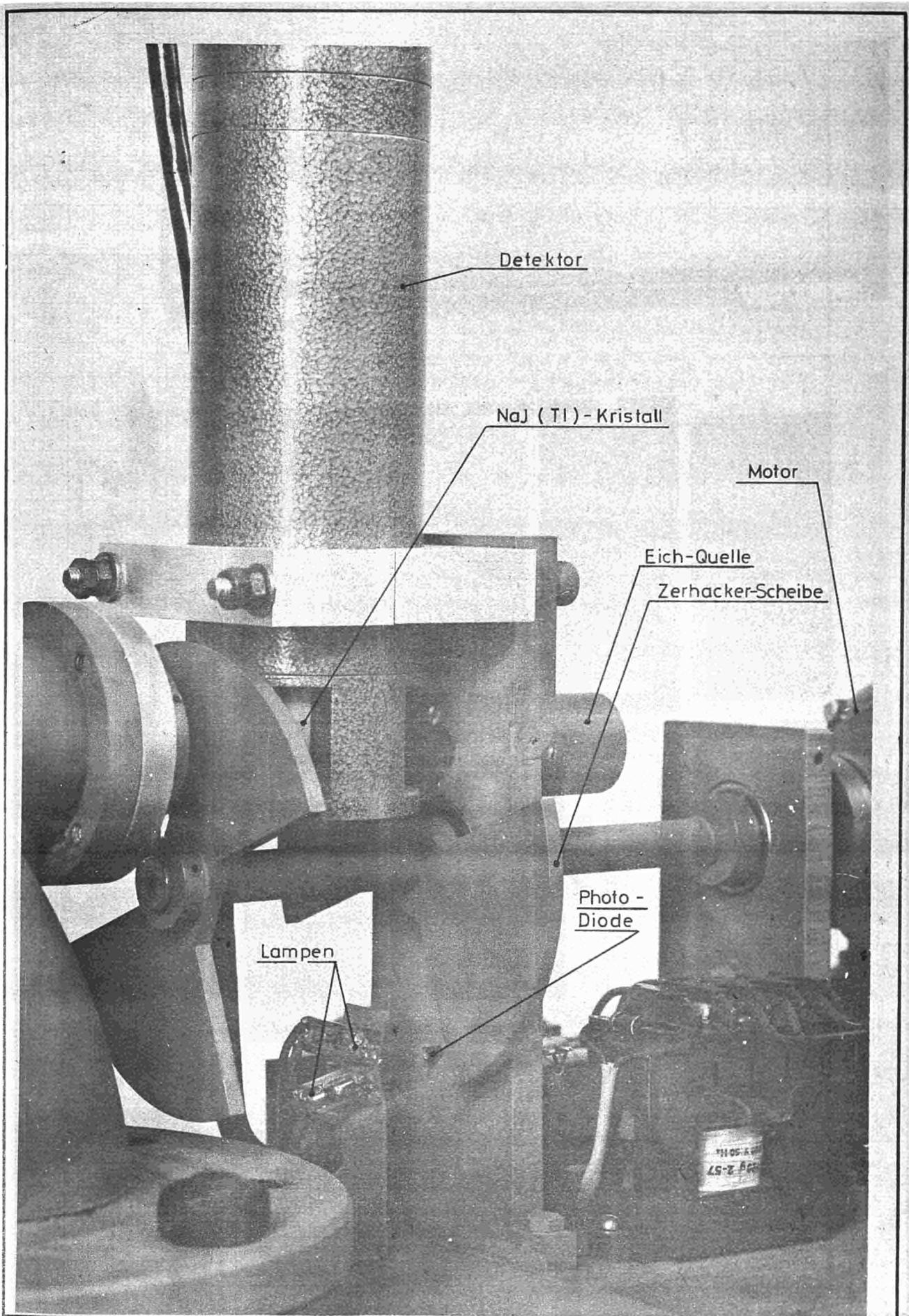
Kalkstaubmengenmeßgerät

INTERATOM
Abb 15





Datum	Name	Kalkstaubmengenmeßgerät	INTERATOM
17. 2. 65	<i>[Signature]</i>		Abb. 16



Detektor

NaI (TI) - Kristall

Motor

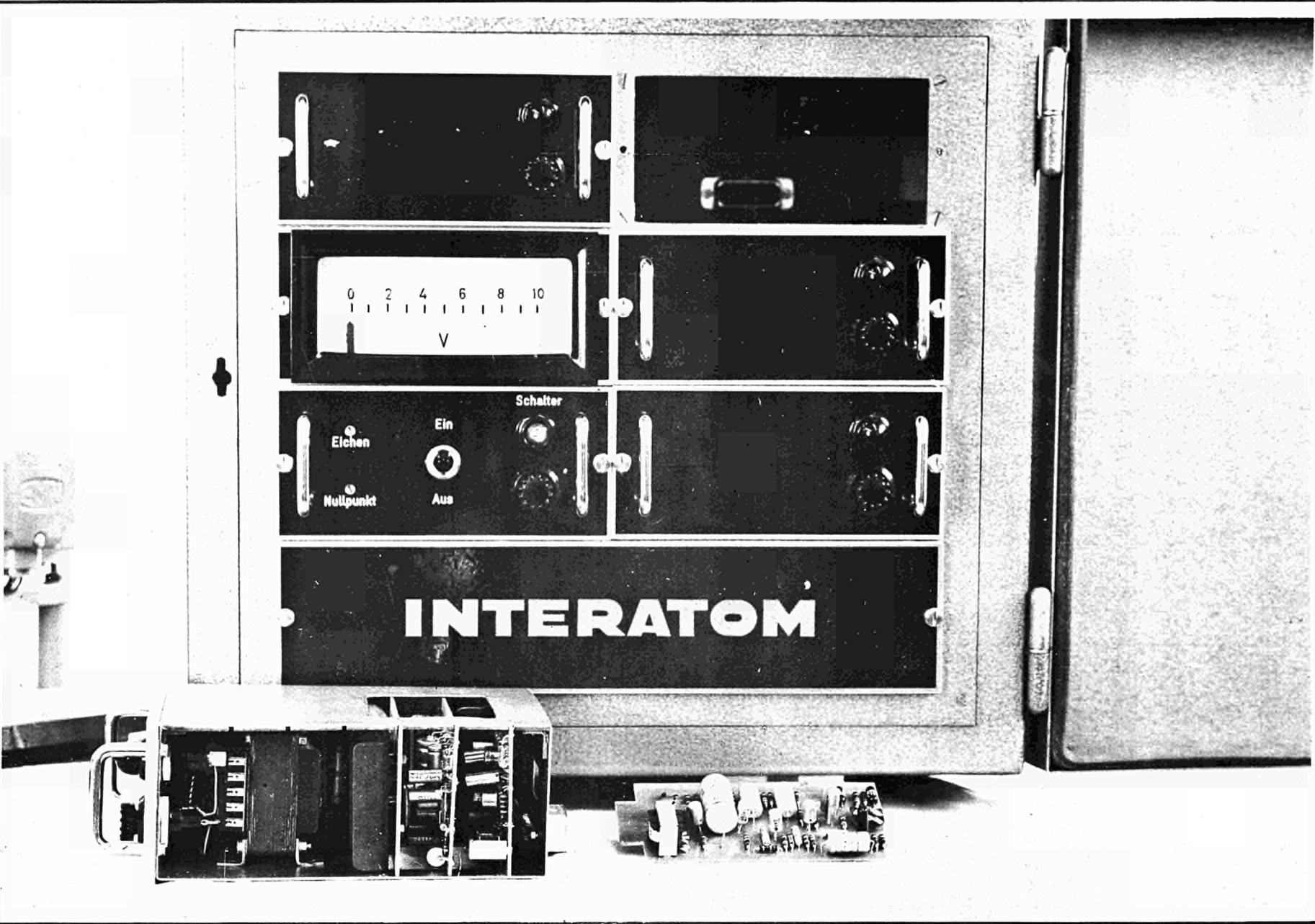
Eich-Quelle

Zerhacker-Scheibe

Photo -
Diode

Lampen

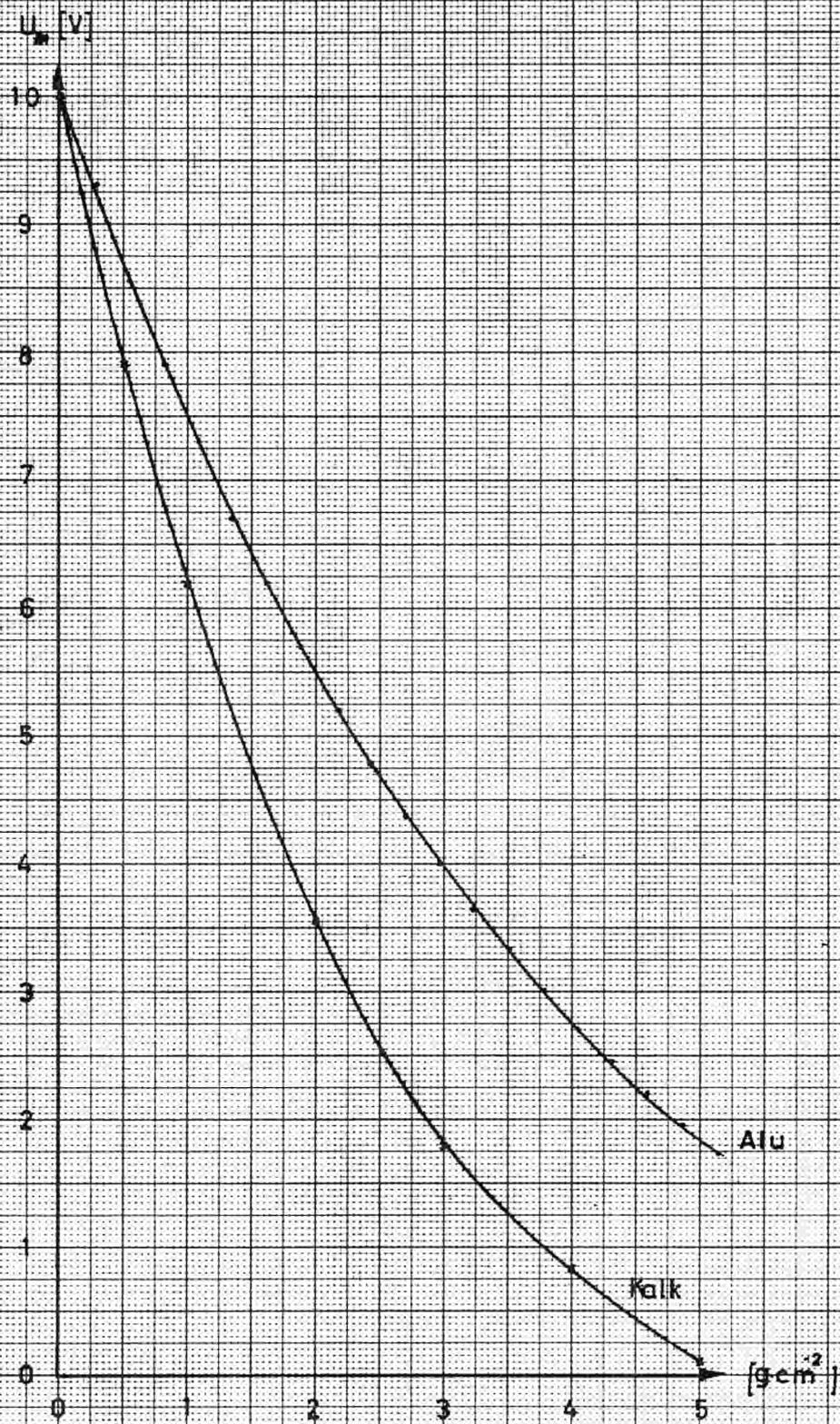
Datum	Name	Kalkstaubmengenmeßgerät	INTERATOM
18.2.65			Abb 17



Datum	Name
18.2. 65	

Kalkstaubmengenmeßgerät

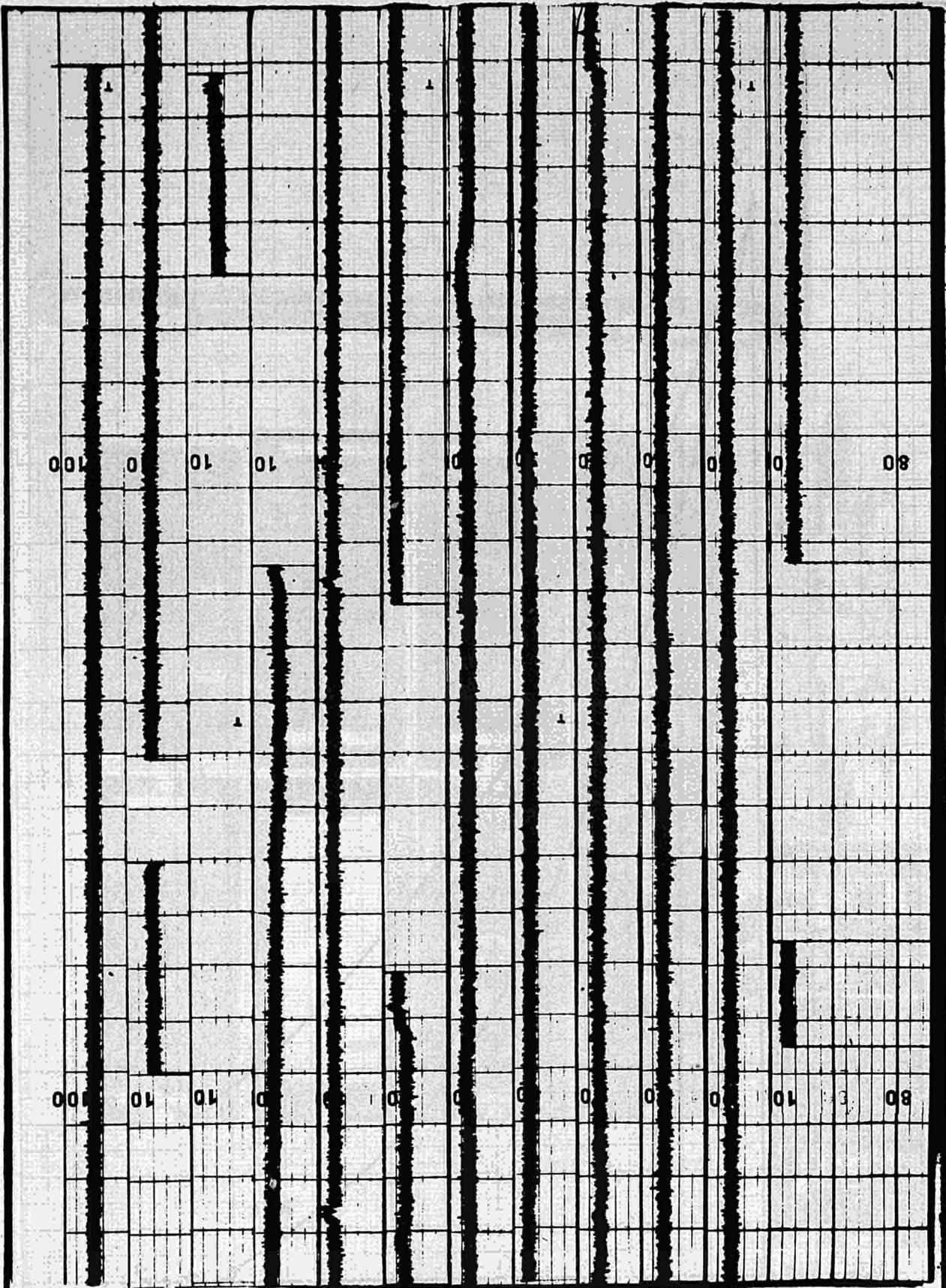
INTERATOM
Abb 18



Kalkstaubmengenmeßgerät

15.12.69
7a

Abb.19



Datum	Name	Kalkstaubmengenmeßgerät 2. Meßanordnung	MVTANOM
182.65			Abb. 20

A N H A N G

Beschreibung der Elektronik des Kalkstaubmengenmeßgerätes.

Wie das Wirkschaltbild der Elektronik (Abb. 1) zeigt, können die einzelnen Elektronik-Teile in Baugruppen zusammengefaßt werden.

Die erste Baugruppe ist der Meßkopf (Abb. 2). Dieser besteht aus dem Strahlen-Detektor (NaJ(Tl)-Kristall + Multiplier), der Photodiode mit den Lampen und dem Antrieb für die Zerhacker-Scheibe.

Die restliche Elektronik ist zum größten Teil auf gedruckte Karten in sechs Einschübe, die in einem Stahlblech-Gehäuse zusammengefaßt sind, untergebracht (Abb. 3).

Einschub I enthält den Einschaltteil (Abb. 4). Dieser besteht aus einem Netzschalter, zwei Potentiometer für die Null-punkt- und Vollausschlag-Justierung und einer Signallampe für die Anzeige eines Lampenausfalls an der Photodiode.

Einschub II enthält den Anzeigeteil. Dieser besteht aus einem 10 V-Flachprofil-Instrument (P 144 × 72).

Einschub III enthält den Zerhacker-Verstärker für die Anzeige (Abb. 5). Dieser verstärkt die in dem Synchron-Schalter an der RC-Kombination erzeugte Meßspannung.

Einschub IV enthält den Zerhacker-Verstärker für die Steuerung der Hochspannung (Abb. 5). Dieser verstärkt die in dem Synchron-Schalter an der RC-Kombination erzeugte Eichspannung.

Einschub V (Abb. 6) enthält den Synchron-Schalter IA-S 101, der von der Photodiode gesteuert wird, mit den beiden RC-Kombinationen, die die Meß- und Eichspannung speichern, und die Lampensicherheitsschaltung IA-S-102, die dafür sorgt, daß bei Ausfall der Lampe an der Photodiode die zweite automatisch aufleuchtet und daß dieses angezeigt wird (Lampe „Schalter,, in Einschub I).

Einschub VI (Abb. 7) enthält den Hochspannungswandler IA-W-12/2000, der von dem Steuerteil IA-N-12/500a angesteuert wird.

Abb. 8 zeigt die Verdrahtung zwischen den einzelnen Einschüben.

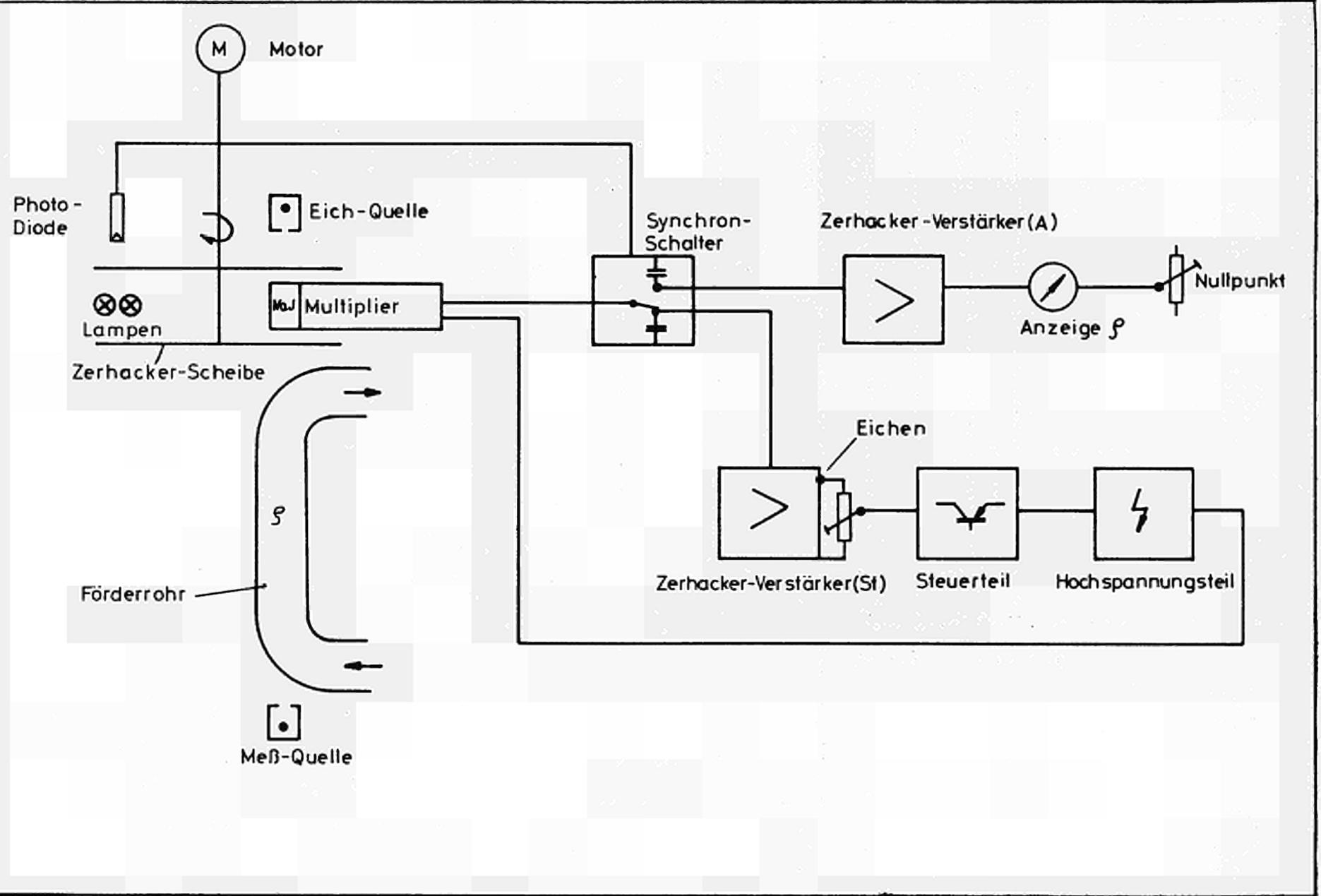
Die Verdrahtung der Einschübe III, IV, V und VI ist in den Abb. 9, 10 und 11 dargestellt.

Die Abb. 12, 13, 14, 15 und 16 enthalten die Bauvorschriften für die einzelnen Transformatoren.

A N H A N G

Abbildung —	Titel —	Gegenstand —	Seite —
Abb. 1	Kalkstaubmengenmeßgerät	Wirkschalbild	39
Abb. 2	dgl.	Zerhacker- und Meßkopf-Schalbild . .	40
Abb. 3	dgl.	Elektronik-Aufteilung	41
Abb. 4	dgl.	Einschalteil I - Schalbild	42
Abb. 5	dgl.	Zerhackerverstärker III, IV - Schalbild	43
Abb. 6	dgl.	Synchroschalter V - Schalbild . . .	44
Abb. 7	dgl.	Hochspannungsteil VI - Schalbild . .	45
Abb. 8	dgl.	Gestell - Verdrahtung	46
Abb. 9	dgl.	Zerhackerverstärker III, IV - Verdrahtung	47
Abb. 10	dgl.	Synchroschalter V - Verdrahtung . .	48
Abb. 11	dgl.	Hochspannungsteil VI - Verdrahtung .	49
Abb. 12	dgl.	Trafo-Bauvorschrift 4b	50
Abb. 13	dgl.	Trafo-Bauvorschrift 54.	51
Abb. 14	dgl.	Trafo-Bauvorschrift 79.	52
Abb. 15	dgl.	Trafo-Bauvorschrift 100	53
Abb. 16	dgl.	Trafo-Bauvorschrift 101	54

Datum	22. 2. 65
Name	<i>[Handwritten Signature]</i>
Kalkstaubmengenmeßgerät	
Wirkschalbild	
INTERATOM	Abb. 1



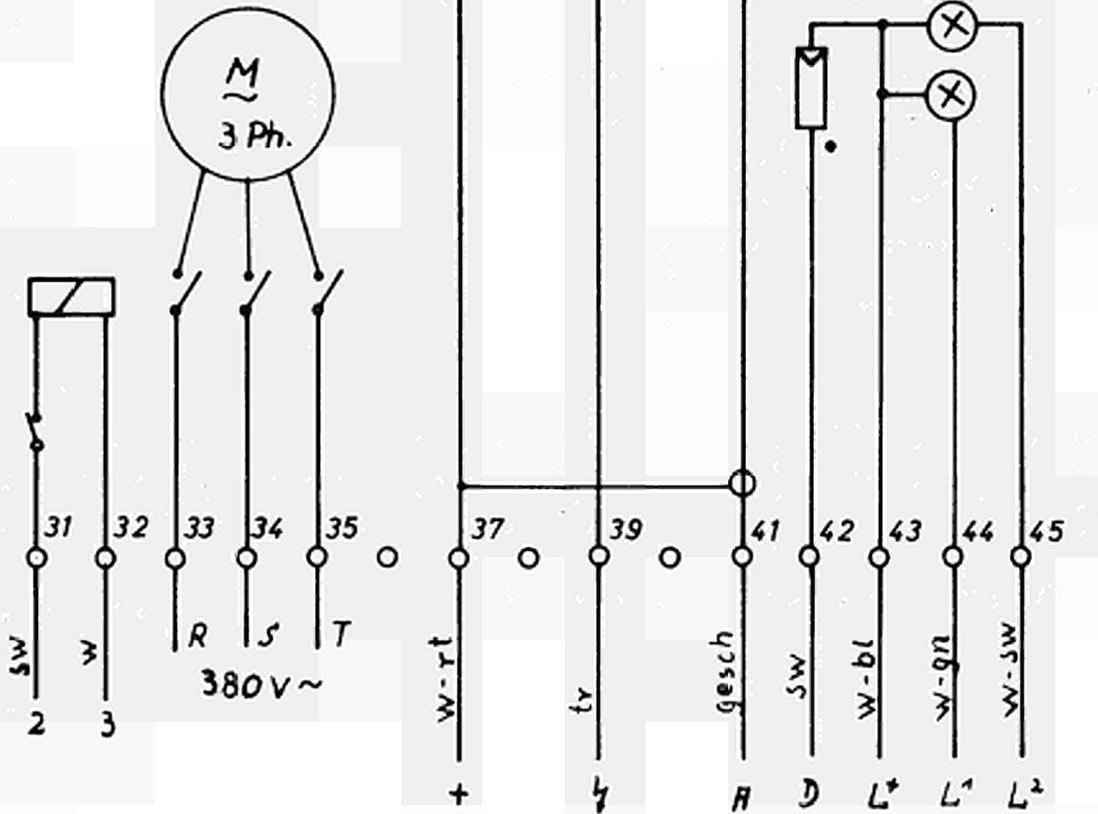
Datum
21.8.64

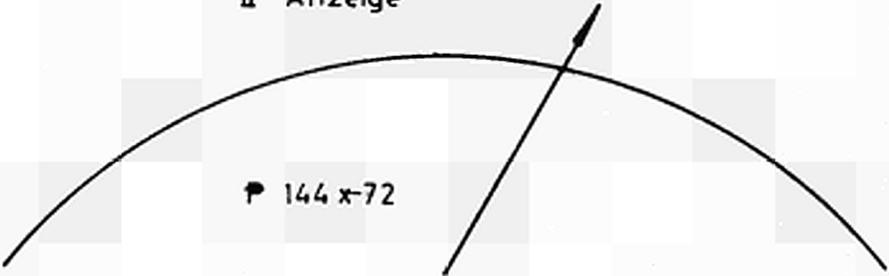
Name
Kalkstaub

Zerhafter + Meßkopf
Kalkstaubmengenmeßgerät

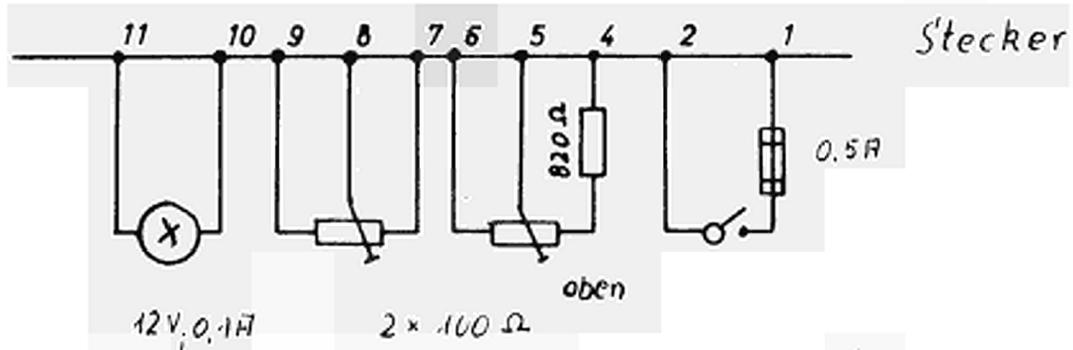
INTERKOM
Abb 2

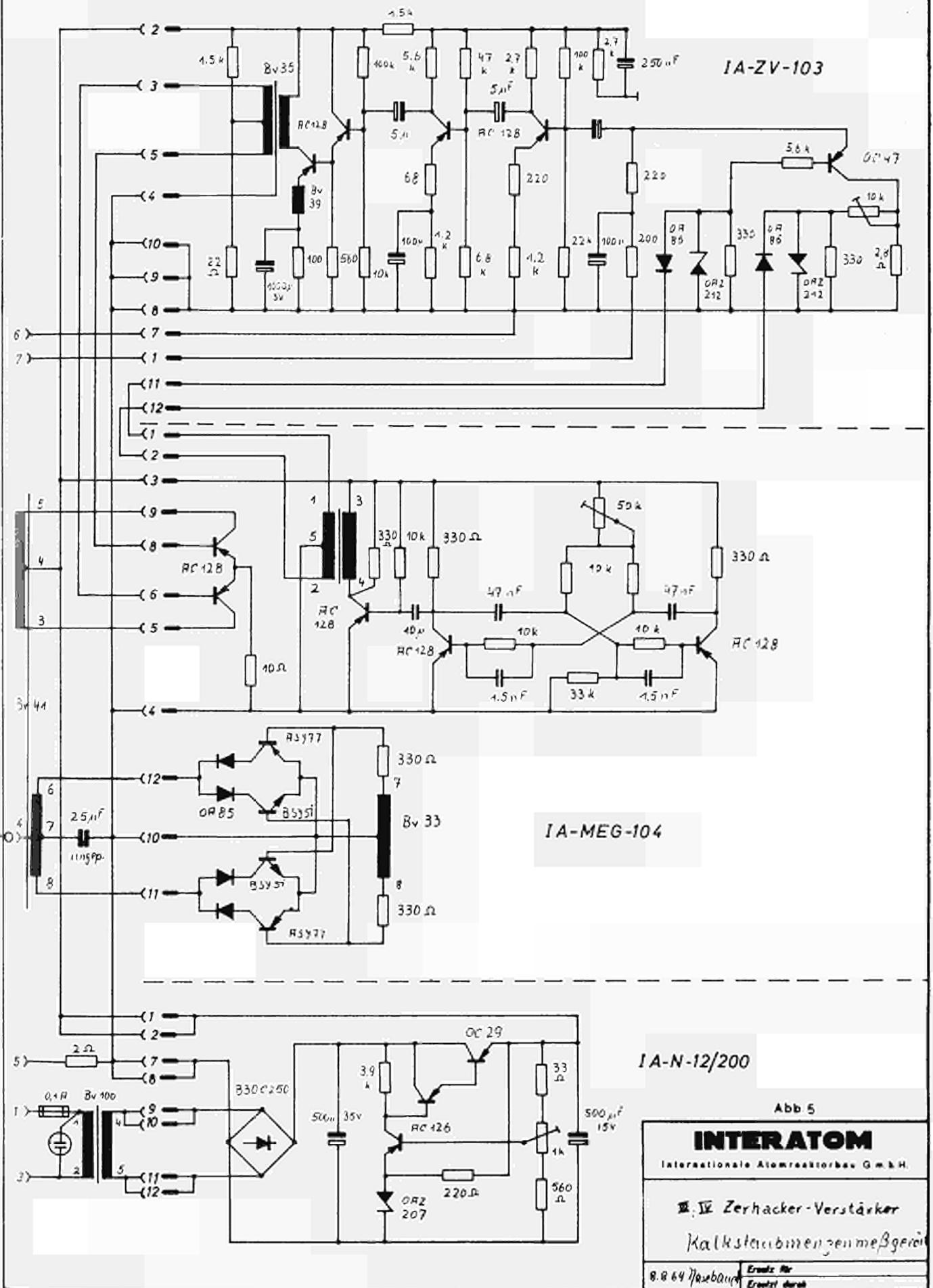
MaJ(Tl)	Multipliiert
6D4	Type EMI 9514B

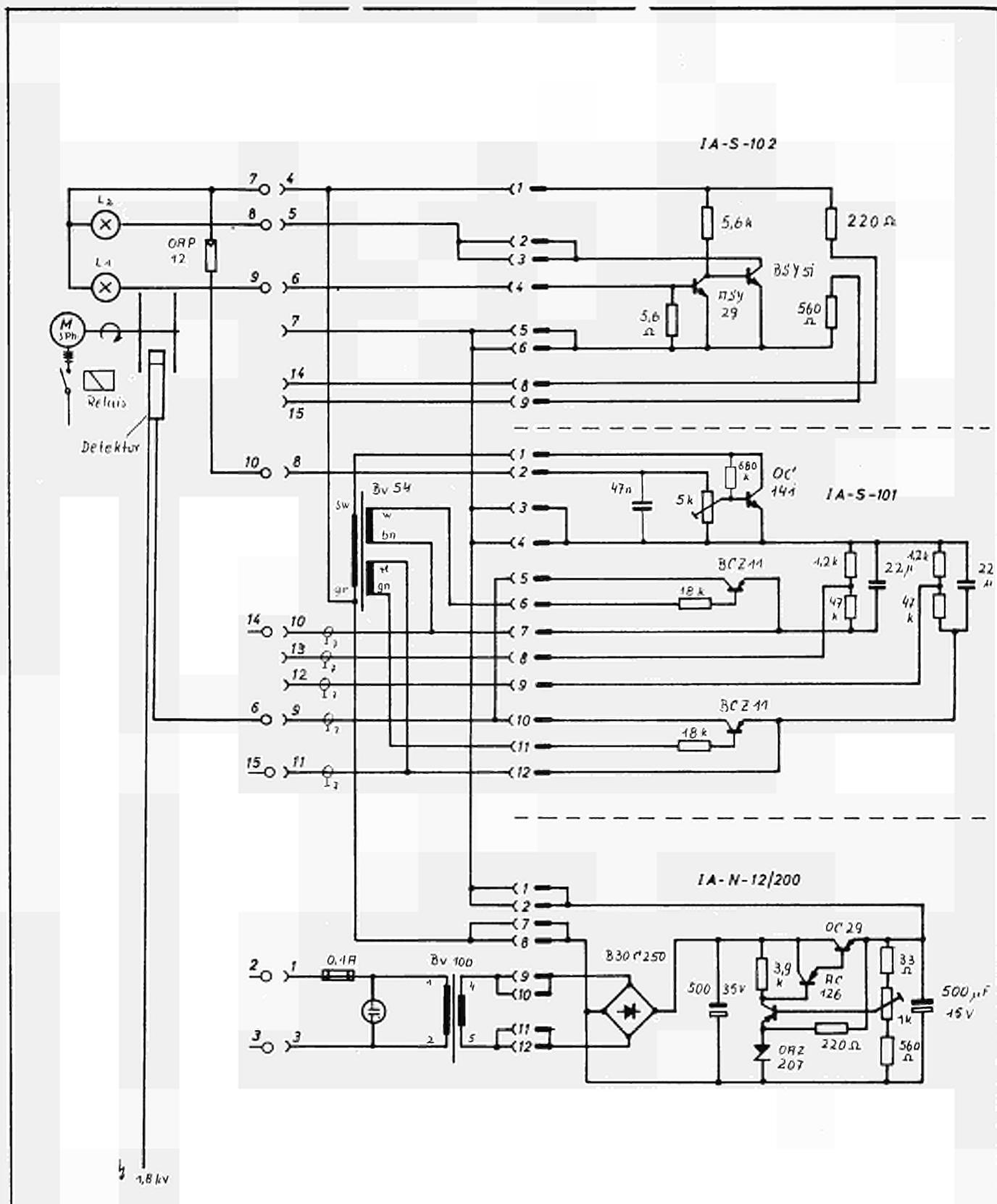


22.2.65	Datum	IA-MEG-104 IA-ZV-103 IA-N-12/200 BV-100 M55 BV-41 EJ48	III Zerhacker-Verstärker Anzeigeteil	  0,1 A	IA-MEG-104 IA-ZV-103 IA-N-12/200 BV-100 M55 BV-41 EJ48	IV Zerhacker-Verstärker Steuerteil	  0,1 A
	Kalkstaubmengenmeßgerät	II Anzeige 			IA-N-12/200 IA-S-102 IA-S-101 BV-54 M42 BV-4a M55	V Synchron-Schalter	  0,1 A
		INTERATOM Abb. 3	I Eichen  2x 100 Ω Nullpunkt  Ein  Aus  Schalter  0,5 A 			IA-W-12/2000 IA-N-20/30 IA-N-12/500a BV-4b-M55 BV-79-S30 GI-B30 C800	VI Hochspannung

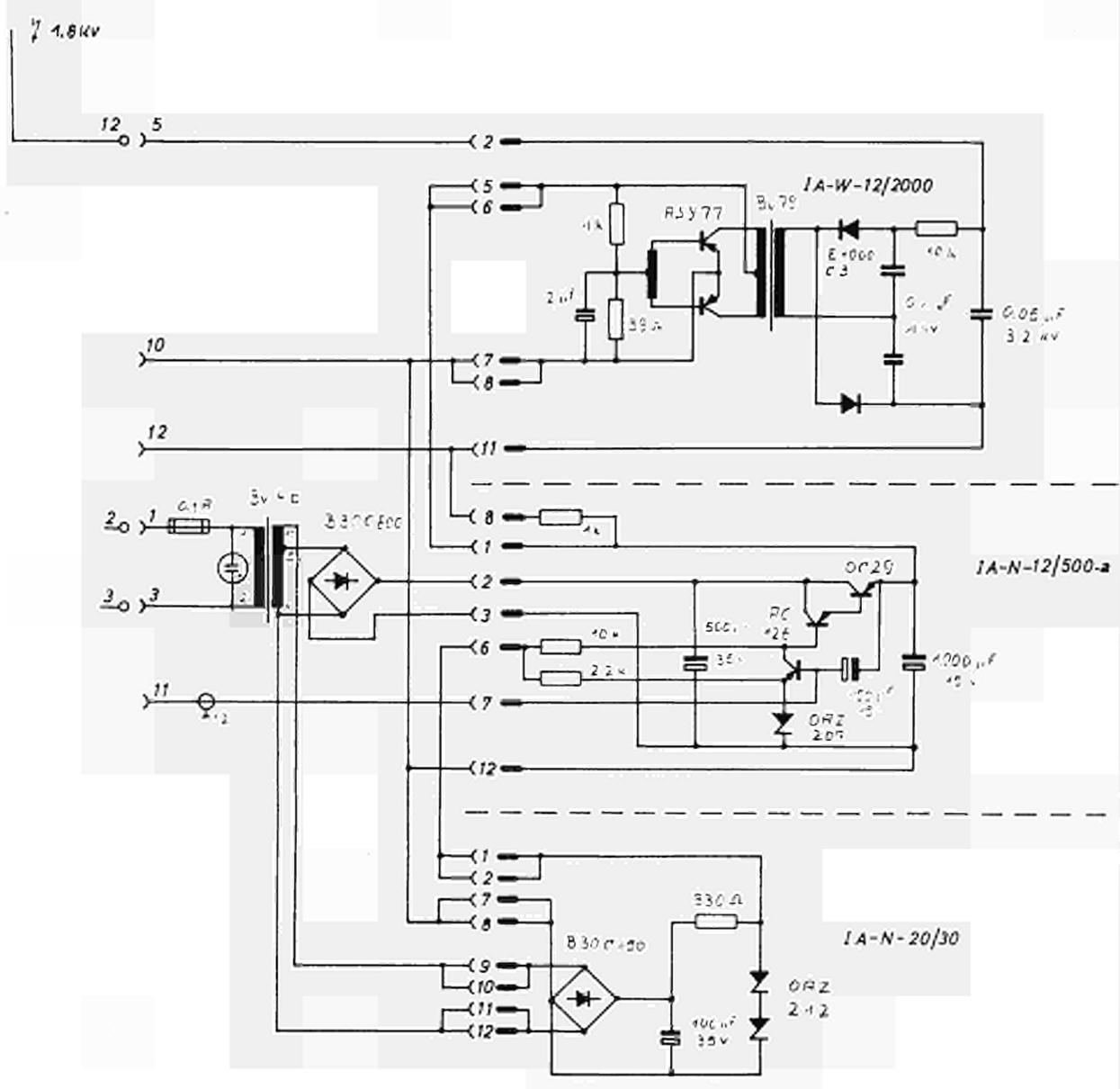
Datum	Name	Einschaltteil I Kalkstellbrennengerät	ITERATION Abb. 4
29.7.64	Harbard		



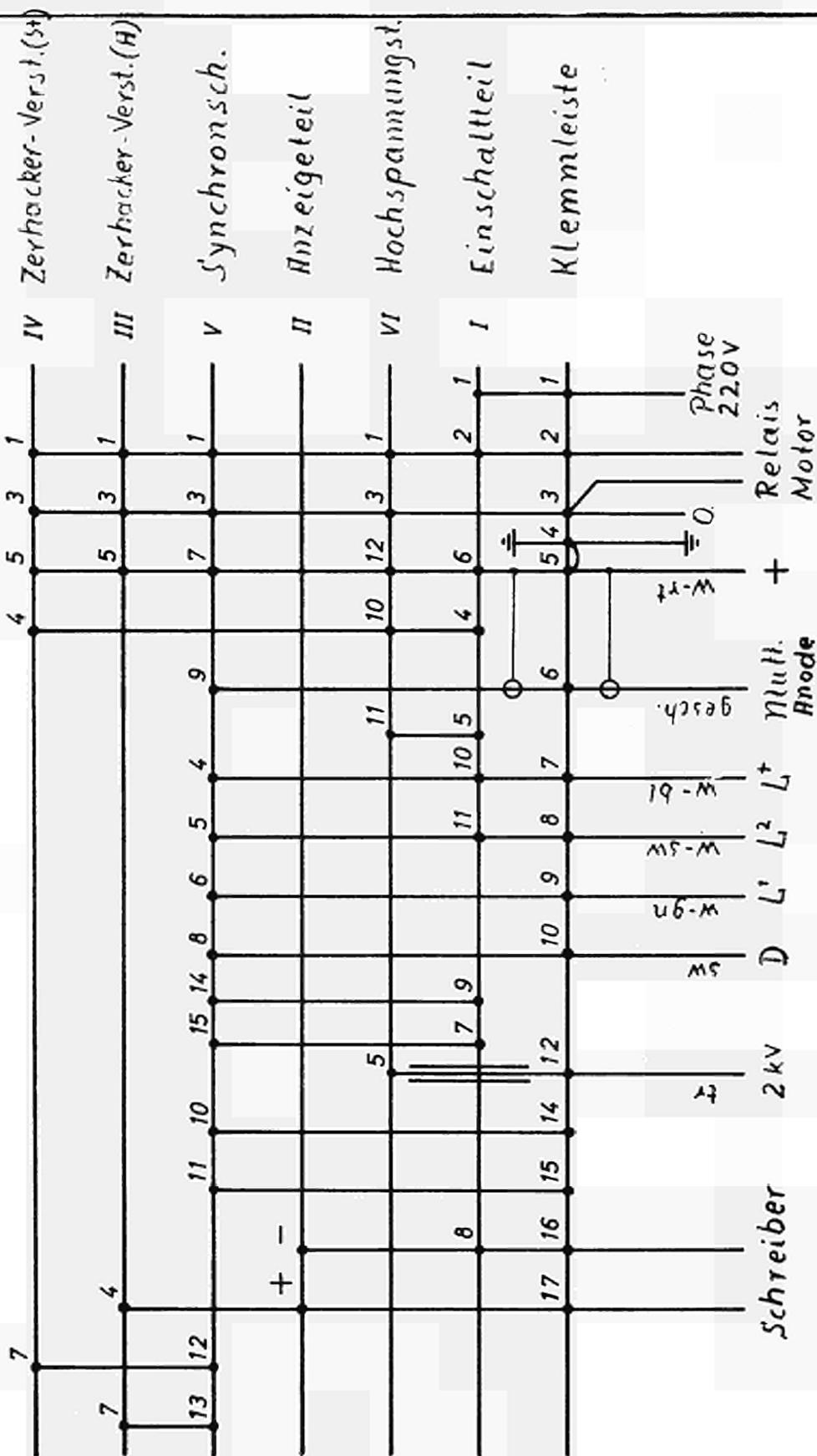




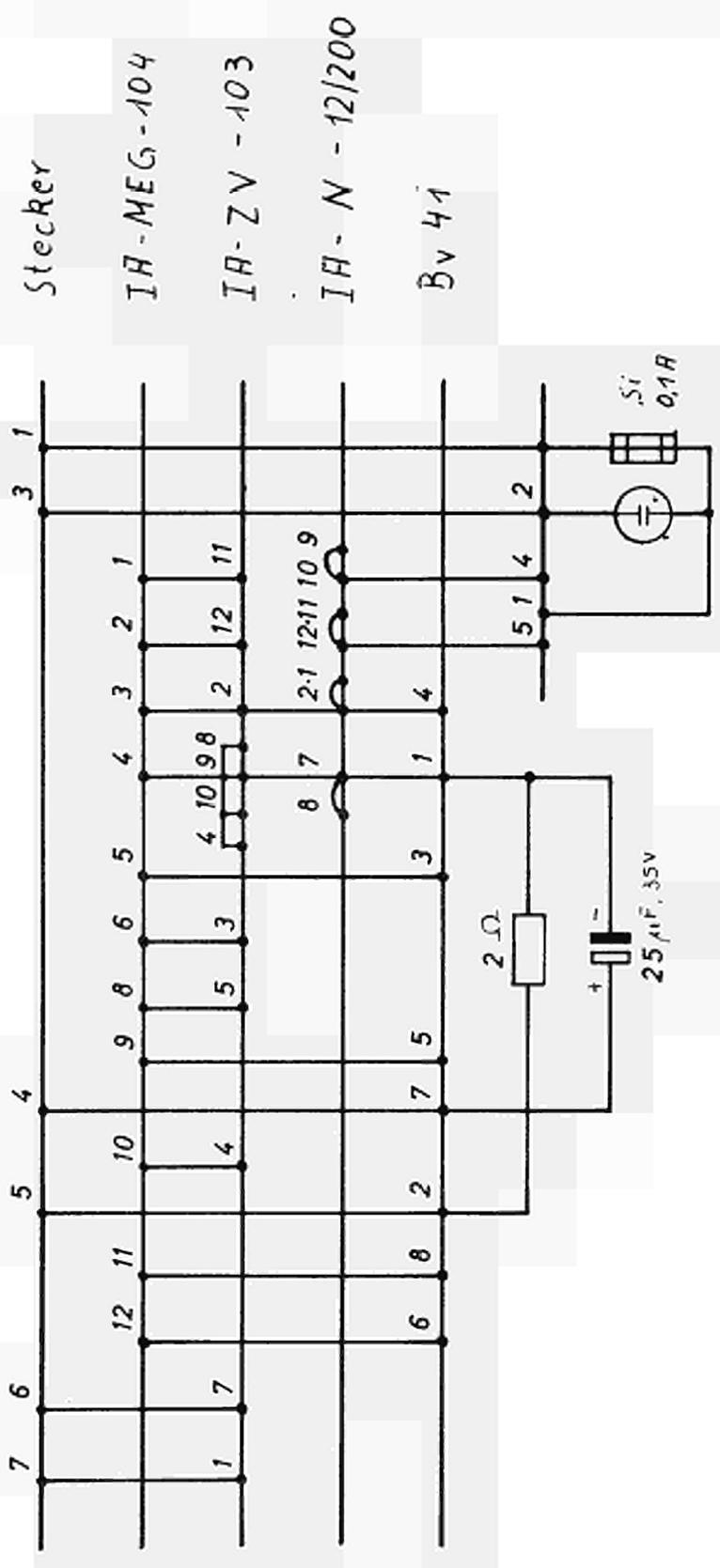
Tag	Name	Urheberrecht	INTERATOM Internationale Atomreaktorbau G.m.b.H.
Gez. 3.8.69	JAW BGRU	gewahrt	
Gepr.		Copyright	
Abt./Proj.		reserved	
Maßstab	V Synchronschalter Kalkstaubmengenmeßgerät		Zeichnungs-Nr. Abb. 6
Maße oder Toleranz- ang. nach			Ersetzt für Ersetzt durch



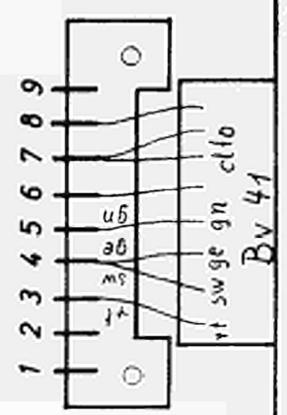
Tag	Name	Urheberrecht gewahrt Copyright reserved	INTERATOM Internationale Atomreaktorbau GmbH
Gez.	3.6.47 / J. J. J. J.		
Gepr.			
Abt./Proj.			
Maßstab	VI Hochspannungsteil Kalkstaubmengenmeßger.		Zeichnungs-Nr. Abb. 7
Maße ohne Toleranz- ang. nach			Ersatz Nr. Ersetzt durch



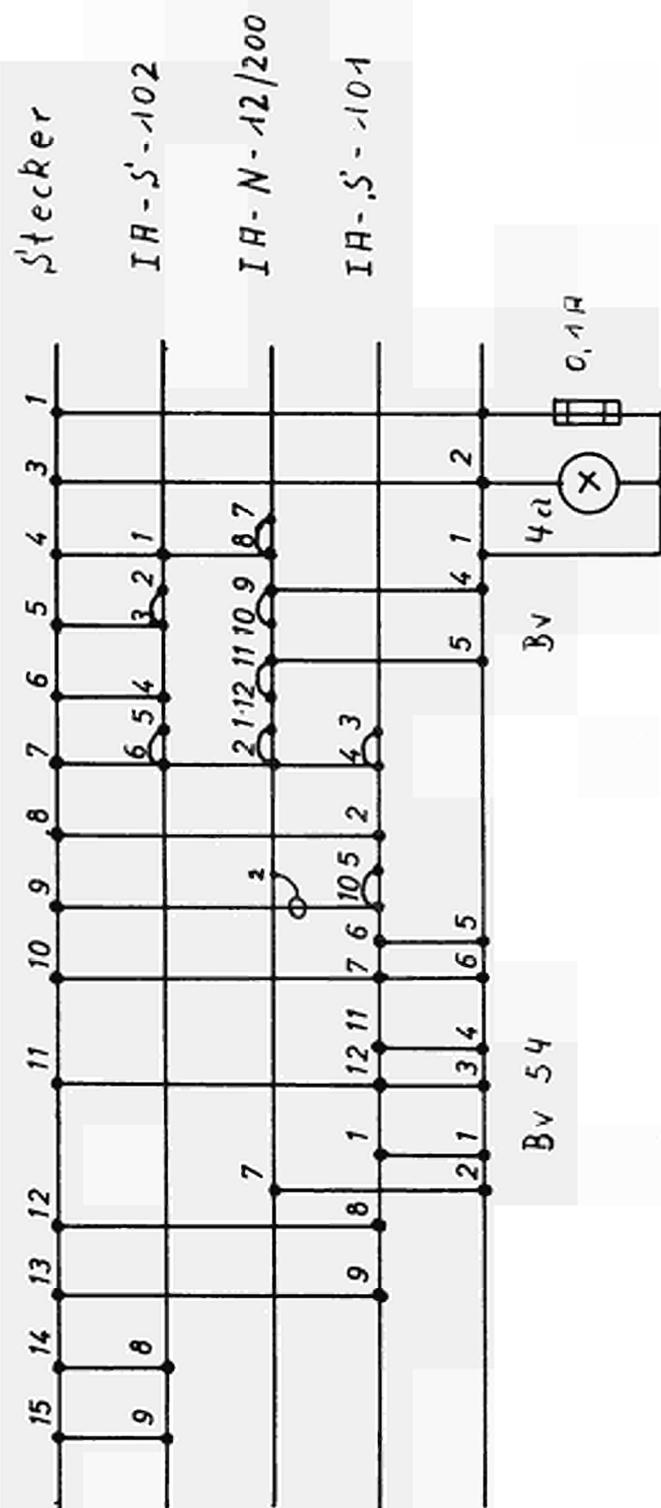
Datum	Name	Gestellverdrahtung Kalkstaubmengenmeßgerät	INTERATOM
29.7.64	Dasebaur		Abb. 8



Stecker
 IH-MEG-104
 IH-ZV-103
 IH-N-12/200
 Bv 41



Datum	Name	Zerhacker - Verstärker III IV Kalkstaubmengenmeßgerät	INTERATOM
18.8.64	Wassermann		Abb. 9



Datum	Name	V. Synchronschalter	INTERATOM
29.7.64	Passbach	Kalkstaubmengenmeßgerät	Abb. 10

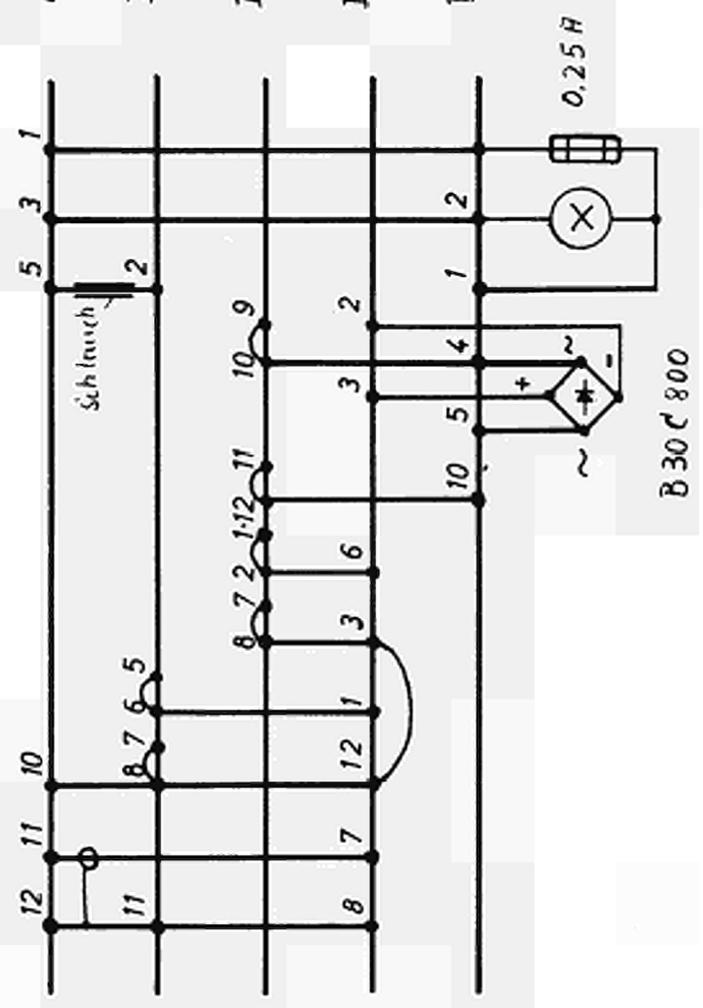
Stecker

IH-W-12/2000

IH-N-20/30

IH-N-12/500-α

Bv 4b H55



Datum:	Name:	SI Steuerbare Hochspannungstest Kalkstaubmengenmeßgerät	INTERATOM
29.7.61	Harsbaum		Abb. 11

INTERATOM

Internationale Atomreaktorbau G.m.b.H.

Bensberg / Köln

Verwendung: Kalkstaubmengenmeßgerät
für N-12/500-a, N-20/30

Kern: M 55

Blechart: Dyn.-Blech IV, 0,35 mm

Bauvorschrift: Bv...4..b

Schichtung: Wechselseitig

Geräte Nr.:

Luftspalt:

Montiert nach ABv.....

	Datum	Name	Änderung
Gezeichnet	22.7.64	W. J. 2	
Gewickelt			
Geprüft			

Wicklung	Anschlüsse Klemme / Farbe		Windung	Draht ϕ	Isolation	Bemerkung
					2 x Spulenlackp.	
1	1 2	sw ge	2400	0,23	n.j.4. Lage 1 x Spulenlackp. 0,04	220 V
					2 x Lackp. 1 x Decklage	
2	4	bn	210	0,45		18 V, 0,5 A
	5	gn				
3	10	rt	90	0,23		
					1 x Decklage 1 x Hostaphan	

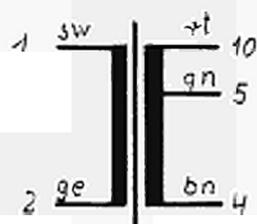


Abb. 12

INTERATOM

Internationale Atomreaktorbau G.m.b.H.

Bensberg / Köln

Verwendung: Wandler 12/2000

Kern: S 30/19

Blechart: Valvo K 535205, 3E1

Bauvorschrift: Bv. 79.

Schichtung:

Luftspalt: ohne

Geräte Nr.:

Montiert nach ABV.... mit M 4 x 25 DIN 84

	Datum	Name	Änderung
Gezeichnet	20.7.64	<i>H. Schmidt</i>	
Gewickelt			
Geprüft			

verschrauben.

Wicklung	Anschlüsse		Windung	Draht ϕ	Isolation	Bemerkung
	Klemme	Farbe				
					1 x Spulenlackpap.	
1	Kammer I	sw sw	2000	0,10	n.j.4. Lage 2x Lackpapier 0,04	Anfang und Ende mit Litze verst.
					4 x Lackpapier	mit Rüscheschl. überz. (10 cm)
2	Kammer II	ge rt gn	16	0,25		Kammer II
			16	0,25		
					2 x Lackpapier	sauber isolieren
3		bn	4	0,25		
		ge sw	4	0,25		
					3 x Lackpapier	
					im Vakuum mit Herberths Spulen- Tränklack tränken	

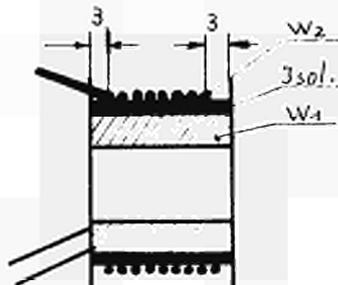


Abb. 14

INTERATOM

Internationale Atomreaktorbau G. m. b. H.

Bensberg / Köln

Verwendung: mV-Transmitter mit Th.-Bruchsicherung

Kern: M 55

Blechart: Dyn.-Blech IV, 0,35 mm

Bauvorschrift: Bv..101

h

Schichtung: wechselseitig

Luftspalt: ohne

Geräte Nr.:

Montiert nach ABv.....

	Datum	Name	Änderung
Gezeichnet	13.8.64	<i>Maschinenbau</i>	
Gewickelt			
Geprüft			

Wicklung	Anschlüsse		Windung	Draht ϕ	Isolation	Bemerkung
	Klemme	Farbe				
					2 x Spulenlackp. 0,04 gef.	
1	1 2	sw ge	2400	0,20	n.j.3.Lage 1xLackp.	220 V~
					2 x Lackp. 0,04 1 x Decklage	
2	4 5	gn gn	120	0,20		11 V; 0,1 A
					2 x Lackpapier	
3	7 8	bn bn	22	0,20		2 V~
					2 x Lackpapier	
4	9 10	ge ge	190	0,45		17 V; 0,5 A
					1 x Decklage 1 x Hostaphan	

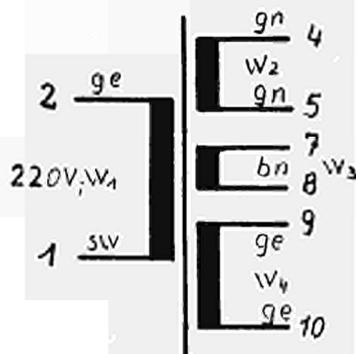


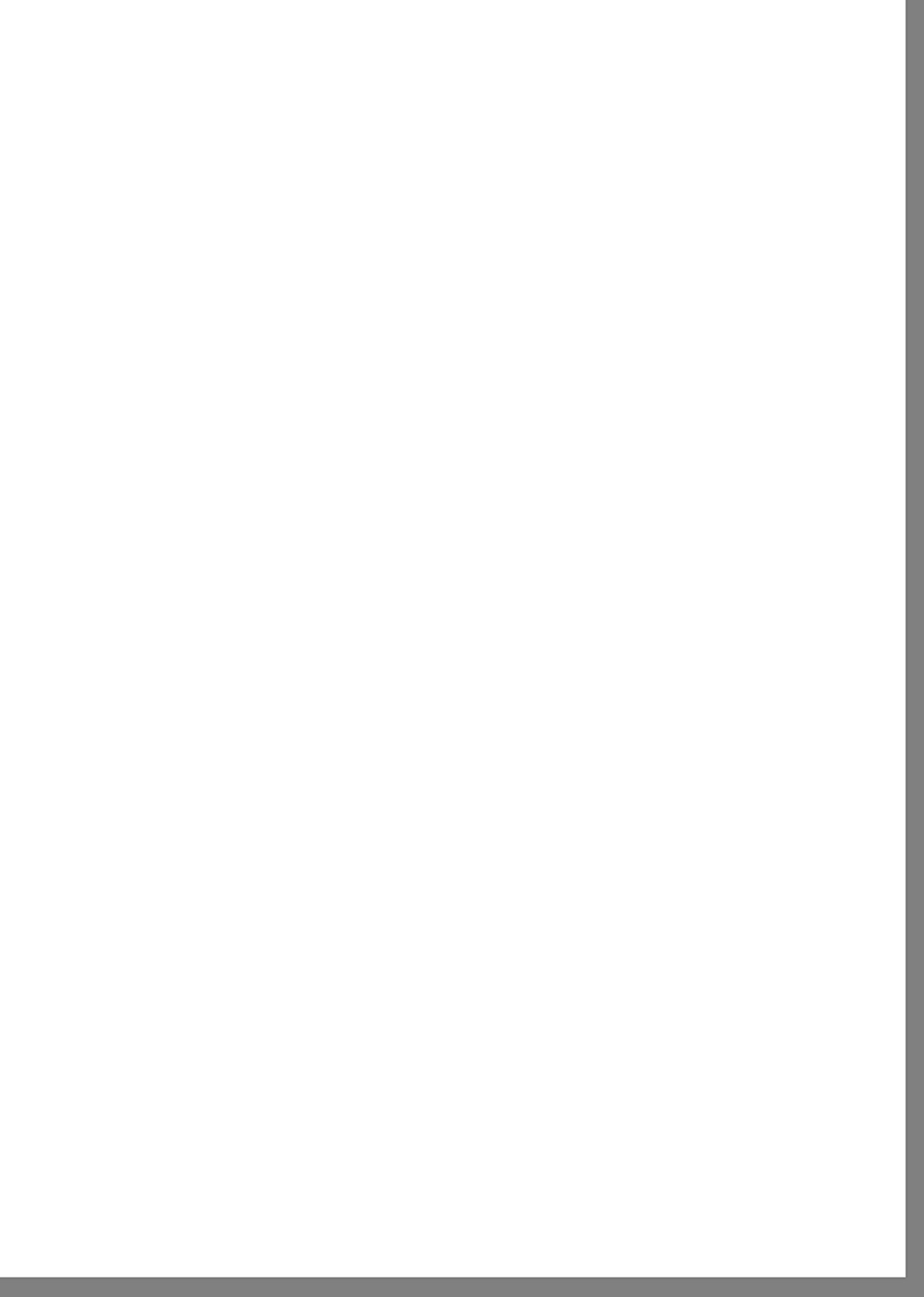
Abb. 16

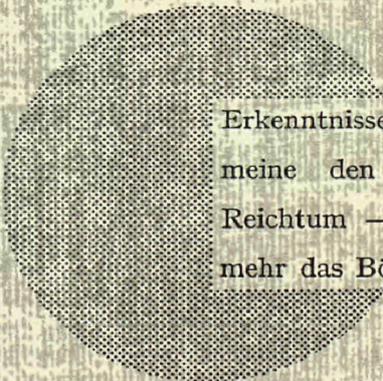
2 - Andere Versuche zur Feinkalk-Mengenmessung im Sauerstoffstrom an LD-AC-Konvertern mit radioaktiven Isotopen

Bisher ist nur ein Versuch bekannt *), eine Feinkalk-Mengenmessung mit radioaktiven Isotopen durchzuführen. Bei diesem Versuch wurden 500 mCi-137 als Gamma-Strahlenquelle eingesetzt. Als Detektor diente ein Szintillationszähler, der mit Hilfe des Photo-Peaks des Cs-137-Spektrums stabilisiert wird. Die Meßstrecke zwischen Gamma-Strahlenquelle und Detektor betrug ca. 8 m, d.h. es wurde ein gradliniges Rohrstück von ca. 8 m Länge zwischen zwei Krümmern in Richtung der Rohrachse durchstrahlt. Diese große Meßstrecke ist wegen der geringen Feuerkalkdichte im Sauerstoffstrom zu empfehlen, um ein günstiges Flächengewicht bei gegebener Kalkdichte für die 660 KeV-Strahlung des Cs-137 zu erreichen.

Die Anzeige erfolgte in g/cm^3 , die geförderte Feinkalkmenge betrug ca. 150 kg/min, die Meßempfindlichkeit lag bei 0,05 g/l. Die Versuchsanlage ist heute nicht mehr in Betrieb. Wegen der noch auftretenden Strahlendosen im Bereich der Meßstrecke waren bei Einsatz dieser Meßanlage noch größere Strahlenschutzmaßnahmen erforderlich.

*) Dr. Ing. habil. A. Trost, Wildbad
Dechema - Monographien, Band 54, Seite 29/30





Erkenntnisse verbreiten ist soviel wie Wohlstand verbreiten — ich meine den allgemeinen Wohlstand, nicht den individuellen Reichtum — denn mit dem Wohlstand verschwindet mehr und mehr das Böse, das uns aus dunkler Zeit vererbt ist.

Alfred Nobel

VERTRIEBSSTELLEN

Alle Euratom-Berichte sind bei folgenden Stellen zu den auf der Rückseite des Umschlags angegebenen Preisen erhältlich (bei schriftlicher Bestellung bitte die EUR-Nummer und den Titel, die beide auf dem Umschlag jedes Berichts stehen, deutlich angeben).

PRESSES ACADEMIQUES EUROPEENNES

98, Chaussée de Charleroi, Bruxelles 6

Banque de la Société Générale - Bruxelles
compte N° 964.558,

Banque Belgo Congolaise - Bruxelles
compte N° 2444.141,

Compte chèque postal - Bruxelles - N° 167.37,

Belgian American Bank and Trust Company - New York
compte No. 22.186,

Lloyds Bank (Europe) Ltd. - 10 Moorgate, London E.C.2,

Postcheckkonto - Köln - Nr. 160.861.

OFFICE CENTRAL DE VENTE DES PUBLICATIONS DES COMMUNAUTES EUROPEENNES

2, place de Metz, Luxembourg (Compte chèque postal N° 191-90)

BELGIQUE — BELGIË

MONITEUR BELGE
40-42, rue de Louvain - Bruxelles
BELGISCH STAATSBAD
Leuvenseweg 40-42 - Brussel

GRAND-DUCHE DE LUXEMBOURG

OFFICE CENTRAL DE VENTE
DES PUBLICATIONS DES
COMMUNAUTES EUROPEENNES
9, rue Goethe - Luxembourg

DEUTSCHLAND

BUNDESANZEIGER
Postfach - Köln 1

ITALIA

LIBRERIA DELLO STATO
Piazza G. Verdi, 10 - Roma

FRANCE

SERVICE DE VENTE EN FRANCE
DES PUBLICATIONS DES
COMMUNAUTES EUROPEENNES
28, rue Desaix - Paris 15^e

NEDERLAND

STAATSDRUKKERIJ
Christoffel Plantijnstraat - Den Haag

EURATOM — C.I.D.
51-53, rue Belliard
Bruxelles (Belgique)

CDNA02544DEC