

EUR 3269.d

EUROPÄISCHE ATOMGEMEINSCHAFT - EURATOM

DICKENMESSUNG AN HEISSEN GLASBAHNEN BEI DER HERSTELLUNG VON TAFELGLAS

von

H. LANGEL
(Frieeseke und Hoepfner GmbH)

1967



**Bericht abgefasst von
Frieeseke und Hoepfner GmbH, Erlangen-Bruck - Deutschland**

Euratom-Vertrag Nr. 016-62-12 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 4,80	FF 6,—	FB 60,—	Lit. 750	Fl. 4,30
------------------------	--------	---------	----------	----------

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, Februar 1967

Das vorliegende Dokument wurde an Hand des besten Abdruckes vervielfältigt, der zur Verfügung stand.

EUR 3269.d

EUROPÄISCHE ATOMGEMEINSCHAFT - EURATOM

DICKENMESSUNG AN HEISSEN GLASBAHNEN BEI DER HERSTELLUNG VON TAFELGLAS

von

H. LANGEL
(Frieseke und Hoepfner GmbH)

1967



Bericht abgefasst von
Frieseke und Hoepfner GmbH, Erlangen-Bruck - Deutschland

Euratom-Vertrag Nr. 016-62-12 IRAD

Dickenmessung an heißen Glaskörpern bei der Herstellung
von Tafelglas. (*)

1. Einleitung

Meßanlagen zur kontinuierlichen und berührungsgelosen Messung der Dicke bei der Herstellung flächiger Materialien werden in großer Zahl in vielen Industriezweigen benutzt und haben sich auch unter schwierigen Umgebungsbedingungen bewährt. Diese Meßanlagen ermöglichen eine genauere Einhaltung der Dicke. Das bedeutet in vielen Fällen eine Qualitätsverbesserung, Materialersparnis und eine Verminderung des Ausschusses. Die durch Einsatz der Dickenmeßanlagen erzielten Ersparnisse sind so groß, daß die Meßanlagen im allgemeinen in kurzer Zeit amortisiert sind.

Unter Verwendung von Kernstrahlung läßt sich z.B. die Dicke von Kunststofffolien, Metallfolien und Blechen kontinuierlich messen und regeln [1]. Die kontinuierliche Messung des Flächengewichts von Papier ist erst durch die Anwendung von Radioisotopen möglich geworden.

Die Vorteile der Messung mittels Kernstrahlung gegenüber anderen üblichen Verfahren sind folgende:

1. Die Messung erfolgt kontinuierlich.

Nur mit Hilfe der kontinuierlichen Messung ist eine genaue Kontrolle der Dicke bei der Herstellung möglich. Die vor der Einführung von Meßmethoden mit Radioisotopen übliche Stichprobenmessung gibt nur unbefriedigende Auskunft über die Dicke des Materials. Sie erlaubt keine automatische Regelung des Herstellungsprozesses unter optimaler Ausnutzung aller Produktionsfaktoren.

2. Die Messung erfolgt berührungslos.

Es können Materialien gemessen werden, die wegen ihrer Beschaffenheit mit anderen Mitteln und Verfahren (wie z.B. mechanischen Tastern) nicht meßbar sind.

(*) Manuskript erhalten am 12. Dezember 1966

So kann die Dicke von Folien im noch nicht erstarrten Zustand, die Dicke von Gummibalken usw. einwandfrei erfaßt werden. Es ist auch eine Messung bei sehr hohen Meßguttemperaturen möglich. Die Dicke von Grobblechen bei Materialtemperaturen von 1000°C kann mit großer Genauigkeit gemessen werden [2]. Die Messung wird durch die Geschwindigkeit des Meßgutes nicht beeinflusst.

b. Das Querprofil der Dicke kann leicht ermittelt werden. Die Meßanlagen lassen sich so ausführen, daß die Meßstelle über die Breite der Bahn verfahren werden kann. Man kann dann mit einer Meßanlage alternativ an einer Stelle z.B. in der Mitte der Bahn die Dicke in Längsrichtung messen oder aber den Verlauf der Dicke über die Bahnbreite aufnehmen. Bei Stichprobenmessungen muß dagegen allgemein zur Aufnahme des Querprofils die Bahn zerteilt werden. Das ist umständlich und zeitraubend und ergibt eine wesentlich schlechtere Information über die Dicke als sie eine ständig traversierende Meßstelle vermittelt.

Ziel der Entwicklung war es, die Vorteile der Dickenmessung mit Radioisotopen auch bei der Herstellung von Tafelglas auszunutzen. Auch hier ist die Einhaltung geringer Dickentoleranzen von großer Bedeutung. Besonders bei der Weiterverarbeitung des Tafelglases z.B. durch Schleifen zu Spiegelglas oder bei der Anfertigung von Doppelscheiben und Verbundglas sind geringe Dickentoleranzen erwünscht. Für den Hersteller ist die Materialersparnis von Bedeutung, die sich dadurch ergibt, daß bei Verringerung der Dicken-schwankungen der Sollwert der Dicke näher an die untere Toleranz-grenze gelegt und der durch fehlerhafte Dicke bedingte Ausschuß vermindert werden kann. Diese Einsparungen können bei den großen Mengen, die von den Glasfabriken gefertigt werden, von großer wirtschaftlicher Bedeutung sein.

Eine Meßanlage für die Dickenmessung an Tafelglas sollte folgende Forderungen erfüllen:

1. Die Meßunsicherheit soll klein sein gegenüber den geforderten Dickentoleranzen.

2. Die Messung soll kontinuierlich erfolgen, so daß der Meßwert dauernd überwacht werden kann und bei auftretenden Dickenabweichungen ein sofortiger korrigierender Eingriff möglich ist.
3. Die Anlage soll nicht nur an einer Stelle des Glasbandes z.B. am Rande die Dicke kontinuierlich messen, sondern die Meßstelle soll über die Bahnbreite verfahrbar sein, so daß das Querprofil der Dicke ermittelt werden kann.
4. Die Messung soll möglichst nahe am Entstehungsort der Glasbahn erfolgen, so daß die Totzeit, die durch die Länge der Bahn von Entstehungsort zum Meßort gegeben ist, möglichst kurz ist.

Die bisher übliche Stichprobenmessung erfüllt diese Forderungen nicht. Es wurden Meßanlagen mit Radioisotopen zur Dickenmessung an Tafelglas entwickelt, die den genannten Forderungen entsprechen.

Im Gegensatz zu bisher verwirklichten Dickenmeßanlagen in anderen Industriezweigen treten bei der Messung von Tafelglas zusätzliche Probleme durch die allgemein hohen Umgebungstemperaturen und schwierigen Einbauverhältnisse auf. Zur Lösung der gestellten Aufgabe konnte nur bedingt auf bekannte Konstruktion zurückgegriffen werden, es mußten teilweise völlig neuartige Ausführungen der Meßstelle geschaffen werden.

2. Vorklärung.

Vor Beginn der eigentlichen Entwicklungsarbeiten, die zur Erstellung einsatzfähiger Prototypen führten, war eine Vorklärung über die Einsatzmöglichkeiten der Meßanlage an den Herstellungsmaschinen, des anzuwendenden Meßverfahrens und des zu verwendenden Radioisotops notwendig.

2.1 Die Einsatzmöglichkeiten von Dickenmeßgeräten bei der Herstellung von Tafelglas.

Bei dem meist bei Dickenmessung mittels Radioisotopen verwendeten Durchstrahlverfahren befindet sich das Radioisotop auf der einen Seite und ein geeigneter Strahlungsdetektor auf der anderen Seite des Meßguts. Die Meßstelle besteht also aus zwei Teilen, dem Strahlerhalter mit dem Radioisotop und der Meßkammer mit dem

Detektor. Es haben sich im wesentlichen zwei Ausführungsformen bewährt, der Sondenbügel und die Querbewegungsverrichtung. Der U-förmige Sondenbügel umfaßt die Meßgutbahn von einer Seite. Am Ende des einen Arms ist der Strahlhalter eingelenkt, am Ende des anderen die Meßkammer. Dieser Bügel wird bei breiten Bahnen allgemein zur Dickenmessung am Rande der Bahn benutzt. Bei schmalen Bahnbreiten kann er auch zur Profilmessung verwendet werden. Durch eine automatische Fahrverrichtung wird dann der Bügel so verfahren, daß die ganze Bahnbreite erfährt wird. Die Armlänge muß dann größer als die Bahnbreite sein. Bei großer Bahnbreite ist eine Ausführung als G-förmige sogenannte Querbewegungsverrichtung zweckmäßiger. Bei dieser werden Strahlhalter und Meßkammer an zwei parallelen Trägern eines Rahmens, der die Meßgutbahn umschließt, parallel zur Meßgutfläche verfahren.

Durch Besuche bei mehreren Tafelglasfirmen wurde erkundet, wo bei den verschiedenen Herstellungsverfahren eine Meßstelle eingesetzt werden kann und wie sie zweckmäßig ausgeführt wird. Es mußte dabei auch entschieden werden, ob ein Sondenbügel oder eine Querbewegungsverrichtung verwendet werden sollte.

Die verschiedenen Herstellungsverfahren für Tafelglas.

[3] lassen sich in zwei Gruppen einteilen und zwar in Verfahren mit waagerechter Ziehrichtung und Verfahren mit senkrechter Ziehrichtung. Bei allen Herstellungsverfahren wird die Glasbahn aus einem Ziehherd gezogen, der aus dem Glasschmelzofen, der sogenannten Wanne, mit flüssiger Glasmasse gespeist wird. Die Temperatur des Glases beträgt hier 700 ... 800°C. Das zunächst plastische Glasband wird gekühlt und dann in Platten bestimmter Größe zerschnitten. Die Breiten des Bandes liegen zwischen 2 und 4 m. Es kommen Dicken in dem Bereich von ca. 0,5 ... 20 mm vor. Von den Herstellern wurde eine Meßgenauigkeit von $\pm 50 \mu\text{m}$ für Dicken bis 6 ... 8 mm und von $\pm 100 \mu\text{m}$ bei größeren Dicken und eine Zeitkonstante von 1 sec. als ausreichend angegeben.

Verfahren mit senkrechter Ziehrichtung.

Bei den Fourcault-Verfahren (Bild 1) wird die Glasschmelze als endloses Band durch eine im Ziehherd befindliche Ziehdüse senk-

recht herausgezogen. Die erstarrte Glasbahn wird durch Transportwalzen durch den senkrecht angeordneten Kühlschacht aufwärts befördert. Oberhalb des Kühlschachtes, dessen Länge ca. 10 m beträgt, wird das Glas in Stücken bestimmter Länge abgeschnitten. Die Transportwalzen haben einen Mantel aus Asbestmaterial. Sie sind paarweise gegenüberliegend angeordnet. Eine der Walzen eines Walzenpaares ist fest gelagert, während die andere durch Gewichte gegen die Glasbahn gedrückt wird. Der Kühlschacht selbst ist ein geschlossener Kanal mit einstellbaren Klappen, durch die die Zufuhr von Außenluft geregelt werden kann. Der Verlauf des Abkühlungsprozesses ist sehr kritisch, von ihm hängt ab, ob das Glas richtig entspannt wird. Störungen in der Abkühlung können zu Spannungen führen, die einen Bruch des Glases zur Folge haben können. Beim Pittsburgh-Verfahren wird die Glasbahn nicht aus einer Düse gezogen, sondern zwischen zwei in der Schmelze liegenden Balken ausgehoben. Die Anordnung des Kühlschachtes ist die gleiche wie beim Fourcault-Verfahren.

Die Dicke wird allgemein mit einer Mikrometerschraube oder einer Lehre an der Schneidekante der Glasbahn bestimmt. Es wird dabei meist an den beiden Rändern und in der Mitte gemessen. Diese Messung wird in bestimmten Zeitabständen durchgeführt. Eine Dickenmessung sollte möglichst frühzeitig erfolgen. Sie ist erst sinnvoll, wenn das Glas erstarrt ist und sich die Dicke durch Streckung nicht mehr verändern kann. Die Meßanlage sollte also am unteren Ende der Ziehmaschine eingebaut werden. Ein Einbau an dieser Stelle ist jedoch sehr schwierig. Die Meßstelle wird hier nicht nur durch Wärmestrahlung der Glasbahn, sondern auch durch die Strahlung der heißen Glasmasse im Ziehherd und durch die aufsteigende erhitzte Luft erwärmt. Günstiger erscheint es darum, die Meßstelle erst nach dem Kühlschacht einzubauen, da bei diesem Verfahren, im Gegensatz zur Herstellung bei waagrechter Ziehrichtung, die Abkühlung relativ schnell erfolgt. Hier läßt sich die Querbewegungsvorrichtung leicht einsetzen und mit ihr kann die Aufnahme des Querprofils vorgenommen werden. Die Temperaturen liegen hier immer noch bei ca. 150°C.

Verfahren mit waagrechter Ziehrichtung.

Beim Libbey-Owens-Verfahren wird die Glasbahn senkrecht aus dem Ziehherd gezogen und dann über eine Biegewalze um 90° in die waagrechte Richtung abgebogen (Bild 2). Sie tritt dann in den Kühllofen ein, in dem sie über Rollen läuft. Der Kühllofen wird am Anfang durch Brenner beheizt, die Rollen werden hier durch Wasser gekühlt. Der Kühllofen hat eine Länge von ca. 50 ... 150 m. Die Innentemperatur nimmt von Anfang bis zum Ende gleichmäßig ab. Die Glasbahn ist bei Eintritt noch plastisch, sie erstarrt bei einer Temperatur von ca. $500 \dots 600^\circ\text{C}$, die etwa 10 ... 20 m entfernt vom Anfang erreicht wird. Die Temperatur des Glases nach Verlassen des Ziehofens liegt bei ca. 100°C .

Entsprechend der großen Länge des Kühllofens kann die Durchlaufzeit des Glasbandes eine bis mehrere Stunden je nach Glasdicke betragen. Die Messung sollte also möglichst im Kühllofen an der Stelle durchgeführt werden, an der das Glas erstarrt. Wegen der beschränkten Raumverhältnisse im Kühllofen und wegen der über 500°C liegenden Temperatur kann hier keine Querbewegungsvorrichtung benutzt werden. Eine Rollenführung bei so hohen Temperaturen ist nicht realisierbar. Außerdem würden sich die Träger unter dem Einfluß der Temperatur verziehen. Es ergibt sich nur die Möglichkeit, die Meßstelle als Sondenbügel auszuführen, der durch Öffnungen in der Seitenwand des Kühllofens eingeführt wird. Strahler und Detektor können dann durch eine Wasserkühlung gekühlt werden.

Man kann so mit je einem Sondenbügel an den beiden Seiten des Glasbandes die Dicke messen. Soll jedoch das Querprofil erfaßt werden, so muß ein Sondenbügel verwendet werden, dessen Armlänge so groß ist, daß die ganze Bahnbreite erfaßt werden kann. Eine solche Anordnung gewährleistet eine optimale Lösung des Meßproblems, jedoch ist der Aufwand für eine solche Meßstelle groß.

Wesentlich einfacher ist die Messung am Ende des Ofens. Der Bau einer Querbewegung, die die Glasdicke hinter dem Kühllofen mißt, bereitet keine besonderen Schwierigkeiten, da die Glastemperatur nur ca. 100°C beträgt. Die Lufttemperatur an dieser Stelle ist

wesentlich niedriger und liegt allgemein unter 50°C . Trotz der langen Totzeit, die bei der Messung hinter dem Kühllofen durch den Transport des Glases im Kühllofen auftritt, kann in besonderen Fällen auch diese Messung von Interesse sein. Das ist z.B. der Fall, wenn die Glasdicke nicht mit einfachen mechanischen Meßgeräten zu ermitteln ist, wie z.B. bei Profilglas oder wenn das Glas zur Erleichterung eines anschließenden Schleifvorgangs mit einer gekräuselten Oberfläche hergestellt wird. Zur Herstellung eines Oberflächenprofils läßt man das Glas vor Eintritt in den Kühllofen zwischen zwei Prägwalzen hindurchlaufen, die das gewünschte Profil in das plastische Glasband eindrücken. Die mittlere Dicke eines Profilglases wird üblicherweise durch Stichprobenmessungen ermittelt. Man nimmt dazu aus dem Glasband nach Verlassen des Kühllofens Stücke bestimmter Größe z.B. 1 m^2 , deren Gewicht bestimmt wird. Aus dem ermittelten Flächengewicht kann dann die mittlere Dicke errechnet werden. Hier bringt die kontinuierliche Messung mittels Radioisotopen Vorteile, da die Glasbahn nicht zur Entnahme von Proben geschnitten werden braucht und außerdem das Querprofil laufend gemessen werden kann.

Es ergaben sich also drei verschiedene Einsatzmöglichkeiten einer Anlage zur kontinuierlichen Messung der Dicke von Tafelglas mittels Radioisotopen:

A Dickenmessung bei senkrechter Ziehrichtung.

Die Meßstelle ist am oberen Ende des Kühlschachtes angeordnet, sie wird zur Aufnahme des Querprofils als Querbewegungsvorrichtung ausgeführt. Die Temperaturen liegen bei ca. 150°C .

B Dickenmessung bei wagrechter Ziehrichtung im Kühllofen.

Die Meßstelle wird entweder als kurzer Sondenbügel ausgeführt, der am Rande mißt, oder aber als großer Sondenbügel, der über die ganze Bandbreite verfahren werden kann und die Aufnahme des Querprofils gestattet. Die Temperaturen liegen zwischen 500 und 600°C .

C Dickenmessung bei waagrechter Ziehrichtung hinter dem Kühllofen.

Die Meßstelle wird als Querbewegungsvorrichtung ausgeführt, die Temperaturen liegen bei ca. 50°C . Der Aufwand ist hier geringer als bei B.

Die Meßanlagen müssen so ausgeführt sein, daß sie bei Bruch der Glasbahn nicht durch Glasscherben beschädigt werden können. Um die drei geschilderten Einsatzmöglichkeiten studieren zu können, wurden drei verschiedene Meßanlagen entwickelt.

2.2 Auswahl des Meßverfahrens

Bekanntlich können zur Dickenmessung mittels Radioisotopen zwei Verfahren angewendet werden:

1. Die Durchstrahlungsmessung
2. Die Rückstrahlungsmessung

Bei der Durchstrahlungsmessung benutzt man die Absorption der Strahlung eines Radioisotops im Meßgut als Maß für dessen Stärke. Wie bereits erwähnt, befindet sich dabei der Strahler auf der einen Seite und ein geeigneter Detektor auf der anderen Seite des Meßguts. Da die vom Detektor gemessene Strahlungsintensität vom Abstand Strahler - Detektor abhängt, muß die Entfernung zwischen beiden konstant sein. Die Lage des Meßguts im Meßspalt ist von untergeordneter Bedeutung. Lageänderungen können einen geringen Einfluß auf die gemessene Intensität haben, der durch die Streuung am Meßgut hervorgerufen wird. Im allgemeinen ist dieser Effekt vernachlässigbar.

Bei der Rückstrahlungsmessung wird die Intensität der vom Meßgut rückgestreuten Strahlung als Maß für dessen Dicke genutzt. Der Strahler wird allgemein vor dem Detektor angeordnet und mit diesem zu einer Einheit kombiniert. Allgemein ist bei der Rückstreumessung der Meßeffect stark vom Abstand des Meßgutes von Strahler - Detektor abhängig. Lageänderungen des Meßgutes beim Vorschub können also die Messung stark verfälschen. Aus folgenden Gründen ist bei dem vorliegenden Meßproblem das Rückstrahlverfahren ungünstig:

Bei waagrechtlicher Ziehrichtung ist nicht gewährleistet, daß das Glas im erstarrten Zustand gleichmäßig auf den Rollen aufliegt. Bei senkrechter Ziehrichtung sind Lageänderungen durch Abnutzung der Transportwalzen unvermeidbar. Es ist also im Betrieb nicht mit konstantem Abstand Strahler - Meßgut zu rechnen. Die Anordnung des Strahlers vor dem Detektor bedingt, daß das Präparat und die Schließvorrichtung, die den Austritt von Strahlung bei ausgeschalteter Anlage verhindert, nicht durch Kühlung vor den hohen Temperaturen

geschützt werden kann. Außerdem ist das Präparat Beschädigungen durch Glasscherben ausgesetzt. Die Messanlagen wurden daher als Durchstrahlenanlagen ausgeführt.

2.3 Wahl des Strahlers.

Der Meßbereich soll bis zu etwa 20 mm Glasdicke reichen. Bei einem spezifischen Gewicht des Tafelglases von $2,5 \text{ g cm}^3$ entspricht das einem Flächengewicht von 50000 g/m^2 . Für diesen Meßbereich sind Betaststrahler ungeeignet.

Mit Sr 90/Y90 läßt sich z.B. nur eine Glasdicke von max. 2 mm messen. Es kann also nur ein Gammastrahler niedriger Energie oder ein Bremsstrahlpräparat verwendet werden. Für den geforderten Meßbereich wäre ein Gammastrahler mit einer Energie von ca. 50 keV geeignet. Zu Beginn der Entwicklung waren geeignete Gammastrahler nicht verfügbar. Es standen nur Co 60 (1,17 und 1,32 MeV) und Cs 137 (0,67 MeV) zur Verfügung. Deshalb wurden Bremsstrahlpräparate mit Sr 90, Kr 85 und Pm 147 auf ihre Verwendbarkeit untersucht.

Sr 90/Y90 - und Pm 147 - Bremsstrahlpräparate waren zur Aufnahme der Absorptionskurve verfügbar. Eine orientierende Absorptionskurve für Kr 85 - Bremsstrahlung wurde mittels eines Kr 85 - Beta - Präparates aufgenommen, auf dessen Austrittsfenster ein Absorber als Target befestigt wurde, das die Betastrahlung in Bremsstrahlung umsetzt. Da die Verwendung von Kr 85 - Bremsstrahlung wegen des günstigen Kurvenverlaufs, der guter Halbwertszeit (10,5 Jahre) und außerdem aus Gründen des Strahlenschutzes sehr günstig erschien, wurden Muster von Kr 85 - Bremsstrahlpräparaten angefertigt. Es wurden hierzu zwei Gehäuse zur Aufnahme des Kr 85 gebaut, die dann von einer Lieferfirma mit Kr 85 gefüllt wurden. Die Kapseln hatten zur Aufnahme des Isotops einen Hohlraum von ca. 20 mm Durchmesser und 20 mm Höhe entsprechend einem Volumen von ca. 25 cm^3 entsprechend einer Aktivität von 1 Ci. Das Fenster welches gleichzeitig als Target diente bildete eine Stirnfläche des Zylinders und bestand bei dem einen Präparat aus 0,3 mm Messing bei dem anderen Präparat aus 1 mm Aluminium.

Bei der Ausführung mit Messingfenster ist die Dichtigkeit der Kapsel leichter höhererzuehbar als bei der Ausführung mit Aluminium, da das Verlöten von Aluminium schwierig ist. Das Aluminiumfenster bietet jedoch Vorteile, da wegen der niedrigen Ordnungszahl des Aluminiums ($Z=13$) die gewünschten niedereenergetischen Anteile des Bremsstrahl-Spektrums weniger absorbiert werden als durch das Messingfenster, dessen Bestandteile eine relativ hohe Ordnungszahl haben. (Kupfer: $Z=29$ und Zink: $Z=30$). Mit diesen Präparaten wurden Absorptionskurven für Glas als Absorber mit einer Ionisationskammer als Detektor aufgenommen. Als Füllgas für die Ionisationskammer wurde Krypton verwendet. Krypton hat ein höheres spezifisches Gewicht als Argon und damit einen höheren Absorptionskoeffizienten. Außerdem steigt sein Absorptionskoeffizient zu niedrigen Energien wegen seiner höheren Ordnungszahl stärker an, als der von Argon. Die gemessenen Absorptionskurven sind im Bild 3 dargestellt. Der Ionisationsstrom ist bezogen auf den Wert für Absorberdicke Null logarithmisch aufgetragen. In dieser Darstellungsweise ergibt eine e-Funktion eine Gerade.

Bekanntlich sind die Absorptionskurven für hochenergetischen Gammastrahler durch eine e-Funktion darstellbar. Der Absorptionskoeffizient ist eine Funktion der Energie und der Ordnungszahl des Absorbers. Bei der Bremsstrahlung handelt es sich aber um ein kontinuierliches Spektrum. Daher ist die Absorptionskurve für ein Bremsstrahlpräparat abweichend von einer e-Funktion. Bei kleinen Absorberdicken sind die niedereenergetischen Anteile der Strahlung wirksam, der Absorptionskoeffizient ist groß und die Absorptionskurve hat einen steilen Verlauf. Bei größeren Absorberdicken durchdringen nur noch die höherenergetischen Anteile der Strahlung den Absorber, die Kurve verläuft flacher. Entsprechend der maximalen Energien der Isotope ist die Kurve für Pm 147 ($E_{\max} = 0,22$ MeV) am steilsten, es folgen dann die Kurven für die beiden Kr 85 - Präparate ($E_{\max} = 0,67$ MeV) und dann die Kurven für Sr 90 ($E_{\max} = 2,27$ MeV) mit der geringsten Steilheit.

Die beiden Absorptionskurven für die Kryptonpräparate unterscheiden sich beträchtlich in ihrer Steigung. Der wesentlich weniger steile

Verlauf der Kurve für das Präparat mit Messingfenster erklärt sich dadurch, daß das Messingfenster wegen seiner höheren Ordnungszahl einen großen Teil der niedereenergetischen Strahlung absorbiert, die Strahlung des Präparats hat daher im Mittel eine höhere Energie.

In Bild 4 ist die reziproke Steilheit der Absorptionskurven aufgetragen und zwar ist die Dickenänderung aufgetragen, die den Ionisationsstrom um 1 % des Maximalwertes verändert. Eine Messung des Ionisationsstroms mit einer Unsicherheit von 1 % ist bei Anwendung eines Schwingkondensatorverstärkers nach dem Kompensationsverfahren gut möglich. Die Kurven stellen damit die optimal erreichbaren Meßunsicherheiten für die einzelnen Strahler dar.

Die erforderlichen Aktivitäten wurden geschätzt:

für	Pm 147 - Bremsstrahlpräparat	ca. 20	Ci
für	Sr 90/Y 90 - Bremsstrahlpräparat	ca. 0,5	Ci
für	Kr 85 - Bremsstrahlpräparat	ca. 1	Ci

Im Verlauf der Untersuchungen wurde Am 241 als Strahler verfügbar. Am 241 emittiert außer einer Alphastrahlung von ca. 5,5 MeV eine Gammastrahlung, deren Hauptanteil bei 60 keV liegt. Die Alphastrahlung wird durch die Schutzfolie des Präparats absorbiert und ist daher unwirksam. Die Gammastrahlung von 60 keV ist zur Lösung des Meßproblems sehr gut geeignet. Mit einem 100 mCi - Am 241 - Präparat wurde die Absorptionskurve für Glas ermittelt und in Bild 3 eingetragen. Sie ist näherungsweise eine e-Funktion, die gut mit der für Glas errechneten Absorptionskurve für 60 keV-Gammastrahlung übereinstimmt. Die Abweichung von der theoretischen e-Funktion erklärt sich daraus, daß Am 241 außer der 60 keV-Strahlung auch noch Gammastrahlung geringerer Energie aussendet.

Die Kurven in Bild 4 zeigen, daß die gewünschten Meßgenauigkeiten (für Dicken von 0 ... 6 mm \pm 50 μ m und für Dicken von 6 ... 20 mm \pm 100 μ m) am sichersten mit dem Am 241 - Strahler erreicht werden können. Grundsätzlich wären auch Kr 85 - oder Sr 90-Bremsstrahlpräparate verwendbar. Für alle Anlagen wurde Am 241 benutzt, das außer dem günstigen Verlauf der Absorptionskurve auch noch den Vorteil der langen Halbwertszeit (450 Jahre) besitzt. Die erforderliche Aktivität beträgt ca. 200 mCi.

Später wurde noch Pb 210 (RaD) auf seine Verwendbarkeit für das Meßproblem untersucht. Pb 210 ist ein Gammastrahler, dessen Energie (47 keV) unter der des Am 241 liegt. Das Präparat ergab jedoch eine schlechte Ausbeute. Die erforderlichen Aktivität wäre nicht auf der vorgesehenen Präparatfläche unterzubringen. Da die Präparate sehr teuer sind und die Messung nur eine Verbesserung der Empfindlichkeit um 20 % ergab, wurde von einer Verwendung des Pb 210 abgesehen.

3. Entwicklung der Prototypen

Als Strahlungsdetektor wird eine Ionisationskammer in Verbindung mit einem Schwingkondensatorverstärker benutzt. Ionisationskammern sind wegen ihres einfachen und robusten Aufbaues und ihrer praktisch unbegrenzten Lebensdauer für industrielle Meßanlagen besonders geeignet. Für den Einsatz zur Dickenmessung an Tafelglas ist besonders günstig, daß die Ionisationskammer auch bei erhöhter Temperatur einwandfrei arbeitet und daß der Wirkungsgrad temperaturunabhängig ist. Der Schwingkondensatorverstärker hat bei sehr hohem Eingangswiderstand eine sehr gute Nullpunkt Konstanz. Bei dem Verstärker konnte auf vorhandene Ausführungen zurückgegriffen werden.

Die Anlagen wurden als sogenannte Sollwertanlagen ausgeführt, bei denen der gewünschte Wert der Dicke an einen Sollwertesteller eingestellt wird. Das elektrische Ausgangssignal ist dann proportional der Abweichung des Meßwerts vom eingestellten Sollwert.

Bild 5 zeigt ein Prinzipschaltbild einer solchen Anlage. Die vom Strahler 1 kommende Strahlung gelangt durch das Meßgut 2 in die Ionisationskammer 3. Der Ionisationsstrom erzeugt an dem Hochohmwiderstand 4 einen Spannungsabfall, der ein Maß für die Dicke ist. Diese Spannung wird dem Eingang des Vorverstärkers vom Schwingkondensatorverstärker 5 zusammen mit einer Gegenspannung und einer Gegenkopplungsspannung zugeführt. Letztere wird dem Potentiometer 7 des Gegenkopplungsteilers im Ausgang des Verstärkers entnommen. Die Gegenspannung wird von dem Potentiometer 8 abgegriffen, das durch die Konstantstromquelle 9 gespeist wird.

Mit dem Potentiometer 8 wird die dem Sollwert entsprechende Spannung eingestellt. Das Potentiometer 7 ist mit dem Potentiometer 8 mechanisch gekoppelt. Hierdurch wird erreicht, daß die Ausgangsspannung des Verstärkers unabhängig vom eingestellten Sollwert trotz unterschiedlicher Steigung der Absorptionskurve immer in einem konstanten Verhältnis zur gemessenen Sollwertabweichung steht. Hat das Meßgut eine Dicke, die gleich dem eingestellten Sollwert ist, so liegt am Verstärkereingang die Spannung Null, da die Spannung am Hochohmwiderstand durch die Gegenspannung genau kompensiert wird.

Die Ionisationskammer mit dem thermostatisierten Hochohmwiderstand, dem Schwingkondensator und dem Vorverstärker sind in der Meßkammer untergebracht. Endverstärker mit Stromversorgung befinden sich in einem Einschub des Zentralgerätes, das an beliebiger Stelle montiert werden kann. Im Zentralgerät befindet sich ebenfalls das Bediengerät mit dem Sollwerteinsteller.

Diese Anordnung hat sich allgemein bei Dickenmeßanlagen mit Radioisotopen bewährt. Es ist grundsätzlich auch eine Ausführung als Istwertanlage möglich, bei der der Istwert von der Skala eines Potentiometerschreibers abgelesen werden kann. Der Vorteil der Sollwertanlage liegt besonders darin, daß die im Betrieb interessierende Abweichung von der Solldicke für das Maschinenpersonal leicht erkennbar ist.

3.1 Anlage zur Dickenmessung an Tafelglas bei senkrechter Ziehrichtung (Meßstellenausführung A).

Durchgeführte Temperaturmessungen an einer Anlage für senkrechte Ziehrichtung über dem Kühlschacht ergaben folgendes:

Der Einbau einer Querbewegungsvorrichtung ist räumlich möglich. An einem Abschnitt eines Trägers, wie er für die Querbewegungsvorrichtung vorgesehen war, wurde an der geplanten Einbaustelle oberhalb des Kühlschachtes eine mittlere Temperatur von ca. 100 °C und ein Temperaturgefälle von der Innenkante zur Außenkante des Trägers von ca. 6 °C gemessen.

Wasser als Füllung ist nicht geeignet, da von eventuellen Leckstellen der Elektrolytungen herabstropfendes Wasser Schaden am Sichtfenster der Glaswanne hervorrufen kann.

Da bei einer Durchstrahlmetalle der Abstand Strahlerhalter-Meßkammer auf ca. 0,1 mm konstant sein muß, wurde nachdacht erwogen, die durch das Temperaturgefälle an den Trägern bedingte Durchbiegung durch Kühlung der Träger unwirksam zu machen. Der Aufwand hierfür wäre sehr groß.

Es wurden Versuche durchgeführt mit dem Ziel die Abstandsabhängigkeit zu vermindern. Durch eine geeignete Fokussierung wurde erreicht, daß bei einer Abstandsänderung von ± 5 mm ein Anzeigefehler von nur ± 20 μ m auftrat, im Gegensatz zu einem Anzeigefehler von ± 600 μ m ohne diese Maßnahme. Auf Grund dieser Ergebnisse brauchte bei Konstruktion der Querbewegungsvorrichtung auf eine eventuelle Durchbiegung unter dem Einfluß der Temperatur keine Rücksicht genommen zu werden.

3.1.1 Die Querbewegungsvorrichtung

Diese Meßanlage (Bild 6) anschließt die Ziehmaschine

mit der Glasbahn. Um genügend Platz für die Meßstelle zu schaffen, wird ein Walzenpaar aus der Ziehmaschine entfernt. Die beiden Doppel-T-Träger mit den Laufschielen für die beiden Wagen werden durch zwei Verbindungsstücke gehalten, die an dem Gerüst der Ziehmaschine befestigt sind. Diese Verbindungsstücke sind gekröpft ausgeführt, da die Antriebsachsen für die Walzen (5), die die Glasbahn (1) bewegen, eine gerade Ausführung nicht zulassen. Die beiden Wagen für Strahlerhalter (3) und Meßkammer (4) werden über Kettenantriebe von dem Getriebemotor (2.1) verfahren. Der Motor wurde mit einem Kühlmantel für Luftkühlung umgeben. Die Welle, die die beiden Kettenantriebe koppelt, ist mit einer Steckkupplung ausgerüstet. Hierdurch ist eine leichte Demontage eines Trägers bei Überholungsarbeiten an der Ziehmaschine und eine leichte Montage der Querbewegungsvorrichtung möglich.

Träger und Kettenantriebe sind durch Bleche vor Beschädigung durch Glasscherben bei Bruch der Glasbahn geschützt. Diese Schutzbleche sind in Bild 7 am linken Träger sichtbar. Vom rechten Träger wurden sie für die Aufnahme entfernt. Die Meßanlage wurde für eine maximale Breite der Glasbahn von 2 m ausgelegt. Die Länge über alles beträgt ca. 3,4 m. Zum Justieren werden Strahlerhalter und Meßkammer an eine Stelle außerhalb der Glasbahn gefahren, so daß der Strahlenkegel ungehindert in die Meßkammer gelangt. Die Fahrgeschwindigkeit bei Aufnahme des Querprofils beträgt 0,4 m/min, der Rücklauf erfolgt mit einer Geschwindigkeit von 2,5 m/min. Die Stellungen für die Justierung und die Messung in Längsrichtung (Fahrmitte) sowie die Endstellungen für die Traversierung sind durch Endschalter fixiert. Der freie Abstand zwischen Strahlerhalter und Meßkammer beträgt 120 mm. Dieser Abstand ist ausreichend, um bei Hochziehen des Anfangs der Glasbahn eine Beschädigung der Meßstelle durch den zum Hochziehen benutzten Rechen zu verhindern. Die Meßanlage ist für Dauerbetriebstemperaturen bis 150 °C ausgelegt.

1.2 Der Strahlerhalter.

Bei dem Strahlerhalter (Bild 8) wurde eine vorhandene Konstruktion benutzt. Dieser Strahlerhalter hat eine pneumatische Fernbedienung, durch die der Strahlengang geöffnet und geschlossen werden kann. Bei Ausschalten der Anlage wird er automatisch geschlossen. Er enthält einen Rückmeldeschalter, der ein Leuchtableau schaltet, das anzeigt, ob er geöffnet oder geschlossen ist. Ebenfalls durch eine pneumatische Betätigung kann ein Eichnormal in den Strahlengang gebracht werden. Es können zwei Strahler alternativ benutzt werden. Im vorliegenden Fall ist nur ein Präparat (200 mCi Am 241) eingebaut. Durch eine starke Bleischirmung wird schädliche Umgebungsstrahlung verhindert. Die Dosisleistung an der Oberfläche beträgt weniger als 0,25 mr/h.

Durch verschiedene konstruktive Maßnahmen wurde der Einsatz dieses Strahlerhalters bei den außergewöhnlich hohen Umgebungstemperaturen möglich. Alle Dichtungen wurden aus Teflon gefertigt, ebenso die Lagerungen. Hierdurch wurden Schmiermittel überflüssig.

3.1.5 Die Meßkammer.

Die Meßkammer (Bild 8 rechts) mußte für diesen Anwendungsfall schmal ausgeführt werden, da der Platz für die Justierung seitlich der Glasbahn beschränkt ist. Das Gehäuse ist ein doppelwandiges Rohr. In den Doppelmantel wird über einen mit Steinwolle isolierten Metallschlauch Kühlluft eingeblasen, die vorne aus seitlich angeordneten Schlitzen austritt. Durch den seitlichen Austritt der Kühlluft wird eine unzulässige Kühlung der Glasbahn sicher vermieden. Das Zuleitungskabel verläuft innerhalb des Luftschauches, ist also gekühlt. Das Eintrittsfenster für die Strahlung besteht aus einer Titanfolie. Der Einsatz (Bild 9) trägt im vorderen Teil die zylindrische Ionisationskammer mit Aluminiumgehäuse. Hinter der Ionisationskammer ist der Thermostat mit dem Hochohmwiderstand eingebaut. Es folgen dann der Schwingkondensator und dahinter befinden sich der Vorverstärker und der Gleichspannungszerrhacker zur Erzeugung der Saugspannung für die Ionisationskammer.

Die Konstruktion wurde so ausgeführt, daß dieser Einsatz ohne große Änderungen auch in dem Sondenbügel zur Messung im Kühl-Ofen verwendet werden konnte.

3.1.4 Das Zentralgerät.

Bild 10 zeigt das zur Anlage gehörige Zentralgerät in Einschubbauweise. Im obersten Einschub befindet sich das Anzeigeeinstrument für die Sollwertabweichung mit zwei verstellbaren Kontakten zur Einstellung der gewünschten Toleranzgrenzwerte. Im darunter befindlichen Einschub ist rechts das Bediengerät mit dem Sollwert-einsteller und links ein Linienschreiber zur Registrierung der

gemessenen Sollwertabweichung untergebracht. Es folgt der Verstärkereinschub mit dem Endverstärker der Stromversorgung und Baugruppen zur automatischen Justierung. Die Anlage ist transistorisiert und justiert sich in bestimmten Zeitabständen automatisch. Hierzu wird die Meßstelle automatisch an eine Seite gefahren, so daß die Strahlung an der Glasbahn vorbei direkt in die Ionisationskammer gelangt. Nach Beendigung des Justiervorgangs fährt der Gerät wieder in die Meßstellung. Durch ein Zeitschaltwerk kann es zur Aufnahme des Querprofils in bestimmten Zeitabständen automatisch hin- und herfahren, wobei das Querprofil auf einem gesonderten Linienschreiber registriert wird. Das Zeitschaltwerk und der Linienschreiber für den Profilschrieb sind in einem gesonderten Schaltgestell untergebracht.

Der gesamte Meßbereich ist in zwei Bereiche unterteilt:

Bereich I 0 ... 6 mm Glasdicke Meßempfindlichkeit: 50 µm

Bereich II 6 ... 14 mm Glasdicke Meßempfindlichkeit: 100 µm

Die Meßunsicherheit beträgt etwa 50 % der Meßempfindlichkeit.

3.2 Anlage zur Dickmessung an Tafelglas bei waagrechtlicher Ziehrichtung im Kühllofen. (Meßstellenausführung B).

2.1 Vorarbeiten

Für die Messung an der waagrechten Glasbahn im Kühllofen war ein Sondenbügel zu entwickeln, der für eine Umgebungstemperatur von 600 °C geeignet ist. Die Elektronik der Meßkammer sollte sich im Betriebe nicht über die zulässige Temperatur von ca. 50 °C erwärmen. Bei dem vorliegenden Bedarfsfall sollte nicht nur am Rande der Glasbahn gemessen werden wie in Bild 11 dargestellt, sondern es sollte mit der Anlage das Querprofil aufgenommen werden. Bei einer maximalen Breite der Glasbahn von 3 m mußte daher die freie Armlänge ca. 3,5 m betragen. Um eine Durchbiegung der Arme durch Wärmeausdehnung und damit eine Änderung des Abstandes Strahlerhalter - Meßkammer mit Sicherheit zu verhindern, mußten nicht nur Meßkammer und Strahlerhalter, sondern auch die Arme selbst gekühlt werden. Die rohrförmigen Arme wurden doppel-

wandig ausgeführt. In dem Doppelmantel zirkuliert Kühlwasser. Um den Kühlwasserbedarf in erträglichen Grenzen zu halten und um eine unzulässige Kühlung der Glasbahn zu vermeiden, wurden die Rohre mit einer äußeren Wärmeisolation versehen.

Für die Fenster, vor Meßkammer und Strahlerhalter, war zunächst die Verwendung von Titanfolie geplant. Temperaturversuche ergaben jedoch, daß Titanfolie eine Temperatur von 600 °C nicht aushält, die Folie wird brüchig und zerfällt. Daraufhin wurden Fenster aus Aluminiumoxydmaterial vorgesehen. Für Temperaturversuche wurde ein Muster des Endes eines Armes mit Kühlmantel und Aluminiumoxydfenster erstellt. Zur Wärmeisolation war eine keramische Streichmasse aufgebracht. Dieses Muster wurde in einem Härteofen bei einer Temperatur von 600 °C getestet. Nach Abschluß der Versuche wies das Fenster einen Sprung auf. Für die endgültige Ausführung wurden Quarzfenster vorgesehen, die sich gut bewährten. Die Wärmeisolation mit der Streichmasse hatte sich auch bewährt, für die endgültige Ausführung wurden jedoch aus Gründen der Einfachheit Keramikrohre verwendet.

3.2.2 Der Sondenbügel mit Fahrvorrichtung.

Bild 12 zeigt den halbfertigen Sondenbügel mit Fahrvorrichtung ohne Wärmeisolation. Um die notwendige Steifigkeit der Arme zu erreichen, sind diese zu den Einspannstellen hin verstärkt. Die Fahrvorrichtung ist auf Stützen aufgebaut, deren Höhe zur Anpassung an Unebenheiten des Bodens verstellt werden können. Der Getriebemotor zum Verfahren des Bügels ist an diesen angebracht. Das Ritzel des Motors greift in eine feste Zahnstange ein und kann jedoch mit dem Motor von der letzteren abgehoben werden, um die Sonde bei Strom- und Kühlwasserausfall auch von Hand ausfahren zu können. Um Kesselsteinablagerungen im Doppelmantel des Sondenbügels zu verhindern, ist ein geschlossener Kühlwasserkreislauf vorgesehen. Über einen Wärmeaustauscher, der mit der Kühlwasserpumpe zu einem Aggregat vereinigt ist, wird das Kühlwasser durch Frischwasser gekühlt.

Bild 13 zeigt den fertigen Sondenbügel mit den aufgeschobenen Keramikrohren. Am Ende des Bügels ist der Metallschlauch sichtbar, in dem alle Zuleitungen wie Meßkammerkabel, Freßmittelleitungen zur Votätigung des Strahlernhalters, Kühlwasserleitungen und Zuleitungen zum Fahrmotor zusammengefaßt sind. Zum Einfahren des Sondenbügels in Justierstellung, Mittelstellung und Ausfahrstellung sowie zur Begrenzung des Fahrzeuges bei Traversierung dienen Endschalter. Bild 14 zeigt das Quarzfenster am unteren Arm.

2.3 Strahlerhalter und Meßkammer.

Der Strahlerhalter entspricht in wesentlichen der unter 3.1.2 beschriebenen Ausführung. Durch den Einbau ergaben sich konstruktive Änderungen, außerdem konnten die Maßnahmen für hohe Betriebstemperatur entfallen. Er ist im oberen Arm des Sondenbügels eingebaut und mit 200 mCi Am 241 bestückt.

Wie bereits erwähnt, wurde hier eine Meßkammer ähnlich der unter 3.1.3 beschriebenen benutzt. Sie befindet sich in dem unteren Arm des Sondenbügels. Die Strahlung fällt hier im Gegensatz zu der Anlage für die Messung an der senkrechten Bahn nicht in Achsrichtung sondern senkrecht dazu ein.

Mittels an Meßkammer und Strahlerhalter angebrachter Stangen können diese gemeinsam in den Sondenbügel eingeführt bzw. herausgenommen werden. Temperaturfühler, die an Strahlerhalter und Meßkammer angebaut sind, gestatten eine laufende Überwachung der Temperatur. Wird diese überschritten, so fährt der Sondenbügel automatisch aus dem Kühllofen. Diese Sicherung gegen Über- temperatur bei Kühlwasserausfall ist einfacher und wirksamer als eine Überwachung von Kühlwassertemperatur und Kühlwasserdurchfluß.

2.4 Der Schaltschrank.

Der zur Anlage gehörige Schaltschrank ist in Bild 15 wiedergegeben. Der oberste Einschub enthält zwei Anzeigeinstrumente für

die Innentemperatur am Strahlerhalter und Meßkammer und die elektronischen Grenzkontakte, die ein Ausfahren des Sendebügels bei Überschreiten der zulässigen Kühlwassertemperatur veranlassen. Die weiteren Einschiebe enthalten, ähnlich wie bei der vorherigen Anlage, ein Instrument zur Anzeige der Sollwertabweichung, einen Schreiber zur Registrierung der Sollwertabweichung in Längsrichtung und einen zweiten Schreiber zur Registrierung des Dickenprofils bei Traversierung. Darunter befindet sich ein Einschub mit Druckknöpfen zur Betätigung der Fahrvorrichtung und ein Einschub mit dem Bediengerät (rechts) und einem Zeitschaltwerk (links), das in regelmäßigen Zeitabständen eine Traversierung veranlaßt. Dann folgt der Verstärkereinschub. Die Wärmeausdehnung des Glases wird bei der Eichung berücksichtigt, so daß die Anlage die Dicke des Glases bei Normaltemperatur anzeigt.

Auch hier sind zwei Meßbereiche vorgesehen:

Bereich I	0 ... 8 mm Glasdicke	Meßempfindlichkeit: 25 μm
Bereich II	8 ... 20 mm Glasdicke	Meßempfindlichkeit: 50 μm

3.3 Anlage zur Dickenmessung an Tafelglas bei waagrechter Ziehrichtung hinter dem Kühllofen. (Meßstellenausführung C).

Wie erwähnt, sind bei dieser Ausführung die Umgebungsbedingungen günstig. Die Temperatur, der die Meßstelle ausgesetzt ist, beträgt ca. 50 °C, außerdem ist zwischen den Rollen, die die Glasbahn nach Verlassen des Kühllofens transportieren, ausreichend Platz zum Einbau einer Querbewegungsvorrichtung vorhanden. Bei der Erstellung des Prototyps konnte daher weitgehend auf vorhandene Teile zurückgegriffen werden. Bei dieser Anlage wurde ein Verstärker in Röhrenaufbau benutzt.

Bild 16 zeigt die Meßstelle. Der Strahlerhalter (3) befindet sich unterhalb und die wassergekühlte Meßkammer (4) oberhalb der Glasbahn (1). Beide werden über Kettenantriebe von dem Motor (2.1) angetrieben, der an dem Rahmen (2) der Querbewegungsvorrichtung eingebaut ist. Die Querbewegungsvorrichtung wurde in Anbetracht

der großen Fahrweite (3600 mm) und wegen möglicher seitlicher Kräfte auf den Strahlerhalter durch Glasscherben bei Glasbruch besonders stabil ausgeführt. Ein stabiles Schutzblech (5) schützt den Strahlerhalter und die untere Fahrschiene vor Beschädigung bei Glasbruch. Die Fahrgeschwindigkeit beträgt ca. 0,6 bzw. 2,4 m/min. Die Länge der Querbewegung über alles ist 4950 mm.

Die Meßbereiche sind:

Bereich I	3 ... 6,5 mm Glasdicke	Meßempfindlichkeit: 50 µm
Bereich II	5,5 .. 15 mm Glasdicke	Meßempfindlichkeit: 100 µm

4. Erprobung der Prototypen.

4.1 Erprobung der Dickenmeßanlage zur Messung bei senkrechter Ziehrichtung. (Meßstellenausführung A)

Die Anlage wurde zunächst in unserem Hause vollständig aufgebaut und mittels Glasmustern geeicht, dann in einer Glasfabrik an einer Ziehmaschine eingebaut (Bild 17) und Ende Januar 1965 in Betrieb genommen. Sie arbeitete dann ohne größere Störungen zur Zufriedenheit des Anwenders. Im März 1965 mußten einige Fehler beseitigt werden. Die Endschalter an der Querbewegungsvorrichtung mußten durch eine temperaturbeständigere Ausführung ersetzt werden. Die Siliconisierungen von Kabeln und Leitungen waren brüchig geworden. Die betreffenden Leitungen und Kabel wurden soweit als notwendig durch asbestisolierte ersetzt. Das Titanfenster am Strahlerhalter war durch Glasscherben beschädigt worden. Für die endgültige Konstruktion wurde deshalb am Strahlerhalter ein Aluminiumfenster vorgesehen. Allgemein sind Arbeiten an der eingebauten Meßstelle schwierig, da wegen der hohen Temperatur mit Asbesthandschuhen gearbeitet werden muß. Nach Beseitigung der Fehler arbeitete die Anlage bis auf kleinere Störungen bis September 1965 einwandfrei. Schwierigkeiten bereitete die Kühlluftversorgung der Meßkammer. Diese Kühlluft wurde einem vorhandenen Kühlluftsystem über längere Zuleitungen entnommen. In den Zuleitungen erwärmte sich die Luft stark, so daß ihre Temperatur schon bei Eintritt in die Meßkammer über dem zulässigen Wert lag. Durch eine Isolierung des Zuleitungsschlauches zur Meßkammer mit Steinwolle konnte

die Eintrittstemperatur der Kühlluft soweit herabgesetzt werden, daß die Anlage betriebsfähig blieb. Für den endgültigen Einsatz der Anlage muß ein Gebläse vorgesehen werden, das kalte Aussenluft über wärmeisolierte Zuleitungen in die Meßkammer fördert.

Die Messungen mit der Anlage ergaben, daß die Dicke des produzierten Glases sehr gleichmäßig war. Die Schwankungen der Glasdicke waren wesentlich geringer, als man vorher angenommen hatte. Man war daher an einer weiteren Verwendung der Anlage jedenfalls an dieser Stelle nicht interessiert und gab als Grund an, daß eine laufende Messung der Dicke wegen der geringen Dickenchwankungen nicht notwendig sei.

Es wurde deshalb vorgeschlagen, mit dieser Meßanlage an Probestücken der Glasbahn die sogenannte Optik des Glases zu messen. Bei der Optik handelt es sich im wesentlichen um in Ziehrichtung verlaufende kleine Unebenheiten des Glases. Diese wirken bei Durchsicht wie Zylinderlinsen. Die Optik ist ein wesentliches Qualitätsmerkmal, sie ist durch Unregelmäßigkeiten des Ziehvorgangs bedingt. Die Dickenchwankungen und Streifenbreiten sind sehr gering. Es wurde versucht, durch Einbau einer zusätzlichen Fokussierung am Strahlerhalter die Breite der durchstrahlten Fläche zu verringern und so die Auflösung zu vergrößern. Der Versuch auf diese Weise die Ziehstreifen nachzuweisen, verlief negativ. Es wurden in dieser Richtung keine weiteren Versuche unternommen, da die Meßempfindlichkeit nicht wesentlich verbessert werden kann. Für den Nachweis der Optik dürften optische Meßverfahren geeignet sein, zumal die Optik außer durch die Welligkeit auch durch Brechzahländerungen des Glases verursacht wird. Die Meßanlage wurde nach Abschluß dieser Versuche Ende 1965 demontiert.

4.2 Erprobungen der Dickenmeßanlage zur Messung im Kühllofen bei waagrechtter Ziehrichtung. (Meßstellenausführung B).

Diese Anlage wurde ebenfalls zunächst in unserem Hause vollständig aufgebaut, geeicht und erprobt. Sie wurde im Mai 1965 in einer Glasfabrik eingebaut (Bild 18) und in Betrieb genommen und

und arbeitete dann zufriedenstellend. Durch Probemessungen wurde bestätigt, daß die Meßunsicherheit kleiner als die Meßempfindlichkeit war. Die Anlage war zunächst nur während der Tagschicht in Betrieb. Der Grund dafür war, daß bei einem Strom- und Kühlwasserausfall die Sonde nicht von Hand ausgefahren werden konnte. Zum Ausfahren mußte erst der Motor demontiert werden. Nachdem dann die Motorbefestigung von uns so umgebaut war, daß die Sonde leicht von Hand herausgefahren werden konnte, war die Meßanlage dauernd in Betrieb. Es mußten nur kleinere Störungen beseitigt werden. Man ist mit der Anlage sehr zufrieden. Das Maschinenpersonal benutzt die Anlage besonders bei Umstellung auf andere Glasdicken. Der Meßwert wird laufend beobachtet und die Maschine an Hand des Meßwerts eingestellt. Es ist anzunehmen, daß die Anlage von dem jetzigen Anwender übernommen wird und daß noch weitere Anlagen dieser Art auch von anderen Glasfabriken eingesetzt werden.

4.3 Erprobung der Dickenmeßanlage zur Messung nach dem Kühllofen bei waagrechter Ziehrichtung. (Meßstellenausführung C)

Diese Anlage war seit Einbau ohne Beanstandungen in Betrieb. Sie arbeitete zur vollsten Zufriedenheit des Anwenders.

5. Zusammenfassung.

Um die radioaktive Dickenmessung in der Tafelglasindustrie erproben zu können, wurde für drei verschiedene Einsatzmöglichkeiten, je ein Prototyp entwickelt und erprobt. Die Anlagen arbeiten nach dem Durchstrahlverfahren unter Verwendung der γ -Strahlung des Am 241. Alle Anlagen arbeiteten zufriedenstellend. Das gestellte Ziel der Entwicklung wurde erreicht.

Die Anlage zur Messung im Kühllofen erfordert den größten Aufwand, sie bringt dem Anwender dafür auch große Vorteile. Trotz des hohen Schwierigkeitsgrades des Meßproblems hat diese Anlage sehr große Aussichten auf verbreitete Anwendung.

Für bestimmte Anwendungen wird auch die Anlage zur Messung hinter dem Kuhlöfen von Bedeutung sein. Aufgrund des geringen Schwierigkeitsgrades ist hier der Aufwand relativ gering. Wenngleich die Meßanlage zur Messung bei senkrechter Ziehrichtung im Anwendungsfall keine wesentliche Vorteile erbrachte, ist jedoch die Anwendung in anderen Fällen nicht unwahrscheinlich.

Literatur

- [1] H. Langel: Flächengewichtsregelung unter Anwendung von Radioisotopen. KERntechnik 5.Jg.1963 Heft 10.S 411-417.
- [2] H. Langel: Grobblech-Dickenmessung mit digitaler Meßwertanzeige. INDUSTRIE'ANZEIGER Nr.71 vom 3.9.1963.
- [3] H. Jebson-Marwedel: Tafelglas in Stichworten. Verlag Girardet 1960

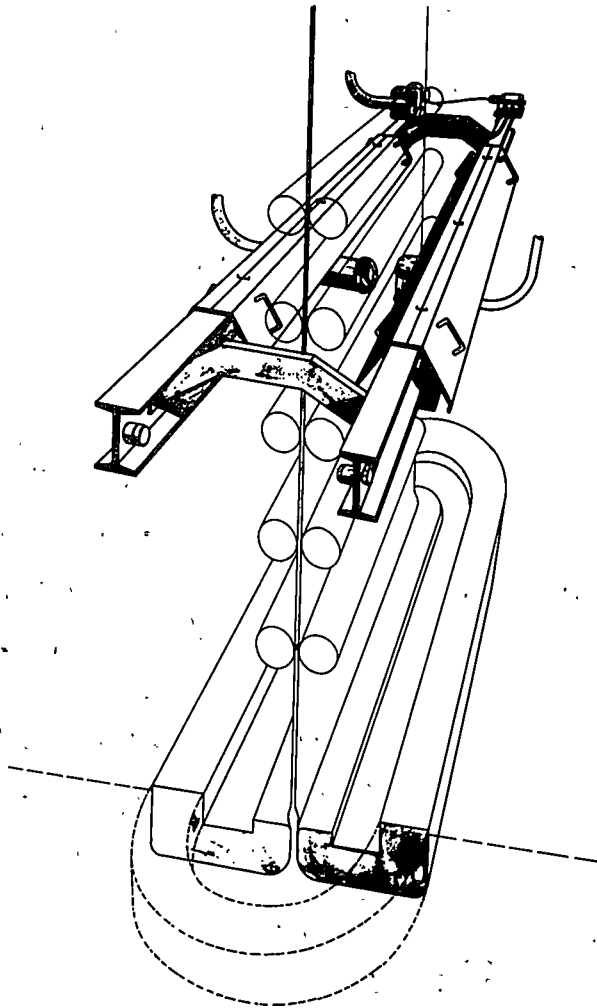


Bild 1: Fourcault - Verfahren, Ziehvorrichtung
mit Meßvorrichtung zur Diametermessung
(Querbewegungsvorrichtung)

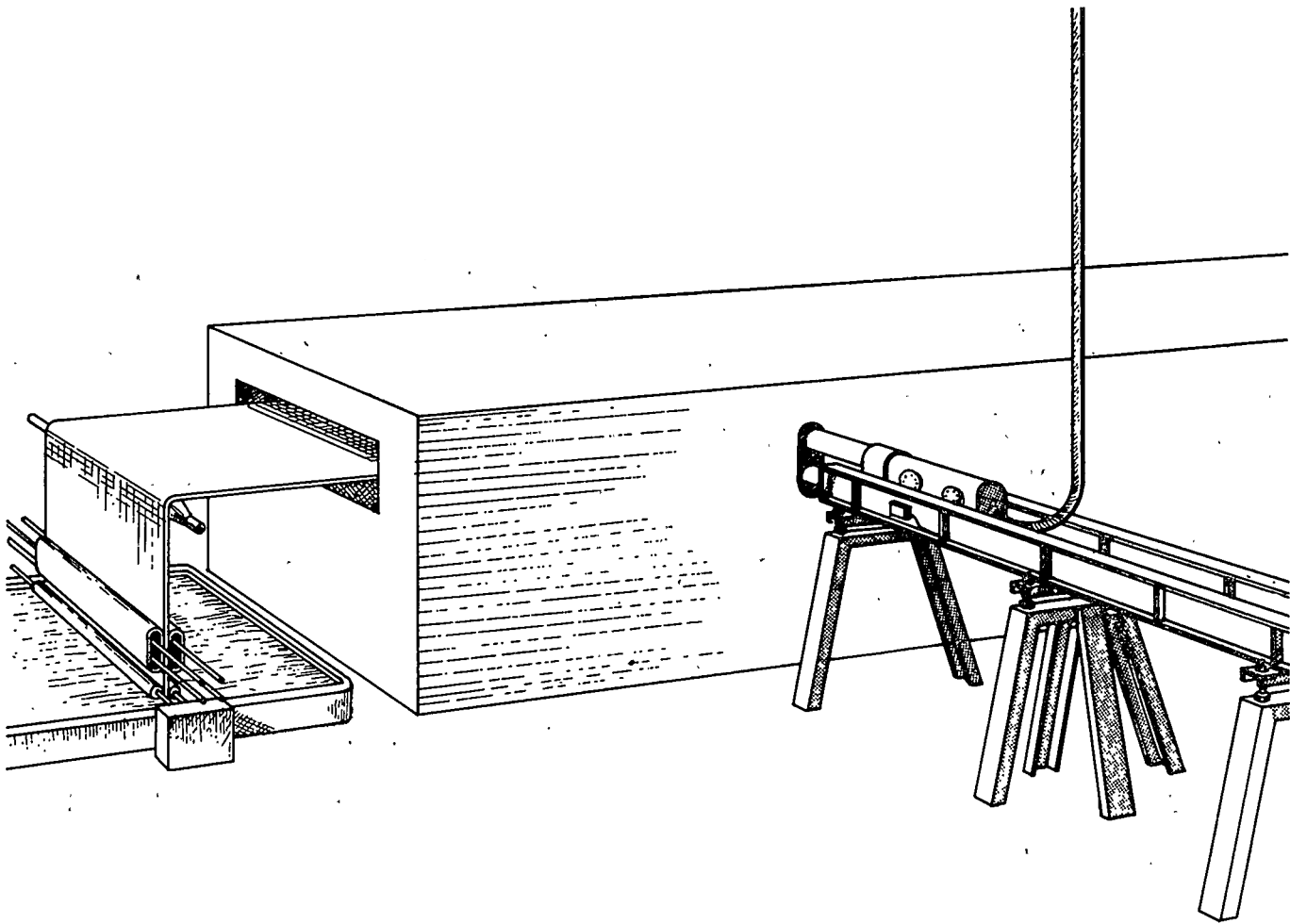


Bild 2: Libbey - Owens - Verfahren,
Ziehvorrichtung und Kühllofen
mit Sondenbügel zur Dickenmessung.

Bild 3

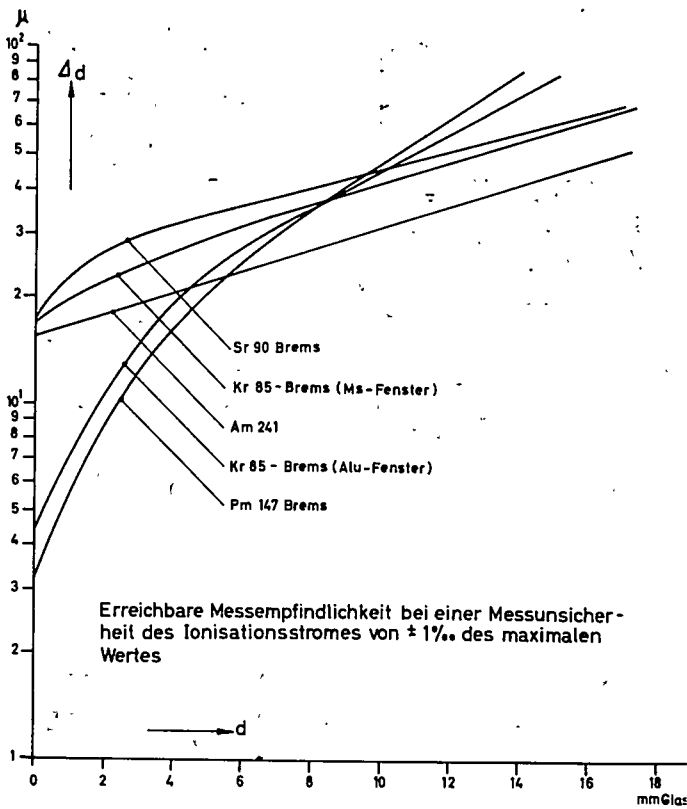
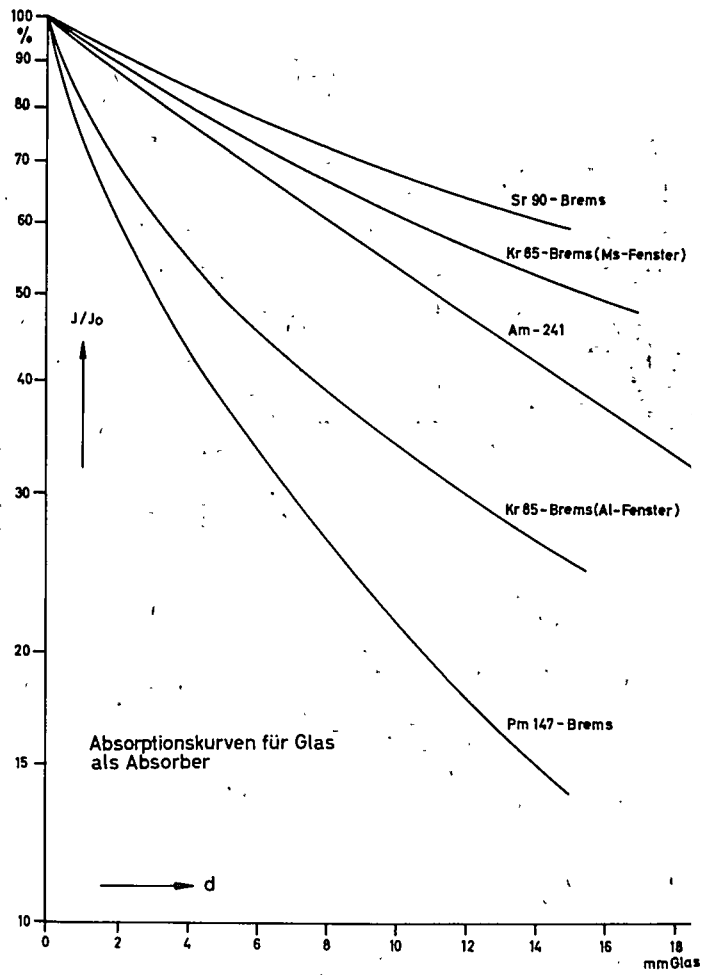


Bild 4

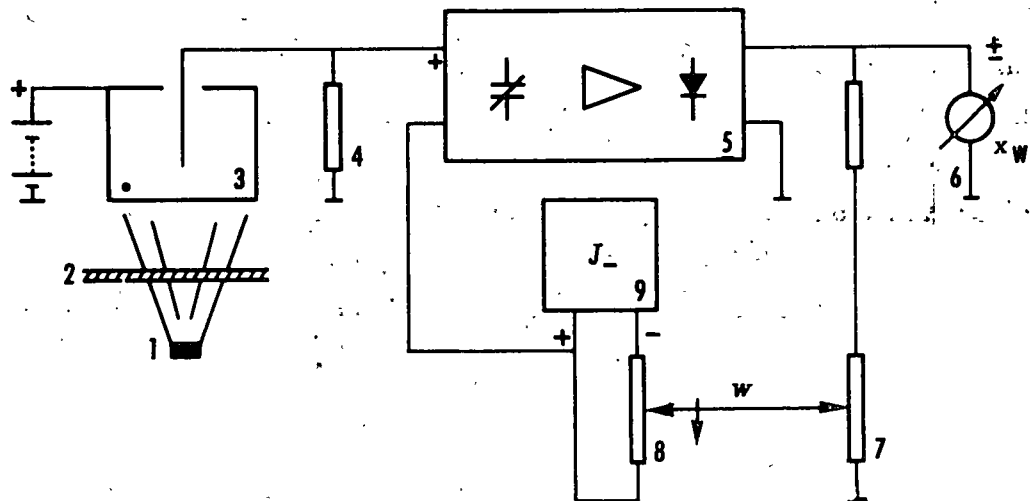


Bild 5: Blockschaltbild einer Dickenmeßanlage mit Sollwert-einstellung und linearer Abweichungsanzeige.

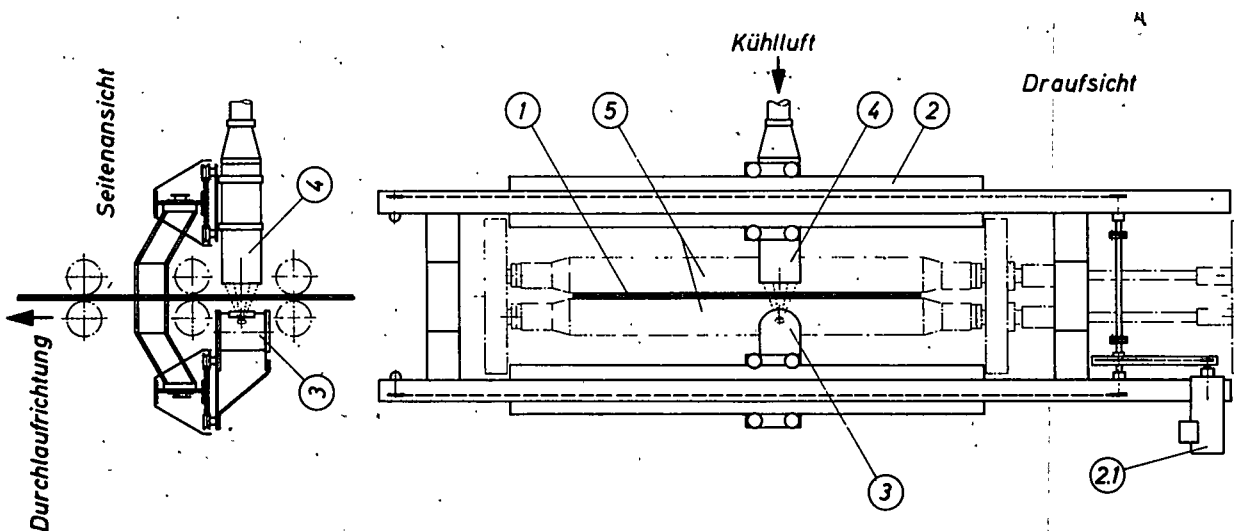


Bild 6:
Querbewegungsvorrichtung für senkrechte Ziehrichtung

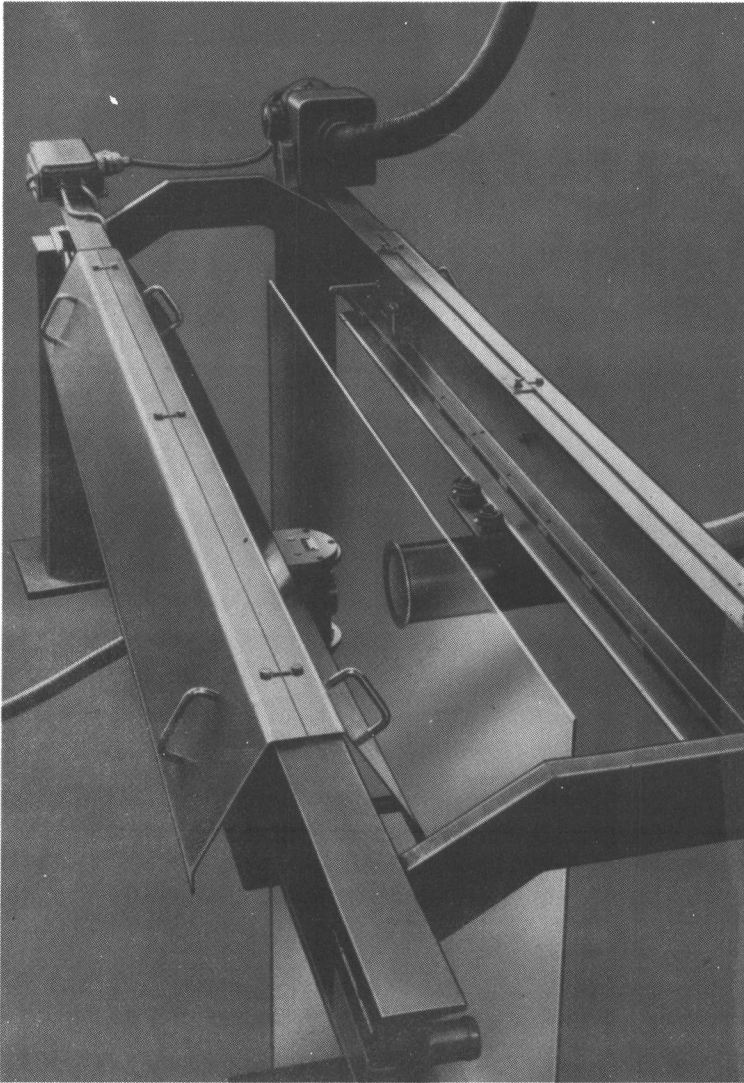


Bild 7:
Meßstelle für senk-
rechte Ziehrichtung
(Querbewegungsvorrichtung)

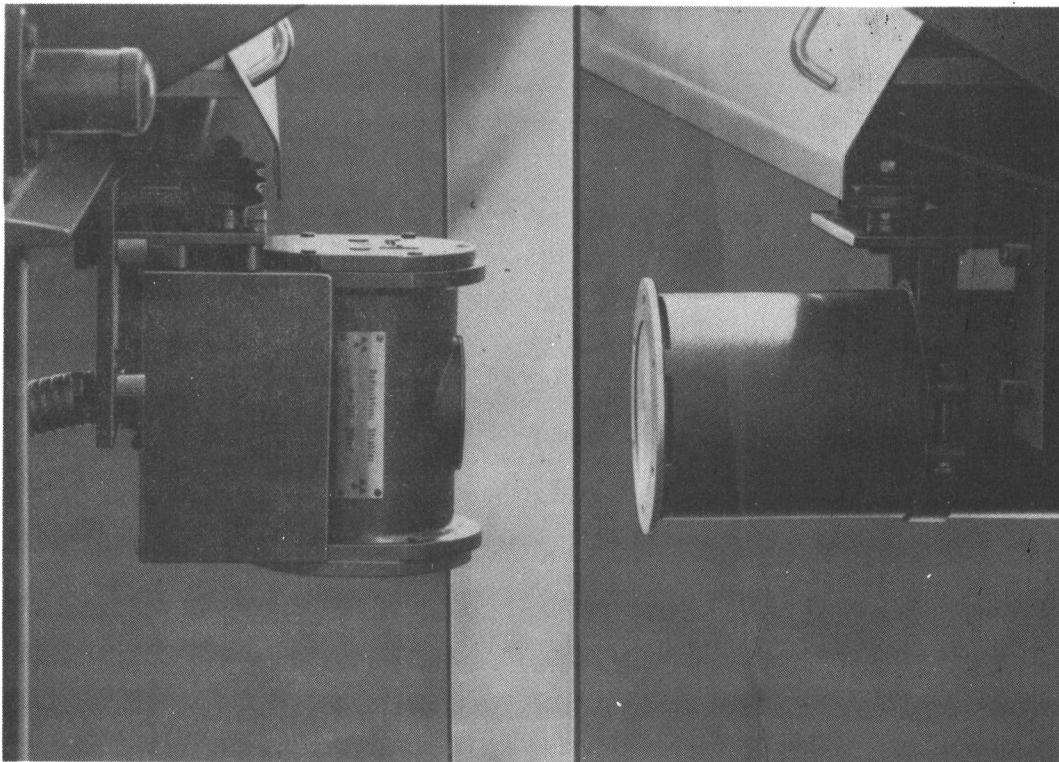


Bild 8: Strahlerhalter und Meßkammer für Dicken-
meßanlage für senkrechte Ziehrichtung.

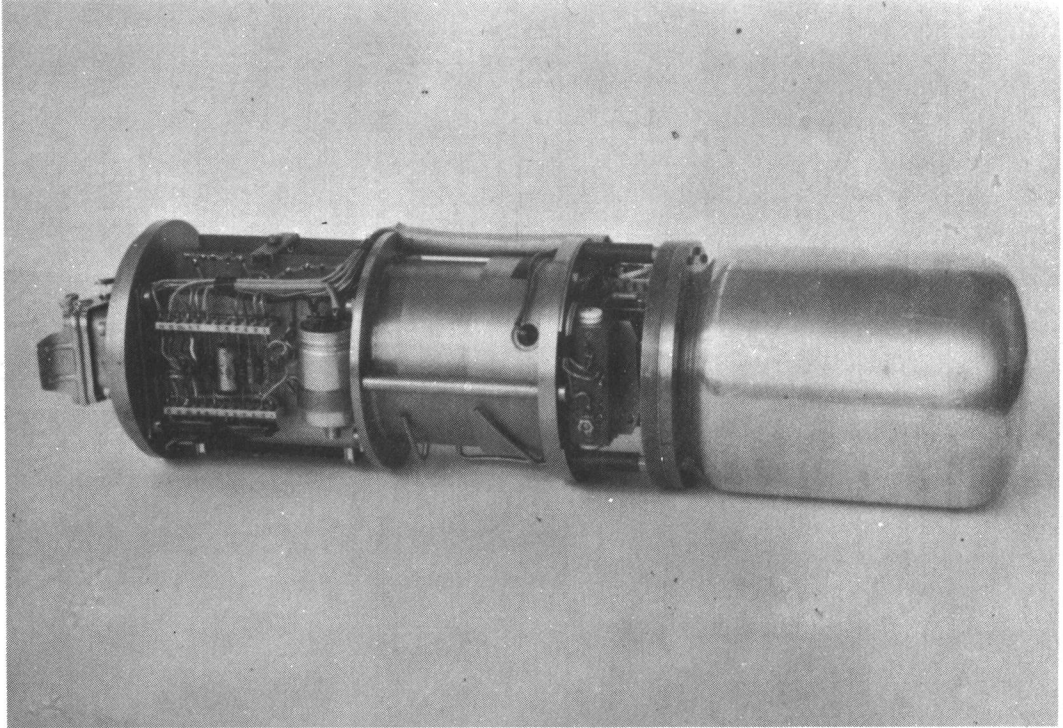
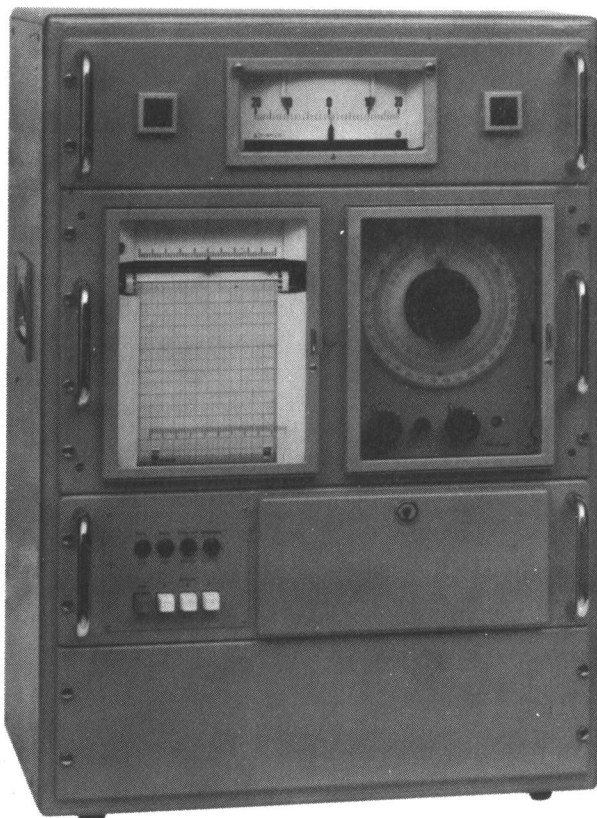


Bild 9: Meßkammereinsatz



**Bild 10:
Schaltgestell**

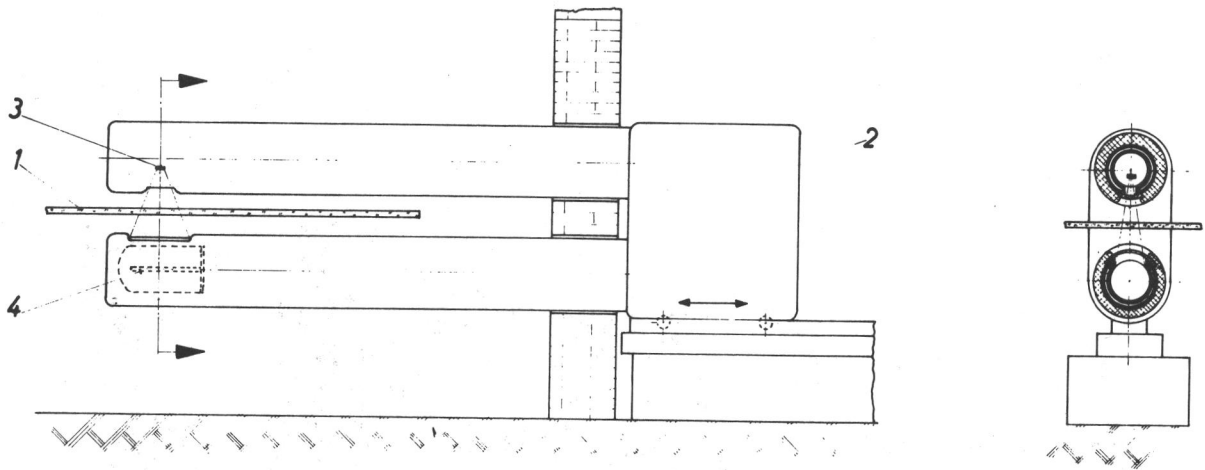


Bild 11: Kurzer Sondenbügel zur Dickenmessung im Kühllofen.

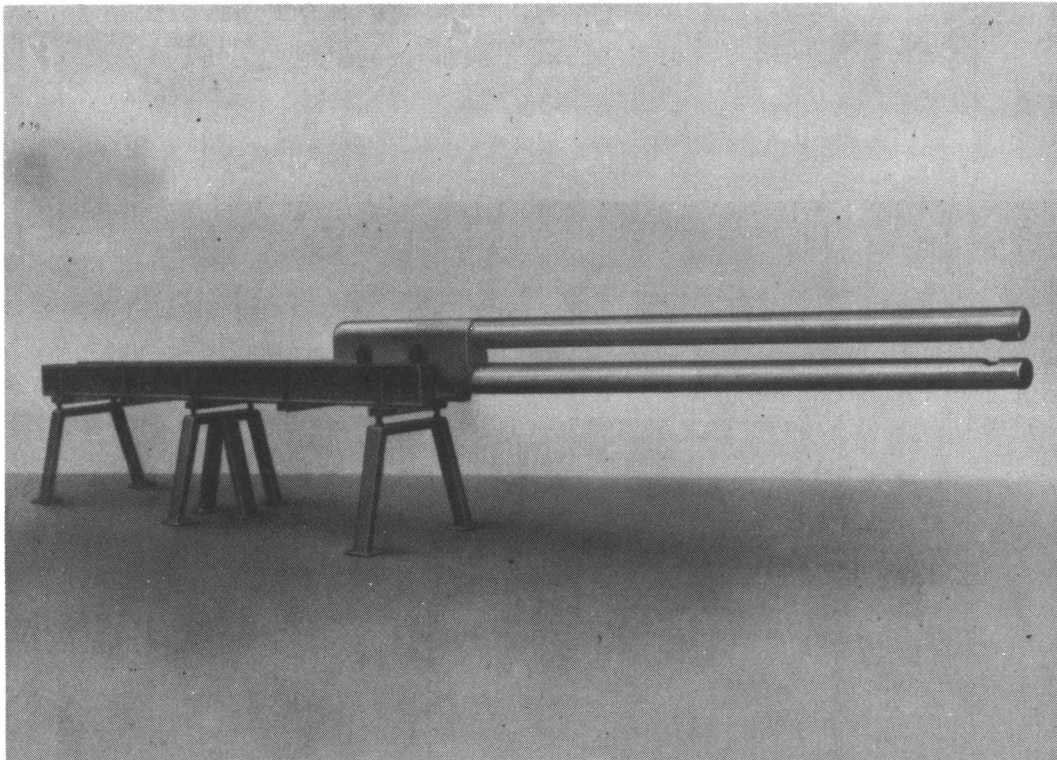


Bild 12: Langer Sondenbügel mit Fahrverrichtung zur Dickenmessung im Kühllofen ohne Wärmeisolation.

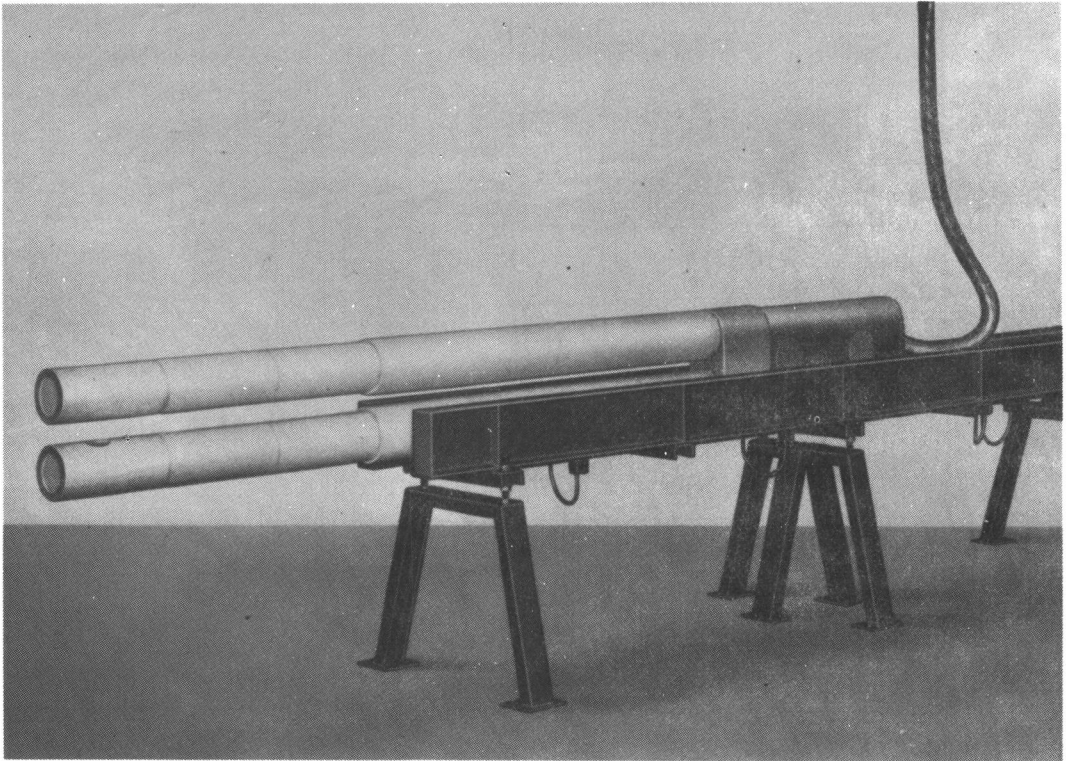


Bild 13: Langer Sondenbügel mit Fahrvorrichtung zur Dickenmessung im Kühllofen.

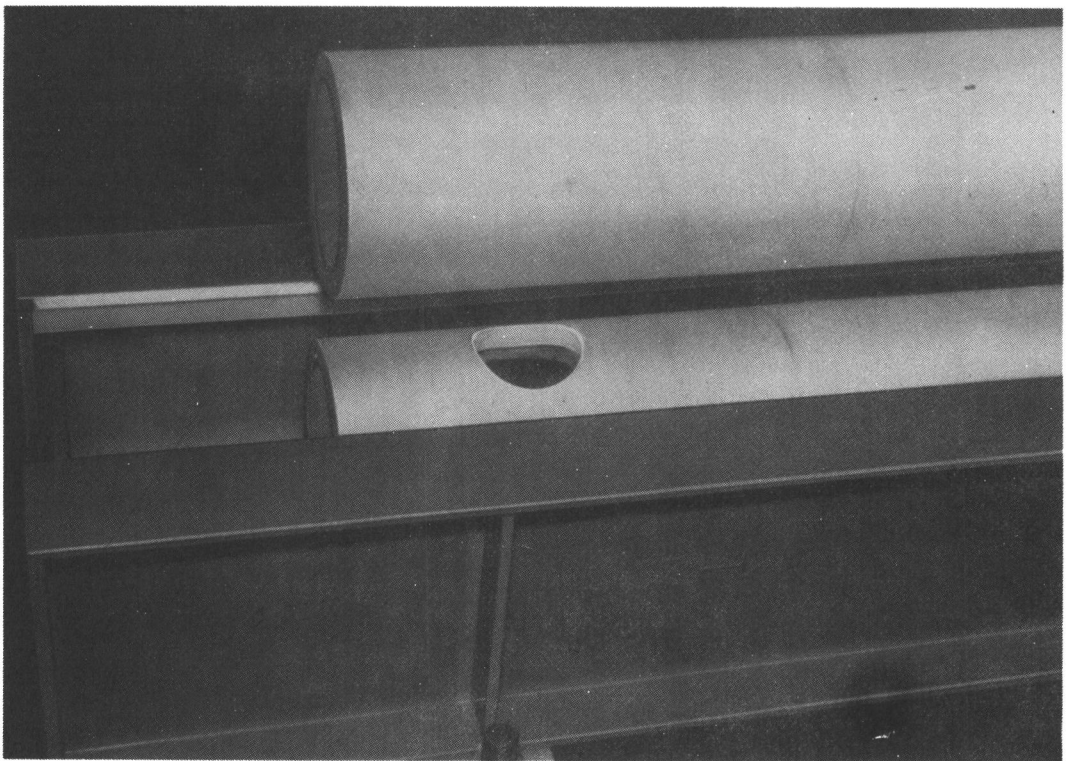


Bild 14: Vorderes Ende des Sondenbügels mit Quarzfenster vor der Ionisationskammer.

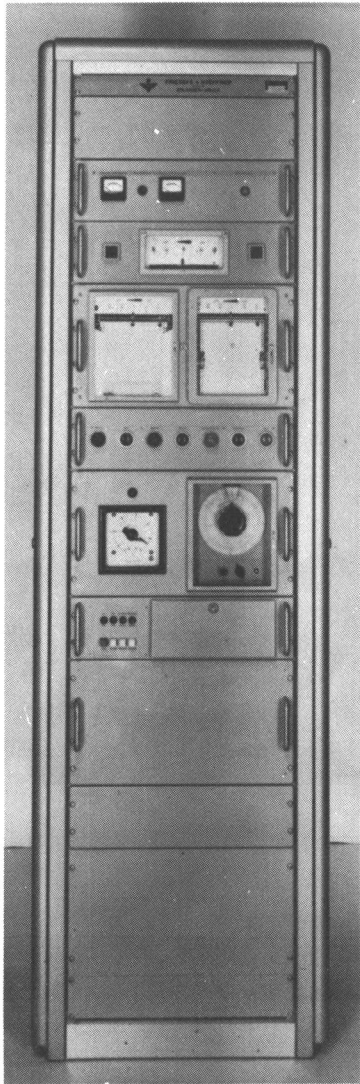


Bild 15:
Schaltschrank
19"-Bauweise

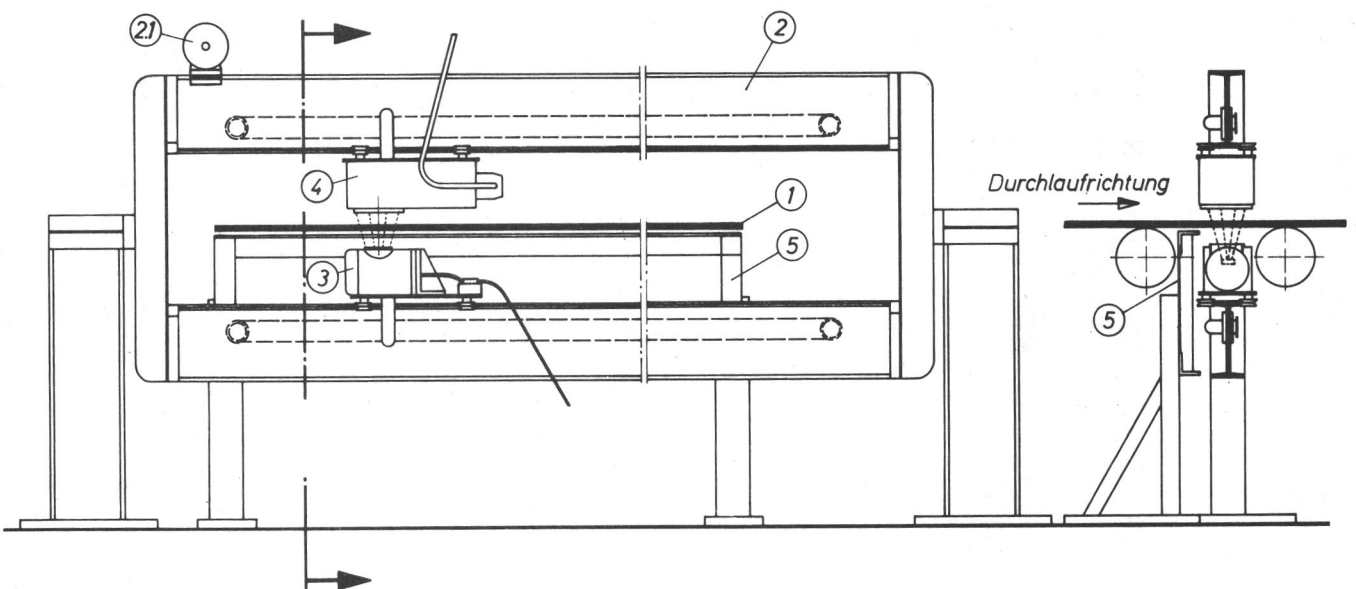


Bild 16: Meßstelle zur Dickenmessung bei waagrechter Ziehrichtung hinter dem Kühllofen (Querbewegungsvorrichtung)

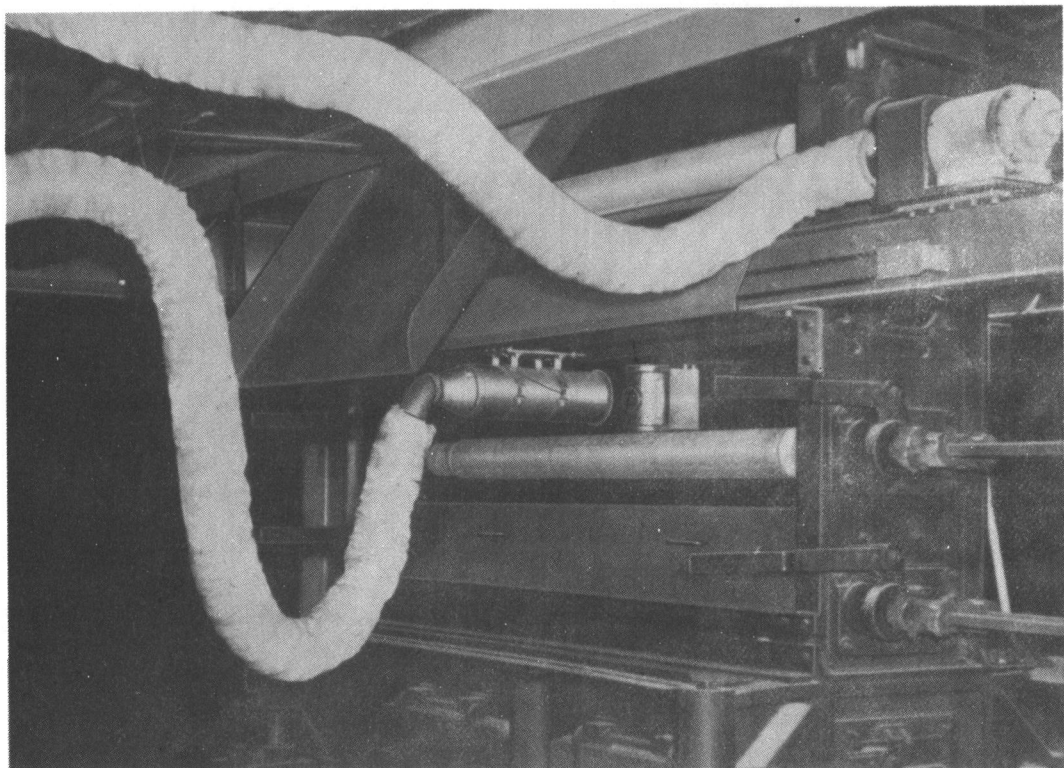


Bild 17: Querbewegungsvorrichtung, angebaut an eine Ziehvorrichtung für senkrechte Ziehrichtung.

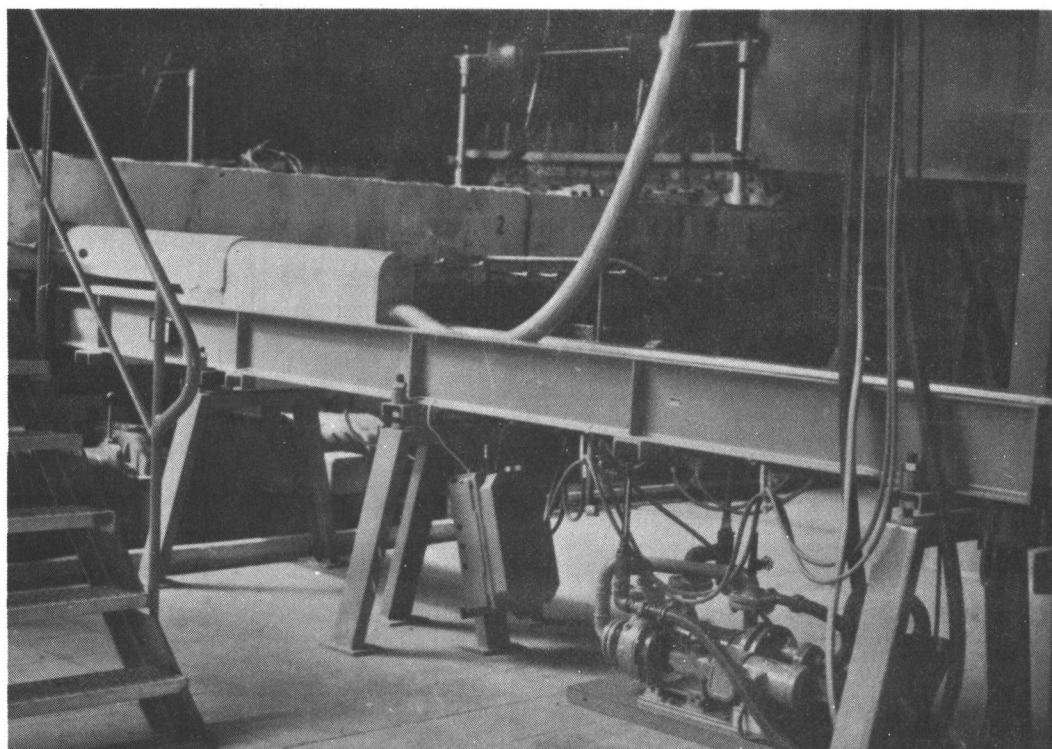
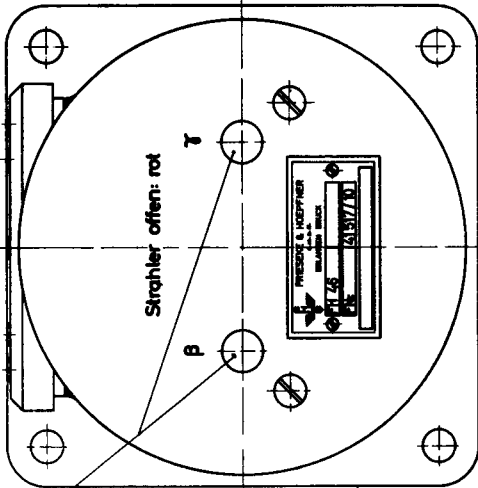
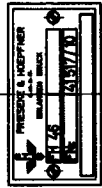


Bild 18: Langer Sondenbügel und Fahrvorrichtung an einem Kühllofen.

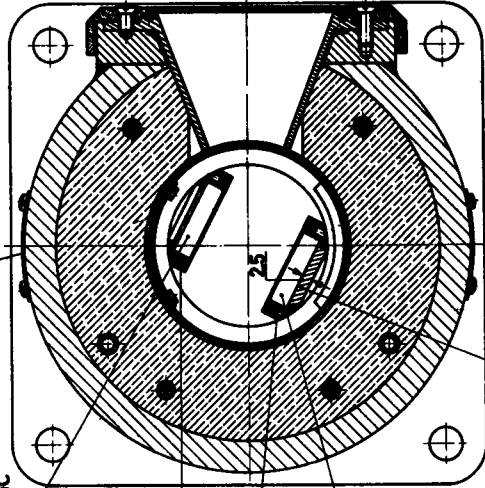
Plaxifenster für Anzeige der Strahlerstellung



Strahler offen: rot



Strahlervarnschild
49 187/0030-08



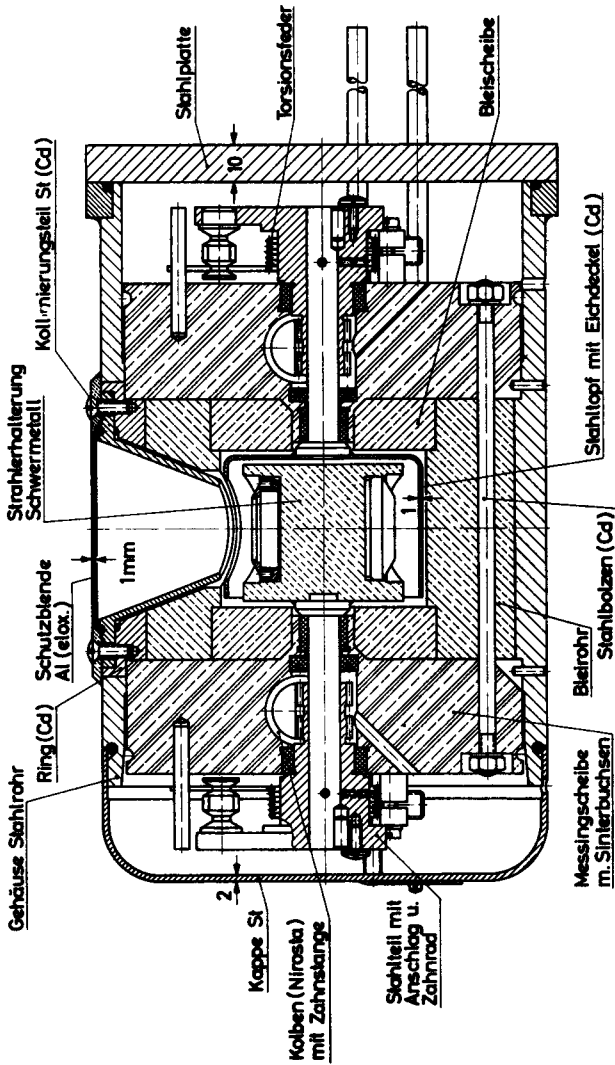
Strahler Sr 90 5mC
49 930/0006-01

Schraubring
(Nirosta)

Kappe
M16 (Ni)

Strahler Sr90 bis 1C
49 930/0006-05

Strahleraufnahme mit Scheibe



Gehäuse Stahlrohr

Ring (Cd)

Strahlerhalterung
Schwermetall

Kollimierungsteil St (Cd)

Stahlplatte

Torsionsfeder

Bleischeibe

Kappe St

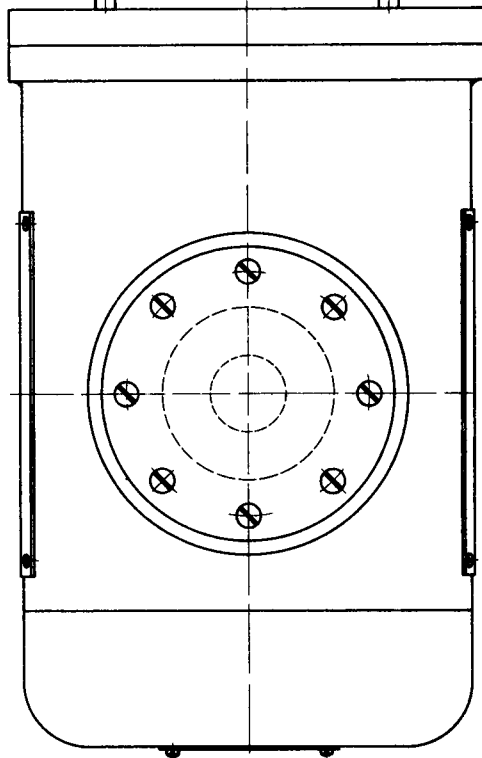
Kolben (Nirosta)
mit Zahnstange

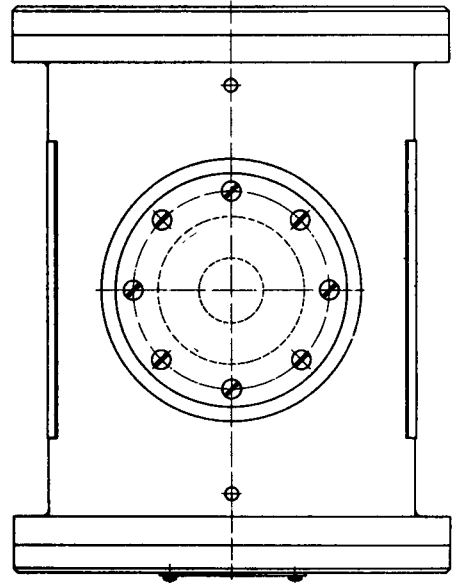
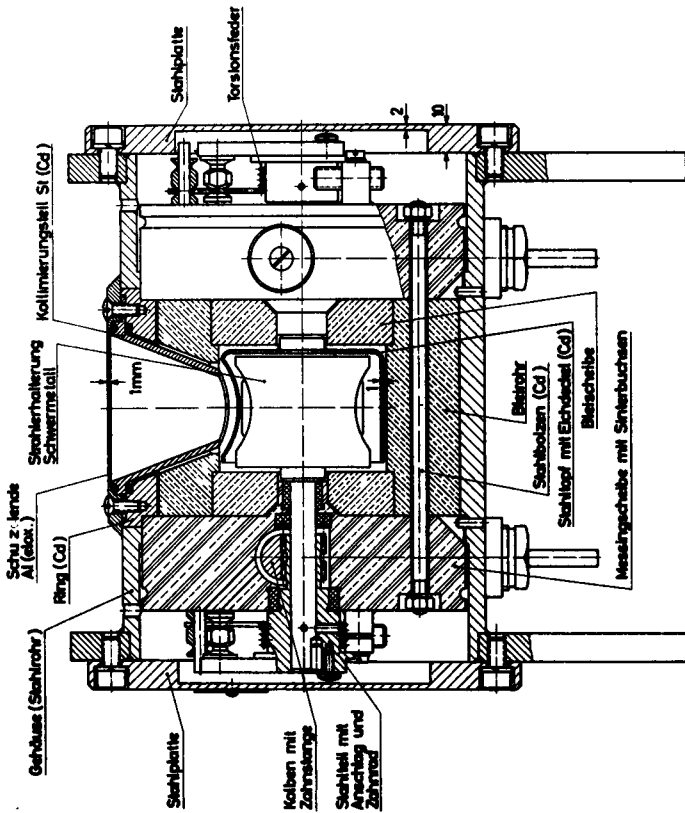
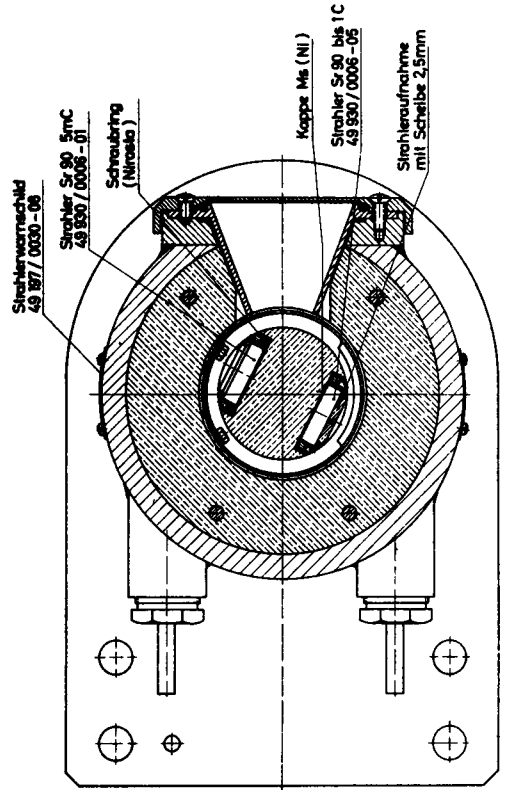
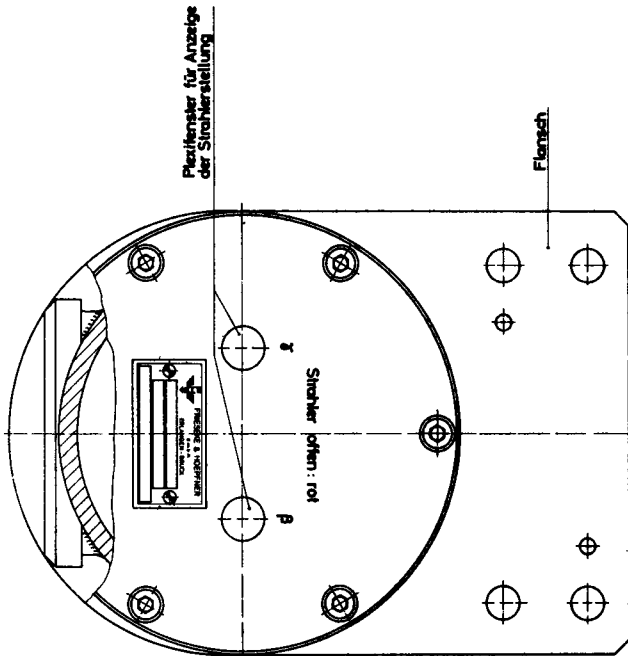
Stahlteil mit
Anschlag u.
Zahnrad

Stahltopf mit Eichdeckel (Cd)

Bleirohr
Stahlbolzen (Cd)

Messingscheibe
m. Sintierbuchsen





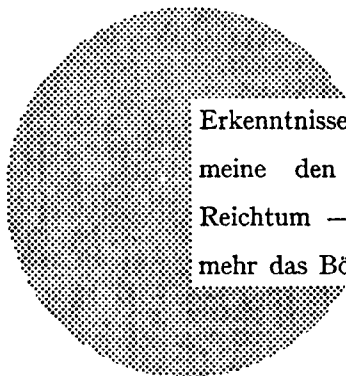
AN UNSERE LESER

Alle Euratom-Berichte werden nach Erscheinen in der von der Zentralstelle für Information und Dokumentation (CID) herausgegebenen Monatszeitschrift **EURATOM INFORMATION** angezeigt. Abonnements (1 Jahr : DM 60) und Probehefte sind erhältlich bei :

Handelsblatt GmbH
"Euratom Information"
Postfach 1102
D-4 Düsseldorf (Deutschland)

oder

Office de vente des publications
des Communautés européennes
2, Place de Metz
Luxembourg



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 ersten Rückseite des Umschlags angegebenen Preisen erhältlich (bei schriftlicher Bestellung bitte die EUR-Nummer und den Titel, die beide auf der ersten Umschlagsseite jedes Bericht stehen, deutlich angeben).

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 STAATSBLAD
Leuvenseweg 40-42, - Brussel

LUXEMBOURG

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

DEUTSCHLAND

BUNDESANZEIGER
Postfach - Köln 1

NEDERLAND

STAATSDRUKKERIJ
Christoffel Plantijnstraat - Den Haag

FRANCE

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

ITALIA

LIBRERIA DELLO STATO
Piazza G. Verdi, 10 - Roma

UNITED KINGDOM

H. M. STATIONERY OFFICE
P. O. Box 569 - London S.E.1

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