

EUR 375.d

EUROPÄISCHE ATOMGEMEINSCHAFT - EURATOM

SCHLINGERSTAND ZUR PRÜFUNG
VON BAUELEMENTEN
FÜR SCHIFFSREAKTOREN

von

D. ULKEN

1963



Bericht abgefasst vom
Gesellschaft für Kernenergieverwertung in
Schiffbau und Schifffahrt mbH. - Hamburg (Deutschland)
in Rahmen des Euratom Vertrages Nr 002/10/61 PNID

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 alle in deren Namen handelnden Personen :

- 1° — 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 ;
- 2° — 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 zum Preise von 50 bfrs. verkauft. Bestellungen sind zu richten an : PRESSES ACADEMIQUES EUROPEENNES — 98, chaussée de Charleroi, Brüssel 6.

Die Zahlung ist zu leisten durch Überweisung

- an die BANQUE DE LA SOCIETE GENERALE (Agence Ma Campagne) — Brüssel — Konto Nr. 964.558 ;
- an die BELGIAN AMERICAN BANK AND TRUST COMPANY — New York — Konto Nr. 121.86 ;
- an die LLOYDS BANK (Foreign) Ltd. — 10 Moorgate, London E.C.2,

als Bezug ist anzugeben : « EUR 375.d — Schlingerstand zur Prüfung von Bauelementen für Schiffsreaktoren ».

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

E U R 3 7 5 . d

SCHLINGERSTAND ZUR PRÜFUNG VON BAUELEMENTEN FÜR SCHIFFSREAKTOREN von D. ULKEN

Europäische Atomgemeinschaft — EURATOM

Bericht abgefasst vom Gesellschaft für Kernenergieverwertung in Schiffbau und Schifffahrt mbH. — Hamburg (Deutschland)

In Rahmen des Euratom Vertrages Nr 002/10/61 PNID

Brüssel, August 1963 — 28 Seiten — 8 Abb.

Die Einflüsse der Schiffsbewegungen und Maschinenschwingungen bewirken zusätzlich hohe Beanspruchungen der Bauteile eines Schiffsreaktors. Um die erforderliche hohe Betriebssicherheit zu erhalten, ist es notwendig, neue Konstruktionen vor ihrem Einbau in ein Schiff zu prüfen. Es ist beabsichtigt, die Funktionsfähigkeit von Regelstabantrieben und Instrumenten sowie die Dauerhaltbarkeit von Brennelementen und Regelstäben strengen Versuchen auf einem sogenannten Schlingerstand zu unterwerfen. Dieser Prüfstand kann Schiffsbewegungen im normalen Seegang und bei Unfällen nachahmen. Konstruktion und erste Erfahrungen mit dem Schlingerstand werden beschrieben.

E U R 3 7 5 . d

ROLLING-STAND FOR THE TESTING OF MARINE REACTOR COMPONENTS by D. ULKEN

European Atomic Energy Community — EURATOM

Report established by the « Gesellschaft für Kernenergieverwertung in Schiffbau und Schifffahrt mbH. — Hamburg (Germany)

Under the Euratom Contract No 002/10/61 PNID

Brussels, August 1963 — Pages 28 — Figures 8

The influences of sea motions and machine vibration cause additional high stresses on the structural members of a ship reactor. To achieve the required high safety in operation it is necessary to test new constructions prior to their installation in a ship. It is intended to make sure that the function of control rod drives and instruments and the durability of control-rods and fuel elements undergo thorough testing on a so-called rolling-stand. This test-stand is able to simulate ship motions both at sea and in case of accidents. The design and first experience with the rolling-stand are described.

E U R 3 7 5 . d

ROLLING-STAND FOR THE TESTING OF MARINE REACTOR COMPONENTS by D. ULKEN

European Atomic Energy Community — EURATOM

Report established by the « Gesellschaft für Kernenergieverwertung in Schiffbau und Schifffahrt mbH. — Hamburg (Germany)

Under the Euratom Contract No 002/10/61 PNID

Brussels, August 1963 — Pages 28 — Figures 8

The influences of sea motions and machine vibration cause additional high stresses on the structural members of a ship reactor. To achieve the required high safety in operation it is necessary to test new constructions prior to their installation in a ship. It is intended to make sure that the function of control rod drives and instruments and the durability of control-rods and fuel elements undergo thorough testing on a so-called rolling-stand. This test-stand is able to simulate ship motions both at sea and in case of accidents. The design and first experience with the rolling-stand are described.

E U R 3 7 5 . d

ROLLING-STAND FOR THE TESTING OF MARINE REACTOR COMPONENTS by D. ULKEN

European Atomic Energy Community — EURATOM

Report established by the « Gesellschaft für Kernenergieverwertung in Schiffbau und Schifffahrt mbH. — Hamburg (Germany)

Under the Euratom Contract No 002/10/61 PNID

Brussels, August 1963 — Pages 28 — Figures 8

The influences of sea motions and machine vibration cause additional high stresses on the structural members of a ship reactor. To achieve the required high safety in operation it is necessary to test new constructions prior to their installation in a ship. It is intended to make sure that the function of control rod drives and instruments and the durability of control-rods and fuel elements undergo thorough testing on a so-called rolling-stand. This test-stand is able to simulate ship motions both at sea and in case of accidents. The design and first experience with the rolling-stand are described.

EUR 375.d

EUROPÄISCHE ATOMGEMEINSCHAFT - EURATOM

SCHLINGERSTAND ZUR PRÜFUNG
VON BAUELEMENTEN
FÜR SCHIFFSREAKTOREN

von

D. ULKEN

1963



Bericht abgefasst vom
Gesellschaft für Kernenergieverwertung in
Schiffbau und Schiffahrt mbH. - Hamburg (Deutschland)
in Rahmen des Euratom Vertrages Nr 002/10/61 PNID

INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
1. EINLEITUNG	1
2. ZWECK DES PRÜFSTANDES	2
3. PLANUNG DES PRÜFSTANDES	2
4. BESCHREIBUNG DER KONSTRUKTION DES SCHLINGERSTANDES ...	6
4.1 Konstruktion und Funktion des mechanischen Teils	6
4.2 Beschreibung und Funktion des elektrischen Teils	9
4.3 Regelung und Steuerung	11
4.4 Grenzwerte von Prüflast und Maschine	14
5. MESSGERÄTE AM SCHLINGERSTAND	15
6. ERSTE VERSUCHE AM SCHLINGERSTAND	16

VERZEICHNIS DER ABBILDUNGEN

Abbildung 1	Schlitten mit Antrieb	21
Abbildung 2	Automatische Bremse	22
Abbildung 3	Drehzahl - Sollwertgeber	23
Abbildung 4	Versuchsordnung mit OMR-Instrumentierung	24
Abbildung 5	Versuchsordnung mit OMR-Regelstab	25

VERZEICHNIS DER GRAPHIKEN

Graphik 1	Aufstellung des Prüfstandes in der Halle	26
Graphik 2	Drehzahl- und Beschleunigungsverlauf	27
Graphik 3	Momentenverlauf in der Hauptwelle	28

SCHLINGERSTAND ZUR PRÜFUNG VON BAUELEMENTEN FÜR SCHIFFSREAKTOREN

ZUSAMMENFASSUNG:

Die Einflüsse der Schiffsbewegungen und Maschinenschwingungen bewirken zusätzlich hohe Beanspruchungen der Bauteile eines Schiffsreaktors. Um die erforderliche hohe Betriebssicherheit zu erhalten, ist es notwendig, neue Konstruktionen vor ihrem Einbau in ein Schiff zu prüfen. Es ist beabsichtigt, die Funktionsfähigkeit von Regelstabantrieben und Instrumenten sowie die Dauerhaltbarkeit von Brennelementen und Regelstäben strengen Versuchen auf einem sogenannten Schlingerstand zu unterwerfen. Dieser Prüfstand kann Schiffsbewegungen im normalen Seegang und bei Unfällen nachahmen. Konstruktion und erste Erfahrungen mit dem Schlingerstand werden beschrieben.

SUMMARY:

The influences of sea motions and machine vibration cause additional high stresses on the structural members of a ship reactor. To achieve the required high safety in operation it is necessary to test new constructions prior to their installation in a ship. It is intended to make sure that the function of control rod drives and instruments and the durability of control-rods and fuel elements undergo thorough testing on a so-called rolling-stand. This test-stand is able to simulate ship motions both at sea and in case of accidents. The design and first experience with the rolling-stand are described.

1. EINLEITUNG

Die Gesellschaft für Kernenergieverwertung in Schiffbau und Schifffahrt mbH. hat es sich zur Aufgabe gestellt, in Zusammenarbeit mit EURATOM Erprobungen von Schiffsreakortteilen unter Bordbedingungen durchzuführen. Diese Arbeiten werden im Interesse und unter Mitwirkung der schiffsreaktorbauenden Firmen im Bereich der EWG in einem sog. kooperativen Forschungsprogramm verwirklicht. Dieses Programm ist Gegenstand eines ent-

sprechenden Vertrages zwischen der Gesellschaft und EURATOM, zu dessen Erfüllung bei der Gesellschaft auf dem Reaktorgelände in Geesthacht ein Prüfstand errichtet wurde. Es handelt sich um einen Schlingerstand, dessen Konstruktion und Bau im folgenden beschrieben wird. Die Vorarbeiten für dieses Projekt wurden bereits in den Jahren 1959 und 1960 bei der Gesellschaft durchgeführt, die Ausführung begann im Sommer 1961.

2. ZWECK DES PRÜFSTANDES

Im Vergleich mit ortsfesten Anlagen sind Schiffsreaktoren und ihre Bauteile, wie Brennelemente, Regelstäbe, Regelstabantriebe usw., aber auch Teile ausserhalb des Reaktors, wie Meß- und Regelgeräte, zusätzlichen Beanspruchungen unterworfen. Diese entstehen durch die Schiffsbewegungen im Seegang und durch Erschütterungen, die innerhalb des Schiffskörpers von anderen Aggregaten erzeugt werden und durch den Stahlkörper übertragen werden. Obgleich solche Maschinenschwingungen auch bei Landanlagen auftreten, sind ihre Auswirkungen an Bord besonders zu beachten, da sie durch die Elastizität des Schiffskörpers und durch die räumliche Enge verstärkt in Erscheinung treten. Es ist daher wünschenswert, die Funktionsfähigkeit und die Beanspruchung von Schiffsreaktorbauteilen in einem Großversuch zu testen, bevor sie auf einem Schiff eingebaut werden.

3. PLANUNG DES PRÜFSTANDES

Für die Konstruktion des Schlingerstandes war es wünschenswert, grundsätzliche Betrachtungen über Schiffsbewegungen und über die Möglichkeiten ihrer Nachahmung anzustellen. Diese wurden vor der Beschlußfassung über den Bau des Schlingerstandes im Jahre 1960 bei der GKSS erarbeitet. Im folgenden werden sie nochmals kurz dargestellt.

Ein Schiff, als starrer Körper betrachtet, hat im allgemeinen sechs Freiheitsgrade, diese sind gekennzeichnet durch folgende Bewegungsmöglichkeiten:

1. Translation (z.B. Tauchschwingung) senkrecht
2. Translation in der Schiffslängsachse (z.B. Fahrt mit Stoppen oder Beschleunigungen)
3. Translation senkrecht zur Schiffslängsachse, parallel zur Wasseroberfläche
(z.B. seitliches Versetzen)

4. Rotation um die Schiffsquerachse (z.B. Stampfen)
5. Rotation um die Schiffs längsachse (z.B. Schlingern)
6. Rotation um die senkrechte Achse des Schiffes (z.B. Gieren)

Die aus den Bewegungsmöglichkeiten 2., 3. und 6. resultierenden Beschleunigungen sind in der Regel klein, so daß sie für die folgenden Betrachtungen ausser acht bleiben können. Für die Prüfung von Bauteilen sind nur Bewegungen interessant, die mit relativ großer Beschleunigung ablaufen.

Es sind daher auf einem Prüfstand nachzuahmen:

Tauchen, Schlingern und Stampfen.

Zu der Art und zum Ablauf der einzelnen Bewegungen läßt sich folgendes sagen:

Beim Tauchen wird die Eigenschwingung des Schiffes stark abgedämpft, so daß die Wellenbewegung der See vom Schiff mit einer gewissen Phasenverschiebung mitgemacht wird. Die Tauchamplitude wird in gleicher Weise von der Wellenhöhe und vom Verhältnis der Wellenlänge zur Schiffslänge bestimmt.

Das Schlingern eines Schiffes ist ein Schwingungsvorgang in der Eigenfrequenz. Die Erregerperiode hat nur geringen Einfluß auf die Schwingungsdauer, von Einfluß sind vor allen Dingen Größe, Form und Beladungszustand des Schiffes.

Das Stampfen ist wie das Tauchen vorwiegend eine erzwungene Bewegung, der sich die stark gedämpften Eigenschwingungen überlagern. Je kürzer die Begegnungsperiode der Wellen ist, desto größer werden die Beschleunigungen. Das Tauchen ist nicht immer eine harmonische Bewegung. Besonders, wenn sich das Vorschiff oder auch das Heck teilweise über die Wasseroberfläche erhebt, treten durch das mit "slamming" bezeichnete nachfolgende Aufschlagen des Schiffsbodens auf das Wasser große Beschleunigungen auf, die sich durch hochfrequente Ausgleichsvibrationen über das Schiff fortpflanzen.

Bis auf das "slamming" können die Bewegungen eines Schiffes jedoch als eine angenäherte Sinusform angenommen werden. Das gilt sowohl für die Schlingerbewegungen - als

Eigenschwingung -, als auch für Stampf- und Tauchschwingungen, die vom Seegang erzwungen sind.

Man könnte demnach für den Normalfall damit zufrieden sein, wenn ein Schlingerstand sinusförmige Bewegungen ausführt. Diese Bewegungsmöglichkeit reicht jedoch nicht aus für die Simulation von Unfällen, wie z.B. Grundberührung oder Kollision. Für diese Untersuchungen sollte ein Bewegungsablauf vorgesehen sein, der durch eine länger andauernde große Beschleunigung gekennzeichnet ist, z.B. bei trapezförmigem Geschwindigkeitsverlauf, deshalb wird auch diese Form der Bewegung auf dem Schlingerstand, wenigstens angenähert, wiedergegeben.

Eine sinusförmige Bewegung ist durch Beschleunigung und Frequenz hinreichend gekennzeichnet. Um die Schiffsbewegung zu erfassen, genügen demnach in erster Näherung Angaben über Beschleunigung und Schwingungsdauer oder Schwingungsamplitude. Derartige Anhaltswerte wurden aus den Ergebnissen mehrerer Meßfahrten und aus Gutachten gewonnen.

Die gemessenen Höchstwerte (maximal $1\text{ g} = 9,8\text{ m/s}^2$) werden nur mit sehr geringer Wahrscheinlichkeit erreicht. Trotzdem ist es sinnvoll, für Erprobungen des Reaktors und seiner Bauteile mit ihnen zu rechnen.

Unter gewissen Voraussetzungen ist es nötig, die verschiedenen Beschleunigungswerte geometrisch zu addieren und mit einer bestimmten Schräglage zu kombinieren. Im Normalbetrieb wird die Beschleunigung jedoch auch unter Berücksichtigung dieser Tatsache den Wert $0,5\text{ g}$ kaum wesentlich übersteigen, vor allen Dingen nicht im Bereich der Maschinenanlage. Wegen der von großen Klassifikationsgesellschaften geforderten Prüfung von Reaktorbauteilen bis zum dreifachen der Erdbeschleunigung und wegen der Möglichkeit einer sehr scharfen Prüfung wurden der Auslegung des Schlingerstandes die recht hohen Werte von 3 g (Hubbeschleunigung) und 2 rad/s^2 (Winkelbeschleunigung) zu Grunde gelegt. Bei sinusförmiger Bewegung erreicht die Hubbeschleunigung $\pm 2\text{ g}$.

Für die Nachahmung der Bewegung auf dem Schlingerstand müssen einige Einschränkungen gemacht werden. Es wäre zwar theoretisch denkbar, die Schiffsbewegungen in den

drei als wichtig erkannten Freiheitsgraden naturgetreu nachzuahmen. Praktisch stößt es jedoch auf gewisse Schwierigkeiten in konstruktiver Hinsicht. Man ist gezwungen, die vertikalen Abmessungen des Prüfstandes kleiner zu halten und kann deshalb die größten Tauchamplituden nicht mehr naturgetreu darstellen. Um jedoch die bei großen Ausschlägen hervorgerufenen besonders hohen Beschleunigungen zu erzielen, muß man die Schwingungszeiten verkürzen. Beim vorliegenden Projekt wurde die Hubhöhe herabgesetzt auf 3 m. Dieser Wert ergab sich aus konstruktiven Überlegungen. Er darf für Versuchszwecke als ausreichend angesehen werden, wenn man ihn mit den vorgesehenen hohen Beschleunigungen koppelt.

Der Bewegungsablauf bei einer Stampf- oder Schlingerbewegung kann zerlegt werden in eine rotatorische und 2 translatorische Bewegungen. Es war zunächst vorgesehen, diese 3 Bewegungen tatsächlich auf dem Schlingerstand zu verwirklichen. Bei genauer Betrachtung erwies es sich aber, daß die zweite translatorische Bewegung senkrecht zur Hubbewegung keine wesentlichen Vorteile gebracht hätte. Sie hätte ausserdem zusätzliche Schwierigkeiten und Kosten verursacht, so daß darauf verzichtet wurde.

Der Schlingerstand wurde projektiert für eine Hubbewegung und eine rotatorische Bewegung, die unabhängig voneinander gefahren werden können.

Folgende Bewegungen können gleichzeitig durchgeführt werden:

1. Tauchen und Schlingern
2. Tauchen und Stampfen
3. Schlingern mit Stoß
4. Stampfen mit Stoß

ausserdem natürlich jede Bewegung einzeln.

Für die technische Ausführung des Antriebes für den Schlingerstand boten sich verschiedene Systeme an. Wir untersuchten vor allem zwei Systeme eingehend, den elektro - hydraulischen Antrieb durch hydraulische Zylinder und den elektro-mechanischen Antrieb durch Kurbelantrieb, der schließlich gewählt wurde.

Beim Kurbelantrieb ist der Bewegungsablauf durch das Schubstangenverhältnis und im Rahmen des zugelassenen Ungleichförmigkeitsgrades der Antriebsmaschine vorgegeben. Es ist zunächst nur ein einziger Bewegungsablauf möglich. Nur die Frequenz ist regelbar über die Drehzahl des Antriebsmotors. Mit ihr gekoppelt ist die maximale Beschleunigung. Es besteht allerdings die Möglichkeit - über die weiter unten noch berichtet wird - auch die Drehzahl bzw. die Beschleunigung während einer Kurbelumdrehung durch eine geeignete Steuerung zu verändern. Eine weitere Steuerung für den Kurbeltrieb ist nicht nötig, da die Bewegungen über feste Größen miteinander gekoppelt sind.

Für die Konstruktion - und damit für die Lagerung des Prüfkörpers - ist die Zweiständerbauart am günstigsten. Man erreicht damit vor allem eine relativ momentenfreie Lagerung des Prüfkörpers. Ein Nachteil ist, daß die Abmessungen des Prüfkörpers begrenzt sind.

4. BESCHREIBUNG DER KONSTRUKTION DES SCHLINGERSTANDES

4.1 Konstruktion und Funktion der mechanischen Teile

Der Schlingerstand besteht im wesentlichen aus dem Fundament, dem Hubantrieb, 2 Schlitten mit Pendelantrieben und 2 Ständern mit senkrechten Gleitbahnen (s. Graphik 1).

Das kastenförmige Fundament aus Eisenbeton, dessen Sohle 6 m unter dem Hallenflur liegt, trägt in seinem unteren Teil die geschweißte Konstruktion des unteren Fundamentrahmens - den Maschinenrost - und in seinem oberen Teil den oberen, ebenfalls geschweißten, Fundamentrahmen. Beide Rahmen sind in Verankerungskästen, die mit dem Eisenbetonfundament vergossen wurden, befestigt und genau gegeneinander ausgerichtet. Die Bauart des Fundamentes, als oben offener, rechteckiger Kurbelkasten, birgt den Vorteil hoher Steifigkeit und Schwingfestigkeit in sich. Ausserdem läßt sich das Fundament von innen begehen, wodurch eine gute Zugänglichkeit zu den Antriebsteilen der Maschine gewährleistet ist.

Auf dem unteren Fundamentrahmen sind Antriebsmotor, Getriebe und ein Lagerbock montiert, der die Kurbelwelle aufnimmt. An den Enden der Kurbelwelle sind die Kurbelräder von 3,40 m Durchmesser aufgeschumpft, von denen ein Rad einen Zahnkranz trägt. Die Räder sind innen hohl. Kranz, Nabe, Gegengewichte und Speichen sind an den Seiten mit Stahlblechen verschweißt. Nabe, Gegengewichte und die Speiche, die im Abstand von 0,5 m, 1 m und 1,5 m kegelige Bohrungen zur wahlweisen Aufnahme des Kurbelzapfens aufweist, womit der Hub in 3 Stufen veränderlich ist, sind aus einem Stück geschmiedet.

Die Kurbelräder werden vom Hauptmotor über eine Tacke - Zahnkupplung, einstufiges Getriebe und Vorgelege angetrieben. Das Gesamtübersetzungsverhältnis ist $i_{\text{ges.}} = 20,311 \dots$. Die Getrieberäder sind schräg verzahnt, der Zahnkranz und das in dieses eingreifende Ritzel des Vorgeleges sind gerade verzahnt. Gegen Staub und mechanischen Beschädigungen ist das angetriebene Kurbelrad mit einem um 120° dreigeteilten Schutzblech abgedeckt, dessen unterer Teil im Betonfundament verankert ist. Die rotatorische Bewegung der Kurbelräder wird von 2 Pleuelstangen in die translatorische der Schlitten übergeleitet. Die aus dickwandigem Rohr bestehende Pleuelstange ist zwischen den Mitten der Pleuelaugen 6 m lang.

Die Schlitten werden von je 2 Schienen, die fest mit den Ständern verschraubt sind, geführt. Die Ständer selbst sind auf dem oberen Fundament befestigt. Insgesamt je 12 Rollen sorgen für Führung der Schlitten in 2 Ebenen mit relativ geringer Reibung. Je 4 Rollen von 150 mm \varnothing und 110 mm Länge, deren Achsen parallel zur Kurbelwellenachse liegen und von denen je 2 auf beiden Seiten im unteren und oberen Teil des Schlittens angeordnet sind, übertragen den Gleitbahndruck auf die Schienen. Die Rollen sind vergütet und somit gegen hohe Flächenpressung gesichert. Je 8 Rollen des Schlittens von 150 mm \varnothing und 50 mm Länge dienen lediglich zur Führung gegen Verschiebungen in Richtung der Kurbelwellenachse. Das Spiel sämtlicher Rollen ist mittels Exzenter fein einstellbar. (siehe Abb. 1)

Die Schlitten bestehen im wesentlichen aus einem geschweißten Gehäuse, in dem je eine Welle zweifach mittels Pendelrollen gelagert ist, dem auf dem Gehäuse befestigten Pendelantriebsmotor mit dreistufigem Getriebe und je einer Kurbelschwinge. Die

Wellen nehmen ausserhalb des Schlittengehäuses das obere Pleuellager auf und leiten somit die Pleuelstangenkräfte in den Schlitten ein (s. Abb. 1). Sie sind zum Innern der Maschine als Flansche ausgebildet, an denen der mit 2 Anschlußflanschen versehene Prüfkörper befestigt wird. Zwischen den Flanschflächen des Prüfkörpers und Flanschwellen der Schlitten ist ein zweigeteilter Zentrierring angeordnet. 16 Gewindebolzen, deren Schäfte in die Bohrungen der Flanschwellen genau eingepaßt sind, und die im Flansch des Prüfkörpers als Durchgangsschrauben wirken, sorgen für die erforderliche Pressung. Bei allen Betriebsbedingungen wird durch Haftreibung für den notwendigen Kraftschluß gesorgt. Die Gewindebolzen müssen daher mittels eines Drehmomentenschlüssels mit einem genau definierten Anzugsmoment von 50 mkg vorgespannt werden.

Der Pendelantriebsmotor treibt über eine Periflex-Kupplung mit Schwungrad und über das Getriebe, bei dem die 3 Untersetzungsstufen übereinander angeordnet sind, eine einfach gekröpfte Exzenterwelle. Eine Pleuelstange überträgt die rotierende Bewegung der Exzenterwelle auf die Kurbelschwinge, die an der Aussenseite des Schlittens auf der Flanschwelle fest aufgekeilt ist. Das aus Rohr bestehende Pleuel ist am oberen Auge durch eine horizontale, genau gepaßte Trennfläche geteilt ausgeführt. Das untere Auge (an der Schwinge) ist mit einer Steckbuchse, die das Pendelrollenlager trägt, ausgerüstet, so daß sich das Pleuel nach Lösen vom oberen Auge seitlich nach aussen abnehmen läßt. Die Kurbelschwinge hat 3 Zapfen, auf die das Pleuel wahlweise gesteckt werden kann. Dadurch läßt sich der Pendelausschlag auf $\pm 15^\circ$, $\pm 30^\circ$ und $\pm 45^\circ$ einstellen. Die beiden Kurbelschwinge lassen sich ausserdem mittels je einer Paßschraube in den Winkelstellungen -15° , 0° , $+15^\circ$, $+30^\circ$ und $+45^\circ$ am Schlittengehäuse festblocken. Eine einfache Hilfsvorrichtung ermöglicht auch zwischen diesen Werten liegende Winkelstellungen. Damit ist eine gewählte Neigung des Prüfkörpers einwandfrei definiert, wenn nur mit Hubbewegung gefahren werden soll. Falls es während der Versuche notwendig sein sollte, den Prüfkörper im statischen Zustand in die Horizontale zu neigen, so ist es möglich, die Schwingen mittels je einer speziell für diesen Zweck angefertigten Wange, die den längsten Arm der Schwingen umschließt, am Schlittengehäuse festzuschrauben.

Die Stromzuführung zu den Pendelmotoren und die Meßkabel des Prüfkörpers werden von Verteilerkästen, die am Ständer angebracht sind, über ein bewegliches Gestänge mit

3 Gelenken an den bewegten Schlitten verlegt. Die Kabel sind daher hochflexibel ausgeführt und haben an den Gelenken große Bögen.

Um die Maschine des Schlingerstandes notfalls auch bei Stromausfall schnell stoppen und um sie feststellen zu können, ist auf dem unteren Fundamentrahmen ein Eldrogerät montiert. Dieses Gerät entlastet während des Betriebes hydraulisch 2 Federn, durch die 2 Bremsbacken auf eine zwischen Kupplung und Getriebe des Hubantriebs angeordnete Bremstrommel gepreßt werden können (s. Abb. 2). Das Eldrogerät ist mit einer elektrisch angetriebenen Ölpumpe ausgerüstet. Das Einschalten der Bremse geschieht durch Unterbrechung des Haltestromes vom Steuerstand.

Der Hubantriebsmotor ist fremdbelüftet. Damit beim Entstehen brennbarer Dämpfe infolge eines Schadens an einem Prüfkörper keine Gefahr durch Funkenbildung am Kollektor des E-Motors auftritt, wurde der Lüfter an die Aussenwand der Halle gesetzt, so daß keine Abgase aus der Halle an die Maschine gelangen können. Die Kühlluft wird von dort über kastenförmige Rohre aus Blech zur Maschine geleitet. 200 mm über dem Eintrittsstutzen am E-Motor ist ein Balg aus gummiertem Gewebe angeordnet, wodurch Maschinenschwingungen von der Blechkonstruktion des Luftrohres ferngehalten werden.

4.2 Beschreibung und Funktion des elektrischen Teils

Die elektrische Energie für den Schlingerstand wird mit Hochspannung von 11 kV Drehstrom netzseitig eingespeist. Zwei getrennt hochspannungsseitig abschaltbare, im Naturumlauf ölgekühlte Freilufttransformatoren mit je einer Übertragungsleistung von 500 KVA liefern sekundärseitig 380 V Drehstrom. Die Niederspannung wird von einer 5-feldrigen Hauptschalttafel je nach Leistungsbedarf auf die einzelnen Verbraucher verteilt. Im 1. und 3. Feld sind je ein 1000 A-Leistungselbstschalter für Trafo I und II, im 2. Feld ist der 1400 A-Abgangtrennschalter für die Antriebsmotoren des Schlingerstandes, im 3. Feld sind zwei 60 A-Abgänge mit Paco-Schalter und ein 200 A-Abgang mit Hebelschalter und ein 200 A-Abgang mit Hebelschalter für den internen Kraft- und Lichtstrombedarf und in Feld 4 sind 3 Reserveabgänge von 200 A für Versuchszwecke, wie z.B. Heizung am Prüfkörper, angeordnet.

Die Einspeisung in den Stromkreis der Schlingerstandsantriebe geschieht über einen Drehstrom-Hauptschalter, der in einem speziellen Schalterschrank mit untergebracht ist. Die drei Phasen des Drehstroms sind dann direkt auf den Stromrichtertrafo mit einer Nennleistung von 500 KVA geschaltet. Die Spannung wird auf 655 V transformiert und liegt mit diesem Potential an den Stromrichtern. Die Stromrichter bestehen aus 6 Siemens - Einanodengefäßen VE 121, von denen 3 als Gleichrichter und 3 als Wechselrichter in einer Gegenparallelschaltung arbeiten.

Die Einanodengefäße sind Quecksilberdampf-Stromrichter, die im wesentlichen aus einem abgeschweißten eisernen Vakuumkessel, Quecksilberkathode, Anode, Steuergitter und Entionisierungsgitter bestehen. Die Kathoden sind gegen die Gefäßwand, die aussen mit Kühlrippen besetzt ist, nicht isoliert. Der Erregerlichtbogen wird mit Hilfe eines in das Kathodenquecksilber eintauchenden Halbleiter-Zündstiftes eingeleitet.

Die gesteuerten Stromrichter sind vergleichbar mit Ventilen, die in sehr kurzer Zeit geöffnet und geschlossen werden können. Durch entsprechend gewählte Steuerspannung läßt sich das Stromrichterventil zu bestimmten Augenblickswerten der Drehphasenspannung öffnen bzw. schliessen. Der Mittelwert der "gezündeten" Spannung ergibt dann eine Gleichspannung, die sich nach Beginn des Öffnens bzw. Schliessens zwischen Null und dem Effektivwert der Phasenspannung ändern läßt.

Hinter den Stromrichtern sind Glättungsrosseln für 400 A Nennstrom geschaltet, von denen je eine für den Gleich- und Wechselrichterbetrieb vorgesehen ist. Die Drosseln haben erstens die Aufgabe, den Gleichstrom zu glätten und zweitens mit ihrer trägen Ummagnetisierung ein "Lücken" des Stromes zu verhindern.

Stromrichter und Drosseln sind in den Ankerstromkreis des Hauptantriebsmotors, der eine Gleichstrom-Nebenschlußmaschine ist, geschaltet.

Der Grund für gesteuerten Gleich- und Wechselrichterbetrieb ist, daß die Gleichstrommaschine einmal als Motor arbeitet, wenn ein bestimmtes Drehmoment vom Kurbeltrieb gefordert wird und das andere Mal als Generator, wenn vom Kurbeltrieb ein überschüssiges Drehmoment vorhanden ist. Letzteres ist bei der Bewegung des Schlittens vom oberen

zum unteren Totpunkt der Fall. Über die Wechselrichter wird die generatorisch abgebremste Energie wieder ins Netz zurückgeliefert. Das Netz dient der Maschine lediglich als "Puffer", wenn man vom Verbrauch der Gesamtverlustleitung absieht.

Die für die Regelung der Maschine erforderliche konstante Felderregung wird von einem Erregertrafo mit der Sekundärspannung von 190 V und einer Leistung von 5 KVA über Selengleichrichter, die im Schaltschrank angeordnet sind, geliefert.

Die Pendelantriebsmotoren sind ebenfalls Gleichstrom-Nebenschlußmotoren. Die Ankergleichspannung wird von einem Leonardumformer geliefert. Die Felderregung erfolgt über denselben Erregertrafo und Gleichrichter, der für die Hubantriebsmaschine vorgesehen ist.

4.3 Regelung und Steuerung

Die Regelung des Hubantriebsmotors erfolgt durch Änderung der zugeführten Spannung. Wie schon erwähnt, läßt sich die Ankerspannung durch die gittergesteuerten Stromrichter regeln. Mit der Änderung der Ankerspannung ändert sich der Ankerstrom proportional. Der Ankerstrom wiederum ist bei konstantem Feld dem Drehmoment am Anker direkt proportional. Wird nun z.B. eine höhere Drehzahl zur Beschleunigung der Massen des Kurbelantriebes verlangt, so muß entsprechend der geforderten Drehzahl vom Motor ein größeres Moment aufgebracht werden. Dafür ist ein größerer Ankerstrom notwendig. Es muß also für die Gesamtregelung einmal für die Drehzahl und zum anderen mit der Drehzahlregelung gekoppelt ein Regelkreis für den Ankerstrom vorhanden sein. In jedem Regelkreis übernimmt der Regler durch Vergleich des "Istwertes" der Regelgröße und des durch den Steller eingestellten "Sollwertes" eine Messung der "Regelabweichung" und wirkt entsprechend dem Meßwert auf den Kreis ein, bis sich ein stationärer Zustand einstellt. Der Istwert des Ankerstromes wird über Stromwandler auf den elektronischen Ankerstromregler gegeben, der sich als Einschub in einem in der Halle des Schlingerstandes aufgestellten Steuerschrank befindet. Der Sollwert des Ankerstromes kommt vom Ausgang des Drehzahlreglers. Die Regelabweichung als Differenz von Soll- und Istwert ist auf den

Eingang eines Gittersteuersatzes geschaltet, der entsprechende Gitterspannungen für die Stromrichter liefert. Die Gitterspannungen werden dann in besonderen Trafos, die in den Stromrichterschranken untergebracht sind, auf die erforderlichen hohen Steuerspannungen transformiert. Da bei Wechsel- und Gleichrichterbetrieb zwei Ankerstromkreise vorhanden sind, ist auch je ein Regler mit Strom-Ist- und Sollwertvergleich vorgesehen.

Der Drehzahlregelkreis besteht aus dem schon erwähnten elektronischen Drehzahlregler, dem Istwertgeber, einem Tachodynamo, der bei 1 000 U/min 159 V abgibt, dem Drehzahl-sollwertgeber und einem Digital-Analogwandler, der die Aufgabe hat, digitale Impulse des Sollwertgebers in dem Drehzahlwert analoge Spannungen umzuwandeln. Ein Trennverstärker verstärkt diese Spannungen und gibt sie auf den Eingang des Drehzahlreglers. Eine regelbare Gegenkopplung vom Ausgang zum Eingang des Trennverstärkers gestattet, die Drehzahl-sollwerte zu dezimieren. Hiermit läßt sich die Maschine stufenlos langsam anfahren.

Für den Sollwertgeber ist ein Drehzahl-Programm Voraussetzung. Entsprechend den gewünschten Beschleunigungen und ihrem Maximalwert muß ein Drehzahldiagramm ausgearbeitet und nachgewiesen werden, daß bei der Drehzahlprogrammierung das maximal zulässige Drehmoment nicht überschritten wird.

Der Sollwertgeber besteht aus einem Präzisionsgetriebe, das über einen Wellenflansch fliegend an einem Wellenzapfen des Hauptgetriebes befestigt ist (s. Abb. 3). Der Abtriebszapfen dieses Meßgetriebes trägt eine Lochscheibe, die auf 9 verschiedenen Radien Bohrungen hat und mit selbsthaftenden Stiften besetzt wird. Die Abfrage eines auf die Scheibe gesetzten Programmes wird fotoelektrisch vorgenommen.

Das zu übertragende Programm stellt die Drehzahl über dem Drehwinkel dar. Im Diagramm (Graphik 2) sind Drehzahlprogramme für maximale Prüfkörperbeschleunigungen von 2 g bzw. 3 g aufgezeichnet. Die Kurven 1 geben den Beschleunigungs- und Drehzahlverlauf über einer Kurbelumdrehung bei konstanter Drehzahl an, aufgetragen über der Zeit, die Kurven 2 und 3 stellen entsprechend das sinusförmige 2 g - Programm und das Maximalprogramm mit 3 g als Spitzenwert der Beschleunigung dar. Die Drehzahlen sind in U/min. bezogen auf die Motorwelle angegeben.

Die inneren 7 Kreise der Sollwertgeber-Lochscheibe dienen der Codierung des Drehzahl-diagrammes. Durch entsprechende Besetzung der auf einem Radius liegenden 7 Löcher ist es möglich, die Drehzahl des Motors zwischen 512 und 1020 U/min. für die dafür gültige Winkelstellung festzulegen. Der so gesetzte Wert wird nur für den Antrieb übertragen, wenn das achte Loch auf dem gleichen Radius besetzt wird. Soll diese Drehzahl über einen größeren Winkel als $2,5^\circ$ konstant bleiben, dann darf in dem ganzen Bereich kein Loch im achten Kreis besetzt sein. Die Drehzahlwerte, die bei Besetzung eines Loches erreicht werden, sind vom Zentrum der Lochscheibe aus gerechnet :

Im 1. Kreis	4 U/min,	im 5. Kreis	65 U/min,
im 2. Kreis	8 U/min,	im 6. Kreis	128 U/min,
im 3. Kreis	16 U/min,	im 7. Kreis	256 U/min,
im 4. Kreis	32 U/min.		

Der Gesamtwert der Drehzahl ist immer 512 U/min plus die Summe aller gesetzten Werte.

Zum Zwecke der Programmierung kann die Lochscheibe durch ein Handrad außer Eingriff gebracht und beliebig gedreht werden. Die Lochscheibe kann nur in einer definierten Stellung wieder eingekuppelt werden.

Die Lochscheibe hat auf dem Radius 9 an einer Stelle des Umfanges eine Bohrung, die immer durch einen Stift besetzt sein soll. Dieser Stift liefert einen Orientierungsimpuls.

Ein Kontakttachometer sorgt dafür, daß bei Drehzahlüberschreitung von 5 % die Maschine abgeschaltet wird. Außerdem ist eine Stillstandüberwachung vorgesehen, die mit dem Stromistwert gekoppelt ist und bei Stromistwert Null die hydraulische Bremse automatisch betätigt.

Die Pendelantriebsmotore werden von 2 Hallgeneratoren gesteuert, die an einem der beiden Schlitten angebracht sind. Die Kurbelschwinge trägt einen Magneten, der bei 30° Anschlag den einen und bei 45° den anderen Hallgenerator überstreicht; die beide Impulsspannungen an eine Steuerung abgeben. Diese bewirkt, daß die Antriebsmotoren nicht höher als 600 U/min bzw. 300 U/min. drehen können. Ausserdem lassen sich unabhängig von der Steuerung 10 verschiedene Drehzahlen einstellen.

4.4 Grenzwerte von Prüflast und Maschine

Der Schlingerstand ist ausgelegt für eine Nutzlast von 2200 kg, das größte Massenträgheitsmoment des Prüfkörpers beträgt 1100 kg m^2 und die größte Excentrizität des Schwerpunktes ist begrenzt auf $\pm 100 \text{ mm}$. Diese Begrenzung ist nötig, um die mitfahrenden Antriebe für die Pendelbewegung nicht zu schwer werden zu lassen und damit die Nutzlast herabzusetzen. Die Abmessungen des Prüfkörpers sind durch die Konstruktion des Schlingerstandes begrenzt. Sie können in der Breite 2 m und im Durchmesser 8 m betragen.

Um die Maschine nicht zu überlasten, ist für den Hubantrieb eine Begrenzung des maximalen Drehmomentes, der Drehzahl und der Temperatur des Motors vorgesehen. Das Drehmomentenmaximum des Kurbelantriebes liegt bei ca. 10 000 mkg. Die maximale Lastsicherung ist daher bei einem Übersetzungsverhältnis von $i_{\text{ges.}} = 20,31 \dots$ auf 480 mkg an der Kupplung eingestellt. Bei Erreichen dieses Lastmomentes schaltet sich die Maschine von selbst ab.

Die Drehzahlbegrenzung liegt bei Überschreitung der Nenndrehzahl um 5 %.

Bei beiden Antrieben ist eine Temperatursicherung eingebaut. Außerdem wird beim Pendelantrieb in Abhängigkeit vom eingestellten Pendelwinkel die oberen Drehzahlstufen der Antriebsmotoren abgeschaltet. Beim Pendelausschlag von 15° ist Nenndrehzahl von 1 000 U/min. zulässig, bei 30° 600 U/min. und bei 45° 300 U/min. entsprechend einer Beschleunigung von 2 rad/sec^2 , $0,8 \text{ rad/s}^2$, $0,3 \text{ rad/s}^2$. Der maximale Hubweg ist 3 m. Hübe von 1 m und 2 m lassen sich durch Umstecken der Pleuels auf dem Kurbelrad einstellen.

Die maximale Hubbeschleunigung liegt bei geregelter Drehzahl bei $+ 30 \text{ m/s}^2$ ($= 3 \times$ Erdbeschleunigung), die geringste sinusförmige Beschleunigung ohne Zusatzmaßnahmen bei größtem Hub ist ca. $\pm 0,5 \text{ g}$.

Da der Prüfkörper mit den Flanschwellen der beiden Schlitten durch Dehnschrauben verschraubt wird, hat die Tragkonstruktion des Prüfkörpers die Aufgabe, Flanschwellen und

Prüfkörper zu einem gemeinsamen Träger zu verbinden und die an den Flanschen auftretenden Biegemomente und Verdrehungsmomente zu übernehmen.

Eine näherungsweise Angabe über den Biegemomentenverlauf bei einer Prüfkörperbeschleunigung von 3 g und einem Prüfkörpergewicht von 2,2 t zeigt die Skizze (s. Graphik 3).

An den gefährdeten Stellen soll der Prüfkörper möglichst ein Widerstandsmoment von 800 cm^3 besitzen. Eine steife Konstruktion ist anzustreben.

5. MESSGERÄTE AM SCHLINGERSTAND

Für die Messungen am Schlingerstand ist sowohl als Betriebskontrolle für die Maschine selbst als auch für die Messungen an den Prüfkörpern eine Anzahl von Meßgeräten vorgesehen worden. Am Prüfstand selbst werden Hubweg und Schlingerwinkel sowie die zugehörigen Beschleunigungen gemessen und auf schnellanzeigenden Meßgeräten angezeigt. Gleichzeitig ist ein Vierkanaldirektschreiber mit zwei zusätzlichen Markierspuren angeschlossen, der eine Registrierung dieser Werte erlaubt. Der Schreiber kann von Fall zu Fall auch andere Registrieraufgaben übernehmen. Es handelt sich um einen Helligo-Schreiber mit der Bezeichnung Helco - Scriptor HE 86/4 M 3663 M. Die Beschleunigungsmessung geschieht mit Hilfe von Beschleunigungsmessern der Firma Brosa, die über Verstärker vom Typ DD3 (Trägerfrequenzverstärker der Firma Brandau) verstärkt werden. Hubweg und Schlingerwinkel werden über einfache Potentiometerschaltungen gemessen. Die gesamten Anzeigegeräte sind in der Nähe des Steuerpultes in einem Schrank zusammengefaßt, so daß der Operateur jederzeit über den Betriebszustand der Maschine orientiert ist. In dem Schrank sind auch Betriebsstundenzähler für Hub- und Pendelantrieb sowie ein Impulszählwerk zur Anzeige der Hübe und Kurbelwellenumdrehungen eingebaut.

Für Messungen an dem Prüfkörper wurde eine Zweiunddreißig-Kanalmeßanlage aufgebaut bestehend aus: 32 Trägerfrequenzmeßbrücken, die wahlweise für induktive Aufnehmer oder Dehnungsmeßstreifen benutzt werden können und aus zwei 16-fach Lichtstrahl -

oszillographen mit ebenfalls insgesamt 32 Kanälen. Die Trägerfrequenzmeßverstärker - kanäle sind in Einheiten zu je 8 in einem Gerät zusammengefaßt, das die Firma Brandau, Meßautomatik, unter dem Typ VD3 herstellt. Die Lichtstrahloszillographen sind vom Typ AF16 der Firma Fischer und vom Typ Oszillofil 16 von Siemens mit UV-Vorsatz. Außerdem sind eine Reihe weiterer Meßgeräte vorhanden, die zum Einrichten der Meßanlagen dienen.

6. ERSTE VERSUCHE AM SCHLINGERSTAND

Der erste Prüfkörper, der auf dem Schlingerstand getestet wurde, war eine nukleare Instrumentierung für den OMR-Schiffsreaktor. Der Versuchskörper bestand aus einem Aufbau charakteristischer Komponenten des Sicherheitssystems, deren Funktion auf dem Schlingerstand während der Bewegungen untersucht werden sollte. Die in einem Prüfrahmen untergebrachten Komponenten wurden bei einer Neigung von 15° gegenüber ihrer normalen Lage einer reinen Hubbewegung unterworfen. Die Amplitude betrug $\pm 1,5$ m und die Schwingungsdauer etwa 2 sec. Der Scheitelwert der Beschleunigung, die einen annähernd sinusförmigen zeitlichen Verlauf hatte, betrug $\pm 1,35$ g. Dieser Schlingerbewegung überlagerten sich die vom Antrieb herrührenden Vibrationen (Frequenzen um 100 Hz.) mit einem Scheitelwert von etwa 0,2 g. Der gesamte Versuchsaufbau im Schlingerstand ist aus Abb. 4 ersichtlich.

Die Aufgabe bestand darin, festzustellen, ob und wie sich die Eigenschaften der Anlage, die im stationären Betrieb ermittelt wurden, infolge der Beanspruchung durch Schlingerbewegung und die Überlagerung der rüttelnden Schwingungen verändert. Es waren somit folgende Untersuchungen vor und nach und, soweit möglich, auch während des Schlingertests durchzuführen.

- a) Schaltfunktion, Schaltzeit und Schaltsicherheit der zwei von drei Koinzidenzeinheiten, Relaisflattern.
- b) Auslösepunktstabilität, Schaltzeit und Schaltsicherheit der Grenzwerte und Vergleichseinheiten, Relaisflattern.

- c) Nullpunkt und Verstärkungsstabilität sämtlicher Verstärker (linear und logarithmische Gleichstromverstärker, Impulsverstärker, Ratemeter, Periodenmeter, Mittelwertbilder, usw.)
- d) Stabilität des Linecomp-Linienschreibers.
- e) Stabilität des Millivoltmeßumformers.
- f) Stabilität der mit dem Gleichstromlinearverstärker über ein längeres Polyäthylen - Kabel verbundenen Ionisationskammer.

Für die Tests mit der Ionisationskammer wurde eine Gamma-Strahlenquelle (Kobalt 60 Präparat) benutzt, mit einer Quellstärke von 120 mc. Diese Quelle wurde für die Zeitdauer der Versuche ohne Abschirmung direkt auf dem Aussenmantel der Ionisationskammer befestigt, und zwar geschah das einfach mit einem Klebestreifen, nachdem man vorher mit einer kalten Probe diesen Vorgang genügend oft geübt hatte.

Ursprünglich war eine Gesamtschlingerzeit von 100 Stunden geplant. Aber aufgrund wiederholt auftretender Betriebsunterbrechungen, die maschinenbedingt waren, kam nur eine Schlingerzeit von etwa 35 Stunden insgesamt zusammen. Die hierbei gewonnenen Erkenntnisse zeigen jedoch, daß eine Verlängerung der Zeit nicht notwendig war. (Bis auf die Untersuchungen mit der Ionisationskammer, die noch später durchgeführt wurden). Es zeigte sich, daß alle Störungen, die infolge des Schlingerns auftraten, sich bereits während einer Messung bzw. einiger weniger Betriebsstunden bemerkbar machten, während Störungen, die sich darüber hinaus nach längerer Schlingerzeit ergaben, auch genauso beim stationären Dauerbetrieb aufgetreten wären. Im allgemeinen kann gesagt werden, daß die Schlingerbewegungen erwartungsgemäß bei den Geräten keine Störungen hervorriefen. Die Geräte verhielten sich genauso wie im stationären Betrieb. Die einzige Ausnahme bildete der Millivolt-Transmitter. Der Ausgangsstrom änderte sich im Rhythmus der Schlingerbewegungen $\pm 1,5$ % vom Endwert. Dies ist auf das eingebaute richtkraftlose Galvanometer (mechanisch bewegtes Teil) zurückzuführen. Als Folge der Rüttelbewegungen, die durch die Maschinenschwingungen auftreten, zeigten sich einige kleine Defekte, z.B. Drahtbrüche an den Zuleitungen oder Lösen von kleineren Schrauben. Außerdem veränderten Potentiometer der Grenzwert- und Meßwertvergleichseinhei-

ten ihren Drehwinkel, da sie nicht fixierbar waren. Bei den Versuchen mit der Ionisationskammer zeigte sich, daß durch geringe Bewegungen des Kabels Kapazitätsänderungen auftraten, die bei großer Empfindlichkeit der Meßgeräte gewisse Anzeigeschwankungen verursachten. Es ist deshalb geraten, für einen Schiffsreaktor ein Spezialkabel zu verwenden, welches bewegungsunempfindlich ist. Außerdem sollte dieses Kabel möglichst gut fixiert sein. Die Ionisationskammer selbst erwies sich als unempfindlich gegenüber den Schlingerbewegungen. Wenn man jedoch einige Stöße von aussen auf den I-Kammer-Mantel gab, so konnte mit dem Oszillographen ein größerer Ausschlag bemerkt werden. Dies bedeutet, auf eine gewisse Stoß- und Rüttelempfindlichkeit hin.

Der zweite Versuch am Schlingerstand, dessen Aufbau aus der Abbildung 5 hervorgeht, bezog sich auf die Funktionserprobung eines Regelstabes mit Antrieb, gleichfalls für den OMR-Schiffsreaktor. Der Regelstab mit seinen Antrieben ist in eine Versuchsflasche eingebaut, in der durch eine äussere Beheizung Reaktorbedingungen erzeugt werden. Die Flasche ist mit dem Reaktorkühlmittel Santowax R gefüllt, das bei einer Temperatur von ca. 300° von einer Umwälzpumpe in Umlauf gebracht wird. Die einzelnen Betriebszustände des Regelstabes, wie Ein- und Ausfahren und Scram können von einem besonderen Steuerpult, das in der Halle neben dem Steuerpult des Schlingerstandes aufgestellt ist, hervorgerufen werden. Durch eine Reihe von Meßvorrichtungen, die an einem mock up angebracht sind, welches an Stelle des Brennelementes in die Flasche eingebaut wurde, können die Bewegungen des Regelstabes überwacht werden, und es wurden bei den Versuchen Fallzeitmessungen durchgeführt.

Die wesentliche Aufgabe dieser Versuche war jedoch, eine Funktionserprobung des Regelstabes über eine längere Zeit durchzuführen. Mit Ende des Jahres 1962 waren insgesamt 5500 Regelstabhübe und 150 Scrams ausgeführt worden und die Lastwechselzahl des Schlingerstandes hatte 170 000 betragen.

Bei den Versuchen zeigte es sich, daß der geplante Regelstab mit Spindeltrieb in der Gesamtkonzeption durchaus den Anforderungen entspricht. In den Details ist während der Untersuchungen am Schlingerstand vieles verändert worden bzw. verbessert. Für eine endgültige Erprobung solcher Regelstäbe vor dem Einbau in ein Schiff dürfte die an-

zusätzliche Versuchszeit noch größer sein, als sie hier bei dem ersten Versuch möglich war.

Es ist zweifelhaft, ob die Ergebnisse dieser Versuche alle auf den speziellen Bedingungen, nämlich denen des Beschleunigens in positiver und negativer Richtung beruhen, da die Gründe für das Versagen des einen oder anderen Teils sich nicht eindeutig einem einzelnen Einfluß zuordnen lassen. Trotzdem kann man wohl am Ende der ersten Testreihe sagen, daß die ersten Schlingerversuche eine Anzahl von interessanten Ergebnissen gebracht haben, die nach einer Auswertung in ihren Einzelheiten zu einer weiteren Verbesserung der Komponenten von Schiffsreaktoren beitragen können.

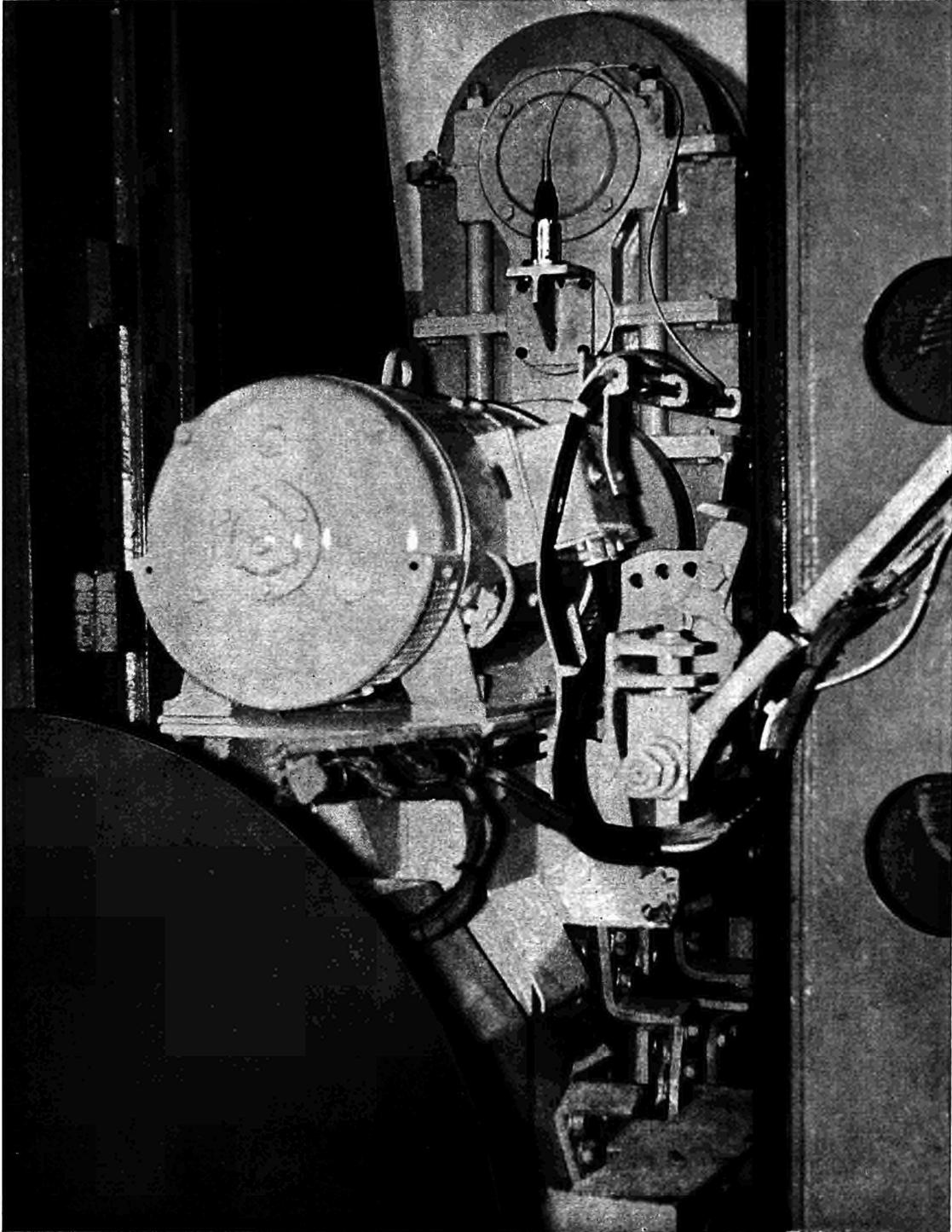


Abbildung 1 Schlitten mit Antrieb

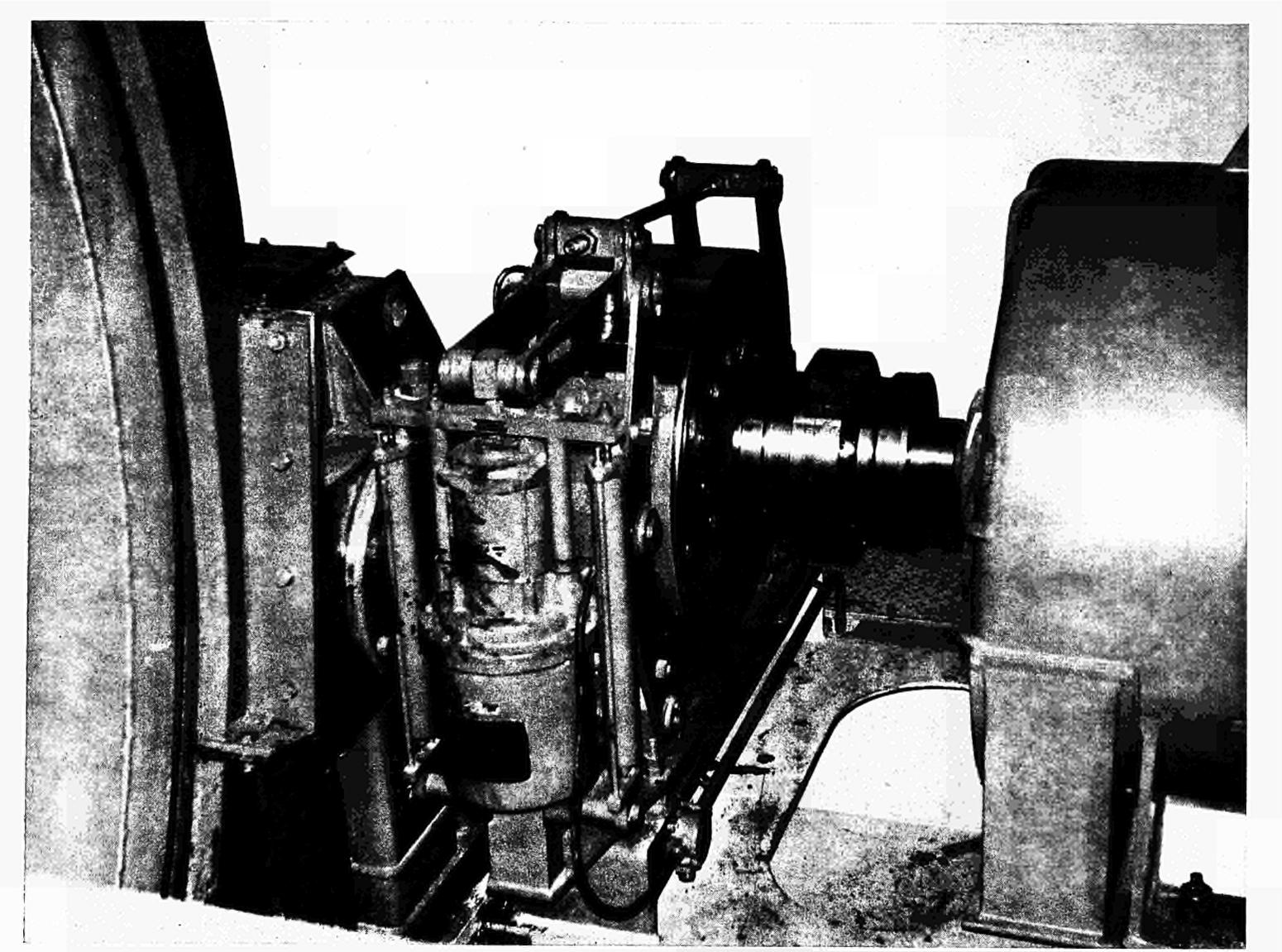


Abbildung 2 Automatische Bremse

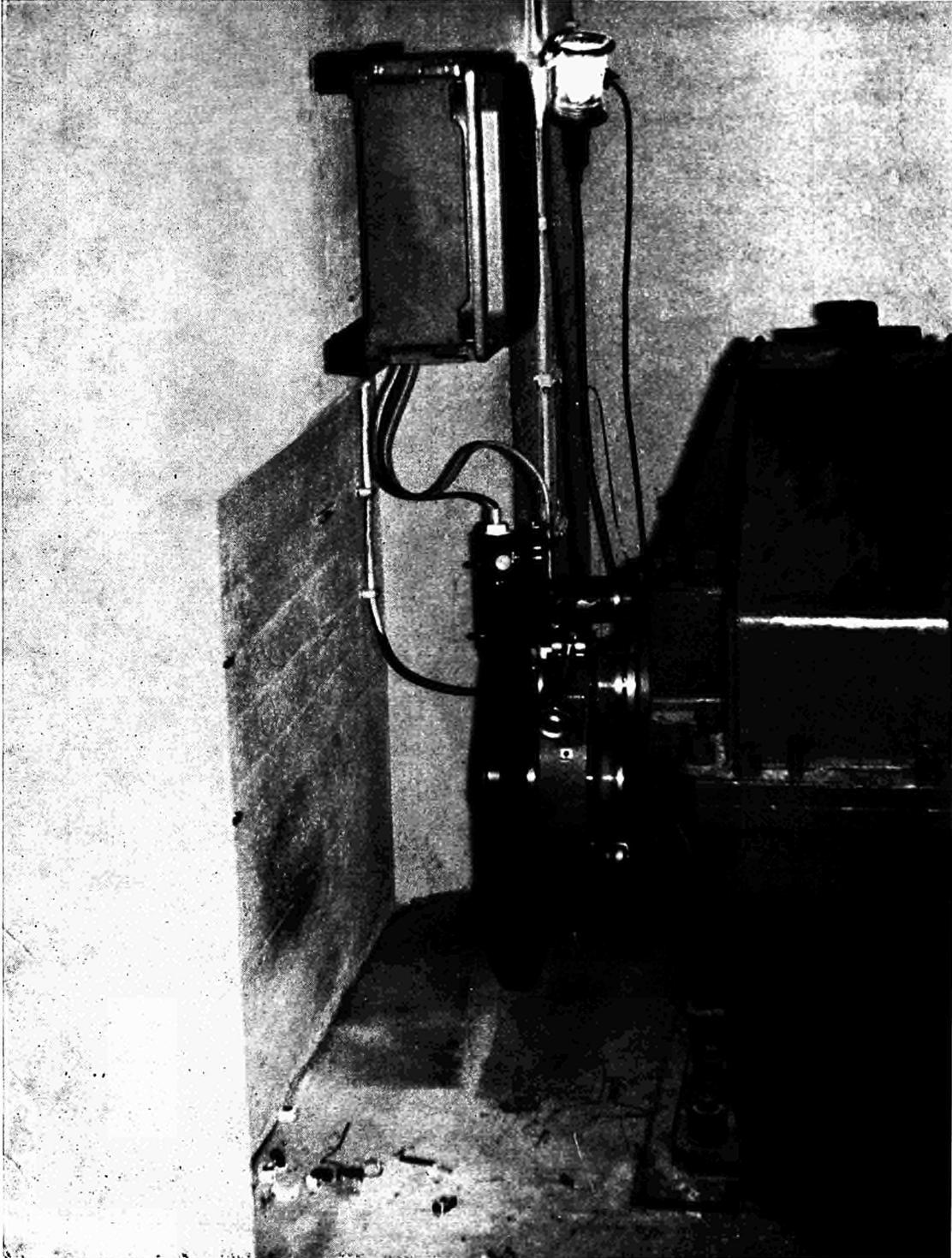


Abbildung 3 Drehzahl - Sollwertgeber

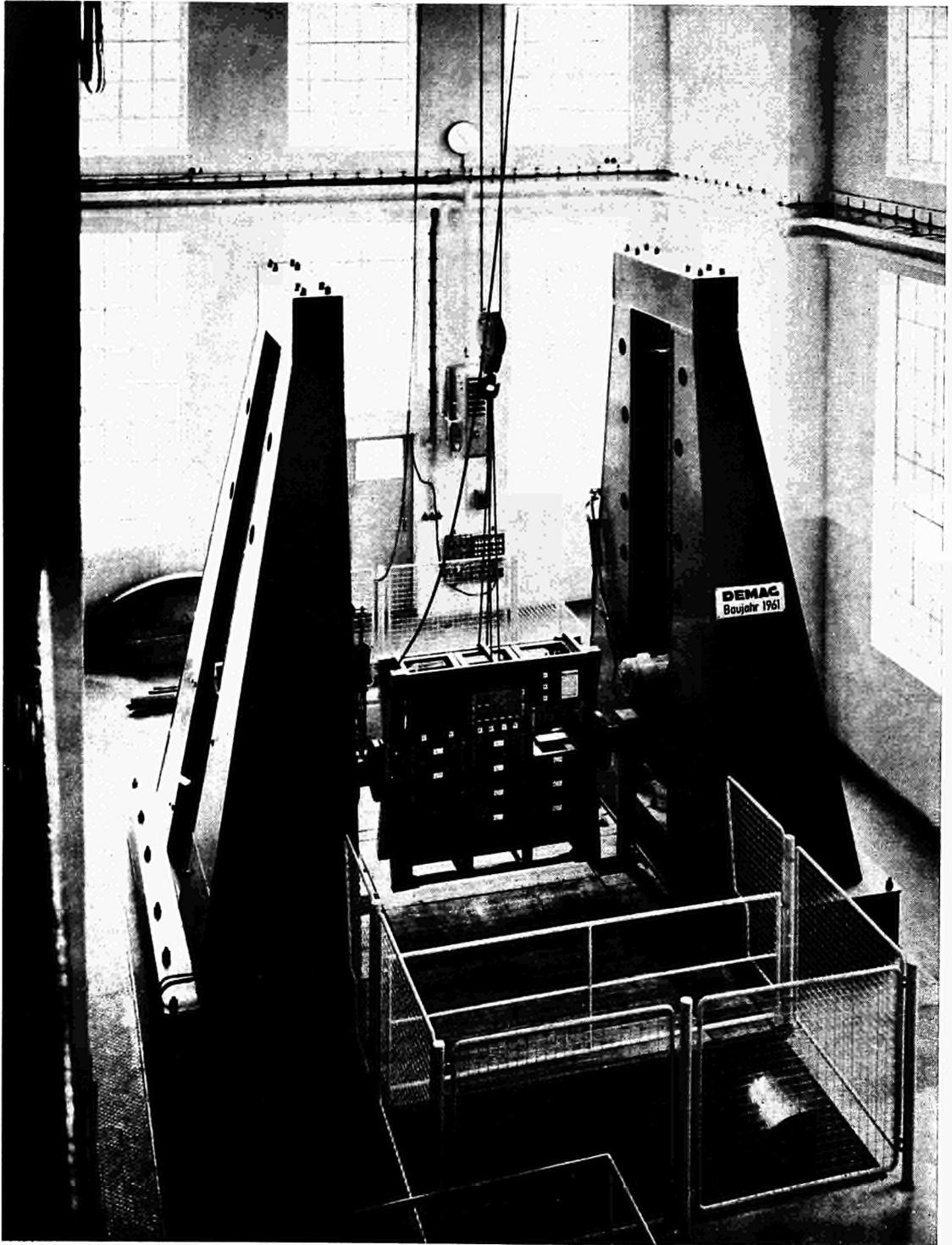


Abbildung 4 Versuchsanordnung mit OMR-Instrumentierung

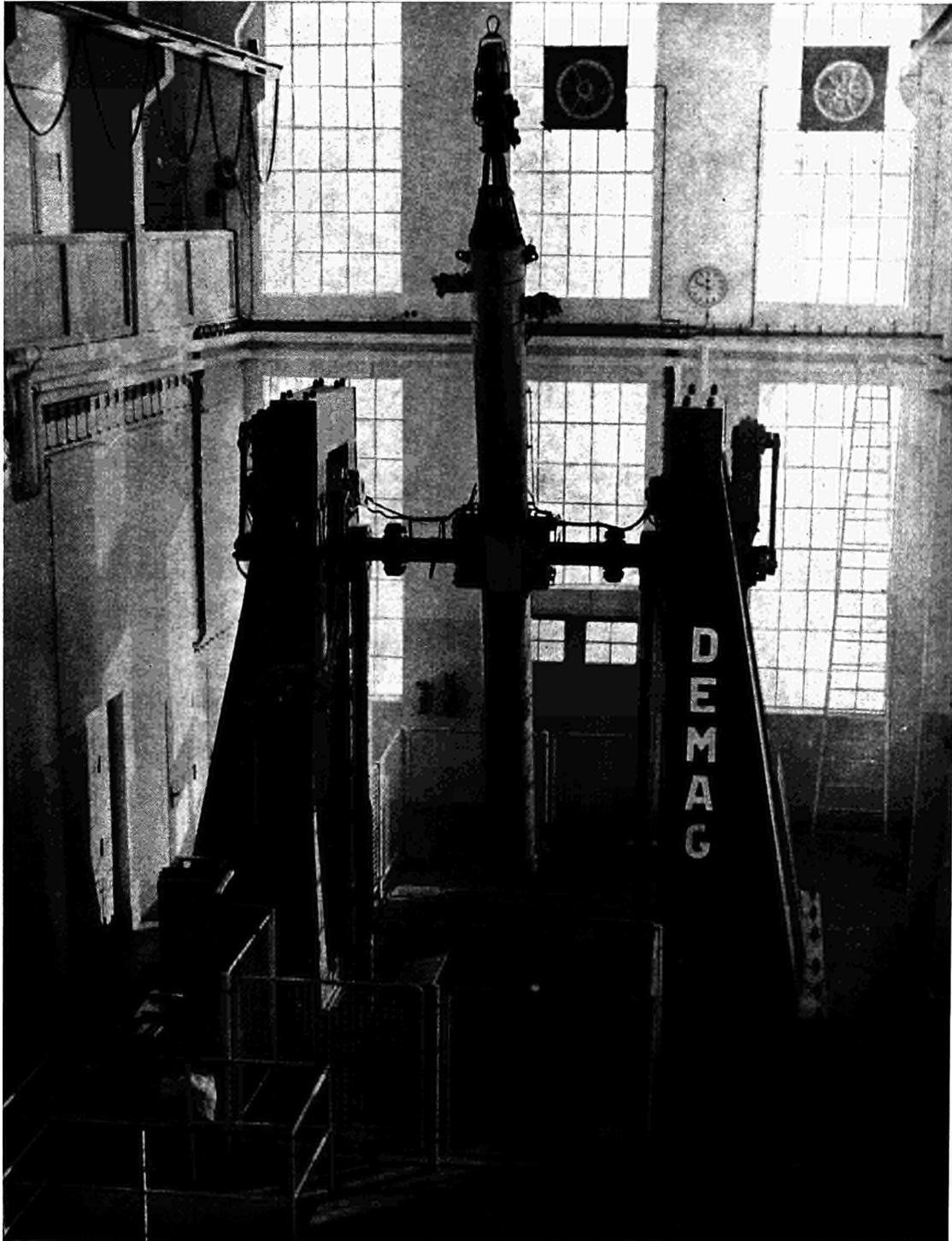
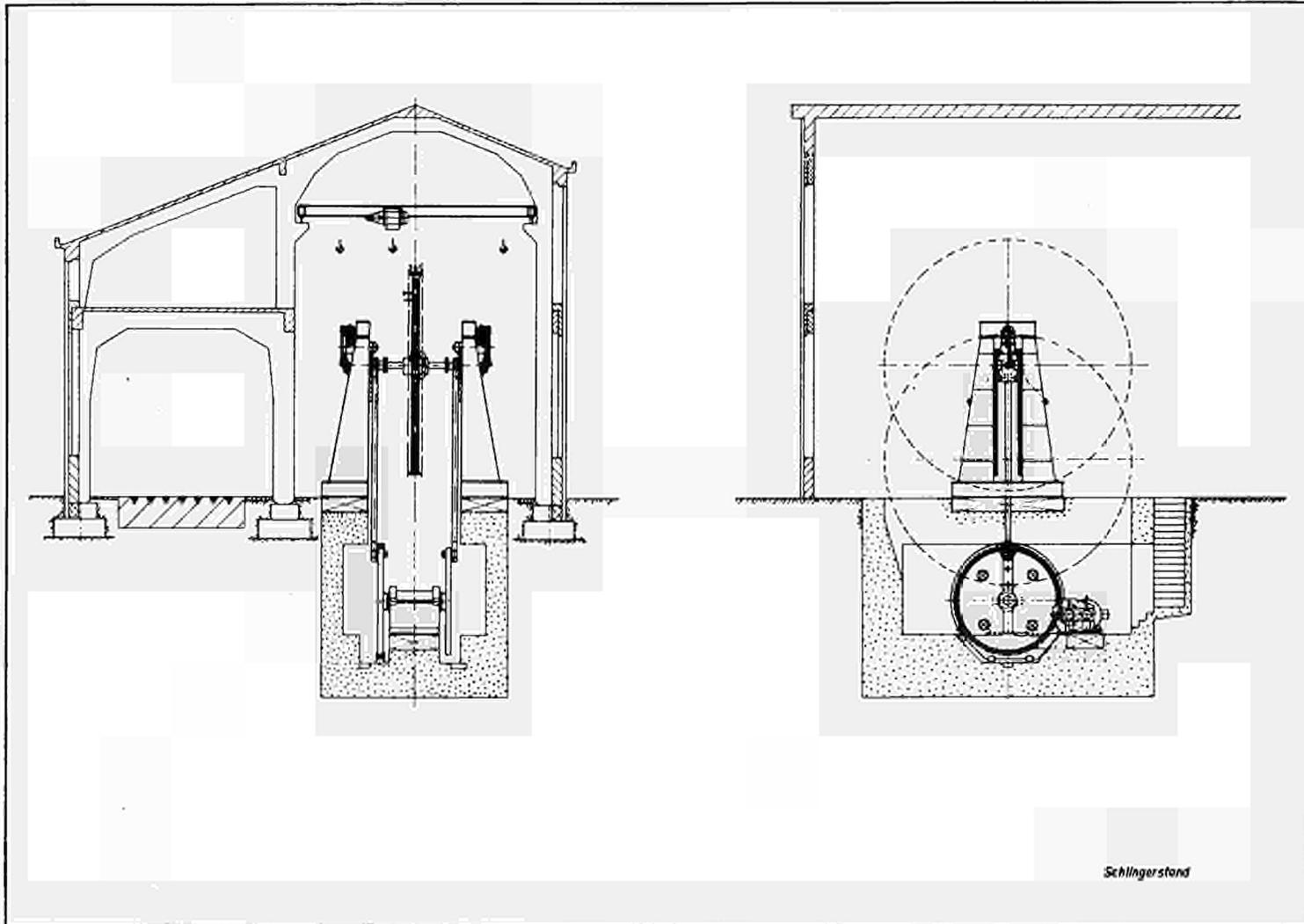
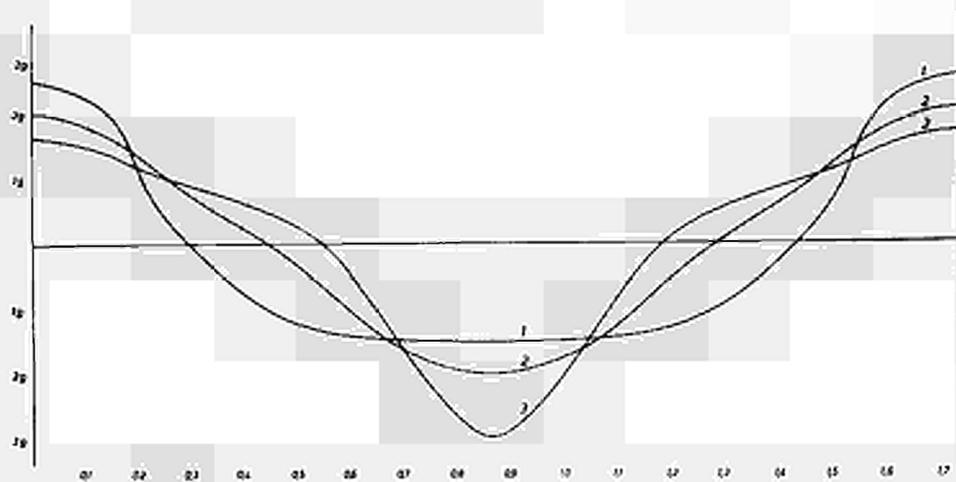


Abbildung 5 Versuchsanordnung mit OMR-Regelstab



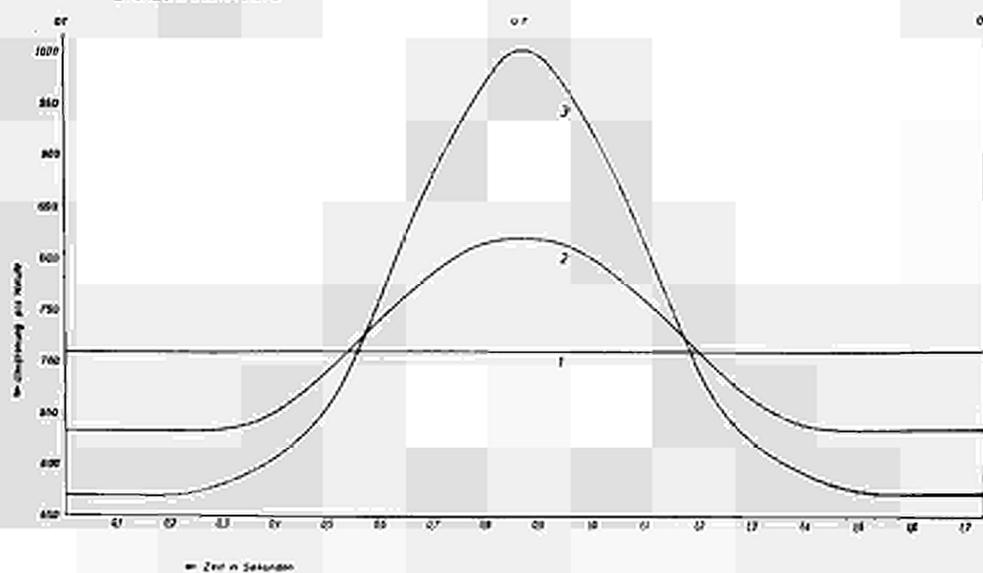
Graphik 1 Aufstellung des Prüfstandes in der Halle

Drehzahl und Beschleunigungsverlauf am Schlingerstand

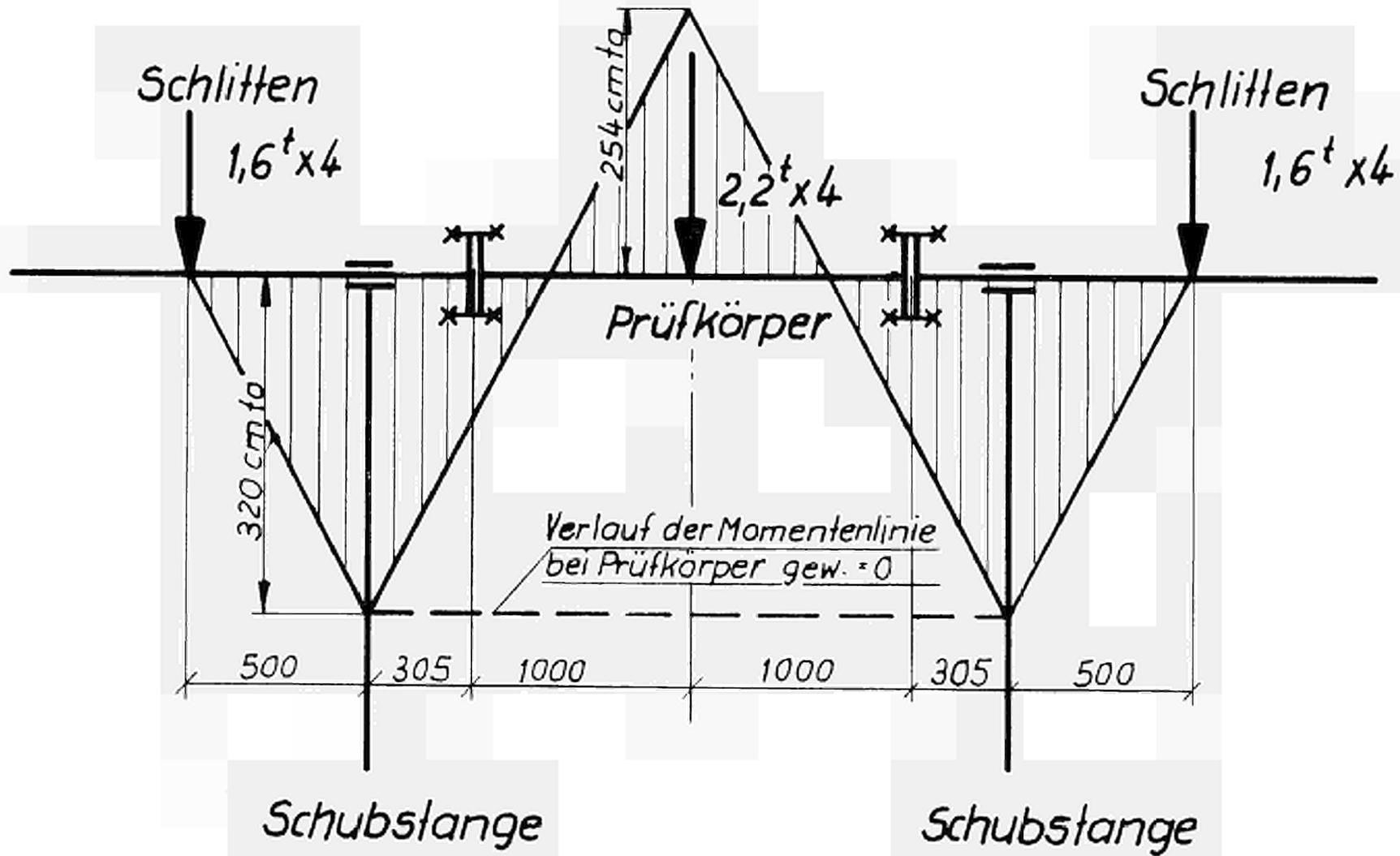


Beschleunigung des Prüfkörpers

Drehzahl des Motors



Graphik 2 Drehzahl- und Beschleunigungsverlauf



Graphik 3 Momentenverlauf in der Hauptwelle

CDNA00375DEC